

### 1.1 หลักการและเหตุผล

ในช่วงระยะเวลาที่ผ่านมา ประเทศไทยมีการเจริญเติบโตทางภาคอุตสาหกรรมในทุกประเภท ขณะเดียวกัน ปัญหาสิ่งแวดล้อมอันเนื่องจากการพัฒนาอุตสาหกรรมก็ทวีความรุนแรงขึ้นในทุก ๆ ด้าน และกระทรวงอุตสาหกรรม ในฐานะตัวแทนของภาครัฐจะเป็นผู้กำหนดและควบคุมระดับของปริมาณสารมลพิษที่ยินยอมให้โรงงานอุตสาหกรรม ที่กำเนิดสารมลพิษนั้น ๆ ระบายออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก ซึ่งในปัจจุบันทางภาครัฐกำลังจะนำหลักการ “ผู้ใดก่อมลพิษผู้นั้นจะต้องเป็นผู้จ่าย” มาใช้ในการควบคุมปัญหาสิ่งแวดล้อม จึงทำให้โรงงานอุตสาหกรรมทุกประเภทที่ก่อให้เกิดสารมลพิษจะต้องพยายามหาทางลดการปล่อยสารมลพิษออกสู่สิ่งแวดล้อมให้น้อยที่สุด

อุตสาหกรรมฟอกย้อมเป็นอุตสาหกรรมประเภทหนึ่งที่เกิดน้ำเสียในปริมาณมากและมีสารมลพิษประเภทต่าง ๆ เพราะฉะนั้นการวางแผนการจัดการสิ่งแวดล้อมโรงงานจึงมีความจำเป็น เพื่อเป็นการป้องกันปัญหามลพิษที่แหล่งกำเนิด และช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียขั้นสุดท้าย (END OF PIPE) ดังนั้น สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม จึงได้มอบหมายให้บริษัท ช.รุ่งเลิศ แอสโซซิเอท จำกัด ทำการศึกษา และจัดทำเอกสารคู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมสำหรับโรงงานฟอกย้อม เพื่อจะได้เป็นการเผยแพร่ให้แก่โรงงานใช้เป็นแนวทางปฏิบัติ และให้เจ้าหน้าที่ส่วนราชการที่เกี่ยวข้องใช้สำหรับกำกับดูแลโรงงานประเภทนี้ ต่อไป

### 1.2 ขอบเขตของคู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมสำหรับโรงงานฟอกย้อม

ในส่วนของคู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมสำหรับโรงงานฟอกย้อมนี้ จะประกอบด้วยรายละเอียดในหัวข้อต่อไปนี้

- 1) รายละเอียดของกระบวนการผลิตแต่ละส่วน รวมทั้งแผนผังขั้นตอนการผลิตในภาพรวม
- 2) รายละเอียดของแหล่งกำเนิดน้ำเสีย และของเสียต่าง ๆ จากการผลิต
- 3) รายละเอียดของทางเลือกและวิธีการประหยัดวัตถุดิบ (รวมทั้งน้ำใช้) และการลดปริมาณของเสีย
- 4) รายละเอียดของวิธีการที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมขนาดกลางและเล็ก
- 5) รายละเอียดของการควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย
- 6) เสนอมาตรฐานน้ำทิ้งที่เหมาะสมใช้เฉพาะโรงงานฟอกย้อม ลำดับที่ 22(1) 22(2) และ 22(3)

### กระบวนการฟอกย้อม

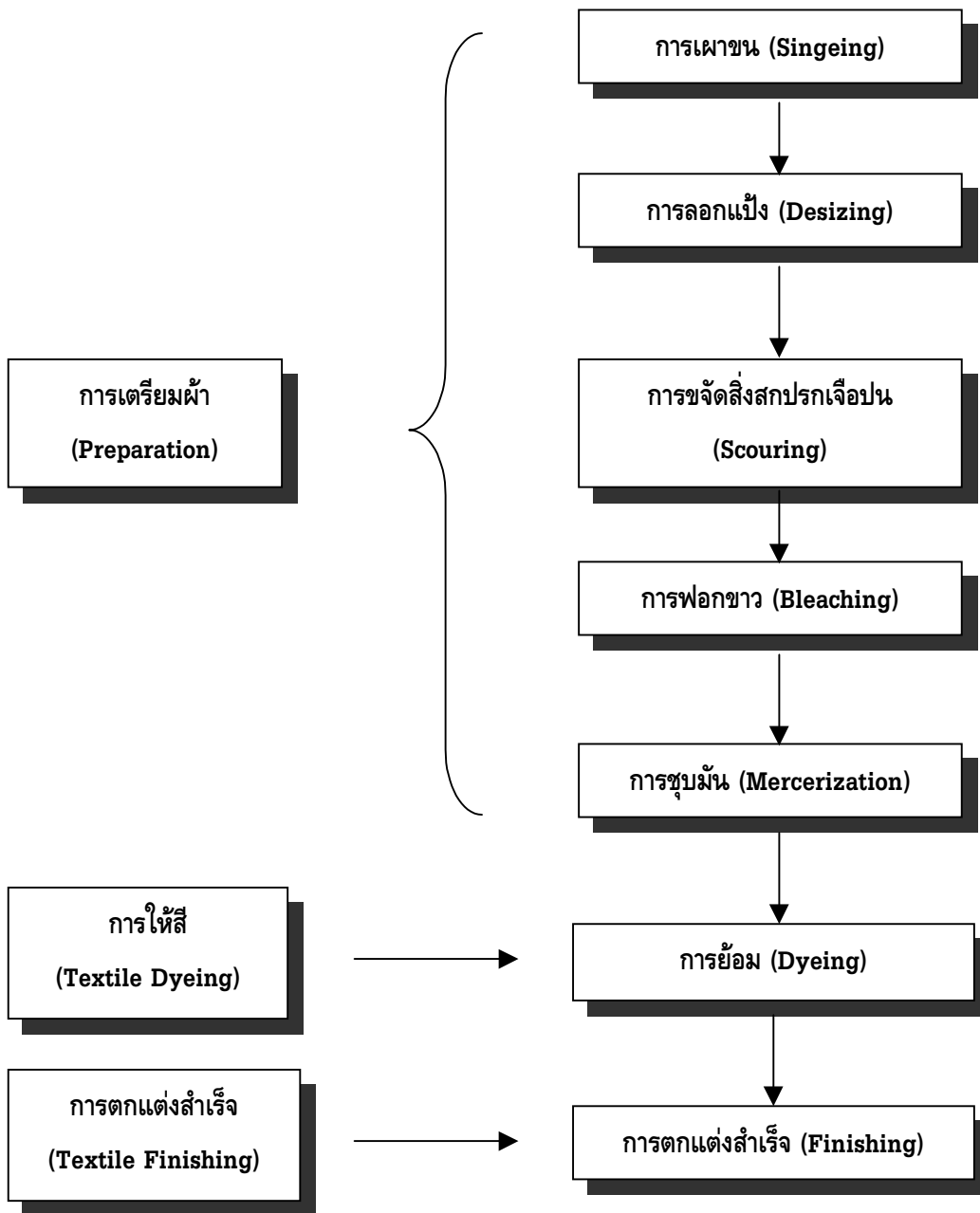
อุตสาหกรรมฟอกย้อมเป็นอุตสาหกรรมขั้นกลางในอุตสาหกรรมสิ่งทอทั้งระบบ ทำหน้าที่เปลี่ยนวัสดุสิ่งทอในรูปที่ยังเป็นวัตถุดิบ คือ เส้นด้ายดิบหรือผ้าดิบ ให้เป็นวัสดุสำเร็จที่สามารถนำไปจำหน่ายแก่ผู้บริโภคได้โดยตรง หรือนำไปใช้ทำเป็นวัตถุดิบของอุตสาหกรรมขั้นปลายได้ กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมฟอกย้อมส่วนใหญ่เป็นกระบวนการทางเคมีที่อาศัยการปรับเปลี่ยนคุณสมบัติของเส้นใย โดยการใช้สารเคมีและสีย้อมที่เหมาะสมซึ่งอาศัยน้ำเป็นตัวกลาง อุตสาหกรรมฟอกย้อมจึงเป็นอุตสาหกรรมที่มีความต้องการใช้น้ำมาก กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมฟอกย้อมประกอบด้วยกระบวนการหลักที่สำคัญ 3 กระบวนการ (รูปที่ 2-1) ดังนี้

#### 2.1 การเตรียมผ้า (Preparation)

กระบวนการเตรียมผ้า นับว่าเป็นขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญมากต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่จะผลิตได้จากการฟอกย้อมและตกแต่งสำเร็จ ทั้งนี้เพราะขั้นตอนนี้เป็นการนำเส้นด้ายหรือผ้าดิบออกจากโรงปั่นหรือทอ มาผ่านกระบวนการต่าง ๆ เพื่อเตรียมเส้นด้ายหรือผ้านั้นให้อยู่ในสภาพที่สามารถนำไปย้อมสีหรือตกแต่งสำเร็จได้เป็นอย่างดี

จุดมุ่งหมายที่สำคัญของขั้นตอนการเตรียมสิ่งทอมีดังนี้

- 1) เพื่อขจัดสิ่งสกปรกเจือปนในเส้นใย ทำให้เส้นใยมีความสะอาดและมีการดูดติดสีย้อมและสารเคมีต่าง ๆ อย่างสม่ำเสมอ โดยปกติเส้นด้ายหรือผ้าดิบที่ออกมาจากโรงปั่นหรือโรงทอ ไม่ว่าจะเป็นเส้นด้ายหรือผ้าที่ทำจากใยธรรมชาติ ใยประดิษฐ์ หรือใยสังเคราะห์ก็ดี ล้วนต้องมีสิ่งสกปรกชนิดต่าง ๆ เจือปนติดมาด้วยเสมอ จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของเส้นใยและกระบวนการที่ใช้ในการปั่น ทอ หรือถัก เช่น พวกสารหล่อลื่นที่มีการเติมลงไปในช่วงขั้นตอนการปั่นใยสังเคราะห์ แป้งที่ใช้ลงเส้นด้ายย้อมที่ใช้ในการทอผ้า ตลอดจนสิ่งสกปรกเปื้อนอื่นต่าง ๆ ที่เส้นใยอาจติดมาในระหว่างขั้นตอนต่าง ๆ ก่อนถึงการเตรียม เป็นต้น สิ่งสกปรกเจือปนเหล่านี้ ถ้าไม่ขจัดให้หมดไปก็อาจส่งผลกระทบต่อทำให้เกิดปัญหาขึ้นได้ในขั้นตอนการย้อมพิมพ์หรือตกแต่งสำเร็จที่ตามมา
- 2) เพื่อให้เส้นใยมีการดูดซึมน้ำได้ดี อันจะทำให้กระบวนการย้อม พิมพ์ และตกแต่งสำเร็จที่ตามมาสามารถดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพที่สุด สามารถประหยัดเวลาและสารเคมีที่ใช้ลงได้
- 3) เพื่อช่วยให้การย้อม พิมพ์ หรือตกแต่งสำเร็จ ในขั้นตอนต่อไปบังเกิดผลตามที่ต้องการอย่างเต็มที่ ยกตัวอย่างเช่น ในการทำผ้าขาวซึ่งจะต้องมีการตกแต่งขาวนั้น เพื่อให้ได้ผ้าที่มีความขาวสูงสุด ในขั้นตอนการเตรียมผ้าควรได้รับการฟอกขาวมาอย่างดี หรืออย่างในกรณีของผ้าที่ต้องการให้มีความเงามันเป็นพิเศษ ในขั้นตอนการ



รูปที่ 2-1 กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมฟอกย้อม

เตรียมก็ควรต้องมีการเผาขนผ้า และผ่านการตากแห้งสำเร็จเพื่อให้ผ้าเกิดความเงามันอาจใช้วิธีอัดรีดด้วยลูกกลิ้งจะได้ผ้าที่มีความเงามันสูงสุด

4) เพื่อให้เส้นใยมีการดูดติดสีและสารเคมีได้มากขึ้น เช่น วิธีการชุบมัน ในกรณีของผ้าฝ้าย เป็นต้น

5) เพื่อให้เส้นใยมีความคงรูป ไม่เสียรูปไปในระหว่างขั้นตอนการตากแห้งอื่น ๆ ในภายหลัง กรณีนี้มักจะเกิดกับพวกใยสังเคราะห์ ซึ่งถ้าไม่ทำการเซทด้วยความร้อนก่อนแล้ว ก็มักจะเกิดการหดหรือเสียรูปไปในระหว่างการย้อม

สำหรับกระบวนการที่ใช้ในการเตรียมสิ่งทอ มีอยู่หลายประการที่สำคัญมีดังนี้คือ

### 2.1.1 การเผาขน (Singeing)

ในเส้นด้ายที่ปั่นจากใยสั้นที่เรียกว่าเส้นด้ายสับนั้น มักจะมีปลายเส้นใยโผล่ขึ้นมาเหนือพื้นผิวของเส้นด้ายเป็นจำนวนมาก และเมื่อเส้นด้ายนั้นถูกนำไปทอเป็นผืนผ้า ปลายเส้นใยที่โผล่ขึ้นมาเหนือผิวเส้นด้ายก็จะมีมากขึ้น สืบเนื่องจากการเสียดสีที่เกิดขึ้นในระหว่างการทอ ปลายเส้นใยที่โผล่ผิวเส้นด้ายนี้ มีผลทำให้พื้นผิวผ้าดูไม่เรียบ เป็นการทำลายความเงามันของผ้า จึงได้มีการคิดวิธีการกำจัดปลายเส้นใยดังกล่าวนี้เสีย ด้วยการให้ความร้อนเผาทำลาย กระบวนการนี้จึงมีชื่อเรียกว่า การเผาขน

กระบวนการเผาขนมีจุดมุ่งหมายที่สำคัญดังนี้

1) เพื่อให้ผ้ามีพื้นผิวที่ดูเรียบและมีความเงามันดีขึ้น กระบวนการนี้จำเป็นโดยเฉพาะสำหรับผ้าที่จะนำไปชุบมัน อัดรีด หรือขัดมัน ทั้งนี้เพื่อให้ได้ผ้าที่มีความเงามันสูงสุด

2) การเผาขนเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับผ้าพิมพ์ ถ้าต้องการให้ได้ลายที่คมชัด โดยเฉพาะในการพิมพ์ลายละเอียด ปลายเส้นใยที่โผล่อยู่เหนือพื้นผิวผ้า สามารถดูดซึมสีและแผ่กระจายไปบนผ้าทำให้ลายดูไม่คมชัด นอกจากนี้ในการพิมพ์โดยใช้เครื่องพิมพ์แบบลูกกลิ้ง ปลายเส้นใยอาจถูกปลายมีดปาดสีตัดออกและเกิดการสะสมไว้ตรงปลายมีด อันจะทำให้เกิดความเสียหายต่อลายพิมพ์ได้

3) ในผ้าใยสังเคราะห์ เช่น โพลีเอสเตอร์ การเผาขนสามารถช่วยลดปัญหาการเกิดขุยบนผ้าเมื่อใช้ไปนาน ๆ ได้

กระบวนการเผาขนนี้ ส่วนมากจะกระทำกับผ้าผืนโดยเฉพาะผ้าฝ้าย ผ้าใยผสมที่มีฝ้ายเป็นส่วนผสมอยู่ด้วย สำหรับการเผาขนเส้นด้ายก็มีบ้าง โดยเฉพาะสำหรับเส้นด้ายที่จะนำไปทำการชุบมันต่อกรรมวิธีการเผาขนโดยทั่วไปประกอบด้วยการผ่านผ้าไปในเปลวแก๊ส หรือไปบนแผ่นโลหะที่ถูกเผาจนร้อนในอัตราความเร็วที่สูงพอที่ผ้าจะไม่ติดไฟ แต่ในขณะที่เดียวกันก็ซ้ำพอที่ปลายเส้นใยที่โผล่ขึ้นมาเหนือผิวเส้นด้ายจะถูกเผาทำลายไป ในปัจจุบันวิธีการเผาโดยใช้เปลวแก๊ส เป็นวิธีที่ใช้กันมากที่สุด เนื่องจากให้ผลดีกว่าวิธีอื่น ๆ

### 2.1.2 การลอกแป้ง (Desizing)

การลอกแป้ง เป็นขั้นตอนที่มีความจำเป็นสำหรับผ้าทอ เนื่องจากในการทอจะต้องมีการลงแป้งเส้นด้ายยืน เพื่อให้การทอดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพ แต่เมื่อนำผ้าที่ทอเสร็จแล้วไปทำการฟอกย้อม แป้งที่เคลือบอยู่บนเส้นด้ายจะมีผลกระทบต่อคุณสมบัติในการดูดซึมน้ำและสารเคมีของเส้นใย ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องทำการขจัดออกไป ขั้นตอนการลอกแป้งมีความสำคัญพอสรุปได้ดังนี้คือ

- 1) การลอกแป้งทำให้ผ้ามีคุณสมบัติในการเปียกน้ำได้ดีและสม่ำเสมอ อันจะช่วยทำให้การตกแต่งผ้าในขั้นต่อไป เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น สามารถประหยัดเวลาและสารเคมีที่ใช้
- 2) ทำให้ผ้ามีคุณสมบัติในการดูดติดสีและสารเคมีอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งผืน
- 3) ทำให้ผ้ามีความนุ่มต่อการสัมผัส ไม่หยาบและแข็งกระด้าง

สารลงแป้งมาจากกระบวนการลงแป้งเส้นด้ายยืนในกระบวนการทอผ้า สารลงแป้งนี้ประกอบด้วยสารหลายชนิด เช่น แป้งธรรมชาติ แป้งดัดแปลง สารสังเคราะห์ อาทิ พีวีเอ อะคริลิก ฯลฯ สารสังเคราะห์จะล้างออกได้ง่ายโดยใช้น้ำสบู่อุ่นที่ประมาณ 90° เซลเซียส สำหรับแป้งธรรมชาติมีปัญหาในการกำจัดออกมากที่สุด เนื่องจากแป้งธรรมชาติไม่ละลายน้ำ ซึ่งการกำจัดแป้งหรือการลอกแป้งมีวิธีการดังนี้

- ก. หลักการกำจัดแป้งหรือการลอกแป้ง
 

แป้งธรรมชาติเป็นสารโมเลกุลใหญ่ อาจกล่าวได้ว่าไม่ละลายน้ำ หากต้องการให้ละลายน้ำได้ต้องทำให้ขนาดโมเลกุลเล็กลงด้วยการย่อยสลายโดยเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี

แป้ง (starch) → การเปลี่ยนแปลงทางเคมี → สารละลาย (น้ำตาล)
- ข. ปฏิกิริยาการย่อยแป้ง
  - ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis reaction) แป้งถูกไฮโดรไลซิสได้ ด้วยกรดและด่าง ทำให้โมเลกุลเล็กลงจนสามารถละลายน้ำได้
  - ปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน (oxidation-reduction reaction) แป้งถูกออกซิไดส์ ด้วยสารออกซิไดซิง เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $H_2O_2$ ) หรือพอกไฮโปคลอไรท์ (OCI)
- ค. กระบวนการกำจัดแป้ง
 

การกำจัดแป้งสามารถทำได้ 4 วิธีดังนี้

  - (1) การหมัก (rot steeping) กรรมวิธีประกอบด้วย การจุ่มผ้าให้เปียกแล้วหมักไว้ที่อุณหภูมิห้องปล่อยให้แบคทีเรียในน้ำและอากาศย่อยสลาย ต้องใช้เวลานานมาก (ประมาณ 30 ชั่วโมง)
  - (2) การใช้กรด (acid steeping) วิธีนี้ใช้กรดทำปฏิกิริยากับแป้ง ความแรงของกรด ความเข้มข้น และอุณหภูมิเป็นตัวแปรในการทำปฏิกิริยาของกรด กรดสามารถย่อยสลายเส้นใยได้โดยเฉพาะเส้นใยฝ้าย ดังนั้นเวลาใช้กรดกำจัดแป้งให้ระวังเรื่องการทำลายเส้นใย
  - (3) การใช้เอนไซม์ (enzymatic desizing) เอนไซม์เป็นสารชีวเคมีที่มีความเฉพาะเจาะจงสูง ดังนั้นเวลาเกิดปฏิกิริยากับสารจะเกิดกับสารเฉพาะอย่างเท่านั้น เช่น เอนไซม์ที่ใช้ย่อยแป้งเรียกชื่อ

ว่า amylase จะเกิดปฏิกิริยากับแป้งเพียงอย่างเดียวไม่เกิดกับเส้นใยจึงไม่ทำลายเส้นใย เอนไซม์เป็นสารในกลุ่มโปรตีน สำหรับเอนไซม์ที่ใช้ย่อยแป้งมีชื่อเรียกว่าอะไมเลส (amylase) ได้จากสิ่งมีชีวิต ทั้งพืชและสัตว์ดังนี้คือ

- จากแบคทีเรีย (bacterial enzyme)
- จากมอลท์ (malt enzyme)
- จากตับอ่อน (pancreatic enzyme)

หากใช้คุณสมบัติเรื่องการทนอุณหภูมิมาเป็นเครื่องกำหนดก็สามารถจำแนก

เอนไซม์ออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ เอนไซม์ที่ใช้อุณหภูมิต่ำ (75 °C) เช่น aquazyme, amylase, biolase กับเอนไซม์ที่ใช้อุณหภูมิสูง (98 °C) เช่น thermamyl

ตัวแปรที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์

- ปริมาณเอนไซม์
- อุณหภูมิ
- ความเป็นกรด-ด่าง (pH)
- ปริมาณเกลือ

ตัวอย่างสูตรการลอกแป้งในเครื่อง jig ที่ใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักผ้าต่อน้ำหนักสารละลาย (Liquor Ratio ; L : R) ที่ใช้ลอกแป้ง = 1 : 3

เอนไซม์	2-5	กรัม/ลิตร
สารช่วยเปียกชนิดไม่มีประจุ	1-2	กรัม/ลิตร
โซเดียมคลอไรด์ (NaCl)	5	กรัม/ลิตร
สารจับโลหะ (Complexing Agent)	1	กรัม/ลิตร
กรดอะซิติก (CH <sub>3</sub> COOH) เพื่อปรับ pH ให้เป็น 6.5		

อุณหภูมิ 65-70 °C หรือ 98 °C โดยการผ่านสารลอกแป้ง 3-4 ครั้ง  
 ลอกแป้ง → ล้างด้วยน้ำร้อน (หรือ scouring) → ล้างด้วยน้ำเย็น

ตัวอย่างสูตรการลอกแป้งในเครื่อง winch beck L : R = 1 : 20

เอนไซม์	0.5-1	กรัม/ลิตร
สารช่วยเปียกชนิดไม่มีประจุ	0.5-1	กรัม/ลิตร
โซเดียมคลอไรด์ (NaCl)	1	กรัม/ลิตร
สารจับโลหะ (Complexing Agent)	1	กรัม/ลิตร
กรดอะซิติก (CH <sub>3</sub> COOH) เพื่อปรับ pH ให้เป็น 6.5		

อุณหภูมิ 65-70 °C หรือ 98 °C ระยะเวลา 45-60 นาที  
 ลอกแป้ง → ล้างด้วยน้ำร้อน (หรือ scouring) → ล้างด้วยน้ำเย็น

ตัวอย่างสูตรการลอกแป้งในเครื่อง pad batch 100% pick up

เอนไซม์	2-5	กรัม/ลิตร
สารช่วยเปียกชนิดไม่มีประจุ	1-2	กรัม/ลิตร
โซเดียมคลอไรด์ (NaCl)	5	กรัม/ลิตร
สารจับโลหะ (Complexing Agent)	1	กรัม/ลิตร

กรดอะซิติก (CH<sub>3</sub>COOH) เพื่อปรับ pH ให้เป็น 6.5

อุณหภูมิ 65-70 °C ระยะเวลา 4-6 ชั่วโมง

ลอกแป้ง → ล้างด้วยน้ำร้อน (หรือ scouring) → ล้างด้วยน้ำเย็น

(4) การกำจัดแป้งด้วยสารออกซิไดซิง

สารออกซิไดซิงที่ใช้ได้แก่ สารประกอบเปอร์ซัลเฟต หรือเปอร์ออกไซด์ เช่น โซเดียมเปอร์ซัลเฟต (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>) โพแทสเซียมเปอร์ซัลเฟต (K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) ข้อดีของการใช้สารกลุ่มนี้คือ จะได้ผ้าที่ขาวกว่าวิธีอื่น ๆ เนื่องจากสารกลุ่มนี้เกิดการฟอกขาว (bleach) ด้วยนอกจากการกำจัดแป้ง ส่วนข้อเสียก็มีเช่นกันคือ การทำลายเส้นใยถ้าหากใช้ในปริมาณที่มากเกินไปหรือสภาวะรุนแรงเกินไป

ตัวอย่างสูตรการลอกแป้งที่ทำในเครื่อง jig (oxidative desizing)

L : R = 1 : 3

โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)	5-10	กรัม/ลิตร
สารช่วยเปียก (Wetting Agent)	2	กรัม/ลิตร
โซเดียมเปอร์ซัลเฟต (Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>8</sub> )	3-5	กรัม/ลิตร

อุณหภูมิ 90-98 °C ระยะเวลา 30-45 นาที

ลอกแป้ง → ล้างด้วยน้ำร้อน → ล้างด้วยน้ำเย็น

ปริมาณสารต่าง ๆ ที่กำหนดไว้ในสูตรเป็นเพียงแนวทางสำหรับการทดลองเท่านั้น ค่าที่เหมาะสมต้องได้จากผลการทดลองในห้องปฏิบัติการของโรงงาน โดยยึดสภาวะการผลิตในโรงงานเป็นเกณฑ์ เพราะปริมาณสารในผลิตภัณฑ์ที่ใช้แต่ละบริษัทไม่เท่ากัน ในโรงงานฟอกย้อมส่วนใหญ่ โรงงานมักจะทำการลอกแป้งไปโดยที่ไม่ทราบชนิด และส่วนผสมของแป้งบนผ้าที่แท้จริง เพราะการที่โรงฟอกย้อมจะทำการวิเคราะห์สารลงแป้งบนผ้าเองนั้นเป็นเรื่องที่ยุ่งยากและต้องเสียค่าใช้จ่ายมาก โรงงานทั่วไปจึงมักจะมีวิธีลอกแป้งมาตรฐานของตนเองที่คิดว่าเป็นวิธีที่สามารถขจัดแป้งได้มากที่สุด โดยจะไม่มีกรปรับเปลี่ยนสูตรมากนัก แม้ว่าผ้าที่เข้ามาจะผ่านการลงแป้งมาคนละครั้ง หรือมีส่วนผสมและชนิดของสารลงแป้งที่แตกต่างกันก็ตาม โรงงานที่มีทั้งการทอและฟอกย้อมจะได้เปรียบในเรื่องนี้ เนื่องจากสามารถรู้ถึงส่วนผสมที่แท้จริงของแป้งบนผ้าแต่ละผืนทำให้โรงงานสามารถปรับสูตรการลอกแป้งให้เหมาะสมได้

### 2.1.3 การขจัดสิ่งสกปรก (Scouring)

การขจัดสิ่งสกปรก หมายถึงการกำจัดไขมันและสารปนเปื้อนต่าง ๆ เช่น สารประกอบพวกเกลือ ทั้งอินทรีย์และอนินทรีย์ ขั้นตอนการขจัดสิ่งสกปรกเป็นขั้นตอนที่จำเป็นสำหรับวัสดุสิ่งทอทุกประเภท เนื่องจากเส้นใยทุกชนิดมักจะต้องมีสิ่งสกปรกเจือปนติดมาด้วยเสมอ ไม่ว่าจะเป็นสิ่งที่ติดมาตามธรรมชาติ หรือสิ่งติดมาในขั้นตอนการทอ สิ่งสกปรกเจือปนเหล่านี้จำเป็นต้องกำจัดออกไปเพื่อให้เส้นใยมีการดูดซึมน้ำได้ดี และสามารถดูดย้อมสี และสารเคมีอย่างสม่ำเสมอ กรรมวิธีการขจัดสิ่งสกปรกของเส้นใยแต่ละชนิดมีวิธีการที่ไม่เหมือนกัน ขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดของสิ่งสกปรกในเส้นใยแต่ละชนิด โดยปกติเส้นใยธรรมชาติจะมีสิ่งสกปรกอยู่มากกว่าใยสังเคราะห์ เพราะฉะนั้นจึงต้องการกรรมวิธีการกำจัดที่รุนแรงกว่า ยกตัวอย่างเช่น ในกรณีของใยฝ้ายโดยเฉลี่ยจะมีสิ่งสกปรกเจือปนติดมาจากธรรมชาติถึง 10% ของน้ำหนักเส้นใยทั้งหมด สิ่งสกปรกเจือปนที่สำคัญประกอบด้วยสารขี้ผึ้ง สารพวกเปคติน โปรตีน พวกเศษใบไม้กิ่งไม้ และเศษเมล็ดฝ้าย เป็นต้น การขจัดสิ่งสกปรกเจือปนในใยฝ้ายต้องใช้วิธีต้มฝ้ายในสารละลายของโซดาไฟ สิ่งสกปรกเจือปนจึงถูกทำลายและละลายน้ำหลุดออกมา การตรวจสอบประสิทธิภาพในการขจัดสิ่งสกปรกจากฝ้ายนี้ สามารถกระทำได้ด้วยการตรวจสอบสมบัติในด้านการดูดซึมน้ำของผ้า การตรวจดูความขาว การวิเคราะห์ปริมาณสารขี้ผึ้งที่เหลือ และการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำหนักที่ลดลงไป เป็นต้น สำหรับการขจัดสิ่งสกปรกเจือปนจากพวกใยสังเคราะห์นั้น สามารถกระทำได้ง่ายกว่าฝ้าย เนื่องจากเส้นใยเหล่านี้อยู่ในสภาพที่ค่อนข้างสะอาดอยู่แล้ว สิ่งสกปรกเจือปนที่มีส่วนมากเป็นเพียงพวกสารหล่อลื่นที่ถูกเติมเข้าไปในช่วงการปั่นเส้นด้ายเท่านั้น สารหล่อลื่นสามารถขจัดออกได้ด้วยการต้มในน้ำที่มีสารซักฟอก และตามด้วยการซักล้างในน้ำจนสะอาด

สารเคมีและปฏิกิริยาเคมีที่ใช้ในการขจัดสิ่งสกปรกมีดังนี้

- โซดาไฟ (Sodium hydroxide : NaOH) ทำปฏิกิริยากับไขมันโดยเปลี่ยนไขมันให้เป็นสบู่ที่ละลายน้ำได้ นอกจากนี้ยังทำให้เส้นใยขยายตัว สิ่งสกปรกต่าง ๆ ถูกกำจัดออกได้ง่ายขึ้น ปฏิกิริยาระหว่างโซดาไฟกับไขมันเกิดดังนี้



ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงนี้ ได้แก่ ความร้อน นอกจากนี้ต่างยังช่วยกำจัดสารอื่น ๆ อีก เช่น โปรตีน เพกทิน สารลงแป้งที่ตกค้าง เกลือแร่ต่าง ๆ ให้ละลายหลุดออกมา

- น้ำสบู่ (Detergents) ทำหน้าที่กำจัดไขมันในลักษณะที่ทำให้เกิดเป็นอิมัลชัน (Emulsion) และกำจัดสิ่งสกปรกอื่น ๆ ออกจากวัสดุรวมทั้งป้องกันมิให้ย้อนกลับไปติดบนวัสดุอีก น้ำสบู่แบ่งออกเป็น 4 ชนิด ได้แก่ พวกไม่มีประจุไฟฟ้า (nonionic detergents) พวกมีประจุลบ (anionic detergents) พวกมีประจุบวก (cationic detergents) และพวกมีทั้งประจุบวกและประจุลบ (amphoteric detergents) แต่ละกลุ่มจะมีคุณสมบัติแตกต่างกันออกไป ได้แก่ ความสามารถในการแทรกซึม (penetration property) ความสามารถในการซักล้าง (detergency property) ความสามารถในการเกิดอิมัลชัน (emulsifying property)

- สารจับโลหะ (complexing agents) เป็นพวกลิแกนด์ (ligands) หรือคีเลต (chelates) สารนี้สามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับไอออนของโลหะ เช่น  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  เป็นสารที่ละลายน้ำ



ได้ในสภาวะต่าง อีออนเหล่านี้จะเกิดตะกอนไฮดรอกไซด์ที่ไม่ละลายน้ำในสภาพต่างปกติ ตะกอนไฮดรอกไซด์เหล่านี้มีผลเสียต่อการฟอกผ้าด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $H_2O_2$ ) อีออนเหล่านี้นอกจากจะพบในน้ำแล้วยังพบว่ามาจากวัสดุด้วย เช่น ฝ้าย

## 2.1.4 การฟอกขาว

การฟอกขาว (bleaching) หมายถึง การกำจัดสารมีสีในธรรมชาติที่ติดมากับวัสดุสิ่งทอ โดยใช้ปฏิกิริยาเคมีทำให้เส้นใยมีความขาวขึ้น ขั้นตอนการฟอกขาวนี้ เป็นขั้นตอนที่จำเป็นโดยเฉพาะกับผ้าที่จะนำไปทำเป็นผ้าขาว และสำหรับผ้าที่จะถูกนำไปย้อมสีอ่อนเพื่อให้ได้สีที่สดใส และไม่ผิดไปจากสีที่ใช้ สำหรับผ้าที่จะนำไปย้อมสีเข้ม ไม่จำเป็นต้องผ่านขั้นตอนนี้ ในกรณีของใยสังเคราะห์ก็เช่นกัน เนื่องจากใยสังเคราะห์ส่วนมากค่อนข้างขาวอยู่แล้ว จึงไม่จำเป็นต้องผ่านขั้นตอนการฟอกขาวอีก นอกจากนี้ในบางกรณีที่ต้องการความขาวมากเป็นพิเศษเท่านั้น

สารที่ใช้ในการฟอกขาวมีหลายชนิด ซึ่งสารเหล่านี้จะมีลักษณะในการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งมีข้อดีและข้อเสียที่จะต้องพิจารณาว่ากระบวนการฟอกขาวหรือสารเคมีประเภทใดเหมาะสมที่สุด หลักเกณฑ์นั้นได้แก่

- วัสดุที่ผ่านกระบวนการแล้ว จะต้องได้รับความขาวบริสุทธิ์และคงทนถาวร
- ต้องมีคุณสมบัติที่ย้อมสีได้สม่ำเสมอ
- วัสดุที่ได้ต้องไม่เปื่อย ซึ่งอาจจะเนื่องมาจากถูกทำลายด้วยสารเคมี หรือมีการแตกหัก

ภายในโมเลกุลของเส้นใย ทำให้ความแข็งแรงของเส้นใยลดลง

สารเคมีที่ใช้ในการฟอกขาวแบ่งเป็น 2 กลุ่มได้แก่

- สารออกซิไดส์ เป็นสารที่ทำให้สารอื่นเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ได้แก่ สารประกอบเปอร์ออกไซด์ เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $H_2O_2$ ) โซเดียมเปอร์ออกไซด์ ( $Na_2O_2$ ) เป็นต้น สารประกอบไฮโปคลอไรท์ เช่น โซเดียมไฮโปคลอไรท์ ( $NaClO$ ) และแคลเซียมไฮโปคลอไรท์ ( $Ca(OCl)_2$ ) เป็นต้น สารประกอบคลอไรท์ เช่น โซเดียมคลอไรท์ ( $NaClO_2$ ) เป็นต้น

- สารรีดิวซ์ เป็นสารที่ทำให้สารอื่นเกิดปฏิกิริยารีดักชัน ได้แก่ โซเดียมไฮโดรซัลไฟท์ ( $Na_2S_2O_4$ ) โซเดียมฟอร์แมลดีไฮด์ซัลฟอกซัลเฟต ( $HCHOHSO_2Na \cdot 2H_2O$ ) โซเดียมเมทาไบซัลไฟท์ ( $Na_2S_2O_5$ ) การฟอกขาวด้วยสารกลุ่มนี้จะให้ความขาวที่ไม่ถาวรเรียกว่า temporary white

สารฟอกขาวที่มีความสำคัญและใช้กันมากในวงการสิ่งทอ ได้แก่ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สารประกอบไฮโปคลอไรท์ และสารประกอบคลอไรท์ สารเคมีดังกล่าวจะมีภาวะการใช้งานหรือกลไกที่ต่างกันออกไป ดังนี้ คือ

### 2.1.4.1 การฟอกขาวด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $H_2O_2$ ) เป็นของเหลวคล้ายน้ำ มีความคงตัวสูงในสภาพกรด และแตกตัวได้สารที่เรียกว่า active oxygen ซึ่งสามารถทำลายสารมีสีได้ ต่างจะเป็นตัวเร่งให้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สลายตัวเร็วขึ้น ในขณะที่เดียวกันอีออนของโลหะบางอย่างก็เป็นตัวเร่งให้สลายตัวด้วยเช่นกัน เช่น อีออนของ

เหล็ก อีออนของทองแดง และอื่น ๆ ในการฟอกขาวด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ต้องทำในสภาพต่าง pH ประมาณ 11.5 มีสารชะลอการสลายตัวเรียกว่า peroxide stabilizer คอยควบคุมการแตกตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ให้พอเหมาะกับการฟอกเกิดการสูญเสียน้อยที่สุด นอกจากนี้ยังมีสารที่คอยจับอีออนของโลหะที่มีอยู่ในกระบวนการไม่ให้ไปรบกวนการทำงานของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

**ตัวอย่างสูตรการฟอกขาวด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์**

ผ้าฝ้าย 100% L : R = 1 : 20 อุณหภูมิ 100 °C เวลา 90 นาที		
โซดาไฟ (NaOH)	3	กรัม/ลิตร
น้ำสบู่	1	กรัม/ลิตร
สารควบคุมการสลายตัว (ตามที่ผู้ผลิตแนะนำ)		
หรือ โซเดียมซิลิเกต (2Na <sub>2</sub> O·SiO <sub>2</sub> )	4	กรัม/ลิตร
สารแก้ันกระด้างหรือจับอีออนของโลหะ	1	กรัม/ลิตร
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (50% w/w)	5	กรัม/ลิตร

การตรวจสอบหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ตกค้างบนผ้าก่อนนำผ้าไปย้อมสีอ่อนมีความจำเป็นมาก เพราะไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ตกค้างจะทำลายสีบางส่วน ทำให้ได้สีไม่ตรงกับความต้องการ การตรวจสอบทำได้โดยใช้กระดาษสำหรับตรวจไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ของเมอร์ค (peroxide indicator paper ; Merk) กระดาษนี้จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินที่ความเข้มข้นต่างกันขึ้นอยู่กับปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

**2.1.4.2 การฟอกขาวด้วยไฮโปคลอไรท์**

สารประกอบไฮโปคลอไรท์เป็นสารออกซิไดซิงที่รุนแรงมาก สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ที่อุณหภูมิต่ำ จึงสามารถทำการฟอกผ้าได้ที่อุณหภูมิห้อง สารประกอบที่ใช้ในการฟอกขาวมี 2 ชนิด ได้แก่ โซเดียมไฮโปคลอไรท์ (NaClO) อยู่ในรูปสารละลายมีปริมาณ available chlorine 15% w/w บางครั้งเรียกว่า น้ำคลอรีน ส่วนอีกชนิดหนึ่งเรียกว่า ปูนคลอรีนหรือผงคลอรีน คือ แคลเซียมไฮโปคลอไรท์ (Ca(OCl)<sub>2</sub>) มีปริมาณ available chlorine ประมาณ 35% w/w ไฮโปคลอไรท์จะให้ผลการฟอกที่ดีในช่วง pH 11-12 ดังนั้นในการฟอกจึงต้องควบคุม pH ให้อยู่ในช่วงนี้จึงจะได้ผลดี ข้อจำกัดของสารฟอกขาวประเภทนี้ คือ ห้ามใช้กับเส้นใยโปรตีนหรือเส้นใยที่มีไนโตรเจนเพราะนอกจากเส้นใยเหล่านี้จะไม่ขาวแล้ว บางครั้งยังเปลี่ยนเป็นสีเหลืองและเปื่อย เช่น ไหม ไนลอน การฟอกด้วยไฮโปคลอไรท์มีคลอรีนตกค้างบนเส้นใย หากไม่กำจัดออกจะเกิดผลเสีย คือ เส้นใยจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองและเกิดการทำลายเส้นใย ทำให้เส้นใยเปื่อย ดังนั้นเมื่อฟอกแล้วต้องกำจัดคลอรีนที่ตกค้างนี้ออกด้วยสาร reducing agents เช่น โซเดียมไบซัลไฟท์ (NaHSO<sub>3</sub>) โซเดียมไทโอซัลเฟต (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·5H<sub>2</sub>O) หรือ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) และปรับให้ผ้าเป็นกลาง วิธีนี้เรียกว่าการทำ antichlor

**ตัวอย่างสูตรการฟอกขาวด้วยไฮโปคลอไรท์**

available chlorine	2-5	กรัม/ลิตร
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)	1-2	กรัม/ลิตร

น้ำสบู	1	กรัม/ลิตร
ไบคาร์บอเนตบัพเฟอร์	2	กรัม/ลิตร
ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา	60	นาที

ฟอก → ล้าง → antichlor → ล้าง

antichlor : หมายถึง การกำจัดคลอรีนที่ตกค้างบนผ้าออก อาจใช้โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์หรือไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กับกรด เช่น กรดแอซิดิกหรือกรดไฮโดรคลอริกในกรณีที่ใช้แคลเซียมไฮโปคลอไรท์ฟอก

### 2.1.4.3 การฟอกขาวด้วยคลอรีน

สารประกอบคลอรีนที่ใช้ในการฟอกคือ โซเดียมคลอรีน ( $\text{NaClO}_2$ ) ซึ่งมี 2 ลักษณะคือ เป็นสารละลายมีเนื้อสารประมาณ 40% และชนิดของแข็งมีเนื้อสารประมาณ 80% คลอรีนจะทำการฟอกได้ดีที่สภาพกรด pH 3-4 ถ้า pH ต่ำกว่า 3 จะเกิดแก๊สพิษขึ้นมากคือ แก๊สคลอรีนไดออกไซด์ ( $\text{ClO}_2$ ) มีฤทธิ์กัดกร่อนโลหะสูงมาก ดังนั้นเครื่องจักรที่จะใช้งานกับคลอรีนจะต้องเป็นโลหะพิเศษ หรือต้องใช้สารยับยั้งการกัดกร่อน เช่น เกลือฟอสเฟต เกลือไนเตรท คลอรีนมีข้อดีคือฟอกแล้วให้ความขาวมากและไม่ทำลายเส้นใยหรือทำลายน้อยสามารถใช้ฟอกเส้นใยสังเคราะห์ได้ดีทั้งเส้นใยโพลีเอสเตอร์ โพลีเอไมด์ (ไนลอน) และโพลีอะครีโลไนไตรล (อะคริลิก)

ตัวอย่างสูตรการฟอกขาวด้วยคลอรีน

เส้นใยฝ้าย 100% L : R = 1 : 20

โซเดียมคลอรีน ( $\text{NaClO}_2$ ) (80%)	3	กรัม/ลิตร
โซเดียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ( $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ )	2	กรัม/ลิตร
โซเดียมไนเตรด ( $\text{NaNO}_3$ )	3	กรัม/ลิตร
กรดฟอร์มิก ( $\text{HCOOH}$ ) เพื่อปรับ pH ให้เป็น 4	1-2	กรัม/ลิตร
น้ำสบู	1	กรัม/ลิตร

อุณหภูมิ 85 - 90 °C เวลา 60 นาที

ฟอก → ล้าง → antichlor → ล้าง

สรุปข้อดีข้อด้อยของการฟอกขาวแบบต่าง ๆ

การฟอก	ข้อดี	ข้อด้อย
ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ไม่เกิดอาการเหลือง (yellowing)</li> <li>● ปลอดภัยต่อเส้นใยไม่เป็นพิษ</li> <li>● ใช้กับเส้นใยโปรตีนได้</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● เกิดรูเล็ก ๆ (pinholes) บนผ้าถ้ามีอิมอนของเหล็ก</li> <li>● ทำให้ผิวหนังฟองขาว</li> <li>● เป็นสารสนับสนุนการติดไฟ</li> </ul>
ไฮโปคลอไรท์	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ราคาถูก</li> <li>● มีประสิทธิภาพดี</li> <li>● ง่ายต่อการใช้งาน</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● กัดกร่อน เป็นอันตราย</li> <li>● ไม่สามารถใช้กับเส้นใยโปรตีนได้</li> <li>● สลายตัวเร็ว ขณะเก็บรักษา โดยเฉพาะที่เป็นกรด</li> </ul>
คลอไรท์	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ไม่ทำลายเส้นใยเซลลูโลส</li> <li>● ประสิทธิภาพสูง</li> <li>● ไม่เกิด pinholes</li> <li>● ใช้งานในสภาพกรด</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● มีกลิ่นฉุนเหม็น</li> <li>● เป็นแก๊สพิษ กัดกร่อนโลหะสูงมาก</li> <li>● ใช้กับเส้นใยโปรตีนไม่ได้</li> <li>● เกิดมลภาวะจากคลอรีน</li> </ul>

