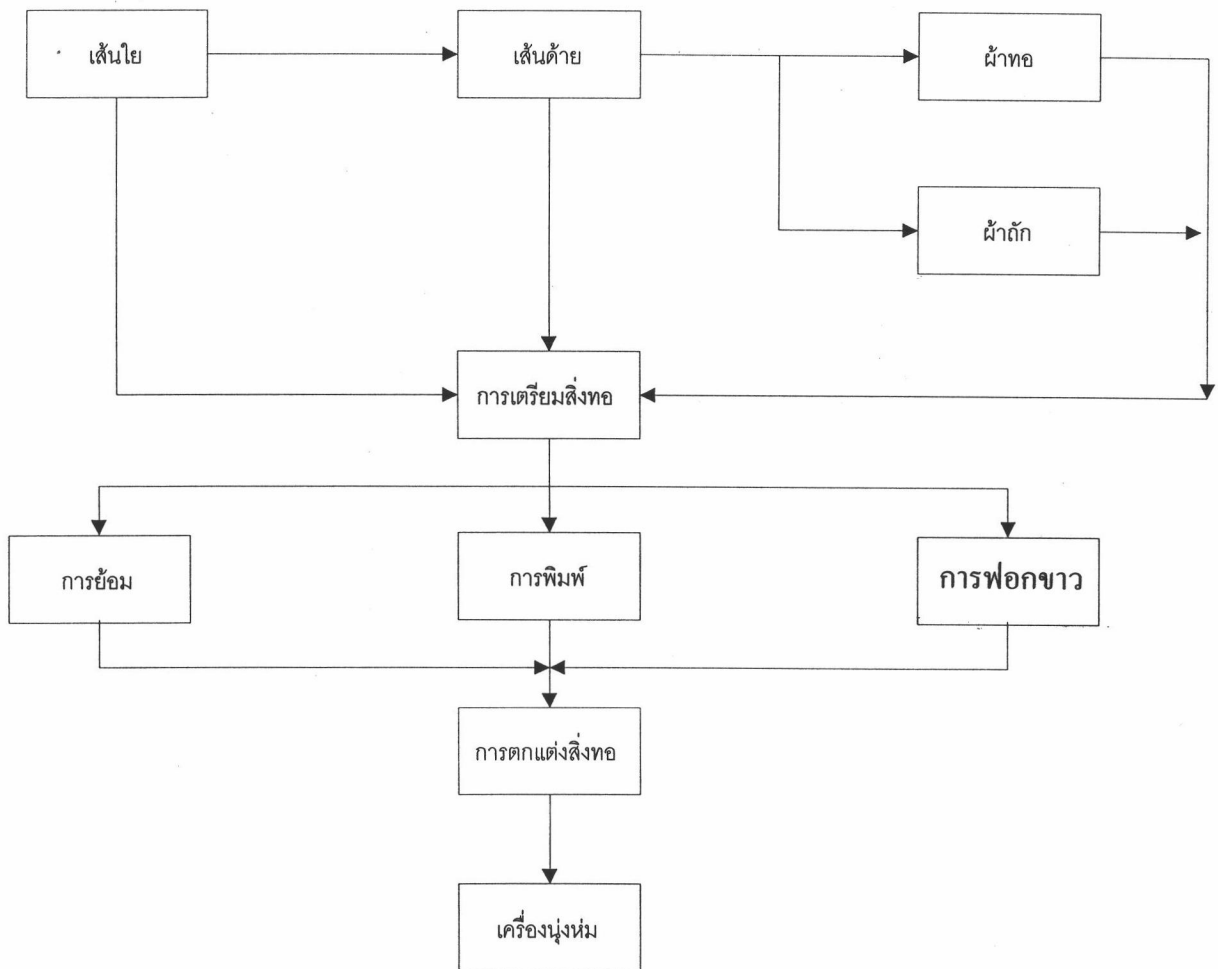


บทที่ 2

ทบทวนเอกสาร

2.1 กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมสิ่งทอ

กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมสิ่งทอประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆมากมาย ตั้งแต่การผลิตเส้นใยถึงเครื่องนุ่งห่ม ขั้นตอนการผลิตที่สำคัญพอสรุปได้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 กระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยสังเขป

(เกษม พิพัฒน์ปัญญาคุณ, 2537)

อุตสาหกรรมสิ่งทอเริ่มจากการผลิตเส้นใยแล้วนำมาปั่นเป็นเส้นด้าย นำมาทำเป็นผ้าผืน โดยการทอหรือถัก จากนั้นต้องนำผ้าผืนหรือเส้นด้ายมาเตรียมซึ่งก็คือการทำความสะอาดผ้าหรือเส้นด้ายนั้นเองให้สมบัติเหมาะสมต่อการนำไปย้อม พิมพ์ หรือทำให้ขาว เมื่อเรียบร้อยแล้วจึงนำมาตกแต่งด้วยสารเคมีหรือโดยทางกลเพื่อให้เนื้อผ้ามีผิวสัมผัสหรือสมบัติต่างๆตามความต้องการของลูกค้า ซึ่งจะได้ผ้าสำเร็จรูปพร้อมที่จะนำไปทำเครื่องนุ่งห่มหรือเครื่องใช้อื่นๆ ต่อไป (เกษม พิพัฒน์ปัญญาคุณ, 2537)

ก่อนที่จะกล่าวถึงรายละเอียดของกระบวนการย้อมจำเป็นจะต้องทราบถึงลักษณะต่างๆของผ้าหรือเส้นด้ายก่อนที่จะนำมาย้อม ในที่นี้จะอธิบายอย่างคร่าวๆ ดังนี้

2.1.1 เส้นใย (fiber)

เส้นใยที่ใช้ในอุตสาหกรรมมีอยู่หลายชนิด (เกษม พิพัฒน์ปัญญาคุณ, 2537) แบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ คือ

1. เส้นใยธรรมชาติ (natural fiber) ประกอบด้วย
 - เส้นใยจากพืช ได้แก่ ฝ้าย ป่าน ปอ ลินิน เป็นต้น
 - เส้นใยจากสัตว์ ได้แก่ ไหม ขนแกะ เป็นต้น
2. เส้นใยประดิษฐ์ (man-made fiber) ประกอบด้วย
 - เส้นใยกึ่งสังเคราะห์ (regenerate) ได้แก่ เรยอน
 - เส้นใยสังเคราะห์ (synthetic) ได้แก่ โพลีเอสเตอร์ ไนลอน อะคริลิก เป็นต้น

การแบ่งประเภทของเส้นใยตามการดูดซับน้ำ (Buckley, 1992)

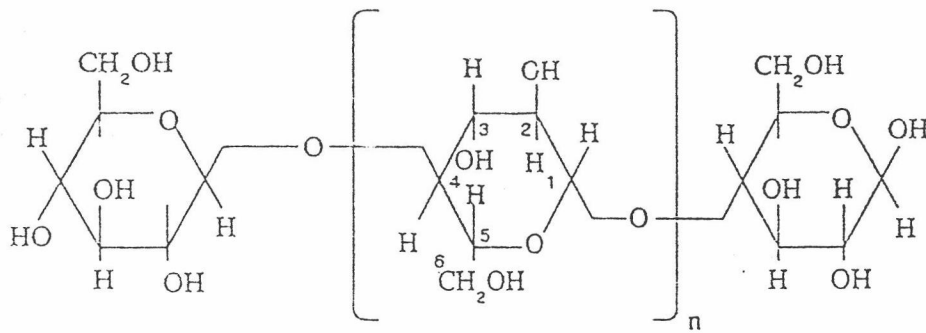
1. เส้นใยชนิดชอบน้ำ (hydrophilic fiber) ได้แก่ เส้นใยธรรมชาติและเส้นใยกึ่งสังเคราะห์
2. เส้นใยไม่ชอบน้ำ (hydrophobic fiber) ได้แก่ เส้นใยสังเคราะห์

โครงสร้างทางเคมีของเส้นใยพืชเป็นเซลลูโลส โครงสร้างทางเคมีของเส้นใยสัตว์เป็นโปรตีน ส่วนโครงสร้างทางเคมีของเส้นใยประดิษฐ์มีมากมาย เช่น เซลลูโลส โพลีเอสเตอร์ โพลีอะไมด์ เป็นต้น ในที่นี้จะขอกล่าวเฉพาะลักษณะของเส้นใยฝ้าย เนื่องจากเป็นเส้นใยที่มีบทบาทและความสำคัญของสิ่งทอ เมื่อทอเป็นผืนผ้าแล้วมีขั้นตอนการเตรียมผ้ายุ่งยากกว่าผ้าชนิดอื่นๆ

2.1.2 เส้นใยฝ้าย (cotton fibres)

ใยฝ้ายเป็นเส้นใยธรรมชาติ มีส่วนประกอบที่เป็นโครงสร้างหลักคือเซลลูโลสซึ่งเป็นโมเลกุลลูกโซ่ยาว ประกอบด้วยหน่วยกลูโคสต่อกันตรงตำแหน่งคาร์บอน ตัวที่ 1 และ 4 (1-4 linkage) สูตรโครงสร้างของเซลลูโลสเป็นดังรูปที่ 2.2

องค์ประกอบของเส้นใยฝ้ายนอกจากเซลลูโลสแล้ว ยังมีองค์ประกอบอื่นๆอีก เช่น โปรตีน เถ้า ขี้ผึ้ง น้ำตาล สารสี(pigment) และอื่นๆ ซึ่งมีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับเซลลูโลส



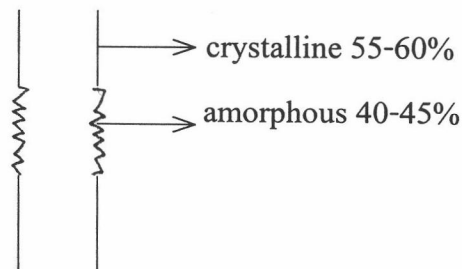
รูปที่ 2.2 โครงสร้างของเส้นใยฝ้าย
(เกษม พิพัฒน์ปัญญาคุณ, 2537)

การจัดเรียงตัวของโมเลกุลของเส้นใย

การจัดเรียงตัวของ โมเลกุลจะมี 2 ส่วน (เกษม พิพัฒน์ปัญญาคุณ, 2537) คือ

1. โมเลกุลที่มีการจัดเรียงตัวเป็นระเบียบ เรียกว่า crystalline region
2. โมเลกุลที่มีการจัดเรียงตัวไม่เป็นระเบียบ เรียกว่า non - crystalline region (หรือ

amorphous region) รูปที่ 2.3 แสดงสัดส่วนการจัดเรียงตัวของโมเลกุลของเส้นใย



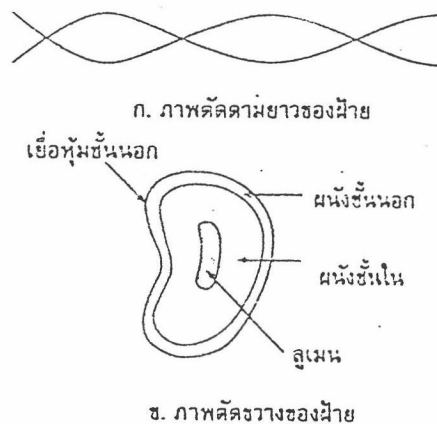
รูปที่ 2.3 โมเลกุลของเส้นใยฝ้าย
(เกษม พิพัฒน์ปัญญาคุณ, 2537)

โครงสร้างทางกายภาพของเส้นใยเซลลูโลสเป็นใยเซลล์เดี่ยวลักษณะเซลล์บิดตัว ความยาวเส้นใยตั้งแต่ 1/2 - 2 นิ้ว ถ้าตรวจดูด้วยกล้องจุลทรรศน์พบว่าประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

1. เยื่อหุ้มชั้นนอก (cuticle) ประกอบด้วยขี้ผึ้ง เพปติน และแร่ธาตุอื่นๆ
2. ผนังเซลล์ แบ่งเป็น ผนังชั้นนอก (primary wall) และผนังชั้นใน (secondary wall) มีใยเรียงตัวกันเป็นวงแหวนล้อมรอบลูเมนซึ่งอยู่ตรงกลาง วงแหวนนี้แสดงอายุของเส้นใยฝ้าย เส้นใยฝ้ายที่แก่จะมีผนังชั้นในหนา
3. ช่องว่างภายในเซลล์ เรียก ลูเมน (lumen) เป็นส่วนในสุดของเส้นใย มีลักษณะเป็นโพรง ใยฝ้ายสดจะมีน้ำอยู่ภายใน แต่ถ้าใยแห้งน้ำในลูเมนจะระเหยออกเหลือเป็นโพรงอากาศ

รูปร่างของฝ้ายแสดงดังรูปที่ 2.4 ใยฝ้ายจะเจริญเติบโตทางด้านยาวก่อนแล้วจึงค่อยๆขยายตามด้านกว้าง มีรูปทรงกรวย โคนใหญ่ ปลายเรียวแหลมเล็กลง ลักษณะของเส้นใยจะบิดพันกันเหมือนริบบิ้นมากน้อยแล้วแต่พันธุ์ฝ้ายและความแก่ของเส้นใย (เกษม พิพัฒน์ปัญญาคุณ,2537)

ส่วนโครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลสส่วนใหญ่เป็นคาร์บอน ออกซิเจน และไฮโดรเจน การจัดเรียงตัวของธาตุเหล่านี้มีผลต่อความแข็งแรง การยืดตัว การดูดซึม ความหนาแน่น และอื่นๆ



รูปที่ 2.4 ภาพตัดขวางของเส้นใยฝ้าย
(เกษม พิพัฒน์ปัญญาคุณ,2537)

2.1.3 กรรมวิธีการผลิตเส้นด้าย

กรรมวิธีการผลิตเส้นด้ายเป็นการทำเส้นใยให้เป็นเส้นด้าย โดยผ่านขั้นตอนการผลิตที่ประกอบด้วยเครื่องจักรต่างๆ ตามลำดับ ซึ่ง เกษม พิพัฒน์ปัญญาคุณ, 2537 ได้แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

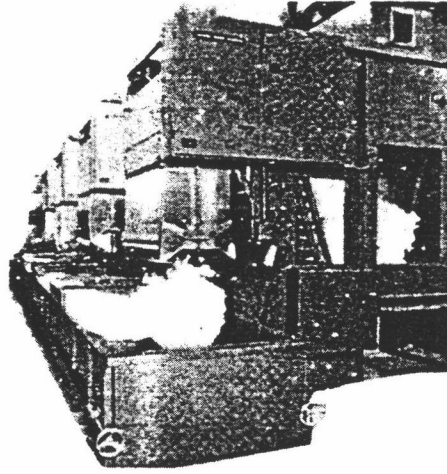
1. ระบบการปั่นด้ายจากเส้นใยสั้น เช่น ฝ้าย (Cotton system)
2. ระบบการปั่นด้ายจากเส้นใยยาว เช่น ใยขนสัตว์ (Woolen and Worated system)

เกษม พิพัฒน์ปัญญาคุณ, 2537 กล่าวว่า “ การผลิตด้ายจากเส้นใยประดิษฐ์กระทำได้โดยทั้ง 2 ระบบนี้ ขึ้นอยู่กับขนาดความยาวของเส้นใยที่ผลิตขึ้นว่าเป็นชนิดใยสั้นหรือใยยาว ด้ายที่ปั่นจะเป็นได้ทั้งชนิดใยธรรมชาติหรือใยประดิษฐ์ 100% และเป็นด้ายใยผสมระหว่างใยธรรมชาติกับใยประดิษฐ์ ขั้นตอนการผลิตเส้นด้ายเป็นดังนี้

1. การผสมและทำความสะอาดเส้นใย(blowing)

ก่อนอื่นต้องนำเบลฝ้ายที่อัดแน่นมาเปิดออก ฝ้ายชนิดต่างๆจากหลายๆเบลที่มีสมบัติใกล้เคียงกันจะถูกป้อนเข้าไปในเครื่องจักรตามอัตราส่วนผสมที่ต้องการ เครื่องจักรจะรวมเป็นชุดเรียงต่อเนื่องกันตลอดเรียกว่าห้องผสมเส้นใย(blowroom) ซึ่งประกอบด้วยเครื่องป้อนและผสมเส้นใย (blending feeders) เครื่องแยกและทำความสะอาดเส้นใย(opening & cleaning machines) และเครื่องทำแผ่นม้วนเส้นใย(picking machines) ซึ่งเป็นเครื่องสุดท้ายที่ทำการแยกแยะเส้นใยให้เป็นก้อนเล็กกลงมาๆ และรวบรวมเป็นแผ่นม้วน(lap)ให้มีขนาดน้ำหนักตามต้องการและเหมาะสมกับการผลิตขั้นต่อไป เครื่องต่างๆในห้องผสมเส้นใยนี้จะมีหลักการที่คล้ายคลึงกัน คือ ประกอบด้วยตัวตีเส้นใยที่มีรูปร่างเป็นทรงกระบอกและมีหนามยื่นออกมาใหญ่เล็กตามชนิด หมุนด้วยความเร็วสูง ตีเส้นใยที่อัดกันอยู่ให้แยกออกจากกันเป็นก้อนเล็กกลงและสิ่งสกปรกต่างๆหลุดออกไป (ดูรูปที่ 2.5)

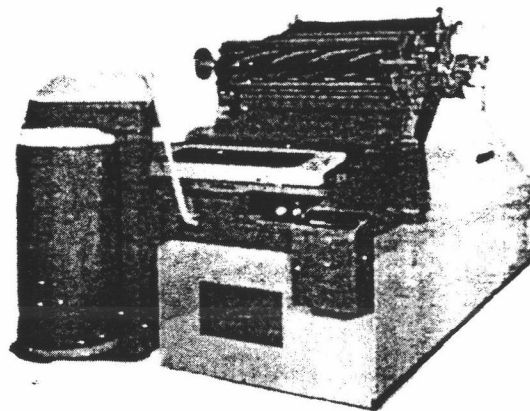
สำหรับการปั่นด้ายจากเส้นใยสังเคราะห์ เช่น โพลีเอสเตอร์นั้นจะใช้เครื่องจักรเช่นเดียวกัน แต่ข้อแตกต่างก็คือมีจำนวนเครื่องน้อยกว่า เพราะเส้นใยสังเคราะห์สะอาดดีแล้วจึงเพียงแค่แยกแยะเส้นใยเท่านั้น



รูปที่ 2.5 เครื่องผสมเส้นใย
(เกษม พิพัฒน์ปัญญาคุณ,2537)

2. การสาวใย (carding)

หลังจากเส้นใย (ฝ้ายหรือสังเคราะห์) ได้ผ่านห้องผสมและทำเป็นแผ่นม้วนแล้วเส้นใยยังมีสิ่งสกปรกติดอยู่ ดังนั้นจึงต้องมีการแยกแยะกลุ่มเส้นใยนี้ให้ออกจากกันโดยอิสระ ทำให้สิ่งสกปรกและสิ่งแปลกปลอมหลุดออกไป ทั้งเป็นการช่วยขจัดเส้นใยสั้นๆด้วย และทำการรวบรวมเส้นใยที่สะอาดแล้วนี้ให้เป็นเส้นใยยาวตลอดเรียกว่า สไลเวอร์(sliver) ที่มีขนาดและรูปร่างเหมาะสมกับการผลิตขั้นต่อไป รูปที่ 2.6 สำหรับเส้นด้ายคุณภาพดีจะผ่านขั้นตอนการหวี แต่สำหรับเส้นด้ายธรรมดาไม่ต้องผ่านขั้นตอนการหวี



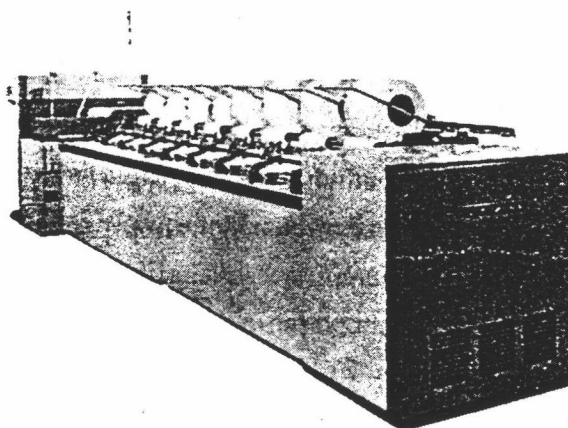
รูปที่ 2.6 เครื่องสาวใย
(เกษม พิพัฒน์ปัญญาคุณ,2537)

3. การทำแผ่นม้วนฝ้ายสำหรับการหวี (comber preparation)

สไลเวอร์ที่ได้จากเครื่องสางใยเมื่อต้องการทำการหวี จำต้องผ่านการทำให้เป็นแผ่นม้วน (lap) เพื่อป้อนเข้าเครื่องหวีและเป็นการทำให้เส้นใยเหยียดตรงมากขึ้นก่อนการหวี เครื่องที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบันประกอบด้วยเครื่องรีดปุ๋ยและเครื่องทำแผ่นม้วน (lap former)

4. การหวี (combing)

ในการปั่นด้ายฝ้ายคุณภาพดี จำเป็นต้องมีการขจัดเอาสิ่งสกปรกเส้นใยสั้น ปมเส้นใยออกไป และทำให้เส้นใยเหยียดตรงมากที่สุด การทำงานของเครื่องหวีคือแผ่นม้วนฝ้ายจะถูกป้อนเข้าทางตอบนด้านหลังเครื่อง ผ่านการหวีและรวบรวมเป็นสไลเวอร์บรรจุลงถังซึ่งแสดงการทำงานของเครื่องหวีขณะที่แถบของเส้นใยถูกจับยึดด้วยตัวจับด้านบนและด้านล่าง (nippers) อุปกรณ์หวี (comb) จะทำการหวีเพื่อขจัดเอาเส้นใยสั้นและอื่นๆที่ไม่ได้ถูกจับยึดออกไป และทำให้เส้นใยเหยียดตรง รูปที่ 2.7



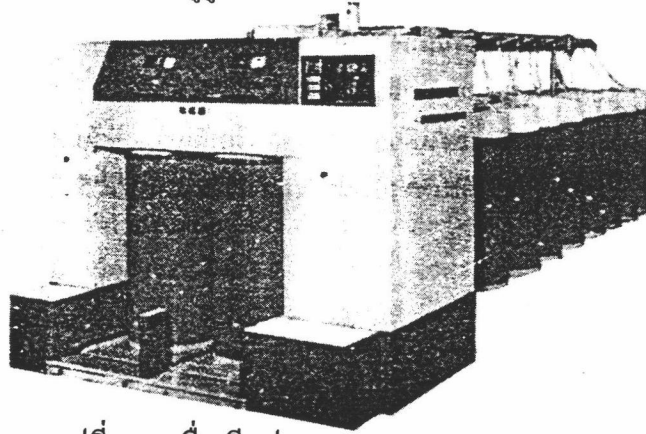
รูปที่ 2.7 เครื่องหวีเส้นใย
(เกษม พิพัฒน์ปัญญาอนุกุล, 2537)

5. การรีดปุ๋ย (drawing)

เนื่องจากเส้นใยที่ประกอบเป็นสไลเวอร์นั้น มีลักษณะไม่เหยียดตรงและไม่เรียงตัวขนานกัน ตามแนวทแยงของสไลเวอร์คัพ ประกอบกับเส้นใยและขนาดของสไลเวอร์จากเครื่องสางใยแต่ละเครื่องก็แตกต่างกัน ดังนั้นจึงต้องทำการรีดปุ๋ยเส้นใยเพื่อให้ได้สไลเวอร์ที่มีความสม่ำเสมอและมีขนาดรูปร่างตามต้องการ สไลเวอร์หลายๆเส้นจะป้อนเข้าทางหลังเครื่องผ่านระบบลูกกลิ้ง (drafting rollers)

ที่วางซ้อนกันเป็นคู่ๆ ลูกกลิ้งคู่หน้าสุดจะวิ่งด้วยความเร็วผิวสูงกว่าลูกกลิ้งคู่หลังสุด ดังนั้น สไลเวอร์ที่รวมกันจะถูกรีดให้มีขนาดเล็กลงและเส้นใยเหยียดตรงมากขึ้น

ในการผสมเส้นใยต่างชนิดกัน เช่น ฝ้ายและโพลีเอสเตอร์นิยมทำกันที่เครื่องรีดปุยนี โดยการนำสไลเวอร์ของเส้นใยฝ้ายและโพลีเอสเตอร์ป้อนเข้าทางหลังเครื่อง จำนวนเส้นสไลเวอร์ที่ใช้ของแต่ละชนิดก็เป็นไปตามอัตราส่วนผสมที่กำหนด ดูรูปที่ 2.8

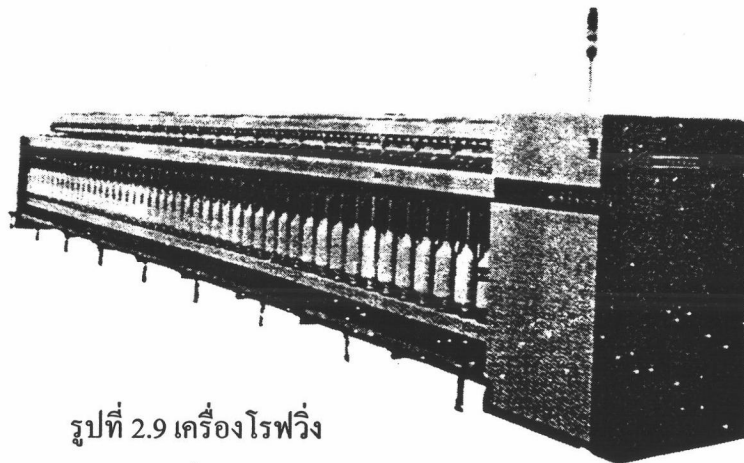


รูปที่ 2.8 เครื่องรีดปุยนี

(เกษม พิพัฒน์ปัญญาคุณ,2537)

6. การโรฟวิ้ง (roving)

เป็นการลดขนาดของสไลเวอร์ ให้มีขนาดเหมาะสมสำหรับการปั่นด้าย เส้นโรฟวิ้งจะมีลักษณะยาวตลอด มีเกลียวเล็กน้อยเพื่อให้เส้นใยจับยึดกันและมีความแข็งแรง สไลเวอร์แต่ละเส้นจะถูกป้อนเข้าทางหลังเครื่องผ่านระบบลูกกลิ้งเพื่อลดขนาดและพันม้วนเข้าหลอดขนาดใหญ่(package) ดูรูปที่ 2.9

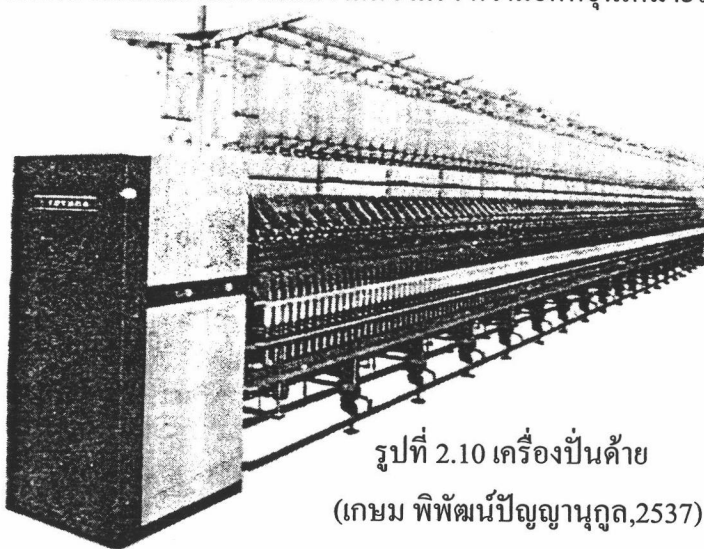


รูปที่ 2.9 เครื่องโรฟวิ้ง

(เกษม พิพัฒน์ปัญญาคุณ,2537)

7. การปั่นด้าย (spinning)

เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการทำเป็นเส้นด้าย สำหรับเครื่องปั่นด้ายแบบวงแหวน (ring spinning frame) ซึ่งเป็นแบบที่ใช้กันมากที่สุด หลอดโรฟวิ่งจะห้อยอยู่ตอนบนของเครื่อง เส้นโรฟวิ่งจะถูกลดขนาดเป็นเส้นด้ายและพันเข้าหลอด การลดขนาดจะใช้ระบบลูกกลิ้งที่มีลักษณะคล้ายกันกับของเครื่องโรฟวิ่งแต่มีขนาดเล็กกว่า อัตราการลดขนาดสามารถปรับได้ตามขนาดของเบอร์ด้ายที่ต้องการ ด้ายที่ปั่นจะมีเกลียวเพื่อให้มีความแข็งแรง ความยืดหยุ่นเหมาะสมกับการใช้งานชนิดต่างๆ ดูรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 เครื่องปั่นด้าย
(เกษม พิพัฒน์ปัญญาคุณ, 2537)

2.1.4 ผ้าฝืน

เกษม พิพัฒน์ปัญญาคุณ, 2537 กล่าวว่า “การนำเส้นด้ายมาทำเป็นผ้าฝืนโดยทั่วไปมี 2 วิธีคือ ทำผ้าทอกับผ้าถัก ผ้าทอคือผ้าที่ใช้ด้ายพุ่งและด้ายยืนมาขัดกันให้เกิดลวดลายต่างๆ เช่น การทอลายขัด การทอลายสอง การทอลายตัวน เป็นต้น ส่วนผ้ายัดคือผ้าที่ผลิตโดยใช้เส้นด้ายมาทำเป็นห่วงสอดคล้องติดต่อกันเป็นผืนผ้า ผ้ายัดที่มีห่วงสอดคล้องกันตามด้านยาวขนานไปกับความยาวของผ้าเรียกว่า ผ้าถักด้ายยืน (warp knit) ผ้ายัดที่มีห่วงสอดคล้องกันตามขวางของผ้าเรียกว่า ผ้าถักด้ายพุ่ง (weft knit) ผ้ายัดไม่ต้องลงแปรงเส้นด้าย (ให้เส้นด้ายแข็งตัว) แต่มีการใส่น้ำมันหล่อลื่นหรือสารทำนุ่ม ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องผ่านขั้นตอนการกัดแปรง”

2.1.5 การเตรียมผ้า

เกษม พิพัฒน์ปัญญาคุณ,2537 กล่าวว่า “เพื่อให้การย้อมสีและตกแต่งผ้าทำได้ง่ายและมีประสิทธิภาพจำเป็นต้องจัดสิ่งเจือปนและสิ่งสกปรกที่ติดมากับเส้นใยเสียก่อน รวมทั้งต้องกำจัดแป้งที่ลงด้ายยื่นออกด้วย กระบวนการขั้นนี้เรียกว่า การเตรียมผ้า (pretreatment)”

เส้นใยประดิษฐ์เป็นเส้นใยที่มีความสะอาดอยู่แล้ว การลงแป้งก็เป็นแป้งที่ล้างออกได้ง่าย ดังนั้นการเตรียมผ้าจึงไม่มีปัญหาอะไรยุ่งยาก ส่วนฝ้ายนั้นเป็นเส้นใยธรรมชาติที่มีสิ่งสกปรกเจือปน นอกจากนี้การลงแป้งด้ายยื่นยังใช้แป้งที่จัดได้ยาก กรรมวิธีการเตรียมผ้าจึงค่อนข้างยุ่งยาก

กระบวนการเตรียมผ้าฝ้ายโดยทั่วไป มีขั้นตอนดังนี้

ฝ้ายดิบ → เผาขน → ลอกแป้ง → กำจัดสิ่งสกปรก → ฟอกขาว → การชุบมัน Grey Cloth → Singeing → Desizing → Scouring → Bleaching → Mercerization
--

เกษม พิพัฒน์ปัญญาคุณ,2537 อธิบายขั้นตอนการเตรียมผ้าไว้ดังนี้คือ

การเผาขน (singeing) กระบวนการเตรียมผ้าที่ปฏิบัติกันจริงๆ ในโรงงานอุตสาหกรรมจะเริ่มต้นด้วยการตรวจสอบรอยบกพร่องของผ้า ใช้จักรซิกแซกเย็บต่อปลายผ้าแต่ละผืนให้ติดกันเป็นผืนยาวผืนเดียวแล้วนำไปเผาขน

ผ้าฝ้ายปกติจะมีขนปุกปุยบนผิวผ้า ทำให้รูปลักษณะและความรู้สึกสัมผัสของผ้าลดลง จึงจำเป็นต้องเผาขนให้ผิวเรียบก่อน การเผาขนใช้ความร้อนได้ 3 ชนิดได้แก่ เปลวแก๊ส แผ่นโลหะความร้อน และไฟฟ้า ปกติแล้วนิยมเผาขนด้วยเปลวแก๊สมากที่สุด เพราะมีประสิทธิภาพสูงและการเดินเครื่องจักรก็ง่ายกว่าอย่างอื่น การเผาขนอาจเผาขนผ้าทั้งสองด้านหรือเผาแต่เพียงด้านเดียวก็ได้ ภาวะการเผาขนขึ้นอยู่กับระดับ(grade)ของผ้าและจุดมุ่งหมายของการใช้ฝ้ายนั้น อย่างไรก็ตามสิ่งสำคัญก็คือต้องเผาให้ขนไหม้สม่ำเสมอทั่วกันทั้งผืนผ้าและไมใช้ความร้อนสูงจนกระทั่งเส้นใยเสื่อมคุณภาพ

การลอกแป้ง (desizing) สารบางชนิดเช่น แป้ง ทำให้ด้ายยื่นแข็งซึ่งจะทำให้การทอเป็นไปได้ง่ายขึ้น สารดังกล่าวจะติดอยู่กับผ้า จึงต้องขจัดออกเพื่อให้การทำทำความสะอาดและการฟอกขาวในขั้น

ต่อไปได้ผลดี กระบวนการนี้เรียกว่า การเอาแป้งออกหรือการลอกแป้ง ตามปกติสารดังกล่าวเป็นประเภทแป้งและสารสังเคราะห์ เช่น โพลีไวนิลแอลกอฮอล์(PVA), คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส(CMC), อะคริลิก(polyacrylic) ฉะนั้นเวลาเอาแป้งออกต้องเอาผ้าแช่น้ำร้อนให้เส้นใยพองตัว เป็นทางให้สารช่วยย่อย(เอนไซม์) เกิดปฏิกิริยาอย่างและควบคุมอุณหภูมิให้สูงเท่าที่จะทำได้ วิธีนี้จะทำให้การเอาแป้งออกได้ผลดีโดยเฉพาะเมื่อใช้วิธีเอาแป้งออกแบบต่อเนื่อง

ในกระบวนการปฏิบัติแบบต่อเนื่อง วิธีเอาแป้งออกจะใช้แบบอัดสารสำหรับเอาแป้งออกเข้าไปในพื้นผ้าแล้วหมักหรือพักไว้ในถังสำหรับเอาแป้งออกเป็นระยะเวลาตามสมควรก็ได้ หรือจะอัดผ้าด้วยสารสำหรับเอาแป้งออกแล้วใช้ลูกกลิ้งของเครื่องจักรม้วนหมักไว้ก็ได้

สารเคมีที่นิยมใช้ในการลอกแป้งมี 2 ประเภท คือ สารลอกแป้งประเภทเอนไซม์(enzyme) และสารลอกแป้งประเภทออกซิไดซิง(oxidizing agents) สารลอกแป้งแต่ละประเภทมีทั้งข้อดีและข้อเสีย ทั้งนี้ต้องเลือกให้เหมาะสมจึงจะทำให้การลอกแป้งได้ผลดีที่สุด ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเลือกใช้สารลอกแป้งได้แก่ ชนิดของสารไซซิง ชนิดของเครื่องจักร กรรมวิธีการผลิตสารเคมีอื่นๆที่ใช้ร่วม เป็นต้น

ประโยชน์ของการลอกแป้งมีดังนี้คือทำให้ผ้าเปียกน้ำได้ดีและสม่ำเสมอขึ้น เป็นผลให้กระบวนการผลิตขั้นต่อไปมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ประหยัดเวลาและสารเคมี และทำให้ผ้านุ่ม ไม่หยابกระด้าง

การกำจัดสิ่งสกปรก (scouring) เป็นกระบวนการทำความสะอาดเส้นใยด้วยการใช้ด่าง เช่น โซดาไฟ โซดาแอช เป็นต้น เมื่อผ่านกระบวนการนี้แล้วเส้นใยจะสะอาด มีความสามารถในการดูดซึมน้ำได้ดี เปียกได้ง่าย การทำความสะอาดช่วยให้สีย้อมและสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตขั้นต่อไป ซึมทะลุเข้าไปภายในเส้นใยได้มากขึ้น การทำความสะอาดครั้งละมากๆแบบงานอุตสาหกรรมมักใช้วิธีต้มในหม้อเคียร์(Kier boiling) และวิธีอัดสารเคมีแล้วอบไอน้ำ(Pad steam) แบบต่อเนื่อง โดยรวมถึงซักหลายถังและที่อบไอน้ำ (steam box) ซึ่งอาจเป็นถังรูปเจ(J-box) หรือรูปยู(U-box) ก็ได้เข้าด้วยกัน แต่ถ้าวินิจฉัยการทำความสะอาดภายหลังย้อมหรือผ้าเนื้อหนาใช้ทำความสะอาดด้วยเครื่องจักรมีความดันสูง นอกจากนี้ปัจจุบันยังนำวิธีทำความสะอาดด้วยสารละลายมาใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมอีกด้วย

การกำจัดสิ่งสกปรกในเส้นใยฝ้ายจะมีกรรมวิธีที่ยู่ยากกว่าเส้นใยประดิษฐ์ เส้นใยฝ้ายมีสิ่งสกปรกตามธรรมชาติ ได้แก่ สารขี้ผึ้ง(wax) ขี้ผึ้งเทียม (wax-like substance) แพคติน โปรตีน เศษใบไม้ เปลือกเมล็ดฝ้าย เป็นต้น ส่วนเส้นใยประดิษฐ์ (เช่น โพลีเอสเตอร์ ไนลอน) มีความสกปรกน้อยกว่าเส้นใยฝ้าย จึงกำจัดสิ่งสกปรกได้ง่ายกว่า สิ่งสกปรกจากเส้นใยเหล่านี้ส่วนมากเป็นสารหล่อลื่นที่ถูกเติมเข้าไปในช่วงปั่นด้ายและทอเป็นผ้าผืน สารหล่อลื่นเหล่านี้สามารถกำจัดออกได้ด้วยการต้มด้วยน้ำสบู่หรือเพิ่มโซดาแอชอีกเพียงเล็กน้อย

การฟอกขาว (bleaching) หลังจากทำความสะอาดแล้วยังคงมีสีและวัสดุเจือปนอื่นๆ เหลืออยู่ในผ้า การฟอกขาวจะทำให้สิ่งเหล่านั้นสลายตัวหรือลดน้อยลง อันกระทำได้หลายแบบ เช่น การฟอกขาวสมบูรณ์ การฟอกขาวเพื่อนำไปย้อม และกึ่งฟอกขาว เป็นต้น

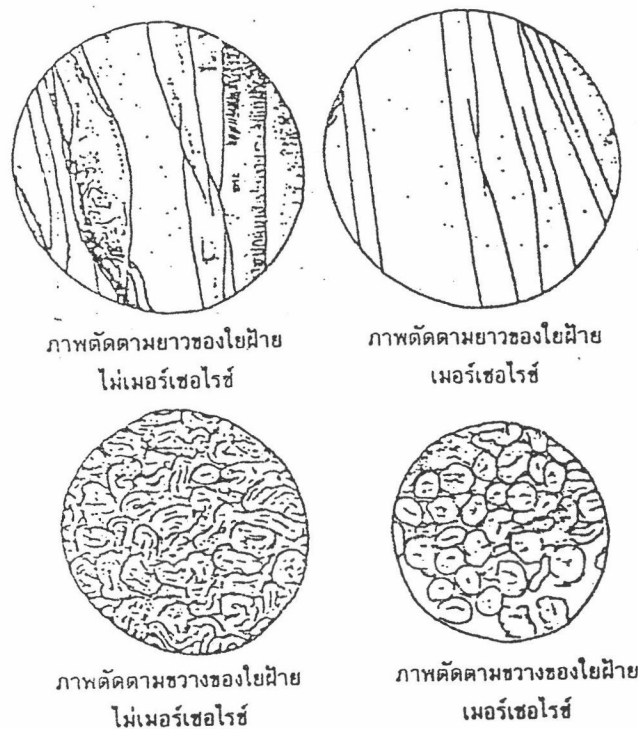
การฟอกขาวมีความจำเป็นเฉพาะกับผ้าที่จะนำไปทำเป็นผ้าขาวและผ้าย้อมสีอ่อน เพื่อให้ได้ความขาวหรือได้สีที่สดใส สำหรับผ้าที่นำไปย้อมสีเข้มอาจไม่จำเป็นต้องฟอกขาวก็ได้ สำหรับเส้นใยสังเคราะห์ซึ่งค่อนข้างสะอาดและขาวอยู่แล้วไม่จำเป็นต้องฟอกขาวก็ได้ ยกเว้นกรณีที่ต้องการไปทำผ้าขาว

สารฟอกสีที่ใช้กันมาก ได้แก่ สารฟอกสีคลอรีน ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เมื่อเปรียบเทียบระหว่างสารฟอกสีคลอรีนกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ การใช้สารฟอกสีคลอรีนจะทำให้เส้นใย เปราะและเหลืองได้ เพราะยังคงมีคลอรีนเหลือค้างอยู่ ทำให้ต้องเพิ่มขึ้นขั้นตอนปฏิบัติงานหลังจากฟอกขาวด้วยสารฟอกสีคลอรีน กล่าวคือต้องทำอย่างหนึ่งอย่างใดเพื่อเอาคลอรีนออกจากผ้าให้หมดและซักให้สะอาด ตรงกันข้ามถ้าฟอกขาวด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ทำให้เส้นใยเสียหายน้อย เส้นใยขาวสะอาดทนทานกว่า วิธีฟอกก็ง่ายกว่า บางครั้งเมื่อฟอกขาวด้วยสารฟอกสีคลอรีนแล้วยังฟอกซ้ำด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์อีกครั้ง เพื่อขจัดคลอรีนที่หลงเหลืออยู่ให้หมดไป และเป็นการตกแต่งการฟอกขาวให้ดีขึ้นด้วย นอกจากนี้การฟอกขาวด้วยคลอรีนจะทำให้เกิดผลต่อสิ่งแวดล้อมในรูปไดออกซิน(dioxin)ตามมาที่หลังได้เคย

การฟอกขาวที่สมบูรณ์ให้ผลดังนี้คือ จะได้ผ้าที่มีความขาวอย่างสม่ำเสมอและถาวร เมื่อเก็บไว้นานๆผ้าไม่กลับเป็นสีเหลือง ผ้าที่ฟอกแล้วต้องมีการดูดซึมสีย้อมและสารเคมีอย่างสม่ำเสมอ รวมทั้งต้องไม่ทำให้ผ้าเปื่อย (เกษม พิพัฒน์บัญญัติ,2537)

การชุบมัน(mercerization) หรือเมอร์เซอร์ไรซ์ โดยทั่วไปเมื่อเอาผ้าฝ้ายมาอัดด้วยสารละลายโซดาไฟเข้มข้นให้สารซึมเข้าไปภายในทั้งที่ฝ้ายยังถูกดึงให้ตึงอยู่ จะทำให้มีความมันเหมือนผ้าไหม ในขณะที่เดียวกันทำให้ฝ้ายดูดซึมน้ำได้ดีและสารเคมีเพิ่มมากขึ้น และทำให้ผ้ามีความคงทนมากขึ้น เป็นการเพิ่มลักษณะเฉพาะที่ดีที่สุดให้กับฝ้าย การชุบมันทำโดยแช่ผ้าฝ้ายให้จมอยู่ในสารละลายโซดาไฟ แล้วผ่านลูกกลิ้งบีบน้ำออก ผ่านไปตามลูกกลิ้งอีกชุดหนึ่งเพื่อดึงให้ตึงตามความยาวผ่านไปยังเครื่องดึงผ้า (stenter) แบบหนีบ (clip) เพื่อดึงตามขวางแล้วผ่านลงไปใต้น้ำร้อน ผ้าจะเป็นมันและซ้กสะอาดในที่สุด วิธีนี้นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง เครื่องชุบมันอีกแบบหนึ่งทำงานโดยส่งผ้าที่แช่สารละลายโซดาไฟแล้วไปตามลูกกลิ้งหลายๆลูกซึ่งอยู่ชิดกันมาก(chainless mercerizing machine)

หลังจากทำเมอร์เซอร์ไรซ์ สมบัติทางเคมีของฝ้ายไม่เปลี่ยนแปลง แต่สมบัติทางกายภาพเปลี่ยนไป คือ การให้ลักษณะบิดเป็นเกลียวคลายกลับมาเป็นเส้นเรียบระนาบ มีความเสถียรมากและทำให้ส่วนที่เป็นผลึกได้มีการขยายตัวและหลวมมากขึ้น ทำให้การดูดซึมน้ำได้ดีขึ้น และสารเคมีดีขึ้น รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะของเส้นใยฝ้ายก่อนและหลังเมอร์เซอร์ไรซ์



รูปที่ 2.11 แสดงลักษณะของเส้นใยฝ้ายก่อนและหลังเมอร์เซอร์ไรซ์

(เกษม พิพัฒน์ปัญญาคุณ ,2537)

การชุบมันโดยปกติใช้โซดาไฟเข้มข้นประมาณ 20-30 ° Be ที่อุณหภูมิ 15-25 °C ภาวะการชุบมันนี้ปรับปรุงได้ตามชนิดของผ้าและประโยชน์ใช้สอย (เกษม พิพัฒน์ปัญญาคุณ, 2537)

การเมอร์เซอไรซ์โดยใช้เครื่องจักรพิเศษทำให้เส้นด้ายฝ้ายมีคุณสมบัติดังนี้

1. ความเงาของเส้นด้ายเพิ่มขึ้น
2. มีความคงรูปดีขึ้น และคลายการบิดตัวเป็นเกลียว เส้นใยเรียบขึ้น
3. ความเหนียวเพิ่มขึ้น
4. การพองตัวของเส้นใยสม่ำเสมอและมีการหดตัวตามยาว
5. การดูดซึมน้ำดีขึ้น เนื่องจากมีการขยายตัวของเนื้อที่ภายในของเส้นใย
6. ทำให้เส้นใยที่อ่อนวัย และเส้นใยที่ลึบ มีความสามารถในการดูดซึมน้ำดีขึ้น
7. ผ้ามีการคืนตัวจากรอยยับได้ดีขึ้น

ลำดับของการทำเมอร์เซอไรซ์ในกระบวนการเตรียมผ้า อาจอยู่ได้หลายรูปแบบตามความเหมาะสมดังนี้

1. เผาขน → ลอกแป้ง → กำจัดสิ่งสกปรก → ฟอกขาว → เมอร์เซอไรซ์

วิธีนี้เป็นที่นิยมทำทั่วไป ผ้าก่อนทำเมอร์เซอไรซ์มีความสามารถในการดูดซึมน้ำดี การใช้สารช่วยซึมจึงน้อย ผ้าหลังเมอร์เซอไรซ์มีความเหลืองเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (ความขาวลดลง) เหมาะกับผ้าที่จะนำไปย้อมหรือพิมพ์

2. เผาขน → ลอกแป้ง → กำจัดสิ่งสกปรก → เมอร์เซอไรซ์ → ฟอกขาว

วิธีนี้ทำให้ผ้าที่ได้มีความขาวมากขึ้น เหมาะสำหรับผ้าที่นำไปทำผ้าขาว

3. เผาขน → เมอร์เซอไรซ์ → ลอกแป้ง → กำจัดสิ่งสกปรก → ฟอกขาว

วิธีนี้เป็นการทำเมอร์เซอไรซ์ผ้าดิบ เป็นเพราะมีข้อจำกัดทางด้านเครื่องจักร ต้องการลดขั้นตอนการผลิต ผ้าดิบซึมน้ำไม่ดี จึงต้องใช้สารช่วยซึมในปริมาณมาก

จากรายละเอียดของกระบวนการเตรียมผ้าทั้งหมดที่ได้อธิบายไว้ข้างบนนั้น สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.1 นี้

ตารางที่ 2.1 จุดมุ่งหมายของการเตรียมผ้า(เกษม พิพัฒน์ปัญญาคุณ ,2537)

ขั้นตอน	จุดมุ่งหมาย	วิธีการและสารเคมี
เผาขน	กำจัดขน หรือเส้นใยที่โผล่เหนือผ้า ทำให้ผิวผ้าเรียบ	เปลวไฟ
ลอกแป้ง	ย่อยและกำจัดแป้ง ทำให้เส้นใยพองตัว	เอนไซม์ สารออกซิไดซ์ น้ำสบู่
กำจัดสิ่งสกปรก	กำจัดสิ่งสกปรก โดยเฉพาะพวกไขมัน	โซดาไฟ น้ำสบู่
ฟอกขาว	ทำลายสารมีสี	สารออกซิไดซ์
เมอร์เซอไรซ์	ทำให้เซลลูโลสพองตัวอย่างสม่ำเสมอ ขยาย พื้นที่ผิวภายในเส้นใย ดูดซึมสีย้อมดีขึ้น	โซดาไฟเข้มข้น

2.1.6 สีย้อม และการจำแนกสีย้อม

2.1.6.1 สีย้อม (dye)

โมเลกุลของสีย้อมประกอบด้วย 2 ส่วน ซึ่ง ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2527 อธิบายไว้ดังนี้คือ

1. กลุ่มอะตอม โครโมฟอร์ในโมเลกุลสีย้อมที่ก่อให้เกิดสี (dye chromophore)
2. กลุ่มที่ทำปฏิกิริยายึดเกาะเส้นใยกับสีย้อม (dye functional group)

กลุ่มอะตอมโครโมฟอร์ เป็นกลุ่มอะตอมพันธะคู่และเป็นส่วนที่จะก่อให้เกิดสีของสีย้อม เมื่อโมเลกุลถูกแสงโครงสร้างของกลุ่มอะตอมโครโมฟอร์จะสั่นและดูดกลืนแสง ทำให้ปรากฏเป็นสีที่ตาเราเห็น กลุ่มอะตอมโครโมฟอร์ได้แก่เอโซ(azo) แอนทราควิโนน(anthraquinone) เบนโซไดฟูราโนน (benzodifuranone) อินดิโก(indigo) และกลุ่มซัลเฟอร์ (sulphur group) เป็นต้น

กลุ่มที่ทำปฏิกิริยา สีย้อมที่นำมาใช้ในการย้อมเส้นใยมีอยู่ด้วยกันมากมายหลายชนิด การที่จะนำสีย้อมใดๆมาใช้ย้อมให้ได้ผลดีนั้นขึ้นอยู่กับอำนาจการรวมตัวของสีกับเส้นใยซึ่งต้องมีมากกว่าอำนาจการรวมตัวของสีกับน้ำ (การที่สีสามารถเกาะติดบนเส้นใยและให้สีกับเส้นใยนั้นๆ เรียกว่า สีย้อมมี affinity ต่อเส้นใยนั้น) จะสามารถทำให้เกิดภาวะเช่นนี้ได้เมื่อโมเลกุลของสีย้อมมีหมู่อะตอม (โดยทั่วไปจะเป็นกลุ่มของวงแหวนเบนซีนและกลุ่มรีแอกทีฟ เช่น SO_3^- , Na^+) ซึ่งถูกจัดให้เรียงตัวกันในลักษณะที่จะทำให้เกิดการคูติด (substantivity) กับเส้นใย แล้วเกิดพันธะ (bond) ยึดกันแน่น อาจกล่าวได้อย่างกว้างๆว่าอิทธิพลเชิงเคมีที่ทำให้สีคูติดกับเส้นใยได้มี 4 ชนิดคือ

1. พันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond)
2. แรงแวนเดอวาลส์ (Van der Waals' forces)
3. แรงไอออน (ionic forces)
4. พันธะโควาเลนต์ (covalent bond)

กำลังแรงเหล่านี้มักจะไม่ทำหน้าที่แต่เพียงลำพัง การคูติดกันระหว่างโมเลกุลของสีย้อมกับโมเลกุลของเส้นใยอย่างน้อยจะต้องประกอบไปด้วยแรง 2 ชนิดขึ้นไป บางครั้งก็อาจจะเกิดแรงทั้ง 4 ชนิดผสมผสานกัน แรงคูติดทางเคมีที่จะให้การยึดติดได้ดีที่สุด ได้แก่ พันธะโควาเลนต์

การยึดติดของโมเลกุลสีย้อมกับโมเลกุลเส้นใยนอกจากจะเป็นอิทธิพลเชิงเคมีของแรงทั้ง 4 ชนิดแล้ว อิทธิพลด้านเรขาคณิตของโมเลกุลของสีหรืออาจกล่าวง่ายๆว่ารูปร่างและขนาดของโมเลกุลของสีก็มีผลต่อการยึดติดหรือมีผลกระทบต่อการใช้ย้อมอย่างมากด้วย เช่น ถ้าโมเลกุลของสีย้อมยิ่งเล็กและยาวเท่าไรก็จะผ่านช่องว่างเข้าไปในเส้นใยได้มากขึ้นเท่านั้นอันจะทำให้การติดสีดีขึ้น หรือถ้าโมเลกุลของสีย้อมมีลักษณะแบนและมีความกว้างมากกว่าความยาวมากๆจะทำให้เกิดการติดสีมีความคงทนสูงมากขึ้น ดังนี้ เป็นต้น

อาจกล่าวได้ว่าการที่โมเลกุลของสีย้อมยึดเกาะกับโมเลกุลของเส้นใยเป็นผลเนื่องมาจากแรงทางเคมีและผลทางฟิสิกส์ร่วมมือสนับสนุนกัน โดยมีสารบางอย่างมาช่วยเหลือเพื่อที่จะทำให้โมเลกุลของสีย้อมและโมเลกุลของเส้นใยเกิดปฏิกิริยาระหว่างกันได้ดีขึ้น สารบางอย่างที่กล่าวนี้ คือ สารช่วยย้อม

สารช่วยย้อม (additives)

สารช่วยย้อมเป็นสารเคมีที่ใส่ลงไปในการบวนการย้อม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการย้อม ให้มีการดูดติดสีได้มากขึ้น สม่ำเสมอขึ้น และทำให้สีที่ติดเส้นใยแล้วมีความคงทนมากขึ้น

สารช่วยย้อมมีหลายชนิด แต่ที่สำคัญสามารถจัดแบ่งออกได้เป็น 7 ประเภท(อัคราพร ไสละสุต,2517 อ้าง โดย อติชาติ ปานเจริญ, 2527)ด้วยกัน คือ

1. กรด ใช้สำหรับย้อมเส้นใยโปรตีนและไนลอนเมื่อใช้สีย้อมเอซิด
2. ด่าง ใช้สำหรับย้อมใยเซลลูโลสด้วยสีย้อมอะโซอิก แวด และกำมะถัน
3. เกลือ ใช้ในการย้อมด้วยสีย้อมเอซิด และการย้อมเส้นใยเซลลูโลสทุกชนิด
4. สารช่วยให้สีสม่ำเสมอ ใช้กับสีแวด คิสเพอร์ส และสีเอซิดบางชนิด
5. สารพา (carrier) ใช้เมื่อย้อมเส้นใยสังเคราะห์บางชนิด
6. สารละลายอินทรีย์ จะใช้เมื่อย้อมขนสัตว์และใยสังเคราะห์บางชนิด
7. สารรีดิวซิง ใช้สำหรับรีดิวซ์ตัวสีบางชนิดเพื่อประโยชน์ในการดูดซึมเข้าไปในเส้น

ใย

2.1.6.2 การจำแนกสีย้อม

การเกิดสีในส่วนของการย้อมเกิดขึ้นได้ 3 ลักษณะ(Pizzuto, 1990) คือ

1. จากสีย้อม (dye)
2. จากสารสี (pigment)
3. จากสารละลายขณะเตรียมเส้นใย (solution)