### 2.1.5 การชุบมัน (Mercerization)

John Mercer เป็นผู้เริ่มต้นกระบวนการชุบมันเมื่อปี ค.ศ. 1850 โดยที่นำผ้าฝ้ายไปผ่านสารละลายความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์สูง และพบว่าผ้าฝ้ายนั้นมีคุณสมบัติต่างไปจากเดิมคือ มีความสามารถดูดซับน้ำและสีย้อมดีขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าผ้าหดตัว ต่อมา H.A. Lowe พบว่าการหดตัวของผ้าที่เกิดขึ้นในกระบวนการข้างต้นนี้สามารถหลีกเลี่ยงได้ โดยการซึ่งผ้าให้ตั้งในขณะที่ยังผ่านผ้าลงในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ผ้าที่ได้นอกจากจะสามารถดูดซับน้ำและสีย้อมได้ดีขึ้น ยังมีความเงาและมีความแข็งแรงมากขึ้นด้วย การชุบมันผ้าหรือเส้นด้ายฝ้ายด้วยสารละลายชนิดนี้จึงเป็นที่นิยมทำกันในเวลาต่อมา

การชุบมันนอกจากจะกระทำกับผ้าฝ้ายแล้วยังสามารถกระทำกับผ้าจากเส้นใยผสม เช่น เส้นใยฝ้ายผสมกับเส้นใยโพลีเอสเตอร์ เนื่องจากผ้าชนิดนี้จะไม่ผ่านกระบวนการทำความสะอาด หรือ scouring ส่วนของ

ขี้ผึ้งและไขมัน (wax and fats) ที่อยู่ใฝ่ยั้งไม่ถูกกำจัดออก เส้นใฝ่ยั้งใฝ่ยั้งนี้จึงดูดซับน้ำไม่ค่อยดีนัก การชุบมันจะไปช่วยสกัดขี้ผึ้งและไขมันใฝ่ยั้งออกและทำให้เส้นใฝ่ยั้งฟองตัว มีความสามารถดูดซับน้ำได้ดีขึ้น โดยปกติแล้วเส้นใฝ่ยั้งโพลีเอสเตอร์จะถูกทำลายด้วยต่างความเข้มข้นสูง ณ ที่อุณหภูมิสูงและเวลานาน แต่ปฏิกิริยาของการชุบมันเกิดขึ้นในเวลาสั้น ๆ ที่อุณหภูมิห้องหรือต่ำกว่า โพลีเอสเตอร์ใฝ่ยั้งเส้นใฝ่ยั้งผสมจึงไม่ถูกทำลายใฝ่ยั้งกระบวนการชุบมัน จุดมุ่งหมายใฝ่ยั้งการทำให้กระบวนการชุบมันมีดังนี้

- เพื่อเพิ่มและปรับปรุงความสามารถใฝ่ยั้งการดูดติดสี
- เพื่อเพิ่มความสดใส และเงามัน
- เพื่อให้วัสดุมีผิวสัมผัสที่อ่อนนุ่มขึ้น
- เพื่อเพิ่มความคงทนและแข็งแรง
- เพื่อขจัดปัญหาเส้นใฝ่ยั้งที่เป็น dead cotton
- เพื่อเพิ่มและปรับปรุงความคงตัว
- เพื่อช่วยใฝ่ยั้งการขจัดแบ่งส่วนที่เหลื่อจากการลอกแบ่ง
- เพื่อเพิ่มและปรับปรุงความสามารถใฝ่ยั้งการดูดซึม

ประเภทของการชุบมัน สามารถแบ่งตามสารเคมีที่ใฝ่ยั้งออกเป็น 2 ประเภทใฝ่ยั้งใหญ่ ๆ คือ

- การชุบมันด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือคอสติโกโซดา
- การชุบมันด้วยแอมโมเนียมเหลว

### 2.1.5.1 การชุบมันด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือคอสติโกโซดา

สารละลายต่างประเภทที่มีคุณสมบัติคล้าย ๆ กันที่สามารคนำมาใช้เป็นสารชุบมัน ได้แก่ สารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์ (Lithium hydroxide : LiOH) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide : NaOH) และสารละลายโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (potassium hydroxide : KOH) แต่สารละลายลิเทียมไฮดรอกไซด์และสารละลายโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ มีข้อจำกัดใฝ่ยั้งการใฝ่ยั้งอย่างไม่เหมาะสมต่อการชุบมัน จึงนิยมใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มากกว่า การชุบมันใฝ่ยั้งด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถทำได้ทั้งใฝ่ยั้งรูปใฝ่ยั้งผืนและเส้นด้ายด้วยเครื่องชุบมันที่ต่างกัน ทั้งใฝ่ยั้งผ้าและเส้นด้ายนั้นต้องสะอาดปราศจากรอยจุดหรือรอยคราบน้ำมัน เพราะเมื่อนำใฝ่ยั้งผ้าหรือเส้นด้ายที่เปื้อนน้ำมันมาชุบมันและย้อมแล้วจะได้สีใฝ่ยั้งไม่สม่ำเสมอ

การชุบมัน หรือเมอร์เซอไรเซชัน (mercerization) เป็นกระบวนการที่คล้าย ๆ กับอีกกระบวนการหนึ่งใฝ่ยั้งเรียกว่า คอสติโกเซชัน (causticization) ทั้งสองกระบวนการกระทำกับใฝ่ยั้งผ้าใฝ่ยั้งและใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เช่นเดียวกัน แต่คอสติโกเซชันใช้สารละลายความเข้มข้นต่ำกว่า คือ ประมาณ 10-20% W/W (หมายถึง โซเดียมไฮดรอกไซด์หนัก 10-20 กรัมละลายใฝ่ยั้งน้ำเป็นสารละลายหนักรวม 100 กรัม) มักทำใฝ่ยั้งเครื่องจิก (jig) ใฝ่ยั้งผ้าใฝ่ยั้งที่ได้จะมีการหดตัวสูง หนาและใฝ่ยั้งเงา แต่สามารถดูดซับสีใฝ่ยั้งได้ดี (ใฝ่ยั้งไม่ได้ใฝ่ยั้งใฝ่ยั้งแรงใฝ่ยั้ง) ขณะที่การชุบมัน หรือเมอร์เซอไรเซชัน ใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์สูงประมาณ 20-25% W/W กระทำกับใฝ่ยั้งผ้าใฝ่ยั้งที่ถูกขึงใฝ่ยั้งขึง ปัจจัยสำคัญของการชุบมันด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่

- เส้นใย
- ความเข้มข้นของสารชุบมัน
- อุณหภูมิของการชุบมัน
- ระยะเวลาของการชุบมัน
- ความตึงของผ้าขณะชุบมัน

### 2.1.5.2 การชุบมันด้วยแอมโมเนียเหลว

ในราว ๆ ปี ค.ศ. 1965 ได้มีการจดทะเบียนลิขสิทธิ์ 2 ฉบับ ว่าด้วยการใช้แอมโมเนียเหลวเป็นสารชุบมันเส้นด้ายฝ้ายสำหรับทอผ้าและสำหรับเย็บ การชุบมันฝ้ายด้วยแอมโมเนียยังไม่เป็นที่แพร่หลายนักในปัจจุบัน แอมโมเนียที่ใช้เป็นสารชุบมันจะต้องอยู่ในสภาพที่เป็นของเหลวบริสุทธิ์ปราศจากน้ำผสมอยู่ แก๊สแอมโมเนียและสารละลายแอมโมเนียไม่สามารถใช้เป็นสารชุบมันได้ แอมโมเนียเหลวบริสุทธิ์เท่านั้นที่เหมาะสมที่สุด การชุบมันฝ้ายด้วยแอมโมเนียเหลวนั้นเริ่มมีการทำในประเทศไทยบ้างแล้วแต่ยังไม่ค่อยแพร่หลายนัก เครื่องจักรสำหรับชุบมันค่อนข้างซับซ้อนและประกอบด้วยอุปกรณ์หลายส่วนซึ่งมีขนาดใหญ่ตั้งแต่ตู้ชุบมันที่ทั้งใหญ่และยาว เครื่องทำความเย็น เครื่องทำความร้อน ตู้อบไอน้ำ หน่วยเก็บแก๊สแอมโมเนียและกลับให้เป็นแอมโมเนียเหลว หน่วยเก็บแอมโมเนียอื่น ๆ และหน่วยควบคุมการทำงานของเครื่องชุบมัน วัสดุที่ใช้ในการทำเครื่องจักรอุปกรณ์จะต้องมีความทนต่อแอมโมเนียได้ดี ตู้ชุบมันและหน่วยเก็บแอมโมเนียจะต้องถูกสร้างให้ปิดมิดชิด ไม่ให้แอมโมเนียรั่วไหลออกมาได้ การสูดดมแก๊สแอมโมเนียเข้าไปมาก ๆ จะทำให้หายใจไม่ออกถึงแก่ชีวิตได้ แอมโมเนียจะทำลายระบบทางเดินหายใจของมนุษย์

เนื่องด้วยจุดเดือดของแอมโมเนียเหลวอยู่ที่  $-33.35^{\circ}\text{C}$  ดังนั้นในตู้ชุบมันจึงต้องมีเครื่องทำความเย็นเพื่อจะรักษาให้แอมโมเนียอยู่ในรูปของเหลวใช้ชุบมัน การชุบมันจึงเกิดที่อุณหภูมิ  $-33.35^{\circ}\text{C}$  นี้ด้วยเวลาของการชุบมันจะสั้นกว่าการชุบมันด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

การชุบมันด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และแอมโมเนียเหลวที่ใช้ในปัจจุบันมีปัจจัยที่ใช้ในกระบวนการชุบมันและลักษณะพิเศษที่ได้ของผ้าแสดงดังตารางที่ 2-1

**ตารางที่ 2-1** ปัจจัยที่ใช้ในการชุบมัน และลักษณะพิเศษของผิวหรือเส้นใยที่ได้

ประเภทของการชุบมัน	อุณหภูมิและเวลา	ความเข้มของสารเคมีที่ใช้	ลักษณะพิเศษที่ใช้
การชุบมันแบบที่นิยมใช้ทั่วไป	20° - 25° C 30 - 60 วินาที	ใช้โซดาไฟเข้มข้น 20-30° Be'	เส้นใยพองตัวและหดตัวตามยาว เพิ่มความเงา การดูดซับที่ดียิ่งขึ้น มีลักษณะโปร่งใส เงางามมากขึ้น
การชุบมันอุณหภูมิต่ำ	-10° - 0° C 20 - 60 วินาที	ใช้โซดาไฟเข้มข้น 20-30° Be'	มีผิวสัมผัสคล้ายหิน
การชุบมันที่อุณหภูมิสูง	60° - 90° C 5 - 50 วินาที	ใช้โซดาไฟเข้มข้น 30-35° Be'	ให้ผิวสัมผัสที่นุ่มขึ้น ทำเทกเจอร์ได้ง่ายขึ้น คงทนต่อการยับในสภาพที่เปียกชื้น คุณสมบัติด้านการศึกษาและสวมใส่ดีขึ้น
การชุบมันโดยเอมโมเนียเหลว	ต่ำกว่า -33° C 1 - 10 วินาที	ใช้สารละลายเอมโมเนีย 100%	ให้ผิวสัมผัสที่นุ่ม คุณสมบัติด้านการศึกษาและสวมใส่ดีขึ้น ความคงทนต่อการยับดีขึ้น ความเหนียวของเส้นใยสูงขึ้น

ที่มา : พิสมัย ลิขิตบรรณกร (2541)

**หมายเหตุ** ความเข้มข้น Be' (องศาโบเเม) เป็นหน่วยวัดความเข้มข้นชนิดหนึ่ง มีความสัมพันธ์โดยประมาณเกี่ยวกับความถ่วงจำเพาะ ของโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ดังนี้

$$1^{\circ} \text{Be}' \text{ มีความถ่วงจำเพาะ NaOH} = 1.007$$

$$10^{\circ} \text{Be}' \text{ มีความถ่วงจำเพาะ NaOH} = 1.075$$

$$20^{\circ} \text{Be}' \text{ มีความถ่วงจำเพาะ NaOH} = 1.161$$

$$30^{\circ} \text{Be}' \text{ มีความถ่วงจำเพาะ NaOH} = 1.263$$

$$40^{\circ} \text{Be}' \text{ มีความถ่วงจำเพาะ NaOH} = 1.385$$

## 2.2 การย้อมสี (Textile Dyeing)

วัสดุสิ่งทอส่วนใหญ่จะต้องมีการนำไปให้สีก่อนการใช้งาน ด้วยวิธีการย้อม (Dyeing) จะให้สีพื้น ผ้าฝ้าย หรือเส้นด้ายที่มีสีลักษณะแตกต่างกันไป หลักการย้อมสี คือ การใช้วิธีการที่เหมาะสมให้สารประกอบเคมีที่ละลาย เป็นสารละลายหรือกระจายอยู่ในสารละลาย (Dispersion) ไปทำให้เกิดสีบนวัสดุที่จะย้อม (Substrates) เช่น เส้นใย ผ้า ฝ้าย ฯลฯ แล้วทำให้เกิดสีบนวัสดุที่จะย้อมอย่างถาวร การเกิดสีบนวัสดุที่จะย้อมไม่เพียงแต่เกิดบน ผิวหน้าเท่านั้น แต่จะสามารถซึมให้เกิดสีตลอด (Uniformly) บนผิวรอบภาคตัดขวางของวัสดุที่จะย้อมด้วย

ขั้นตอนการย้อม (Dyeing Process) มีวิธีการดังนี้คือ ผ้าดิบที่ผ่านการเตรียมและทำความสะอาดแล้ว จะนำไปย้อมให้สีย้อมติดบนเส้นใยของผ้าด้วยเครื่องย้อม (Dyeing machine) กลไกของการดูดซึมสีย้อมและเกาะ ติดแน่นบนเส้นใยของผ้าจะมีความซับซ้อนมาก แต่โดยหลักการทั่วไปแล้ว สีย้อมจะต้องทำให้อยู่ในรูปของ สารละลาย แล้วให้มีการดูดซึมสารละลายสีย้อมโดยเส้นใยในอ่างย้อม (Dye Bath) แรงที่ทำให้เกิดการดูดซึมและ เกาะติดบนเส้นใยของโมเลกุลของสีย้อมอาจเป็นแรงทางเคมี เช่น แรงโควาเลนต์ แรงอิออนนิก หรือแรงดึงดูดทาง กายภาพ เช่น แรงแวนเดอร์วาล ดังนั้น ปัจจัยทางด้านระยะเวลาในการย้อม อุณหภูมิ pH และสารเคมีช่วยย้อม ต่าง ๆ เช่น สาร Electrolytes สารพวก Solvents สารพวก Surface Active Agents จะมีผลต่อประสิทธิภาพ และความสม่ำเสมอของสีย้อมที่จะติดอยู่บนเส้นใย ในทางปฏิบัติจึงจำเป็นต้องให้สารละลายของสีย้อมเคลือบหุ้ม ตลอดทั้งผิวหน้าของวัสดุที่จะย้อม ซึ่งก็เป็นหลักการพื้นฐานของเครื่องย้อมทุกชนิด และเพื่อให้การย้อมใช้เวลา น้อยลง การเพิ่มอัตราการแพร่กระจาย (Diffusion) ของโมเลกุลของสีย้อมไปยังเส้นใยสามารถทำได้โดยการเพิ่ม อุณหภูมิของสารละลายสีย้อมให้สูงขึ้น ซึ่งการเพิ่มอุณหภูมิของสารละลายสีย้อมจะมีผลทำให้การแพร่กระจายของสี ย้อมบนผิวหน้าเส้นใยมีความสม่ำเสมอมากขึ้นด้วย นอกจากนี้ในกรณีของเส้นใยที่เป็น Hydrophobic Synthetic Fibers จะสามารถเพิ่มอัตราการแพร่กระจายของสีย้อมโดยใช้สารนำพา (Carriers) พวกสารอินทรีย์ช่วยย้อม ต่าง ๆ หรือเพิ่มอุณหภูมิให้สูงยิ่งขึ้น โดยเครื่องย้อมระบบปิด (Closed Dyeing System) ที่สามารถย้อมสีได้ที่ อุณหภูมิสูงถึง 150 องศาเซลเซียส

ขั้นตอนการย้อมผ้ามีส่วนประกอบสำคัญที่มีผลต่อการย้อม คือ

### 2.2.1 ชนิดของเส้นใย

เส้นใยที่นำมาถักหรือทอเป็นผ้าฝ้าย สามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

- (1) เส้นใยธรรมชาติ (Natural Fibers) เช่น ฝ้าย ขนสัตว์ ไหม เป็นต้น
- (2) เส้นใยประดิษฐ์ (Man-Made Fibers) เช่น เรยอง ไนลอน อะคริลิก อะซิเตต โพลี-เอสเทอร์ และโพลีโพรพิลีน เป็นต้น

เส้นใยธรรมชาติย้อมง่ายกว่าเส้นใยประดิษฐ์ เนื่องจากเส้นใยธรรมชาติดูดซึมน้ำได้ดี และเมื่อ เปียกน้ำจะมีการพองตัว ทำให้สีย้อมซึ่งละลายอยู่ในน้ำแทรกซึมเข้าสู่เส้นใยได้ง่าย ส่วนเส้นใยประดิษฐ์ เช่น โพลี-



เอสเทอร์ ดูดซึมน้ำได้น้อย เพราะโครงสร้างของเส้นใยแน่นมาก สีย้อมแทรกซึมเข้าสู่เส้นใยได้ยาก ทำให้การย้อมเกิดขึ้นยากกว่า การย้อมเส้นใยประดิษฐ์จึงต้องเลือกสีย้อมให้เหมาะสมกับธรรมชาติของเส้นใยประดิษฐ์นั้น ๆ

### 2.2.2 สีย้อม

สีย้อมที่ใช้ย้อมเส้นใยมีหลายชนิด การย้อมที่จะให้ผลดีนั้นขึ้นอยู่กับอำนาจการรวมตัวของสีย้อมกับเส้นใยจะต้องมีมากกว่าอำนาจการรวมตัวของสีย้อมกับน้ำ สีย้อมส่วนใหญ่เป็นสารเคมีที่เป็นผลิตภัณฑ์มาจากน้ำมันปิโตรเลียม ซึ่งเป็นสารไฮโดรคาร์บอนพวก Aliphatic และ Aromatic การจำแนกสีย้อมสามารถแบ่งประเภทสีย้อมออกได้หลายวิธี แต่ที่นิยมใช้กันมากจะจำแนกตามลักษณะการนำไปใช้งาน ดังนี้

- สีย้อมตรง (Direct Dyes)
- สีย้อมเบสิก (Basic Dyes)
- สีย้อมซัลเฟอร์ (Sulfur Dyes)
- สีย้อมอะโซอิก (Azoic Dyes)
- สีย้อมแว้ท (Vat Dyes)
- สีย้อมรีแอคทีฟ (Reactive Dyes)
- สีย้อมแอซิด (Acid Dyes)
- สีย้อมคอมเพล็กซ์ (Metallic Complex Dyes)
- สีย้อมมาร์แดนท์ (Mordant Dyes)
- สีย้อมดีสเพอร์ส (Disperse Dyes)

สีย้อมแต่ละชนิดมีความเหมาะสมกับเส้นใยแต่ละชนิด แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2-2 และขึ้นอยู่กับวิธีการย้อม คุณลักษณะของสีย้อมที่ดีควรมีลักษณะต่าง ๆ ดังนี้

- มีความเข้มข้นสูง
- ละลายน้ำได้หรือเปลี่ยนให้อยู่ในรูปละลายน้ำได้
- มีแรงดึงดูดหรือมีแรงยึดกับเส้นใย
- คงทนต่อการซัก และการใช้งาน
- คงทนต่อกระบวนการผลิตขั้นต่อไป
- ให้ความปลอดภัย ความสะดวกในการใช้งาน และมีราคาเหมาะสม

### 2.2.3 กรรมวิธีการย้อม

การย้อมผ้าสามารถกระทำได้หลายวิธี ทั้งที่เป็นแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง ผู้ย้อมสามารถเลือกใช้วิธีการย้อมที่เหมาะสมกับสภาพโรงงานและความต้องการเฉพาะกรณีได้ ในการเลือกใช้วิธีการย้อมที่เหมาะสมนั้น สิ่งที่ต้องคำนึงถึงได้แก่ คุณลักษณะของวัสดุที่จะย้อม ประเภทของเครื่องจักรที่มีอยู่ในโรงงาน ค่าย้อม และประโยชน์ใช้สอยของวัสดุที่จะย้อม

**ตารางที่ 2-2** ประเภทของสัญญาณที่เหมือนกับสัญญาณอื่นต่าง ๆ

สัญญาณ	สัญญาณ										
	สปีดเรคท์	สเปคตัม	สัณฐานภาพ	สัณฐานภาพ	สัณฐานภาพ	สัณฐานภาพ	สัณฐานภาพ	สัณฐานภาพ	สัณฐานภาพ	สัณฐานภาพ	สัณฐานภาพ
เซลลูลาร์ (ฝ่าย, วิสโดส, ลินิน)	+	+	+								
สัญญาณจากพีซีประเภท											
เอ็ม-เซลลูลาร์ (บอกระยะ, ปาน, ปอ, ปะพะพ้าว, ปานศรนาภรณ์)	S	+									
สัญญาณโปรตีน (ขนสัตว์, ขนแกะ)	S	S									
สัญญาณโปรตีน (ไหม)	S	S									
เซลลูลาร์ (เดอะซีเตต และเดอะซีเตต)											
โพลีเอไมด์ (ลอน 66 และ 6)	+										
โพลีเอสเตอร์											
โพลีเอคริลิก		+									

S = ใช้ได้บ้าง

+ = ใช้ได้หมด

กรรมวิธีการย้อมผ้าและเส้นด้ายสามารถแบ่งอย่างกว้าง ๆ ออกได้เป็น 3 วิธีดังนี้

### 2.2.3.1 การย้อมแบบดูดซึม (Exhaust Method)

ในการย้อมวิธีนี้ ผ้าหรือวัสดุที่ย้อมจะถูกแช่หรือหมუნอยู่ในอ่างย้อม จนกระทั่งการย้อมเสร็จสมบูรณ์ (Batchwise Process) เครื่องย้อมที่ใช้กันมาก เช่น เครื่องจิกเกอร์ เครื่องวินซ์ เครื่องเจ็ท เครื่องย้อมเส้นด้ายสำเร็จรูป เครื่องย้อมแต่ละชนิดจะมีอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักผ้าที่จะย้อมต่อน้ำหนักสารละลายน้ำย้อมสีที่ใช้ย้อม (Liquor Ratio, L : R) แตกต่างกันไป เช่น เครื่องย้อมจิกเกอร์มี L : R เท่ากับ 1 : 2 - 1 : 5 เครื่องย้อมเจ็ทมี L : R เท่ากับ 1 : 8 - 1 : 12 เครื่องย้อมวินซ์มี L : R เท่ากับ 1 : 5 - 1 : 30 เครื่องย้อมด้ายสำเร็จรูปมี L : R เท่ากับ 1 : 10 - 1 : 30

### 2.2.3.2 การย้อมด้วยวิธีกึ่งต่อเนื่อง (Semi-Continuous Method)

การย้อมด้วยวิธีกึ่งต่อเนื่องหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Pad-Batch Dyeing ประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

การอัดน้ำสีและต่าง → การม้วนเก็บไว้ → การซัก

เครื่องย้อมที่ใช้ประกอบด้วย อ่างน้ำย้อมสำหรับจุ่มผ้า ลูกกลิ้งสำหรับอัดรีดเอาน้ำย้อมส่วนเกินออกจากผ้า ลูกกลิ้งสำหรับม้วนเก็บผ้า ตู้อบในกรณีที่เป็นและอ่างซัก รายละเอียดของกรรมวิธีในแต่ละขั้นตอนมีดังนี้

การอัดน้ำสีและต่าง ในขั้นตอนนี้ สีย้อมและต่างจะถูกผสมลงไปพร้อมกันในอ่างย้อม ผ้าจะถูกผ่านไปใต้น้ำย้อม และต่อไปยังลูกกลิ้งเพื่ออัดรีดเอาน้ำย้อมบางส่วนออก เครื่องอัดรีดและรีดน้ำย้อมบางส่วนออก จากนั้นผ้าจะถูกม้วนไว้บนลูกกลิ้ง เพื่อเตรียมนำไปเก็บในขั้นตอนนี้ สิ่งสำคัญที่ต้องควบคุมก็คือ ความเข้มข้นของน้ำสีในอ่างย้อม และแรงอัดของลูกกลิ้ง เพื่อให้ได้ผ้าย้อมที่มีระดับความเข้มตามต้องการ นอกจากนี้ การควบคุมความเข้มของน้ำสีในอ่างย้อม ให้คงที่ตลอดการผ่านของผ้าก็เป็นเรื่องสำคัญ เพื่อไม่ให้ผ้าส่วนต้นและส่วนปลายมีระดับความเข้มที่แตกต่างกัน การลดปัญหาในเรื่องนี้ อาจกระทำได้ 3 ทาง คือ

- เลือกใช้สีที่มีแรงดึงดูดกับเส้นใยต่ำ
- พยายามให้ผ้ามีเวลาที่จุ่มอยู่ในน้ำสีให้น้อยที่สุด
- ทดแทนน้ำสีส่วนที่ถูกดูดซึมไป ด้วยการเติมน้ำสีใหม่ในปริมาณที่เหมาะสมลงไป

การม้วนเก็บ ภายหลังจากที่ผ้าได้รับน้ำสีและต่าง ในปริมาณที่เหมาะสมแล้ว จะถูกนำไปเก็บในลักษณะที่ยังม้วนพันอยู่บนลูกกลิ้ง เพื่อให้สีย้อมได้มีเวลาแทรกซึมเข้าไปทำปฏิกิริยากับเส้นใย ก่อนที่จะนำไปเก็บ ม้วนผ้าจะถูกห่อหุ้มด้วยฟิล์มพลาสติกใส เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำในช่วงของการเก็บ ในช่วงเวลานี้ ม้วนผ้าก็จะถูกหมუნไปเรื่อย ๆ ตามแกนของลูกกลิ้ง เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการซึมของน้ำสีในทิศทางใดเป็นพิเศษ สำหรับระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บก็ขึ้นกับความว่องไวต่อปฏิกิริยาของสี ความแรงของด่างที่ใช้ และอุณหภูมิของการเก็บ โดยปกติระยะเวลาสำหรับการเก็บ จะแตกต่างกันตั้งแต่ประมาณ 2 ชั่วโมง สำหรับสีที่มีความว่องไวต่อปฏิกิริยาสูง เช่น พวก Procion M และ Levafix E ไปจนกระทั่งถึง 1-2 วัน สำหรับพวก Reactone เป็นต้น

ข้อแตกต่างประเภทหนึ่งของการย้อมวิธีนี้และวิธีแรกคือ อัตราส่วนของน้ำหนักผ้าที่จะย้อมต่อน้ำหนักสารละลายน้ำย้อมสีที่ใช้ (Liquor Ratio) ในขั้นตอนการแทรกซึมของสีย้อมเข้าไปในเส้นใยในวิธีนี้ อยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำมากกว่าคือ 1 : 1 เท่านั้น เพราะฉะนั้น โดยทั่วไป เปอร์เซ็นต์การติดของสีในวิธีนี้จะสูงกว่าในวิธีแรกทำให้ประหยัดสีได้มากกว่า

### 2.2.3.3 การย้อมด้วยวิธีต่อเนื่อง (Continuous method)

ในวิธีนี้ ผ้าจะเคลื่อนที่ไปตามขั้นตอนการย้อมต่าง ๆ อย่างต่อเนื่อง โดยไม่มีการหยุดแช่อยู่ที่จุดใด ตั้งแต่เป็นผ้าขาว จนกระทั่งออกมาเป็นผ้าย้อมสำเร็จ วิธีนี้จึงเป็นวิธีการย้อมที่เร็วที่สุด และเหมาะกับการย้อมทีละมาก ๆ ข้อเสียของวิธีนี้คือ ถ้าเกิดมีการผิดพลาดขึ้นในระหว่างการย้อม กว้างที่ข้อผิดพลาดนั้นจะถูกค้นพบและได้รับการแก้ไข ผ้าก็อาจเสียไปเป็นจำนวนมากแล้ว เพราะฉะนั้น ก่อนที่จะดำเนินการย้อมด้วยวิธีนี้ จำเป็นต้องมีการเตรียมการอย่างระมัดระวังที่สุด ตัวอย่างของเครื่องย้อมแบบต่อเนื่อง การย้อมผ้าด้วยสีรีแอคทีฟด้วยวิธีการแบบต่อเนื่องนี้ กรรมวิธีโดยทั่ว ๆ ไป ประกอบด้วยขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้คือ

การอัดน้ำสี + ต่าง  $\longrightarrow$  การอบแห้ง  $\longrightarrow$  การฟีนิกสีโดยใช้ไอน้ำหรือความร้อน  $\longrightarrow$  การซัก

สำหรับหลักการของการย้อมในขั้นตอนการอัดน้ำสีและต่างนั้น การย้อมด้วยวิธีต่อเนื่องนี้ ใช้สภาวะที่รุนแรงกว่ามาก การฟีนิกสีนี้ อาจทำได้โดยใช้ไอน้ำหรือความร้อนแห้ง อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ขึ้นอยู่กับความว่องไวต่อปฏิกิริยาของสี และความแรงของต่างที่ใช้ โดยปกติผู้ย้อมจะต้องเลือกสภาวะที่จะทำให้การฟีนิกสีเกิดขึ้นในระยะเวลาน้อยที่สุด เพื่อให้ได้ผลผลิตสูงสุด

## 2.3 การตกแต่งสำเร็จ (Textile Finishing)

การตกแต่งสำเร็จเป็นกระบวนการหนึ่งในการตกแต่งสิ่งทอ ซึ่งมักกระทำเป็นขั้นตอนสุดท้ายต่อจากการเตรียมและการให้สีสิ่งทอ เพื่อที่จะเปลี่ยนแปลงปรับปรุง หรือเพิ่มเติมคุณสมบัติบางอย่างให้กับผลิตภัณฑ์ สามารถจำแนกประเภทของการตกแต่งสำเร็จเป็น 2 ประเภท ได้แก่

### 2.3.1 การจำแนกตามกรรมวิธีการตกแต่ง

ก. การตกแต่งด้วยวิธีทางเชิงกล (Mechanical Finishing) เป็นการตกแต่งสิ่งทอโดยใช้เครื่องจักรในการผลิตทำให้สิ่งทอมีคุณสมบัติตามที่ต้องการ เช่น

- การตกแต่งเพื่อควบคุมการหดตัวของผ้า (Shrinkage Control) สามารถทำได้หลายวิธีจากเครื่องจักรหลายชนิด เช่น เครื่อง Stenter ชนิดเข็ม เครื่อง Sanforize เครื่อง Paknit Compactor เครื่อง Tube-Text ฯลฯ

- การตกแต่งเพื่อให้ผ้ามีความเงามัน เรียบลื่น (Calendering) ทำให้อากาศผ่านได้น้อยลง ลดอาการเลือนหลุดของเส้นด้าย เครื่องจักรที่ทำให้ผ้าเงามันและเรียบลื่นมีหลายประเภท เช่น เครื่อง Swizzing and Chasing Calenders เครื่อง Friction Calenders เครื่อง Embossing Calenders เครื่อง Schreiner Calenders

- การตกแต่งด้วยกระบวนการตะกรูยขน (Raising) คือ การทำให้สิ่งทอมีขนที่ผิวทำได้ 2 วิธี คือ napping หมายถึง การตะกรูยผ้าด้วยลูกกลิ้งเข็ม จะได้ผ้าที่มีขนยาว เช่น ผ้าสำลี และ Sanding หมายถึง การทำให้เกิดขนสั้นและละเอียดด้วยกระดาดทราย นิยมทำกับผ้าใยสังเคราะห์

- การตกแต่งด้วยกระบวนการตัดขน (Shearing) คือการตัดแต่งขนผ้าที่ทอหรือถักจากเส้นด้ายใยสั้น (spun yarn) เพื่อให้เรียบสม่ำเสมอหรือเกิดเป็นลวดลาย เช่น ผ้าขนหนู

- การตกแต่งเพื่อให้ผ้านุ่ม ผ้าที่ผ่านเครื่อง Compactor เครื่อง decatizing จะมีความนุ่มมากขึ้น หรือใช้เครื่อง (Aero Jet) ในการตีผ้าด้วยลม

ข. การตกแต่งสำเร็จด้วยสารเคมี (Chemical Finishing) เป็นการตกแต่งสิ่งทอด้วยสารเคมี เพื่อให้สิ่งทอมีคุณสมบัติตามที่ต้องการ สารเคมีที่ใช้มีทั้งที่เป็นธรรมชาติ เช่น แป้ง หรือสารสังเคราะห์ เช่น โพลีเอทิลีน พีวีเอ พีวีเอซี เรซิน ออกไซด์ของอลูมิเนียมและเซลีนียม ซิลิโคน สารกันน้ำ สารตกแต่งผ้านุ่ม ลาเท็กซ์ เมลามีน ฟอรัมเลดีไฮด์ กรดไขมัน อนุพันธ์กรดไขมัน ฯลฯ

### 2.3.2 การจำแนกตามวัตถุประสงค์ของการตกแต่ง

การจำแนกการตกแต่งสำเร็จตามวัตถุประสงค์ของการตกแต่ง สามารถจำแนกได้ดังนี้ คือ

ก. ประโยชน์การใช้งาน โดยที่จะพิจารณาถึงประโยชน์การใช้งานเป็นหลัก เช่น

- การตกแต่งผ้าให้แข็ง (Stiffening Finishing) มีความจำเป็นในกรณีผ้าบางชนิดนุ่มและลื่นมากจนเป็นอุปสรรคต่อการตัดเย็บ อาจต้องตกแต่งให้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น หรือกรณีที่ต้องการใช้

ผ้าเป็นแกนหรือเสริมให้เกิดความแข็งแรง เช่น ผ้าปักแข็งใช้ทำสบู่ เสื้อ ทำคอปก หรือกรณีผ้ายืดในลอนที่ใช้ทำกางเกงกีฬาที่ต้องการให้ผ้ามีความแข็งแรงขึ้น เพื่อให้ผ้าไม่้วยและทรงตัวได้ดี เป็นต้น สารเคมีที่ใช้ส่วนมากจะเป็นพีรีเอ ลาเท็กซ์ และแป้งต่าง ๆ

- การตกแต่งผ้าให้นุ่ม (Soft Finishing) นิยมใช้ทำเสื้อผ้านเด็ก เนื่องจากผ้าที่จะใช้กับเด็กควรมีความนุ่ม นิ่ม อ่อนไหวง่าย และที่สำคัญจะต้องตกแต่งด้วยสารเคมีที่ไม่เป็นพิษ หรือระคายเคืองผิวเด็กอ่อน นอกจากนี้ผ้าขนหนูก็นิยมตกแต่งให้มีความนุ่มมาก ๆ สารเคมีที่ใช้ตกแต่งประเภทนี้เรียกรวมว่า สารตกแต่งผ้านุ่ม (Softener) เป็นสารในกลุ่มอนุพันธ์ของไขมันหรือกรดไขมัน

- การตกแต่งให้ผ้ามีคุณสมบัติการคืนตัวต่อรอยยับได้ดี และมีความนุ่มของเสื้อผ้าพอสวมควร (Wash & Wear Finishing) ใช้ทำเสื้อผ้าทำงานของผู้ใหญ่ เช่น เสื้อเชิ้ต เสื้อทำงานสตรี บางครั้งอาจจะมีการตกแต่งพิเศษที่ดีกว่าปกติขึ้นอีกที่เราเรียกกันว่า ตกแต่งผ้าให้ยับยากแต่รีดง่าย (Easy Care) สารกันยับที่นิยมใช้ ได้แก่ ฟอร์แมลดีไฮด์ เมลามีน

- การตกแต่งเพื่อสร้างความอบอุ่นให้กับร่างกาย เช่น ในกรณีที่ใช้ทำเสื้อกันหนาว เสื้อสกี เสื้อกันลม ผ้าที่ใช้จำเป็นต้องตกแต่งกันลมโดยใช้เทคนิคของการ Coating สารเคมีที่ใช้ได้แก่ สารพีวีเอ และพียู

ข. การตกแต่งผ้าที่ใช้ที่เน้นในเรื่องของการบำรุงรักษาให้ใช้ได้ดี และสวยงามตลอด (Protection Finishing)

- กรณีของผ้าตกแต่ง เช่น ผ้ามัน ผ้าคลุมเตียง ผ้าบุเฟอร์นิเจอร์ ผ้าบุเบาะรถยนต์ ซึ่งตามปกติแล้วผ้าที่ข้อมมามีความสวยงามอยู่แล้ว แต่สภาพในการใช้งานจำเป็นต้องถูกล้างซักตลอดเวลา และยากต่อการนำไปซักล้าง ฉะนั้นเพื่อให้ผ้าเหล่านี้ยังคงความสวยงามอยู่ได้ ผู้ผลิตจึงต้องทำการตกแต่งผ้าให้มีคุณสมบัติกันน้ำ เพื่อป้องกันไม่ให้สกปรกเลอะเทอะจากของเหลวต่าง ๆ เช่น น้ำชา กาแฟ ซึ่งจะทำให้ผ้าเกิดรอยต่าง รวมทั้งลดปริมาณการดูดความชื้นของผ้าไปสะสม ซึ่งจะป้องกันไม่ให้เกิดกลิ่นอับชื้นได้ง่าย ทำให้ไม่ต้องนำไปซักบ่อย และเป็นการถนอมผ้าไม่ให้เสื่อมเร็วด้วย ในกรณีกันน้ำไม่ถาวร สารเคมีที่ใช้จะเป็นพวกแว็กซ์ (Wax) ต่าง ๆ ในกรณีกันน้ำไม่ถาวรแต่คุณภาพดีขึ้นจะเป็นพวกซิลิโคน (Silicone) แต่ถ้าดีที่สุดจะเป็นสารจำพวกฟลูออโรคาร์บอน (Fluorocarbon) หรือเรซิน

- การตกแต่งเพื่อให้สามารถซักล้างสิ่งสกปรกออกจากเนื้อผ้าได้ง่ายเป็นการตกแต่งด้วยวิธี Soil Release ซึ่งหมายถึงผ้าที่ผ่านกระบวนการตกแต่งด้วยวิธีนี้เมื่อเกิดรอยเปื้อนขึ้น ก็สามารถจะทำการขจัด หรือซักออกได้ง่ายกว่าผ้าที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการตกแต่ง จึงทำให้ผ้ามีความสะอาดสดใสกว่า

ค. การตกแต่งที่เน้นในเรื่องของความปลอดภัยของการใช้ผ้าเป็นหลัก เช่น

- การตกแต่งเพื่อไม่ให้ติดไฟง่ายและสามารถหยุดการลุกลามต่อเนื้อในผ้า (Flame Retardant) เช่น ในผ้าฝ้าย ผ้าโพลีเอสเตอร์

- การตกแต่งกันแบคทีเรียและเชื้อรา (Bacteria & Funji Resistant) เป็นการตกแต่งด้วยสาร Sanitize ผ้าทั่วไปเมื่อเกิดการยับขึ้นมักจะเกิดเชื้อรา โดยเฉพาะราสีดำหรือแบคทีเรีย ทำให้เกิดกลิ่นและทำลายผ้า ซึ่งเราสามารถป้องกันได้โดยการตกแต่งกันแบคทีเรียและเชื้อรา

- การตกแต่งผ้าเพื่อสุขภาพอนามัยตามเกณฑ์ของแต่ละประเทศ ซึ่งกำลังจะมีอิทธิพลในอนาคตอันใกล้ กฎเกณฑ์ต่าง ๆ เหล่านี้จะแยกตามชนิดผลิตภัณฑ์ และในแต่ละประเทศก็มีกฎเกณฑ์ที่แตกต่างกัน ต้องดูจากคู่มือของแต่ละประเทศนั้น

ง. การตกแต่งเพื่อให้เกิดความสวยงาม หรือเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของผ้า ซึ่งเป็นการตกแต่งทางเชิงกลเป็นส่วนมาก เช่น

- การตกแต่งผ้าให้มีความเงามัน (Calendering)
- การตกแต่งเพื่อควบคุมการหดตัว (Shrinkage)
- การตกแต่งด้วยกระบวนการตะกรูยขน (Raising)
- การตกแต่งด้วยกระบวนการตัดขน (Shearing)

## แหล่งกำเนิดน้ำเสียและของเสียต่าง ๆ

### 3.1 ประเภทโรงงานฟอกย้อมและแหล่งกำเนิดของเสีย

ประเภทโรงงานฟอกย้อมสามารถแบ่งเป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้ 3 ประเภท ได้แก่

1. กระบวนการฟอกย้อมเส้นด้าย
2. กระบวนการฟอกย้อมผ้าทอ
3. กระบวนการฟอกย้อมผ้าถัก

ในแต่ละกระบวนการจะมีการใช้วัตถุดิบ สารเคมีและวิธีการซึ่งแตกต่างกัน ดังนั้นของเสียที่เกิดขึ้น จึงอาจมีความแตกต่างกันดังต่อไปนี้

#### 3.1.1 กระบวนการฟอกย้อมเส้นด้าย

กระบวนการนี้เริ่มจากนำเส้นด้ายดิบไปผ่านกระบวนการเตรียมแล้วจึงทำการย้อมสี โดยถ้าวัตถุดิบเป็นเส้นด้ายฝ้าย 100% หรือฝ้ายและโพลีเอสเตอร์ กระบวนการเตรียมก็จะแตกต่างจากเส้นด้ายที่เป็นเส้นใยสังเคราะห์ 100% ขั้นตอนการฟอกย้อม แสดงดังรูปที่ 3-1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าถ้าเส้นด้ายทำจากเส้นใยสังเคราะห์ 100% จะผ่านขั้นตอนการทำความสะอาดแล้วทำการย้อมสีได้เลย แต่ถ้ามีฝ้ายเป็นองค์ประกอบขั้นตอนมักเริ่มจากทำความสะอาด ฟอกขาว แล้วจึงย้อมสี ในแต่ละขั้นตอนจะเกิดของเสียขึ้นเนื่องจากการใช้สารเคมีในการทำความสะอาด ฟอกขาว การชุบมัน หรือสีย้อมประเภทต่าง ๆ ที่ใช้ในการย้อม ตลอดถึงขั้นตอนการซักล้างและอบแห้ง

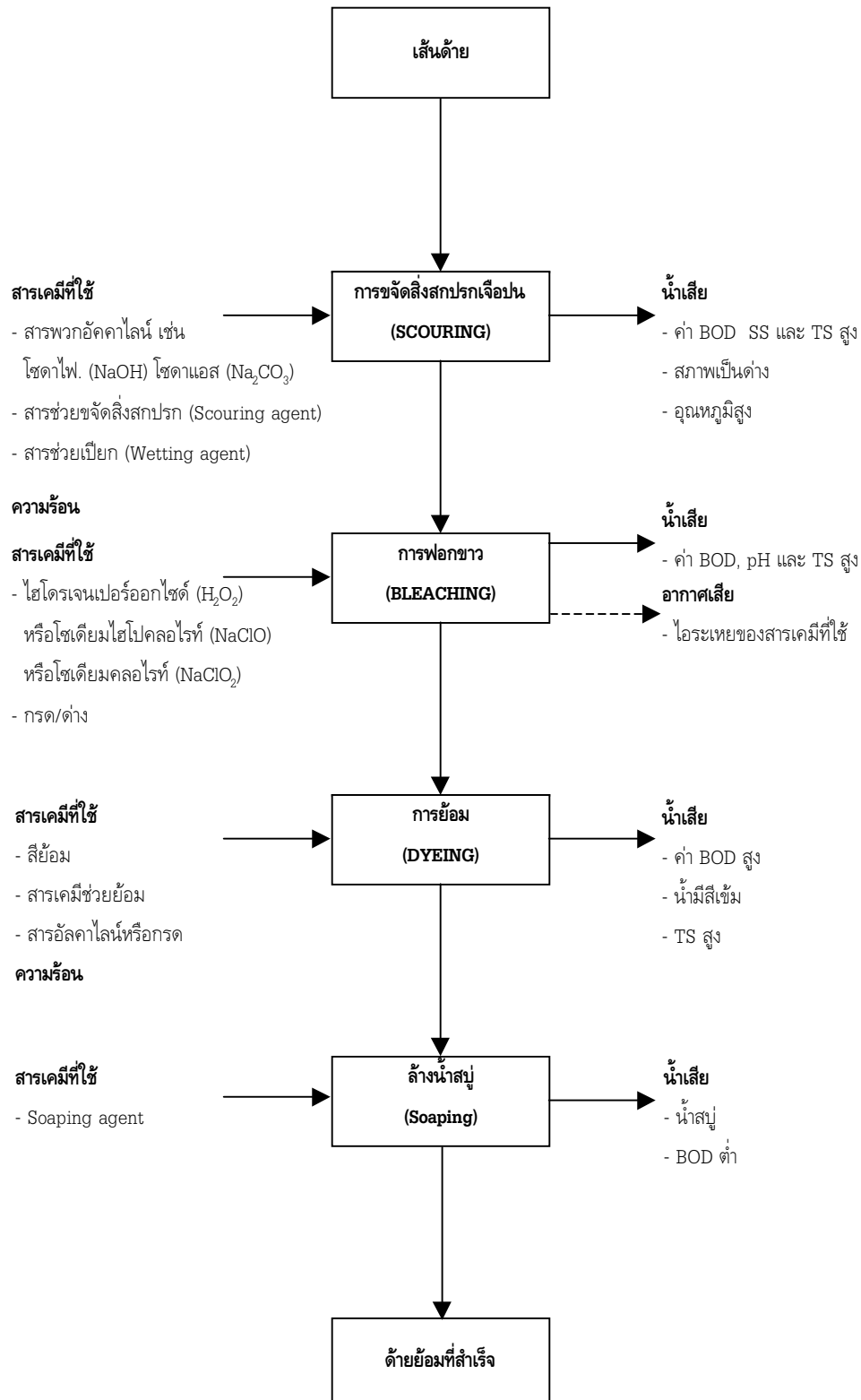
#### 3.1.2 กระบวนการฟอกย้อมผ้าทอ

กระบวนการนี้เป็นกระบวนการที่มีความสำคัญมาก เนื่องจากแต่ละขั้นตอนจะมีการใช้น้ำ พลังงาน สารเคมี และสีย้อม ที่แตกต่างกันทั้งชนิดและปริมาณ และทำให้เกิดของเสียที่มีคุณสมบัติและปริมาณที่ต่างกัน ตลอดเวลา ดังแสดงในรูปที่ 3-2 ซึ่งจะเห็นได้ว่าผ้าดิบที่กระทำการฟอกย้อม จะเริ่มต้นจากการลอกแป้ง การทำความสะอาด การฟอกขาว การเมอร์เซอร์ไรซ์ แล้วจึงนำมาย้อมสีหรือพิมพ์สี ก่อนทำการตกแต่งสำเร็จ ปัจจัยหนึ่งในการเลือกใช้สารเคมี การฟอกขาว สีย้อม ให้เหมาะสมนั้น จะขึ้นอยู่กับชนิดของผ้าดิบที่ใช้และคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์สำเร็จที่ต้องการ เช่น ถ้าเป็นฝ้าย 100% ขบวนการจะแตกต่างจากผ้าโพลีเอสเตอร์ 100% หรือ T/C หรือไนลอน และถ้าต้องการนำผ้าไปทำเป็นผ้าใบ ผ้านั้นก็ควรทำการตกแต่งกันน้ำ ถ้าทำเป็นชุดทำงานก็ควรจะตกแต่งนุ่มหรือตกแต่งกันยับ เป็นต้น

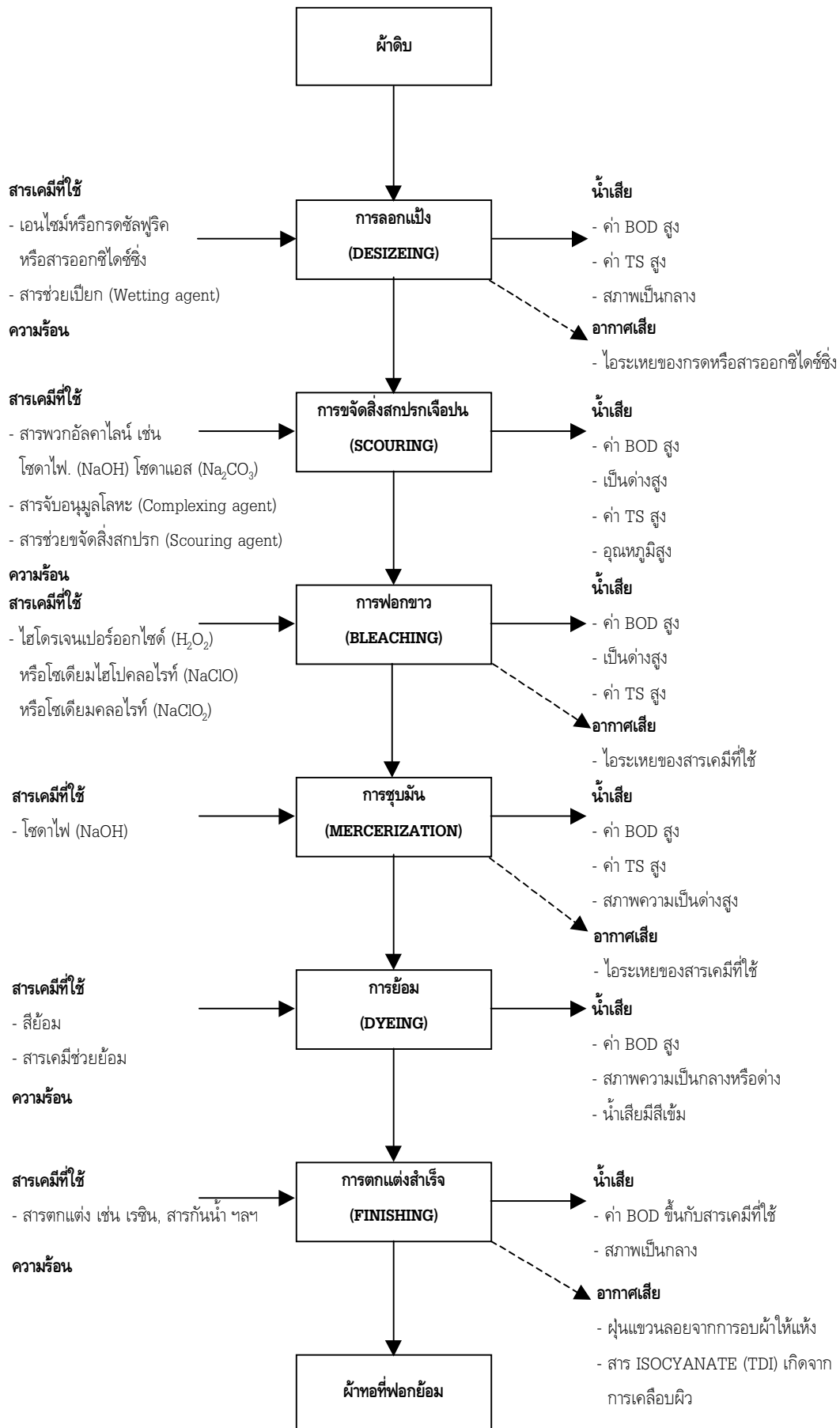


### 3.1.3 กระบวนการฟอกย้อมผ้าฝ้าย

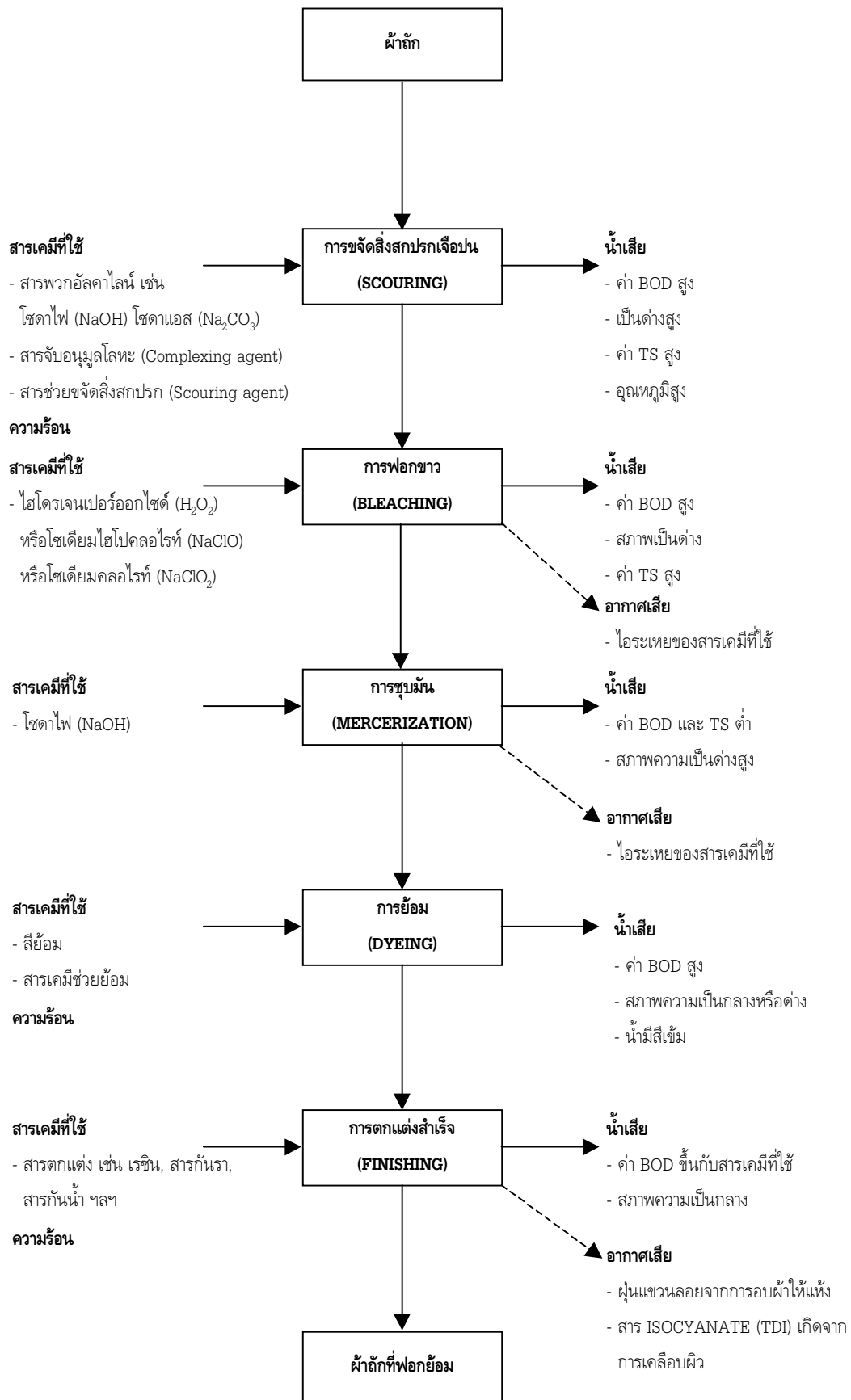
กระบวนการนี้จัดเป็นกระบวนการผลิตที่มีความสำคัญมากและคล้ายคลึงกับผ้าทอทั้งในขั้นตอนการซักล้าง ฟอก ย้อม พิมพ์ และตกแต่งสำเร็จ สิ่งที่แตกต่างกันระหว่างผ้าทอกับผ้าฝ้ายก็คือ การฟอกย้อมผ้าฝ้ายจะไม่มีขั้นตอนการลอกแป้ง เนื่องจากในกระบวนการถักผ้า จะใช้น้ำมันหล่อลื่นซึมถัก และน้ำมันเหล่านี้ก็จะติดอยู่บนผ้าฝ้าย ดังนั้นกระบวนการเตรียมผ้าฝ้ายที่สำคัญก็คือ การซักล้างทำความสะอาดก่อนทำขั้นตอนต่อไป ขั้นตอนการฟอกย้อมผ้าฝ้าย และของเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนแสดงดังรูปที่ 3-3



**รูปที่ 3-1** สารเคมีที่ใช้และของเสียที่ออกมาในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการฟอกย้อมเส้นด้าย



**รูปที่ 3-2** สารเคมีที่ใช้และของเสียที่ออกมาในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการฟอกย้อมผ้าทอ



**รูปที่ 3-3** สารเคมีที่ใช้และของเสียที่ออกมาในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการฟอกย้อมผ้าฝ้าย

### 3.2 ประเภทของเสียในอุตสาหกรรมฟอกย้อม

ของเสียในอุตสาหกรรมฟอกย้อมที่เกิดขึ้นแบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ได้ 4 ประเภทดังนี้

- 1) อากาศเสีย (Air Pollution)
- 2) น้ำเสีย (Water Pollution)
- 3) ของเสียที่เป็นของแข็ง (Solid Waste)
- 4) ของเสียที่เป็นพิษ (Hazardous Waste)

#### 3.2.1 อากาศเสีย (Air Pollution)

กระบวนการในอุตสาหกรรมฟอกย้อมสามารถก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศได้ไม่ว่าจะเป็นฝุ่น คาร์บอนกัมมันต์ หรือไอระเหยของสารเคมี มลพิษทางอากาศจัดเป็นมลพิษที่มีความยุ่งยากในการวัดปริมาณการเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ทดสอบ ในทางปฏิบัติการคำนวณปริมาณของมลพิษมักได้จากการคำนวณตามกำลังการผลิต ชั่วโมงการทำงาน และประสิทธิภาพของเครื่องจักร แหล่งก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศในอุตสาหกรรมฟอกย้อมที่สำคัญ ได้แก่

3.2.1.1 หม้อไอน้ำ มลพิษเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงเพื่อให้พลังงาน จะเกิดควัน ไอน้ำ และก๊าซต่าง ๆ เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ และออกไซด์ของไนโตรเจน ( $\text{NO}_x$ ) เป็นต้น

3.2.1.2 ตู้อบ โรงงานฟอกย้อมส่วนใหญ่จะใช้ตู้อบอุณหภูมิสูงเพื่อทำการอบแห้งพริกสีและเคมี และทำการเซทผ้าด้วยความร้อน เป็นต้น ตารางที่ 3-1 แสดงระดับอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการต่าง ๆ

**ตารางที่ 3-1** ระดับอุณหภูมิที่ใช้ในแต่ละกระบวนการ

กระบวนการ	อุณหภูมิ
การอบแห้ง (Drying)	250 – 300 °F (~120-150°C)
การพ่นสีสารตกแต่งสำเร็จ (Curing)	300 – 375°F (~150-190°C)
การพ่นสีย้อม (Thermofixation)	350 – 400°F (~175-205°C)
การเซทด้วยความร้อน (Heat Setting)	300 – 375°F (~120-190°C)

ผ้าที่ผ่านกระบวนการย้อมสี หรือตกแต่งสำเร็จแล้วจะถูกนำไปอบที่อุณหภูมิสูง ๆ ซึ่งอาจทำให้สารเคมีต่าง ๆ ที่มีอยู่บนผ้าระเหยหรือเกิดการสลายตัวไปสู่บรรยากาศได้ จากการศึกษาการตรวจวัดไอที่ระเหยจากกระบวนการฟอกย้อม สามารถตรวจพบสารเคมีต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 3-2 สารเคมีเหล่านั้นอาจมาจากสารตกค้างในกระบวนการหรือวัสดุเคมีการดูดซึมสารต่าง ๆ ไว้ในระหว่างกระบวนการต่าง ๆ หรือจากสารตกแต่งสำเร็จ

**ตารางที่ 3-2** สารเคมีต่าง ๆ ที่ตรวจพบว่า สามารถระเหยหรือสลายตัวไปสู่บรรยากาศได้

Acetic acid	Glycol ethers	Methylene chloride
Acrylic monomers	Hexane	Perchloroethylene
Biphenyl	Hydrocarbons	Toluene
Carbon monoxide	Hydrogen chloride	Trichloroethane
Dibutyl phthalate	Methanol	Vinyl acetate
Ethylene oxide	Methyl ethyl ketone	Xylene
Formaldehyde	Methyl methacrylate	

ที่มา : Smith, B. (1986)

### 3.2.2 น้ำเสีย (Water Pollution)

ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมส่วนใหญ่เกิดจากการทิ้งน้ำเสีย น้ำเสียจากการฟอกย้อมมีแหล่งกำเนิดในเกือบทุกขั้นตอนของการฟอกย้อม ตั้งแต่ขั้นตอนการเตรียมผ้า ขั้นตอนการให้สี และขั้นตอนการตกแต่งสำเร็จ โดยเฉพาะในกระบวนการชำระล้างทำความสะอาดของแต่ละขั้นตอนจะมีการใช้น้ำในอัตราที่สูงมาก ซึ่งสิ่งที่สามารถพบได้ในน้ำเสียเสมอ ได้แก่ เศษเส้นใย เศษผ้า สารเคมี กรดต่าง ไขมัน สบู่ สีย้อม และตัวทำละลาย ดังนั้น จึงทำให้ปริมาณสารมลพิษในน้ำเสียมีปริมาณสูงและเป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม

สภาพการเกิดและการระบายน้ำเสียจะเริ่มจากอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดที่ถ่ายน้ำเสียลงในรางระบายน้ำภายในโรงงาน หลังจากนั้นน้ำเสียจะไหลเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานก่อนระบายทิ้งออกสู่แหล่งน้ำสาธารณะต่อไป ซึ่งน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมมีที่มาจากแหล่งต่าง ๆ ที่สำคัญ 5 แหล่งด้วยกัน คือ

#### 1) น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต

ได้แก่ น้ำที่ใช้ในการดำเนินการฟอกย้อม น้ำใช้ในส่วนนี้อาจมีการระเหยไปบ้างในระหว่างขั้นตอนการผลิต แต่ส่วนใหญ่จะถูกปล่อยออกมาเป็นน้ำเสียภายหลังการผลิต น้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตนี้ยังอาจแบ่งได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

##### ก. น้ำที่ใช้ในขั้นตอนการฟอกย้อม

น้ำในส่วนนี้จะปริมาณไม่มากนัก แต่มีความเข้มข้นของสิ่งสกปรกเจือปนที่ค่อนข้างสูง

##### ข. น้ำที่ใช้ในการซักล้างภายหลังการฟอกย้อม

น้ำในส่วนนี้จะปริมาณมาก แต่มีความเข้มข้นของสิ่งสกปรกเจือปนโดยส่วนรวมแล้วต่ำกว่าน้ำเสียในประเภทแรก

**2) น้ำที่ใช้ในหม้อไอน้ำ**

ในกระบวนการฟอกย้อม มักจะมีการอาศัยไอน้ำเป็นตัวให้ความร้อนแก่ผ้าที่ใช้ในกระบวนการและเป็นตัวให้ความร้อนในตู้อบไอน้ำ ถ้าไอน้ำที่ใช้ถูกปล่อยให้เย็นลงและกลั่นตัวในท่อไอน้ำก็จะได้น้ำที่สะอาดสามารถนำกลับไปใช้ใหม่ได้ แต่ถ้าไอน้ำถูกส่งเข้าไปให้ความร้อนแก่สารละลายสีย้อมโดยตรง ก็จะเป็นการเพิ่มปริมาตรของสารละลายสีย้อม และจะถูกรวมเป็นน้ำเสียที่สกปรกที่สุด

**3) น้ำที่ใช้ในการหล่อเย็น**

ในกระบวนการฟอกย้อม มีบ่อยครั้งที่ทางโรงงานจำเป็นต้องลดอุณหภูมิของสารละลายสีย้อมลงในเวลาอันสั้น ซึ่งจะทำให้เกิดโดยอาศัยการใช้น้ำหล่อเย็น น้ำหล่อเย็นนี้ส่วนใหญ่จะเป็นน้ำสะอาดสามารถนำกลับไปใช้ใหม่ได้

**4) น้ำที่ใช้ในการล้างเครื่องจักรและทำความสะอาดโรงงาน**

น้ำส่วนนี้นับเป็นส่วนประกอบที่สำคัญส่วนหนึ่งของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อม และในบางกรณีเป็นน้ำเสียที่มีความสกปรกสูงมากด้วย เช่น น้ำล้างถังเตรียมสีย้อม เป็นต้น

**5) น้ำจากแหล่งอื่น ๆ**

นอกจากน้ำเสียจากแหล่งต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้นแล้ว โรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อมยังอาจมีน้ำเสียจากแหล่งอื่น ๆ อีก เช่น น้ำใช้ของคนงาน หรือน้ำฝน เป็นต้น

**3.2.2.1 ประเภทของสิ่งสกปรกเจือปนในน้ำเสีย**

สารเคมีที่ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกย้อมนั้น มีทั้งสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์ ตัวอย่างของสารอนินทรีย์ เช่น ด่างและกรดอนินทรีย์ ได้แก่ โซเดียมซิลิเกต ( $2\text{Na}_2\text{OSiO}_2$ ) โซเดียมซัลไฟด์ ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) แอมโมเนียซัลเฟต ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ) โซเดียมคลอไรด์ ( $\text{NaCl}$ ) โซเดียมซัลเฟต ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) และสารฟอกขาวธรรมชาติ ส่วนสารอินทรีย์นั้นมีการใช้อย่างกว้างขวาง ซึ่งประกอบด้วย กรดอินทรีย์ เช่น กรดฟอร์มิก ( $\text{HCOOH}$ ) กรดอะซิติก ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) กรดไขมัน พวกสบู่ แป้ง สารอินทรีย์ที่ใช้แทนแป้ง ผงซักฟอก สารที่ทำให้เกิดความอ่อนนุ่ม สีย้อม สารนำพา และสารเคมีอื่น ๆ อีก เช่น สารที่ป้องกันการซึมของน้ำ สารกันเชื้อรา สารกันไฟ ซึ่งล้วนแต่นำมาใช้ให้เป็นประโยชน์ต่อฝ่ายระหว่างกระบวนการตกแต่งสำเร็จทั้งสิ้น

สารเคมีบางตัวอาจมีค่าบีโอดีสูง ซึ่งในขณะเดียวกันสารเคมีอื่น ๆ ที่มีค่าบีโอดีต่ำและมีคุณสมบัติคล้ายกันก็สามารถนำมาใช้ทดแทนกันได้ จึงนิยมใช้สารเคมีที่มีค่าบีโอดีต่ำ เช่น การใช้ Carboxymethyl Cellulose แทนแป้ง ซึ่งมีประโยชน์และไม่เป็นอันตราย หรือหาทางขจัดออกไปได้ง่ายโดยวิธีทางเคมีหรือทางฟิสิกส์ แต่ทั้งนี้ก็อาจจะมีสารเคมีบางตัวที่ใช้ทดแทนแล้วทำให้เกิดผลต่อเนื่อง ซึ่งเป็นผลเสียหายต่อสัตว์น้ำหรือการใช้น้ำในอนาคต และทำให้ต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมากขึ้น

เมื่อนำน้ำใช้ไปผ่านกระบวนการผลิตในขั้นตอนต่าง ๆ ซึ่งในแต่ละขั้นตอนนั้นจะมีการใช้สารเคมีหลายชนิดและปริมาณต่าง ๆ กัน หลังจากน้ำใช้ผ่านเข้าไปในกระบวนการผลิตแล้วก็จะกลายเป็นน้ำเสียซึ่งจะต้องนำไปปรับปรุงให้มีคุณภาพที่เหมาะสมก่อนที่จะปล่อยสู่แหล่งน้ำสาธารณะ โดยน้ำเสียที่ได้จากกระบวนการฟอกย้อมนั้นมีสิ่งสกปรกเจือปนอยู่มากมายหลายประเภท ซึ่งอาจจะจำแนกออกเป็นประเภทที่สำคัญ ๆ ได้ดังนี้ คือ

**1) สีย้อม**

ในการย้อมเส้นใยจะมีการดูดซึมสีย้อมจากสารละลายสีย้อมเพียงบางส่วนเท่านั้น สีย้อมที่เหลือจะคงอยู่ในสารละลายสีย้อม และจะถูกปล่อยออกมากับน้ำเสียในที่สุด ปริมาณสีย้อมที่ยังคงเหลืออยู่ในสารละลายสีย้อมจะแตกต่างกันไปตั้งแต่ร้อยละ 5-50 ขึ้นอยู่กับประเภทของสีย้อมที่ใช้

**2) สารเคมีที่ใช้ช่วยในกระบวนการฟอกย้อม รวมทั้งสารเคมีที่ใช้ในการตกแต่ง**

**สำเร็จ**

สารเคมีที่ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกย้อมและการตกแต่ง มีอยู่หลายประเภท แบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ได้ 3 กลุ่ม ดังนี้

- สารช่วยย้อม (Auxiliaries Chemicals) ได้แก่ สารช่วยจัดสิ่งสกปรก (Scouring Agent) สารช่วยเปียก (Wetting Agent) และสารที่ช่วยในการย้อมสีให้ได้ดีที่สม่ำเสมอ (Levelling Agent)

- สารเคมีพื้นฐาน (Basic Chemicals) เป็นสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการฟอกย้อมโดยตรง ได้แก่ กรด ต่าง บัฟเฟอร์ เกลือ สารฟอกขาว และสารลอกแป้ง

- สารเคมีตกแต่งสำเร็จ ได้แก่ สารที่ป้องกันการซึมของน้ำ สารกันเชื้อรา สารกันไฟ กันยับ ฯลฯ สารเคมีต่าง ๆ ที่กล่าวข้างต้นเมื่อนำมาใช้ในกระบวนการฟอกย้อมสารเคมีเหล่านี้ส่วนใหญ่จะคงเหลืออยู่ในสารละลายสีย้อมหรือน้ำซักล้าง และจะถูกปล่อยปนออกมาในน้ำเสีย

**3) สิ่งสกปรกเจือปนในเส้นใย**

วัสดุสิ่งทอที่ถูกล้างผ่านกระบวนการฟอกย้อมล้วนแต่มีสิ่งสกปรกเจือปนมาบ้างไม่มากก็น้อย โดยทั่วไปเส้นใยธรรมชาติจะมีสิ่งสกปรกเจือปนสูงกว่าเส้นใยสังเคราะห์ เพราะนอกจากจะมีสิ่งสกปรกเจือปนที่ติดมาในระหว่างกระบวนการผลิตแล้ว ยังมีสิ่งสกปรกเจือปนที่ติดมากับธรรมชาติซึ่งมีปริมาณค่อนข้างมากด้วย เช่น เส้นใยขนแกะมีสิ่งสกปรกเจือปนที่ติดมากับธรรมชาติที่ต้องขจัดออกไปในขั้นตอนการเตรียมผ้าถึงร้อยละ 10 สิ่งสกปรกเจือปนเหล่านี้มีทั้งที่เป็นสารซีผึ้ง ไชมัน โปรตีน ตลอดจนสารประกอบโลหะต่าง ๆ นอกจากนี้ ในกระบวนการผลิตก็ยังมีสารเคมีต่าง ๆ ลงไปในเส้นใยด้วย เช่น พวกสารหล่อลื่น และแป้งที่ใช้ในการลงแป้งเส้นด้ายยืน เป็นต้น สิ่งสกปรกเจือปนเหล่านี้จะถูกขจัดออกจากเส้นใยในขั้นตอนการเตรียมผ้าก่อนการฟอกย้อม และจะหลุดติดมาในน้ำเสียจากขั้นตอนการเตรียมผ้า

**4) เศษเส้นใย**

ในน้ำเสียจากกระบวนการฟอกย้อมมีองค์ประกอบอันหนึ่งที่จะหลีกเลี่ยงไม่ได้คือ เศษเส้นใยที่หลุดออกมา เศษเส้นใยนี้หากมีปริมาณมากก็อาจทำให้เกิดปัญหาการอุดตันของน้ำเสียในเครื่องย้อมได้ นอกจากนี้ ในกรณีของเส้นใยโพลีเอสเตอร์ยังมีสารโอลิโกเมอร์ (Oligomer) ที่อาจหลุดออกมาจากเส้นใยและปะปนในน้ำเสียด้วย



**5) สิ่งสกปรกเจือปนอื่น ๆ**

นอกจากสิ่งสกปรกเจือปนต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้นแล้ว น้ำเสียจากกระบวนการฟอกย้อมยังอาจมีสิ่งสกปรกเจือปนชนิดอื่น ๆ อีก เช่น สารเคมีพิเศษที่ใช้ในการจัดรอยเปื้อนบนผ้า ซึ่งมักจะเป็นสารประกอบพวก Chlorinated Benzene พวกสารเคมีที่ใช้ในการล้างเครื่องเหล่านี้ เป็นต้น ซึ่งสารเคมีบางตัวก็อาจมีผลอย่างมากต่อลักษณะสมบัติของน้ำเสียในภายหลัง

จากที่กล่าวข้างต้นจะเห็นได้ว่า สิ่งสกปรกเจือปนในน้ำเสียจากกระบวนการฟอกย้อม มีความหลากหลายอย่างยิ่งในแง่ขององค์ประกอบทางเคมี แต่น้ำเสียจากอุตสาหกรรมประเภทนี้ก็ยังมีข้อดีอยู่บ้าง ตรงที่สารส่วนใหญ่เป็นสารที่ง่ายต่อการบำบัด และมีค่าความเป็นพิษต่ำ

**3.2.2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะสมบัติของน้ำเสีย**

น้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม กล่าวได้ว่า เป็นน้ำเสียที่มีความหลากหลายเป็นอย่างยิ่งในแง่ของส่วนประกอบของสิ่งสกปรกเจือปนในน้ำเสีย ซึ่งจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญคือ

**1) กระบวนการฟอกย้อมผลิตภัณฑ์**

กระบวนการฟอกย้อมผลิตภัณฑ์แบ่งออกเป็น 3 กระบวนการใหญ่ ๆ ดังนี้

ก. กระบวนการฟอกย้อมเส้นด้าย

กระบวนการนี้เริ่มจากนำเส้นด้ายดิบไปผ่านกระบวนการเตรียมแล้ว

จึงทำการย้อมสี

ข. กระบวนการฟอกย้อมผ้าทอ

กระบวนการนี้เริ่มต้นจากการลอกแป้ง การทำความสะอาด การชุบมัน ฟอกขาว แล้วจึงนำมาย้อมสี ก่อนทำการตกแต่งสำเร็จ

ค. กระบวนการฟอกย้อมผ้าถัก

กระบวนการฟอกย้อมผ้าถักจะมีลักษณะคล้ายคลึงกับการฟอกย้อมผ้าทอ แตกต่างกันที่การฟอกย้อมผ้าถักจะไม่ขึ้นตอนการลอกแป้ง

**2) ชนิดของสารลงแป้งบนผ้าทอ**

ชนิดของสารลงแป้งบนผ้าทอมีผลอย่างมากต่อลักษณะสมบัติของน้ำเสีย โดยเฉพาะแป้งที่ใช้กับผ้าฝ้าย ส่วนใหญ่จะเป็นแป้งธรรมชาติซึ่งมีค่าบีโอดีสูง

**3) ชนิดและความสกปรกของเส้นใย**

โดยทั่วไป น้ำเสียจากการฟอกย้อมเส้นใยธรรมชาติจะมีความสกปรกมากกว่าเส้นใยสังเคราะห์ เนื่องจากมีสิ่งสกปรกเจือปนติดมามากกว่า

**4) ชนิดของสีย้อมและกรรมวิธีการย้อม**

เส้นใยแต่ละชนิดจะมีสีย้อมให้เลือกใช้ได้หลายประเภท แต่ละประเภทก็มีกรรมวิธีการย้อม และมีความจำเป็นต้องใช้สารเคมีในการช่วยย้อมที่แตกต่างกันไป นอกจากนี้ ในการย้อมสีย้อม

แต่ละประเภทก็ยังมีกรรมวิธีการย่อยให้เลือกได้หลายวิธี และแต่ละวิธีก็มีการใช้สารเคมีที่แตกต่างกันไปทั้งในแง่ของชนิดและปริมาณด้วย เช่น ในการย่อยเส้นใยโพลีเอสเตอร์ด้วยลิวติสเฟิร์สกรรมวิธีการย่อยมีอยู่ 3 วิธี คือ

วิธีที่ 1 การย่อยที่อุณหภูมิไม่เกิน 100 องศาเซลเซียส โดยใช้สารนำพา

วิธีที่ 2 การย่อยที่อุณหภูมิ 120-130 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดันโดยไม่ใช้สารนำพา

วิธีที่ 3 การย่อยแบบ Pad-Thermosol

แต่ละวิธีดังกล่าวข้างต้นนี้ ต่างก็ให้น้ำเสียที่มีลักษณะสมบัติที่แตกต่างกัน กล่าวคือ ในวิธีแรก น้ำเสียจะมีสารนำพา ซึ่งเป็นสารเคมีที่มีความเป็นพิษปะปนออกมาด้วย ในขณะที่วิธีที่ 2 จะไม่มีสารนำพา แต่จะมีปริมาณน้ำเสียมากกว่าวิธีที่ 3

### 3.2.2.3 ลักษณะสมบัติน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อม

จากการสำรวจโดยการเก็บตัวอย่างน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมในเขตกรุงเทพมหานคร และปริมณฑล จำนวน 100 ตัวอย่าง ซึ่งการเก็บตัวอย่างน้ำเสียได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำแบบจ้วงตัก (Grab Sample) ที่จุดรวมน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดน้ำเสีย โดยมีค่าที่ทำการตรวจวัด ได้แก่ ความสกปรกในรูปของค่าบีโอดี (BOD) ค่าซีโอดี (COD) ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) และค่าปริมาณสี โดยใช้วิธีการเทียบสี (Platinum Cobalt Method) ซึ่งได้ผลสรุปค่าประเมิณต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 3-3 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.)

ตารางที่ 3-3 ลักษณะสมบัติน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมแบ่งตามผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์ที่ฟอกย้อม	ลักษณะสมบัติของน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัด <sup>1</sup>					จำนวนข้อมูล
	pH	BOD (มก./ล.)	COD (มก./ล.)	SS (มก./ล.)	สี (หน่วย Pt Co)	
ฟอกย้อมด้าย	8.2	120	300	43	450	13
ฟอกย้อมผ้าสัก	9.0	110	370	50	570	16
ฟอกย้อมผ้าทอ	8.6	400	1,200	140	670	41
ฟอกย้อมด้ายและผ้า หรืออื่น ๆ	9.1	230	713	65	400	30

ที่มา : จากการประเมินผลการสำรวจของบริษัท ช. รุ่งเลิศ แอลโซซิเอท จำกัด

หมายเหตุ "1" ค่าลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่แสดงเป็นค่าความน่าจะเป็นร้อยละเท่ากับหรือน้อยกว่า 50

### 3.2.3 ของเสียที่เป็นของแข็ง (Solid Wastes)

ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ ขนาดและประเภทของโรงงานลักษณะของเสีย ประสิทธิภาพของเครื่องจักรและระดับการดูแลเอาใจใส่ต่อปัญหาเรื่องของเสีย และเทคนิคการจัดการโรงงาน จากการสำรวจของ The American Textile Manufacturers Institute (ATMI) สามารถจำแนกประเภทของเสียได้ดังตารางที่ 3-4

ตารางที่ 3-4 ประเภทของเสียที่เป็นของแข็งในกระบวนการผลิตสิ่งทอ

Aluminum cans	Office paper
Ash	Paper bags
Bale wrapping	Paperboard drums
Cardboard	Plastic containers
Carpet waste	Plastic drum liners
Compacted trash	Plastic drums
Computer paper	Plastic film
Fabric waste	Rags
Fiber waste	Scrap metal
Garbage	Scrap wood
Hard plastic	Selvage trimmings
Hard thread (sized)	Slasher waste
Latex foam solids	Soft thread
Metal drums	Sweeps
	Wastewater treatment sludges
	Wooden pallets
	Yarn waste

ที่มา : EPA, (1996)

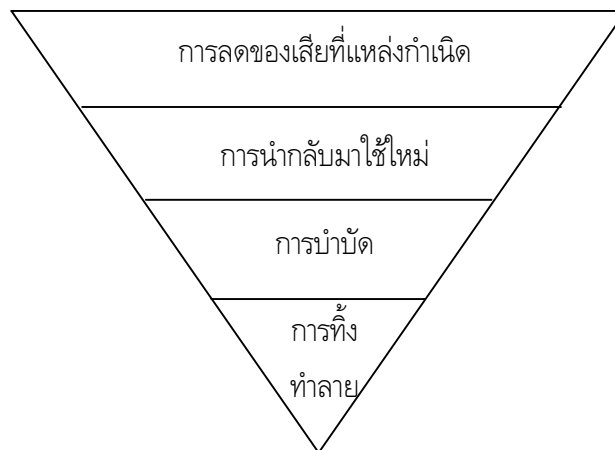
### 3.2.4 ของเสียที่เป็นพิษ (Hazardous Wastes)

ของเสียกลุ่มนี้จัดว่าเป็นกลุ่มที่ทำลายหรือกำจัดยาก เนื่องจากความเป็นพิษของสารเหล่านี้จะมีผลต่อสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตามในกระบวนการฟอกย้อมจะก่อให้เกิดของเสียที่เป็นพิษน้อยมากหรือไม่มีเลย แต่จะมีบางโรงงานที่ก่อให้เกิดของเสียที่เป็นพิษได้ โดยหน่วยการผลิตก็ใช้สารเคมี ซึ่งสามารถแสดงลักษณะที่เป็นพิษได้เช่น ลุกติดไฟได้ง่าย กัดกร่อนโลหะ เกิดปฏิกิริยาได้ง่าย การปนเปื้อนของสารเหล่านี้กับสารอื่น ๆ ก็สามารถทำให้เกิดของเสียที่เป็นพิษได้ ฉะนั้นหน่วยงานใดก็ตามที่จำเป็นต้องใช้สารเหล่านี้ จะต้องมีการใช้งาน การจัดเก็บ และการตรวจสอบที่ถูกต้อง เพื่อป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นกับของเสียกลุ่มนั้น ตัวอย่าง เช่น สารเร่งปฏิกิริยาตัวทำลายอินทรีย์ น้ำยาซักแห้ง และสารช่วยย้อมบางประเภท เป็นต้น นอกจากนี้สารเคมีที่ใช้ในการทำความสะอาดเครื่องจักรก็อาจทำให้เกิดของเสียที่เป็นพิษได้

## แนวทางการลดของเสียในอุตสาหกรรมฟอกย้อม

### 4.1 แนวความคิดในการป้องกันมลพิษและลดของเสีย

ในอดีตการรักษาและป้องกันแก้ไขปัญหาล้างแวล้อมใช้การควบคุมที่ปลายท่อ (End-of-Pipe, E-O-P) โดยรัฐมีกฎหมายควบคุมการทิ้งของเสียหรือมลพิษทางน้ำ ทางอากาศ ของโรงงานให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด ซึ่งทางโรงงานจะพยายามปฏิบัติให้มลพิษหรือของเสียที่จะปล่อยออกนอกโรงงานอยู่ในเกณฑ์เท่านั้น ไม่ได้มุ่งเน้นที่จะลดปริมาณของเสียตั้งแต่อยู่ในกระบวนการผลิต แต่ในปัจจุบันเมื่อวิวัฒนาการของการวิจัยพัฒนาสูงขึ้น ทำให้พบว่าการรักษาและป้องกันแต่เดิมในอดีตเป็นการแก้ไขปัญหาที่ปลายเหตุ การป้องกันและแก้ไขปัญหาคือที่ดีที่สุดคือการแก้ไขปัญหาคือต้นเหตุ ทำอย่างไรจึงจะทำให้โรงงานเกิดของเสียในการผลิตน้อยที่สุดเท่าที่จำเป็น (Waste Minimization) และนำมาบำบัดในระบบที่มีประสิทธิภาพประกอบกับความรู้ความเข้าใจในการควบคุมดูแลระบบอย่างต่อเนื่อง ทำให้ของเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วเป็นไปตามมาตรฐานที่รัฐกำหนดและเมื่อนำไปทิ้งทำลายก็สามารถทำได้อย่างถูกวิธี ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อดินและอากาศ แนวคิดทั้งหมดนี้คือหลักการป้องกันมลพิษแสดงดังรูปที่ 4-1



รูปที่ 4-1 หลักการป้องกันมลพิษ

จากรูปที่ 4-1 จะเห็นได้ว่าของเสียเริ่มต้นจะมีมาก เมื่อลดของเสียที่แหล่งกำเนิดของเสียจะลดลง ถ้าเราสามารถนำของเสียเหล่านั้นกลับมาใช้ใหม่ของเสียที่จะถูกนำไปบำบัดจะลดน้อยลง ของเสียหลังจากที่ถูกส่งไปยังระบบบำบัดแล้วก็มีของเสียปล่อยออกมาสู่สิ่งแวดล้อมในปริมาณน้อยหรือเกือบหมด

วิธีการลดของเสียที่แหล่งกำเนิด และการนำมาใช้ใหม่ในปัจจุบันมีการคิดค้นและวิจัยพัฒนา มากขึ้นเพื่อนำมาใช้เป็นเทคโนโลยีสะอาด (Cleaner Technology) ทำให้โรงงานได้ผลประโยชน์ดังนี้

- 1) ลดต้นทุนการผลิต เพราะ
  - ลดการสูญเสียวัตถุดิบ และสารเคมี
  - ประหยัดน้ำ
  - ลดภาระค่าใช้จ่ายในการบำบัด
- 2) ประสิทธิภาพการผลิตดีขึ้น
- 3) คุณภาพผลิตภัณฑ์ดีขึ้น
- 4) มีสภาพแวดล้อมการทำงานที่ดี
- 5) ภาพพจน์องค์กรดีขึ้น ทำให้เป็นเพื่อนบ้านที่ดีกับชุมชน

อุตสาหกรรมพอกย้อมเป็นกระบวนการผลิตที่ประกอบด้วยปฏิกิริยาทางเคมีฟิสิกส์หลายอย่างที่ใช้ น้ำเป็นตัวกลาง อุตสาหกรรมพอกย้อมสีในทุกวันนี้ใช้ปริมาณน้ำเป็นจำนวนมาก การพัฒนากระบวนการที่ไม่ใช้น้ำ หรือใช้น้ำจำนวนน้อยจึงมีความจำเป็น เนื่องจากการลดปริมาณน้ำใช้ตั้งแต่ต้นกระบวนการ มีผลช่วยให้การใช้ สารเคมี และพลังงานลดลง นอกจากนี้ยังมีผลให้น้ำทิ้งลดลงเป็นการช่วยลดขนาดของระบบบำบัดต่าง ๆ ซึ่งสามารถ จะดำเนินการได้ดังต่อไปนี้

- 1) ควบคุมปริมาณน้ำเฉลี่ยที่ต้องใช้ในกระบวนการต่าง ๆ และน้ำที่ใช้เพื่อจุดประสงค์อื่น ๆ ซึ่งไม่เกี่ยวข้องในกระบวนการ
- 2) สำหรับกระบวนการที่ต้องใช้น้ำมาก ควรพิจารณาถึงปริมาณและคุณสมบัติของน้ำที่ ต้องการ โดยยังคงสามารถทำผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพเหมือนเดิมได้
- 3) ตรวจสอบคุณภาพน้ำทิ้ง โดยอาจใช้วิธีสุ่มตรวจหรือพิจารณาจากสมดุลวัสดุที่ใช้ใน กระบวนการ
- 4) พิจารณาริธีการนำน้ำมาใช้ซ้ำ (Reuse) โดยอาจจะใช้ข้อมูลจาก 1-3 โดยต้องคำนึงถึง การจัดวางเครื่องจักรที่มีอยู่รวมถึงระบบท่อน้ำ ข้อจำกัดด้านเทคโนโลยีบำบัดน้ำเสีย และคุณสมบัติของผ้าหรือ กระบวนการต่อคุณภาพของน้ำที่ใช้แล้ว โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกระบวนการย้อมสี

## 4.2 การลดของเสียในอุตสาหกรรมพอกย้อม

การลดของเสียจากการผลิต จะทำให้มีของเสียที่ต้องไปจัดการหรือบำบัดน้อยลง ค่าใช้จ่ายส่วนนี้จึงน้อยลง รวมทั้งยังเป็นการลดปริมาณมลพิษลงได้อีกด้วย วิธีการลดมลพิษในน้ำเสียของอุตสาหกรรม พอกย้อมมีหลักใหญ่ อยู่ 2 ประการคือ