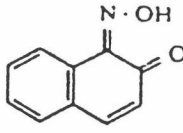
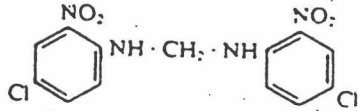
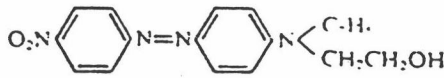
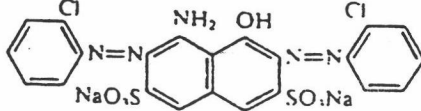
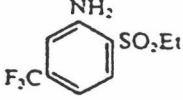
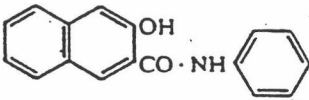
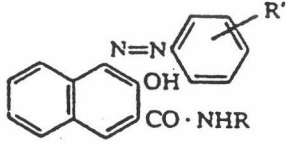
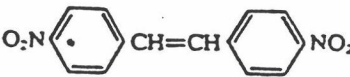

การแบ่งกลุ่มหรือการจำแนกสีที่ใช้ย้อมในขั้นแรก ถ้าจะพิจารณาจากลักษณะทางกายภาพ สามารถแบ่งได้เป็นสองชนิด ชนิดหนึ่งละลายน้ำได้เรียกว่า“สีย้อม”(dye) อีกชนิดหนึ่งไม่ละลายน้ำเรียกว่า“สารสี”(pigment) การจำแนกสีที่ใช้ย้อมด้วยวิธีนี้ก่อให้เกิดความสับสน กล่าวคือ สำหรับสารสีที่ไม่ละลายน้ำ(pigment) โรงงานผู้ผลิตจำเป็นต้องหาวิธีการมาทำให้ สีตัวนั้นละลายน้ำให้ได้ โดยพยายามใช้ตัวทำละลายชนิดอื่นให้น้อยที่สุดเท่าที่จะน้อยได้เป็นตัวช่วยทำละลาย สารสีเมื่อถูกทำให้ละลายแล้วจะมีสมบัติเหมือนสีย้อม(dye)ทุกประการและสามารถถูกดูดซึมเข้าไปในเส้นใยสามารถติดเส้นใยโดยลักษณะทางฟิสิกส์และเคมี ทำให้การแบ่งกลุ่มของสีที่ใช้ย้อมด้วยวิธีนี้เกิดความสับสน

การจำแนกสีที่ใช้ย้อมอีกวิธีหนึ่งคือการจำแนกสีตามส่วนประกอบทางเคมี วิธีนี้มีความยุ่งยากมากสำหรับผู้ที่ไม่ได้ผ่านการศึกษาด้านเคมีมาโดยตรง สีในกลุ่มเคมีเดียวกันอาจจะมีวิธีย้อมแตกต่างกัน เช่น สีในกลุ่มเอโซบางตัวย้อมได้ง่ายๆและโดยตรงเป็นสีไคเรกต์(direct) บางตัวจะย้อมได้เมื่อน้ำย้อมมีภาวะเป็นกรดก็เป็นสีเอซิด ทำให้น้ำที่ล้างที่ได้จากการย้อมแตกต่างกันไปมาก ประการสำคัญอีกข้อหนึ่งที่ทำให้การจำแนกสีย้อมด้วยวิธีนี้ยังไม่เป็นที่นิยมเท่าที่ควรก็คือ สูตรโครงสร้างที่แท้จริงของสีย้อมหลายชนิดที่นิยมใช้กันในปัจจุบันยังไม่เป็นที่ประจักษ์ ทำให้การจำแนกสีย้อมด้วยวิธีนี้มีขีดจำกัดแต่อย่างไรก็ตามสำหรับสีย้อมที่รู้สูตรโครงสร้างแน่นอน และผู้ที่มีความรู้ทางด้านเคมีอย่างดีจะได้ประโยชน์อย่างสูงจากการจำแนกสีย้อมด้วยวิธีนี้(คูตารางที่ 2.2) (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2527)

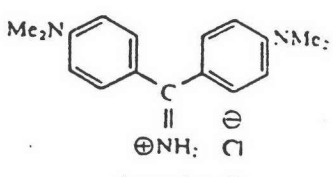
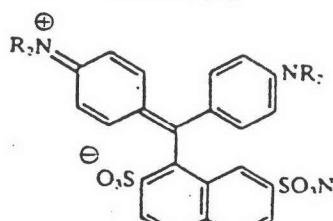
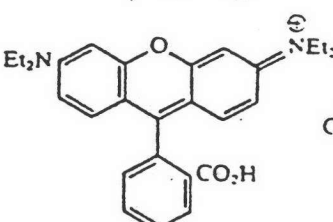
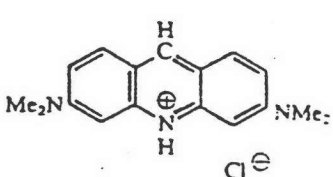
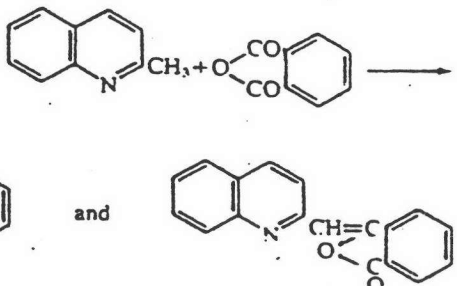
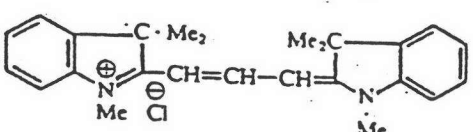
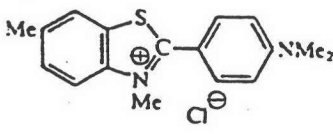
การจำแนกสีย้อมที่นิยมกันมากที่สุดเห็นจะได้แก่ การจำแนกสีย้อมตามการนำไปใช้งานตามตารางที่ 2.3 การจำแนกสีย้อมวิธีนี้เป็นที่ยอมรับกันในบรรดาผู้ใช้และอุตสาหกรรมการผลิตสี เพียงแต่กำหนดชื่อการค้าของสีแต่ละชนิดของแต่ละบริษัทก็ทำให้เข้าใจกันได้ทั่วไป แม้แต่สมาคมนักย้อมและนักสี (The Society of Dyers and Colourist) ก็ยอมรับว่าเป็นวิธีจำแนกที่เหมาะสมที่สุด หนังสือดรรชนีสี (Color Index) ที่พิมพ์ออกจำหน่ายทั่วโลกก็ใช้วิธีนี้ ทำให้การจำแนกสีย้อมด้วยวิธีนี้มีความคล่องตัวสูง

สำหรับการใช้สีย้อมที่เหมาะสมกับเส้นใยประเภทต่างๆ สรุปได้ดังตารางที่ 2.4 (CDG, 1993)

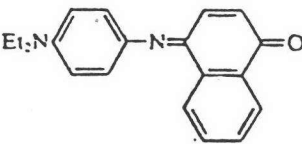
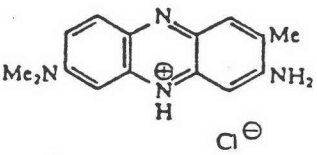
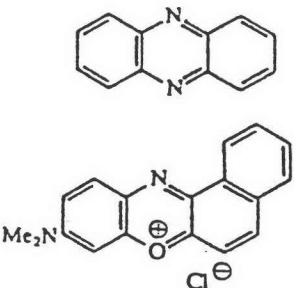
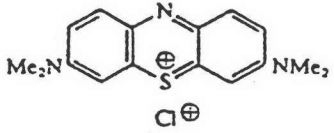
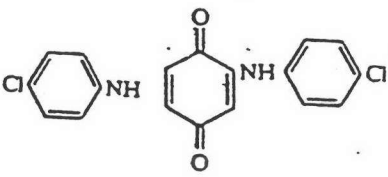
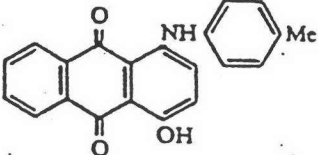
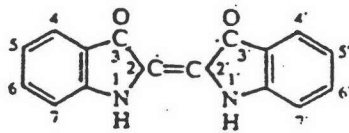
ตารางที่ 2.2 การจำแนกสี้อมตามสูตรโครงสร้าง(American Association of Textile Chemists and Colorists, 1982)

ประเภท	ตัวอย่าง	โครงสร้าง
Nitroso	C.I. Mordant Green 4 10005	 as bisulphite compound
Nitro	C.I. Pigment Yellow 11 10325	
Azo Monoazo	C.I. Disperse Red 1 11110	
Disazo	C.I. Acid Blue 87 20415	
Trisazo		See p. 105-107
Polyazo (tetrakisazo, etc.)		See p. 107
Azoic	C.I. Azoic Diazo Component 19 37065	 (as stabilized diazo component)
	C.I. Azoic Coupling Component 2 37505	
		
Stilbene	C.I. Direct Orange 71 40205	condensation product of  and 

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)..

ประเภท	ตัวอย่าง	โครงสร้าง
Diphenylmethane (Ketone/imine)	C.I. Basic Yellow 2 41000 (Auramine)	 <p>Auramine O</p>
Triarylmethane	C.I. Acid Green 16 44025 (Naphthalene Green V)	
Xanthene	C.I. Basic Violet 10 45170 Rhodamine B	
Acridine	C.I. Basic Orange 14 Solvent Orange 15 (Acridine Orange) 46005	
Quinoline	C.I. Solvent Yellow 33 47000 (Quinoline Yellow, Spirit Soluble)	 <p>(main product)</p>
Methine	C.I. Basic Red 12 48070	
Thiazole	C.I. Basic Yellow 1 Pigment Yellow 18 (=phosphotungsto- molybdic acid lake) 49005 (Basic Yellow T)	

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)..

ประเภท	ตัวอย่าง	โครงสร้าง
Indamine	C.I. Solvent Blue 22 49705	
Azine	C.I. Basic Red 5 50040	
Oxazine	C.I. Basic Blue 6 51175 (Meldola's Blue)	
This group includes Dioxazines and Oxazines.		
Thiazine	C.I. Basic Blue 9 C.I. Solvent Blue 8 52015 (Methylene Blue)	
		Methylene Blue as zinc double chloride
Sulphur	ยังไม่รู้สูตร โครงสร้างที่แน่นอน	
Lactone (amino-ketone and hydroxy- ketone dyes)	C.I. Vat Yellow 5 56005	
Anthra- quinone	C.I. Solvent Violet 13 60725	
Indigoid	C.I. Vat Blue 1 73000 Indigo (Synthetic)	

ตารางที่ 2.3 ประเภทสีย้อม (Buckley, 1992)

ประเภทสีย้อม	สมบัติทางกายภาพ และทางเคมี	เส้นใยที่เหมาะสม กับสีย้อมนี้	พันธะหรือกลไก ติดสี	วิธีใช้ทั่วไป
สีย้อมเอซิด (acid dye)	- กระจุก - ละลายน้ำได้ดี - สีติดไม่แน่น	- ไนลอน - ขนสัตว์	- พันธะไอออนิก	- แช่เส้นใยในสารละลาย ที่มีพีเอช 3-5 - สมมติว่าเส้นใยมี ประจุบวก ติดกับสีย้อม ที่มีประจุลบ ที่อุณหภูมิ 50-110 °ซ.
สีย้อมเมทัลคอม เพล็กซ์เอซิด (metal complex acid dye)	- กระจุก - ละลายน้ำได้น้อย - สีติดแน่น	- ไนลอน - ขนสัตว์	- พันธะไอออนิก	- แช่เส้นใยในสารละลาย ที่มีพีเอช 5-7 - สมมติว่าเส้นใยมี ประจุบวก ติด กับสีย้อม ที่มีประจุลบ ที่อุณหภูมิ 50-110 °ซ.
สีย้อมไดเรกต์ (direct dye)	- กระจุก - ละลายน้ำได้ดี - สีติดไม่แน่น	- ฝ้าย - วิสคอส	- พันธะไอออนิก	- แช่เส้นใยในสารละลาย ค้างอ่อน - เดิมทีใช้ ไตรไลท์ โซเดียมคลอไรด์ โซเดียมซัลเฟตและสีย้อม ที่อุณหภูมิ 98 °ซ.
สีย้อมเบสิก (basic or cationic dye)	- กระจุก - ละลายน้ำได้ดี	- อะคริลิก	- พันธะไอออนิก	- แช่เส้นใยในสารละลาย ที่มีพีเอช 4-6 - เดิมสีย้อมแล้วเพิ่ม อุณหภูมิ 100-105 °ซ.
สีย้อมดิสเพอร์ส (disperse dye)	- ไม่ละลายน้ำหรือ ละลายน้ำได้น้อยมาก - กระจายเป็นอนุภาค คอลลอยด์ - สีติดแน่นดี	- โพลีเอสเตอร์ - ไนลอน - อะคริลิก - เซลลูโลส - อะซิเตด	- เนื่องจากเป็น คอลลอยด์จึงเป็น การดูดติดผิวเส้นใย	- แช่เส้นใยในสารละลาย ที่มีพีเอช 4-5 - เดิมสีย้อมแล้วเพิ่ม อุณหภูมิถึง 130 °ซ.

สีย้อมรีแอกทีฟ (reactive dye)	- กระจุลบ - ละลายน้ำได้ดี - สีติดแน่นดี	- ฝ้าย - วิสคอส - ขนสัตว์	- พันธะโควาเลนต์	- แช่เส้นใยในสารละลายกรด - เติมเกลือเพื่อกระจายสีไปสู่เส้นใย - หลังจากนั้นเติมด่างเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างเส้นใยกับสีย้อม
สีย้อมอะโซอิก (azoic dye)	- เป็นคอลลอยด์หลังจากเกิดปฏิกิริยา - ไม่ละลายน้ำ - สีติดแน่น	- ฝ้าย - วิสคอส	- เกิดการตกผลึกขึ้นภายในเส้นใย	- ละลายสีย้อมในสารละลายด่างที่มีโซเดียมซัลเฟอร์ - สีย้อมจะแพร่กระจายไปสู่เส้นใยด้วยอิเล็กโตรไลต์
สีย้อมแวท (vat dye)	- เป็นคอลลอยด์หลังจากเกิดปฏิกิริยา - ไม่ละลายน้ำ - สีติดแน่น	- ฝ้าย - วิสคอส	- เกิดการตกผลึกขึ้นภายในเส้นใย	- ละลายสีย้อมในสารละลายด่างที่มีโซเดียมซัลเฟอร์ - สีย้อมจะแพร่กระจายไปสู่เส้นใยด้วยอิเล็กโตรไลต์
สีย้อมมอร์แดนท์หรือโครม (mordant or chrome)	- กระจุลบ - ละลายน้ำได้ดี - สีติดแน่นดี	- ขนสัตว์	- พันธะเชิงซ้อนของเส้นใยโครมและสีย้อม	- แช่เส้นใยในสารละลายกรด - เติมโซเดียมไดโครเมตเติมสีย้อมเพิ่มอุณหภูมิถึง 98° ซ.

ตารางที่ 2.4 การใช้สีย้อมที่เหมาะสมกับเส้นใยประเภทต่างๆ (CDG,1993)

เส้นใย	ประเภทสีย้อมที่เหมาะสม
ฝ้าย	ไคเรกท์ ซัลเฟอร์ อะโซอิก แวท รีแอกทีฟ
ลินิน	ไคเรกท์ ซัลเฟอร์ อะโซอิก แวท รีแอกทีฟ
ขนสัตว์	เอซิด เมทัลคอมเพล็กซ์ มอร์แดนท์ รีแอกทีฟ
ไหม	ไคเรกท์ เอซิด เบสิก รีแอกทีฟ
เรยอน	ไคเรกท์ รีแอกทีฟ
อะซิเตด	คิสเพอร์ส
ไนลอน	เอซิด โมดิฟายด์เบสิก เมทัลคอมเพล็กซ์
โพลีเอสเตอร์	คิสเพอร์ส
อะคริลิก	โมดิฟายด์เบสิก โมดิฟายด์เอซิด

2.1.7 ประเภทของการย้อม

การย้อมแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

1. การย้อมแบบเบตซ์(batch หรือ exhaustion)
2. การย้อมแบบต่อเนื่อง (continuous)

การย้อมทั้งสองประเภทเมื่อมองในแง่สารเคมีที่นำมาใช้แล้วจะคล้ายกัน แต่จะต่างกันในเรื่องประสิทธิภาพและวัตถุประสงค์ของการนำไปใช้ การย้อมแบบเบตซ์เป็นการย้อมเป็นครั้งๆไป โดยผ้าจะถูกนำมาแช่ในหม้อย้อมที่มีน้ำสี และสีจะถูกดูดซึม(absorb) เข้าไปในเนื้อผ้าหรือเส้นด้าย การย้อมด้วยวิธีนี้ใช้เวลานานและใช้น้ำมาก อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักผ้าต่อน้ำหนักสีเท่ากับ 1: 5 สำหรับเครื่องรุ่นใหม่ (เช่น เครื่อง Rufft Roto) และ 1:14 , 1:8 สำหรับเครื่องรุ่นเก่า (เช่น เครื่อง Rapid Jet, Hydraulic Jigger, Winch Dyeing ฯลฯ) นิยมใช้ย้อมเส้นด้ายและผ้าชนิดโพลีเอสเตอร์ หรือผ้าฝ้ายผสมโพลีเอสเตอร์

การย้อมแบบต่อเนื่อง ส่วนใหญ่จะใช้ในการย้อมผ้าสี การย้อมวิธีนี้จะใช้ลูกกลิ้ง(paddle) อดน้ำสีเข้าไปในเนื้อผ้า การย้อมด้วยวิธีนี้ใช้น้ำน้อย แต่ในช่วงซักล้าง(ในขั้นตอนการเตรียมผ้า) จะใช้น้ำมาก แต่เมื่อเทียบกับการย้อมแบบเบตซ์แล้วก็ยังใช้น้ำน้อยกว่าอยู่ดี อัตราส่วนระหว่างน้ำหนักผ้าต่อ

น้ำหนักสี เท่ากับ 1:1 โดยคิดเป็น % pick up (%pick up คือ %ของน้ำหรือสารเคมีที่เหลือยู่บนผ้า เมื่อเทียบกับน้ำหนักผ้า) การย้อมแบบต่อเนื่องยังไม่เป็นที่นิยมใช้เท่าที่ควรเนื่องจากต้องลงทุนสูง เครื่องจักรมีราคาแพง และหากต้องการย้อมผ้าจำนวนน้อยๆจะไม่คุ้มทุน นิยมใช้ในการย้อมผ้าฝ้าย

สำหรับขั้นตอนในการย้อมผ้าในกรณีที่ได้ศึกษาจากโรงฟอกย้อมแห่งหนึ่งสามารถแยกประเภทของการย้อมออกเป็น 2 ประเภทเหมือนกัน คือการย้อมแบบเบตซ์และแบบต่อเนื่อง การย้อมแบบเบตซ์ส่วนใหญ่จะใช้ย้อมผ้าทอ ผ้าถัก และเส้นด้าย ส่วนการย้อมแบบต่อเนื่องจะใช้ย้อมผ้าผืน รายละเอียดของขั้นตอนการย้อมผ้าและเส้นด้ายอธิบายได้ดังนี้

1. ผ้าทอ

ผ้าทอที่นำมาย้อมส่วนใหญ่เป็นผ้าโพลีเอสเตอร์ ขั้นตอนการย้อมประกอบด้วย

1.1 ขั้นตอนการเตรียมผ้า

เป็นขั้นตอนที่มีการจัดผ้าดิบเป็นเบตซ์ใส่รถเข็น แล้วนำผ้ายัดกล่าวเข้าเครื่องคลี่ผ้า ก่อนที่จะนำไปเข้าเครื่องทำความสะอาด เพื่อทำการลอกแป้งและสิ่งเจือปนที่ติดมากับผ้า สารเคมีที่ใช้ส่วนใหญ่ได้แก่พวกโซดาไฟ และสารซักล้าง(detergents)

1.2 ขั้นตอนการย้อม

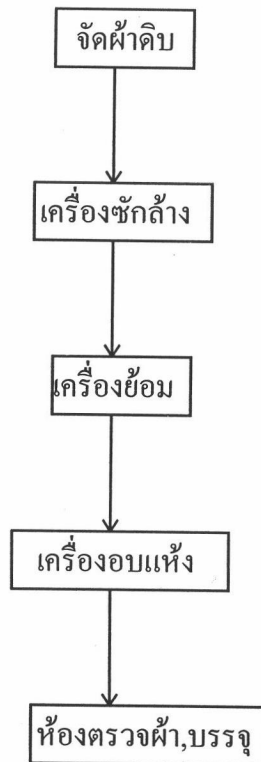
หลังจากที่ได้ผ่านขั้นตอนการเตรียมผ้ามาแล้ว ก็จะนำผ้าเข้าเครื่องย้อมแบบเบตซ์ เช่น เครื่องย้อมชนิด Luft roto หรือเครื่องย้อมชนิด Rapid jet ซึ่งลักษณะการทำงานของเครื่องย้อมคือผ้าจะถูกใส่เข้าไปในตัวเครื่อง โดยสีย้อมที่เตรียมไว้ในถังข้างนอกจะถูกปั๊มดูดเข้าไปในเครื่องด้านล่าง ส่วนด้านบนของเครื่องจะมี winch ไว้สำหรับจูดผ้าและมีลมเป่าให้ผ้าลง ใช้เวลาย้อมประมาณ 2-3 ชม.

1.3 ขั้นตอนการอบแห้ง

ผ้าที่ออกจากเครื่องย้อมจะถูกนำไปใส่รถเข็นและไปเข้าเครื่องคลี่ผ้าอีกครั้งก่อนที่จะเข้าเครื่องอบแห้ง ในขั้นตอนนี้จะมีการตกแต่ง(finishing)ผ้าในขณะที่ผ้ายังเปียกอยู่ ส่วนใหญ่จะเป็นการเติมเคมีที่ทำให้ผ้านุ่มขึ้น(softening) อีกทั้งมีการดิ่ง ยืด หรือหดผ้าให้ได้ตามความต้องการ

1.4 ขั้นตอนการตรวจสอบ

ผ้าที่ผ่านขั้นตอนการอบแห้งแล้ว ก่อนที่จะมีการบรรจุจะต้องนำผ้าไปเข้าห้องตรวจผ้าเพื่อดูความเรียบร้อยในการย้อมว่ามีสีสม่ำเสมอหรือไม่ เพื่อให้ได้ตรงตามความต้องการของลูกค้า รูปที่ 2.12 แสดงขั้นตอนในการย้อมผ้าทอ



รูปที่ 2.12 ขั้นตอนในการย้อมผ้าทอ

2. ผ้าถัก

ผ้าถักแบ่งเป็น 2 อย่างคือผ้าถักที่ต้องการทำให้เป็นผ้าย้อมและผ้า yarn dyes ซึ่งผ้าย้อมส่วนใหญ่เป็นผ้าถักประเภทฝ้าย, ทีซี(TC), ไนลอน(Nylon) ส่วนผ้า yarn dyes จะไม่ผ่านขั้นตอนการย้อม เพียงแต่เอาผ้ามาทำการตกแต่งอย่างเดียว ขั้นตอนการย้อมผ้าถักอธิบายได้ดังนี้

2.1 ขั้นตอนการเตรียมผ้า

ผ้าคืบถูกจัดใส่รถเข็นไว้เป็นเบตซ์ เพื่อเตรียมเข้าเครื่องชุบมันเพื่อทำให้ผ้าเกิดความเงามันและประหยัคสีได้ (ผ้าที่ผ่านการชุบมันจะติดสีมากกว่าผ้าที่ไม่ผ่านการชุบมัน ประมาณ 30-40%)

2.2 ขั้นตอนการฟอก/ย้อม

หลังจากผ่านเครื่องชุบมันแล้วนำผ้าเข้าเครื่องย้อมแบบเบทซ์ชนิด rapid jet โดยในเครื่องนี้ จะมีการฟอกผ้าก่อนเพื่อให้มีความขาวขึ้น แล้วจึงย้อมสีได้ ซึ่งการทำงานของเครื่องย้อมจะเหมือนกับการย้อมผ้าทอ แตกต่างกันตรงที่การย้อมผ้าทอมีขั้นตอนการฟอกและซักล้างก่อน โดยไม่ต้องมาฟอกในเครื่องย้อมอีกครั้ง

2.3 ขั้นตอนการอบแห้ง

ผ้าหลังจากออกจากเครื่องฟอก/ย้อมแล้วจะนำไปเข้าเครื่องสลัดน้ำและเครื่องคลี่ผ้าใส่ลงรถเข็นเป็นเบทซ์ แล้วนำไปเข้าเครื่องอบแห้ง

2.4 ขั้นตอนการตกแต่ง

เมื่ออบแห้งแล้ว นำผ้าเข้าเครื่องทำการตกแต่งผ้า เช่นมีการลงเคมีเพื่อให้ได้ลักษณะที่ต้องการ ขั้นตอนนี้ใช้น้ำน้อยมากและน้ำส่วนใหญ่จะติดไปกับผ้า

2.5 ขั้นตอนการอบแห้งหลังจากการตกแต่งผ้า

หลังจากทำการตกแต่งแล้ว จะต้องนำผ้าไปอบแห้งอีกครั้ง

2.6 ขั้นตอนการอบเข้าที่ (cureing)

เป็นการอบเพื่อให้เคมี เรซิน ไม่เกิดปฏิกิริยากับเส้นใย ทำให้ผ้าคงรูปขึ้น

2.7 ขั้นตอนการตรวจสอบและบรรจุ

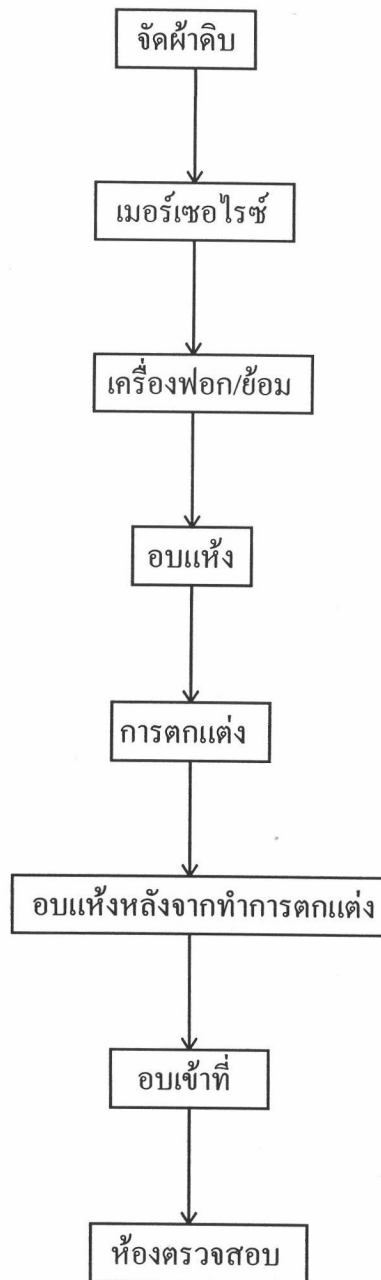
ทำเช่นเดียวกันกับการย้อมผ้าทอ รูปที่ 2.13 แสดงขั้นตอนการย้อมผ้าถัก

3. เส้นด้าย

มีขั้นตอนการย้อมดังนี้

3.1 การเตรียมเส้นด้าย

ด้ายจะถูกนำไปเปลี่ยนแกนจากแกนพลาสติกเป็นแกนเหล็กที่มีไว้สำหรับเข้าเครื่องย้อม จากนั้นนำด้ายไปชั่งน้ำหนักให้ได้ตามขนาดของเครื่องย้อม แล้วนำหลอดด้ายที่ชั่งแล้วไปบรรจุในแครีเออร์(carrier)