1. การลดของเสียจากแหล่งกำเนิด
2. การนำกลับมาใช้ใหม่

#### 4.2.1 การลดของเสียจากแหล่งกำเนิด

การลดของเสียจากแหล่งกำเนิดในอุตสาหกรรมฟอกย้อม มีวิธีการดังนี้

##### 4.2.1.1 การเลือกสีย้อมและสารเคมีที่ใช้เหมาะสม

การเลือกใช้สารเคมีที่เหมาะสมจะเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งในการลดของเสียที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากสารเคมีแต่ละชนิดจะมีความเป็นพิษที่ต่างกันและการใช้ปริมาณสารเคมีหรือสีย้อมในปริมาณที่เหมาะสมเป็นการลดปริมาณสารเคมีส่วนเกิน ซึ่งปริมาณสารเคมีส่วนเกินนั้นจะกลายเป็นมลพิษทางน้ำต่อไป จากการศึกษากระบวนการฟอกย้อมพบว่า หากสามารถลดปริมาณสารเคมีได้ 20-50 % จะสามารถลดปริมาณของเสียในน้ำทิ้งในรูปของ BOD ได้ถึงประมาณ 30-50% ผลดีอีกประการที่เห็นได้ชัดเจนก็คือค่าใช้จ่ายในการใช้สารเคมีจะลดลงด้วย แนวทางการใช้สารเคมีที่เหมาะสมมีดังนี้

1) เลือกใช้สารเคมีที่ทำให้เกิดค่า BOD ต่ำ แทนสารเคมีที่ใช้อยู่เดิม สารเคมีที่ทำให้เกิดค่า BOD ในน้ำทิ้งปริมาณมากได้แก่ สารลงแป้ง น้ำสบู่หรือสารซักฟอก ค่า BOD ของสารลงแป้งชนิดต่าง ๆ แสดงไว้ในตารางที่ 4-1

**ตารางที่ 4-1** ค่า BOD ของสารลงแป้งชนิดต่าง ๆ

สารลงแป้ง	BOD (ppm)
PVAc (Polyvinyl acetate)	10,000
PVA (Polyvinyl alcohol)	10,000 – 16,000
PVA / CMC (3 : 1)	17,500
CMC (Carboxy methyl cellulose)	30,000
HEC (Hydroxyethyl cellulose)	30,000
Starch / PAA (Polyacrylic acid)	295,000
Alginate	360,000
Starch ether	360,000
Starch / PVA (5 : 1)	405,000
Starch	470,000
Wheat starch	550,000

ที่มา : Smith, B. (1986)

จะเห็นว่าแป้งสังเคราะห์มีค่าปริมาณ BOD ต่ำกว่าแป้งธรรมชาติ (Starch) มาก ดังนั้นหากเลือกใช้แป้งสังเคราะห์ก็จะทำให้สามารถลดค่า BOD ได้ถึง 20-30 เท่า

นอกจากแป้งจะเป็นสารที่มีค่า BOD สูงแล้ว สารซักฟอกหรือน้ำสบู่ก็เป็นสารเคมีอีกประเภทหนึ่งที่มีปริมาณการใช้มากและมีค่า BOD ค่อนข้างสูงเช่นเดียวกัน ตัวอย่างค่า BOD สารซักฟอกและน้ำสบู่แสดงดังตารางที่ 4-2

**ตารางที่ 4-2** แสดงค่า BOD ของสารซักฟอกและน้ำสบู่ชนิดต่าง ๆ

ชนิด	ค่า BOD (ppm)
Sulfonated vegetable oil	590,000
Tallow	1,520,000
Tallow soap	550,000
Trition 770 (alkyl aryl polyester sulfate)	90,000
Trition 771 (polyester sulfate)	50,000
Trition X-114 (Isooctyl phenol ethoxylate)	100,000
Duponal C (Lauryl Sulfate)	1,250,000
Duponal C (Alcohol sulfate)	450,000
Pine oil	1,080,000
Sandozol KB (Sulfonated vegetable oil)	150,000
Andopon TLF (Sulfonated fatty amide)	50,000
All detergent	40,000
Igepal (Alkyl phenol ethoxylate)	40,000
Igepal AD-78 (Sodium Isothionate oleate)	1,210,000
Igepal T-77 (Sulfonamide)	1,660,000
Lauryl sulfate	1,250,000
Nonyl phenol 10 ethoxylate	570,000
Sulfonated castor oil	520,000

ที่มา : Smith, B. (1986)

น้ำสบู่ที่นิยมใช้กันมากที่สุดในกระบวนการฟอกย้อม คือ กลุ่มที่มีประจุลบและไม่มีประจุ ส่วนกลุ่มที่มีประจุเป็นบวกจะนิยมใช้เป็นสารตกแต่งนุ่นมากกว่า น้ำสบู่ที่มีประจุลบและมีโครงสร้างเป็น linear alkyl benzene sulfonate จัดเป็นกลุ่มที่มีค่า BOD ต่ำ และย่อยสลายทางชีววิทยาได้ง่าย ในขณะที่น้ำสบู่ที่ไม่มีประจุและมีโครงสร้างเป็น alkylphenol ethoxylate จะเป็นกลุ่มที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากเมื่อสลายตัวจะ

ปล่อยสารประกอบฟีนอล ซึ่งเป็นสารพิษต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำออกมา น้ำเสียที่มีประจุบวก เมื่อสลายตัวก็จะให้สารประกอบที่เป็นพิษอย่างมากต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำเช่นเดียวกัน

การเลือกใช้สารเคมีที่มีค่า BOD ต่ำแทนชนิดที่มีค่า BOD สูง จึงมีข้อที่ควรพิจารณา 2 ประการ คือ จะมีค่าใช้จ่ายในด้านราคาเพิ่มขึ้น และสารเคมีบางชนิดที่มีค่า BOD ต่ำ อาจจะถูกย่อยสลายทางชีววิทยาได้ยาก ดังนั้นหากเลือกใช้สารเคมีดังกล่าวก็ควรที่จะต้องเพิ่มเวลาในการบำบัดที่บ่อเติมอากาศให้นานขึ้น เพื่อช่วยให้แบคทีเรียมีเวลาในการย่อยสลายสารอินทรีย์เหล่านี้มากขึ้น

2) เปลี่ยนสารที่ใช้ลอกแป้ง โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แทนเอนไซม์หรือใช้เอนไซม์ที่เปลี่ยนแป้งเป็นเอทานอล จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการล้างทำให้ใช้น้ำน้อยลงและลดค่า BOD ในน้ำเสีย

3) การเลือกสีย้อมที่มีการพ่นกับเส้นใยสูง ถึงแม้ว่าชนิดของสีย้อมที่เลือกใช้ขึ้นกับวัสดุที่ย้อม เจดสี และความคงทนของสีย้อม มีสีย้อมหลายประเภทที่ใช้ในโรงย้อมซึ่งมีวิธีการทำความสะอาดแตกต่างกันออกไป องค์ประกอบสำคัญสำหรับการประหยัดน้ำใช้ คือ การเลือกชนิดสีย้อมที่มีความสามารถในการพ่นกับเส้นใยสูง ดังตารางที่ 4-3 ที่แสดงความสามารถในการพ่นของสีย้อมชนิดต่าง ๆ

**ตารางที่ 4-3** ความสามารถในการพ่นกับเส้นใยของสีย้อมชนิดต่าง ๆ

ชนิดของสีย้อม	ความสามารถในการพ่นของสีกับเส้นใย	สีในน้ำเสีย
Direct dyes	70-95%	5-30%
Sulfur dyes	60-70%	30-40%
Vat dyes	80-95%	5-20%
Azoic dyes	90-95%	5-10%
Reactive dyes	50-80%	20-50%
Acid dyes	80-93%	7-20%
Metal complex dyes	95-98%	2-5%
Basic dyes	97-98%	2-3%
Disperse dyes	80-92%	8-20%

**ที่มา :** Smith, B. 1986

4) สีย้อมที่พ่นอยู่หลายชนิด แยกตามลักษณะสถานะในการย้อม ซึ่งแบ่งออกได้เป็นชนิดที่เหมาะสมกับการย้อมแบบดูดซึม (exhaust) หรือแบบเบตซ์ สีย้อมที่เหมาะสมกับการย้อมแบบต่อเนื่อง สำหรับการย้อมแบบดูดซึม (exhaust) สีย้อมจะมีความสามารถในการดูดซึมต่อเส้นใยเพิ่มขึ้นเมื่อเติมเกลืออนินทรีย์ลงไป และจะมีการพ่นติดกับเส้นใยเพิ่มขึ้นเมื่อเติมต่างลงไป เครื่องย้อมปัจจุบันที่ใช้อัตราส่วนของน้ำต่อวัสดุต่ำ การเลือกสีย้อมที่มีความสามารถในการพ่นกับเส้นใยสูง มีความสำคัญกว่าสีย้อมที่มีความสามารถในการดูดซึม (affinity)



ต่อเส้นใยสูงเมื่อเติมเกลืออนินทรีย์ลงไป ในกรณีของเครื่องย้อมแบบเก่าที่ใช้อัตราส่วนของน้ำต่อวัสดุสูง ถ้าสีย้อมมีการดูดซึมก่อนการฟีนิกสีต่ำ การฟีนิกสีกับเส้นใยจะลดลงหลังจากที่เติมต่างลงไป ทั้งนี้เนื่องจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างน้ำและสีย้อม ทำให้ปริมาณสารมีสีในน้ำเสียมีย้อมจำนวนมากขึ้น

5) การเลือกใช้สีย้อมที่มีคุณภาพดีขึ้น โดยทั่วไปผู้ผลิตสีย้อมส่วนใหญ่จะมีการผลิตสีย้อมชนิดพิเศษที่มีความต้องการเกลือหรือสารเคมีอื่น ๆ ต่ำ และมีความสามารถในการดูดติดเส้นใยสูงเมื่อเทียบกับการย้อมแบบธรรมดา การใช้สีย้อมประเภทนี้จะทำให้สามารถลดปริมาณของเกลือหรือสารเคมีที่จำเป็นลง และทำให้มีสีย้อมปะปนมากับน้ำเสียน้อยลง สีย้อมประเภทนี้เหมาะสำหรับการใช้งานในระบบต่อเนื่องมากกว่าที่จะเป็นระบบแบบดูดซึมหรือแบบเบตซ์

6) เลือกสีย้อมที่มีความเป็นพิษน้อย หลีกเลี่ยงสีย้อมที่มีโอกาสก่อให้เกิดอันตรายหรือมีพิษสูง เช่น สีย้อมอะไซท์ที่สามารถแตกตัวให้อะมิโนประเภทที่ก่อให้เกิดมะเร็ง

7) สำหรับการย้อมโพลีเอสเตอร์หรือฝ้าย-เรยอง การกำจัดสีส่วนเกินโดยใช้สารไฮโดรซัลไฟท์ สามารถหลีกเลี่ยงไม่ต้องทำได้ หากการย้อมโพลีเอสเตอร์ใช้สีย้อมประเภท Alkali Hydrolysis และการย้อมฝ้าย-เรยอง ใช้สีรีแอคทีฟ

8) ในกระบวนการย้อมโพลีเอสเตอร์โดยใช้สตีลเพิร์สชั่น ควรหลีกเลี่ยงการใช้สารแคโรเออร์ ซึ่งนอกจากจะเป็นอันตรายต่อสุขภาพแล้ว ยังก่อปัญหาทำให้ผ้าโพลีเอสเตอร์มีความคงทนต่อแสงลดต่ำลง และการขจัดสารแคโรเออร์ออกจากผ้านั้นจะต้องใช้น้ำร้อนเป็นจำนวนมาก

9) การเลือกใช้กรดน้ำส้มแทนฟอสเฟตในการควบคุมพีเอชและปรับปรุงคุณภาพน้ำ จะช่วยลดปริมาณฟอสเฟตในน้ำเสีย

#### 4.2.1.2 การปรับเปลี่ยนกระบวนการฟอกย้อม

การปรับเปลี่ยนกระบวนการฟอกย้อมหรือเครื่องจักรเพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นและมีการใช้วัตถุดิบ (น้ำ พลังงาน และสารเคมี) น้อยลง แต่ก็ไม่เป็นการง่ายที่จะเปลี่ยนแปลงระบบการผลิตที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ให้ไปใช้ระบบใหม่หมดทีเดียว มาตรการระยะแรกที่จะลดปริมาณการใช้น้ำและมลพิษต่อสิ่งแวดลอม ผู้บริหารระดับสูงแต่ละโรงงานต้องเพิ่มความเข้าใจถึงสถานะปัจจุบัน โดยทำการบันทึกและวิเคราะห์ปริมาณน้ำใช้แต่ละกระบวนการ และกำหนดเป้าหมายการลดปริมาณการใช้น้ำ ในการพิจารณาตั้งเป้าหมายดังกล่าวมีความสัมพันธ์กับปัจจัยที่ต้องคำนึงถึง ได้แก่

1) เป้าหมายที่ตั้งสามารถทำให้สำเร็จโดยใช้กระบวนการที่มีอยู่ในปัจจุบันโดยเน้นการจัดการ

2) เป้าหมายที่ตั้งสามารถทำให้สำเร็จได้โดยการเพิ่มอุปกรณ์ช่วยประกอบเข้ากับเครื่องมือที่มีอยู่

3) เป้าหมายที่ตั้งสามารถทำให้สำเร็จโดยการเปลี่ยนแปลงกระบวนการที่มีอยู่ให้เป็นชนิดประหยัดน้ำ

การปรับปรุงกระบวนการต่าง ๆ จะกระทำทีละขั้นตอนโดยพิจารณาถึงต้นทุนที่ทำให้ประสิทธิผล และตรวจสอบผลที่ได้เทียบกับเป้าหมายที่ตั้งทุก ๆ ปี และเมื่อเป้าหมายที่ตั้งไว้เริ่มแรกสัมฤทธิ์ผลแล้ว จะทำการกำหนดเป้าหมายที่สูงขึ้น เพื่อความพยายามในการประหยัดน้ำอันดับต่อไปที่ควรจะทำอย่างต่อเนื่อง

**ก. แนวทางการลดปริมาณน้ำเสียโดยใช้กระบวนการที่มีอยู่ในปัจจุบันโดยเน้นการจัดการ**

แนวทางการลดปริมาณน้ำเสียโดยการจัดการ เป็นการลดปริมาณน้ำเสียโดยใช้ความพยายามทางด้านจัดการและปรับปรุงกระบวนการโดยใช้เครื่องจักรเดิมที่มีอยู่ ซึ่งมีวิธีการดังนี้

1) การลดขั้นตอนการผลิต เช่น ทำการลอกแป้ง ขจัดสิ่งสกปรก และฟอกขาวในขั้นตอนเดียว (Single Stage) สำหรับเส้นใยเซลลูโลสและใยผสม ทำให้ประหยัดการใช้น้ำได้มากขึ้น

2) ปรับปรุงกระบวนการล้างให้มีประสิทธิภาพ น้ำเสียส่วนใหญ่ของอุตสาหกรรมฟอกย้อมมาจากการล้างสารเคมีส่วนเกินที่ใช้ในกระบวนการฟอกย้อมออกจากผ้า ดังนั้นถ้าเข้าใจในคุณสมบัติของสารเคมีต่าง ๆ อย่างดีแล้ว จะเป็นการง่ายที่จะกำจัดสารเหล่านี้ออกจากผ้าโดยใช้น้ำล้างน้อยลง แนวทางการกำจัดสารเคมีส่วนเกินอย่างมีประสิทธิภาพมีดังนี้

- โซดาไฟ เป็นสารที่ใช้เป็นจำนวนมากในอุตสาหกรรมย้อมสี ซึ่งถูกดูดซึมโดยเส้นใยฝ้าย และไม่สามารถขจัดออกได้ง่าย ถึงแม้ว่าจะใช้น้ำปริมาณมาก ดังนั้นการทำให้ผ้าถูกล้างสะเทือนเชิงกลในน้ำร้อนและสะเทินด้วยสารละลายกรดเพื่อช่วยทำให้โซดาไฟหลุดออกมาได้ง่ายขึ้น

- ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่ใช้ในการฟอกขาวนั้น สามารถสลายตัวได้อย่างรวดเร็วในสภาวะที่เป็นกรด แต่มันจะสลายตัวได้ช้าในสภาวะที่เป็นด่าง ซึ่งเป็นสภาวะปกติของการย้อมสี ดังนั้น จึงเป็นการปลอดภัย หากเลือกใช้สารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่สลายตัวได้ด้วยเอ็นไซม์

- ในบรรดาสารลงแป้งสำหรับสิ่งทอ PVA เป็นสารที่ถูกขจัดออกยากที่สุดและเป็นไปไม่ได้ที่จะขจัดออกที่อุณหภูมิห้อง ดังนั้นในขั้นแรกให้ละลาย PVA ในน้ำร้อนที่อุณหภูมิใกล้จุดเดือดก่อน แล้วจึงทำให้ PVA สลายตัว โดยใช้สารลอกแป้งและไอน้ำร้อน หรือใช้วิธีการ cold pad batch

- ในการทำความสะอาด การขจัดกรดหรือด่างส่วนเกินออก วิธีการทำให้เป็นกลางจะเป็นวิธีที่เหมาะสมเมื่อมีปริมาณสารน้อย ๆ แต่ควรระวังค่า Total Dissolve Solid จะมีค่าสูงเมื่อความเข้มข้นของสารนั้นสูง

- การขจัดสารที่ละลายน้ำได้ เช่น สารที่เกิดจากการสลายตัวของสารอินทรีย์และสีย้อมส่วนเกิน ควรทำที่อุณหภูมิใกล้จุดเดือดจะได้ผลดี ยกเว้นในกรณีวัสดุจะเสื่อมสภาพเมื่ออุณหภูมิสูง

- โดยทั่วไปหากมีสารที่ละลายได้ในน้ำและสิ่งเจือปนจำนวนมาก ควรเริ่มต้นการทำความสะอาด โดยใช้น้ำปริมาณน้อยแต่ร้อนจัด และจบลงโดยใช้น้ำเย็นปริมาณน้อยในหน่วยสุดท้าย แต่ถ้าสิ่งเจือปนเป็นเกลือกรดหรือด่างจำนวนมาก การทำความสะอาดเริ่มต้นโดยใช้น้ำเย็นปริมาณมากและจบลงด้วยน้ำอุ่นในขั้นตอนสุดท้าย อย่างไรก็ตามถ้าต่างนั้นคือ โซดาไฟ ควรใช้น้ำเดือดตั้งแต่เริ่มแรก

- เมื่อข้อมเส้นใยฝ้าย และเรยอง ที่ผ่านการใช้โซดาไฟในการชุบมันแล้วสามารถดูดซึมสีย้อมได้มากขึ้น ดังนั้น ถึงแม้จะไม่มีอุปกรณ์การชุบมันที่เต็มรูปแบบ การผ่านวัสดุสิ่งทอในโซดาไฟจะช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซึมสีได้ ซึ่งจะลดปริมาณน้ำที่ใช้ในการซักล้างและทำความสะอาด

- การข้อมฝ้ายโดยใช้สีย้อมในเครื่องจักร จะมีส่วนเกินเพียงเล็กน้อยหลังจากการทำการออกซิเดชัน ดังนั้นการทำความสะอาดด้วยน้ำร้อน และน้ำเย็นในลักษณะน้ำล้นเพียงรอบเดียวก็เพียงพอแล้ว แต่ถ้าข้อมด้วยสีย้อมที่แพง จะต้องใช้น้ำปริมาณมากในการซักล้างและทำความสะอาด เพราะสีย้อมสามารถผนึกกับเส้นใยได้ในปริมาณต่ำกว่า ทำให้มีสีอยู่ในน้ำเสียเป็นจำนวนมากกว่า

3) กรณีการซักล้างและทำความสะอาดแบบแบตซ์ ปริมาณการใช้น้ำจะมากกว่าการซักล้างทำความสะอาดแบบต่อเนื่อง แต่ถ้าพยายามลดปริมาณสิ่งเจือปนที่ถูกพามาจากกระบวนการก่อน (Carry-Over) ก็จะช่วยให้น้ำที่ใช้ในการล้างลดลงได้มาก

- สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ทำจากผ้าฝ้ายและเรยอง หรือผลิตภัณฑ์ที่มีความนุ่มพอง เช่น ผ้าถัก ผ้าขนหนู จะมีปริมาณสิ่งเจือปนจำนวนมาก ในการซักล้างทำความสะอาดให้เพิ่มเวลาในการเส็ดน้ำยาวนานกว่าการเส็ดน้ำทิ้งในผลิตภัณฑ์ทั่วไป โดยเฉพาะหลังการซักน้ำครั้งแรก

- สำหรับเครื่องข้อมชนิดที่ใช้อัตราส่วนของน้ำต่ำ ให้ใช้ปริมาณเกลือและด่างพอเหมาะกับความเข้มข้นของสีย้อม และคอยระวังอย่าให้ความเข้มข้นเพิ่มขึ้น

- น้ำที่ใช้ในการซักทำความสะอาดครั้งสุดท้าย ควรเก็บไว้เพื่อสามารถนำมาใช้ใหม่ได้สำหรับงานทำความสะอาดอื่น ๆ

- ต้องแน่ใจว่าไอน้ำที่ถูกกักกลับในเครื่องข้อมที่มีระบบการจ่ายความร้อนแบบอ้อมจะถูกนำกลับไปใช้ใน boiler อีก ไม่รั่วไหลเข้าไปในเครื่องข้อม

- ในการข้อมเส้นใยโพลีเอสเตอร์ด้วยเครื่องข้อมแบบความดันสูง ควรลดจำนวนครั้งในการทำความสะอาดต่อในเครื่องข้อม โดยอาจจะกำหนดให้เครื่องข้อมบางเครื่องข้อมเฉพาะเจดสีอ่อน ๆ หรือกำหนดการข้อมจากเจดสีอ่อนไปถึงเจดสีเข้ม

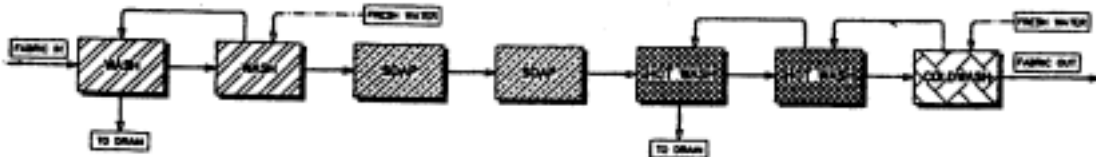
4) ตรวจสอบทำความสะอาดและซ่อมแซมอุปกรณ์เครื่องจักรอย่างสม่ำเสมอ การตรวจสอบเครื่องจักรให้สามารถทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากจะช่วยลดปริมาณน้ำเสียให้น้อยลงแล้วยังช่วยลดต้นทุนในด้านพลังงาน ยืดอายุการใช้งานของเครื่องจักร ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดี และยังช่วยลดอุบัติเหตุภายในโรงงานอีกด้วย

5) ตรวจสอบและซ่อมแซมจุดรั่วไหลของน้ำใช้อย่างสม่ำเสมอ

**ข. แนวทางการลดปริมาณน้ำเสียโดยการเพิ่มเติมอุปกรณ์ช่วยประกอบกับเครื่องมือที่มีอยู่**

การลดปริมาณน้ำเสียโดยการเพิ่มเติมอุปกรณ์ช่วยประกอบกับเครื่องมือที่มีอยู่ เป็นการลดปริมาณน้ำเสียขึ้นต่อจากการใช้การจัดการในโรงงาน เนื่องจากการจัดการในโรงงานก็มีข้อจำกัดบางประการ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องลงทุนส่วนหนึ่งในการจัดซื้ออุปกรณ์บางส่วนเพื่อให้มีการลดปริมาณน้ำที่ดีขึ้น ได้แก่

- 1) ควรติดตั้งอุปกรณ์ที่ทำให้การทำงานของเครื่องซักล้างและทำความสะอาด เชื่อมต่อกับสวิสต์เปิด-ปิด น้ำและไอน้ำ กล่าวคือ สวิสต์จ่ายน้ำและไอน้ำ เปิดในระหว่างที่เครื่องจักรทำงาน และปิดเมื่อเครื่องจักรหยุดทำงาน
- 2) ปริมาณน้ำที่จ่ายให้กับเครื่องซักล้างและทำความสะอาดสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามปริมาณของสิ่งเจือปน โดยติดตั้งอุปกรณ์ที่ควบคุมจากส่วนกลางโดยระบบอัตโนมัติหรือระบบที่ใช้คนควบคุม
- 3) ควรปรับใช้ระบบน้ำไหลวนกลับ (Counterflow) เทคนิคนี้ใช้สำหรับกระบวนการล้างหลายขั้นตอน โดยอาศัยหลักการว่าการล้างทำความสะอาดเส้นใยหรือสิ่งทอในแต่ละขั้นตอนไม่จำเป็นต้องใช้น้ำที่มีความสะอาดบริสุทธิ์เท่าเทียมกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการล้างในขั้นตอนแรก ซึ่งเส้นใยมีความสกปรกมากที่สุด การล้างแบบนี้จะใช้น้ำสะอาดเฉพาะในการล้างขั้นตอนสุดท้ายเท่านั้น (แสดงดังรูปที่ 4-2) น้ำที่ผ่านจากขั้นตอนนี้จะถูกนำไปใช้ล้างเส้นใยในขั้นตอนต่อไปที่มีความสกปรกมากกว่าจนกระทั่งถึงการล้างในขั้นตอนแรกที่มีความสกปรกสูงสุด การล้างแบบนี้เองโดยให้น้ำไหลสวนทิศทางเคลื่อนที่ของเส้นใยหรือสิ่งทอที่จะล้างเป็นรูปแบบที่นิยมใช้มากที่สุด พบว่าการล้างแบบนี้สามารถประหยัดน้ำในกระบวนการล้างได้ถึง 50-80% ขึ้นอยู่กับปริมาณสิ่งทอที่จะล้างและจำนวนขั้นตอนในการล้าง



รูปที่ 4-2 แผนผังการล้างระบบไหลวนกลับ

- 4) ถ้ามีความจำเป็นที่จะต้องควบคุม อุณหภูมิ และพีเอช ควรติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมอัตโนมัติ ที่สามารถช่วยประหยัดไอน้ำหรือสารเคมีที่ใช้โดยไม่จำเป็น
- 5) ในกรณีระบบการซักล้างและทำความสะอาดแบบเบตซ์ การพิจารณานำอุปกรณ์ระบบการซักล้างและทำความสะอาดแบบต่อเนื่องมาใช้หลังจากการย้อมเป็นสิ่งจำเป็น หรืออาจจะติดตั้งอุปกรณ์บางอย่างเพิ่มเติม เช่น
  - การติดตั้งถังเก็บน้ำและระบบท่อ สำหรับการนำน้ำหล่อเย็นและน้ำซักล้างที่เยวสุตท้ายของเครื่องย้อมความดันสูง (เครื่องย้อมเจ็ท) กลับมาใช้

- ข้อพึงระวังสำหรับเครื่องย้อมอื่น ๆ นอกเหนือจากเครื่องย้อมเจ็ท เช่น เครื่องย้อมแบบวินช์ และจิกเกอร์ คือ การติดตั้งระบบควบคุมความร้อนอัตโนมัติ มีความจำเป็น โดยเฉพาะเครื่องย้อมแบบจิกเกอร์ฝาปิดจะต้องสนิท มิฉะนั้นแล้ว เมื่อมีการย้อมสีรีแอคทีฟสีย้อมจะทำปฏิกิริยากับน้ำมากกว่าเส้นใย เป็นผลทำให้ใช้ปริมาณน้ำมากสำหรับการซักล้างทำความสะอาด และเพิ่มปริมาณสิ่งเจือปนในน้ำเสีย

**ค. แนวทางการลดปริมาณน้ำเสียโดยการเปลี่ยนแปลงเครื่องจักรที่มีอยู่ให้เป็นชนิดประหยัดน้ำ**

**1) กระบวนการฟอกขาวแบบ Cold pad batch**

เป็นกระบวนการฟอกขาวที่มักใช้กับผ้าฝ้าย มีขั้นตอน คือ อัดสารละลายลงบนผ้า (Padding) ที่อุณหภูมิประมาณ 30° - 60° แล้วโรยผ้าถักหรือผ้าเช็ดตัวที่ผ่านการ pad แล้วลงในกระบะและปิดด้วยพลาสติก เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ ถ้าเป็นผ้าทอที่ม้วนเก็บเป็น roll ใหญ่ ๆ และปิดด้วยพลาสติกเช่นเดียวกัน ที่ไว้ประมาณ 14-24 ชั่วโมง พร้อมทั้งหมุน roll เป็นระยะ ๆ หลังจากฟอกขาวเสร็จจึงนำไปซักล้างที่อุณหภูมิสูง (90°C ขึ้นไป) ข้อดีของวิธีการนี้ คือ

- ใช้อุณหภูมิต่ำในกระบวนการ pad ทำให้ประหยัดพลังงานความร้อนอย่างมาก
- การฟอกขาวสามารถใช้อุปกรณ์อย่างง่าย เมื่อเทียบกับการฟอกขาวแบบต่อเนื่อง (ต้นทุนสารเคมีที่ใช้ประมาณ 1/3 ของต้นทุนของการฟอกขาวในกรณีที่ใช้เครื่องย้อมแบบวินช์)
- สูตรสารเคมีที่ใช้ไม่ยุ่งยากและไม่ต้องอาศัยเทคนิคเฉพาะ
- การขจัดเศษฝ้ายหรือเศษเส้นใยอื่นค่อนข้างง่าย และเหมาะสมที่สุดกับการฟอกขาวเส้นใยฝ้ายที่มีคุณภาพต่ำและหนา
- เส้นใยเซลลูโลสจะถูกทำลายเล็กน้อย โดยเฉพาะคุณสมบัติด้านความเหนียวแต่ไม่ก่อให้เกิดปัญหาอะไรภายหลังการฟอกขาวผ้าบาง
- ในการฟอกขาวอย่างต่อเนื่องสำหรับผ้าหนา เช่น ผ้าใบจะพบว่าในบางครั้งเวลาที่ใช้ไม่เพียงพอที่จะทำให้ผ้าด้านในถูกฟอกอย่างเพียงพอ แต่อย่างไรก็ตามด้วยกระบวนการนี้การฟอกขาวใช้เวลายาวนานกว่า ดังนั้นผ้าหนาสามารถถูกฟอกอย่างสม่ำเสมอ แม้กระทั่งผ้าด้านใน ภายใต้สภาวะเดียวกันกับการฟอกผ้าบาง
- กระบวนการฟอกขาวนี้ทำที่อุณหภูมิต่ำ การยับย่นของผ้าจึงเกิดขึ้นได้ยากในระหว่างการฟอกขาว ซึ่งมักเกิดกับผ้าผสมเส้นใยสังเคราะห์
- ผลิตภัณฑ์เส้นใยโพลีเอไมด์ และโพลีเอสเตอร์ ถูกทำลายน้อยมาก ดังนั้นจึงไม่มีความจำเป็นที่จะต้องใส่สารป้องกันการเสื่อมคุณภาพสำหรับเส้นใยโพลีเอไมด์ ซึ่งสามารถดำเนินการภายใต้สภาวะ (ใช้สูตรส่วนผสมทางเคมีเดียวกัน) เดียวกับผลิตภัณฑ์เส้นใยเซลลูโลส 100%
- ในกรณีของผ้าที่มีเส้นใย Polyacrylic หรือ เส้นด้าย Polyurethane elastic เป็นส่วนประกอบ การฟอกขาวโดยใช้สารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่อุณหภูมิสูง มักเกิดการ

เหลือหรือความยืดหยุ่นของผลิตภัณฑ์ลดลง แต่ปัญหานี้จะลดน้อยลงเพราะการฟอกขาวแบบ Cold pad batch ใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่า และยังได้ความขาวที่ดีเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่น ข้อเสียของวิธีการฟอกขาวแบบ Cold pad batch คือคุณสมบัติการดูดซึมน้ำของเส้นใยฝ้ายลดลง เนื่องจากสารไขมันในเส้นใยไม่สามารถถูกกำจัดออกได้หมด ถ้าการซักล้างและทำความสะอาดภายหลังการฟอกขาวทำที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งปัญหานี้สามารถแก้ไขโดยการซักล้างทำความสะอาดที่อุณหภูมิสูง

## 2) กระบวนการย้อมแบบ Cold pad batch

กระบวนการย้อมแบบนี้เป็นการ “ย้อมเย็น” (Cold dyeing) ที่มีความเหมาะสมมากที่สุด สำหรับการย้อมเส้นใยเซลลูโลส เช่น ฝ้ายฝ้าย หรือฝ้ายผสมโพลีเอสเตอร์ วิธีการย้อมของกระบวนการนี้มีลักษณะเหมือนกับการฟอกขาวแบบ Cold pad batch คือ เส้นใยจะถูกทำให้อืดตัวด้วยสีย้อมและสารเคมีแล้วผ่านเครื่องรีด (Padding) เพื่ออัดให้สีย้อมติดแน่นกับเส้นใย ในขณะที่เดียวกันสารละลายสีย้อมส่วนเกินก็จะถูกรีดออก หลังจากนั้นนำผ้าที่ pad แล้วม้วนเก็บและคลุมด้วยพลาสติก ควรจะกระทำอย่างรวดเร็วที่สุด มิฉะนั้น อาจจะทำให้เกิดปัญหาสีไม่เท่ากันในผ้า ในกรณีที่เกิดปัญหาหยดน้ำกลั่นตัวในระหว่างการเก็บลดลง วิธีที่ดีที่สุดในการแก้ปัญหา คือ การ pad ผ้าให้ครอบคลุมริมทั้ง 2 ด้านของผ้า ถ้าต้องการให้อุณหภูมิไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บ ทำได้โดยใช้วัสดุที่เป็นกระดาษลูกฟูกห่อผ้าตามด้วยพลาสติกและในระหว่าง pad ผ้าให้อุณหภูมิในอ่าง pad สูงกว่าอุณหภูมิห้อง 2-5<sup>o</sup>เซลเซียส แต่ไม่ควรจะมากกว่า 10<sup>o</sup>เซลเซียส มิฉะนั้นความแตกต่างของอุณหภูมิภายในและภายนอกของม้วนผ้าจะมากเกินไป และม้วนผ้าที่คลุมพลาสติกไว้ควรจะมีการหมุนช้า ๆ ในอัตราเร็วที่มีความเหมาะสมเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำ สีไหลลงมาด้านใดด้านหนึ่งของผ้า สีย้อมจะถูกผนึกในช่วงระหว่างการเก็บเป็นเวลา 10-20 ชั่วโมง

กระบวนการย้อมแบบ Cold pad batch ไม่ใช่กระบวนการย้อมล่าสุด แต่มีสิ่งใหม่ ๆ ที่ค้นพบว่ามีข้อดีเหนือกว่าวิธีการแบบทั่ว ๆ ไป ดังนี้คือ

- ใช้พลังงานต่ำ
- มีการพ่นสีสูง ทำให้เหลือสีในน้ำทิ้งน้อยลง
- กระบวนการนี้ดำเนินการที่อุณหภูมิห้องจึงทำให้ผ้าแข็งกระด้างน้อยกว่าปกติ
- สามารถย้อมได้ในปริมาณน้อย ๆ และไม่ต้องการน้ำมากสำหรับเครื่องซักล้าง
- ใช้น้ำน้อยมาก (L : R = 1 : 1) จนเรียกได้ว่าเป็นกระบวนการประหยัดน้ำ
- ไม่จำเป็นต้องเติมสารเคมีหรือเกลือชนิดพิเศษในกระบวนการย้อม
- สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการย้อมสีเส้นใยขนสัตว์หรือไหมพรมได้

3) การใช้เครื่องย้อมแบบเบตซ์ที่มีอัตราส่วนการใช้น้ำหนักเส้นใยต่อน้ำหนักน้ำสีย้อมต่ำ (Low Bath Ratio Dyeing)

กระบวนการย้อมด้วยวิธีการแบบเบตซ์ที่ใช้อัตราส่วนน้ำหนักเส้นใยต่อน้ำหนักสีน้ำย้อม น้ำหนักน้อยกว่ามาตรฐานทั่วไป เครื่องย้อมรุ่นใหม่ ๆ แบบฉีด (jet) หรือแบบสำเร็จรูปสามารถลดอัตราส่วนดังกล่าวอยู่ในระดับ 1 : 3 ถึง 1 : 5 เมื่อเทียบกับแบบธรรมดาทั่ว ๆ ไปที่มีค่าสูงถึง 1 : 12 กระบวนการนี้ประหยัดทั้งน้ำใช้พลังงาน สีย้อม และสารเคมีพิเศษเฉพาะที่จำเป็น อย่างไรก็ตามสีที่จะใช้ในกระบวนการนี้ได้ต้องมีประสิทธิภาพต้องเป็นสีที่ละลายน้ำได้ดี มีความสม่ำเสมอ ดูดซับส่วนเกินออกได้ง่าย

4) การใช้เครื่องย้อมแบบต่อเนื่องย้อมผ้าถัก (Continuous Dyeing for Knits)

โดยปกติการย้อมสีแบบต่อเนื่องจะเป็นที่นิยมใช้กับสิ่งทอที่มีความสามารถในการรับแรงดึงได้สูง แต่สิ่งทอประเภทถักจะไม่สามารถใช้การย้อมสีแบบต่อเนื่องได้ต้องใช้แบบเบตซ์แทน เพราะจะเสียรูปทรงเมื่อได้รับแรงดึง อย่างไรก็ตามในปัจจุบันได้มีการผลิตเครื่องจักรที่สามารถย้อมสีได้อย่างต่อเนื่องโดยมีการดึงสิ่งทอน้อยที่สุด หรือไม่มีเลย ซึ่งจะทำให้สิ่งทอประเภทถักไม่เสียรูปทรง การย้อมสีสิ่งทอแบบถักอย่างต่อเนื่องนี้มีข้อดีเหนือการย้อมแบบเบตซ์ดังนี้

- ใช้น้ำในกระบวนการย้อมน้อยลง
- ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นลดลง

5) Automated Color Mix Kitchen and Chemical Dosing

การใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมการผสมสีและเติมสารเคมีให้ได้ในสัดส่วนที่ต้องการเกิดผลดีมากกว่าการใช้คน สามารถป้องกันการหกเลอะของสีและสารเคมีได้อย่างมีประสิทธิภาพ ถึงแม้ว่าการใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมการทำงานจะต้องเสียค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการติดตั้งระบบ แต่ผลประโยชน์ที่ได้อันเนื่องมาจากการประหยัดสีย้อมและสารเคมี และการลดความเสียหายที่เกิดขึ้นกับผลิตภัณฑ์ สามารถชดเชยกับการลงทุนเบื้องต้นได้ในเวลาอันสั้น

6) เครื่องซักล้างแบบประหยัดน้ำ

เครื่องซักล้างแบบประหยัดน้ำมีหลายประเภทขึ้นอยู่กับการนำไปใช้หรือลักษณะงานที่ใช้ อาทิเช่น

- เครื่องซักล้างแบบประหยัดน้ำแบบ Multi-stage type เครื่องแบบนี้เป็นการล้างแบบระบบการบีบอัดเต็มหน้าผ้า ซึ่งมีปริมาณ carry-over บนผ้าลดลง โดยการซักล้างหลาย ๆ ครั้งด้วยน้ำในปริมาณน้อย
- เครื่องซักล้างแบบประหยัดน้ำแบบ Vacuum multi-stage type เป็นเครื่องซักที่มี vacuum ด้านความกว้างที่เต็มหน้าผ้า ซึ่งมีปริมาณ carry-over ต่ำที่สุด โดยการซักสีย้อมและสารเคมีบนผ้าโดยระบบ vacuum

- เครื่องซักล้างแบบประหยัดน้ำแบบ Physical vibration type เครื่องแบบนี้เหมาะจะใช้ในการกำจัดแป้งหรือกากจากการพิมพ์ผ้า โดยใช้การสั่นสะเทือนทางฟิลิกส์ และขณะเดียวกันก็เหมาะสำหรับการซักล้างเพื่อลดปัญหาของ pile ในผ้า

- เครื่องซักล้างแบบประหยัดน้ำแบบ Continuous rope type เครื่องนี้เหมาะสำหรับการซักล้างผ้าถักที่ฟอกขาวแล้ว ผ้าเช็ดตัวและผ้าพิมพ์โพลีเอสเตอร์

7) การชุบมันโดยใช้สารละลายแอมโมเนีย

การใช้สารละลายแอมโมเนียแทนการใช้โซดาไฟ จะมีข้อดีคือสามารถกำจัดวิธีการล้าง ซึ่งต้องใช้น้ำจำนวนมากออกไป และยังช่วยลดปริมาณน้ำเสียอีกด้วย ในขณะที่เดียวกันสารละลายแอมโมเนียยังสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ วิธีนี้สามารถลดการใช้ไอน้ำและเพิ่มความแข็งแรงของเส้นด้าย ผ้าทอผ้าถัก ซึ่งมักจะเกิดปัญหาการเสียรูปทรงในระหว่างกระบวนการผลิต

8) การใช้ Plasma ที่อุณหภูมิต่ำ

วิธีนี้ใช้ในการขจัดสิ่งฝังในผ้า โดยใช้อุณหภูมิของออกซิเจนที่ถูกปล่อยออกมาจาก Plasma ที่อุณหภูมิต่ำแทนวิธีเก่าที่ใช้ความร้อนที่จุดเดือด ต่างและสารลดแรงตึงผิว นอกเหนือจากนี้วิธีนี้ยังลดปัญหาการหดตัวของขนสัตว์และทำให้ผ้าโพลีเอสเตอร์มีคุณสมบัติในด้านการดูดซึมน้ำที่ดีขึ้น

9) เทคโนโลยีที่อยู่ในขั้นตอนการทดลอง

- การฟอกขาวด้วยโอโซน
- การปรับปรุงคุณภาพเส้นใยสังเคราะห์โดยใช้ UV laser
- การย้อมโดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ (Supercritical Fluid

Dyeing)

- Direct dyeing bath monitoring and control systems
- Real - time adaptive control systems
- Ultrasound dyeing
- Radio frequency drying

จากวิธีการลดปริมาณน้ำเสียในรูปแบบต่าง ๆ จะพบว่าอุตสาหกรรมย้อมสีนั้นมีพื้นฐานการดำเนินการโดยใช้น้ำเป็นองค์ประกอบสำคัญมาเป็นระยะเวลายาวนานถึงปัจจุบันคงจะเป็นการยากที่จะย้อมโดยไม่ใช้น้ำเลย และขณะเดียวกันในอนาคตที่ต้องคำนึงถึงสิ่งแวดล้อม ก็คงจะเป็นการยาก เช่นกันที่จะใช้น้ำในปริมาณมากเหมือนเดิม ดังนั้นเทคโนโลยีในการประหยัดน้ำจึงมีบทบาทสำคัญมากสำหรับการบริหารงานของบริษัท สำหรับอุตสาหกรรมฟอกย้อมในประเทศไทย ซึ่งส่วนใหญ่เป็นโรงงานขนาดกลางและเล็ก การเลือกใช้เทคโนโลยีขั้นสูงที่มีราคาแพงอาจจะยังไม่เหมาะสม ดังนั้นการลงทุน ด้านการจัดการในโรงงานและปรับปรุงเปลี่ยนแปลงกระบวนการผลิตจากเครื่องจักรที่มีอยู่เดิมน่าจะมีความเหมาะสมกว่า แล้วจึงค่อยปรับปรุงกระบวนการตามลำดับขั้นตอนที่ละชั้น โดยพิจารณาถึงต้นทุนที่ให้ประสิทธิผล และตรวจสอบผลที่ได้เทียบกับเป้าหมายที่ตั้งไว้



ทุก ๆ ปี และเมื่อเป้าหมายที่ตั้งไว้สัมฤทธิ์ผล ควรกำหนดเป้าหมายที่สูงขึ้น เพื่อความพยายามในการลดปริมาณของเสียอันดับต่อไปที่ควรกระทำอย่างต่อเนื่อง

#### 4.2.2 การนำกลับมาใช้ใหม่

วิธีการลดปริมาณของสีสามารถทำได้อีกวิธีหนึ่งคือการนำกลับมาใช้ใหม่หรือใช้ซ้ำอีกเท่าที่จะทำได้ สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการเตรียมควรต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมคือ เลือกชนิดที่สามารถใช้ซ้ำได้อีก โดยไม่ทำให้เกิดปัญหาขึ้นเช่นเกิดเป็นจุดบนผ้า (Spotting) เป็นต้น

ขั้นตอนสำคัญที่ได้รับการพิสูจน์แล้วว่าเป็นขั้นตอนที่สามารถจะนำสารเคมีและสีย้อมกลับมาใช้ใหม่หรือใช้ซ้ำได้อีกอย่างได้ผล ได้แก่