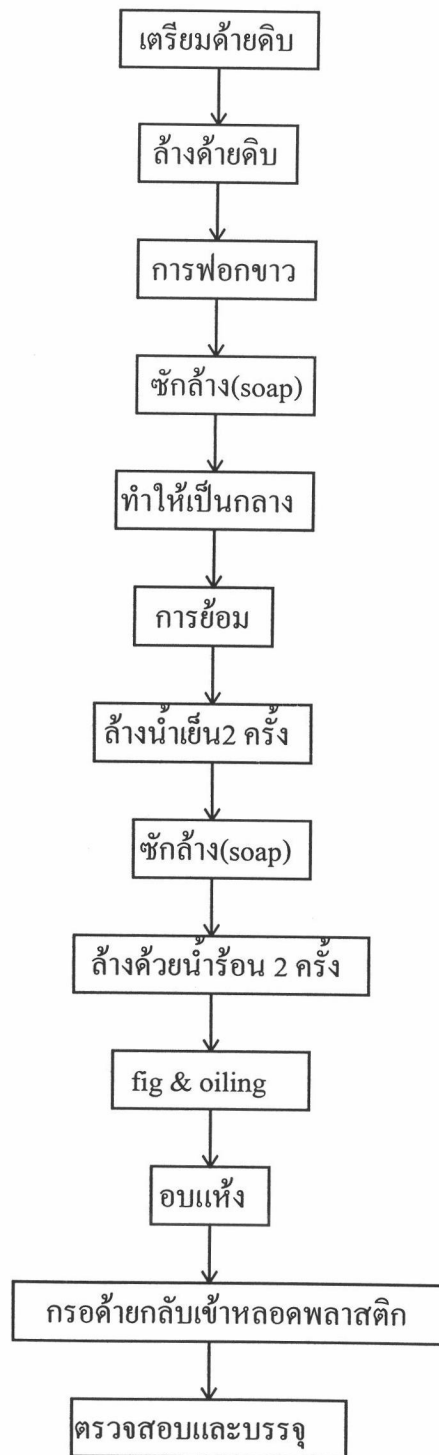
รูปที่ 2.13 ขั้นตอนการย้อมผ้าสัก

3.2 การฟอก/ย้อม

ยกแกนแคเรียเจอร์ใส่ลงไปในเครื่องย้อมแบตช์ ซึ่งมีขนาดแตกต่างกันตามน้ำหนักของด้ายที่ซั้่งไว้ เช่น ขนาด 216, 144, 100, 84, 50, 25 และ 6 กก.เป็นต้น รูปที่ 2.14 แสดงขั้นตอนการฟอก/ย้อมเส้นด้าย

3.3 อบแห้ง

เมื่อซ่อมด้ายเสร็จแล้วจะยกแกนแครี่เออร์ออกจากเครื่องซ่อม ไปเข้าเครื่องอบแห้ง



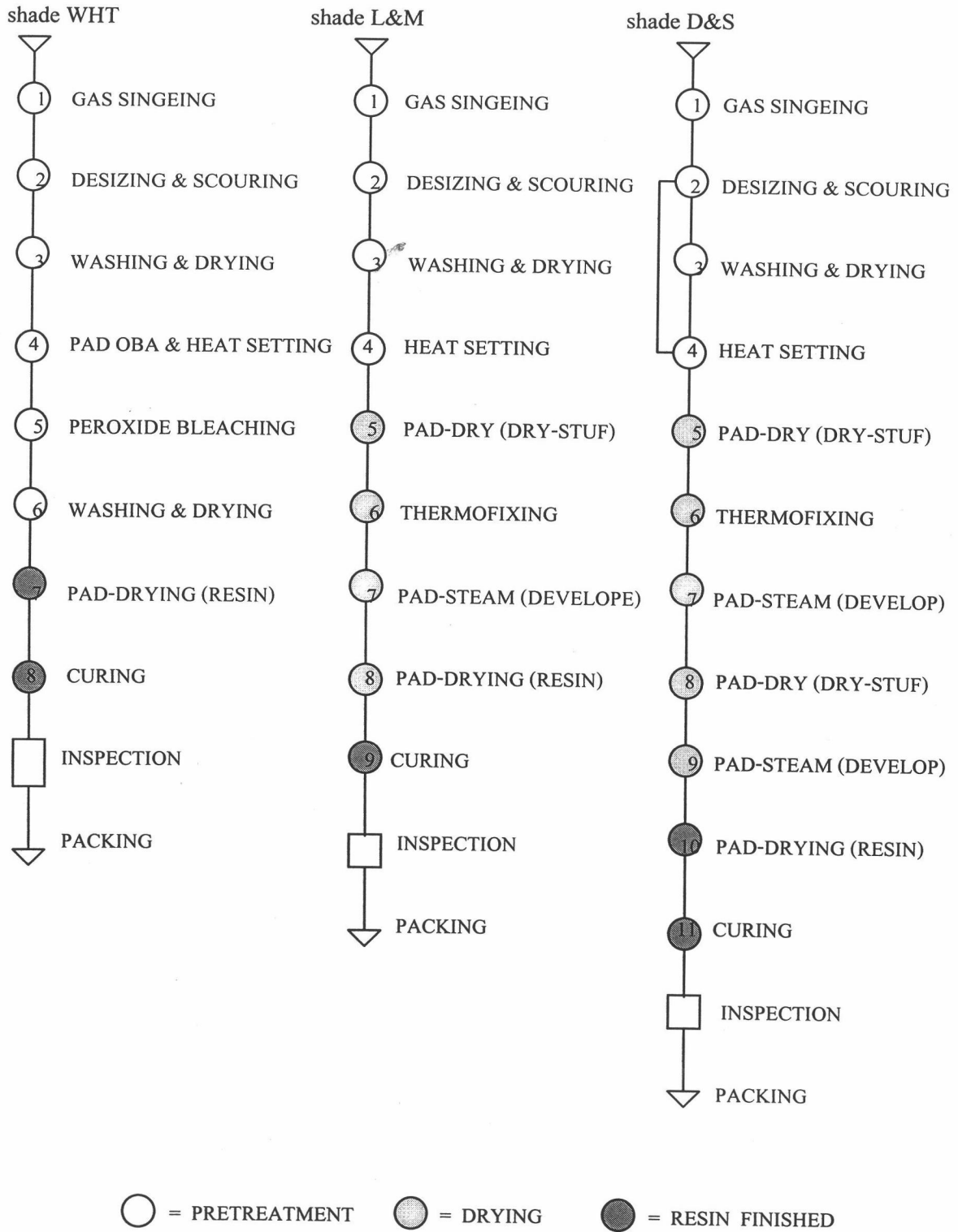
รูปที่ 2.14 ขั้นตอนการซ่อมเส้นด้าย

3.4 กรอด้ยกลับเข้าหลอดพลาสติกและบรรจุ

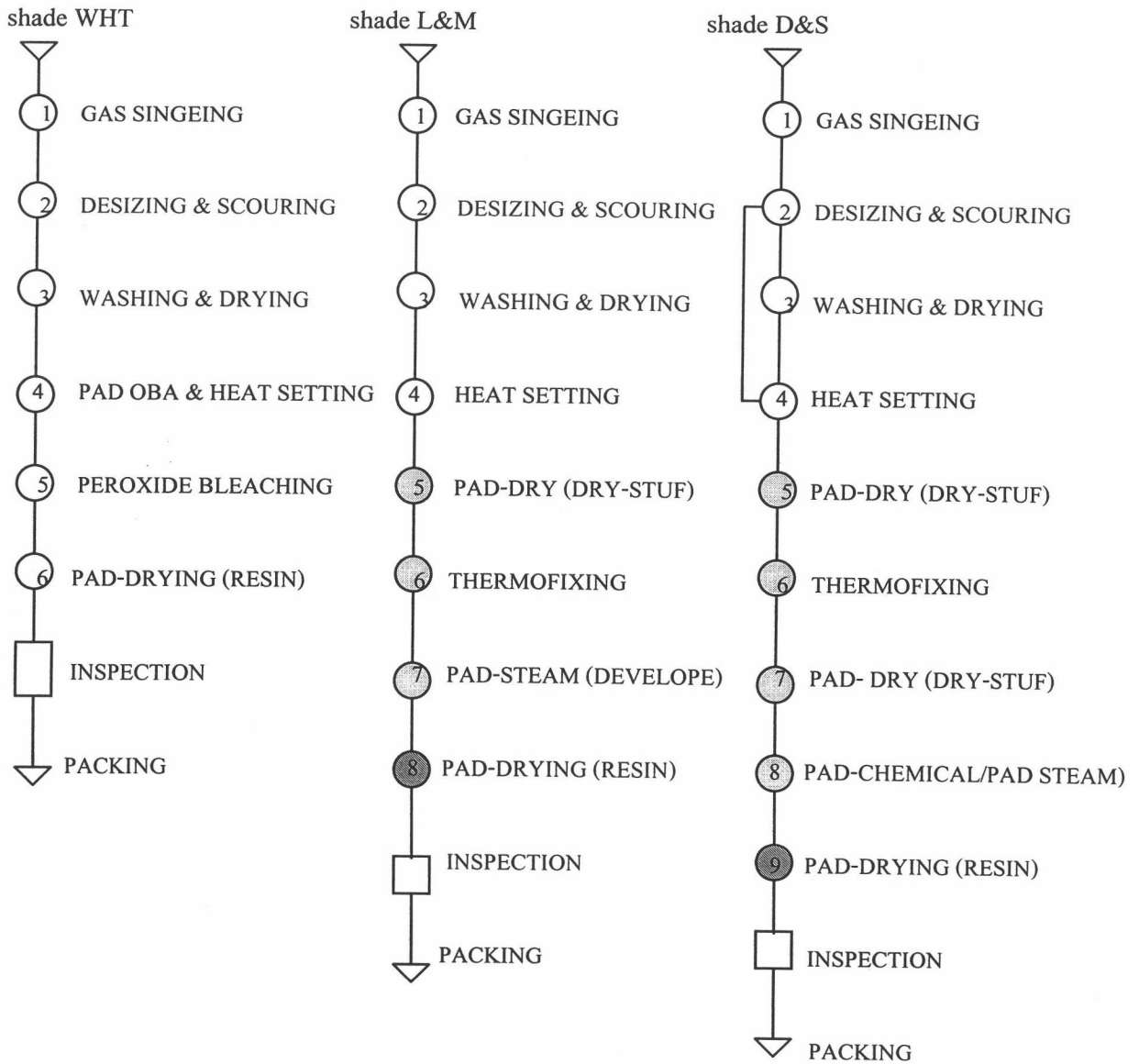
นำด้ยที่อบแห้งแล้วไปเข้าเครื่องกรอด้ยเพื่อกรอด้ยกลับเข้าหลอดพลาสติกเหมือน เดิม เพื่อเตรียมบรรจุส่งให้ลูกค้า แต่จะต้องผ่านการตรวจสอบก่อน

4. การข้อมฝ้ายปั่นแบบต่อเนื่อง

สำหรับขั้นตอนการข้อมฝ้ายปั่นแบบต่อเนื่องส่วนใหญ่ได้เขียนอธิบายรายละเอียดไว้ในตอนต้นของบทนี้แล้ว ในที่นี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการข้อมฝ้ายบางประเภท เช่น ฝ้ายฝ้าย ฝ้ายโพลีเอสเตอร์ผสมฝ้าย (P/C) และ ฝ้ายโพลีเอสเตอร์ผสมเรยอน(P/R) โดยจะเขียนเป็นไดอะแกรมแยกตามประเภทของฝ้าย ดังรูปที่ 2.15 ถึง 2.18

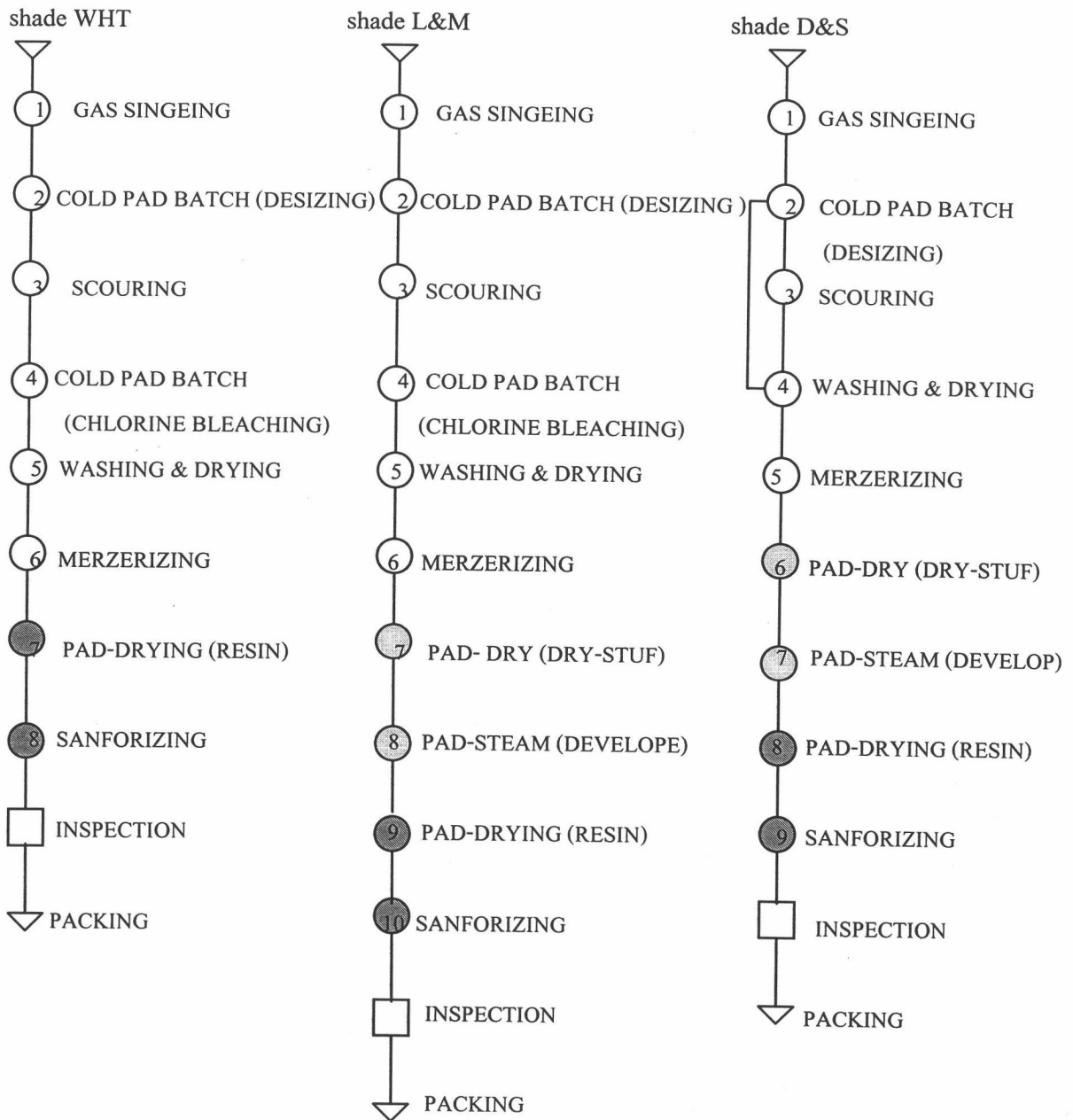


รูปที่ 2.15 ขั้นตอนการย้อมผ้าโพรีเอสเตอร์ผสมเรยอน(P/R)ชนิดหนา

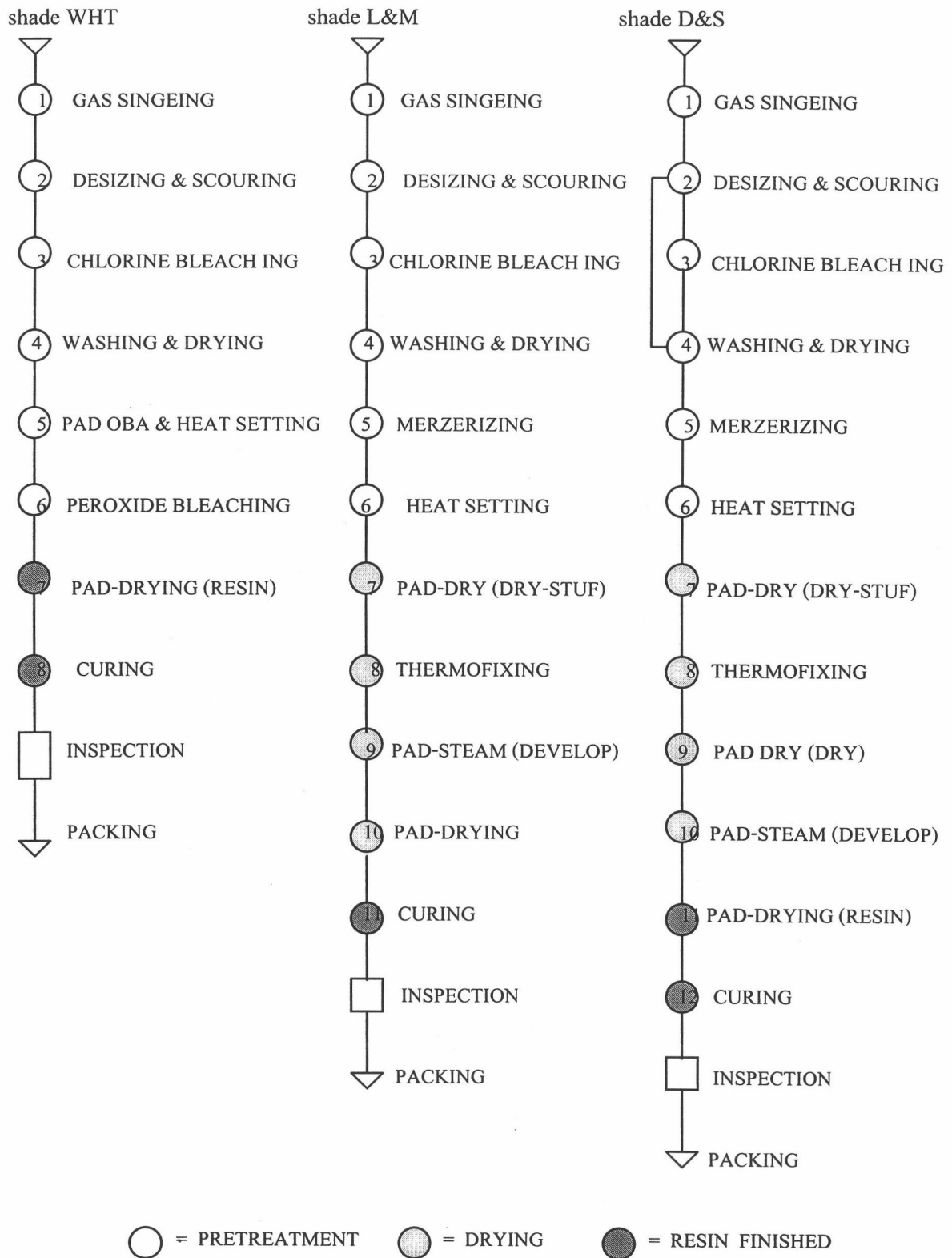


○ = PRETREATMENT ◐ = DRYING ● = RESIN FINISHED

รูปที่ 2.16 ขั้นตอนการย้อมผ้าโพรีเอสเตอร์ผสมเรยอน(P/R)ชนิดบาง



รูปที่ 2.17 ขั้นตอนการย้อมผ้าฝ้าย 100 % ชนิดหนา



รูปที่ 2.18 ขั้นตอนการย้อมผ้าฝ้าย 100% ชนิดบาง

2.2 การศึกษาการวัดสี

นักวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับงานสี โดยตรงได้ศึกษาเกี่ยวกับเรื่องสี ทำให้มนุษย์สามารถเข้าใจและรับรู้เกี่ยวกับสีได้ระดับหนึ่งและสามารถนำมาใช้งานที่เกี่ยวข้องได้เป็นอย่างดี เช่นงานเทียบสีของน้ำมันพืช งานเทียบสีของการย้อมผ้า เป็นต้น สำหรับการศึกษเกี่ยวกับสีในประเทศไทยนั้นยังไม่มีการศึกษาเท่าที่ควร โดยเฉพาะสีที่เกิดจากน้ำเสียอุตสาหกรรม ซึ่งกรมโรงงานอุตสาหกรรมได้มีประกาศบังคับใช้แก่โรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป เกี่ยวกับการระบายน้ำทิ้งออกจากโรงงานได้กำหนดว่า “สีหรือกลิ่นของน้ำทิ้งเมื่อระบายลงสู่ลำน้ำสาธารณะแล้ว ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ” (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2525) ซึ่งข้อความนี้มักทำให้เกิดปัญหาเนื่องจากการวินิจฉัยด้วยสายตา ซึ่งไม่มีหลักเกณฑ์แน่นอน ที่จะกำหนดว่าที่ความเข้มสีปริมาณเท่าใดจึงจะถือว่าไม่เป็นที่พึงรังเกียจ

เรื่องการวัดสีที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้ ประกอบไปด้วยขั้นตอนในการพัฒนาความคิดเกี่ยวกับสี จนถึงหน่วยวัดสีเอดีเอ็มไอ ซึ่งเป็นหน่วยวัดสีของน้ำเสียที่ให้ความหมายชัดเจนและแม่นยำที่สุดในปัจจุบัน

2.2.1 สีและการเห็นสี

“สี” เป็นสิ่งที่มีลักษณะพิเศษที่รับรู้ได้โดยความรู้สึกรับรู้ของบุคคลหนึ่งๆ และสามารถบรรยายให้ผู้อื่นรับรู้ได้คร่าวๆ โดยการเรียกชื่อนั้นๆ การเห็นสีจะเกิดขึ้นได้ต่อเมื่อมีองค์ประกอบ 4 ประการด้วยกันคือ แสง วัตถุสี นัยน์ตาของผู้เห็นสี (ที่ตาไม่บอดสี) และสมองที่จะวิเคราะห์และตีความของสีนั้นๆ (Chamberlin และ Chamberlin, 1980 อ้างโดย ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2526)

นอกจากนี้ถ้าปราศจากแสงก็จะทำให้ไม่เห็นสี สำหรับช่วงคลื่นแสงที่ตามองเห็นได้จะอยู่ในช่วงคลื่นแสงประมาณ 400-700 นาโนเมตร การที่เรามองเห็นวัตถุหนึ่งๆเป็นสีต่างๆนั้นเพราะวัตถุนั้นดูดกลืนเอาแสงที่มีความยาวคลื่นช่วงหนึ่งไว้ และสะท้อนแต่แสงที่มีความยาวคลื่นอื่นๆออกมา ยกตัวอย่างเช่น ผิวมะเขือเทศสุกจะดูดเอาแถบแสงที่มีช่วงคลื่นความยาวสั้นๆ (น้ำเงินและเขียว) ไว้และสะท้อนแต่แถบที่มีความยาวคลื่นยาวๆ(สีแดงหรือแสด)ออกมา ตาจึงมองเห็นผิวมะเขือเทศสุกเป็นสีแดงอมส้ม เป็นต้น แต่การกล่าวถึงสีต่างๆนั้น ถ้าจะบรรยายให้รู้ว่าการกล่าวถึงสีอะไร

อย่างชัดเจน จำต้องมีหน่วยวัดที่สามารถบอกออกมาเป็นเกณฑ์ทางวิทยาศาสตร์ที่เป็นรูปธรรมอย่างเด่นชัด (อติชาติ ปานเจริญ, 2527)

2.2.2 การวัดสี

ธงชัย พรรณสวัสดิ์ (2526) อ้างโดย อติชาติ ปานเจริญ (2527) ได้แบ่งการวัดสีได้ 2 ประเภทใหญ่ๆตามลักษณะของการวัดคือ

- การวัดสีที่เทียบกับสีมาตรฐาน
- การวัดสีโดยใช้เครื่องมือวัด

2.2.2.1 การวัดสีเทียบกับสีมาตรฐาน

วิธีนี้ใช้ความรู้สึกละเอียดของบุคคลเข้ามาเกี่ยวข้อง การวัดสีโดยการเทียบสีกับมาตรฐาน กระทำกันบ้างในงานทางแหล่งน้ำ สีมาตรฐานนี้ถูกกำหนดขึ้นโดยสมาคมสาธารณสุขแห่งอเมริกา (American Public Health Association, APHA) สารละลายมาตรฐานดังกล่าวเตรียมได้โดยใช้โปตัสเซียมคลอโรแพลตทินेट (K_2PtCl_6) และโคบอลต์คลอไรด์ ($CoCl_2 \cdot 6H_2O$) ที่ความเข้มข้นต่างๆกัน ซึ่งจะมีสีโทนเหลืองคล้ายกับสีของแหล่งน้ำธรรมชาติ จึงเหมาะกับการนำไปใช้งานแหล่งน้ำโดยตรง สำหรับงานที่เกี่ยวกับสีของน้ำเสียจากอุตสาหกรรม โดยเฉพาะโรงงานฟอกย้อมซึ่งมีสีของน้ำเสียออกมาหลายโทนสี ทำให้การวัดสีโดยวิธีนี้ไม่สามารถกระทำได้

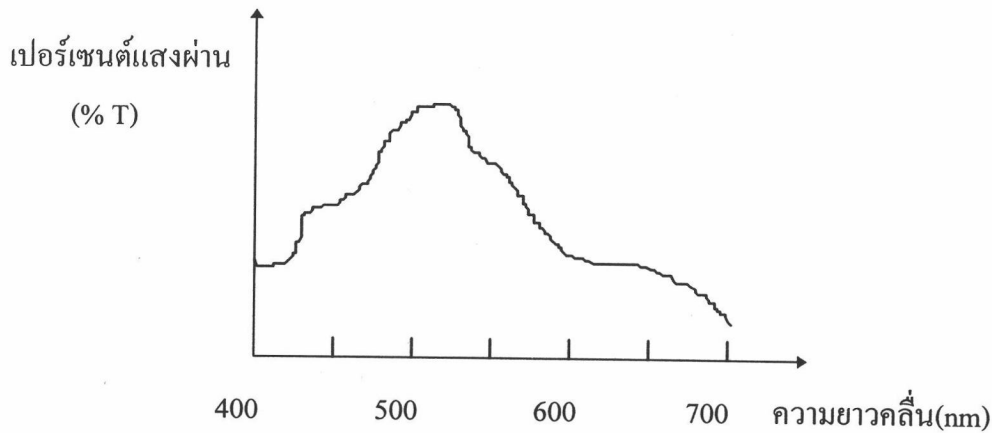
2.2.2.2 การวัดสีโดยใช้เครื่องมือวัด แบ่งออกเป็น 2 วิธีด้วยกัน คือ

1. การวัดสีด้วยอัตราแสงผ่าน
2. การวัดสีด้วยการผสมแม่สีมาตรฐาน 3 สี

1. การวัดสีด้วยการวัดอัตราแสงผ่าน

การวัดสีด้วยอัตราแสงผ่านนี้ปรกติแล้วจะทำการวัดด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ เพื่อหาค่าเปอร์เซ็นต์แสงผ่าน(transmittance)ที่ความยาวคลื่นต่างๆ ตั้งแต่ 400-700 นาโนเมตร การวัดสีวิธีนี้จะมีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้นถ้าทำการวัดเปอร์เซ็นต์แสงผ่านที่ความยาวคลื่นในช่วงถึงขั้น การวัดด้วยวิธีนี้จะแสดงออกมาด้วยรูปภาพ ดังแสดงในรูปที่ 2.19 เมื่อได้ค่าเปอร์

เซนต์แสงผ่านแล้ว สามารถแปลงไปเป็นหน่วยสากลซึ่งรู้จักในชื่อหน่วยซีไอไอได้ โดยนำค่าไปคำนวณโดยใช้ตารางที่ 2.5 เป็นฐาน นอกจากนั้นยังสามารถแสดงค่าสีในหน่วยที่ชื่อว่า Space Unit (SU) ได้อีกวิธีหนึ่ง(Eckenfelder และคณะ, 1992) โดยการคำนวณจากพื้นที่ใต้กราฟระหว่างค่าแอบซอร์เบ้นซ์กับความยาวคลื่น(นาโนเมตร)



รูปที่ 2.19 ตัวอย่างการวัดสีด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2526 อ้างโดย อติชาติ ปานเจริญ, 2527)

2. การวัดสีโดยการผสมแม่สีมาตรฐาน 3 สี

การวัดสีด้วยวิธีนี้อาศัยหลักการที่ว่า สีใดๆก็ตามที่ตามนุษย์มองเห็นสามารถสร้างเลียนแบบขึ้นมาได้โดยการใช้แม่สีมาตรฐาน 3 สี ผสมกันในอัตราส่วนต่างๆ ที่เหมาะสม แบ่งออกได้เป็น 2 ระบบ ถ้าเป็นระบบการผสมเชิงบวกของแสงสี(additive mixture of lights) แม่สีทั้งสามนี้ประกอบด้วย แสงสีแดง (red), เขียว(green) และน้ำเงิน(blue) ถ้าเป็นระบบเชิงลบของสารสี (subtractive mixture of pigments)แม่สีทั้งสามนี้จะเป็น สีบานเย็น (magenta), สีน้ำเงิน(cyan), และสีเหลือง(yellow) (Chamberlin และ Chamberlin, 1980 อ้างโดย ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2526)