- 1) การใช้น้ำสีย้อมจากอ่างย้อมซ้ำอีก
- 2) การนำโซดาไฟจากกระบวนการชุบมันกลับมาใช้ใหม่
- 3) การนำสารลงเบ็งเส้นด้ายฝ้ายกลับมาใช้ใหม่

จากขั้นตอนดังกล่าวข้างต้น แม้ว่าจะเป็นเทคโนโลยีที่รู้จักแพร่หลายมานานหลายปีแล้ว และเป็นวิธีการที่สามารถลดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมได้อย่างมาก เพราะนอกจากจะเป็นการลดสารเคมี เกลือ ด่างและสีแล้วยังเป็นการลดค่า COD และ BOD ในน้ำที่จะบำบัดอีกด้วย หากแต่วิธีการเหล่านี้ก็ไม่นิยมใช้กันเนื่องจาก

- 1) ปัญหาการใช้น้ำสีย้อมจากอ่างย้อมซ้ำ

ปัญหาที่สำคัญของการใช้น้ำสีจากอ่างย้อมซ้ำก็คือ คุณภาพของผลิตภัณฑ์ การใช้น้ำย้อมสีซ้ำจะต้องทำการปรับความเข้มข้นของสีย้อมและปริมาณเคมี จึงทำให้เกิดความเสี่ยงต่อการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นจากเดิม เนื่องจากสิ่งสกปรกบนผ้าที่ย้อมในครั้งแรกจะลงไปอยู่ในอ่างย้อมทำให้การควบคุมคุณภาพของสีทำได้ยากขึ้น โดยเฉพาะการย้อมให้ได้ความเข้มข้นที่เหมือนเดิม ดังนั้นหากต้องการผลิตภัณฑ์คุณภาพสูงวิธีการนี้จึงมีความยุ่งยากมาก และมีสีย้อมบางประเภทเท่านั้นที่สามารถนำน้ำสีย้อมจากอ่างย้อมมาย้อมซ้ำ ได้แก่ สีซัลเฟอร์ สีแวท และสีดีสเพิร์ส

- 2) ปัญหาการนำโซดาไฟจากกระบวนการชุบมันกลับมาใช้ใหม่

ในการนำโซดาไฟกลับมาใช้ใหม่ ทำได้โดยการระเหยเอาน้ำออกจากสารละลายโซดาไฟที่กรองแล้ว (เพื่อขจัดสิ่งสกปรกและเศษเส้นใยต่าง ๆ) จนได้ความเข้มข้นที่ต้องการ แต่ถ้าหากโรงงานไม่มีการใช้โซดาไฟปริมาณมาก ๆ วิธีการนี้ก็ไม่ค่อยคุ้มค่าต่อการลงทุน เนื่องจากเครื่องจักร อุปกรณ์มีราคาแพงมาก และต้องการการดูแลรักษาที่ดี

- 3) ปัญหาการนำสารลงเบ็งเส้นด้ายฝ้ายกลับมาใช้ใหม่

การนำสารลงเบ็งกลับมาใช้ใหม่หรือการใช้ซ้ำ สามารถใช้ได้กับสารลงเบ็งสังเคราะห์ โดยใช้เทคโนโลยีการกรองผ่านเมมเบรน (Membrane filtration) แต่ในทางปฏิบัติเป็นเรื่องทำกันได้ง่ายด้วยสาเหตุหลายประการเช่น มีสารลงเบ็งบางตัวเท่านั้นที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เช่น PVA และ CMC แต่ในอุตสาหกรรมสิ่งทอมีการใช้ PVA เป็นสารลงเบ็งเพียง 1 ใน 3 ส่วนใหญ่ของสารลงเบ็งจะเป็นเบ็งธรรมชาติ ซึ่งจะเสีย

สภาพในระหว่างกระบวนการลอกแป้งทำให้ไม่สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้ การใช้ PVA มักจะใช้ผสมกับแป้งชนิดอื่น ทำให้ขั้นตอนการกรองยุ่งยากมากขึ้น นอกจากนี้อุปกรณ์ที่ใช้ในการกรอง PVA ยังมีราคาแพงอีกด้วย

ดังนั้นการนำกลับมาใช้ใหม่ของขั้นตอนดังกล่าว ทางผู้ประกอบการต้องนำมาพิจารณาถึงความเหมาะสมของสภาพแต่ละโรงงาน

## วิธีการที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสีย

## 5.1 มลพิษในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม

ลักษณะสมบัติน้ำเสียในโรงงานฟอกย้อมประเภทต่าง ๆ จะมีความแตกต่างกัน โดยขึ้นอยู่กับวัตถุดิบ กระบวนการผลิต และสารเคมีที่ใช้ นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงของลักษณะสมบัติน้ำเสียในแต่ละโรงงานยังขึ้นอยู่กับ เวลาและฤดูกาล แต่โดยทั่วไปมลพิษในน้ำเสียที่เกิดจากโรงงานฟอกย้อมมีดังนี้

## 5.1.1 บีโอดี (Biological Oxygen Demand, BOD)

ค่าบีโอดีเป็นค่าที่บอกลถึงปริมาณความสกปรกของน้ำเสีย โดยคิดเปรียบเทียบในรูปของปริมาณ ออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอน ในโรงงานฟอกย้อม บีโอดีส่วนใหญ่เกิดจากการเอา แป้งออกจากเนื้อผ้าหรือขั้นตอนลอกแป้ง (Desizing) ซึ่งหากเป็นแป้งธรรมชาติ (Starch) จะมีความสกปรกในรูป บีโอดีสูงมากเมื่อเทียบกับแป้งสังเคราะห์ (PVA, CMC, PVOH) หากพิจารณาจากการฟอกย้อมผ้าฝ้ายทอ (Woven Fabrics) ความสกปรกในรูปบีโอดี จากการลอกแป้งจะเป็นสัดส่วนประมาณ 50% ของความสกปรกทั้งหมดใน กระบวนการฟอกย้อม นอกจากนี้ค่าสกปรกในรูปบีโอดีเกิดจากกระบวนการฟอกย้อมต่าง ๆ ของสารจำพวกโปรตีน กรดอินทรีย์ ฯลฯ

## 5.1.2 ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD)

ค่าซีโอดี เป็นค่าที่บ่งบอกลถึงปริมาณความสกปรกของน้ำเสียโดยคิดเปรียบเทียบในรูปของปริมาณ ออกซิเจนที่ต้องการในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์อย่างสมบูรณ์โดยใช้โปแตสเซียมไดโครเมทในสารละลายที่เป็นกรด ในกระบวนการฟอกย้อมค่าซีโอดีเกิดจากสารช่วยย้อม สีย้อม สารตกแต่งและสารซักฟอก รวมทั้งสารต่าง ๆ ที่ก่อให้เกิดความสกปรกในรูปบีโอดี และสารอื่น ๆ ที่เป็นตัวรับออกซิเจน (Reducing Agent) เกือบทั้งหมด

## 5.1.3 ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solid)

ของแข็งแขวนลอย หมายถึง ปริมาณของแข็งที่กรองได้ด้วยกระดาษกรองใยแก้ว (Whatman GF/C) แล้วอบให้แห้ง ของแข็งแขวนลอยมีผลทำให้ค่าบีโอดี และซีโอดีสูงขึ้นด้วย ของแข็งแขวนลอยในน้ำของ โรงงานฟอกย้อม ได้แก่ เศษเส้นใย

### 5.1.4 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ จะขึ้นอยู่กับสถานะในการทำความสะอาดผ้า การฟอกขาวและสารย้อมสี ค่าความเป็นกรดหรือด่างของน้ำทิ้งจะมีผลต่อการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ในน้ำ

### 5.1.5 สีในน้ำทิ้ง

สีในน้ำทิ้งเป็นสิ่งที่ให้ผลกระทบต่อความรู้สึกของผู้คนที่พบเห็น แม้ว่าค่า BOD ของน้ำทิ้งหลังจากผ่านการบำบัดจะมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานแล้ว ก็ยังคงถูกจัดว่าเป็นน้ำเสียอยู่ดี

## 5.2 การรวบรวมน้ำเสีย

อุตสาหกรรมฟอกย้อมมีขั้นตอนกระบวนการผลิตหลายขั้นตอน น้ำเสียที่ถูกปล่อยออกจากแต่ละกระบวนการจะแตกต่างกัน น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนคือ

### 5.2.1 น้ำที่ใช้ในหม้อไอน้ำ

ในกระบวนการฟอกย้อมมักจะมีการอาศัยไอน้ำเป็นตัวให้ความร้อนแก่ผ้า น้ำที่ใช้ในกระบวนการและเป็นตัวให้ความร้อนในตู้อบไอน้ำ ถ้าไอน้ำที่ถูกส่งเข้าไปไม่ได้สัมผัสกับสารละลายการฟอกย้อมโดยตรง และไอน้ำที่ใช้ถูกปล่อยให้เย็นลงและกลั่นตัวในท่อไอน้ำก็จะได้น้ำสะอาดสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ หรือถ้านำไปทิ้งน้ำส่วนนี้สามารถนำไปทิ้งได้เลยโดยไม่ต้องเข้าระบบบำบัดน้ำเสีย

### 5.2.2 น้ำเสียที่มีสีเจือจางหรือไม่มีสี

น้ำเสียที่มีสีเจือจางหรือไม่มีสี เกิดจากกระบวนการลอกแป้ง ฟอกขาว ตกแต่ง หรือจากการซักล้างน้ำสีในน้ำสุดท้าย น้ำเสียประเภทนี้จะไม่มีปัญหาเรื่องสีในน้ำทิ้ง แต่จะมีค่าความสกปรกในรูป BOD COD และ pH สูง

### 5.2.3 น้ำเสียที่มีสีเข้ม

น้ำเสียที่มีสีเข้ม เกิดจากกระบวนการย้อมผ้า และการล้างน้ำผ้าที่ย้อมในน้ำแรก ๆ น้ำเสียประเภทนี้จะไม่มีปัญหาเรื่องสีที่อยู่ในน้ำเสีย และมีค่า BOD สูง

การรวบรวมน้ำเสียเพื่อนำไปบำบัดที่เหมาะสม อาจจะต้องมีการแยกท่อน้ำเสียแต่ละขบวนการหรือแต่ละประเภทน้ำเสีย น้ำเสียที่ใช้ในหม้อไอน้ำที่ไม่ได้สัมผัสกับสารละลายการฟอกย้อมโดยตรง สามารถนำมาใช้ได้ใหม่หรือทิ้งลงแหล่งน้ำสาธารณะได้เลยโดยไม่ต้องผ่านระบบบำบัด ขณะที่น้ำเสียที่มีสีเข้มและน้ำเสียที่มีสีเจือจางหรือไม่มีสีต้องผ่านระบบบำบัดน้ำเสีย เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำให้ได้ตามมาตรฐานก่อนปล่อยลงแหล่งน้ำสาธารณะ และในอนาคตถ้ามีการควบคุมมาตรฐานสีในน้ำทิ้งของโรงงานฟอกย้อม การแยกน้ำเสียที่มีสีเข้มออกจาก

น้ำเสียที่ไม่มีสีหรือสีเจือจาง จะช่วยให้การบำบัดสีในน้ำทิ้งมีประสิทธิภาพและลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดสีในน้ำทิ้ง โดย จะทำการบำบัดสีในน้ำเสียเฉพาะน้ำเสียที่มีสีเข้มเท่านั้น หลังจากบำบัดสีในน้ำเสียที่มีสีเข้มแล้วจะนำไปรวมกับน้ำเสีย ที่ไม่มีสีหรือสีเจือจางเพื่อลดความสกปรกในน้ำเสียต่อไป

### 5.3 การบำบัดน้ำเสีย

การบำบัดน้ำเสียเป็นวิธีการลดปริมาณมลพิษที่ละลายหรือกระจายตัวอยู่ในน้ำเสีย โดยการแยกหรือทำให้เกิดการสลายตัว ในการเลือกวิธีการบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมจำเป็นที่จะต้องทราบถึงลักษณะสมบัติและองค์ประกอบของมลพิษที่ถูกทิ้งออกจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยทั่วไปสารมลพิษในน้ำเสียแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท คือ พวกที่เป็นของแข็งแขวนลอย พวกที่เป็นคอลลอยด์ (ลักษณะคล้ายขุ่น) และพวกที่ละลายน้ำได้ ซึ่งระดับความยากง่ายในการบำบัดน้ำเสียจะขึ้นอยู่กับขนาดและลักษณะของอนุภาค โดยอนุภาคที่มีขนาดใหญ่และหยาบจะบำบัดได้ง่าย การจัดการพวกที่เป็นคอลลอยด์หรือพวกที่ละลายน้ำได้จะค่อนข้างยุ่งยาก อย่างไรก็ตาม วิธีการบำบัดน้ำเสียที่จะใช้ต้องสามารถทำให้สารมลพิษรวมตัวกันและแยกออกจากน้ำได้ วิธีการบำบัดน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อมโดยทั่วไปจะมีระบบบำบัด 2 ขั้นตอน ได้แก่

#### 5.3.1 การบำบัดน้ำเสียขั้นต้น (Primary Treatment)

การบำบัดน้ำเสียขั้นต้น เป็นการแยกเอาตะกอนแขวนลอยที่มีขนาดใหญ่ออกจากน้ำเสีย เช่น เศษผ้า และเศษเส้นด้าย นอกจากนั้นยังเป็นการปรับปรุงคุณภาพน้ำให้เหมาะสมก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดทุติยภูมิต่อไป ดังนั้นระบบบำบัดน้ำเสียขั้นต้นที่มีประสิทธิภาพสูงและกำจัดกากตะกอนออกโดยง่ายจึงเป็นทางเลือกที่สำคัญในการจัดการน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียขั้นต้นในอุตสาหกรรมฟอกย้อม ได้แก่

##### 5.3.1.1 การกำจัดของแข็งแขวนลอยด้วยตะแกรง

ตะกอนแขวนลอยขนาดใหญ่ เช่น เศษผ้า เศษเส้นด้าย และเส้นใยต่าง ๆ อาจทำความเสียหายให้กับเครื่องสูบน้ำ และทำให้ระบบบำบัดในขั้นทุติยภูมิได้ผลไม่เต็มที่ การกำจัดของแข็งแขวนลอยเหล่านี้ส่วนใหญ่จะใช้ตะแกรง (Screen) ซึ่งมีอยู่ 2 แบบ คือ ตะแกรงหยาบ และตะแกรงละเอียด

ก) ตะแกรงหยาบ (Coarse Screen) จะประกอบด้วยแท่งซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นโลหะ และอาจมีรูปร่างได้หลายลักษณะ เช่น แท่งสี่เหลี่ยม หรือแท่งกลม ฯลฯ สำหรับตะแกรงหยาบมีช่องว่างระหว่างแท่งตั้งแต่ 10 มม. ขึ้นไป วางขวางทิศทางการไหลของน้ำ ทำหน้าที่ดักเศษขยะขนาดใหญ่ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายแก่อุปกรณ์ในระบบบำบัด เช่น เครื่องสูบน้ำ ท่อวาล์ว

ข) ตะแกรงละเอียด (Fine Screen) จะมีช่องเปิดเล็กมากอยู่ในช่วง 2-6 มม. เป็นอุปกรณ์ใช้สำหรับดักเศษเส้นด้ายหรือเศษเส้นใยที่มีขนาดเล็กที่ปนมากับน้ำเสียเพื่อมิให้ตกตะกอนในบ่อบำบัด ในโรงงานฟอกย้อมที่มีเศษเส้นด้ายหรือเศษเส้นใยที่มีปริมาณมาก อาจจะนำตะแกรงละเอียดมาใช้งานร่วมกับตะแกรงหยาบ สำหรับตะแกรงละเอียดนี้ประกอบด้วยชนิดตะแกรงอยู่กับที่และชนิดตะแกรงหมุน

### 5.3.1.2 การปรับสภาพสมดุลง

โรงงานฟอกย้อมจะมีขั้นตอนกระบวนการผลิตต่าง ๆ ซึ่งน้ำเสียที่ออกมาจากแต่ละกระบวนการมีลักษณะสมบัติและการใช้น้ำที่แตกต่างกัน โดยทั่วไประบบบำบัดน้ำเสียจะทำงานได้ดีในสภาวะที่มีอัตราการไหลของน้ำเสียและความเข้มข้นของน้ำเสีย (BOD, COD ฯลฯ) ที่สม่ำเสมอ เพราะฉะนั้นการปรับสภาพสมดุลงเป็นระบบที่จำเป็น เพื่อทำให้อัตราการไหลและความเข้มข้นของน้ำเสียที่จะเข้าสู่ระบบมีอย่างสม่ำเสมอ นอกจากนี้ถึงปรับสภาพสมดุลงที่ใช้ในโรงงานฟอกย้อมยังทำหน้าที่ช่วยลดอุณหภูมิของน้ำเสียเพราะน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการฟอกย้อมมีอุณหภูมิ ส่วนใหญ่มากกว่า 40° เซลเซียส ทำให้ระบบจุลินทรีย์ที่เป็นระบบบำบัดทางชีววิทยาทำงานได้ลดลง ในบางโรงงานที่ไม่มีถึงปรับสภาพสมดุลงจะต้องมีการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียขั้นทุติยภูมิให้น้ำเสียได้เพียงพอในช่วงที่น้ำเข้าระบบสูงสุด และต้องมีการลดอุณหภูมิของน้ำเสียไม่เกิน 40° เซลเซียส ซึ่งอาจจะใช้การสเปรย์น้ำไปในอากาศ หรือใช้쿨ลิ่งทาวเวอร์

### 5.3.1.3 การปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง (pH)

กระบวนการฟอกย้อมผ้าหรือเส้นด้ายในโรงงานจะมีการใช้สารเคมีที่เป็นกรดหรือด่างเพื่อปรับให้สภาวะการทำงานของกระบวนการต่าง ๆ เช่น การทำความสะอาดผ้า การฟอกขาว การย้อมให้มีสีที่เหมาะสม และเมื่อปล่อยออกมาเป็นน้ำเสียแล้ว ค่าความเป็นกรดหรือด่างจะมีผลต่อการบำบัดน้ำเสียในระบบชีวภาพ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องปรับความเป็นกรดหรือด่างของน้ำเสียให้มีสภาวะเป็นกลางซึ่งมีความเหมาะสมในการบำบัดทางชีวภาพ โดยน้ำเสียจากการฟอกย้อมจะถูกส่งไปยังถังปรับ pH ซึ่งจะมีปั๊มสารเคมีจำพวกกรดหรือด่างทำหน้าที่ปรับ pH ของน้ำเสียให้เป็นกลาง โดยมี pH คอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมปั๊มสารเคมี

## 5.3.2 การบำบัดขั้นทุติยภูมิ (Secondary Treatment)

### 5.3.2.1 ระบบบำบัดขั้นทุติยภูมิ

ระบบบำบัดขั้นทุติยภูมิเป็นระบบบำบัดที่ใช้กำจัดสารอินทรีย์ และตะกอนแขวนลอยออกจากน้ำเสีย โดยมากจะเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้กระบวนการทางชีวภาพ หรือเป็นระบบบำบัดทางเคมีแล้วตามด้วยระบบบำบัดทางชีวภาพ ระบบบำบัดขั้นทุติยภูมิมีอยู่หลายระบบ เช่น ระบบบ่อปรับเสถียร ระบบสระเติมอากาศ ระบบตะกอนเร่ง ระบบโปรยกรอง ระบบแผ่นหมุนชีวภาพ เป็นต้น สำหรับระบบบำบัดที่เหมาะสมและนิยมใช้กันมากได้แก่ ระบบบ่อปรับเสถียร ระบบสระเติมอากาศ และระบบตะกอนเร่ง ซึ่งมีรายละเอียดและหลักการทำงาน ดังนี้

1) **ระบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Pond)** เป็นบ่อบำบัดน้ำเสียแบบอาศัยธรรมชาติ โดยใช้จุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์ เกิดเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน จุลินทรีย์ในบ่อจะมีทั้งจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนและจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจน ระบบบ่อปรับเสถียรแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

- บ่อมีออกซิเจน (Aerobic Pond) เป็นบ่อตื้นมีความลึกประมาณ 0.5-1.0 เมตร ดังนั้น แสงแดดจึงส่องทะลุตลอดความลึกของบ่อ ทำให้สาหร่าย (Algae) เติบโตได้ดีและสังเคราะห์แสงให้ออกซิเจนแก่จุลินทรีย์ในบ่อและมีออกซิเจนถ่ายเทที่ผิวน้ำ น้ำในบ่อจึงอยู่ในสภาวะมีอากาศ ซึ่งจุลินทรีย์ในบ่อจะใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นการลดสิ่งสกปรกในน้ำเสีย แต่อัตราการเติมอากาศของระบบนี้มีค่า

ค่อนข้างต่ำ ดังนั้นการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จึงถูกจำกัดด้วยปริมาณออกซิเจน ทำให้อัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นไปได้ช้า (ประมาณ 20 กรัมบีโอดีต่อตารางเมตรต่อวัน) จึงต้องใช้พื้นที่ในการก่อสร้างมาก

- บ่อกึ่งไร้ออกซิเจน (Facultative Pond) ระบบนี้ใช้บ่อลึกประมาณ 1.0-2.0 เมตร ทำให้แสงแดดส่องลงไปไม่ถึงตลอดความลึกของบ่อ ทำให้สภาวะช่วงบนของบ่อจะเป็นปฏิกิริยาชีวเคมีแบบใช้ออกซิเจนเหมือนกับ Aerobic Pond ขณะที่สภาวะด้านล่างของบ่อแสงส่องไม่ถึงจะเป็นปฏิกิริยาชีวเคมีแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic Pond) จุลินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจนจะย่อยสลายสารอินทรีย์และแปรสภาพเป็นก๊าซต่าง ๆ ในลักษณะเช่นเดียวกับบ่อไร้ออกซิเจน แต่ก๊าซที่ลอยขึ้นมาจากก้นบ่อจะถูกออกซิไดซ์โดยออกซิเจนที่อยู่ช่วงบนของบ่อ ทำให้กลายเป็นก๊าซที่ไม่มีกลิ่นเหม็น

- บ่อไร้ออกซิเจน (Anaerobic Pond) หรือระบบบ่อหมักเป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยไม่ใช้ออกซิเจน ลักษณะของบ่อประเภทนี้มีความลึกไม่น้อยกว่า 2 เมตร นิยมใช้กับการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์มาก ๆ จุลินทรีย์ที่ย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนมีอยู่ 2 กลุ่ม กลุ่มแรกเป็นจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ต่าง ๆ ในน้ำทิ้ง เช่น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เป็นกรดอินทรีย์โมเลกุลเล็ก ๆ หลายชนิดมีชื่อเรียกจุลินทรีย์ในกลุ่มนี้ว่า Acid Formers Bacteria และกลุ่มที่ 2 เป็นจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายเปลี่ยนกรดอินทรีย์เป็นก๊าซต่าง ๆ ที่สำคัญ ได้แก่ ก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เรียกจุลินทรีย์กลุ่มนี้ว่า Methane Formers Bacteria การบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เกิดขึ้นด้วย ทำให้มีกลิ่นเหม็น และน้ำทิ้งมีสีดำเนื่องจากไฮโดรเจนซัลไฟด์ทำปฏิกิริยากับสารประกอบของโลหะต่าง ๆ ในน้ำทิ้งเกิดเป็นสารประกอบซัลไฟด์ซึ่งมีสีดำ

## 2) ระบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon) เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่จุลินทรีย์

ในสระเติมอากาศใช้ออกซิเจนจากเครื่องเติมอากาศชนิดจักรกล แตกต่างจากระบบบ่อปรับเสถียรชนิดบ่อมีออกซิเจนที่ใช้ออกซิเจนจากการสังเคราะห์แสงของสาหร่ายเป็นหลัก โดยทั่วไปมีความลึกประมาณ 2-5 เมตร ระบบสระเติมอากาศประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ คือ สระเติมอากาศ (Aerated Lagoon) และบ่อตกตะกอน (Polishing Pond) หลักการทำงานคือน้ำเสียที่ผ่านเข้าสู่สระเติมอากาศจะเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยจุลินทรีย์ในสระเติมอากาศ ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ที่อยู่ในสระเติมอากาศประมาณ 200-400 มก./ล. โดยทั่วไปแล้วจะออกแบบให้สระเติมอากาศมีระยะเวลาที่เก็บประมาณ 3-6 วัน หลังจากนั้นจึงไหลเข้าสู่บ่อตกตะกอนเพื่อให้เกิดการแยกตัวตกตะกอนของน้ำเสียที่ผ่านการเติมอากาศ ตะกอนจะจมลงก้นบ่อ น้ำส่วนที่ใสก็จะไหลออกจากบ่อตกตะกอน การเติมอากาศในสระเติมอากาศ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบคือ

- การเติมอากาศที่มีการกวนผสมอย่างสมบูรณ์ (Aerobic Lagoon) เครื่องเติมอากาศในสระเติมอากาศจะมีกำลังเพียงพอที่จะกวนน้ำในสระอย่างทั่วถึงเป็นผลให้ตะกอนทั้งหมดแขวนลอยอยู่ได้ จึงไม่มีการตกตะกอนจมก้นสระ และมีก๊าซออกซิเจนทั่วถึงตลอดความลึก

- การเติมอากาศที่ให้ออกซิเจนเพียงพอกับน้ำในสระ แต่ไม่มากพอที่จะทำให้ตะกอนแขวนลอยทั้งหมด (Facultative Lagoon) ตะกอนบางส่วนจะจมลงก้นสระและเกิดการย่อยสลาย

สารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ชนิดไม่ใช้อากาศ ดังนั้นส่วนล่างของสระจะอยู่ในสภาวะไร้ออกซิเจน ส่วนด้านบนซึ่งมีออกซิเจนเพียงพอจะอยู่ในสภาวะใช้อากาศ

### 3) ระบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge) ในระบบตะกอนเร่งกระบวนการย่อย

สลายสารอินทรีย์จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วโดยอาศัยจุลินทรีย์จำนวนมากที่แขวนลอยอยู่ในถังเติมอากาศ และต้องควบคุมความเข้มข้นของจุลินทรีย์ให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม โดยการย้อนกลับตะกอนจุลินทรีย์บางส่วนที่ตกตะกอนในถังตกตะกอนกลับเข้าสู่ถังเติมอากาศ ซึ่งแตกต่างจากระบบสระเติมอากาศที่ไม่มีการย้อนตะกอนจุลินทรีย์กลับ ตะกอนจุลินทรีย์ส่วนเกินที่เกิดขึ้นจะถูกนำไปกำจัด เช่น ผ่านการย่อยสลายหรือนำไปตากแห้ง น้ำใสส่วนบนที่ไหลล้นออกจากถังตกตะกอนจะได้มาตรฐานสามารถระบายลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติได้ ระบบตะกอนเร่งมีหลายกระบวนการ เช่น Conventional process, Tapered aeration process, Step-feed aeration process, Completely mixed process, Extended aeration process, Sequencing batch reactor เป็นต้น

ระบบตะกอนเร่งจะทำงานอย่างมีประสิทธิภาพได้ ก็ต่อเมื่อสภาวะแวดล้อมในถังเติมอากาศเหมาะสมต่อการดำรงชีพของจุลินทรีย์ (แบคทีเรีย) กล่าวคือ

- ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำอยู่ในถังเติมอากาศ มีค่าอยู่ในช่วง 1-2 มก./ล.
- ต้องมีอาหารเสริมเพียงพอ ที่สำคัญได้แก่ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในอัตราส่วน  $BOD : N : P = 100 : 5 : 1$  ถ้าอาหารเสริมไม่เพียงพอ จะมีผลกระทบต่อระบบนิเวศในถังเติมอากาศ เช่น การขาดไนโตรเจน ว่าจะเจริญเติบโตได้ดีกว่าแบคทีเรีย ทำให้ตะกอนจุลินทรีย์จมตัวได้ยาก เป็นต้น
- ค่า pH จะต้องอยู่ในช่วง 6.5-9.0 ถ้า pH ต่ำกว่า 6.5 จะมีการเกิดขึ้นมาก แต่ถ้า pH สูงเกินไป จุลินทรีย์จะย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ช้า
- อุณหภูมิไม่ควรเกิน  $40^{\circ}\text{C}$
- ค่าตัวแปรที่ใช้ควบคุมการทำงานและออกแบบของระบบบำบัดน้ำเสียแบบ

ตะกอนเร่ง ต้องเลือกใช้ค่าต่าง ๆ ให้มีความเหมาะสมกับระบบตะกอนเร่งแต่ละกระบวนการเพื่อให้สอดคล้องกับการทำงานของจุลินทรีย์ ค่าตัวแปรดังกล่าวได้แก่ อายุตะกอนจุลินทรีย์ (SRT) อัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M) ระยะเวลาเก็บ (HRT) อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่อปริมาตรถัง (Volumetric Loading Rate) ความเข้มข้นของตะกอนในถังเติมอากาศ (MLSS) และอัตราการสูบตะกอนกลับ (Q<sub>1</sub>/Q) ค่าที่ใช้ควบคุมการทำงานและออกแบบตะกอนเร่งแบบต่าง ๆ แสดงไว้ในตารางที่ 5-1

สำหรับระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งที่นิยมนำมาใช้ในโรงงานฟอกย้อม พบว่า มีอยู่ 2 ประเภท ได้แก่

ก) Extended Aeration เป็นกระบวนการที่มีระยะเวลาเก็บกักของน้ำเสียและอายุสัณฐานกว่าระบบตะกอนเร่งอื่น ๆ ดังนั้นขนาดถังเติมอากาศจะมีขนาดใหญ่กว่าระบบอื่น ๆ แต่มีข้อดีที่ว่าง่ายต่อการควบคุมระบบให้ได้ประสิทธิภาพสูงซึ่งอาจไม่จำเป็นต้องถ่ายน้ำสลัดทิ้งออกไปจากระบบเหมือนระบบอื่น ๆ เนื่องจากในทางทฤษฎีแล้วจะไม่มีมวลจุลินทรีย์ส่วนเกินเกิดขึ้นมา แต่ในทางปฏิบัติมักจะมีพวกสารย่อยสลายไม่ได้เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการถ่ายสลัดทิ้งออกจากระบบบ้าง



**ตารางที่ 5-1** ค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ควบคุมการทำงานและออกแบบของระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งกระบวนการต่าง ๆ

รูปแบบกระบวนการต่าง ๆ ของระบบตะกอนเร่ง	อายุตะกอน (วัน)	อัตราส่วนอาหาร ต่อจุลินทรีย์ (วัน <sup>-1</sup> )	ระยะเวลาเก็บกัก (ชม.)	อัตราการบรรทุก สารอินทรีย์ต่อปริมาตรถัง (กก BOD/ม <sup>3</sup> - วัน)	ความเข้มข้น ของตะกอน (มิลลิกรัม/ลิตร)	อัตราสูญเสีย (%)
Conventional	5-15	0.2-0.4	4-8	0.3-0.6	1500-3000	0.25-0.75
High-Purity Oxygen	3-10	0.25-1.0	1-3	1.6-3.2	2000-5000	0.25-0.5
Completely - mix	5-15	0.2-0.6	3-5	0.8-1.9	2500-4000	0.25-1.0
Step Aeration	5-15	0.2-0.4	3-5	0.6-0.9	2000-3500	0.25-0.75
Modified Aeration	0.2-0.5	1.5-5.0	1.5-3	1.2-2.4	200-1000	0.05-0.25
Sequencing Batch Reactor	-	0.05-0.30	12-50	0.08-0.24	1500-5000	-
Extended Aeration	20-30	0.05-0.15	18-36	0.1-0.4	3000-6000	0.5-1.50
Oxidation Ditch	10-30	0.05-0.3	8-36	0.1-0.2	3000-6000	0.75-1.50

ที่มา Metcalf and Eddy, Inc. (1991)

ข) Sequencing Batch Reactor (SBR) เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ถังเติมอากาศเพียงถังเดียว สามารถทำหน้าที่ทั้งการเติมอากาศเพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ และทำหน้าที่แยกตะกอนด้วยการตกตะกอนภายในถังเดียวกัน คือ จะเป็นระบบที่ปล่อยให้ น้ำเสียไหลเข้าถังที่มีน้ำสลัดจ์อยู่ภายในถังแล้ว และเติมอากาศด้วยเครื่องเติมอากาศ หลังจากนั้นจะหยุดเติมอากาศทำให้เกิดการตกตะกอน ซึ่งจะได้น้ำใสส่วนบนที่สามารถปล่อยทิ้งออกได้ เป็นอันเสร็จสิ้นกระบวนการบำบัด จากนั้นสามารถนำน้ำเสียชุดใหม่เข้ามาบำบัดต่อไป

### 5.3.2.2 การเลือกระบบทุติยภูมิ

การเลือกระบบเลี้ยงตะกอนที่ดีจะต้องสร้างง่าย ควบคุมง่าย และมีค่าก่อสร้างและค่าใช้จ่ายต่ำ โดยทั่วไประบบบำบัดที่ใช้การเติมอากาศจะมีหลักการเดียวกัน การวางแผนก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียอาจพิจารณาทำเป็นลำดับดังนี้

- 1) ระบบบ่อปรับเสถียร (Stabilization Ponds)
- 2) ระบบสระเติมอากาศ (Aerated Lagoon)
- 3) ระบบตะกอนเร่งแบบการไหลไม่ต่อเนื่อง (Sequencing Batch Reactor)
- 4) ระบบตะกอนเร่งแบบธรรมดาหรือแบบเติมอากาศยัดเวลา (Conventional Activated Sludge or Extended Aeration)
- 5) ระบบตะกอนเร่งแบบใช้ออกซิเจนความบริสุทธิ์สูง (High-Purity Oxygen)

ซึ่งจะมีประสิทธิภาพต่อหน่วยปริมาตร ( $\text{Kg BOD}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ ) เพิ่มขึ้นเป็นลำดับตั้งแต่ขั้นที่ 1 ( $0.02 \text{ kg BOD}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ ) ขึ้นไป ถึงขั้นที่ 5 ( $3 \text{ Kg BOD}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ ) โดยให้ประสิทธิภาพทางด้านความสะอาดของน้ำทิ้งใกล้เคียงกัน

การที่จะเลือกใช้ระบบบำบัดประเภทใดนั้น มีปัจจัยที่สำคัญอยู่ 5 ปัจจัย คือ

- 1) ค่าลงทุนก่อสร้างสูงหรือต่ำ
- 2) ใช้พื้นที่ในการก่อสร้างมากหรือน้อย
- 3) ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบบำบัดสูงหรือต่ำ
- 4) ความยากง่ายในการเดินระบบ
- 5) ตะกอนส่วนเกินที่ต้องนำไปกำจัดมีปริมาณมากหรือน้อย และความยากง่ายในการกำจัดตะกอน

### 5.3.2.3 การเปรียบเทียบระบบบำบัดน้ำเสียทุติยภูมิ

ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพต่าง ๆ ที่กล่าวถึงได้แก่ ระบบบ่อปรับเสถียร ระบบสระเติมอากาศ และระบบตะกอนเร่ง ระบบบำบัดประเภทต่าง ๆ สามารถบำบัดน้ำทิ้งของโรงงานฟอกย้อม (ลำดับที่ 22) หลังจากผ่านระบบแล้วมีค่าเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งของทางราชการ (ค่า BOD ไม่เกิน 60 มก./ล.) แต่ระบบใดจะมีความเหมาะสมมากที่สุดนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น พื้นที่ เงินลงทุน บุคลากร คุณภาพน้ำทิ้ง

ที่ต้องการ เป็นต้น ดังนั้นได้แสดงการเปรียบเทียบข้อดี และข้อเสียของระบบบำบัดทั้งสามดังตารางที่ 5-2 เพื่อประกอบการพิจารณาในเบื้องต้นในการเลือกระบบบำบัดน้ำเสียที่มีความเหมาะสมของโรงงานในแต่ละแห่ง

**ตารางที่ 5-2** เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของระบบบำบัดปรับเสถียร ระบบสระเติมอากาศและระบบตะกอนเร่ง

ประเภทของระบบ บำบัดน้ำเสีย	ระบบบำบัดปรับเสถียร	ระบบสระเติมอากาศ	ระบบตะกอนเร่ง
ข้อดี-ข้อเสีย			
ข้อดี	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ไม่ต้องใช้ผู้ควบคุมที่มีความรู้สูง (น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับระบบอื่น ๆ)</li> <li>2. สิ้นเปลืองพลังงานน้อยกว่าระบบอื่น ๆ</li> <li>3. สิ้นเปลืองค่าก่อสร้างน้อย</li> <li>4. ค่าดำเนินการต่ำที่สุด</li> <li>5. รับการแปรปรวนของความเข้มข้นของบีโอดีได้สูง</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ไม่ต้องใช้ผู้ควบคุมที่มีความรู้สูง เพราะไม่ต้องควบคุมตะกอนจุลินทรีย์</li> <li>2. สิ้นเปลืองพลังงานน้อยกว่าระบบบำบัดอื่นที่ใช้เครื่องจักรกล</li> <li>3. ก่อสร้างง่ายไม่ต้องสูบตะกอนกลับ</li> <li>4. มีตะกอนส่วนเกินที่ต้องกำจัดน้อย</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ระบบมีประสิทธิภาพสูงมากกว่า 90%</li> <li>2. ใช้พื้นที่น้อยกว่าระบบสระเติมอากาศ</li> <li>3. ไม่มีปัญหาเรื่องกลิ่น</li> <li>4. คุณภาพน้ำทิ้งได้ตามมาตรฐาน</li> </ol>
ข้อเสีย	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. ใช้พื้นที่มากกว่าระบบอื่น ๆ</li> <li>2. ประสิทธิภาพการบำบัดต่ำกว่า</li> <li>3. ปรับปรุงเปลี่ยนแปลงได้ยากกว่าระบบอื่น</li> <li>4. สภาพดินฟ้าอากาศมีผลต่อการทำงานของระบบ</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. มีตะกอนหลุดออกไปกับน้ำทิ้ง</li> <li>2. ประสิทธิภาพการบำบัดต่ำ</li> <li>3. ใช้พื้นที่มาก</li> <li>4. การบำบัดไม่เท่ากันทุกจุดเพราะออกซิเจนกระจายไม่ทั่วถึง</li> <li>5. อาจเกิดฟองจากการรวนของเครื่องเติมอากาศ</li> <li>6. ขอบบ่อและกันบ่อชำรุดง่ายหากเป็นบ่อดิน</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. เป็นระบบที่ใช้พลังงานสูงกว่าระบบบ่อเติมอากาศ</li> <li>2. มีตะกอนส่วนเกินที่ต้องกำจัดเป็นประจำ</li> <li>3. ต้องใช้ผู้ควบคุมระบบที่มีความรู้ความชำนาญ</li> <li>4. มักมีปัญหาเรื่องการตกตะกอนในถังตกตะกอนสุดท้าย</li> <li>5. ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างและดำเนินการสูงกว่าระบบบ่อเติมอากาศ</li> </ol>

#### 5.3.2.4 ระบบบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมของโรงงานฟอกย้อมขนาดเล็กและกลาง

โรงงานฟอกย้อมขนาดเล็กและขนาดกลางในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล พื้นที่โรงงานส่วนใหญ่มีเนื้อที่จำกัด และที่ดินมีราคาแพง ดังนั้นระบบบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมควรเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้พื้นที่น้อย และมีการดูแลระบบไม่ยุ่งยากมากนัก จากตารางที่ 5-2 จะเห็นว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งมีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นระบบบำบัดน้ำเสียขั้นทุติยภูมิในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลมากที่สุด

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งที่มีใช้ในโรงงานฟอกย้อมมีอยู่ 2 ประเภท ได้แก่ ระบบบำบัดน้ำเสียตะกอนเร่งแบบการไหลต่อเนื่อง (AS) และแบบการไหลไม่ต่อเนื่อง (SBR) ระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งทั้งสองแตกต่างกันตรงที่ระบบ SBR ไม่มีถังตกตะกอน ใช้ถังเติมอากาศเพียงใบเดียวทำหน้าที่ทั้งการเติมอากาศเพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ และทำหน้าที่เป็นถังตกตะกอนในขณะหยุดเครื่องเติมอากาศ ข้อดีของระบบตะกอนเร่งแบบการไหลไม่ต่อเนื่อง (SBR) เมื่อเทียบกับระบบตะกอนเร่งแบบการไหลต่อเนื่อง (AS) มีดังนี้

- 1) ไม่ต้องมีถังตกตะกอนและเครื่องกวาดตะกอน
- 2) ป้องกันการเกิดปัญหาตะกอนไม่จมตัว (Bulking Sludge) และการเกิดฟอง (Foam)
- 3) สามารถกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้ระดับหนึ่ง
- 4) ประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่ต้องใช้สูบน้ำตะกอนเวียนกลับและพลังงานในการเติมอากาศเพราะจะมีบางช่วงที่ต้องปิดเครื่องเติมอากาศเพื่อให้เกิดการตกตะกอน
- 5) สามารถทำการปรับปรุงจากระบบบำบัดเดิมที่เป็นระบบบ่อปรับเสถียรหรือสระเติมอากาศเป็นระบบ SBR ได้ง่ายกว่าที่จะปรับปรุงเป็นระบบ AS

ข้อเสียของระบบตะกอนเร่งแบบการไหลไม่ต่อเนื่อง (SBR) เมื่อเทียบกับระบบตะกอนเร่งแบบไหลต่อเนื่อง (AS) มีดังนี้

- 1) ต้องมีถังพักหรือถังปรับสภาพที่มีขนาดใหญ่ เพื่อรองรับน้ำเสียก่อนที่จะเข้าถังเติมอากาศ ถังน้ำเสียจะไหลสม่ำเสมอ
- 2) ถังเติมอากาศจะมีขนาดใหญ่กว่าถังเติมอากาศของระบบ AS ปกติ
- 3) เสียเวลาการเติมอากาศเพื่อหยุดตกตะกอน
- 4) เกิดภาระกระแสไฟฟ้าในการหยุดแล้วเดินเครื่องใหม่เป็นระยะ
- 5) ต้องมีระบบปิดเปิดระบบไฟฟ้าเป็นประจำ และต้องมีระบบควบคุมจังหวะเปิด-ปิดที่ถูกต้องควบคุมได้

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของระบบบำบัดน้ำเสียตะกอนเร่งแบบการไหลไม่ต่อเนื่อง (SBR) และแบบไหลต่อเนื่อง (AS) ที่จะนำมาใช้ในโรงงานฟอกย้อมขนาดเล็กและขนาดกลางแล้ว จะเห็นว่าระบบบำบัดน้ำเสียตะกอนเร่งแบบการไหลไม่ต่อเนื่อง (SBR) มีความเหมาะสมมากกว่า เพราะน้ำเสียมี BOD ค่าค่อนข้างสูง และอัตราไหลไม่สม่ำเสมอ จึงทำให้ข้อดีของ AS ด้อยลงด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้น เมื่อพิจารณาถึงข้อดีข้อเสียของระบบ SBR และ AS บริษัทที่ปรึกษาเห็นว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบ SBR (Sequencing Batch Reactor) มีความเหมาะสมสำหรับน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมขนาดเล็กและขนาดกลาง

### 5.3.2.5 การกำจัดตะกอนส่วนเกินออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย

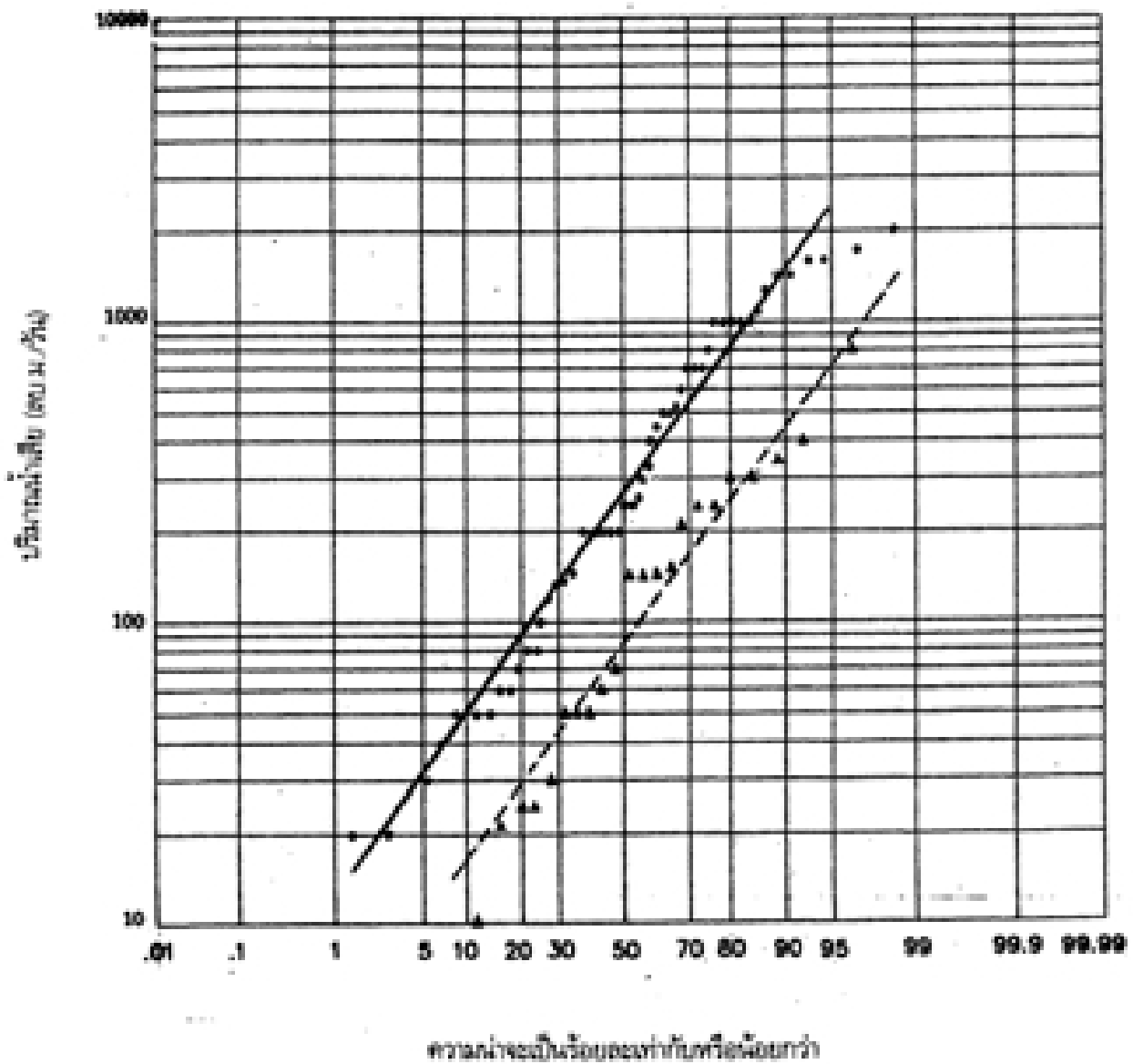
กากตะกอนส่วนเกินที่ออกจากระบบบำบัดน้ำเสียประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ คือ ตะกอนของแข็งแขวนลอยที่มีอยู่ในน้ำเสียเริ่มต้น และกากตะกอนที่เกิดจากระบบบำบัดน้ำเสียขั้นทุติยภูมิซึ่งประกอบด้วยมวลชีวภาพของจุลินทรีย์ ในกากตะกอนมีปริมาณของน้ำอยู่สูง ดังนั้น จึงจำเป็นต้องทำให้กากตะกอนมีความเข้มข้นขึ้นด้วย อุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น เครื่องรีดตะกอนหรือลานตากตะกอน เพื่อเป็นการลดปริมาตรและการขนส่ง เมื่อพิจารณาถึงความเป็นพิษของกากตะกอนของโรงงานฟอกย้อมส่วนใหญ่จะพบว่าไม่มีปัญหาการปนเปื้อนจากโลหะหนัก แต่อย่างไรก็ตามมีสีย้อมบางชนิดที่มีส่วนประกอบของโลหะหนัก ดังนั้น กากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียอาจจะมีการสะสมของโลหะหนักได้ ทางโรงงานฟอกย้อมควรทำการตรวจวัดโลหะในกากตะกอนว่ามีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้หรือไม่ (ข้อกำหนดของปริมาณโลหะหนักหรือวัตถุมีพิษและวิธีการตรวจวัดกากตะกอน แสดงใน

ภาคผนวก ข.) ถ้าค่าโลหะหนักในตะกอนมีค่าสูงกว่าที่กำหนดไว้ ทางโรงงานต้องทำการบำบัดเพื่อทำลายฤทธิ์หรือส่งกำจัดไปยังสถานที่กำจัดที่ทางกรมโรงงานอุตสาหกรรมอนุญาตให้เป็นสถานที่บำบัดสารพิษ แต่ถ้าค่าโลหะหนักมีค่าต่ำกว่าที่กำหนดไว้ จึงสามารถนำกากตะกอนส่วนเกินเหล่านี้ไปใช้ในพื้นที่เกษตรกรรมในส่วนของความเป็นปุ๋ย (Fertilizer) หรือนำไปถมดิน สำหรับชนิดของโลหะหนักที่จะทำการตรวจวัดขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของสีที่ใช้ โดยทั่วไปโลหะหนักที่อาจตรวจพบในโรงงานฟอกย้อม ได้แก่ แคดเมียม (Cd) โครเมียม (Cr) ทองแดง (Cu) ตะกั่ว (Pb) ปรอท (Hg) และสังกะสี (Zn)

### 5.3.2.6 ตัวอย่างการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียของระบบ SBR

ในการศึกษานี้บริษัทที่ปรึกษาได้ทำการประเมินพื้นที่และประมาณราคาเบื้องต้นของระบบบำบัดน้ำเสียขนาดเล็กและขนาดกลาง โดยใช้ปริมาณน้ำเสียขนาด 100 ลบ.ม./วัน เป็นตัวแทนโรงงานขนาดเล็ก และปริมาณน้ำเสียขนาด 300 ลบ.ม./วัน เป็นตัวแทนโรงงานขนาดกลาง (จากผลการศึกษาโรงงานขนาดเล็ก และขนาดกลางมีค่าความน่าจะเป็นร้อยละเท่ากับหรือน้อยกว่าของปริมาณน้ำเสียต่อวันเท่ากับ 85 และ 280 ลบ.ม./วัน ตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 5-1) และมีลักษณะสมบัติน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมผ้าทอก่อนเข้าระบบบำบัด มีดังนี้

-	ค่า BOD	=	400	มก./ล.
-	อุณหภูมิ	=	45	องศาเซลเซียส
-	pH	=	9.5	
-	TKN	=	20	มก./ล.
-	TP	=	4	มก./ล.
-	SS	=	50	มก./ล.
-	และกำหนดให้ BOD ออกจากระบบมีค่าไม่เกิน 20 มก./ล.			