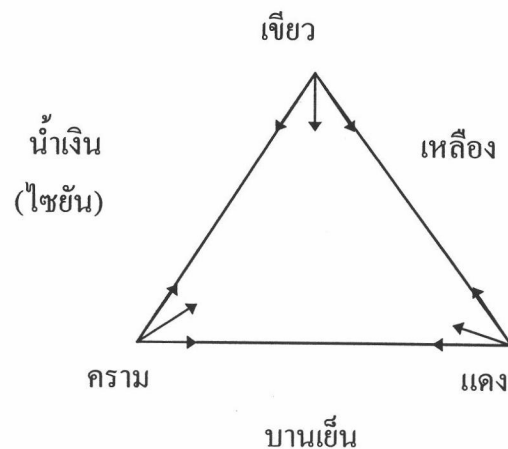
เครื่องมือที่ทำการวัดสีโดยอาศัยการผสมแม่สีมาตรฐาน 3 สี มีชื่อว่าอุปกรณ์ทินโทมิเตอร์ ผลิตโดยบริษัทโลวิบอนด์ ในประเทศอังกฤษ ซึ่งในต่างประเทศรู้จักกันแพร่หลายนานพอสมควร แต่ในประเทศไทยเพิ่งจะมีการนำเข้ามาเมื่อไม่นาน ซึ่งอุปกรณ์นี้เป็นเครื่องเทียบสี จึงจำเป็น

ต้องมีผู้สังเกตหรือผู้อ่านสีมาร่วมในการเทียบสีด้วย การวัดสีทำได้โดยการใช้หลักการผสมแม่สี 2 สีใน 3 สี กับการปรับความสว่างในการมอง เพื่อให้ได้สีเหมือนกับตัวอย่างที่นำมาวัด (อดิชาติ ปานเจริญ, 2527)

2.2.3 การพัฒนาการวัดสีไปเป็นหน่วยสากล ซีไออี

ในสมัยก่อนได้ใช้กฎเกณฑ์อย่างหยาบๆในการอ้างอิงเกี่ยวกับเรื่องสี เช่น สีครีม สีเปลือกมังคุด สีหมากสุก เป็นต้น แต่การอ้างอิงมาตรฐานหรือนิยามดังกล่าวนี้ไม่พอเพียงแก่การวิเคราะห์และวินิจฉัยทางวิศวกรรม ทำให้จำเป็นต้องหาหน่วยวัดสีที่เป็นรูปธรรมอย่างเด่นชัด และก่อให้เกิดความเข้าใจกันและกันได้ถ่องแท้มากกว่านี้ขึ้นมาใหม่ (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2526)

แมกซ์เวลล์ได้ให้หลักการเกี่ยวกับการบรรยายสีขึ้นมา โดยใช้สามเหลี่ยมแมกซ์เวลล์เป็นเครื่องมือในการบ่งบอกลักษณะสี (ดูรูปที่ 2.20)



รูปที่ 2.20 ทฤษฎีสามเหลี่ยมแมกซ์เวลล์
(ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2526)

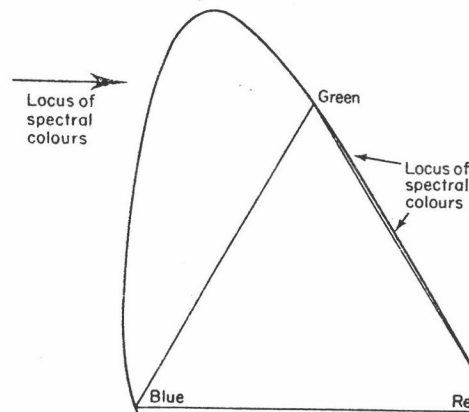
ตาราง 2.5 การเปลี่ยนค่าอัตราแสงผ่านเป็นหน่วยซีไออี (CIE) (Allen W. et.al.(1973))

wave length nm.	%T	X		Y		Z	
		Factor	%T x Fact..	Factor	%T x Factor	Factor	%T x Fact..
400		0.00108		0.00002		0.00513	
410		0.00329		0.00009		0.01570	
420		0.01238		0.00003		0.05949	
430		0.02997		0.00122		0.14628	
440		0.03975		0.00262		0.19938	
450		0.03915		0.00443		0.20638	
460		0.03362		0.00694		0.19299	
470		0.02272		0.01058		0.14972	
480		0.01112		0.01618		0.09461	
490		0.00363		0.02358		0.05274	
500		0.00052		0.03401		0.02864	
510		0.00089		0.04833		0.01520	
520		0.00579		0.06462		0.00712	
530		0.01523		0.07934		0.00388	
540		0.02785		0.09149		0.00195	
550		0.04282		0.09832		0.00086	
560		0.05880		0.09841		0.00039	
570		0.07322		0.07992		0.00020	
580		0.08417		0.06627		0.00016	
590		0.08984		0.05316		0.00010	
600		0.08949		0.04176		0.00007	
610		0.08325		0.03153		0.00002	
620		0.07070		0.02190		0.00002	
630		0.05309		0.01443		0.00000	0.00
640		0.03693		0.00886		0.00000	0.00
650		0.02349		0.00504		0.00000	0.00
660		0.01361		0.00259		0.00000	0.00
670		0.00708		0.00134		0.00000	0.00
680		0.00369		0.00062		0.00000	0.00
690		0.00171		0.00062		0.00000	0.00
700		0.00156		0.00056		0.00000	0.00
		X = Sum =		Y = Sum =		Z = Sum =	

ในสามเหลี่ยมนี้จะกำหนดให้แม่สีเชิงบวกอยู่ที่ปลายแหลมหรือมุมทั้งสาม และมีแม่สีเชิงลบอยู่ตามด้านของสามเหลี่ยม โดยแม่สีเชิงลบจะเกิดขึ้นจากการผสมของแม่สีเชิงบวกในแต่ละด้านนั้นๆ ทั้งนี้ความเข้มข้นของสีทุกชนิดทั้งแม่สีลบและบวกจะค่อยๆ ลดลงเมื่อวิ่งเข้าสู่ศูนย์กลางของสามเหลี่ยมซึ่งเป็นสีขาว การลดลงของความเข้มข้นของสีเกิดขึ้นจากอิทธิพลของการเจือจางด้วยสีขาวที่มีมากขึ้นตามลำดับ เมื่อวิ่งเข้าสู่ศูนย์กลางดังกล่าว ซึ่งจุดใดๆ ภายในบริเวณสามเหลี่ยมนี้ แสดงความเป็นสีหนึ่งๆ ได้อย่างไม่มีการเปลี่ยนแปลง (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2526)

ข้อเสียของทฤษฎีแมกซ์เวลล์ก็คือ จากสามเหลี่ยมนี้เรายังไม่สามารถแสดงความรู้สึกของสีได้อย่างถี่ถ้วน เพราะยังขาดมาตรการการวัดสีอีกมิติหนึ่ง มิติที่ว่านี้คือ ความจ้าของสี (brightness) ซึ่งถูกกำหนดให้ตั้งฉากกับระนาบของสามเหลี่ยม ความจ้าของสีนี้จะป็นหน่วยวัดอีกหน่วยหนึ่งที่บ่งแสดงให้เห็นความเป็นสีได้ชัดเจนขึ้น ในกรณีของวัตถุที่ไม่เรืองแสง ความจ้านี้คือ “ความสว่าง” (lightness) ของสีนั่นเอง สีที่มีความสว่างมากจะเป็นสีที่มี “ชีวิตชีวา” มากกว่าสีที่มีความสว่างน้อย ความจ้าของสีนั้นมักจะเทียบกันในสเกลของสีขาวและสีดำ โดยถือว่าสีขาวมีความจ้ามากที่สุดและสีดำไม่มีความจ้า ซึ่งสามารถวัดได้โดยเทียบกับฟิสิกส์ขาวที่ให้ความจ้าต่อเซลล์แสงไฟฟ้า (photoelectric cell) โดยถือว่าฟิสิกส์ขาวจะให้ความจ้าเท่ากับร้อยละ 100 (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2526)

จากการทดลองใช้แถบแสงของแม่สี R, B และ G ผสมกันปรากฏผลลัพธ์ที่ไม่เป็นไปตามรูปสามเหลี่ยมแมกซ์เวลล์ กล่าวคือจะมีค่าสีหลายค่าเมื่อผสมด้วยแม่สีในอัตราส่วนต่างๆ แล้วจะเกิดสีที่มีความเข้มอยู่นอกเขตของสามเหลี่ยมแมกซ์เวลล์ออกไป แต่ยังคงอยู่ในขอบเขตของเส้นโค้งที่เรียกว่า Locus of Spectral Colour ที่คลุมรอบสามเหลี่ยมแมกซ์เวลล์อีกทีหนึ่ง ดังรูปที่ 2.21



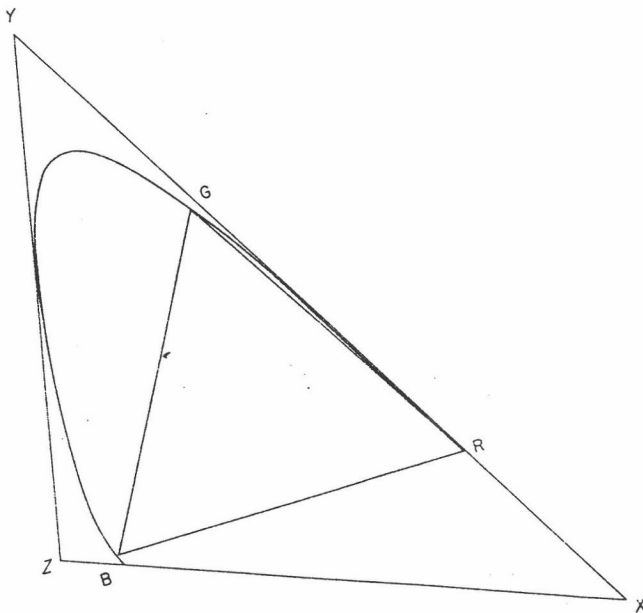
รูปที่ 2.21 แสดงค่าขอบเขตการผสมสีของแม่สีทั้งสาม

(Chamberlin และ Chamberlin, 1980)

ดังนั้นถ้าใช้สามเหลี่ยมแมกซ์เวลล์ RGB เดิมเป็นเส้นอ้างอิง ค่าบางค่าของแถบแม่สี โดยเฉพาะสี B และ R จะต้องเป็นค่าลบ ด้วยเหตุนี้จึงได้ตั้งสามเหลี่ยมสมมติ XYZ ขึ้นมาใหม่โดยมี X, Y และ Z เป็นแม่สีสมมติอยู่ที่ยอดของสามเหลี่ยมใหม่ (ดูรูปที่ 2.22) วิธีนี้จะทำให้ค่าแม่สีอันใหม่เรียกว่า “ค่าสิ่งกระตุ้นให้เห็นสีสามค่า” (tristimulus values) X, Y และ Z จะมีค่าบวกตลอดเวลา (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2526)

แม้ว่าปรับค่าสามเหลี่ยมแมกซ์เวลล์มาเป็นสามเหลี่ยม XYZ แล้วก็ตาม ยังคงแสดงสีได้แค่ 2 มิติ ต่อมาเมื่อองค์กรนานาชาติที่ยอมรับว่าเป็นองค์กรหลักในเรื่องราวต่างๆเกี่ยวกับสีคือ The Commission Internationale de L'Eclairage (CIE) ได้จัดประชุมและตกลงกันให้นำความรู้ทางคณิตศาสตร์ซึ่งเป็นรูปธรรมมาช่วยในการบรรยายความเป็นสีที่เป็นนามธรรม และตั้งหน่วยสากลซีไออีขึ้น (ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 2526)

หลักเกณฑ์การวัดสีหน่วยซีไออี เป็นการวัดในลักษณะ 3 มิติ คือมีทั้งสีที่เห็นอันเกิดจากการผสมของแม่สี 2 สี (แสดงได้ใน 2 มิติ) และความจ้าของสี (อีก 1 มิติ)รวมเข้าด้วยกัน การบรรยายสีในวิธีนี้อาศัยหลักการดั้งเดิมของทฤษฎีสามเหลี่ยมแมกซ์เวลล์มาดัดแปลงให้เข้ากับสภาพความเป็นจริงที่ค้นพบจากการทดลอง ดังแสดงไว้หายบายๆในรูปที่ 2.22



สามเหลี่ยม RGB คือสามเหลี่ยมแมกซ์เวลล์เดิมที่มีสีคราม, เขียว และแดง เป็นแม่สีเชิงบวก สามเหลี่ยม XYZ เป็นสามเหลี่ยมที่พัฒนาจากสามเหลี่ยมแมกซ์เวลล์

รูปที่ 2.22 สามเหลี่ยม XYZ ที่พัฒนาจากสามเหลี่ยมแมกซ์เวลล์

(Chamberlin และ Chamberlin, 1980)

และมีการตกลงกันต่อไปว่า การพิจารณาการมีแสง (luminosity) หรือความจ้า (brightness) ซึ่งเป็นอีกมิติหนึ่งจะนำค่าไปวัดให้เท่ากับสี Y หรือสีเขียวเกินเข้มอิม (supersaturated green) ส่วนสี X หรือสีแดงเข้มเกินอิม และสี Z หรือสีครามเข้มเกินอิมนั้น กำหนดให้พิจารณาเฉพาะด้านสีแต่เพียงอย่างเดียว ยังบ่งบอกถึงความจ้าหรือความทึบของตัวอย่างด้วย การระบุค่าของสีใดๆจึงสามารถระบุค่าสีนั้นๆที่ชัดเจนได้โดยการระบุว่าสีนั้นมีค่า tristimulus values X,Y,Z เท่าไร

ในบางครั้งเพื่อความสะดวกในการนำไปวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์หรือนำค่ามาแสดงในทอม 2 มิติ จึงได้กำหนดค่า x,y,z ซึ่งเรียกว่า chromaticity coordinates ขึ้นมา โดยกำหนดให้

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}$$

$$y = \frac{Y}{X+Y+Z}$$

$$z = \frac{Z}{X+Y+Z}$$

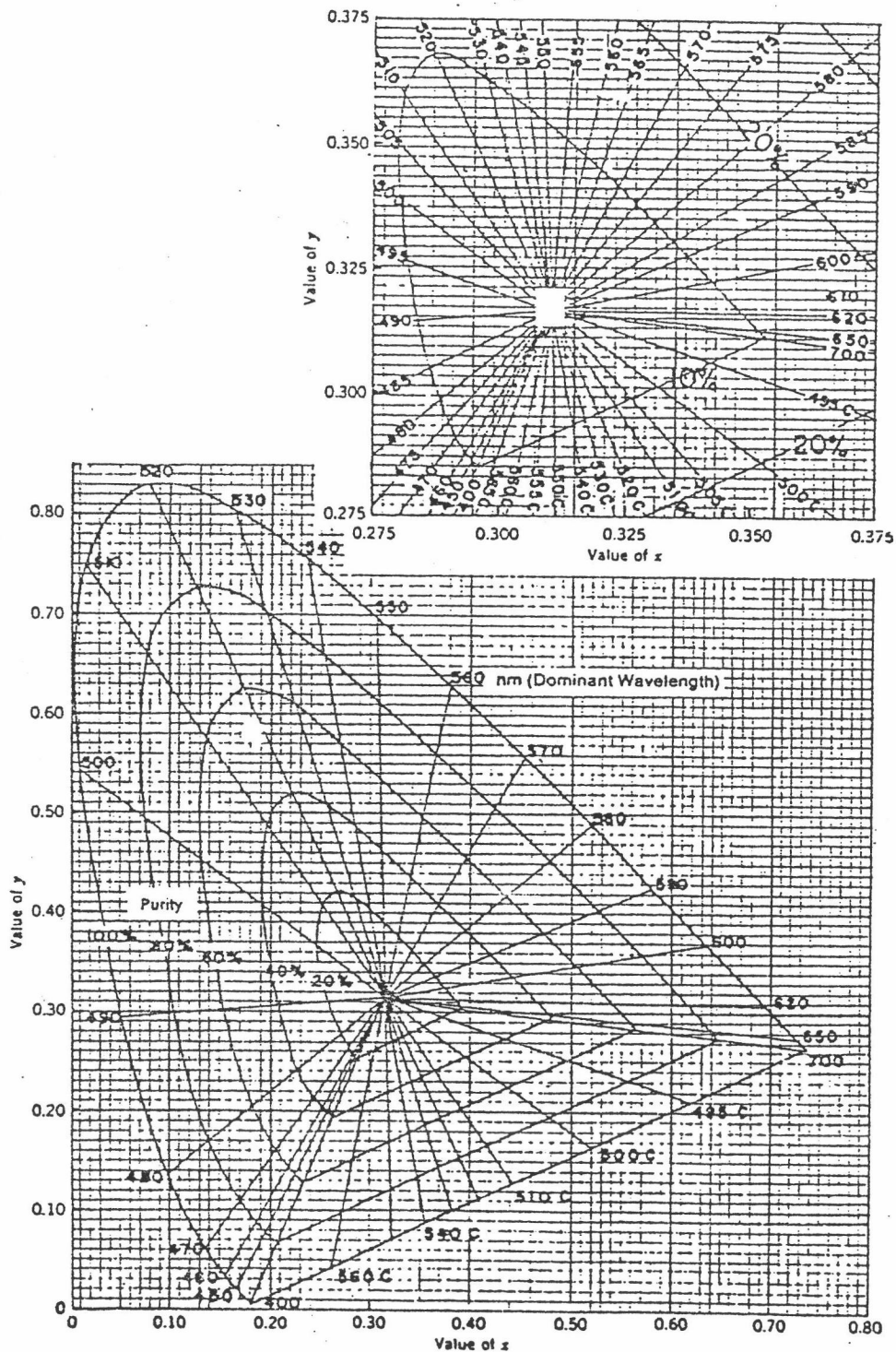
$$\text{และ } x+y+z = 1.0$$

ดังนั้น x,y,z จะเป็นสัดส่วนกับ X,Y,Z และสองค่าใดๆของ x,y,z ได้แก่ xy, yz, zx จะให้ความรู้สึกของโทนสีและความอิมสี โดยมี Y เป็นค่าแสดงความจ้าของตัวอย่าง แต่ถ้า X,Y,Z มีการเปลี่ยนค่า แต่ยังคงเป็นสัดส่วนกันอยู่ สีจะคงเป็นสีเดิมแต่จะแตกต่างกันตรงที่ความจ้า ค่า chromaticity coordinates มักจะแสดงในรูปของค่า x,y ดังแสดงในรูปที่ 2.23

สรุปการวัดสีโดยให้ค่าแสงอยู่ในหน่วยสากลซีไออี จะต้องบ่งบอกค่าของสีในรูปของ X,Y,Z หรือในรูปของ x,y,z (Health อ้างโดย อติชาติ ปานเจริญ , 2527)

การวัดสีด้วยวิธีต่างๆ จะถือว่าการวัดค่าสีเป็นไปอย่างสมบูรณ์ ผลลัพธ์จะต้องสามารถแปลงค่าเข้าหน่วยสากล ซีไออี ได้ โดยปรกติเครื่องมือที่ใช้วัดค่าสี, ในงานวิเคราะห์หวัจยทางด้านวิศวกรรมมักจะใช้เครื่องเปกโตรโฟโตมิเตอร์ และเครื่องวัดสีทีนโทมิเตอร์ ซึ่งเครื่องมือวัดสีทั้งสอง

ชนิดนี้จะมีวิธีการวัดและการให้ค่าออกมาในรูปแบบเฉพาะตัว เมื่อจะนำค่าสีไปใช้งานต่อจำเป็นต้องเปลี่ยนค่าที่วัดได้ไปสู่หน่วยสากล ซีไออี



รูปที่ 2.23 แผนภาพสี (Chromaticity Diagram)

(Chamberlin และ Chamberlin, 1980)

2.2.4 การแปลงค่าหน่วยสี ซีไออี เป็นหน่วย เอดีเอ็มไอ

ธงชัย พรรณสวัสดิ์ (2526) อ้างโดย อติชาติ ปานเจริญ (2527) กล่าวว่า “การวัดค่าสีด้วยเครื่องมือต่างๆ และเปลี่ยนเข้าสู่หน่วยซีไออี ถือเป็นวิธีการวัดสีที่เชื่อถือได้และสมบูรณ์แล้ว ซึ่งสามารถอ้างอิงกลับมาเป็นสีเดิมได้ทุกครั้งโดยไม่ผิดพลาด แต่สำหรับงานด้านการกำจัดสีของน้ำเสียแล้วยังไม่เพียงพอ เพราะถ้านำค่าสีในหน่วยซีไออีมาใช้ในงานจะเกิดปัญหายุ่งยาก เพราะค่าสีหนึ่งๆ แสดงตัวเลขถึง 3 ค่า ดังนั้นถ้าต้องการเปรียบเทียบค่าของสี 2 สี ก็จะมีตัวเลขด้วยกัน 6 ค่า ทำให้ไม่สามารถนำค่าดังกล่าวมาเปรียบเทียบกันได้”

สำหรับการเปลี่ยนค่าสีในหน่วยซีไออี มาเป็นหน่วย เอดีเอ็มไอ มีขั้นตอนยุ่งยาก และซับซ้อนพอควร แต่สรุปโดยย่อและจัดรูปเป็นสูตรให้ง่ายขึ้น ดังนี้

เมื่อทราบค่าสีในหน่วยซีไออี คือ X,Y และ Z จะต้องเปลี่ยนค่า X,Y,Z เป็นค่ามันเชลล์ (Munsell Value) V_x , V_y , V_z เสียก่อนโดยสูตรของ McLaren (McLaren, 1967) อ้างโดย อติชาติ ปานเจริญ, 2527)

$$X = 0.98071(1.2219V_x - 0.23111V_x^2 + 0.23951V_x^3 - 0.021009V_x^4 + 0.0008404V_x^5)$$

$$Y = (1.2219V_y - 0.23111V_y^2 + 0.23951V_y^3 - 0.021009V_y^4 + 0.0008404V_y^5)$$

$$Z = 0.11822(1.2219V_z - 0.23111V_z^2 + 0.23951V_z^3 - 0.021009V_z^4 + 0.0008404V_z^5)$$

แต่การคำนวณหาค่า V_x , V_y , V_z ตามสมการข้างบนยุ่งยากมาก เพื่อความสะดวกจึงใช้ตารางสำเร็จรูปสำหรับหาค่า V_x , V_y , V_z เมื่อทราบค่า X,Y,Z แล้ว ตารางดังกล่าวนี้มีปริมาณมากจึงจะไม่ขอกว่าในที่นี่ แต่สามารถหาดูได้ใน “Color science : Concepts and Methods Quantitative Data and Formular” (Wyszecki และ Stiles, 1967)

จากนั้นจึงหาค่า DE จากสูตร

$$DE = [\{0.23(9.902-V_y)\}^2 + \{V_y - V_x - 0.002\}^2 + \{0.4(V_z - V_y - 0.008)\}^2]^{1/2}$$

และหาค่า ADMI จากสูตร

$$\text{ADMI} = (F/b) \cdot DE$$

โดย F เป็นค่าคงที่ ปรกติค่าเท่ากับ 1400 สำหรับเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่มีความไวสูง และมีค่าเท่ากับ 1600 สำหรับเครื่องเทียบสีทินโทมิเตอร์แบบ AF 751 (McLaren, 1970)

การหาค่าเอดีเอ็มไอปริมาณมากๆ ควรใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้าช่วย โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ดังแสดงในรูปที่ 2.24

110

DJS FORTRAN IV 360N-FO-479 3-8

MAINPGM

```

0001          WRITE (3,100)
0002          A = .12219E1
0003          B = .23111E0
0004          C = .23951E0
0005          D = .21009E-1
0006          E = .8404E-3
0007          1  READ(1,10,END=500) X,Y,Z,YY
0008          10  FORMAT(4F6.3)
0009          XX = X/Y*YY
0010          ZZ = Z/Y*YY
0011          VA =0.
0012          VX = 1.E-3
0013          15  VA = VA+VX
0014          XR = .98071*(A*VA-B*VA**2+C*VA**3-D*VA**4+E*VA**5)
0015          IF(XR.GE.XX) GO TO 25
0016          IF(VA.GT.10.) GO TO 200
0017          GO TO 15
0018          25  VB = 0.
0019          26  VB = VB+VX
0020          YR = 1.2219*VB-B*VB**2+C*VB**3-D*VB**4+E*VB**5
0021          IF (YR.GE.YY) GO TO 35
0022          IF (VB.GT.10.) GO TO 210
0023          GO TO 26
0024          35  VC =0.
0025          36  VC = VC+VX
0026          ZR = 1.18225*(A*VC-B*VC**2+C*VC**3-D*VC**4+E*VC**5)
0027          IF (ZR.GE.ZZ) GO TO 50
0028          IF (VC.GT.10) GO TO 220
0029          GO TO 36
0030          50  DE =( .23*(9.902-VB))**2+(VB-VA-.002)**2+(.4*(VC-VB-.008))**2
0031          DE = SQRT (DE)
0032          IF (DE-1.) 55,55,60
0033          55  ADMI = .14.3+449.6*DE-40.*DE**2
0034          GO TO 58
0035          60  ADMI = 295.9-85.1*DE+234.4*DE**2
0036          58  WRITE (3,80) X,Y,Z,YY,ADMI
0037          GO TO 1
0038          200 WRITE (3,110) X,Y,Z,YY
0039          GO TO 1
0040          210 WRITE (3,120) X,Y,Z,YY
0041          GO TO 1
0042          220 WRITE (3,130) X,Y,Z,YY
0043          500 STOP
0044          100 FORMAT(1H1/T25,'X',T35,'Y',T45,'Z',T55,'YY',T65,'ADMI'//)
0045          80  FORMAT (20X,5F10.3)
0046          110 FORMAT (5X,'VX IS OUT OF RANGE',5X,4F 12.3)
0047          120 FORMAT (5X,'VY IS OUT OF RANGE',5X,4F 12.3)
0048          130 FORMAT (5X,'VZ IS OUT OF RANGE',5X,4F 12.3)
0049          END

```

หมายเหตุ :- โปรแกรมนี้ใช้สำหรับการคำนวณหาดีอีจากหน่วยซีไออีได้ในทุกกรณี

แต่สำหรับการหาดีเอ็มไอจะใช้ได้กับเฉพาะอุปกรณ์หินโทมิเตอร์รุ่นแบบ AF 751

รูปที่ 2.24 โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการเปลี่ยนค่าของสีจากหน่วย ซีไออี เป็นหน่วย เอดีเอ็มไอ

2.3 การจำแนกวิธีการกำจัดสีจากน้ำเสียโรงฟอกย้อม

วิธีการกำจัดสีจากน้ำเสียโรงฟอกย้อมได้ถูกพัฒนาต่อกันมา จากเดิมซึ่งในโรงงานต่างๆไป มักจะใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย โดยในสมัยก่อนสีที่ถูกปล่อยออกมาจะมีปริมาณน้อยทำให้ยังไม่เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม แต่ในปัจจุบันอุตสาหกรรมสิ่งทอได้เพิ่มจำนวนมากขึ้นตามการเพิ่มประชากร อีกทั้งยังมีการพัฒนาเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการฟอกย้อมไม่ว่าจะเป็นเครื่องจักรที่ทันสมัย การเติมสารเคมีช่วยเพิ่มคุณภาพของผ้า จนกระทั่งการพัฒนาสีที่ใช้ในการย้อมเพื่อให้สีติดผ้ามากขึ้น ทำให้น้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมประกอบด้วยสารเคมีและสีย้อมมากมายหลายชนิดจนไม่สามารถใช้กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพชนิดแอกทิเวเตดสลัดจ์ในการกำจัดสีให้ลดลงได้ จึงมีการพัฒนาเทคโนโลยีเกี่ยวกับวิธีการกำจัดสีหลายวิธี การจะเลือกวิธีการกำจัดสีหนึ่งวิธีหรือมากกว่าขึ้นอยู่กับขั้นตอนในการฟอก/ย้อมและชนิดสีที่ใช้ในการย้อมสำหรับโรงฟอกย้อมแต่ละแห่ง ในที่นี้จะจำแนกวิธีการกำจัดสีเป็นข้อๆดังต่อไปนี้

2.3.1 การกำจัดสีโดยวิธีทางกายภาพ

การกำจัดสีโดยวิธีทางกายภาพเป็นการบำบัดน้ำเสียขั้นต้นก่อนที่จะเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียขั้นที่สองต่อไป นอกจากนี้อาจใช้วิธีทางกายภาพตามหลังกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพก็ได้ ตัวอย่างของการกำจัดสีโดยวิธีทางกายภาพ ได้แก่ กระบวนการโคแอกกูเลชันโดยใช้สารเคมี ซึ่งสามารถกำจัดสีอินทรีย์, สารสี และสารประกอบอื่นๆได้อย่างมีประสิทธิภาพ กลไกของกระบวนการดังกล่าวเกิดจากอนุภาคหรือสิ่งปนเปื้อนจะถูกดูดติดผิวฟล็อกโดยขั้วขบวนการเกิดการย่อยสลายของจุลชีพ โรงฟอกย้อมส่วนมากนิยมใช้สารประกอบในการทำให้เกิดกระบวนการโคแอกกูเลชันและฟล็อกกูเลชัน ได้แก่ ปูนขาว, สารส้ม, เกลือเฟอริกหรือโพลีอิเล็กโทรไลต์ แล้วตามด้วยกระบวนการตกตะกอนหรือการเติมอากาศชนิดการลอยตัวด้วยอากาศละลาย(ดีเอเอฟ) ซึ่งพบว่ามิใช่เสียเกิดขึ้นเนื่องจากการใช้สารเคมีปริมาณมากในการกำจัดสี เช่น มีสลัดจ์ทางเคมีเกิดขึ้นในปริมาณมากทำให้ต้องเพิ่มวิธีการกำจัดสลัดจ์อีกขั้นตอนหนึ่งและเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นตามมา ดังนั้นการที่จะใช้วิธีการโคแอกกูเลชันและฟล็อกกูเลชันในการกำจัดสีจากน้ำเสียโรงฟอกย้อมข้อสำคัญที่ควรคำนึงถึงคือ การประเมินปริมาณสารเคมีที่ต้องใช้ให้มีปริมาณพอเหมาะกับลักษณะน้ำเสียที่เกิดขึ้น

ในการศึกษาโดยสถาบัน ADMI (American Dye Manufacturer Institute) โดยใช้กระบวนการทางฟิสิกส์, เคมีและชีวภาพในการบำบัดน้ำเสียจากโรงฟอกย้อม 20 แห่ง (Horning R.H.,1997) อ้างโดย Reife และ Freeman , 1996) ในการวิจัยนี้พบว่าการใช้ผงถ่านกัมมันต์ (PAC) ทำให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงแต่ต้องใช้พีเอช ปริมาณมากตามความเข้มข้นของน้ำเสีย ตัวอย่างเช่นถ้าต้องการให้สีถูกกำจัดลดลงน้อยกว่า 100 เอเคเอ็มไอ จะต้องใช้ผงพีเอช ปริมาณ 400-2500 มก./ล. และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสีระหว่างการใส่ผงพีเอช และสารส้มในการกำจัดสีจากน้ำเสียโรงฟอกย้อมพบว่าการใช้ผงพีเอช จะมีประสิทธิภาพดีกว่าการใช้สารส้ม โดยคิดเป็น 94 % และ 82 % ตามลำดับ โดยมีปริมาณสารส้มที่ใช้ 8-80 มก./ล. นอกจากนี้ยังพบอีกว่าการใช้พีเอชจะมีประสิทธิภาพไม่ด้นักในการกำจัดสีชนิดคิสเพอร์สและแวต ส่วนการใช้สารส้มในการกำจัดสีชนิดรีแอกทีฟและเบสิกจะมีประสิทธิภาพสูง ส่วนการใช้ทั้งพีเอชและสารส้มจะมีประสิทธิภาพการกำจัดสีมากขึ้น แต่ก็มีปัญหาเนื่องจากต้องใช้พีเอชปริมาณสูง

ในงานวิจัยโดย Boe (1993) อ้างถึงงานวิจัยของ Simpson (1986) ซึ่งอ้างโดย Reife และ Freeman (1996) ได้ศึกษาการกำจัดสีโดยใช้กระบวนการโคแอกกูเลชันและฟล็อกกูเลชัน พบว่าการใช้สารส้มในการกำจัดสีจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้เฟอร์ริกซัลเฟตหรือโพลีอลูมินัมคลอไรด์ และงานวิจัยของ Stahr และคณะ (1985) ศึกษาการกำจัดสีและการจัดการสลัดจ์ที่เกิดขึ้นในการบำบัดน้ำเสียมีสีจากโรงฟอกย้อม โดยใช้กระบวนการโคแอกกูเลชัน ซึ่งมีสารส้มและโพลีเมอร์เป็นตัวช่วยตกตะกอนจากการทดลองสรุปได้ว่าสารส้มไม่สามารถกำจัดสีให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานได้ รวมทั้งสลัดจ์ที่เกิดขึ้นนำไปทำให้แห้งยาก ส่วนการใช้โพลีเมอร์ชนิดประจุบวกและสารส้มจะมีประสิทธิภาพการกำจัดสีดีกว่าใช้สารส้มอย่างเดียวและสลัดจ์ที่เกิดขึ้นนำไปทำให้แห้งง่าย แต่ก็ต้องใช้โพลีเมอร์ปริมาณมากจึงจะให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีสูง ซึ่งทำให้มีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นตามมา

สมคิด วงศ์ไชยสุวรรณ (2525) ได้ศึกษาถึงการกำจัดสีของน้ำเสียจากการย้อมผ้า โดยใช้กระบวนการโคแอกกูเลชัน และใช้สารส้ม, ปูนขาว และแมกนีเซียมคาร์บอเนตไฮเดรตเบสิก (MCHB) เป็นสารสร้างตะกอน โดยทดลองกับสีย้อม 6 ประเภท ได้แก่ ไคเรกท์ แวต รีแอกทีฟ ซัลเฟอร์ อะโซอิก และเมททอลิก พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดสีของน้ำเสียขึ้นอยู่กับประเภทของสีย้อม, ชนิดของโตนสี และสารเคมีที่ใช้เป็นสารสร้างตะกอน จากผลการทดลองใช้สารเคมีทั้งสามชนิดพบว่า สารส้มและMCHBสามารถกำจัดสีได้ดีพอควร ส่วนปูนขาวแทบไม่สามารถกำจัดสีได้เลย แต่การที่จะเลือกใช้

สารส้มหรือMCHBในการกำจัดสีนั้น ขึ้นอยู่กับความเหมาะสม เช่น ถ้าใช้สารส้มเป็นสารสร้างตะกอน จะลดสีได้มากกว่าร้อยละ 70 ในทุกๆประเภทสีข้อม ยกเว้นสีข้อมรีแอกทีฟซึ่งแทบไม่สามารถกำจัดลงได้เลย และสารช่วยข้อมไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการลดสี ถ้าใช้ MCHB เป็นสารสร้างตะกอน จะสามารถลดสีของน้ำเสียได้ทุกประเภทในระดับหนึ่ง สำหรับค่าใช้จ่ายในการใช้สารส้มในการกำจัดสีขึ้นอยู่กับประเภทของสีข้อมอย่างเดียว ส่วนค่าใช้จ่ายของ MCHB นอกจากขึ้นอยู่กับประเภทของสีข้อมแล้วยังขึ้นอยู่กับปริมาณสารช่วยข้อมและค่าสีที่ต้อง การของน้ำหลังบำบัดอีกด้วย

2.3.2 กระบวนการทางเคมี

2.3.2.1 การออกซิเดชัน (oxidation)

2.3.2.1.1 การเติมคลอรีน (chlorination)

สีข้อมหลายชนิดถูกกำจัดได้โดยใช้สารเคมีเป็นตัวออกซิไดซิง สารเคมีที่มีการใช้กันมากในการกำจัดสีขั้นต้นคือ คลอรีนในรูปของเหลวหรือก๊าซ, ไฮโปคลอไรต์ ก่อนที่จะเข้าสู่ระบบบำบัดขั้นที่สองต่อไป อย่างไรก็ตามการใช้คลอรีนปริมาณมากเกินไปจะทำให้เป็นอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม(ในรูปสารประกอบ chlorinated chemical) จากงานวิจัยของ Ghosh และคณะ (1978) อ้างโดย Reife และ Freeman (1996) ในการศึกษาการกำจัดสีโดยกระบวนการเติมคลอรีน สรุปได้ว่าต้องใช้คลอรีนปริมาณ 150 มก./ล.จึงจะให้ประสิทธิภาพการกำจัดสี 77 % แต่จะมีคลอรีนตกค้างอยู่ในน้ำเสียปริมาณ 110 มก./ล. และถ้าใช้คลอรีนต่ำกว่า 100 มก./ล. จะไม่มีคลอรีนตกค้างเหลืออยู่แต่จะให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีลดลงเหลือ 57 %

2.3.2.1.2 การเติมโอโซน (ozonation)

โอโซนเคยถูกใช้ในการกำจัดกลิ่นในน้ำดื่ม ตลอดจนการใช้โอโซนในการย่อยสลายสารประกอบของสี โอโซนเป็นตัวออกซิไดซิงที่คิดว่าคลอรีนและพบว่ากลไกที่ได้จากการออกซิไดซิงน้ำเสียที่มีสีโดยใช้โอโซนนั้นไม่ทำให้เกิดมลพิษจากสารพวก chlorinated organics ในงานวิจัยของ Horning (1978) อ้างโดย Reife และ Freeman (1996) พบว่าการใช้โอโซนปริมาณ 1 มก./ล. เป็นตัวออกซิไดซิงจะมีประสิทธิภาพการกำจัดสีชนิดรีแอกทีฟและเบสิก แต่ไม่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีชนิดคิสเพอร์ส ส่วนการกำจัดสีชนิดไครเรทจะต้องใช้โอโซนในปริมาณไม่แน่นอน นอกจากนี้

ยังสามารถกำจัดสารอินทรีย์ทั้งหมดได้เล็กน้อยและยังต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงในการติดตั้งอุปกรณ์ แม้ว่านักวิจัยได้พยายามที่จะประเมินหาปริมาณที่เหมาะสมของการใช้โอโซนแล้วก็ตาม

มีการศึกษาการใช้โอโซนในญี่ปุ่น อ้างโดย Reife และ Freeman (1996) ซึ่งมีโรงฟอกย้อมจำนวน 120 แห่ง มากกว่า 95 %ของน้ำเสียที่ปล่อยออกมาในแต่ละวันจะมีองค์ประกอบและปริมาณของสีย้อมแตกต่างกัน แต่ก็ยังเห็นสีเข้มอยู่ตลอดเวลา พบว่าน้ำเสียที่มีสีปริมาณ 100,000 ตัน/วัน ถูกปล่อยออกมาและเข้าสู่กระบวนการเติมโอโซน และทำการวิเคราะห์ค่าสีพบว่า ค่าแอบซอเบแนนซ์ที่ความยาวคลื่นสูง (580 nm) สีจะถูกกำจัดมากกว่าที่มีความยาวคลื่นสั้น (410 nm) และแนะอีกว่าสีชนิดที่มีสารอินทรีย์สีเหลืองเป็นองค์ประกอบจะไม่ถูกสลาย ส่วนการวิเคราะห์ค่าที่ไอซีและซีไอดี พบว่ามีปริมาณลดลง แต่ค่าบีไอดีกลับเพิ่มขึ้น ในกรณีนี้ชี้ให้เห็นว่าต้องมีสารเคมีช่วยในการย่อยสลายทางชีวภาพหลังจากน้ำเสียผ่านกระบวนการเติมโอโซนแล้ว นอกจากนี้ปริมาณโอโซนที่ใช้มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสี โดยคิดเป็นค่าใช้จ่าย \$ 1.57 /ตัน ซึ่งเป็น 2 เท่าของระบบแอกทิเวเต็ด สลัดจ์ (\$ 0.72 /ตัน)

2.3.2.2 การรีดักชัน

ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการรีดักชันของสีชนิดเอโซ (azo) โดยสีดังกล่าวถูกสลายให้มิโมเลกุลเล็กลงเกิดเป็นสารประกอบอะโรมาติก อามีน ซึ่งสารเคมีที่เกิดขึ้นนี้ได้เป็นจุดรวมที่ใช้ในการศึกษาการย่อยสลายของสีโดยกระบวนการแอนแอโรบิก ซึ่งสารประกอบที่เกิดขึ้นดังกล่าวถูกพบว่าหากปล่อยลงสู่แหล่งน้ำจะเป็นพิษมากกว่าตัวสีย้อมเอง จึงได้มีการวิจัยเพื่อที่จะป้องกันไม่ให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมโดยได้ใช้กระบวนการแอนแอโรบิกต่อจากการรีดักชันด้วยสารเคมี ซึ่งสารเคมีที่นิยมใช้ทั่วไปคือ โซเดียมไฮโดรซัลไฟด์ (โซเดียมไดไฮโอไนต์) นอกจากนี้ยังมี ไทโอยูเรียไดออกไซด์ (thiourea dioxide) หรือที่รู้จักในชื่อของ formamidine sulfinic (FAS) acid , โซเดียมฟอร์มัลดีไฮด์ซัลไฟด์ โซเดียมฟอรัลดีไฮด์ซัลไฟด์ (sodium formaldehydesulfoxylat) และ tin(II) chloride (Reife และ Freeman , 1996)

นอกจากนี้ Michelsen D.L. และคณะ(1992) อ้างโดย Reife และ Freeman (1996) ได้ทดลองกำจัดสีชนิด navy 106 จากน้ำเสียโรงฟอกย้อมโดยใช้สารเคมี 3 ชนิดคือ โซเดียมไฮโดรซัลไฟด์, ไทโอยูเรียไดออกไซด์ และโซเดียมฟอรัลดีไฮด์ซัลไฟด์ โดยทดลองที่พีเอชต่างกัน หลังจากที่ได้ประเมินประสิทธิภาพการกำจัดสี,ปริมาณสารเคมีที่ใช้และค่าใช้จ่ายแล้ว พบว่าที่พีเอช 4 การใช้โซเดียม

ไฮโดรซัลไฟด์เป็นตัวรีดิวซ์ จะให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีดีที่สุด (ประมาณ 71 % ใช้สารเคมี 400 มก./ล.) แต่ที่พีเอช 10.7 การใช้ไทโอยูเรียไดออกไซด์จะให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีดีที่สุด (ประมาณ 63 % ใช้สารเคมี 100 มก./ล.) แต่เนื่องจากไทโอยูเรียไดออกไซด์มีราคาสูงมาก อย่างไรก็ตามอาจใช้โซเดียมไฮโดรซัลไฟด์เป็นตัวรีดิวซ์แทนในกรณีที่พีเอชสูงๆก็ได้

2.3.2.3 กระบวนการดูดติดผิว

กระบวนการดูดติดผิวเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีที่มีปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำที่ต่ำๆ ในที่นี้จะกล่าวถึงถ่านกัมมันต์ (activated carbon) ซึ่งสามารถเตรียมได้จาก ลิกไนต์, ถ่านหิน, เศษไม้, เศษฝ้าย, กะลามะพร้าว ฯลฯ ซึ่งวัสดุดังกล่าวมีพื้นที่ผิวระหว่าง 500-1400 ม.²/ก. (Reife และ Freeman, 1996) ความสามารถในการดูดติดผิวบนถ่านกัมมันต์แสดงโดยค่าไอโซเทอมของการดูดติดผิว (Schuliger และคณะ, 1978 อ้างโดย Reife และ Freeman, 1996)

ตัวอย่างงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้ถ่านกัมมันต์ในการกำจัดสีซึ่งแยกตามชนิดของประจุมีดังนี้คือ

1. สีดิสเพอร์สและสีที่มีประจุบวก

ได้มีการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีโดยใช้ผงถ่านกัมมันต์เป็นสารดูดติด ใช้สีดิสเพอร์ส 3 ชนิดคือ ดิสเพอร์สสีเหลือง 54, ดิสเพอร์สสีน้ำเงิน 7 และดิสเพอร์สสีแดง 73 โดย Hall (1975) อ้างโดย Reife และ Freeman (1996) ได้ศึกษาลักษณะการดูดติดผิวของสีดังกล่าวจากผลการทดลองพบว่ามีตัวแปร 4 ตัวที่มีผลต่อการกำจัดน้ำเสียที่มีสีได้แก่ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสี, พีเอช, สารซักฟอกและโซดาไฟ หากมีการควบคุมตัวแปรทั้ง 4 นี้ให้เหมาะสมจะทำให้ความสามารถในการดูดติดผิวสูงขึ้น นอกจากนี้ McKay และคณะ(1980) อ้างโดย Reife และ Freeman (1996) ได้รายงานว่ประสิทธิภาพการกำจัดสีดิสเพอร์สชนิด ดิสเพอร์สสีน้ำเงิน 7 โดยใช้ผงถ่านกัมมันต์ขึ้นอยู่กับ การกวน (agitation), ความเข้มข้นเริ่มต้นของสี, ขนาดของอนุภาคผงถ่าน และอุณหภูมิของสารละลายสี โดยพบว่ามีพลังงานในการดูดติดผิวคิดเป็น 34 กิโลจูล/โมล

2. สีย้อมที่มีประจุลบ

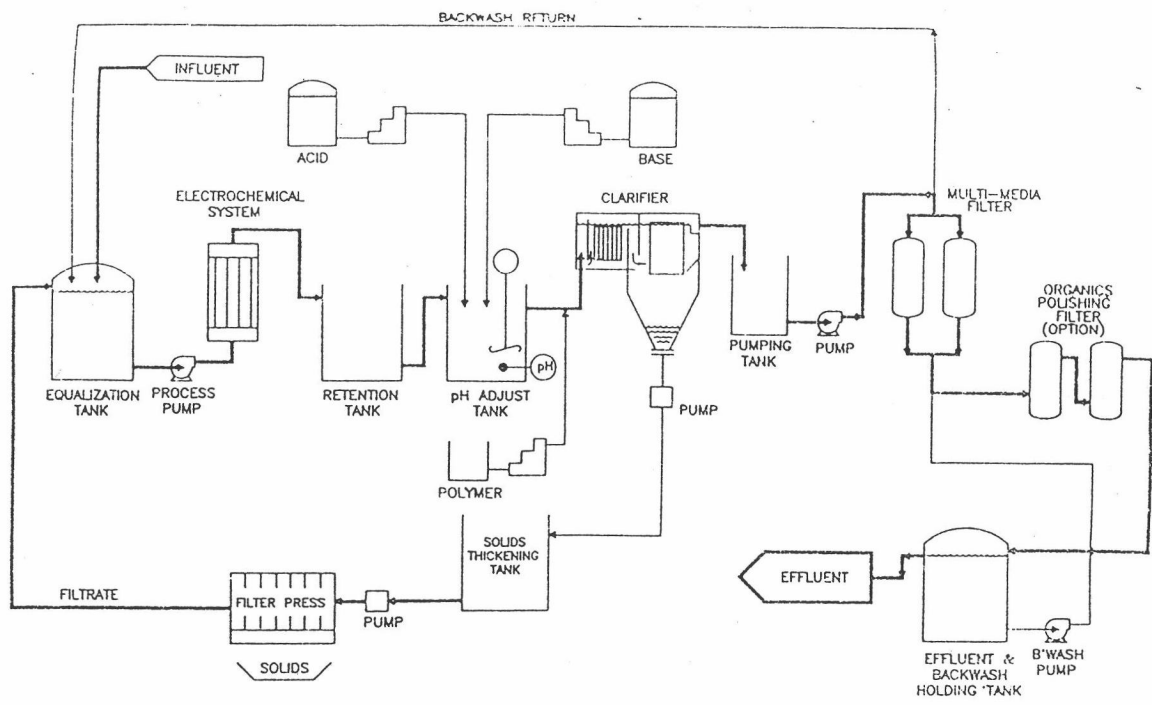
ในการทำให้เกิดฟล็อกกุเลชันวิธีหนึ่งที่ยอมรับใช้ทั่วไปคือ การใช้ผงถ่านกัมมันต์ร่วมกับสารรีดักชันด้วยสารเคมี ได้แก่ โซเดียมไฮโครซัลไฟต์, โซเดียมเรียวไดออกไซด์ และโซเดียมบอโรไฮไดรด์ ซึ่งสารดังกล่าวจะลดลูกโซ่กลุ่มเอโซในโครงสร้างโมเลกุลสี เป็นสารประกอบอะโรมาติก อามีน ซึ่งทำให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีดีขึ้น และกระบวนการดังกล่าวได้ถูกจดลิขสิทธิ์โดยบริษัท Asahi Chemical ในปี 1977 (Reife และ Freeman, 1996)

เป็นที่แน่ชัดแล้วว่าโครงสร้างโมเลกุลของสารประกอบมีผลต่อปริมาณการดูดซับสีของผงถ่านกัมมันต์อย่างมีนัยสำคัญ โดยทั่วไปแล้วความสามารถในการดูดซับสีของสารประกอบจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขนาดโมเลกุลและaromaticity, การลดปริมาณสารละลายสี, ความเป็นขั้ว (polarity) และการแตกพันธะของลูกโซ่คาร์บอน (carbon chain blancing) (Reife และ Freeman, 1996) สีที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะถูกดูดซับเข้าไปในช่องว่างระหว่างผิวและตัวกลาง (transitional pore) ของผงถ่านกัมมันต์ ขณะที่สีที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะถูกดูดซับบริเวณช่องว่าง(micropore)

2.3.3 กระบวนการไฟฟ้าเคมี

การใช้วิธีไฟฟ้าเคมีในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมได้เริ่มพัฒนาครั้งแรกเมื่อปลายศตวรรษที่ 20 ซึ่งเทคโนโลยีในสมัยก่อนเช่นพลังงานไฟฟ้ามีราคาแพงและในสมัยนั้นน้ำเสียยังไม่ถูกคัมต่อสิ่งแวดล้อมเหมือนในปัจจุบัน ทำให้เกิดการพัฒนาวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการทางไฟฟ้าเคมีขึ้นมา โดยจดลิขสิทธิ์ครั้งแรกโดย Lee (1973) ต่อมาได้มีการปรับปรุงแก้ไขเพิ่มเติมและมีการจดลิขสิทธิ์ใหม่อีก 2-3 ฉบับ (Gale และคณะ, 1977 อ้างโดย Reife และ Freeman, 1996) ซึ่งเดิมจุดมุ่งหมายของการใช้กระบวนการไฟฟ้าเคมีคือเพื่อต้องการกำจัดโลหะหนักที่ปนอยู่กับน้ำเสีย ต่อมาสถาบัน American Textile ได้ทำวิจัยเกี่ยวกับการกำจัดโลหะหนักจากน้ำเสียโรงฟอกย้อมจึงทำให้ทราบต่อมาว่านอกจากจะสามารถกำจัดโลหะหนักแล้วยังสามารถกำจัดสีให้ลดลงได้อีกด้วย จึงทำให้มีการใช้เทคโนโลยีนี้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงฟอกย้อมเป็นครั้งแรก และมีการจดลิขสิทธิ์เป็นครั้งแรกเช่นกัน (Uhrich, 1989 อ้างโดย Reife และ Freeman, 1996) โดยใช้ชื่อว่า Andco Environmental Process ในปี 1989 ซึ่งนอกจากจะสามารถกำจัดสีและโลหะหนักได้แล้วยังสามารถกำจัด บีไอดี, ซีไอดี, ซีไอดี และ

ของแข็งแขวนลอยได้อีกด้วยโดยจะต้องมีขั้นตอนอื่นๆประกอบ เช่น ถังทำน้ำใส(clearifier), ถังกรองตลอดจนการกำจัดสิ่งเจือปนที่เป็นพิษออกจากน้ำทิ้ง (ดังแสดงในรูปที่ 2.25) ทำให้สามารถนำน้ำที่ผ่านขั้นตอนที่กล่าวมาแล้วข้างต้นกลับไปใช้ในกระบวนการฟอกย้อมได้อีก



รูปที่ 2.25 ไลอะแกรมการบำบัดน้ำเสียโดยการเติมโอโซน
(Reife และ Freeman, 1996)

Tammarat Kootatep (1993) ได้ศึกษาถึงการกำจัดสีจากน้ำเสียโรงงานสิ่งทอ โดยการใช้โอโซนแพร่ผ่านด้วยอัตราการไหลและเวลาสัมผัสแตกต่างกัน ขณะเดียวกันได้ใช้กระบวนการอิเล็กโทรเคมีคัล(electrochemical process) ทดสอบที่สภาวะต่างๆกันคือ ทำการศึกษาแบบเบตซ์ที่โวลต์คงที่, กระแสคงที่ และศึกษาแบบต่อเนื่องที่กระแสคงที่ งานวิจัยนี้ได้แสดงให้เห็นว่ากระบวนการอิเล็กโทรเคมีคัลสามารถกำจัดสีจากน้ำเสียดังกล่าวได้มากกว่าร้อยละ 90 แต่การเติมโอโซนจะกำจัดสีได้เพียงร้อยละ 50 เท่านั้น โดยกระบวนการอิเล็กโทรเคมีคัลมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงสุด

อยู่ในช่วงการทดสอบที่กระแสดังกล่าวเท่ากับ 15 แอมแปร์ และยังคงกล่าวอีกว่ากระบวนการดังกล่าวเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการกำจัดน้ำเสียที่มีสีจากการย้อม ในกรณีที่ไม่ต้องทำให้มีขั้นตอนการกำจัด สลัดจ์และฝ้าใจ(scum)เพิ่มขึ้นในระบบบำบัดน้ำเสีย ขณะเดียวกันการทำโอโซนชั้นจะไม่มีปัญหาเรื่อง สลัดจ์เกิดขึ้นเช่นกัน

2.3.4 กระบวนการทางชีวภาพ

2.3.4.1 กระบวนการแอกทิเวเต็ดสลัดจ์

การบำบัดน้ำเสียโดยกระบวนการทางชีวภาพแบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์เป็นอีกกระบวนการ หนึ่งที่นิยมใช้กันมากในการบำบัดน้ำเสียจากโรงฟอกย้อม เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าวิธีการอื่นและใน สมัยก่อนน้ำเสียจากโรงฟอกย้อมจะถูกปล่อยไปรวมกับน้ำเสยรวมของเทศบาลและใช้ระบบแอก ทิเวเต็ดสลัดจ์ในการบำบัดน้ำเสียดังกล่าว อย่างไรก็ตามในปัจจุบันเนื่องจากมีสีปนมากับน้ำเสียจากโรง ฟอกย้อมในปริมาณมากจนไม่สามารถที่จะใช้ระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์กำจัดสีที่เกิดขึ้นให้อยู่ในเกณฑ์ มาตรฐานได้ แต่ก็ได้มีการวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับการกำจัดสีโดยใช้ระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ และเป็น ที่ทราบโดยทั่วไปว่าสีย้อมเป็นตัวขัดขวางการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน(Carliell และคณะ, 1996) เนื่อง จากในตัวสีย้อมได้มีการเติมสารเคมีที่ช่วยเพิ่มคุณสมบัติของสีย้อม เช่น ป้องกันไม่ให้สีตก, ไม่ติดไฟง่าย