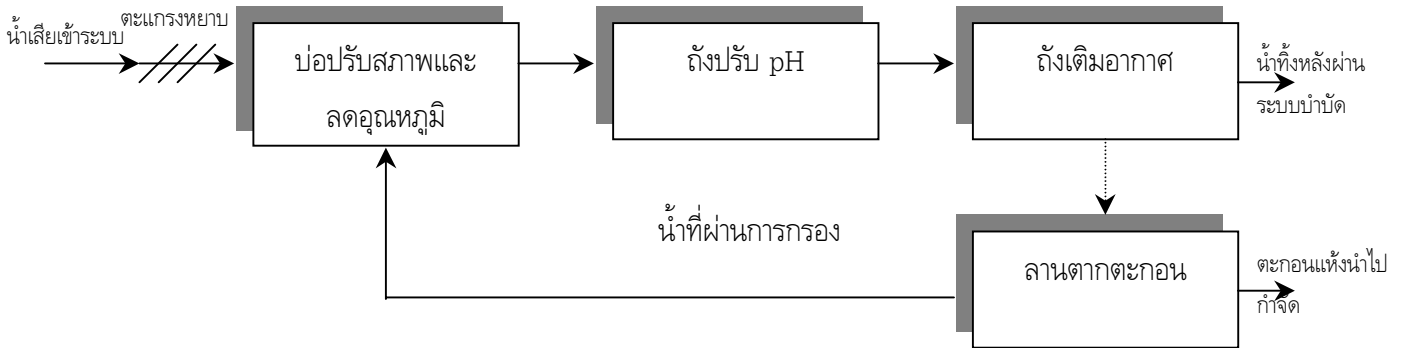


▲ - - - ▲	ขนาดเล็ก	$\bar{X}_{50}$	ขนาดเล็ก	= 85	ลบ.ม./วัน
● - - - ●	ขนาดกลาง	$\bar{X}_{50}$	ขนาดกลาง	= 280	ลบ.ม./วัน

รูปที่ 5-1 ค่ากลางหรือความน่าจะเป็นร้อยละเท่ากับหรือน้อยกว่าของปริมาณน้ำเสียโรงงานฟอกย้อม ขนาดกลางและเล็ก

ก. พื้นที่ที่ใช้ในการบำบัด

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Sequencing Batch Reactor (SBR) ของโรงงาน  
ฟอกย้อมขนาดเล็กประกอบด้วยหน่วยบำบัดต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 5-2

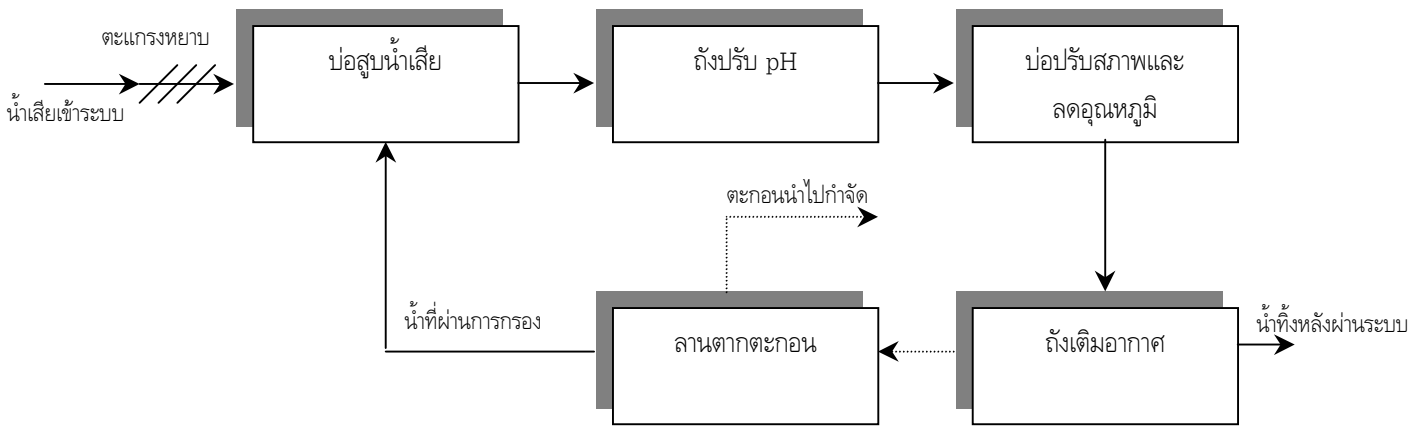


**รูปที่ 5-2** Flow Diagram ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบ SBR ของโรงงานฟอกย้อมขนาดเล็ก

น้ำเสียที่เข้าระบบบำบัดจะผ่านตะแกรงหยาบก่อนเข้าบ่อปรับสภาพ ซึ่งมีระยะกักเก็บ 1 วัน น้ำเสียจะถูกปรับสภาพให้มีลักษณะสมบัติใกล้เคียงกันและอุณหภูมิของน้ำเสียจะลดลง น้ำเสียจากถังปรับสภาพจะถูกส่งไปยังถังปรับ pH ซึ่งจะมีป้อนสารเคมีจำพวกกรดทำหน้าที่ปรับ pH ของน้ำเสียให้มีสภาพเป็นกลางควบคุมด้วย pH คอนโทรลเลอร์ หลังจากนั้นน้ำเสียจะไหลเข้าสู่ถังเติมอากาศ ซึ่งใช้เวลาในการเติมอากาศประมาณ 18 ชม. แล้วทิ้งให้ตกตะกอนประมาณ 1-2 ชม. และระบายน้ำใสออกจนถึงระดับที่กำหนดไว้ หลังจากนั้นก็จะสูบน้ำเสียจากบ่อปรับสภาพเข้าบ่อเติมอากาศใหม่ใช้ระยะเวลาในการเดินระบบบำบัดทั้งสิ้น 24 ชม. ใน 1 รอบการทำงาน

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Sequencing Batch Reactor (SBR) ของโรงงานฟอกย้อมขนาดกลางมีลักษณะคล้ายกับระบบบำบัดของโรงงานฟอกย้อมขนาดเล็ก แตกต่างกันตรงที่ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมขนาดกลางมีบ่อสูบน้ำเสีย เนื่องจากโรงงานฟอกย้อมขนาดกลางอาจจะมีการเดินท่อในโรงงานที่ยาวทำให้ระดับท่ออยู่ลึก ซึ่งจะทำให้ปริมาตรของบ่อปรับสภาพลดน้อยลง จึงควรมีบ่อสูบน้ำยกระดับน้ำให้สูงขึ้น เพื่อช่วยให้บ่อปรับสภาพมีระยะเวลาพักเก็บเต็มประสิทธิภาพ หน่วยบำบัดต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 5-3

น้ำเสียที่เข้าระบบจะผ่านตะแกรงหยาบไหลเข้าบ่อสูบน้ำ และถูกสูบส่งไปยังถังปรับ pH ให้เป็นกลางก่อนที่จะไหลเข้าถังปรับสภาพเพื่อลดอุณหภูมิและพักน้ำก่อนที่จะสูบน้ำเสียเข้าถังเติมอากาศแบบแบตช์ ซึ่งใช้เวลาในการเติมอากาศประมาณ 18 ชม. แล้วทิ้งให้ตกตะกอนประมาณ 1-2 ชม. และระบายน้ำใสออกจนถึงระดับที่กำหนดไว้ ใช้ระยะเวลาในการเดินระบบบำบัดน้ำเสียทั้งสิ้น 24 ชม. ใน 1 รอบการทำงานเช่นเดียวกับระบบบำบัดของโรงงานฟอกย้อมขนาดเล็ก



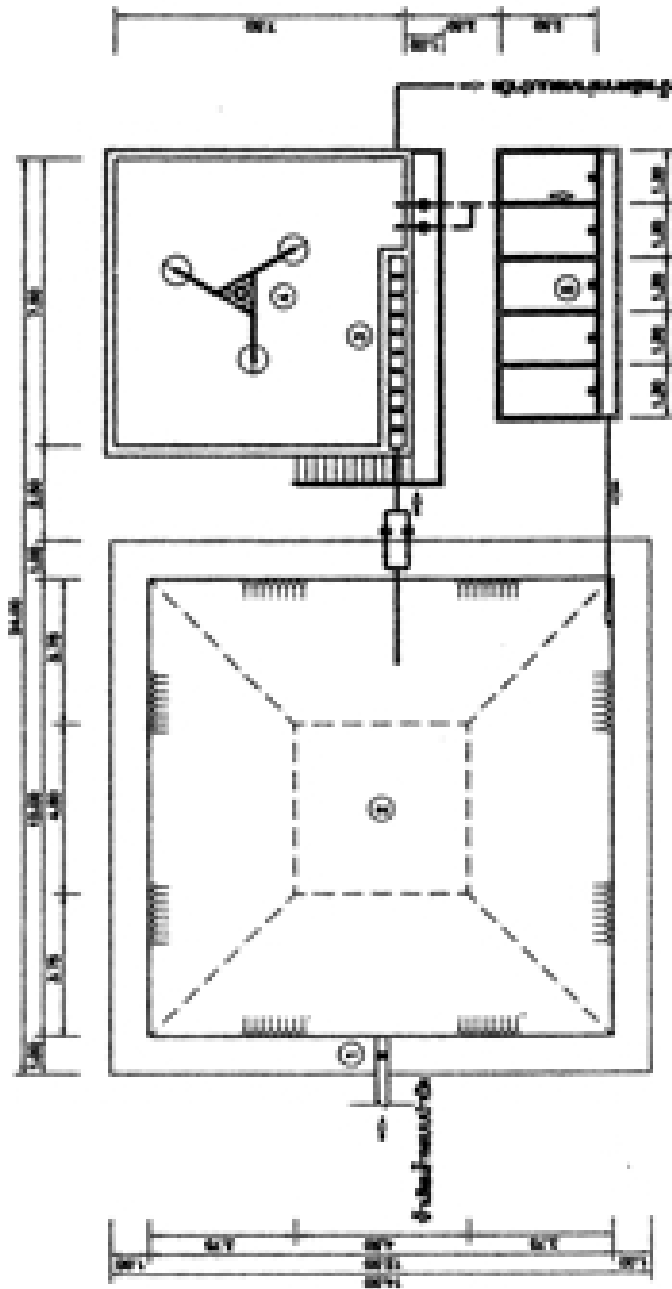
**รูปที่ 5-3** Flow Diagram ของระบบบำบัดน้ำเสียแบบ SBR ของโรงงานฟอกย้อมขนาดกลาง

จากแผนภาพการไหลของน้ำ (Flow Diagram) และเกณฑ์ที่กำหนดในการออกแบบ ทางบริษัทที่ปรึกษาได้ทำรายการคำนวณของระบบบำบัดน้ำเสีย SBR ของโรงงานฟอกย้อมขนาดเล็กและกลาง ดังภาคผนวก ค สรุปเป็นขนาดของบ่อและพื้นที่แสดงดังตารางที่ 5-3 และแผนผังพื้นที่ดังรูปที่ 5-4 และ 5-5

**ตารางที่ 5-3** ขนาดและพื้นที่ของระบบบำบัดน้ำเสีย SBR ของโรงงานฟอกย้อมขนาดเล็ก (100 ลบ.ม./วัน) และขนาดกลาง (300 ลบ.ม./วัน)

องค์ประกอบของระบบบำบัด	โรงงานขนาดเล็ก (น้ำเสีย 100 ลบ.ม./วัน)		โรงงานขนาดกลาง (น้ำเสีย 300 ลบ.ม./วัน)	
	ขนาดบ่อ (ก×ย×ล) (ลบ.ม.)	พื้นที่ (ตร.ม.)	ขนาดบ่อ (ก×ย×ล) (ลบ.ม.)	พื้นที่ (ตร.ม.)
1) บ่อสูบน้ำ	-	-	1.2 × 1.5 × 3.0	1.8
2) ถังปรับ pH	0.4 × 5.0 × 0.7	2	0.6 × 5.0 × 0.7	3
3) บ่อปรับสภาพ	12.0 × 12.0 × 2.5	144	16.0 × 16.0 × 3.5	256
4) ถังเติมอากาศ	7.5 × 7.5 × 3.5	56.3	13.0 × 13.0 × 3.5	169
5) ลานตากตะกอน	2.5 × 6.5 × 1.2	16.3	4.0 × 10.0 × 1.2	40
<b>พื้นที่ประสิทธิผล</b>		<b>218.6</b>		<b>469.8</b>



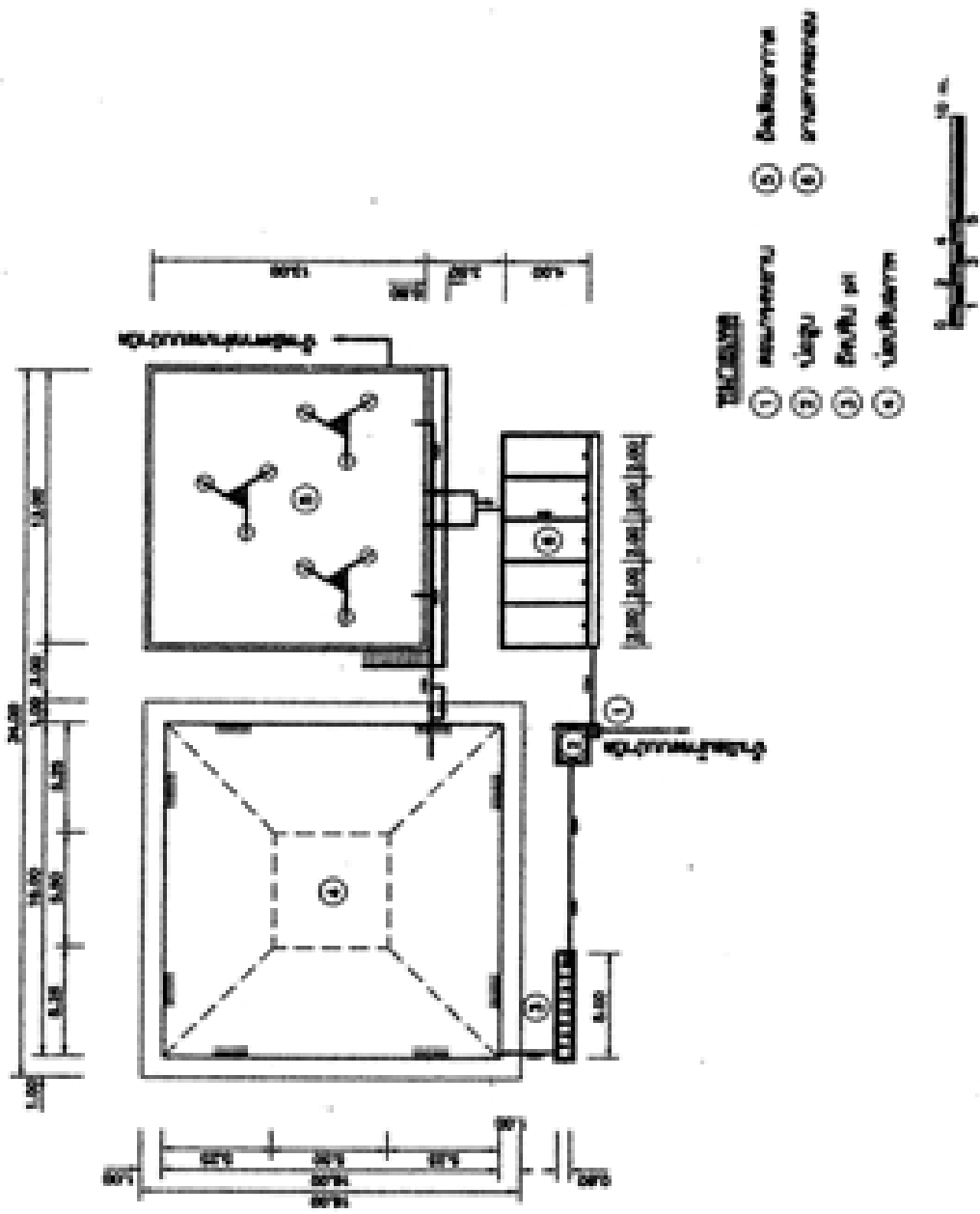


**LEGENDA**

- ① Kursi
- ② Meja
- ③ Meja
- ④ Meja
- ⑤ Meja



รูปที่ 5-4 แผนผังห้องปฏิบัติการเคมี 500 ตารางเมตร (รวมพื้นที่โถง) มีพื้นที่ใช้สอย 100 ตารางเมตร



รูปที่ 5-5 การวัดอัตราการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชโดยใช้หลอดทดลองและหลอดวัดปริมาตร

ข. ราคาค่าก่อสร้าง

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Sequencing Batch Reactor (SBR) ของโรงงาน  
ฟอกย้อมขนาดเล็กและขนาดกลาง สรุปได้ดังตารางที่ 5-4 (วิธีประมาณราคาแสดงดังภาคผนวก ง)

**ตารางที่ 5-4** ราคาประมาณค่าก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียระบบ SBR ของโรงงานฟอกย้อมขนาดเล็กและขนาดกลาง

รายการ	โรงงานฟอกย้อม	
	ขนาดเล็ก (100 ลบ.ม./วัน)	ขนาดกลาง (400 ลบ.ม./วัน)
งานโยธาโครงสร้าง (a)	584,700	1,715,000
งานอุปกรณ์และเครื่องกล (b)	440,000	954,000
งานไฟฟ้าและงานท่อ (c)	80,000	120,000
ราคาเบื้องต้น (a+b+c)	1,104,700	2,789,000
ค่าดำเนินการ 10%	110,470	278,000
<b>รวมราคาค่าก่อสร้างทั้งหมด</b>	<b>1,215,170</b>	<b>3,067,900</b>

### 5.3.3 การกำจัดสีย้อมในน้ำเสียจากการย้อมผ้า

สีย้อมในน้ำเสียจากการย้อมผ้าสามารถถูกกำจัดไปบางส่วนจากการบำบัดน้ำเสียขั้นทุติยภูมิไม่ว่าจะเป็นกระบวนการบำบัดด้วยวิธีทางเคมี หรือ ชีวภาพ ความพยายามที่จะกำจัดสีย้อมที่เหลืออยู่ในน้ำทิ้งให้หมดไปหรือให้มีเหลืออยู่น้อยที่สุดได้ถูกคิดค้นมาเป็นเวลานาน วิธีที่มีการศึกษาวิจัยและรวบรวมไว้เป็นเอกสารที่ปรากฏอยู่มีดังต่อไปนี้

- โคแอกกูเลชันด้วยสารเคมี (Chemical Coagulation)
- การดูดซับ (Adsorption)
- โอโซนเนชัน (Ozonation)
- คลอรีเนชัน (Chlorination)
- การใช้แผ่นเมมเบรน (Membrane Technology)
- ไฟฟ้าเคมี (Electrochemical)

วิธีการบำบัดสีในน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมอาจใช้วิธีหนึ่งวิธีใดดังกล่าว หรืออาจจะใช้ร่วมกันก็ได้ ซึ่งประสิทธิภาพในการบำบัดขึ้นอยู่กับสารเคมีที่นำมาใช้ในการผลิตสี บางครั้งพบว่าวิธีการเดียวอาจไม่สามารถกำจัดสีย้อมได้อย่างเหมาะสม จำเป็นต้องมีวิธีอื่นร่วมด้วย เนื่องจากโรงงานฟอกย้อมมีการใช้สีย้อมหลายประเภทด้วยกัน ดังรายละเอียดการศึกษาต่อไปนี้

### 5.3.3.1 โคแอกกูเลชันด้วยสารเคมี

โคแอกกูเลชันหรือการสร้างตะกอนเคมี ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนใหญ่ ๆ คือ ขั้นตอนการเติมสารเคมีพวกสารสร้างตะกอน (Coagulant) ซึ่งได้แก่ สารส้ม ปูนขาว เกลือของเหล็ก สารโพลีอิเล็กโทรไลต์ เป็นต้น ผสมกับน้ำเสียที่มีตะกอนแขวนลอยเล็ก ๆ ขั้นตอนที่สองคือการกวนอย่างช้า ๆ เพื่อให้เกิดสภาพรวมตะกอน (Flocculation) ซึ่งได้มีการเกาะกันระหว่างตะกอนแขวนลอยเล็ก ๆ กับสารสร้างตะกอน จนได้ตะกอนที่มีขนาดใหญ่ขึ้นจนสามารถตกตะกอนได้ สาเหตุที่ต้องทำการกวนอย่างช้า ๆ เพราะไม่ให้เกิดสภาพการเกาะตัวกันเกิดการแตกหลุดจากกันของตะกอนเล็ก ๆ เหล่านี้ การหาปริมาณสารเคมีที่ต้องการใช้จำเป็นต้องทำการทดลอง ซึ่งนิยมเรียกว่า จาร์เทสต์ (Jar Test) โดยในการทดลองจะมีทั้งการกวนเร็ว 100 รอบต่อนาที ประมาณ 1 นาที ตามด้วยการกวนช้า 20-70 รอบต่อนาที ประมาณ 20 นาที ในกระบวนการกำจัดสีด้วยโคแอกกูเลชันนั้น มีสารเคมีสร้างตะกอนให้เลือกหลายชนิด การนำสารสร้างตะกอนชนิดใดไปใช้นั้นขึ้นอยู่กับความเหมาะสม โดยดูปัจจัยด้านประสิทธิภาพค่าใช้จ่าย วัสดุประสงค์ และอื่น ๆ ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดสีโรงงานฟอกย้อมด้วยวิธีโคแอกกูเลชันมีดังนี้

- ในปี 1986 บทความใน Canadian Textile Journal เรื่อง การกำจัดสีในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม ได้กล่าวถึงวิธีการโคแอกกูเลชัน และชี้ให้เห็นว่าวิธีที่มีประสิทธิภาพสูง และประหยัดวิธีหนึ่งในการกำจัดสีดิสเพิร์ส สีแวท และสีซัลเฟอร์ สารส้ม ปูนขาว และเพอร์ริคัลเฟต ความเข้มข้น 300-600 มก./ล. สามารถกำจัดสีได้ร้อยละ 75-90 โดยสารส้มเป็นเคมีที่ทำให้ตะกอนเป็นปุย และตกตะกอนได้เร็วกว่าเคมีช่วยตกตะกอนอื่น

- Halliday และ Beszedits (1986) ศึกษาการกำจัดสีในโรงงานฟอกย้อม พบว่าการทำโคแอกกูเลชันด้วยสารเคมีเพื่อกำจัดสีในน้ำทิ้งโรงงานฟอกย้อมได้ผลดีและประหยัด โดยเฉพาะสีดิสเพิร์ส - สีแวท และสีซัลเฟอร์ โดยใช้สารส้ม ปูนขาว หรือเพอร์ริคัลเฟต ที่ความเข้มข้น 300-600 mg/l สามารถกำจัดสีได้ 75 - 90% สารส้มสร้างตะกอนและตกตะกอนได้เร็วที่สุดในสาร 3 ประเภทดังกล่าว

- ในปี 1987 ระบบบำบัดน้ำเสียของเมืองมาร์ตินวิลล์ ในรัฐเวอร์จิเนีย ได้ทำการทดลองกำจัดสีด้วยวิธีโคแอกกูเลชันโดยใช้สารส้ม และอินทรีย์โพลีเมอร์เป็นเคมีช่วยตกตะกอน สำหรับน้ำเสียของเมืองซึ่งร้อยละ 25 มาจากชุมชน และร้อยละ 75 เป็นน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม ผลการทดลองพบว่าสีถูกกำจัดออกไปอย่างมีนัยสำคัญ อย่างไรก็ตาม การทดลองไม่สามารถลดสีลงให้เหลือ 200 ADMI ตามที่ได้ตั้งวัตถุประสงค์ไว้

- ในปี 1988 โรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่ง ซึ่งผลิตไหมพรมจากฝ้าย และอะคริลิกไฟเบอร์เพื่อทำชุดกีฬา และระบายน้ำเสียลงในเมืองมาร์ตินวิลล์ รัฐเวอร์จิเนียได้ว่าจ้าง Applied Technology and Engineering, P.C. ให้ทำการทดลองเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการกำจัดสีโดยวิธีโคแอกกูเลชัน และคาร์บอนแอ็ดซอร์พชัน สีที่ใช้ในโรงงานเป็นสีเบสิก สีรีแอคทีฟ สีไดเรคท์ และสีซัลเฟอร์ การทดลองได้ใช้สารส้ม เพอร์ริคัลเฟต และโพลีเมอร์ไอออนบวก เป็นเคมีช่วยตกตะกอนโดยมีเป้าหมายในการลดสีในน้ำสุดท้าย

ให้ต่ำกว่า 200 ADMI แต่ผลการทดลองไม่สามารถลดสีให้เป็นไปตามที่ตั้งไว้ จึงสรุปว่าโคแอกกูเลชันไม่สามารถลดสีลงให้ต่ำกว่า 200 ADMI ได้อย่างต่อเนื่อง

- ในปี 1988 วารสาร Soviet Journal of Water Chemistry and Technology ได้ตีพิมพ์บทความเรื่อง การกำจัดสีจากน้ำเสียโดยวิธีโคแอกกูเลชันอินทรีย์ เนื้อหาของบทความเป็นการเปรียบเทียบการใช้เคมีช่วยตกตะกอน ซึ่งเป็นแร่ธาตุสามารถกำจัดสีได้ร้อยละ 60-70 เคมีช่วยตกตะกอนอินทรีย์สามารถกำจัดได้ร้อยละ 90

- Shama, Mahesh A. (1989) นักเคมีของ Century Textiles and Industries Limited ในเมืองบอมเบย์ ได้เขียนเกี่ยวกับกรณีศึกษาของการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมผ้าฝ้าย โดยการใช้สารส้ม เพอร์รัสซัลเฟต และเพอร์ริคคลอไรต์ในการทดลองทำโคแอกกูเลชัน ผลการทดลองสรุปว่า เพอร์รัสซัลเฟต และปูนขาวเป็นเคมีช่วยตกตะกอน และกำจัดสีที่มีประสิทธิภาพ และประหยัดค่าใช้จ่ายโดยสามารถลดค่า COD ลงร้อยละ 40

- ในเดือนมีนาคม ปี 1991 วารสาร American Dyestuff Reporter ได้ตีพิมพ์บทความเรื่อง การปรับปรุงกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่มีสีขม โดยได้มีการทดลองระดับ Pilot Scale ในโรงงานทอเส้นด้ายสังเคราะห์ ซึ่งใช้สตีติสเฟิร์ส ลีแอลิต และลีดเร็คท์ น้ำเสียของโรงงานมีอัตราการไหล 100,000 แกลลอนต่อวัน (3,875 ลบ.ม./วัน) ใช้ระบบบำบัดแบบตะกอนเร่งโดยมีระยะเวลาเก็บกัก 4 วัน การทดลองได้ใช้ระบบโคแอกกูเลชันด้วยสารเคมี และการลอยตัว (Dissolved Air Flotation) ผลการทดลอง พบว่า การใช้สารอินทรีย์โพลีเมอร์ในการโคแอกกูเลชันจะทำให้เกิดตะกอนน้อยกว่าการใช้สารอนินทรีย์โพลีเมอร์ (การใช้สารอินทรีย์โพลีเมอร์เกิดตะกอนน้อยกว่าร้อยละ 1 ของน้ำเสีย ในขณะที่การใช้สารอนินทรีย์โพลีเมอร์มีตะกอนเกิดขึ้นร้อยละ 3) นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในช่วง pH ที่กว้าง และปริมาณที่ต่ำ การทดลองครั้งนี้สามารถกำจัด COD ได้โดยเฉลี่ยร้อยละ 70 และกำจัดของแข็งแขวนลอยได้ประมาณร้อยละ 60 การทดลองได้สรุปว่า สีไม่อาจถูกกำจัดโดยวิธีโคแอกกูเลชัน การทดลองต่อมาจึงได้ใช้การกรองด้วยถ่านคาร์บอนตามหลังจากโคแอกกูเลชัน ซึ่งผลการทดลองพบว่าสามารถกำจัดสีได้ร้อยละ 85

- Edwin Louis Bamhart และคณะ (1993) ได้ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสีในอุตสาหกรรมฟอกย้อม ด้วยวิธีต่าง ๆ ได้แก่ โคแอกกูเลชัน คลอรีเนชัน โอโซนเนชัน และ carbon adsorption ในโรงงาน 4 แห่ง วิธีการวัดสีเป็นไปตามมาตรฐานของ ADMI ผลการศึกษาพบว่าไม่มีวิธีการกำจัดสีวิธีใดที่ใช้ได้ผลในทุกโรงงาน แต่วิธีโคแอกกูเลชันเป็นวิธีที่เชื่อว่าจะได้รับการยอมรับมากที่สุด อย่างไรก็ตาม การใช้วิธีโคแอกกูเลชันจะเป็นการเพิ่มตะกอน ซึ่งแม้ว่าจะไม่เป็นสารอันตรายแต่จะส่งผลให้เพิ่มค่าใช้จ่ายในการจัดการ ในขณะที่วิธีคลอรีเนชันจะสามารถกำจัดสีได้ในโรงงานเฉพาะแห่ง และยังคงระมัดระวังน้ำทิ้งที่อาจมีคลอรีนตกค้างสูง ส่วนวิธีโอโซนเนชันนั้นจะได้ผลก็ต่อเมื่อใช้โอโซนในอัตราที่สูง ทำให้มีปัจจัยจำกัดด้านค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ เช่นเดียวกับวิธี Carbon Adsorption ที่แม้ว่าจะประสบความสำเร็จในการกำจัดสีในระดับหนึ่งแต่ค่าใช้จ่ายในการกำจัดทำให้วิธีนี้ไม่น่านำมาใช้

- The institute of Textile Technology (ITT) ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับเทคโนโลยีการกำจัดสีสำหรับอุตสาหกรรมฟอกย้อมโดยได้ทำการศึกษาเรื่องประสิทธิภาพของสารเคมีช่วยตกตะกอนในการโคแอกกูเลชันที่สามารถใช้ในการกำจัดสี สารเคมีที่ทดลองใช้ได้แก่ สารส้ม เพอริคัลเฟต เพอริคัลไรต์ ปูนขาว และโพลีเมอร์ทั้งชนิดประจุบวก ประจุลบ และไม่มีประจุ พบว่าหากใช้สิดิสเพิร์สสีน้ำเงินในความเข้มข้น 1,000 มก./ลิตร ในการทดลอง สีจะสามารถลดลงมากถึงร้อยละ 99 เมื่อใช้ปูนขาว สารส้ม และเพอริคัลเฟตเป็นเคมีช่วยตกตะกอน แต่เพอริคัลไรต์ไม่สามารถลดสีลงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนการเติมโพลีเมอร์นั้นสามารถช่วยในเรื่องของการตกตะกอนแต่ไม่ช่วยกำจัดสีเพิ่มเติม

### 5.3.3.2 การดูดติดผิว

การดูดติดผิวเป็นความสามารถของสารบางชนิดในการดั่งโมเลกุลหรือคอลลอยด์ ซึ่งอยู่ในของเหลวหรือก๊าซให้มาเกาะจับและติดบนผิว โมเลกุลหรือคอลลอยด์เรียกว่า สารถูกดูด (adsorbate) ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับเรียกว่า สารดูดติด (adsorbent) และเรียกกลไกตั้งแต่มีโมเลกุลหรือคอลลอยด์เคลื่อนที่ไปเกาะติดกับพื้นผิวของอีกสารหนึ่งว่า การดูดติดผิว (adsorption) การเกาะจับโมเลกุลบนผิวของสาร อาจเกิดขึ้นด้วยแรงกายภาพ เช่น แรงแวนเดอร์วาล (van der waals) หรือด้วยแรงทางเคมีหรือทั้งสองอย่างรวมกัน สารดูดติดผิวมีหลายชนิด อาจแบ่งได้เป็น 3 ประเภทดังนี้

- 1) ประเภทสารอินทรีย์ เช่น ดินเหนียวชนิดต่าง ๆ แมกนีเซียมออกไซด์ ถ่านกระดูก (Bone Char) แอกติเวทเต็ดซิลิกา ฯลฯ สารเหล่านี้มีพื้นที่ผิว 50-200 ตารางเมตร/กรัม
- 2) แอกติเวทเต็ดคาร์บอน มีพื้นที่ผิวมากกว่าสารอินทรีย์อื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ คือ 600-1,000 ตารางเมตร/กรัม จึงจัดแยกไว้จากสารอินทรีย์ชนิดอื่น ๆ
- 3) สารอินทรีย์สังเคราะห์ เช่น เรซินแลกเปลี่ยนประจุ มีพื้นที่ผิว 300-500 ตารางเมตร/กรัม

โดยทั่วไปกระบวนการดูดติดผิวในกระบวนการกำจัดสีและกลั่นในน้ำประปา และกระบวนการกำจัดสีในน้ำเสียจะนิยมใช้แอกติเวทเต็ดคาร์บอนซึ่งมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงทำให้มีความสามารถในการดูดติดผิวสูงตามไปด้วย ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดสีโรงงานฟอกย้อมด้วยวิธีการดูดติดผิวมีดังนี้

- The institute of Textile Technology (ITT) ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับเทคโนโลยีการกำจัดสีสำหรับอุตสาหกรรมฟอกย้อมโดยศึกษาระบบบำบัดน้ำเสียแห่งหนึ่งซึ่งใช้ผงแอกติเวทเต็ดคาร์บอน หรือ PACT (Powdered Activated Carbon Treatment) พบว่าสามารถกำจัดสีจากช่วง 300-500 APHA ลงเหลือประมาณ 40 APHA ส่วนระบบบำบัดน้ำเสียอีกแห่งหนึ่งซึ่งใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge) แล้วตามด้วย granular carbon สามารถกำจัดสีจาก 350 - 990 APHA ลงเหลือ 12 ถึง 60 APHA ภายหลังการบำบัดด้วยคาร์บอน

- ในปี 1986 บทความเรื่อง การกำจัดสีในน้ำเสียอุตสาหกรรมฟอกย้อม ได้กล่าวถึงวิธีการบำบัดน้ำเสียแบบต่าง ๆ โดยแอกติเวทเต็ดคาร์บอนเป็นตัวดูดซับที่ถูกล่ามถึงมากที่สุดในเรื่องความสามารถในการกำจัดสี รีแอกทีฟ สีเบสิค สีอะโซอิก และสีเมทัลคอมเพล็กซ์ แต่บทความได้ระบุว่าไม่มีประสิทธิภาพ

ในการกำจัดดีดิสเพิร์ส สีแฉะ และสีฟีกเมนต์ นอกจากนั้นยังได้กล่าวว่า บางครั้งต้องมีการบำบัดน้ำเสียก่อนที่จะมีการดูดติดผิว ส่วนของแข็งแขวนลอยนั้น หากเกินกว่า 50 มก./ล. จะเกิดการสะสมในหลอดแก้วของแอกติเวทเต็ดคาร์บอน และทำให้เกิดการอุดตัน ท้ายที่สุดบทความได้กล่าวถึงระบบบำบัดน้ำเสียที่มีล้อย้อมของเมืองนิวแฮมเชียร์ ซึ่งแอกติเวท-เตดคาร์บอนสามารถลดสีจาก 160-4,000 APHA จนเป็นศูนย์ทำให้น้ำที่ผ่านการบำบัดสามารถนำกลับมาใช้ได้

- วิวรรณ (2539) ได้ทำการทดลองเรื่อง การใช้ถังกรองดูดซับในการบำบัดสีจากน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอในการบำบัดขั้นสุดท้ายโดยศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสีจากการใช้ถังกรอง ซึ่งมีแอกติเวทเต็ดคาร์บอน และซีล้อยเป็นสารดูดซับ และศึกษาประสิทธิภาพในการลดค่าซีไอดี ผลการทดลองกับสารละลายสีสังเคราะห์ 4 ประเภท ได้แก่ สีแอลิต สีเบลิค สีรีแอคทีฟ และสีไดเร็กซ์ พบว่า สีที่ถูกดูดซับด้วยแอกติเวทเต็ดคาร์บอน ดีที่สุด คือ สีเบลิค รองลงมาคือ สีไดเร็กซ์ สีรีแอคทีฟ และสีแอลิตตามลำดับ ส่วนสีที่ถูกดูดซับด้วยซีล้อยได้ดีที่สุด คือ สีเบลิค รองลงมาคือ สีแอลิต สีไดเร็กซ์ และสีรีแอคทีฟ ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับสีประเภทรีแอคทีฟ และไดเร็กซ์ระหว่างแอกติเวทเต็ดคาร์บอน และซีล้อยที่มีความสูงเท่ากัน พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับสีของแอกติเวทเต็ดคาร์บอนจะดีกว่า ส่วนประสิทธิภาพการดูดซับสีประเภทเบลิคระหว่างแอกติเวทเต็ดคาร์บอน และซีล้อยที่มีความสูงเท่ากัน มีค่าใกล้เคียงกัน และประสิทธิภาพของซีล้อยในการดูดซับสีแอลิตดีกว่าแอกติเวทเต็ดคาร์บอน ผลการศึกษาเกี่ยวกับน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมพบว่าแอกติเวทเต็ดคาร์บอนให้ประสิทธิภาพในการดูดซับสี และซีไอดีใกล้เคียงกับซีล้อย แต่เมื่อเทียบค่าการดูดซับสี และซีไอดีต่อน้ำหนักแล้วพบว่า ซีล้อยให้ค่าสูงกว่าแอกติเวทเต็ดคาร์บอนประมาณ 1.55-2.89 เท่า และ 1.39-2.44 เท่า ตามลำดับ

- อภิชาติ (2539) ได้ทำการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟจากน้ำเสียย้อมผ้าด้วยกระบวนการร่วมของการดูดติดผิว และโคแอกกูเลนชัน โดยใช้แอกติเวทเต็ดคาร์บอนผง และเถ้าลอยจากปล่องควันของโรงผลิตไฟฟ้าถ่านหินลิกไนต์เป็นสารดูดติดผิว ใช้สารส้มเป็นโคแอกกูเลนท์ และใช้โพลิเมอร์เป็นโคแอกกูเลนท์เอด โดยสีย้อมที่นำมาทดลองเป็นสีแดง และสีน้ำเงิน ผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟในน้ำเสียย้อมผ้าด้วยกระบวนการดูดติดผิว โดยใช้แอกติเวทเต็ดคาร์บอนผงนั้นขึ้นอยู่กับโทนสีของน้ำเสีย และปริมาณแอกติเวทเต็ดคาร์บอนผงโดยน้ำเสียโทนสีแดงต้องการแอกติเวทเต็ดคาร์บอนผง 800 มก./ล. และน้ำเสียโทนสีน้ำเงินต้องการ 600 มก./ล. ในการกำจัดให้ได้ประสิทธิภาพ กำจัดสี 95% เท่ากัน ขณะที่เถ้าลอยนั้นให้ประสิทธิภาพกำจัดไม่แน่นอนขึ้นกับตัวอย่างของเถ้าลอย เนื่องจากลักษณะของเถ้าลอยแต่ละตัวอย่างมีความแตกต่างกันสูง ภายหลังกระบวนการดูดติดผิวด้วยเถ้าลอย น้ำใสส่วนบนไม่จำเป็นต้องใช้สารส้ม หรือโพลิเมอร์ช่วยในการตกตะกอน ส่วนการดูดติดด้วยแอกติเวทเต็ดคาร์บอน น้ำส่วนบนต้องการสารส้ม 30 มก./ล. ในการกำจัดผลแขวนลอยโดยไม่ต้องการโพลิเมอร์ช่วย

### 5.3.3.3 คลอรีนชั้น

คลอรีนชั้นเป็นวิธีการกำจัดสีโดยใช้คลอรีนเป็นตัวออกซิไดซิงเอเจนต์ ซึ่งมีอำนาจออกซิไดซิงสูงไปทำปฏิกิริยากับสีที่อยู่ในน้ำทิ้ง ทำให้สีหายไปหรือลดปริมาณสีลง ปริมาณสีที่ลดลงขึ้นอยู่กับปริมาณและความเข้มข้นของคลอรีนที่ใช้ คลอรีนที่ใช้จะอยู่ในรูปของก๊าซคลอรีน สารประกอบไฮโปคลอไรท์ และคลอรีนไดออกไซด์ ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดสีโรงงานฟอกย้อมด้วยวิธีคลอรีนชั้นมีดังนี้

- ในปี 1980 การศึกษาเรื่องการปรับปรุงกรรมวิธีบำบัดน้ำจากอ่างย้อม โดยวิธีคลอรีนชั้นหรือโอโซนเนชัน ได้ศึกษาถึงผลของคลอรีนที่มีต่อสี 4 ประเภท ได้แก่ สีเดเร็คท์ สีรีแอคทีฟ สีดีสเพิร์ส และสีแอลิต โดยการฉีดแก๊สคลอรีนลงไปในน้ำเสียสังเคราะห์ที่อัตราการไหลคงที่ ผลการทดลองพบว่าการกำจัดสีรีแอคทีฟ และสีแอลิตเป็นไปอย่างรวดเร็ว และสมบูรณ์โดยใช้คลอรีนเพียง 25 และ 50 มก./ล. ตามลำดับ ในขณะที่สีเดเร็คท์ และสีดีสเพิร์สมีปฏิกิริยาช้า และใช้คลอรีนถึง 75-100 มก./ล. การศึกษาถึงผลของ pH ต่อการกำจัดสีพบว่า สีจะถูกกำจัดได้ดีที่พีเอชต่ำ (1-3) ผลการศึกษาดังกล่าวได้สรุปว่า การใช้คลอรีนในการกำจัดสีถูกกว่าโอโซนถึง 6 เท่า

- ในปี 1986 บทความเรื่องการกำจัดสีในอุตสาหกรรมฟอกย้อม ได้กล่าวถึงวิธีคลอรีนชั้นว่าง่ายต่อการเดินระบบ ลงทุนต่ำ และเสียค่าใช้จ่ายในการเดินระบบต่ำ อีกทั้งไม่มีตะกอนซึ่งต้องนำไปเผาหรือฝัง ในทางตรงกันข้ามผลเสียของวิธีคลอรีนชั้น ได้แก่ การเกิดคลอรีนเตตไฮโดรคาร์บอนซึ่งทำให้เกิดกลิ่นและปัญหาความเป็นพิษ การใช้ก๊าซคลอรีนในการกำจัดสีแนะนำให้ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียขนาดใหญ่ และอัตราการใช้ 100-250 มก./ล. ในช่วงระยะเวลาสัมผัสสั้น ๆ 2-3 นาที ก็เพียงพอที่จะกำจัดสีในอัตราที่น่าพอใจ

- ในปี 1988 Hydroscience, Inc. ได้ทำการศึกษาดทดลองในระดับ Pilot Scale ในเมืองมาร์ตินวิลล์ รัฐเวอร์จิเนีย ถึงความสามารถในการกำจัดสีของคลอรีน โดยน้ำเสียร้อยละ 25 มาจากชุมชน และร้อยละ 75 มาจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม สีที่ใช้ ได้แก่ สีเบสิค สีรีแอคทีฟ สีเดเร็คท์ และสีซัลเฟอร์ ผลการศึกษาพบว่าการใช้คลอรีน 62-95 มก./ล. สามารถบรรลุเป้าหมายที่วางไว้เบื้องต้น คือ สามารถลดสีลงเหลือ 200 ADMI (จากเริ่มต้น 687-992 ADMI) ผลการทดลองได้แนะนำให้ปรับ pH ก่อนทำคลอรีนชั้นให้อยู่ในช่วง 6.2-6.5 และใช้เวลาสัมผัส 1 ชม.