นอกจากนี้ยังมีปัญหาอื่นๆที่เกิดจากการใช้ระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์คือ เป็นการยากที่จะทำ ให้จุลชีพชินกับสารอาหาร เนื่องจากน้ำเสียจากโรงฟอกย้อมมีการเปลี่ยนแปลงชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ใช้ ย้อมบ่อยและน้ำที่มีสีจะถูกปล่อยออกมาเป็นช่วงๆเท่านั้น งานวิจัยของ Porter และ Snider (1976) สรุป ได้ว่าที่การทดสอบค่าบีโอดี 30 วัน โมเลกุลของสีจะถูกย่อยสลายได้มากกว่าที่การทดสอบค่าบีโอดี 5 วัน (โดยใช้แบคทีเรียชนิดที่ไม่ชินต่อน้ำเสีย) ทั้งนี้เนื่องจากมีสารเคมีจำนวนมากที่ใช้ในกระบวนการฟอก ย้อมถูกย่อยสลายได้ช้ามาก โดยพบว่าสีส่วนมากที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นตัวขัดขวางการย่อยสลาย และหลังจากเวลาผ่านไป 30 วัน สีจะถูกกำจัดอย่างช้าๆ และยังสรุปอีกว่าการใช้ระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ ที่มีการเติมอากาศนานๆไม่เพียงจะทำให้เกิดการย่อยสลายทางชีวภาพนานๆ นอกจากนี้ยังป้องกันการ เกิดปริมาณชีวมวลและช่วยลดปัญหาเรื่องสลัดจ์ที่ต้องทิ้ง และยังมีการวิจัยของ Shriver และ Dague (1978) อ้างโดย Reife และ Freeman (1996) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการทดสอบค่าบีโอดีและสรุปว่าน้ำเสียที่มีสีจาก โรงฟอกย้อมมีอัตราการย่อยสลายช้ากว่าน้ำเสียชุมชน โดยพบว่าหลังจากเวลาผ่านไป 10 วัน อัตราการ

ย่อยสลายของน้ำเสียจากโรงฟอกย้อมคิดเป็น 31 % ในขณะที่อัตราการย่อยสลายของน้ำเสียชุมชนคิดเป็น 92 %

Michal และคณะ(1978) ได้ทำการศึกษาการกำจัดสีอินทรีย์โดยใช้กระบวนการแยกทิวเต็ดสตัคซ์ โดยทำการทดลองขนาดจำลองในห้องทดลองและใช้สีจำนวน 20 ชนิดซึ่งแบ่งชนิดโครงสร้างได้เป็น 4 กลุ่ม คือ 1. สีเอติกโมโนเอโซ ที่มีองค์ประกอบของ benzonaphthaline 2. สีเอติกโมโนเอโซ ที่มีองค์ประกอบของ azonaphthaline 3. สีไดเร็กซ์ ที่มีกลุ่ม azo ขนาดใหญ่ และ 4. สีรีแอกทีฟ จากการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้คือ

1. การกำจัดสีโดยใช้แยกทิวเต็ดสตัคซ์มีความแตกต่างจากการกำจัดสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ และตัวควบคุมการกำจัดสีคือ กระบวนการทางฟิสิกส์ และฟิสิกส์-เคมี (เช่น การแพร่กระจาย, การดูดซับผิวและอื่นๆ) กลไกที่ใช้สำหรับการกำจัดสีนี้จะมีลักษณะคล้ายกันกับกลไกการกำจัดสีบนสารอินทรีย์อื่นๆ
2. ความสามารถในการกำจัดสีโดยกระบวนการแยกทิวเต็ดสตัคซ์ขึ้นอยู่กับหลักสำคัญดังนี้คือ สมบัติของสี, โครงสร้างและชนิดโมเลกุลของสี, จำนวนและตำแหน่งของธาตุย่อยๆ (substituents) ในโมเลกุลสี ความสามารถในการกำจัดสีจะเพิ่มขึ้นหากว่ามีกลุ่มไฮดรอกซิล(OH), ไนโตร(nitro) และ เอโซ(azo) อยู่ในโมเลกุลสี และการกำจัดสีจะเพิ่มขึ้นตามความยาวของโมเลกุลสี แต่ถ้านโมเลกุลของสีมีกลุ่มซัลโฟ(sulfo) อยู่จะทำให้ความสามารถในการกำจัดสีโดยกระบวนการแยกทิวเต็ดสตัคซ์ลดลง นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับสมบัติของฟล็อก, ขนาดพื้นที่ผิวของฟล็อกและค่าความต่างศักย์ทางไฟฟ้า (electrokinetic potential) โดยพบว่าถ้าเพิ่มพื้นที่ผิวและค่าความต่างศักย์ทางไฟฟ้า จะทำให้ความสามารถในการกำจัดสีเพิ่มขึ้น
3. ในการแสดงค่าไอโซเทอร์มการดูดซับผิวสมดุล (equilibrium adsorption isotherm) พบว่าวิธีที่เหมาะสมมากที่สุดคือ ไอโซเทอร์มการดูดซับผิวตามสมการของ Freundlich
4. ในการทดลองกำจัดสีโดยใช้สี 5 ชนิดด้วยกระบวนการแยกทิวเต็ดสตัคซ์แบบต่อเนื่อง พบว่าการกำจัดสีในระบบต่อเนื่องมีกลไกการกำจัดสีเหมือนกันกับกลไกการกำจัดสีในระบบแบตช์ ความเข้มข้นของสีไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดของระบบและปริมาณของสีที่ถูกกำจัดจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณสตัคซ์ที่เกิดขึ้น

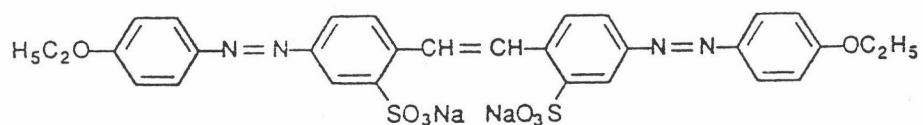
Chen (1974) อ้างโดย Tammarat Kootatep (1993) ได้ศึกษาน้ำเสียจากโรงงานผลิตเส้นใยสังเคราะห์ในกรุงเทพมหานคร พบว่า น้ำเสียผสม(น้ำเสียที่มาจากกระบวนการลอกแป้ง, กระบวนการย้อม, กระบวนการตกแต่ง)มีลักษณะเป็นต่าง ความเข้มข้นของสีสูง และมีค่าซีโอดีและ บีโอดีต่ำ โดยมีค่าเท่ากับ 226 มก./ล. และ 36 มก./ล. ตามลำดับ เขายังได้ชี้แจงอีกว่า การที่ค่าซีโอดีต่ำนั้นเกิดจากมีการเจือจางด้วยน้ำล้างในการทำความสะดวกเส้นใยที่ถูกย้อมแล้ว ขณะที่ค่าบีโอดีต่ำนั้นเนื่องจากการย้อมจะใช้สารเคมี(สารอนินทรีย์)เป็นส่วนใหญ่ และพบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในระดับต่ำ ซึ่งเท่ากับ 8.24 มก./ล.และ 2.21 มก./ล.ตามลำดับ

Yang และ Pescod (1975) อ้างโดย Tammarat Kootatep (1993) ได้ศึกษาเรื่องเส้นใยในลอนและเนื้อผ้า(fabric) ซึ่งถูกนำไปใช้ในการย้อมและการตกแต่ง พวกเขาพบว่ามีความแตกต่างระหว่างลักษณะน้ำเสียจากโรงงานที่ทำโพลีเมอไรเซชัน(polymerization) กับน้ำเสียจากการย้อมอย่างเป็นนัยสำคัญ โดยน้ำเสียจากการทำโพลีเมอไรเซชันมีความเป็นต่าง ค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 7.3-10.1 ค่าบีโอดีและซีโอดีสูงสุดเท่ากับ 7,500 มก./ล. และ 22,400 มก./ล. ตามลำดับ และมีค่าอัตราส่วนบีโอดีต่อซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 0.5 ซึ่งน้ำเสียดังกล่าวนี้สามารถบำบัดได้ด้วยวิธีทางชีวภาพ ส่วนน้ำเสียจากการย้อม มีลักษณะเป็นต่างและมีความเข้มข้นของสีสูง แต่มีค่าอัตราส่วนบีโอดีต่อซีโอดีต่ำ และพบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในปริมาณเพียงพอที่จะใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพได้เช่นกัน

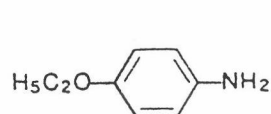
โดยสรุป จากการศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับการกำจัดสีจากน้ำเสียโรงฟอกย้อมโดยกระบวนการแบบแอโรบิก พบว่าสีถูกย่อยสลายได้น้อยมากและกลไกการกำจัดสีเริ่มต้นเกี่ยวข้องกับการดูดติดผิวบนฟล็อก นอกจากนี้ยังมีอัตราการย่อยสลายช้ากว่าน้ำเสียชุมชน ค่าอัตราส่วนระหว่างซีโอดีต่อบีโอดีสูงๆเป็นตัวชี้ว่า มีสารที่ย่อยสลายไม่ได้(nonbiodegradable)เหลืออยู่ในน้ำทิ้งที่ออกจากระบบแอโรบิก งานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการแยกแบคทีเรียชนิดแอโรบิกที่สามารถกำจัดสีชนิดเดียวหรือมากกว่าหนึ่งชนิด แต่เป็นการยากที่จะนำมาใช้กับน้ำเสียโรงฟอกย้อมซึ่งมีสีและสารประกอบทางเคมีมากมายหลายชนิด

2.3.4.1 กระบวนการแอนแอโรบิก

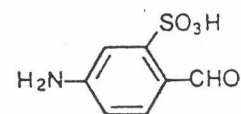
จุดเริ่มต้นที่ทำให้มีการศึกษาการกำจัดสีโดยกระบวนการแอนแอโรบิกเริ่มจากการศึกษาซึ่งพบว่ามีความเป็นไปได้ที่เรซินชนิดที่สามารถย่อยสลายสีย้อมอาหารชนิดเอโซ ซึ่งอาศัยอยู่ในลำไส้ของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม (Carliell และคณะ, 1995) จากนั้นเป็นต้นมาจึงได้พยายามศึกษาถึงการกำจัดสีชนิดเอโซจากน้ำเสียโรงฟอกย้อม โดยใช้กระบวนการทางชีวภาพแบบแอนแอโรบิกอย่างมากมาย นักวิจัยบางคนพยายามที่จะคิดหาวิธีการต่างๆ เพื่อกำจัดสี ไม่ว่าจะเป็นการกำจัดสีขั้นต้นโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน, การรีดักชันด้วยสารเคมี ในขณะที่นักวิจัยคนอื่นๆ ได้พยายามที่จะศึกษาถึงผลที่เกิดจากความเป็พิษของอะโรมาติก อามีน ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายโมเลกุลสีด้วยวิธีการที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ซึ่งงานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับการย่อยสลายโมเลกุลสีโดยหน่วยงานที่ชื่อ Ecological and Toxicological Association of the Dyestuffs Manufacturely (ETAD) ได้มีการศึกษาสีชนิดเอโซ 14 ชนิด ซึ่งละลายในน้ำกลั่นโดยใช้ระบบถังย่อยแอนแอโรบิก (Brown and Hamburger, 1987 อ้างโดย Reife และ Freeman, 1996) พบว่าสีเกือบทุกชนิดที่ได้นำมาศึกษารวมทั้งสีเอซิก, ไคเร็กท์ และมอแดนต์ ถูกย่อยสลายได้มากกว่า 90 % และได้มีการวิเคราะห์หาปริมาณของสารประกอบที่เกิดจากการย่อยสลายโมเลกุลสีชนิดเอโซซึ่งส่วนมากเป็นสารประกอบพวกอะโรมาติก อามีน ตัวอย่างโครงสร้างของสีชนิดไคเร็กท์สีเหลือง 12 และ เอตีกสีเหลือง 36 ซึ่งถูกย่อยสลายในส่วนที่มีโครงสร้างของพันธะเอโซ ได้เป็นสารประกอบอะโรมาติก อามีน ดังแสดงในรูปที่ 2.26 และ 2.27 ตามลำดับ



Direct Yellow 12

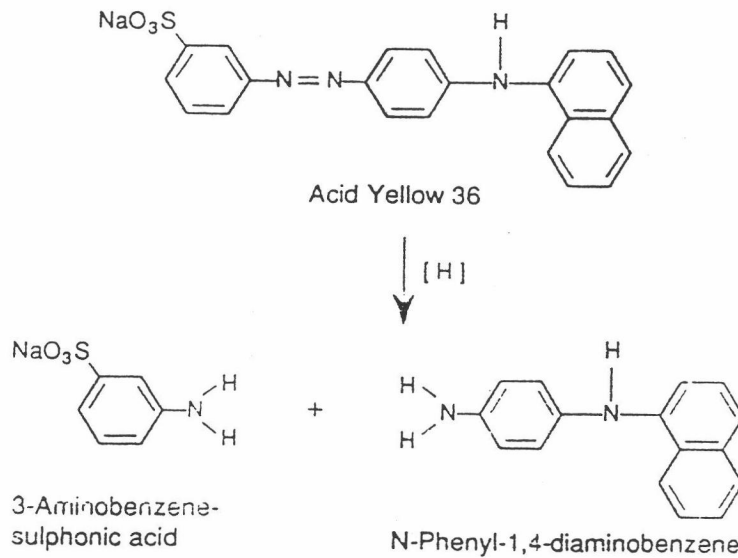


1-Amino-4-ethoxybenzene



4-Amino-2-sulphobenzaldehyde

รูปที่ 2.26 ปฏิกริยาการย่อยสลายสีชนิดไคเร็กท์สีเหลือง 12 ในสภาวะแอนแอโรบิก (Reife และ Freeman, 1996)



รูปที่ 2.27 ปฏิกิริยาการย่อยสลายสีชนิดเอซิกสีเหลือง 36 ในสภาวะแอนแอโรบิก
(Reife และ Freeman, 1996)

ผลจากการศึกษาของ ETAD ซึ่งให้เห็นว่าการแตกแขนงของเส้นทางการย่อยสลายของสีย้อม นอกจากการลดพันธะของกลุ่มเอโซแล้วยังอาจรวมถึงการให้สีถูกดูดซับบนฟล็อกและการรีดักชันของฟังก์ชันกลุ่มอื่นๆที่นอกเหนือจากกลุ่มเอโซ ที่ทำให้สีถูกกำจัดลงได้ แต่อย่างไรก็ตามไม่สามารถที่แยกหรือกำจัดชนิดสีจากน้ำเสียได้ นอกจากนี้ความสามารถในการย่อยสลายสีที่มีกลุ่มโพลีเอโซ (polyazo) จะมีค่าเปลี่ยนแปลงระหว่าง 1-100 % ในขณะที่กลุ่มโมโนเอโซ (monoazo) และไดเอโซ (diaz) ถูกยืนยันว่าสามารถย่อยสลายได้จริง (Brown และ Laboureur, 1983 อ้างโดย Reife และ Freeman , 1996)

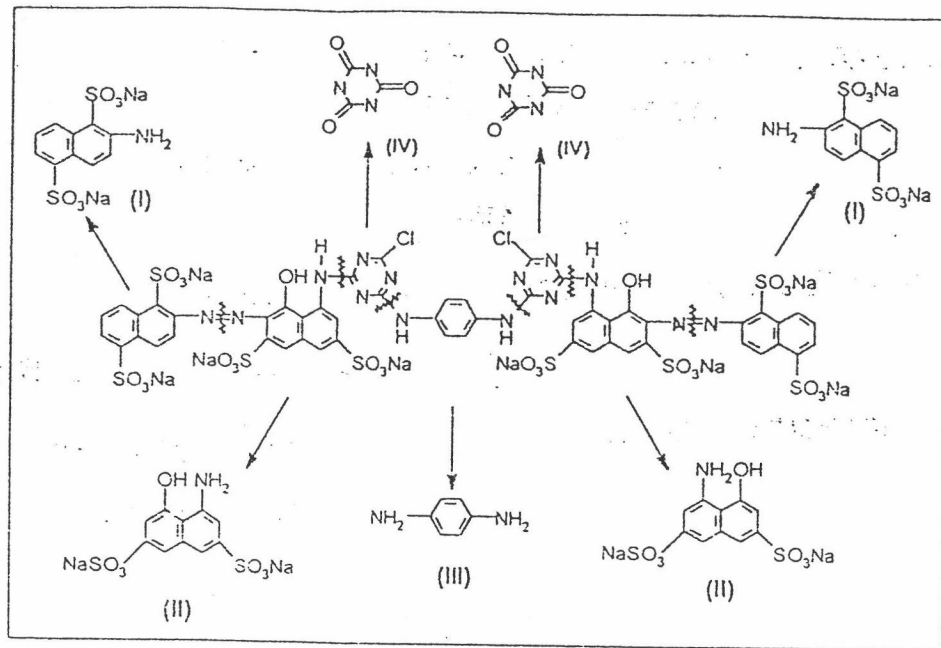
นอกจากนี้มีการวิจัยการกำจัดสีชนิดเอซิกสีแดง 88 โดย Kremer (1987) อ้างโดย Reife และ Freeman (1996) ในสภาวะแอนแอโรบิก ผลการทดลองพบว่าสีถูกกำจัดลดลง 90 % ภายใน 8 ชั่วโมง (โดยการประมาณจากค่าครึ่งชีวิต 6 ชั่วโมงของปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง) ในระหว่างเกิดการเปลี่ยนแปลงในการรีดักชันของสี เขาได้แยกสารประกอบได้ 2 ชนิดคือ naphthionic acid และ 1-amino-2-naphthol ซึ่งเป็นสารอะโรมาติก อามีน ที่เกิดจากการแตกพันธะเอโซ นอกจากนี้ยังมีสารประกอบอื่นๆ ในปริมาณเล็กน้อย เช่น 1,2-naphthoquinone, 2-naphthol, isoquinoline และ quinacridone ซึ่งเชื่อว่าจะเกิดจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นตามมาของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการรีดักชัน ผลที่ได้จากการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ยังพบอีกว่า

แหล่งคาร์บอนจากแหล่งอื่นมีความสำคัญต่ออัตราการย่อยสลายมากกว่าจากตัวสีย้อมเอง (Kremer, 1987 อ้างโดย Reife และ Freeman, 1996) ซึ่งอธิบายได้ว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของธาตุ(mineralization)และการเปลี่ยนรูปเนื่องจากการทำงาน(metabolite formation)เกิดจากการเติมกรดอะซิติกและโพรไพโอนิกเพื่อใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงานเสริม

ได้ศึกษาแบคทีเรียชนิดที่สามารถกำจัดสีรีแอกทีฟกลุ่มเอโซได้ในสภาวะแอนแอโรบิก โดยพบว่ามีการศึกษาการทำงานของแบคทีเรียชนิดที่สามารถกำจัดสีกลุ่มเอโซชนิดสีแดง 2G โดยใช้แบคทีเรียชื่อ *Streptococcus faecalis* (Gingell และ Walker, 1971 อ้างโดย Carliell, 1995) นอกจากนี้ Carliell, 1995) ยังรายงานอีกว่าได้มีงานวิจัยเกี่ยวกับการกำจัดสีเอโซโดยใช้แบคทีเรีย เช่น *Bacillus subtilis* (Horitsu และคณะ, 1977), *Bacillus cereus* (Wuhr-mann และคณะ, 1980) , *Psudomonas cepacia* (Ogawa และคณะ, 1986); Ogawa and Yatome, 1990) , *Psudomonas stutzeri* (Yatome และคณะ, 1990) และ *Aeromonas hydrophilia* (Idaka และ Ogawa , 1978) ; Yatome และคณะ, 1987)

Carliell และคณะ (1994) ศึกษาการลดสีชนิดรีแอกทีฟในสภาพแอนแอโรบิก โดยใช้สีรีแอกทีฟ 18 ชนิด ในการทดลองขนาดจำลอง โดยเติมแหล่งคาร์บอนเสริมคือ กลูโคส (1 ก./ล.) ในรูปของฟอสเฟตบัฟเฟอร์ (0.025 โมลาร์, พีเอช 6.9) ปริมาณ 70 มล. และใช้แบคทีเรียที่มีการเพาะเลี้ยงในสภาวะแอนแอโรบิกปริมาณ 30 มล. นำมาใส่รวมกันในขวดขนาด 120 มล. ที่มีฝาปิดสนิทนำไปแช่ในอ่างน้ำที่มีอุณหภูมิ 32° C จากนั้นเติมสีรีแอกทีฟ 2 ml ลงไป(เพื่อให้มีความเข้มข้นของสี 100 มก./ล.) และใช้เข็มฉีดยาคูดตัวอย่างออกมาและนำไปกำจัดของแข็งแขวนลอยออก ส่วนน้ำใสที่ได้จะนำไปวิเคราะห์ค่าสี ผลการทดลองพบว่า 80 % ของชนิดสีรีแอกทีฟถูกลดสีลงได้ ตารางที่ 2.6 แสดงประสิทธิภาพการลดสีรีแอกทีฟในสภาวะแอนแอโรบิกที่มีแหล่งคาร์บอนเสริม จากตารางอธิบายได้ว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีอยู่ระหว่าง 70-97 % ยกเว้น C.I รีแอกทีฟสีเหลือง 95 และช่วงเวลาที่ใช้ในการกำจัดสีขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสีในระบบ การที่ไม่สามารถกำจัดสีในกลุ่มเอโซชนิด รีแอกทีฟสีเหลือง 95 เนื่องจากมีสารประกอบที่เป็นตัวยับยั้งหรือมีความเป็นพิษในสีย้อมที่ใช้ย้อมผ้าพิมพ์ จากตารางที่ 2.6 จะเห็นได้ว่าสีที่มีโครงสร้างทางเคมีที่ไม่ใช่กลุ่มเอโซ(พวกริโม่ฟอร์)มีความสามารถในการลดสีอย่างไม่มีนัยสำคัญ (เช่น กลุ่มแอนทราควินโนน และพาทาโนไซยานิน) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะโครงสร้างดังกล่าวมีความคงตัวมากกว่าหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่ามีจุดอ่อนแอน้อยกว่าที่จะทำให้เกิดการรีดักชัน

นอกจากนี้เขายังได้แยกผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแตกพันธะเอโซของสียรีแอกทีฟชนิด รีแอกทีฟสีแดง 141 โดยใช้เครื่องมือคอลัมน์โครมาโตกราฟี ชนิด proton nuclear magnetic resonance spectroscopy (NMR) โดยพบว่า มี 4 องค์ประกอบ มี 3 องค์ประกอบที่สามารถแยกได้ชัดเจนคือ 2-aminonaphthalene-1,5-disulfonic acid (I), 1,7-diamino-8-naphtho-3,6-disulfonic acid (II) และ *p*-diamino-benzene (III) ส่วนองค์ประกอบที่ 4 ไม่สามารถแยกด้วยเครื่อง NMR ได้เนื่องจากมีไฮโดรเจนอะตอมอยู่แต่คิดว่าน่าจะเป็นพวกกรดไซยานูริก(cyanuric acid)(IV) ดังแสดงในรูปที่ 2.28 จากรูปแสดงให้เห็นว่าการลดสีจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อมีการแตกพันธะเอโซโดยการทำลายแรงยึดเหนี่ยวของพันธะอามีนระหว่างกลุ่มโครโมฟอร์ และกลุ่มรีแอกทีฟ และภายในกลุ่ม รีแอกทีฟ



รูปที่ 2.28 ขั้นตอนการย่อยสลายสียชนิดรีแอกทีฟสีแดง 141

(Carliell และคณะ, 1994)

โดยสรุปแล้วกระบวนการแอนเอโรบิกสามารถใช้ย่อยสลายโมเลกุลสีย้อมให้อยู่ในรูปอะโรมาติก อามีน ซึ่งเมื่อน้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการแอนเอโรบิกนี้ถูกปล่อยออกไปจะก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม เพราะสารอะโรมาติก อามีนที่เกิดขึ้นนี้มีอันตรายมากกว่าสีย้อมที่ยังไม่ถูกย่อยสลาย จึงทำให้มีการวิจัยเพื่อที่จะไม่ให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมโดยการเพิ่มกระบวนการแอนเอโรบิกตามหลังกระบวนการแอนเอโรบิกซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

ตารางที่ 2.6 ผลที่ได้จากการทดลองการกำจัดสีในสถานะแอนแอโรบิกที่มีการเติมแหล่งคาร์บอนเสริม โดยใช้สีรีแอกทีฟบางชนิด

	Chemical classification	Percentage decolorization	Reduction time (h) required to attain maximum decolorization
Reactive dye powders			
C.I. Reactive Yellow 16	azo	80-90	6.5
C.I. Reactive Red 198a	azo	85-90	2
C.I. Reactive Red 141	azo	85-90	4.5
C.I. Reactive Blue 38	phthalocyanine	40	4.5
C.I. Reactive Blue 21	phthalocyanine	85-90	4.5
C.I. Reactive Blue 220	azo	90-95	1
C.I. Reactive Black 5	azo	80-85	4.5
Reactive dye solutions			
C.I. Reactive Yellow 95	azo	0	-
C.I. Reactive Orange 12	azo	90-95	23
C.I. Reactive Red 218	azo	90-95	32
C.I. Reactive Red 24	azo	90-97	32
C.I. Reactive Orange 13	azo	85-90	50
C.I. Reactive Brown 11	azo	90	23
*Blue PB	metal complex	98	2
C.I. Reactive Blue 49	anthraquinone	7-10	2
C.I. Reactive Black 39	azo	70-75	5.5
*Black SG	metal complex	75-80	7.5
C.I. Reactive Blue 72	phthalocyanine	25-30	50
* No C.I. number available			

ที่มา Carliell CM.(1994)

2.3.4.3 กระบวนการแอนแอโรบิก-แอโรบิก

เป็นที่ทราบกันในเวลาต่อมาว่าการป้องกันไม่ให้มีสารพิษที่เกิดจากการกำจัดสึจากน้ำเสียโรงฟอกย้อมโดยใช้กระบวนการแอนแอโรบิกแล้วตามด้วยกระบวนการแอโรบิก เรียกกระบวนการดังกล่าวนี้ว่า กระบวนการแอนแอโรบิก-ออกซิก(เอ/โอ) งานวิจัยของ Loyd และคณะ, 1992 อ้างโดย Reife และ Freeman, 1996) โดยทดลองเปรียบเทียบการกำจัดสึระหว่างการใช้อกระบวนการแอโรบิกอย่างเดียว(เอเอส)กับกระบวนการเอ/โอ ผลการทดลองพบว่ากระบวนการเอ/โอ สามารถกำจัดสึได้ดีกว่า โดยมีประสิทธิภาพ 88 % ในขณะที่กระบวนการเอเอสมีประสิทธิภาพเพียง 28 % สำหรับกระบวนการเอ/โอ พบว่าสึลดลงเนื่องจากการเจือจางด้วยน้ำเสียชุมชน(sanitary waste) คิดเป็น 46 % และ 44 % สึลดลงเนื่องจากการบำบัดในช่วงแอนแอโรบิกและ 2 % เพิ่มขึ้นในช่วงแอโรบิก ส่วนค่าซีไอดี, บีไอดี และทีไอซีในช่วงแอนแอโรบิกถูกกำจัดได้เล็กน้อย อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์และสึโดยกระบวนการเอ/โอสูงกว่าประสิทธิภาพการกำจัดโดยกระบวนการเอเอส

Loyd และคณะ (1992) อ้างโดย Reife และ Freeman (1996) พบว่ากลไกการย่อยสลายของสึเกิดขึ้นในช่วงแอนแอโรบิก โดยการวัดค่าไออาร์พีและการลดลงของสึบนตัวอย่างที่มีการบ่มเลี้ยงเชื้อ(autoclave) ผลการทดลองพบว่ามีแบคทีเรียหลายชนิดที่สามารถย่อยสลายสึได้ในช่วงแอนแอโรบิกเป็นพวกแพคัลเททีฟ และ/หรือแอนนาโรบ และได้เปรียบเทียบการกำจัดสึระหว่างระบบที่มีการคัดพันธุ์กับไม่มีการคัดพันธุ์พบว่าระบบที่มีการคัดพันธุ์มีประสิทธิภาพดีกว่า (การวัดค่าไออาร์พีในระบบที่มีการคัดพันธุ์จะมีค่าต่ำกว่าที่ไม่คัดพันธุ์) นอกจากนี้ยังสังเกตพบว่าการเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสึทำได้โดยการเพิ่มจำนวนจุลชีพในช่วงแอนแอโรบิก