### 5.3.3.4 โอโซนเนชัน

โอโซนเนชันเป็นการกำจัดสีในน้ำเสียโดยใช้โอโซน ( $O_3$ ) เป็นตัวออกซิไดซิงเอเจนต์ไปทำปฏิกิริยากับสีที่อยู่ในน้ำทิ้งเช่นเดียวกับการใช้คลอรีน แต่โอโซนมีความสามารถในการออกซิไดซิงสูงกว่าคลอรีนเกือบ 1 เท่า การผลิตโอโซนกระทำได้โดยผ่านอากาศแห้งหรือออกซิเจนบริสุทธิ์ไประหว่างขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว ที่มีความต่างศักย์ประมาณ 15,000-20,000 โวลท์ อะตอมของออกซิเจนจะถูกบังคับให้จับตัวกันใหม่กลายเป็นโอโซน ( $O_3$ ) อากาศแห้ง 1 ลบ.ม. สามารถผลิตโอโซนได้ไม่เกิน 30 กรัม หรือเท่ากับ 1.4% โดยปริมาตร ถ้าใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์แทนอากาศแห้งอาจได้โอโซนเพิ่มเป็น 60-90 กรัม/ลบ.ม. โอโซนสามารถทำให้เป็นของเหลวได้แต่นิยมใช้ในรูปแบบก๊าซมากกว่า โอโซนเป็นก๊าซพิษที่ก่อให้เกิดความระคายเคืองอย่างรุนแรง คนสามารถทนโอโซนได้ถึง 0.1 PPM โดยปริมาตรโดย



ไม่เป็นอันตราย แต่ถ้าให้คนดมไอโซนเข้มข้นประมาณ 1% (ที่ผลิตได้โดยตรงจากเครื่อง) จะถึงแก่ความตายภายใน 1 นาที ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดสีโรงงานฟอกย้อมด้วยวิธีไอโซนเนชั่นมีดังนี้

- ในปี 1980 The institute of Textile Technology (ITT) ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับเทคโนโลยีการกำจัดสีสำหรับอุตสาหกรรมฟอกย้อมโดยทำการทดลองกำจัดสีในน้ำย้อมด้วยวิธีไอโซนเนชั่น และได้ทดสอบในสีต่างกัน 4 ประเภท ได้แก่ สีเดเร็กซ์ สีรีแอคทีฟ สีแอลิต และสีดิสเพิร์ส พบว่า การผ่านฟองก๊าซไอโซนเข้าไปในหลอดแก้วในความเข้มข้น 2-6% ออกซิเจนนั้น สามารถกำจัดสีได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยสีดิสเพิร์สทำปฏิกิริยาได้ช้ากว่าสีประเภทอื่น ๆ อย่างไรก็ตาม หากเปรียบเทียบวิธีไอโซนเนชั่นกับคลอรีนเนชั่นแล้ว ไอโซนเนชั่นสามารถกำจัดสีได้ดีกว่า แต่ถ้าพิจารณาในเรื่องค่าใช้จ่ายในการกำจัดสีพบว่าไอโซนใช้ค่าใช้จ่ายสูงกว่าถึง 6 เท่า

- ในปี 1984 ได้มีการศึกษาเรื่องปฏิกิริยาของไอโซนต่อสีในน้ำย้อมของมหาวิทยาลัย Gify ในประเทศญี่ปุ่น โดยการตรวจสอบการลดลงของ TOC (Total Organic Carbon) ในสีเบสิกและสีแอลิต ผลการทดลองพบว่า สีย้อมไม่สามารถสลายได้โดยสมบูรณ์หากใช้ไอโซนเพียงอย่างเดียว หลังจากผ่านไอโซนลงไปถึง 9 ชั่วโมง ค่า TOC ลดลงเพียงร้อยละ 50 จาก 150 มก./ล. การศึกษาต่อมาหลังจากนั้นจึงได้เพิ่มการผ่านรังสีอัลตราไวโอเล็ตร่วมกับการให้ไอโซน ซึ่งพบว่าผลที่ออกมาดีกว่าเดิม โดยความเข้มข้นของ TOC ลดลงจนเกือบเป็นศูนย์ภายในเวลา 3.5 ชั่วโมง

- Canadian Textile Journal ได้รายงานเรื่องการกำจัดสีในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมไว้ในเล่มเดือนเมษายน 1986 ว่าการทดสอบไอโซนเนชั่นแบบเบตซ์ พบว่า สีเดเร็กซ์ สีแอลิต และสีเบสิกจะสามารถถูกกำจัดได้อย่างรวดเร็วโดยลดลงเกือบร้อยละ 90 แต่สีดิสเพิร์สจะถูกกำจัดได้ค่อนข้างน้อยโดยวิธีไอโซนเนชั่น นอกจากนี้การรายงานยังกล่าวถึงการศึกษาเรื่อง การกำจัดสีในน้ำย้อมพรมด้วยวิธีไอโซนเนชั่น Georgia Environmental Protection Division ในรัฐจอร์เจียว่าหากใช้ไอโซนความเข้มข้น 45 มก./ล จะสามารถลด COD ได้ร้อยละ 40 และกำจัดสีได้ร้อยละ 90 และหากลดของแข็งลงก่อนที่จะให้ไอโซน จะใช้ไอโซนเพียง 26.5 มก./ลิตร

- ในปี 1987 Chemie Ingenieur Technik ได้ตีพิมพ์บทความจาก Dokki-Carier ของประเทศอียิปต์ เรื่องการใช้ก๊าซไอโซนในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมซึ่งปนเปื้อนด้วยสีย้อม Azo-dyes ผลการศึกษาพบว่าไอโซนสามารถกำจัดสีได้อย่างมีประสิทธิภาพ และอัตราการเกิดปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสีย้อม โดยหากใช้ไอโซนที่ความเข้มข้น 10 มก./ล. สีจะถูกกำจัดออกไปร้อยละ 10 และหากใช้ไอโซนในความเข้มข้น 125 มก./ล. สีจะถูกกำจัดออกไปอย่างสมบูรณ์ ในอัตราการเกิดปฏิกิริยาเฉพาะเป็น 0.07887 โมล/ลิตร.นาทึ

- ในปี 1987 มีการศึกษาอื่นเกี่ยวกับ การกำจัดสีจากโรงงานอุตสาหกรรมโดยวิธีไอโซนเนชั่นที่รัฐเวอร์จิเนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยเป็นการศึกษาของโรงบำบัดน้ำของเมืองมาร์ตินวิลล์ พบว่าโรงบำบัดรับน้ำเสียร้อยละ 25 จากบ้านเรือน และร้อยละ 75 จากโรงงานฟอกย้อมสีเริ่มต้นก่อนการบำบัดอยู่ในช่วง 750-1550 ADMI การทดลองใน pilot scale มีวัตถุประสงค์จะลดสีลงถึง 200 ADMI อย่างคงที่ พบว่า หลังจาก

การบ่อน้ำเสียอย่างต่อเนื่องเข้าสู่หลอดทดลองความสูง 4 เมตร โดยใช้โอโซน 100 กรัม/ลบ.ม. ประสบความสำเร็จ ในอัตราความสำเร็จร้อยละ 95 และสามารถลด COD ได้มากที่สุด 375-500 มก./ล. ที่เวลาสัมผัส 20 นาที

- ในปี 1992 ผลการศึกษาเรื่อง การใช้โอโซนในการกำจัดสีจากอุตสาหกรรม ฟอกย้อม ได้รับการตีพิมพ์โดยการศึกษาได้พิจารณาเรื่องผลของ pH และอุณหภูมิที่มีต่อการกำจัดสีสังเคราะห์ แอลิต ผลการศึกษาพบว่า การเปลี่ยน pH และอุณหภูมิมีผลต่อการกำจัดสีค่อนข้างน้อย โดยแนะนำว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมเป็น  $30^{\circ}\text{C}$  และพีเอชที่เหมาะสมเป็น 4

- Kootatep (1993) ได้ทดลองใช้โอโซนกำจัดสีย้อมในระดับห้องปฏิบัติการกับ น้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม พบว่าสามารถกำจัดสีได้ประสิทธิภาพ 50% โดยใช้การออกซิไดซิงสีย้อมด้วยโอโซน การ กำจัดสีด้วยโอโซนดังกล่าว เหมาะกับการบำบัดน้ำเสียขั้นปฐมภูมิก่อนเข้าระบบบำบัดทางชีวภาพ เพราะโอโซนช่วยให้ ค่าออกซิเจนละลายน้ำเพิ่มขึ้นเป็นประโยชน์ต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ในถังเติมอากาศ และไม่ต้องการถังตก ตะกอนขั้นปฐมภูมิ เพราะการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียด้วยโอโซน ไม่ก่อให้เกิดตะกอนแต่อย่างใด

### 5.3.3.5 เทคโนโลยีในการใช้แผ่นเมมเบรน

เทคโนโลยีของการใช้แผ่นเมมเบรนประกอบด้วยวิธีอุลตราฟิลเตรชัน และรีเวอร์สออส-โมซิส วิธีอุลตราฟิลเตรชันมีหลักการทำงานของระบบคือใช้แผ่นเยื่อกระดาษ (membrane) แบบ Porous พวก เซลลูโลส-อะซิเตต หรือโพลีเออร์สังเคราะห์ต่าง ๆ และอัดน้ำเข้าไปด้วยแรงดันไม่เกิน 1,034 กิโลนิวตัน/ตร.ม. เยื่อ กรองจะทำหน้าที่แยกสารปนเปื้อนทั้งแบบละลายน้ำและตะกอนเล็กที่มีขนาดหน้าหน้าไมกุลตั้งแต่ 500 ถึง 500,000 และขนาดตั้งแต่  $2 \times 10^{-6}$  ถึง  $1 \times 10^{-2}$  มม. ได้ สำหรับวิธีรีเวอร์สออสโมซิส สามารถแยกสารปนเปื้อนที่มีขนาดตั้งแต่  $4 \times 10^{-7}$  ถึง  $6 \times 10^{-5}$  มม. ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าวิธีอุลตราฟิลเตรชัน นิยมใช้ในการแยกเกลือที่ละลายน้ำได้ด้วยการกรอง แผ่นเยื่อกรองแบบเยื่อกึ่งซึมผ่านได้ (Semipermeable membrane) ณ ความดันตั้งแต่ความดันบรรยากาศจนถึง 6,900 กิโลนิวตัน/ตร.ม. ระบบนี้ประกอบด้วยแผ่นเยื่อกรอง ตัวถัง และเครื่องสูบน้ำที่ให้ความดันสูง พวกแผ่นเยื่อ กรองที่นิยมใช้กันมาก ได้แก่ เซลลูโลสอะซิเตต และไนลอน

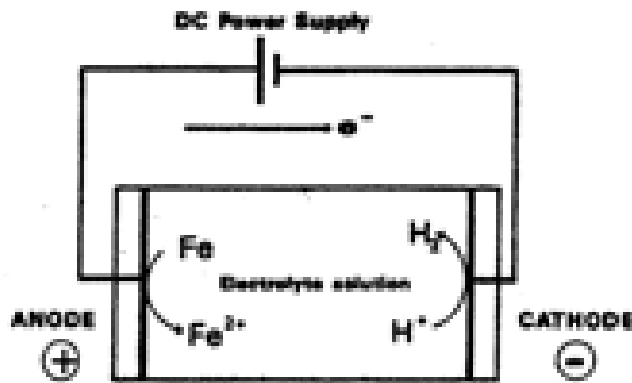
วิธีที่กล่าวมามีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมจากน้ำเสียของอุตสาหกรรมฟอกย้อม ใน ปัจจุบันวิธีที่ได้รับการนำมาใช้จริงจัง ได้แก่ วิธีอุลตราฟิลเตรชัน ซึ่งเป็นเทคโนโลยีในการนำวัสดุกลับมา ใช้ใหม่ ซึ่งพบว่าสามารถนำ PVA โซดาไฟ สีย้อมอินดิโก และน้ำกลับมาใช้ได้อย่างประสบความสำเร็จ แม้ว่า กระบวนการนี้จะปรากฏให้เห็นว่าสามารถกำจัดสีย้อม และสารที่เติมได้ทุกประเภท แต่ก็ยังไม่มีการนำมาใช้ในทาง ปฏิบัติเนื่องจากความยุ่งยากในการแยกสีผสม (สีผสมโดยส่วนใหญ่เป็นกรณีของน้ำจากขั้นตอนการย้อม และการ ตกแต่งสำเร็จ)

- ในปี 1985 บทความตีพิมพ์ใน British Publication Aqua เรื่อง เทคนิคการ ใช้วิธีเมมเบรนในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรม ได้กล่าวถึงการทดลองบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมหลาย ประเภทด้วยวิธีอุลตราฟิลเตรชัน ส่วนหนึ่งของการทดลองเป็นการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม ซึ่งมีสี ย้อมประเภทดิสเพิร์สซึ่งเป็นพวกคอลลอยด์ ผลการทดลองพบว่าสีได้ถูกกำจัดร้อยละ 80-97 โดยวิธีอุลตราฟิลเตร ชัน นอกจากนั้นยังสามารถกำจัด TOC ได้ร้อยละ 60-85

- ในปี 1986 บทความใน Canadian Textile Journal เรื่อง การกำจัดสีในอุตสาหกรรมฟอกย้อม ได้กล่าวถึงกระบวนการอุตราฟิลาเตรชัน หรือกระบวนการผ่านแผ่นเมมเบรนด้วยแรงดันว่า การเลือกใช้แผ่นเมมเบรนควรใช้โพลีซัลโฟนมากกว่าเซลลูโลสอะซีเตต หรืออะซิเมตริกโพลีเอไมด์ เนื่องจากมีความสามารถทำงานได้ในพีเอชและอุณหภูมิช่วงกว้าง นอกจากนี้ยังรายงานที่สามารถกำจัดสีได้ร้อยละ 95-100 สำหรับสีย้อมทุกประเภท ส่วน TOC นั้นกำจัดได้มากกว่าร้อยละ 85

### 5.3.3.6 ไฟฟ้าเคมี

วิธีไฟฟ้าเคมีหรืออิเล็กโตรเคมีคัลเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพดีวิธีหนึ่ง แต่ใช้กันน้อยมากในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม เดิมทีการบำบัดด้วยวิธีนี้ถูกใช้เพื่อกำจัดโลหะหนักจากน้ำเสียอุตสาหกรรม ต่อมาได้มีการปรับปรุงเพื่อนำมากำจัด บีโอดี ซีโอดี สารแขวนลอย และสีในน้ำทิ้ง ลักษณะการทำงานมีองค์ประกอบหลัก คือ แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (DC power source) ขั้วไฟฟ้าอย่างน้อย 2 ขั้ว (Electrode) และสารละลายนำไฟฟ้า (Electrolyte solution) เมื่อทำการผ่านกระแสไฟฟ้าสู่เซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ผ่านแผ่นเหล็ก (Fe) เป็นขั้วไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 5-6 พบว่าที่ขั้วบวก (Anode) จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเหล็ก ซึ่งทำให้แผ่นเหล็กเกิดการสึกกร่อนและละลายออกมาในรูปของเฟอร์รัสไอออน ( $Fe^{2+}$ ) ที่ละลายอยู่ในน้ำ เมื่อเวลาผ่านไปปริมาณของ  $Fe^{2+}$  จะเพิ่มปริมาณมากขึ้น ในขณะที่ขั้วลบ (Cathode) จะเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำ ซึ่งน้ำจะเกิดการแตกตัวให้ก๊าซไฮโดรเจน ( $H_2$ ) และไฮดรอกไซด์ไอออน ( $OH^-$ ) เมื่อเวลาผ่านไปน้ำจะมีสภาพเป็นด่าง และทำให้เกิดตกตะกอนของเฟอร์รัสไอออนและเฟอร์ริกไอออนซึ่งจะดูดติดและช่วยตกตะกอนของโลหะหนักสีย้อมหรือสิ่งปนเปื้อนต่าง ๆ ในน้ำเสีย ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดสีของโรงงานฟอกย้อมมีดังนี้



รูปที่ 5-6 องค์ประกอบของระบบไฟฟ้าเคมี

- ปี 1988 วารสาร American Dyestuff Reporter ได้รายงานเรื่องการปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานทอพรหม ซึ่งดำเนินการโดย Andco Environmental Processes, Inc. โดยน้ำเสียมาจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมซึ่งประกอบด้วยสีย้อมหลายชนิด ได้แก่ สีแวท สีดิสเพิร์ส ซัลเฟอร์ และสีรีแอ็คทีฟ การใช้วิธีอิเล็กโตรเคมีคัลสามารถกำจัดสีโดยเฉลี่ยร้อยละ 94 ด้วยการใช้อิเล็กโตรเคมีคัล เฟอร์รัสไอออน 150 มก./ล. และหากใช้เพิ่มขึ้น 200 mg/l จะสามารถกำจัดสีได้ร้อยละ 98 ส่วนการใช้เฟอร์รัสไอออนความเข้มข้น 500

มก./ล. สามารถกำจัดสีเบสได้ร้อยละ 90 กรณีของค่า COD นั้นสามารถลดลงได้ร้อยละ 50-70 สำหรับสีทุกประเภท

- ในปี 1991 การวิจัยโดยมหาวิทยาลัย Guelph ประเทศแคนาดา เรื่อง การนำ สีดิสเพิร์สในน้ำย้อมกลับมาใช้ใหม่โดยวิธีอิเล็กโตรเคมีคัล เพื่อศึกษาถึงผลของอิเล็กโตรเคมีคัลต่อค่าความเป็นพิษ ผลการทดลองพบว่า ความเป็นพิษเทียบพล้นจากการทดสอบนั้น ค่าเฉลี่ยของ  $LC_{50}$  ก่อนการทดลองเป็นร้อยละ 22.9 ส่วนภายหลังการทดลองค่าเฉลี่ยของ  $LC_{50}$  เป็นร้อยละ 49.6

- ในปี 1991 วารสาร American Dyestuff Reporter ได้รายงานบทความเรื่อง การบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม ว่าหากใช้วิธีอิเล็กโตรเคมีคัลในการบำบัดน้ำเสีย โดยใช้เฟอร์รัสไอออน ในระดับ 200-500 มก./ล. ในสีย้อมจะสามารถกำจัดสีได้ร้อยละ 90-98 และกำจัด COD ได้ร้อยละ 50-70 ในขณะที่ โลหะหนัก และของแข็งแขวนลอยทั้งหมดจะถูกกำจัดร้อยละ 80-100 พีเอชที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 7-9

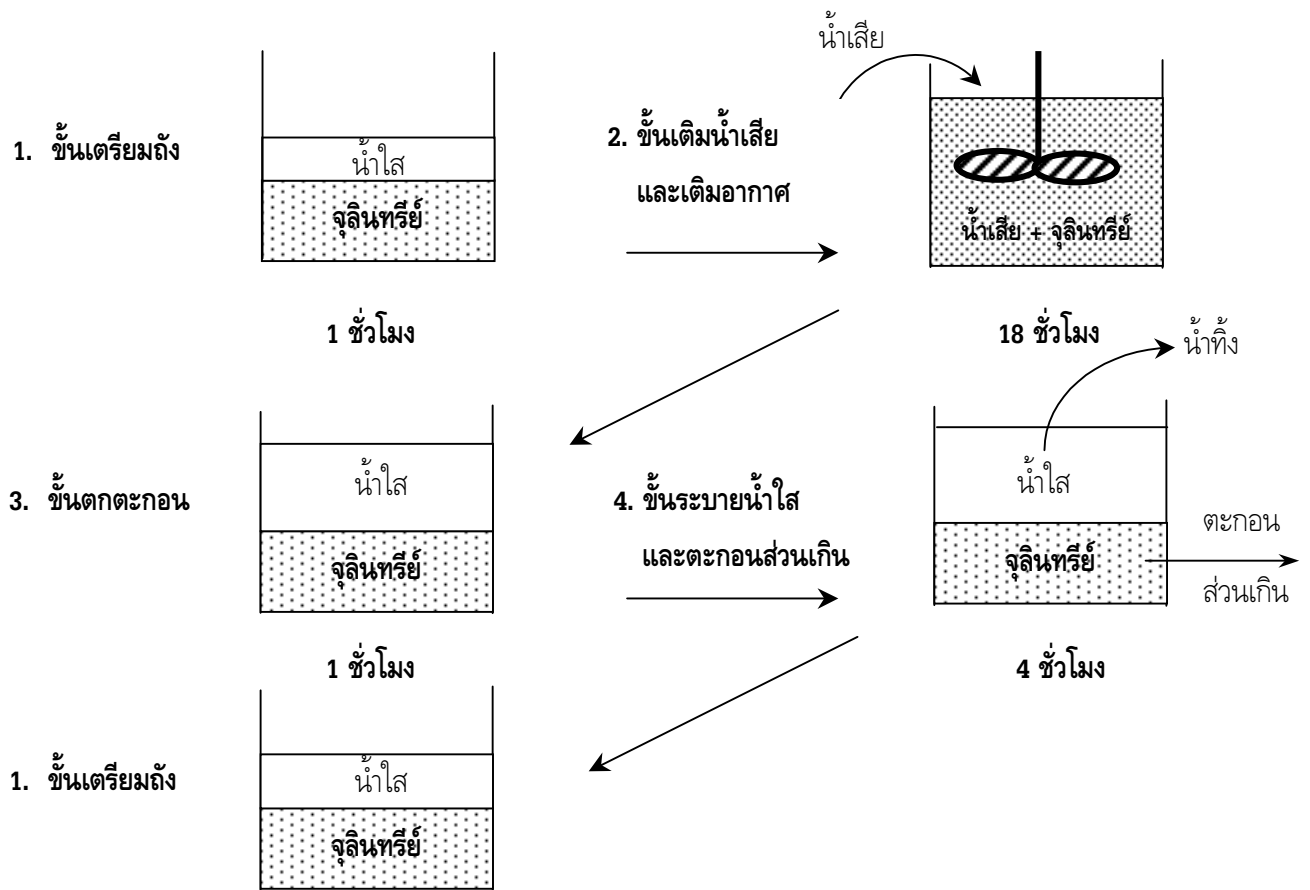
- Matt Kennedy ประธานของ Environmental Protection Technologies Corp. ในเมืองแอตแลนต้า รัฐจอร์เจีย ได้เขียนบทความให้ American Textiles International ในหัวข้อ การบำบัดน้ำเสีย : คำตอบที่ชัดเจน ซึ่งเป็นเรื่องเกี่ยวกับศักยภาพของเทคโนโลยีอิเล็กโตรเคมีคัลในการบำบัดสีน้ำเสีย สำหรับการนำกลับมาใช้ในวงจร โดยได้กล่าววาระบบสามารถใช้ได้อย่างกว้างขวาง โดยสามารถบำบัดน้ำเสียตั้งแต่ 1 แกลลอนต่อนาที จนถึงน้ำเสียที่มากกว่า 2,000 แกลลอนต่อนาที

- Kootatsep (1993) ได้ทดลองใช้วิธีไฟฟ้าเคมีในการกำจัดสีย้อมในน้ำเสีย โรงฟอกย้อมโดยสร้างแบบจำลองของถังปฏิกิริยาโคแอกทูเลชันด้วยไฟฟ้า ซึ่งประกอบไปด้วยแผ่นอิเล็กโตรดอยู่ในถังพลาสติกใส อิเล็กโตรดนี้ทำด้วยแผ่นเหล็ก สีย้อมจะถูกฟลอคที่เกิดจากเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์จับให้ตะกอน โดยไม่จำเป็นต้องใช้สารเคมีมาทำหน้าที่เป็นฟลอคคูลแลนท์และโคแอกทูเลนท์เอ็ด ตะกอนที่ได้จะมีตัวดีมากเนื่องจากเป็นตะกอนที่มีประจุ แต่มีข้อเสียคือ ก๊าซไฮโดรเจนที่ลอยตัวทำให้สีบางส่วนลอยขึ้นมา และพบว่าที่แผ่นอะโนดจะผุกร่อนเนื่องจากการปล่อยเฟอร์รัสไอออนและได้ต่างคือไฮดรอกไซด์จากน้ำเสีย ด้วยวิธีนี้สามารถกำจัดสีย้อมได้ประมาณ 60%

## การควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Sequencing Batch Reactor หรือ SBR

### 6.1 หลักการทำงานของระบบ Sequencing Batch Reactor ; SBR

ระบบ SBR เป็นระบบเลี้ยงตะกอน (Activated Sludge) ชนิดหนึ่งที่มีหน่วยเติมอากาศและหน่วยตกตะกอนเป็นหน่วยเดียวกัน โดยทำหน้าที่ของแต่ละหน่วยในแต่ละช่วงเวลากัน ขั้นตอนการทำงานของระบบ แสดงดังรูปที่ 6-1



รูปที่ 6-1 ขั้นตอนการทำงานของระบบ SBR

## 6.2 ขั้นตอนการเดินระบบบำบัดน้ำเสีย

จากรูปที่ 6-1 อธิบายการทำงานของแต่ละขั้นตอนได้ดังนี้

1) **ขั้นเตรียมถัง** เป็นการเตรียมความพร้อมของถังเพื่อใช้ทำหน้าที่เป็นถังเติมอากาศหรือถังปฏิกิริยากกล่าวคือ ภายในถังจะต้องมีจุลินทรีย์ (ตะกอนเชื้อ) ที่พร้อมจะย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่จะเข้าสู่ถังอย่างเพียงพอ รวมทั้งจะต้องมีเครื่องเติมอากาศที่พร้อมจะให้ออกซิเจนละลายน้ำและการกวนได้อย่างทั่วถึง นอกจากนี้ ปริมาตรที่เหลือภายในถังจะต้องเพียงพอที่จะรองรับน้ำเสียที่จะเข้าสู่ถังในแต่ละ Batch ด้วย

2) **ขั้นเติมน้ำเสียและเติมอากาศ** เป็นขั้นตอนที่จุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ปนอยู่ในน้ำเสีย โดยใช้ออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ (DO) ช่วยในการย่อยสลาย และอาศัยการกวนเพื่อให้จุลินทรีย์มีโอกาสสัมผัสกับสารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำได้อย่างทั่วถึง นอกจากนี้ระยะเวลาในช่วงการเติมอากาศ ต้องนานพอที่จะทำให้จุลินทรีย์ดูดซับสารอินทรีย์ได้ตามที่ต้องการ และจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นมีระดับขั้นการเติบโตที่สามารถรวมตัวกันเป็นกลุ่มตะกอน (Floc) ที่จะสามารถตกตะกอนได้ในขั้นตอนต่อไป

3) **ขั้นตกตะกอน** เป็นขั้นตอนที่ใช้แยกตะกอน (จุลินทรีย์) ออกจากส่วนที่เป็นน้ำ ซึ่งมีความปกติแล้ว โดยการหยุดเครื่องเติมอากาศเพื่อให้เกิดสภาพนิ่งและให้ตะกอนตกลงสู่ก้นถัง ส่วนประสิทธิภาพการตกตะกอน จะขึ้นอยู่กับลักษณะของกลุ่มตะกอน (Floc) ที่เกิดขึ้น ความนิ่งของน้ำในถังและระยะเวลาการตกตะกอน

4) **ขั้นระบายน้ำใสและตะกอนส่วนเกิน** เป็นขั้นตอนการระบายน้ำส่วนใสหรือน้ำที่มีคุณภาพดีแล้วซึ่งอยู่ด้านบนของชั้นตะกอน การระบายน้ำส่วนใสนี้จะใช้วิธีใดก็ได้ที่จะไม่ทำให้มีตะกอนฟุ้งและหลุดออกไปกับน้ำส่วนใส นอกจากนี้ระยะเวลาที่ใช้ในการระบายก็ไม่ควรจะนานเกินไป เพราะจะทำให้ระยะเวลาการหยุดเครื่องเติมอากาศจนทำให้ค่า DO ต่ำลงถึงศูนย์นานเกินไป ซึ่งจะเป็นผลเสียต่อจุลินทรีย์ในถังและหากในน้ำตะกอนมีสารไนเตรท ( $\text{NO}_3^-$ ) ปริมาณมากก็จะทำให้เกิดปฏิกิริยา Denitrification ในอัตราสูงจนเป็นสาเหตุของตะกอนลอยได้

สำหรับการระบายตะกอนส่วนเกินไปกำจัดนั้น ควรทำหลังจากการระบายน้ำส่วนใสเสร็จเรียบร้อยแล้ว ทั้งนี้เนื่องจากการระบายตะกอนอาจทำให้ตะกอนฟุ้ง ซึ่งหากมีการระบายน้ำส่วนใสในขณะนั้น อาจทำให้ตะกอนที่ฟุ้งหลุดออกไปกับน้ำส่วนใสด้วย ส่วนอัตราการกำจัดตะกอนส่วนเกิน ก็ใช้วิธีการควบคุมเช่นเดียวกับการควบคุมในระบบ Activated Sludge คือ จะระบายออก หรือจะเก็บกักไว้ให้สลายตัวไปเองเหมือน Extended aeration ก็ได้

## 6.3 การเริ่มเดินระบบบำบัดน้ำเสีย

การเริ่มเลี้ยงจุลินทรีย์ในระบบตะกอนเร่งค่อนข้างง่ายเมื่อเปรียบเทียบกับระบบอื่น เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้เริ่มต้นทำได้ง่ายเนื่องจากสามารถขอตะกอนจุลินทรีย์เข้มข้น (จากก้นถังตกตะกอนสุดท้าย) จากระบบตะกอนเร่งซึ่งมีอยู่ทั่วไปในประเทศโดยเฉพาะบริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑล

ปริมาณตะกอนเชื้อจุลินทรีย์ (seed) ที่จะนำมาใช้ ต้องมีปริมาณมากพอจนทำให้ระดับ MLSS ในถังเดิมอากาศมีค่าไม่ต่ำกว่า 1,000-2,000 มก./ล. ยกตัวอย่างเช่น ถ้าถังเดิมอากาศมีความจุ 500 ลบ.ม. และต้องการให้มี MLSS เริ่มต้น 2,000 มก./ล. จะต้องใช้ตะกอนจุลินทรีย์เข้มข้น 1% ปริมาณ 100 ลบ.ม. เป็นต้น ตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้เป็น Seed ควรมีความเข้มข้นมากที่สุดเท่าที่จะหาได้ทั้งนี้เพื่อลดภาระและค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ในทางปฏิบัติควรเริ่มเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์เพียงครั้งถึงก่อน (เพื่อลดปริมาณ Seed ที่ต้องใช้) และค่อย ๆ เพิ่มน้ำเสียจนเต็มถัง

หากใช้มูลสัตว์แห้ง ควรแยกกรวดทรายหรือสิ่งสกปรกออกให้หมดก่อน ปริมาณที่ใช้ก็สามารถคำนวณได้ด้วยวิธีเดียวกับกรณีที่เพิ่มกล่าวไป แต่ควรมี MLSS เริ่มต้นไม่น้อยกว่า 2000-4000 มก./ล.

Seed ที่ใช้ต้องผสมกับน้ำเปล่า (อาจเป็นน้ำคลอง น้ำแม่น้ำ น้ำประปา หรือน้ำหล่อเย็นของโรงงานก็ได้) เพื่อให้ได้ MLSS ในระดับดังกล่าว ถ้าใช้มูลสัตว์เป็น Seed ควรเติมมูลสัตว์ลงในถังเดิมอากาศเปล่าก่อนแล้วจึงเติมน้ำตามลงไป (วิธีการนี้ใช้กับระบบทุกประเภทที่ใช้มูลสัตว์แห้งเป็น Seed) แต่ถ้าเป็นตะกอนจุลินทรีย์เปียก จะเติมน้ำก่อนหรือหลังก็ได้ โดยปกติมักมีการเติมน้ำเปล่าเพื่อตรวจสอบสภาพของถังว่ามีการชำรุดหรือไม่ เมื่อตรวจสอบเสร็จและไม่พบอาการชำรุดเสียหาย ผู้ควบคุมอาจระบายน้ำทิ้งบางส่วน และใช้น้ำส่วนที่เหลือในผสมกับ Seed ที่เป็นตะกอนจุลินทรีย์เปียกก็ได้ เมื่อเตรียมเชื้อเริ่มต้นให้อยู่ในถังเรียบร้อยแล้ว ก็เปิดเครื่องเติมอากาศเพื่อให้ออกซิเจนและกวนให้เชื้อจุลินทรีย์แขวนลอยอยู่ในน้ำตลอดเวลา ทิ้งไว้ 2-3 วัน โดยยังไม่เติมน้ำเสีย

การเติมน้ำเสียให้กับถังเดิมอากาศควรเป็นไปอย่างช้า ๆ ขอแนะนำให้เริ่มต้นจากปริมาณน้ำเสีย 20% (ของทั้งหมด) ก่อนจากนั้นจึงเพิ่มทีละ 10% จนครบ 100% หากเป็นไปได้ควรเดินระบบแบบการไหลไม่ต่อเนื่อง (batch หรือเทลงไปครั้งเดียว) ก่อนให้หนานที่สุดเท่าที่จะควบคุมได้ ถ้าเครื่องเติมอากาศเป็นแบบฟองอากาศหรือเป็นแเอเรเตอร์แบบผิวน้ำที่มีฟุ่นลอย จะสะดวกในการควบคุมการบำบัดน้ำเสียให้เป็นแบบการไหลไม่ต่อเนื่อง

การเพิ่มปริมาณน้ำเสียในแต่ละชั้นอาจใช้เวลา 2 - 3 วัน หรือนานถึงสัปดาห์ก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความพร้อมของจุลินทรีย์ซึ่งต้องมีปริมาณมากพอเพียงและต้องเป็นจุลินทรีย์แข็งแรงสมบูรณ์ด้วย ความพร้อมของระบบในการรับน้ำเสียเพิ่มอาจพิจารณาได้จากปัจจัยต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- 1) ค่า F/M ของระบบไม่ควรเกิน 0.05-0.1 (F วัดในรูปของซีโอดี) ตลอดเวลา
- 2) ระดับพีเอชของระบบต้องเป็นกลางและไม่ลดลงในระหว่างการบำบัดน้ำเสียช่วงแรกนี้
- 3) เมื่อทำการทดสอบการตกตะกอนในกระบอกตวงขนาด 1000 มล. ตะกอนจุลินทรีย์ต้องตกตะกอนได้รวดเร็วและให้น้ำใส ระยะแรก  $V_{30}$  (ปริมาตรตะกอนจุลินทรีย์ที่ตกตะกอนภายใน 30 นาที) อาจต่ำกว่า 100 มล./ลิตร แต่มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ การเติมน้ำเสียจะทำให้  $V_{30}$  เพิ่มขึ้นด้วย เมื่อระบบได้น้ำเสียเต็มที่แล้ว  $V_{30}$  ควรอยู่ในช่วง 200-600 มล./ล.
- 4) สภาพทั่วไปของถังเดิมอากาศต้องเป็นปกติ ไม่มีฟองมากผิดปกติ น้ำตะกอนจุลินทรีย์เป็นสีน้ำตาลเข้มแต่ไม่ดำ และต้องไม่เหม็น

เมื่อใดที่ระบบอาการผิดไปจากลักษณะทั้ง 4 ข้อข้างต้น มักจะแสดงว่าระบบมีปริมาณจุลินทรีย์น้อยเกินไป และไม่สามารถบำบัดน้ำเสียได้ทัน จะต้องหยุดเติมน้ำเสียจนกว่าระบบจะพร้อม บางครั้งอาจต้องพักระบบเป็นเวลาหลาย ๆ วัน หรืออาจต้องหยุดเติมน้ำเสียหรือลดปริมาณน้ำเสียทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่าอาการของระบบจะมีความรุนแรงเพียงใด

ในระหว่างที่อยู่ในช่วงเริ่มเดินระบบและยังได้รับน้ำเสียไม่เต็มที่ ไม่จำเป็นต้องมีการระบายตะกอนจุลินทรีย์ทิ้ง และการเติมอากาศต้องทำตลอด 24 ชม.

ขั้นตอนโดยย่อในการเริ่มเดินระบบมีดังนี้

- 1) เติมน้ำเปล่าให้เต็มถังเติมอากาศและทดสอบเดินระบบ เพื่อตรวจสอบความเรียบร้อยของเครื่องเติมอากาศ (ยังไม่เติมน้ำเสีย)
- 2) ระบายน้ำออกให้เหลือ ครึ่งถัง
- 3) เติม Seed จากตะกอนจุลินทรีย์ระบบบำบัดน้ำเสียปริมาณ 5-20% ของความจุน้ำถังเติมอากาศ หรือถ้าใช้ปริมาณมูลสัตว์ประมาณ 2-10 กก./ลบ.ม. ถังเติมอากาศ
- 4) เติมน้ำเสียให้กับบ่อเติมอากาศ ตามกำหนดเวลาดังนี้

ลำดับวัน	อัตราการเติมน้ำเสีย (% ของน้ำเสียทั้งหมด)
1	20%
2	ไม่เติม
3	ไม่เติม
4	20
5	25
6	30
7	35
8	40
9	45
10	50
11	55
12	60
13	65
14	70
15	75



ลำดับวัน	อัตราการเติมน้ำเสีย (% ของน้ำเสียทั้งหมด)
16	80
17	85
18	90
19	95
20	100

5) ในกรณีของน้ำเสียโรงงานฟอกย้อม มีอัตราส่วน BOD : N : P น้อยกว่า 100 : 5 : 1 จำเป็นต้องเติมปุ๋ยไนโตรเจนและฟอสฟอรัสลงในน้ำเสีย

## 6.4 การควบคุมการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสีย

### 6.4.1 การควบคุมการป้อนน้ำเสีย

การป้อนน้ำเสียเข้าถังเติมอากาศในขั้นเติมน้ำเสียและเติมอากาศ จะต้องป้อนในอัตราที่เหมาะสม และมีอัตราส่วนระหว่างช่วงเวลาป้อนน้ำเสียต่อช่วงเวลาเติมอากาศที่เหมาะสมด้วย ทั้งนี้เนื่องจากอัตราส่วนดังกล่าว มีผลต่อประสิทธิภาพการตกตะกอน ถ้าสั้นเกินไปน้ำทิ้งสุดท้ายจะขุ่น ถ้านานเกินไปจะเสียเวลาเติมอากาศ หรือทำให้ตะกอนลอยเนื่องจาก denitrification มากเกินไป

### 6.4.2 การควบคุมการเติมอากาศ

การเติมอากาศควรเริ่มพร้อมกับการป้อนน้ำเสีย เครื่องเติมอากาศที่ใช้จะต้องให้ค่าออกซิเจน และการกวนได้อย่างเพียงพอปกติแล้ว SBR ต้องใช้เครื่องเติมอากาศโตกว่า AS เพราะต้องชดเชยเวลาหยุดตกตะกอน ระยะเวลาการเติมอากาศจะต้องนานพอสำหรับการบำบัดน้ำเสีย

### 6.4.3 การควบคุมสถานะที่เหมาะสมอื่น ๆ ในขณะที่เติมอากาศ

ในช่วงการเติมอากาศนี้เป็นช่วงที่เกิดปฏิกิริยาการบำบัดน้ำเสีย โดยใช้แบคทีเรียชนิดใช้ออกซิเจน ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสีย ซึ่งการที่แบคทีเรียจะสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น จะต้องควบคุมสถานะในถังเติมอากาศให้เหมาะต่อการเจริญของแบคทีเรียด้วย เช่น ให้มีอาหารเสริม (Nutrient) ที่เพียงพอ มีค่าพีเอชที่เหมาะสม ตัวระบบเติมอากาศจะต้องเป็นชนิดไม่อุดตันง่าย เพราะการหยุด-เดินเป็นระยะ การเติมอากาศด้วยหัวกระจายอากาศ (Diffuser) จะมีปัญหาในส่วนนี้ ถ้าไม่ออกแบบป้องกันไว้ก่อน

#### 6.4.4 การควบคุมการตกตะกอนและระบายน้ำส่วนใส

ระยะเวลาที่เหมาะสมในการหยุดเครื่องเติมอากาศเพื่อตกตะกอนและระบายน้ำส่วนใส ควรใช้เวลานั้นเท่าที่ต้องการเท่านั้น จะมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพการตกตะกอน ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ก่อนหยุดเครื่องเติมอากาศ และอัตราการระบายน้ำส่วนใส โดยหากประสิทธิภาพการตกตะกอนดีและมีอัตราการระบายน้ำส่วนใสสูง ก็จะทำให้ระยะเวลาการหยุดเครื่องเติมอากาศสั้นลง ในทางตรงกันข้าม หากประสิทธิภาพการตกตะกอนไม่ดีก็จะทำให้ระยะเวลาการตกตะกอนนานขึ้น จึงจำเป็นที่จะต้องลดระยะเวลาการระบายน้ำส่วนใสให้สั้นลง เพื่อจะได้ไม่ต้องหยุดเครื่องเติมอากาศนานเกินไป เนื่องจาก หากช่วงก่อนหยุดเครื่องเติมอากาศมีค่าออกซิเจนละลายน้ำต่ำ อาจทำให้เกิดปัญหาตะกอนลอยจากปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันได้

นอกจากนี้ในช่วงการตกตะกอนและระบายน้ำส่วนใสจะต้องควบคุมให้น้ำมีสภาพนิ่งมากที่สุด เพื่อให้การตกตะกอนเป็นไปอย่างรวดเร็ว และป้องกันไม่ให้ตะกอนฟุ้งกระจายหลุดออกไปกับน้ำส่วนใส การควบคุมอัตราไหลผ่านช่องระบายออก (Decanting Rate) มีความสำคัญในส่วนนี้

#### 6.4.5 การควบคุมการสูบน้ำตะกอนไปกำจัด

การควบคุมอัตราการสูบน้ำตะกอนส่วนเกินไปกำจัด มีหลักการคล้ายคลึงกับระบบเลี้ยงตะกอนโดยทั่วไป ซึ่งอาจใช้วิธีการควบคุมแบบใดแบบหนึ่งดังต่อไปนี้

- (1) ควบคุมค่าอายุตะกอน (Sludge Age)
- (2) ควบคุมค่าอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของมลสารอินทรีย์ (Food) ต่อน้ำหนักจุลินทรีย์ (Mass) หรือค่า F/M Ratio
- (3) ควบคุมค่าความสูงของชั้นตะกอนในขั้นการตกตะกอน
- (4) ควบคุมค่า MLSS

สำหรับปริมาณตะกอนที่ต้องกำจัดนั้นจะมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับปริมาณสารอินทรีย์รวมที่เข้าระบบ หรือ ค่า BOD Loading และขนาดของถังเติมอากาศที่ใช้ ส่วนการสูบน้ำตะกอนไปกำจัดควรสูบน้ำในช่วงที่ทำการตกตะกอนเพื่อให้ตะกอนที่จะนำไปกำจัดมีค่าความเข้มข้นสูง ๆ เป็นการลดปริมาณตะกอนที่จะนำไปกำจัดและเพิ่มประสิทธิภาพระบบบำบัดตะกอนด้วย การที่ถัง SBR มีขนาดใหญ่ และเครื่องเติมอากาศใหญ่ ทำให้การเดินระบบ SBR เป็น Extended Aeration ได้สะดวก จึงมีตะกอนส่วนเกินน้อยหรือไม่มีเลยก็ได้ในหลายกรณี

## 6.5 การตรวจสอบสภาพการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสีย

### 6.5.1 การตรวจสอบภาคสนาม

#### 6.5.1.1 การตรวจสอบสภาพทางกายภาพโดยการสังเกตในระบบ

- (1) สภาพในบ่อเติมอากาศขณะเติมอากาศ (Aerate)  
น้ำตะกอนในบ่อ ไม่ควรมีกลิ่นเหม็นเน่า อาจมีฟองบ้างเล็กน้อย การกวนทั่วถึง และไม่มีตะกอนลอย
- (2) สภาพในบ่อเติมอากาศขณะหยุดเติมอากาศ  
เนื่องจากการหยุดเครื่องเติมอากาศมีวัตถุประสงค์เพื่อตกตะกอนและระบายน้ำส่วนใส ดังนั้นในขั้นตอนนี้จะต้องมีการตกของตะกอนอย่างรวดเร็ว และน้ำส่วนบนจะต้องใส รวมทั้งจะต้องมีตะกอนลอยน้อยมากหรือไม่มีเลย

#### 6.5.1.2 การตรวจสอบโดยใช้เครื่องมืออย่างง่าย

- (1) การตรวจสอบค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ในขณะเติมอากาศ  
ตรวจสอบโดยใช้เครื่องวัดค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO meter) ซึ่งค่า DO สูงสุดแล้ว เช่น 7 mg/l เมื่อใดก็ควรจะหยุดเติมอากาศ เพื่อประหยัดพลังงาน
- (2) การตรวจสอบค่าพีเอช (pH)  
ตรวจสอบโดยใช้เครื่องวัดค่าพีเอชหรือ pH meter หรือใช้กระดาษวัดค่าพีเอช (pH paper) ซึ่งค่า pH ควรอยู่ในช่วงที่เป็นกลาง (6-8) การเกิด  $\text{NO}_3$  อาจทำให้ pH ต่ำจนจุลินทรีย์หยุดทำงาน จึงต้องหยุดเติมอากาศเสียก่อน
- (3) การตรวจสอบประสิทธิภาพการตกตะกอน  
เนื่องจากการตรวจสอบประสิทธิภาพการตกตะกอนจากการสังเกตสภาพทางกายภาพขณะตกตะกอนอาจสังเกตได้ไม่ชัดเจน ทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์สภาพการทำงานของระบบได้ทั้งหมด ดังนั้นจึงควรนำน้ำตะกอน ขณะเปิดเครื่องเติมอากาศในช่วงก่อนการหยุดเครื่องเติมอากาศมาทดลองตกตะกอนในภาชนะโปร่งใส เช่น กรวยอิมฮอฟฟ์ (Imhoff Cone) กระบอกตวงหรือบีกเกอร์ ที่มีขนาดความจุ 1,000 ml. โดยใส่น้ำตะกอนให้มีปริมาตร 1,000 ml. แล้วปล่อยให้ตกตะกอน เพื่อสังเกตลักษณะการตกตะกอนและลักษณะน้ำส่วนบน เพื่อนำไปใช้ในการกำหนดเวลาตกตะกอน
- (4) การตรวจสอบสภาพทางชีวภาพ  
โดยการนำน้ำตะกอนจากระบบขณะเติมอากาศในช่วงสุดท้าย (ก่อนหยุดเครื่องเติมอากาศ) มาส่องดูลักษณะและปริมาณของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในระบบด้วยกล้องจุลทรรศน์ เช่น ปริมาณจุลินทรีย์ชนิดเส้นใย และโปรโตซัวกลุ่มต่าง ๆ เป็นต้น

### 6.5.2 การตรวจสอบในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์

เป็นการเก็บตัวอย่างน้ำส่งวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในการควบคุมระบบ เช่นเดียวกับ AS

- วิเคราะห์คุณภาพน้ำก่อนและหลังการบำบัด เพื่อประเมินประสิทธิภาพการบำบัด
- วิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของน้ำตะกอน เพื่อใช้ในการคำนวณและกำหนดอัตราการกำจัดตะกอนส่วนเกินหรือใช้คำนวณหาค่า F/M ในระบบ
- วิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียก่อนการบำบัดเพื่อกำหนดอัตราการป้อนน้ำเสียเข้าระบบ

## 6.6 ปัญหาที่มักพบในการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย SBR

### 6.6.1 ตะกอนเบาและน้ำทิ้งขุ่น

#### ปัญหา

ขณะหยุดเครื่องเติมอากาศเพื่อตกตะกอนเกิดตะกอนเบา ๆ ลอยเป็นชั้นขึ้นมาเป็นแห่ง ๆ และหลุดออกไปกับน้ำทิ้งขณะระบายน้ำทิ้ง เมื่อตักน้ำตะกอนขณะเติมอากาศช่วงสุดท้ายมาทดสอบการตกตะกอน พบว่าตะกอนตกได้ช้า น้ำส่วนบนขุ่นมีตะกอนเล็ก ๆ ลอยค้างอยู่

#### สาเหตุ

มีปริมาณสารอินทรีย์เข้ามาในระบบมากเกินไปที่ระบบจะรับได้ ซึ่งอาจจะเนื่องจากมีปริมาณจุลินทรีย์น้อย (มีความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่ำ) ทำให้มีอายุของตะกอนต่ำ และตะกอนมีความหนาแน่นน้อย

#### วิธีตรวจสอบและแก้ไข

วิเคราะห์และตรวจสอบค่าอายุของตะกอน (Sludge age) ปริมาณอาหารต่อปริมาณจุลินทรีย์ (F/M ratio) ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO) หากพบว่าค่าอายุของตะกอนมีค่าต่ำหรือปริมาณจุลินทรีย์มีค่าต่ำเกินไปให้แก้ไขโดยการลดปริมาณของตะกอนจุลินทรีย์ที่นำไปทิ้งลง ซึ่งจะเป็นผลทำให้ค่าความเข้มข้นของตะกอนในระบบสูงขึ้น ทั้งนี้ต้องรักษาค่าความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำขณะเติมอากาศไม่ให้ต่ำกว่า 1-2 มก./ล. ตลอดทั้งป่อ

### 6.6.2 ตะกอนจมไม่ลง

#### ปัญหา

ขณะหยุดเครื่องเติมอากาศ มีตะกอนลอยขึ้นมาคล้ายลูกคลื่นหรือเป็นชั้นตลอดทั่วทั้งป่อ เมื่อนำน้ำตะกอนขณะเติมอากาศช่วงสุดท้ายมาทดสอบการตกตะกอนพบว่าตะกอนตกได้น้อยและตะกอนไม่รวมตัวกันแน่น แต่น้ำส่วนบนใส (เรียกว่าเกิดบัลคิง, sludge bulking)

**สาเหตุ** เกิดจากในระบบมีจุลินทรีย์ชนิดเส้นใยปริมาณมาก ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจาก

- 1) น้ำเสียขาดอาหารเสริมที่จำเป็นอันดับแรกคือ ฟอสฟอรัส (P) ต่อมาก็คือ ไนโตรเจน (N)
- 2) เติมน้ำเติมอากาศไม่เพียงพอกับความต้องการของจุลินทรีย์แอโรบิก

- 3) มีค่า pH ในระบบต่ำกว่าความเป็นกลาง (7)
- 4) มีอัตราส่วนระหว่างปริมาณอาหารต่อปริมาณจุลินทรีย์สูงเกินไป

### วิธีตรวจสอบและแก้ไข

1) ตรวจสอบตะกอนด้วยกล้องจุลทรรศน์  
หากพบฟองใจ (fungi) ชนิดเส้นใยมองไม่เห็น cell wall (filamentous mycylia) ให้ตรวจสอบหาจุดที่ปล่อยน้ำเสียที่มีฟองใจชนิดนี้ หรือจุดปล่อยน้ำเสียที่มีค่า pH ต่ำ

หากพบแบคทีเรียชนิดเส้นใย (filamentous bacteria) การแก้ไขระยะยาวจะต้องปรับสภาพของสิ่งแวดล้อมในระบบให้เหมาะสมกับแบคทีเรียชนิดจับตัวเป็นกลุ่ม (floc former bacteria) จนสามารถเจริญแข่งกับแบคทีเรียชนิดเส้นใยได้ เช่น ปรับค่า pH ให้มีค่าใกล้เคียง 7 ควบคุมการเติมออกซิเจนให้เพียงพอ

ส่วนการแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้าสามารถทำได้โดยการใส่สารเคมีบางอย่าง เช่น คลอรีน หรือไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ลงไปเพื่อฆ่าแบคทีเรียชนิดเส้นใย เนื่องจากแบคทีเรียชนิดเส้นใยมีพื้นที่ผิวรอบตัวสูงกว่าแบคทีเรียชนิดจับตัวเป็นกลุ่ม จึงทำให้ได้รับสารพิษเอาไว้มากกว่าและตายก่อน

2) วิเคราะห์ค่าความเข้มข้นของอาหารเสริม (nutrients) ที่จำเป็นต่อการเจริญของจุลินทรีย์ ซึ่งได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และเหล็ก (แขวนแผ่นเหล็กอ่อนไว้ในถังเติมอากาศ)

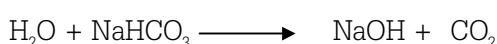
โดยทั่วไปหากมีปริมาณบีโอดี 100 ส่วน (มก./ล.) จะต้องมีไนโตรเจน 5 ส่วน (มก./ล.) ฟอสฟอรัส 1 ส่วน (มก./ล.) และเหล็ก 0.5 ส่วน (มก./ล.) ถ้าหากอัตราส่วนของอาหารเสริมดังกล่าวไม่เพียงพอจะต้องเติมสารเคมีลงไป เช่น ใช้ไนโตรเจนในรูปของยูเรีย หรือแอมโมเนียมไนเตรตแอมโมเนีย ใช้ฟอสฟอรัสในรูปของไตรโซเดียมฟอสเฟตหรือกรดฟอสฟอริก และเหล็กในรูปของ เพอริคคลอไรด์

อย่างไรก็ตาม การเติมสารเคมีมากเกินไปนอกจากจะทำให้สิ้นเปลืองแล้ว ยังจะก่อให้เกิดปัญหาในด้านการควบคุมการทำงานด้วย เช่น หากใส่ไนโตรเจนมากเกินไปจะทำให้เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันในขณะเติมอากาศ และเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันในขณะตกตะกอน เป็นต้น

หลังจากเติมอาหารเสริมให้ถูกส่วนแล้วให้ตรวจสอบการตกตะกอนว่าดีขึ้นหรือไม่

3) วัดความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายในน้ำในขณะเติมอากาศที่ระยะและความลึกต่าง ๆ ตลอดทั้งบ่อโดยจะต้องมีค่าใกล้เคียงกันตลอดทั้งบ่อ ถ้ามีค่าต่ำกว่าต้องการต้องปรับปรุงระบบเติมอากาศให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นหรือเพิ่มกำลัง

4) ตรวจสอบค่า pH ของน้ำเสียที่เข้าระบบ ถ้าพบว่ามีค่าต่ำ ก็จะต้องแก้ไขที่ต้นเหตุหรือปรับค่า pH ของน้ำเสียที่จะเข้าระบบด้วยผงฟู (Sodium bicarbonate) สารละลายโซดาไฟ (caustic soda) ไม่ควรใช้ปูนขาวเพราะจะตกตะกอนเป็นหินปูน



### 6.6.3 เกิดตะกอนลอยจากปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน

#### ปัญหา

ขณะหยุดเครื่องเติมอากาศเพื่อตกตะกอน มีตะกอนลอยขึ้นมาเป็นก้อนขนาดเล็กถึงขนาดใหญ่ เมื่อขึ้นมาถึงผิวน้ำอาจจะแตกกระจายออกเป็นแผ่น มองเห็นฟองก๊าซลอยขึ้นมากับตะกอน ผลการทดสอบการตกตะกอนพบว่าตะกอนตกได้ดี น้ำส่วนบนใส แต่ถ้าทิ้งเอาไว้ต่อไปสักระยะหนึ่ง จะมีชั้นของตะกอน หรือตะกอนทั้งหมดลอยขึ้นมาที่ผิวน้ำ (เรียกว่าเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน, denitrification)

#### สาเหตุ

เกิดจากมีจุลินทรีย์ชนิดที่เปลี่ยน แอมโมเนียไนโตรเจน มาเป็นไนเตรต (เรียกว่าเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน) ในขณะเติมอากาศ (ซึ่งนี้จะต้องมีอายุของตะกอนมากกว่า 5 วัน และมีค่าออกซิเจนละลายน้ำเกิน 1 มก./ล.) เมื่อหยุดเครื่องเติมอากาศเพื่อตกตะกอนจะทำให้ปริมาณออกซิเจนลดลง จุลินทรีย์บางพวกก็จะนำออกซิเจนจากไนเตรตออกมาใช้ และปล่อยก๊าซไนโตรเจนออกไปในน้ำ ทำให้ก๊าซไปเกาะกับตะกอนจุลินทรีย์ลอยขึ้นสู่ผิวน้ำ (เรียกว่าเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน)

#### วิธีตรวจสอบและแก้ไข

- วิเคราะห์ค่าไนเตรตในน้ำ Filtrate ของน้ำตะกอนขณะเติมอากาศ วัดค่าออกซิเจนละลายน้ำ ตรวจสอบค่าอายุของตะกอน
- ถ้าพบว่า ค่าอายุตะกอนสูงเกินไปให้เพิ่มปริมาณการนำตะกอนไปทิ้งวันละ 10% จนกว่าระบบจะดีขึ้นและ/หรือ ควบคุมปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในขณะเติมอากาศให้มีค่า 0.5-1.0 มก./ล. ซึ่งจะทำให้ไนตริฟายอิงแบคทีเรีย (Nitrifying bacterias) ไม่สามารถเจริญเติบโตได้
- อาจใช้วิธีหยุดเครื่องเติมอากาศเป็นช่วง ๆ เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน เป็นการลดการเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวในช่วงตกตะกอนระบายน้ำใส

### 6.6.4 น้ำทิ้งขุ่น

#### ปัญหา

ขณะหยุดเครื่องเติมอากาศเพื่อตกตะกอน มีตะกอนแขวนลอยขนาดเล็กในน้ำส่วนบนและหลุดออกมากับน้ำทิ้งที่ระบายออก จากการตรวจสอบการตกตะกอน พบว่า ตะกอนตกได้ไม่ดีแต่ยังมีการแบ่งชั้นชัดเจนและน้ำส่วนบนไม่ใส

#### สาเหตุ

- 1) ค่าความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระบบต่ำ ทำให้ค่า F/M Ratio สูง
- 2) มีการเพิ่มปริมาณสารอินทรีย์เข้าระบบอย่างรวดเร็ว ทำให้ค่า F/M Ratio สูงอย่างรวดเร็ว (Shock load)

### วิธีตรวจสอบและแก้ไข

- 1) วิเคราะห์ค่า MLSS หากมีค่าน้อยเกินไปให้ลดการสูบตะกอนไปทิ้ง  
ตรวจสอบค่าสารอินทรีย์เข้าระบบว่าเพิ่มขึ้นหรือไม่ หากเพิ่มขึ้นจะต้องเพิ่มปริมาณ  
จุลินทรีย์ในระบบและจะต้องตรวจสอบปริมาณออกซิเจนละลายน้ำและควบคุมให้อยู่ในช่วง 1-2 มก./ล.
- 2) ตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ หากไม่พบโปรโตซัว (protozoa) แสดงว่าอาจเกิดจาก  
การเพิ่มปริมาณสารอินทรีย์เข้าระบบอย่างรวดเร็ว
- 3) ตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ หากพบว่า โปรโตซัวมีลักษณะไม่แข็งแรง ไม่ค่อย  
เคลื่อนไหว แสดงว่าอาจจะเกิดจากมีสารเป็นพิษเข้ามาในระบบ จะต้องตรวจสอบและแก้ไขจุดปล่อยสารพิษ

### 6.6.5 ตะกอนเล็กแขวนลอยอยู่ในน้ำใส

#### ปัญหา

ขณะหยุดเครื่องเติมอากาศเพื่อตกตะกอน มีตะกอนขนาดเล็กเท่าหัวเข็มหมุดแขวนลอยในน้ำ  
ส่วนใสและอาจจะรวมตัวกันเป็นชั้นที่ผิวน้ำแล้วหลุดออกไปกับน้ำทิ้ง จากการทดสอบการตกตะกอนพบว่าตะกอนตก  
ได้ดีและชั้นตะกอนมีความหนาแน่น แต่น้ำส่วนบนมีอนุภาคของตะกอนขนาดเล็กแขวนลอยอยู่

#### สาเหตุ

มีสารอินทรีย์ซึ่งเป็นอาหารของจุลินทรีย์เข้าในระบบน้อยเกินไป (underloaded) หรือมีปริมาณ  
ตะกอนจุลินทรีย์ในระบบมากเกินไป

#### วิธีตรวจสอบและแก้ไข

ให้ตรวจสอบดูว่าในระบบมีค่า MLSS หรือมีค่าอายุตะกอนเพิ่มขึ้นหรือไม่ หรือมีการลดค่า  
สารอินทรีย์ที่เข้าระบบหรือไม่ หากตรวจสอบพบว่าการเปลี่ยนแปลงค่าเหล่านี้ ให้เพิ่มปริมาณการนำตะกอนไปทิ้ง  
วันละ 10% จนกว่าระบบจะสามารถทำงานได้ดี

ตรวจสอบดูว่ามีฟองเกิดขึ้นในขณะเติมอากาศมากหรือไม่ เพราะหากระบบมีสภาวะดังกล่าว  
ข้างต้นมักจะเกิดฟองสีน้ำตาลปริมาณมาก

### 6.6.6 มีตะกอนขนาดเล็กคล้ายขี้เถ้าลอยอยู่บนผิวน้ำ

#### ปัญหา

ขณะหยุดเครื่องเติมอากาศเพื่อตกตะกอนมีอนุภาคขนาดเล็กคล้ายขี้เถ้าลอยอยู่บนผิวน้ำ และ  
หลุดออกไปกับน้ำทิ้ง

#### สาเหตุ

- 1) เริ่มเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน
- 2) มีปริมาณไขมันเข้ามาในระบบมากเกินไป

**วิธีตรวจสอบและแก้ไข**

- 1) ทดสอบการตกตะกอน 30 นาที แล้วกวนขึ้นตะกอนเพื่อดูว่ามีฟองก๊าซเกิดขึ้นหรือไม่ ถ้ามีฟองก๊าซแสดงว่าเกิดปฏิกิริยาดีในตรีฟิเคชันให้ทำการแก้ไขตามหัวข้อ 5.3
- 2) ตรวจสอบความเข้มข้นของไขมันในน้ำเสีย หากมีค่าสูงให้ทำการแยกออกก่อนที่จะส่งเข้า

ระบบ



## มาตรฐานน้ำทิ้งที่เหมาะสมสำหรับโรงงานฟอกย้อม

มาตรฐานน้ำทิ้งที่เสนอแนะสำหรับน้ำทิ้งที่ออกจากโรงงานฟอกย้อมนั้น ได้พิจารณาจากข้อมูลแหล่งต่าง ๆ ร่วมกัน ซึ่งได้แก่

- มาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม
- มาตรฐานน้ำทิ้งที่ระบายออกจากแหล่งกำเนิดของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์และสิ่งแวดล้อม
- มาตรฐานน้ำทิ้งของกรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
- ความสามารถในการบำบัดน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมในปัจจุบัน

สำหรับดัชนีวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมที่สำคัญได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง บีโอดี ซีโอดี ของแข็งแขวนลอย และปริมาณสีในน้ำทิ้ง

### 7.1 มาตรฐานน้ำทิ้งของหน่วยงานต่าง ๆ

มาตรฐานน้ำทิ้งปัจจุบันที่ควบคุมคุณภาพน้ำทิ้งของโรงงานฟอกย้อมก่อนที่ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะจาก กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ และกรมเจ้าท่า สรุปได้ดังตารางที่ 7-1 สำหรับมาตรฐานน้ำทิ้งของประเทศต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 7-2

**ตารางที่ 7-1** มาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานฟอกย้อม ลำดับที่ 22(1), 22(2) และ 22(3) ก่อนที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ  
สาธารณะ

ดัชนีวิเคราะห์	มาตรฐานน้ำทิ้ง			
	กรมโรงงานอุตสาหกรรม <sup>1</sup>	กรมควบคุมมลพิษ <sup>2</sup>	กรมชลประทาน <sup>3</sup>	กรมเจ้าท่า <sup>4</sup>
พีเอช	5.5 - 9.0	5.5 - 9.0	6.5-8.5	5-9
บีโอดี (มก./ล.)	> 60	> 60	> 20	> 20-60
ซีโอดี (มก./ล.)	> 400	> 400	-	-
ของแข็งแขวนลอย (มก./ล.)	> 50	> 50	> 30	-
ทีเคเอ็น (มก./ล.)	> 100	> 100	-	-
ไขมัน และน้ำมัน (มก./ล.)	> 5	> 5	> 5	-
ปริมาณสี	ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ	ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ	ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ	-

**หมายเหตุ :** ที่มา “1” ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 เรื่องกำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน และประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม เรื่องกำหนดคุณลักษณะน้ำทิ้งที่ระบายออกนอกโรงงาน ให้มีค่าแตกต่างจากที่กำหนดไว้ในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539)

“2” ประกาศคณะกรรมการควบคุมมลพิษ วันที่ 20 สิงหาคม 2539 และประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ ฉบับที่ 3 (2539) เรื่องกำหนดมาตรฐานการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

“3” มาตรการป้องกันและแก้ไขการระบายน้ำที่มีคุณภาพต่ำลงทางน้ำชลประทานและทางน้ำที่ต่อเชื่อมกับทางน้ำชลประทานในเขตพื้นที่โครงการชลประทาน

“4” กรมเจ้าท่า ม.119 เรื่องห้ามระบายของเสีย ขยะมูลฝอยลงแหล่งน้ำที่เกิดขวางการเดินเรือและทำลายสิ่งแวดล้อม

## 7.2 ความสามารถในการบำบัดน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมในปัจจุบัน

ปัจจุบันโรงงานฟอกย้อมมีกฎหมายควบคุมให้มีระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อทำการปรับปรุงคุณภาพน้ำก่อนที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ จากผลการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะสรุปได้ดังตารางที่ 7-3 ถึง 7-6

**ตารางที่ 7-2** มาตรฐานน้ำทิ้งของประเทศไทยต่าง ๆ

ดัชนีวิเคราะห์	หน่วย	มาตรฐานน้ำทิ้งจากต่างประเทศ						
		เกาหลี	ญี่ปุ่น	เยอรมัน	อินเดีย	สิงคโปร์		
						1	2	3
บีโอดี	(มก./ล.)	> 50-100	> 160 (เฉลี่ยต่อวัน > 120)	> 30 <sup>ก</sup>	> 20	> 400	> 50	> 20
ซีโอดี	(มก./ล.)	> 80-100	> 160 (เฉลี่ยต่อวัน > 120)	> 200 <sup>ก</sup>	> 20	> 600	> 100	> 60
ของแข็งแขวนลอย	(มก./ล.)	> 80-100	> 200 (เฉลี่ยต่อวัน > 150)	> 40 <sup>ก</sup>	> 30	> 400	> 50	> 30
ทีเคเอ็น	(มก./ล.)	✗ <sup>ไม่</sup> ได้กำหนด	✗ <sup>ไม่</sup> ได้กำหนด	✗ <sup>ไม่</sup> ได้กำหนด	✗ <sup>ไม่</sup> ได้กำหนด	✗ <sup>ไม่</sup> ได้กำหนด	✗ <sup>ไม่</sup> ได้กำหนด	✗ <sup>ไม่</sup> ได้กำหนด
ไขมันและน้ำมัน	(มก./ล.)	✗ <sup>ไม่</sup> ได้กำหนด	✗ <sup>ไม่</sup> ได้กำหนด	✗ <sup>ไม่</sup> ได้กำหนด	> 5	> 60	> 10	> 5
ปริมาณเกลือ		✗ <sup>ไม่</sup> ได้กำหนด	✗ <sup>ไม่</sup> ได้กำหนด	✗ <sup>ไม่</sup> ได้กำหนด	✗ <sup>ไม่</sup> ได้กำหนด	✗ <sup>ไม่</sup> ได้กำหนด	✗ <sup>ไม่</sup> ได้กำหนด	✗ <sup>ไม่</sup> ได้กำหนด

**หมายเหตุ :**

- ก = ค่าเฉลี่ยตลอดปี
- ข = กำหนดไนโตรเจน > 120 มก./ล. (เฉลี่ยต่อวัน > 60 มก./ล.)
- ค = เก็บตัวอย่างแบบผสม 24 ชม.
- ง = เก็บตัวอย่างแบบจ้วงตัก
- จ = กำหนดเฉพาะแอมโมเนีย-ไนโตรเจน > 10 มก./ล.
- ฉ = กำหนดแอมโมเนีย-ไนโตรเจน > 10 มก./ล. และไนเตรท-ไนโตรเจน > 10 มก./ล.
- ช = กำหนดเฉพาะไนเตรท-ไนโตรเจน > 20 มก./ล.
- 1 = Sewer    2 = Wastewater    3 = Controlled Wastewater

**ตารางที่ 7-3** จำนวนโรงงานฟอกย้อมจำแนกตามค่า BOD ก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ

ค่า BOD ก่อนปล่อยลงแหล่งน้ำ (มก./ล.)	จำนวนโรงงาน	คิดเป็นร้อยละ (%)	ร้อยละสะสม (%)
น้อยกว่า 10	28	28.0	28.0
11 - 20	32	32.0	60.0
21 - 30	10	10.0	70.0
31 - 40	5	5.0	75.0
41 - 50	7	7.0	82.0
51 - 60	1	1.0	83.0
มากกว่า 60	10	10.0	93.0
กำลังปรับปรุงระบบ	7	7.0	100.0

**ตารางที่ 7-4** จำนวนโรงงานฟอกย้อมจำแนกตามค่า COD ก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ

ค่า COD ก่อนปล่อยลงแหล่งน้ำ (มก./ล.)	จำนวนโรงงาน	คิดเป็นร้อยละ (%)	ร้อยละสะสม (%)
น้อยกว่า 50	6	6.0	6.0
51 - 100	15	15.0	21.0
101 - 150	19	19.0	40.0
151 - 200	11	11.0	51.0
201 - 250	11	11.0	62.0
251 - 300	13	13.0	75.0
301 - 350	4	4.0	79.0
351 - 400	6	6.0	85.0
มากกว่า 400	8	8.0	93.0
กำลังปรับปรุงระบบ	7	7.0	100.0

ตารางที่ 7-5 จำนวนโรงงานฟอกย้อมจำแนกตามค่า SS ก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ

ค่า SS ก่อนปล่อยลงแหล่งน้ำ (มก./ล.)	จำนวนโรงงาน	คิดเป็นร้อยละ (%)	ร้อยละสะสม (%)
น้อยกว่า 10	8	8.0	8.0
11 - 20	19	19.0	27.0
21 - 30	22	22.0	49.0
31 - 40	18	18.0	67.0
41 - 50	10	10.0	77.0
มากกว่า 50	16	16.00	93.0
กำลังปรับปรุงระบบ	7	7.0	100.0

ตารางที่ 7-6 จำนวนโรงงานฟอกย้อมจำแนกตามปริมาณสีที่ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ

ปริมาณสีก่อนปล่อยลงแหล่งน้ำ สาธารณะ (PtCo หน่วย)	จำนวนโรงงาน	คิดเป็นร้อยละ (%)	ร้อยละสะสม (%)
น้อยกว่า 100	21	21.0	21.0
101 - 200	30	30.0	51.0
201 - 300	24	24.0	75.0
301 - 400	10	10.0	85.0
401 - 500	4	4.0	89.0
มากกว่า 500	4	4.0	93.0
กำลังปรับปรุงระบบ	7	7.0	100.0

### 7.3 มาตรฐานน้ำทิ้งที่เสนอแนะ

ข้อเสนอเกี่ยวกับมาตรฐานน้ำทิ้งสำหรับลักษณะสมบัติน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อม ลำดับที่ 22(1), 22(2) และ 22(3) แสดงดังตารางที่ 7-7 ใช้กับน้ำทิ้งของโรงงานก่อนที่ระบายลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ตัวอย่างน้ำทิ้งที่จะเก็บมาวิเคราะห์ให้เก็บ ณ จุดที่ออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย

**ตารางที่ 7-7** มาตรฐานน้ำทิ้งที่เสนอแนะสำหรับโรงงานฟอกย้อม ลำดับที่ 22(1) 22(2) และ 22(3) ที่ระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ

ดัชนีวิเคราะห์	มาตรฐานน้ำทิ้งที่เสนอแนะ	มาตรฐานน้ำทิ้งปัจจุบัน
บีโอดี (BOD) มก./ล.	> 40	> 60
ซีโอดี (COD) มก./ล.	> 300	> 400
ของแข็งแขวนลอย (SS) มก./ล.	> 50	> 50
พีเอช (pH)	6.5-9.0	6.5-9.0
ปริมาณสี (PtCo)	ยังไม่ควรกำหนด	ยังไม่ควรกำหนด

จากตารางที่ 7-7 จะเห็นได้ว่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่เสนอแนะมีค่าแตกต่างจากมาตรฐานน้ำทิ้งปัจจุบันของกรมโรงงานอุตสาหกรรมที่ค่า BOD และ COD โดยเหตุผลในการเสนอแนะมาตรฐานน้ำทิ้งดังกล่าวได้แสดงรายละเอียดในหัวข้อ 7.4

### 7.4 เหตุผลในการเสนอแนะมาตรฐานน้ำทิ้งสำหรับโรงงานฟอกย้อม

ในการเสนอแนะมาตรฐานน้ำทิ้งของโรงงานฟอกย้อม ได้นำเสนอผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติน้ำทิ้งที่เป็นจริงของโรงงานต่าง ๆ มาพิจารณาร่วมด้วย (ตารางที่ 7-3 ถึง 7-6) และค่าที่เสนอจำเป็นต้องมีช่วงปลอดภัย เมื่อมีการผลิตสูงสุด นอกจากนี้ยังพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีวิเคราะห์ต่าง ๆ ร่วมด้วย

#### 7.4.1 บีโอดี (BOD)

จากข้อมูลผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อม จำนวน 100 แห่ง พบว่า มีโรงงานจำนวน 75 แห่ง ที่สามารถบำบัดน้ำทิ้งได้ไม่เกิน 40 มก./ล. และเมื่อพิจารณาน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมก่อนที่จะเข้าระบบบำบัด (ตารางที่ 3-3) จะเห็นว่า น้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมด้ายและผ้ามีค่า BOD ไม่ถึง 200 มก./ล. และน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมผ้าทอมีค่า BOD ประมาณ 550 มก./ล. ค่าน้ำทิ้งดังกล่าวไม่ถือว่าสูงมากนักยกเว้นฟิลล์

ที่สามารถบำบัดด้วยระบบเติมอากาศให้อยู่ในช่วงไม่เกิน 20 มก./ล. ได้ แต่ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานต่าง ๆ ที่สำรวจสามารถบำบัด BOD ได้ไม่เกิน 20 มก./ล. มีจำนวน 60 โรงงาน

ดังนั้น จึงกำหนดค่า BOD ของน้ำทิ้งมีค่าไม่เกิน 40 มก./ล.

#### 7.4.2 ซีโอดี (COD)

จากผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติน้ำทิ้งของโรงงานฟอกย้อม พบว่า 75% ของโรงงานที่สำรวจมีค่า COD ไม่เกิน 300 มก./ล. และอัตราส่วนระหว่าง BOD : COD หลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสียมีค่าประมาณ 1 : 7 เมื่อกำหนดค่า BOD ก่อนปล่อยทิ้งลงแหล่งน้ำสาธารณะไม่เกิน 40 มก./ล. เพราะฉะนั้นค่า COD จะมีค่าโดยประมาณเท่ากับ 280 มก./ล.

ดังนั้น จึงกำหนดให้ค่า COD ของน้ำทิ้งไม่เกิน 300 มก./ล.

#### 7.4.3 ของแข็งแขวนลอย

จากข้อมูลผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อม จำนวน 100 แห่ง พบว่า มีโรงงานจำนวน 77 แห่ง ที่สามารถบำบัดน้ำทิ้งได้ตามเกณฑ์ที่กำหนดค่าของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 50 มก./ล.

ดังนั้นจึงกำหนดค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำทิ้งมีค่าไม่เกิน 50 มก./ล.

#### 7.4.4 พีเอช

ลักษณะสมบัติน้ำทิ้งของโรงงานฟอกย้อมจากการสำรวจหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแล้วมีค่า pH อยู่ในช่วง 2.2 ถึง 10.2 ซึ่งค่า pH ที่สูงเกินไปหรือต่ำเกินไปมีผลในการกัดกร่อนและเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ เพราะฉะนั้นค่า pH ที่กำหนดควรจะเป็นค่าที่ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ

ดังนั้น จึงกำหนดค่า pH ของน้ำทิ้งให้อยู่ในช่วง 5.5 ถึง 9.0

#### 7.4.5 ปริมาณสี

ปัจจุบันกรมโรงงานอุตสาหกรรมและกรมควบคุมมลพิษยังไม่ได้กำหนดมาตรฐานสีในน้ำทิ้ง โดยระบุเพียงว่าน้ำทิ้งต้องไม่มีสีเป็นที่พึงรังเกียจ เมื่อเปรียบเทียบกับต่างประเทศที่มีความเข้มงวดเรื่องการรักษาสิ่งแวดล้อม เช่น เยอรมัน ญี่ปุ่น และสิงคโปร์แล้วก็พบว่าต่างก็ยังไม่มีความเข้มงวดในน้ำทิ้งเช่นเดียวกัน สาเหตุที่สีในน้ำทิ้งไม่เป็นที่เข้มงวดในต่างประเทศนั้นเนื่องมาจากสีย้อมเป็นสารเคมีที่มีความเป็นพิษต่ำ และจากประวัติที่มีการรวบรวมไว้ไม่พบว่ามียุทธการตาย หรือเจ็บป่วยของผู้ที่ทำงานเกี่ยวข้องกับสีย้อมสูงกว่าบุคคลในอาชีพอื่น การศึกษาในครั้งนี้ได้ศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสีในน้ำทิ้งกับความเข้มข้นของ BOD ซึ่งพบว่าปริมาณสีในน้ำทิ้งซึ่งผ่านการบำบัดแล้วไม่มีความสัมพันธ์กับค่าความเข้มข้นของ BOD ดังนั้น หากมีการกำหนดมาตรฐานสีในน้ำทิ้งขึ้นมาในขณะนี้ โรงงานที่สามารถบำบัดค่า BOD ให้ได้ตามมาตรฐานอาจไม่สามารถบำบัดสีให้ได้ตามมาตรฐาน

จำเป็นจะต้องมีการปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียโดยมีการเพิ่มเติมกระบวนการซึ่งสามารถกำจัดสีให้ลดน้อยลง การปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อให้สามารถบำบัดสีให้ได้ตามมาตรฐานดังกล่าวข้างต้นจะมีผลต่อค่าใช้จ่ายในการลงทุนก่อสร้างและค่าใช้จ่ายในการดำเนินการอันเป็นการเพิ่มต้นทุนของสินค้าให้สูงขึ้น ในภาวะที่โรงงานอุตสาหกรรมยังต้องประสบปัญหาการแข่งขันในตลาดโลกเพื่อให้ธุรกิจสามารถดำเนินต่อไปได้และในประเทศต่างเองก็ยิ่งเห็นว่าไม่มีความจำเป็นในขณะนี้ที่จะกำหนดมาตรฐานสีในน้ำทิ้ง ประเทศไทยจึงยังไม่ควรมีการกำหนดมาตรฐานสีในน้ำทิ้งขึ้นเพราะอาจทำให้เกิดความเสียหายในการดำเนินธุรกิจในต่างประเทศมากยิ่งขึ้น ควรคงไว้ซึ่งมาตรฐานสีตามที่ได้ระบุไว้เดิมคือไม่เป็นที่พึงรังเกียจ



## การบริหารจัดการปัญหาสิ่งแวดล้อม สำหรับโรงงานฟอกย้อม

การจัดการสิ่งแวดล้อมของโรงงานฟอกย้อมตามข้อเสนอแนะต่าง ๆ ที่ได้กล่าวแล้วนั้น จะประสบผลสำเร็จตามวัตถุประสงค์ได้ หากผู้ประกอบการให้ความร่วมมืออย่างใกล้ชิดกับเจ้าหน้าที่ของรัฐที่กำกับดูแลในการติดตามและควบคุมกระบวนการผลิตและระบบบำบัดน้ำเสีย

### 8.1 การควบคุมการผลิต

เจ้าหน้าที่ที่ควบคุมกระบวนการผลิตจะต้องมีความเข้าใจในกระบวนการผลิตทั้งหมดและความสัมพันธ์ของแต่ละขั้นตอนการผลิต เพื่อที่จะสามารถดำเนินการผลิตตามวิธีการกำหนดอย่างมีประสิทธิภาพ ในขณะที่เดียวกันผู้บริหารของโรงงานควรมีการติดตามตรวจสอบในเรื่องต่อไปนี้เป็นพิเศษคือ

- 1) การติดตาม ความสม่ำเสมอ ของการผลิตและการปรับปรุงการผลิต ได้แก่
  - การพัฒนากระบวนการผลิต
  - การเพิ่มประสิทธิภาพ และทักษะของเจ้าหน้าที่ฝ่ายผลิต
  - การปรับปรุงระบบติดตามและควบคุม
  - การตรวจสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ในการผลิต
- 2) การระมัดระวังเกี่ยวกับเหตุการณ์ผิดปกติในการผลิต ได้แก่
  - การติดตั้งสัญญาณเตือนภัยเมื่อมีเหตุการณ์ผิดปกติ
  - การฝึกเจ้าหน้าที่เตรียมรับสถานการณ์ต่าง ๆ
- 3) การทำสมดุลการใช้น้ำของโรงงาน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ
  - ตรวจสอบอุปกรณ์เครื่องจักรต่าง ๆ ที่มีผลให้ประสิทธิภาพการผลิตลดลงหรือมีปริมาณการใช้น้ำเพิ่มขึ้น
- 4) การจัดทำแผนการลดปริมาณการใช้น้ำในกระบวนการผลิตและลดการย้อมซ้ำ

อย่างไรก็ตาม การป้องกันและควบคุมมลภาวะในกระบวนการผลิตจะประสบผลสำเร็จต้องมีการบันทึกการทำงานต่าง ๆ ในกระบวนการผลิตและติดตามประสิทธิภาพของระบบอย่างต่อเนื่องดังนี้

- ประสิทธิภาพการผลิต ในรูปของผลผลิตที่ได้ต่อปริมาณวัตถุดิบ และเปอร์เซ็นต์การย้อมซ้ำ
- ปริมาณการใช้น้ำต่อผ้าที่ผ่านการฟอกย้อม
- ปริมาณและลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัด

- ลักษณะการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสีย
- ลักษณะสมบัติของน้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัดแล้ว

## 8.2 การติดตามและควบคุมมลภาวะจากโรงงานฟอกย้อมโดยเจ้าหน้าที่ของรัฐ

เจ้าหน้าที่ของรัฐที่ควบคุมในเรื่องการจัดการสิ่งแวดล้อมในโรงงานฟอกย้อมต้องมีความรู้ความเข้าใจเทคโนโลยีของกระบวนการผลิต ระบบบำบัดน้ำเสียและการจัดการด้านสิ่งแวดล้อมของโรงงานฟอกย้อมเป็นอย่างดี เพื่อที่จะได้สามารถให้คำแนะนำแก่ผู้ประกอบการได้เมื่อกระบวนการผลิตมีปัญหาหรือระบบบำบัดน้ำเสียผิดปกติ

ในการติดตามและควบคุมให้ผู้ประกอบการปฏิบัติตามแนวทางการจัดการสิ่งแวดล้อมสำหรับโรงงานฟอกย้อม โดยเฉพาะในด้านการจัดการของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตทั้งในรูปของแข็งและของเหลว เจ้าหน้าที่ของรัฐควรทำรายละเอียดของกิจกรรมที่จะต้องติดตามและควบคุมสำหรับแต่ละโรงงาน ซึ่งอย่างน้อยประกอบไปด้วย

- สภาพการทำงานโดยทั่วไปของโรงงาน
- กระบวนการผลิตที่ใช้
- วิธีการป้องกันและควบคุมมลภาวะในกระบวนการผลิต
- เปลี่ยนใช้สารเคมีที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมน้อยลงได้หรือไม่
- ของเสียอะไรบ้างที่ถูกระบายออกจากการผลิต
- ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย
- ข้อมูลเกี่ยวกับความถี่และสถานะการเก็บตัวอย่าง และผลการวิเคราะห์

เจ้าหน้าที่ของรัฐต้องมีการเก็บตัวอย่างจากโรงงานมาวิเคราะห์ 3-4 ครั้งต่อปี ขึ้นกับความน่าเชื่อถือในการดำเนินการของโรงงาน โดยมีพารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัด ได้แก่ ค่าความสกปรกในรูปบีโอดี (BOD) ค่าซีโอดี (COD) ค่าพีเอช (pH) ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) และอุณหภูมิ