ในการทดลองที่ผ่านมาพบว่ามีตัวบ่งชี้การกำจัดสึจากน้ำเสียโรงฟอกย้อม ตัวอย่างเช่น จุลชีพที่ไม่ชินกับสารอาหารซึ่งเป็นการยับยั้งกระบวนการย่อยสลาย ซึ่งอาจมีความจำเป็นต้องปรับสภาพให้ชินต่อน้ำเสียก่อน แต่ในทางปฏิบัติไม่สามารถทำได้เนื่องจากสึ้อมมีมากมายหลายชนิดและสึที่ปนออกมาเกิดจากมีการย้อมบางช่วงเท่านั้น งานวิจัยของ Shaul และคณะ (1987) และ Yonezawa และ Urushigawa (1997) อ้างโดย Reife และ Freeman (1996) พบว่ากลุ่มซัลโฟนิค เอติก ซึ่งใช้ในการเพิ่มความสามารถละลายน้ำของสึ้อม เป็นตัวบ่งชี้การย่อยสลายสึในช่วงแอนแอโรบิก ส่วนงานวิจัยอื่นๆพบว่า กลุ่มไนเตรต, ไนไทร์ต และซัลโฟนิค เอติก ยับยั้งการรีดักชันของสึไอโซโดยแบคทีเรีย

ชนิดแฟคัลเททีฟและแอโรบ (Wuhrmann และคณะ, 1980 อ้างโดย Reife และ Freeman, 1996) ดังนั้นอาจจำเป็นต้องมีการแยกหรือกำจัดสารยับยั้งดังกล่าวก่อนที่จะเข้าสู่กระบวนการเอ/โอ ในโรงฟอกย้อมบางแห่งที่มีความเข้มข้นของสารยับยั้งหลายชนิดอาจต้องเลิกใช้ระบบบำบัดแบบชีวภาพ

Rahman (1991) ได้วิเคราะห์องค์ประกอบสำหรับตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียชนิดที่สามารถกำจัดสีได้ทางชีวภาพ โดยทำการทดลองแบบแบทช์และใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีน้ำตาลและสีชนิดแดง บี(red B) เป็นส่วนประกอบหลัก (เหตุผลที่ต้องใช้น้ำตาลเนื่องจากการใช้แป้งเป็นสารที่ใช้ในการลอกแป้ง(desizing agent) ได้มีการศึกษาตัวแปร 6 ชนิดคือ อุณหภูมิ, พีเอช, ความเข้มข้นสีและน้ำตาล, การเติมอากาศ และความเข้มข้นของมวลจุลชีพ พบว่าตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียชนิดที่ลดสีและชนิดที่ย่อยสลายได้มากที่สุด ได้แก่ ความเข้มข้นของสี, น้ำตาล และอุณหภูมิ นั่นก็หมายความว่าตัวแปรทั้ง 3 ที่กล่าวถึงนี้มีผลกระทบต่ออัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียชนิดดังกล่าว ในการทดลองนี้สามารถสรุปได้ว่าตัวแปร 3 ตัวนี้น่าจะเป็นตัวที่ต้องพิจารณาในขั้นต้นเพื่อหาวิธีที่เหมาะสมในการกำจัดสีโดยกระบวนการทางชีวภาพ

Huifang และคณะ (1991) ได้ศึกษาถึงจุดชี้วัดที่เติมลงไปในการบำบัดน้ำเสียจากโรงฟอกย้อมในการทดลองแบบนำร่อง (pilot scale) โดยใช้กระบวนการทางชีวภาพแบบแอนแอโรบิก-แอโรบิกและน้ำเสียจากโรงฟอกย้อมที่นำมาใช้ในการทดลองส่วนมากประกอบด้วยสีย้อมและสารพีวีเอ (polyvinylalcohol) และใช้กระบวนการดูดซับผิวโดยถ่านกัมมันต์ในการบำบัดขั้นที่สาม อีกทั้งมีการเวียนสลับถังที่เหลือค้างอยู่กันถึงตกตะกอนไปยังถังแอนแอโรบิก ในการทดลองประกอบด้วย 2 ชุดการทดลอง ชุดการทดลองแรกใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่ได้จากการเลี้ยงแบคทีเรียให้ชินกับน้ำเสีย ส่วนชุดการทดลองหลังได้เติมเชื้อแบคทีเรียชนิดที่สามารถกำจัดสีและย่อยสลายสารพีวีเอได้ลงไปด้วย ผลการทดลองพบว่าชุดการทดลองหลังระบบมีประสิทธิภาพสูงกว่าชุดการทดลองแรกประมาณ 20 % โดยค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี, บีโอดี, สี และพีวีเอมีค่าเท่ากับ 92, 97, 90 และ 80% ตามลำดับ

Zaoyan และคณะ (1992) ศึกษาการกำจัดสีจากน้ำเสียโรงฟอกย้อมโดยใช้กระบวนการแอนแอโรบิก-แอโรบิกแอกทิเวเต็ดสแลคจ์ชีวภาพแบบจานหมุน(RBC) ผลการทดลองสรุปได้ว่าระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี, บีโอดีและสี ประมาณ 83, 83 และ 84 % ตามลำดับ และยังพบว่าไม่

เพียงแต่สีเท่านั้นที่ถูกกำจัดได้ในช่วงแอนเอโรบิก นอกจากนี้สารที่ย่อยสลายทางชีวภาพบางชนิดสามารถถูกทำให้เป็นสารที่ย่อยสลายทางชีวภาพง่าย ทำให้เมื่อระบบเข้าสู่ช่วงแอนเอโรบิกสารดังกล่าวจะถูกย่อยสลายและถูกออกซิไดซ์ได้อย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ทำให้ทิ้งสลัดจ์ออกจากระบบน้อยเนื่องจากการเวียนสลัดจ์จากโซนแอนเอโรบิกไปยังโซนแอนเอโรบิก และได้มีการทดลองโดยใช้ระบบชีวภาพแบบจานหมุน ที่มีช่วงแอนเอโรบิกอย่างเดียบบำบัดน้ำเสียชนิดเดียวกับการทดลองข้างต้น พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูงแต่ไม่สามารถกำจัดสีให้ลดลงได้

2.3.5 กระบวนการฟิสิกส์/เคมี-ชีวภาพ

ในงานวิจัยต่างๆ ไปได้พยายามที่จะกำจัดสีให้มีประสิทธิภาพสูงสุดแต่เสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด การบำบัดน้ำเสียจากโรงฟอกย้อมโดยใช้กระบวนการทางชีวภาพอย่างเดียวกพบที่ไม่สามารถกำจัดสีให้อยู่ในระดับที่อนุญาตให้ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำได้ เนื่องจากสีย้อมส่วนใหญ่มีสารประกอบที่ย่อยสลายทางชีวภาพไม่ได้ จึงมีการใช้กระบวนการทางฟิสิกส์/เคมี เช่น กระบวนการโคแอกกูเลชัน, กระบวนการดูดติดผิว ฯลฯ เพื่อเป็นการกำจัดสีขั้นต้นก่อนที่จะเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพ โดยพบว่าการใช้กระบวนการฟิสิกส์/เคมีแล้วตามด้วยกระบวนการชีวภาพจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีดีกว่าการใช้กระบวนการใดกระบวนการหนึ่ง ข้อดีอีกประการหนึ่งคือเป็นการลดค่าใช้จ่ายในเรื่องสารเคมีที่ใช้และสลัดจ์ที่เกิดขึ้นน้อยกว่าการใช้กระบวนการฟิสิกส์/เคมีอย่างเดียว

นวลละออง เนียมสอิ่ง (2525) ในการทดลองกำจัดสารอินทรีย์และสีพร้อมกันโดยใช้ระบบพีเอช-แอกทิเวเตดสลัดจ์กับน้ำเสียที่สังเคราะห์ขึ้นจากการย้อมฝ้าย 6 ประเภทเช่นเดียวกับงานวิจัยของ สมคิด วงศ์ไชยสุวรรณ รวมทั้งสีรวมซึ่งเป็นสีผสมร่วมกันทั้ง 6 ประเภทดังกล่าว พบว่าการใช้ระบบแอกทิเวเตดสลัดจ์แบบธรรมดาในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ ยกเว้นสีเมทัลลิก ส่วนการใช้ระบบฯนี้ในการลดสีไม่ได้ผล ยกเว้นสีย้อมที่จุ่มตัวลงได้ง่ายด้วยตัวเองอยู่แล้ว เช่น สีแวต อะโซอิก และซัลเฟอร์ ระบบฯนี้สามารถลดสีเหล่านั้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ การใช้ระบบพีเอช-แอกทิเวเตดสลัดจ์ในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียนั้นขึ้นอยู่กับประเภทของสีย้อม และมีระดับการกำจัดสูงกว่าระบบแอกทิเวเตดสลัดจ์แบบธรรมดา ยกเว้นสีย้อมเมทัลลิก ระบบฯดังกล่าวไม่สามารถกำจัดสารอินทรีย์ให้อยู่ในเกณฑ์ได้ และสามารถลดสีทุกประเภทได้อย่างมีประสิทธิภาพกล่าวคือระบบฯสามารถลดสีรีแอกทีฟได้โดยใช้ปริมาณผงถ่าน 0.27 กรัม/ลบ.ม. (8 บาท/ลบ.ม. ในปี 2525)

ส่วนสีข้อมที่ไม่ละลายน้ำเช่น สีเวต อะโซอิก และซัลเฟอร์ ไม่จำเป็นต้องใส่ผงถ่านก็สามารถกำจัดสีออกได้ดี สำหรับสีไครเรทต้องใช้ปริมาณผงถ่านถึง 0.4 กรัม/ลบ.คม.(12 บาท/ลบ.ม. ในปี 2525) น้ำทิ้งหลังบำบัดจึงอยู่ในเกณฑ์ได้ ส่วนกรณีของสีรวม ระบบฯสามารถลดสีได้ดี โดยใช้ปริมาณผงถ่าน 0.25 กรัม/ลบ.คม.(7.50 บาท/ลบ.ม.) ซึ่งค่าใช้จ่ายของระบบพีเอซี-แอกทิเวเต็ดสลัดจ์ค่อนข้างสูงกว่าระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์แบบธรรมดา โดยจะขึ้นอยู่กับปริมาณผงถ่านที่ใส่ลงในระบบ

2.3.6 อื่นๆ

นอกจากกระบวนการต่างๆที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นยังมีกระบวนการกำจัดสี โดยใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่อีก เช่น กระบวนการออสโมซิสผันกลับ(RO) , การกรองโดยผ่านแสงยูวี(UF), การแลกเปลี่ยนไอออน(IE) ส่วนมากจะใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงฟอกย้อมที่มีความเข้มข้นของสีสูง และน้ำที่ได้จากการบำบัดด้วยกระบวนการดังกล่าวสามารถนำกลับไปใช้ใหม่ได้ แต่ยังไม่เป็นที่นิยมใช้ เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและบำรุงรักษาอุปกรณ์สูงมาก แต่ในปัจจุบันโรงฟอกย้อมบางแห่งก็มีการใช้กระบวนการดังกล่าวโดยการแยกเฉพาะน้ำสีข้อมซึ่งมีความเข้มข้นสูงไปเข้ากระบวนการใด กระบวนการหนึ่งข้างต้นต่างหาก ส่วนน้ำจากส่วนอื่นๆก็เข้าสู่ระบบบำบัดแบบชีวภาพเหมือนเดิม

2.4 กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบเอสปีอาร์

2.4.1 ความเป็นมาของระบบเอสปีอาร์

ระบบเอสปีอาร์เป็นระบบที่คล้ายคลึงกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศรุ่นแรก ซึ่งคิดค้นขึ้นโดย Ardem และ Lockett ในปี ค.ศ 1920 ระบบเติมอากาศที่ใช้กันครั้งแรกเป็นระบบแบบรับน้ำเสีย (Fill) และระบายน้ำ (Draw) กล่าวคือ ปล่อยน้ำเสียเข้าให้เต็มถังก่อน จากนั้นปิดท่อน้ำเข้าและเป่าอากาศจนความสกปรกถูกทำลายจนหมด จากนั้นจึงให้ตกตะกอน และปล่อยน้ำใสส่วนบนออก จากนั้นก็เริ่มต้นใหม่ ในสมัยนั้นลักษณะการใช้ถังเติมอากาศเช่นนี้ไม่สะดวกที่จะใช้กับน้ำเสียที่ไหลตลอดเวลา ทั้งนี้ระบบแบบเอสปีอาร์ยังไม่ได้เป็นที่รู้จัก ด้วยเหตุนี้ระบบรับน้ำเสียและระบายน้ำออกจึงถูกแทนที่ด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบไหลต่อเนื่องที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันนี้

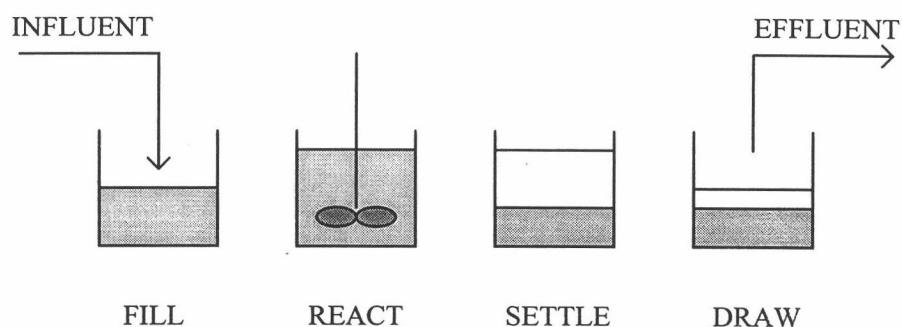
ระบบเอสปีอาร์ ที่เรียกกันในปัจจุบันมีกำเนิดมาจาก R.L. Irvine ซึ่งได้ทดลองใช้มาเมื่อประมาณ 25 ปีที่ผ่านมา (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2525) Irvine ได้ชี้ให้เห็นถึงข้อดีต่างๆของระบบเอสปีอาร์ดังกล่าว ระบบเอสปีอาร์ที่ออกแบบโดย Irvine เป็นครั้งแรก ใช้สำหรับบำบัดน้ำเสียที่มีลักษณะแปรเปลี่ยนภายในระยะเวลาสั้นๆ ซึ่งระบบเอสปีอาร์นี้ Irvine ได้แปลงมาจากระบบที่ Ardem และ Lockett เคยใช้มา

2.4.2 หลักการทำงานของระบบเอสปีอาร์

ระบบเติมอากาศแบบเอสปีอาร์เป็นวิธีที่แตกต่างไปจากระบบเติมอากาศแบบอื่นๆที่ใช้กัน โดยที่ระบบเอสปีอาร์เป็นวิธีบำบัดน้ำเสียแบบแบตช์ ส่วนแบบอื่นๆเป็นวิธีกระทำแบบติดต่อกัน อย่างไรก็ตามก็ไม่ได้หมายความว่า ระบบแบบเอสปีอาร์จะไม่สามารถใช้กับแหล่งน้ำเสียที่ไหลตลอดเวลา เพราะอันที่จริงแล้วโดยการออกแบบที่เหมาะสมระบบเอสปีอาร์จะทำได้เช่นเดียวกับระบบที่ทำงานติดต่อกันตลอดเวลา งานวิจัยขั้นพื้นฐานซึ่งกระทำในสหรัฐอเมริกา(Irvine, 1979) พบว่า ถ้าระบบเอสปีอาร์ประกอบด้วยถังเติมอากาศจำนวน 3 ใบ การควบคุมดูแลระบบจะทำได้ดีที่สุดและสามารถบำบัดน้ำเสียที่ไหลตลอดเวลาได้

ในการทำงานของระบบเอสปีอาร์ ขั้นตอนการบำบัดทั้งหมดจะเกิดขึ้นภายในถังปฏิกริยาแบบกวนผสมแบบเพียงใบเดียว ซึ่งประกอบไปด้วยวงจการทำงาน 5 อย่าง คือ รับน้ำเสีย (fill) เกิด

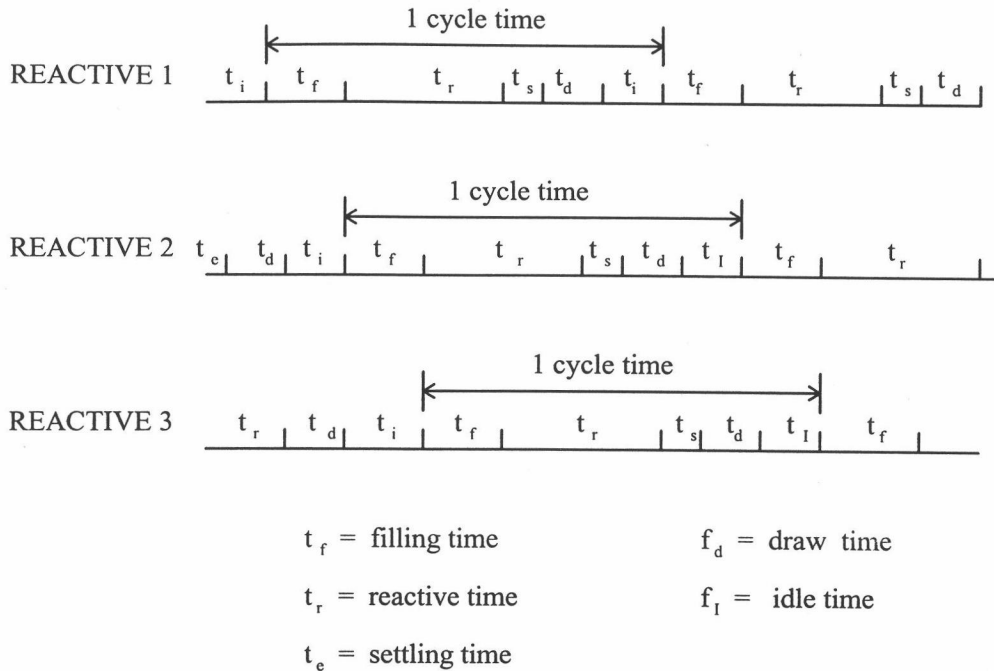
ปฏิกิริยา (react) ตกตะกอน (sedimentation) ระบายน้ำ (draw) และพัก (idle) ดังแสดงในรูปที่ 2.29 ในกรณีที่ระบบเอสปีอาร์ใช้ถังปฏิกิริยามากกว่า 1 ถังในเวลาใดเวลาหนึ่ง ถังแต่ละใบจะมีหน้าที่ไม่ตรงกัน เพื่อให้สามารถบำบัดน้ำเสียที่ไหลติดต่อกันตลอดเวลาได้โดยไม่ขาดตอน



รูปที่ 2.29 การทำงานของกระบวนการเอสปีอาร์

ลักษณะการทำงานของระบบเอสปีอาร์ เริ่มจากปล่อยน้ำเสียให้เข้าถังปฏิกิริยาอยู่ในระยะรับน้ำเสีย (fill) จนถังแรกเต็ม ก็จะถูกเปลี่ยนทางเดินให้ไหลลงถังที่สองแทน ถังใบที่ 1 ก็จะเข้าสู่ระยะเกิดปฏิกิริยา (react) ซึ่งทั้งสองระยะนี้จะมีการเติมอากาศให้แก่ น้ำเสียตลอดเวลา เมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุดแล้ว จะหยุดเติมอากาศเข้าสู่ระยะตกตะกอน (settle) หลังจากนั้นน้ำใสที่อยู่ตอนบนของถังจะถูกระบายทิ้ง (draw) ปกติแล้วน้ำประมาณ 3/4 ของถัง จะถูกระบายออกไป (มันสิ้นคัลทูลเวสม์, 2525) ทำให้มีน้ำเหลือประมาณ 1/4 ของถัง ซึ่งเป็นส่วนที่มีจุลชีพตกตะกอนอยู่ จุลชีพนี้จะถูกพักไว้จนกว่าจะมีการเติมน้ำเสียลงในถังนี้อีกครั้งหนึ่ง ถังใบที่สองและสามจะมีลักษณะการทำงานเหมือนกับถังใบแรก มีข้อแตกต่างอยู่เพียงความเหลื่อมกันของหน้าที่ของแต่ละถัง รูปที่ 2.30 แสดงวงจรการทำงาน of ระบบเอสปีอาร์ที่สามารถรับน้ำเสียได้ตลอดเวลา

จุลชีพจะอยู่ในถังแต่ละใบจนกว่าจะมีการระบายบางส่วนทิ้งไป ความถี่และปริมาณการระบายจุลชีพที่ขึ้นอยู่กับปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่เติมลงไปในระบบและเวลากักเซลล์เฉลี่ย (MCRT) ระบบที่ได้รับสารอินทรีย์มากและผลิตจุลชีพได้มากก็ต้องระบายจุลชีพทิ้งมาก เช่น อาจต้องระบายทิ้งทุกวงจรการทำงาน แต่ระบบที่ได้รับสารอินทรีย์ต่ำทำให้ผลิตจุลชีพได้น้อยก็ไม่จำเป็นต้องระบายทิ้งบ่อย เพียงเดือนละครั้งหรือสองครั้งก็อาจเพียงพอ



รูปที่ 2.30 วงจรการทำงานของเอสปีอาร์ชนิดไหลต่อเนื่องเทียม

2.4.3 ข้อดี - ข้อเสียของระบบเอสปีอาร์

เชื่อกันว่าระบบเอสปีอาร์เหมาะสำหรับบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม หรือชุมชนที่อยู่อาศัยขนาดเล็กที่มีเงินลงทุนน้อย และไม่สามารถควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสียที่ยู่งยากกลับซับซ้อน ตัวอย่างที่ดีของแหล่งน้ำเสียขนาดเล็ก คือ หมู่บ้านจัดสรรต่างๆ นอกจากนี้แล้วระบบเอสปีอาร์ยังเหมาะสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องการกำจัดความสกปรกเฉพาะอย่าง เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส เป็นต้น อาจกล่าวได้ว่า ระบบเอสปีอาร์เป็นระบบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับกระบวนการไนทริฟิเคชันและดีไนทริฟิเคชัน จุดเด่นอีกข้อหนึ่งคือ ช่วยป้องกันการไม่จมตัวของสลัดจ์ โดยระบบเอสปีอาร์สามารถชักขบวนการเจริญเติบโตของแบคทีเรียชนิดเส้นใยซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการไม่จมตัวของสลัดจ์ได้

สรุปข้อดีของระบบเอสบีอาร์

1. ไม่ต้องมีถังตกตะกอนและระบบเวียนกลับสลัดจ์ ทำให้ไม่มีปัญหาต่างๆเกี่ยวกับการใช้ถังตกตะกอน และทำให้มีราคาก่อสร้างต่ำ
2. ตามทฤษฎี ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบแบคทีเรียหมักแบบต่อเนื่อง สามารถรองรับน้ำเสียในกรณีที่ปริมาณมากที่สุดในช่วงเวลาสั้นๆและกรณีที่น้ำไหลเข้าสู่ระบบในปริมาณมากกว่าปกติอย่างกะทันหันได้สูง
3. หลีกเลี่ยงการล้างได้ (washout) ของเอ็มแอลเอสเอส (MLSS) เมื่อมีน้ำเสียไหลเข้ามาปริมาณมากในช่วงเวลาสั้นๆ
4. สามารถดัดแปลงให้เป็นระบบกำจัดสารคาร์บอนอินทรีย์ ในโตรเจน และฟอสฟอรัสได้พร้อมๆกัน
5. การปรับระยะเวลาในหน้าที่ต่างๆทำให้ระบบเอสบีอาร์มีความยืดหยุ่นได้ดี ทำให้สามารถรับน้ำเสียที่มีปริมาณความเข้มข้นสูงได้

สรุปข้อเสีย ของระบบเอสบีอาร์

1. ถ้าน้ำเสียไหลติดต่อกันตลอดวันในอัตราที่แปรเปลี่ยน การควบคุมดูแลระบบเอสบีอาร์แบบหลายถังที่ออกแบบสำหรับกรณีนี้ต้องการระบบอัตโนมัติหลายอย่างที่ไม่จำเป็นต้องมีในระบบเดิมอากาศแบบอื่นๆ
2. อาจต้องการถังพักน้ำขนาดใหญ่ก่อนเข้าสู่ระบบเอสบีอาร์ เพื่อให้การควบคุมระบบเอสบีอาร์ง่ายขึ้น
3. ในกรณีที่ใช้ถังใบเดียว ต้องใช้ถังขนาดใหญ่มาก
4. อาจไม่เหมาะสำหรับแหล่งน้ำเสียขนาดใหญ่

เมื่อเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียแล้ว จะเห็นได้ว่าโอกาสที่จะใช้ระบบเอสบีอาร์ได้มีอยู่มาก

2.5 กระบวนการแอนน็อกซิก/แอนแอโรบิก-ออกซิกเอสปีอาร์

2.5.1 หลักการทำงานของกระบวนการ

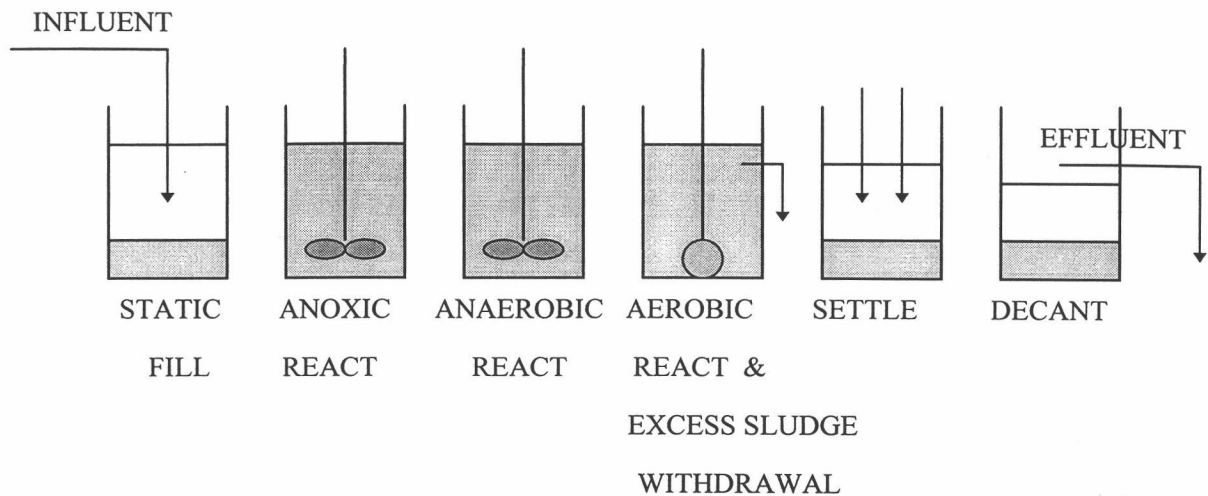
กระบวนการแอนน็อกซิก+แอนแอโรบิก/ออกซิกเอสปีอาร์ (เอทูโอ_เอสปีอาร์) ซึ่งนักวิจัยส่วนใหญ่เรียกกระบวนการนี้ว่ากระบวนการแอนแอโรบิก/ออกซิก (เอ/โอ) ที่มีลักษณะการทำงานคล้ายกันกับกระบวนการเอสปีอาร์แบบธรรมดา(เอเอส) แตกต่างกันตรงที่กระบวนการเอทูโอ_เอสปีอาร์ มีขั้นตอนในช่วงแอนน็อกซิก+แอนแอโรบิกก่อนที่จะเข้าสู่ช่วงแอโรบิก ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสและไนโตรเจน โดยในสภาวะแอนน็อกซิก+แอนแอโรบิกนี้แบคทีเรียจะใช้ออกซิเจนจากไนเตรตที่มีอยู่ในระบบหลังจากที่ระบบทำงานครบหนึ่งวัฏจักรมาแล้ว ในกรณีนี้ไนเตรตจะถูกรีดิวซ์ได้ก๊าซไนโตรเจนเป็นผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย เรียกปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้ว่า “ปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน”(denitrification) ซึ่งเขียนเป็นสมการแสดงการเปลี่ยนแปลงได้ดังนี้คือ



หลังจากแบคทีเรียชนิดใช้ออกซิเจน (เช่นไนโตรโซมานาส, ไนโตรแบกเตอร์) ได้ใช้ออกซิเจนจากไนเตรตหมดแล้วระบบจะเข้าสู่สภาวะแอนแอโรบิกซึ่งในช่วงนี้แบคทีเรียชนิดไม่ใช้ออกซิเจนจะเริ่มทำงานโดยจะมีการย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลขนาดใหญ่เป็นโมเลกุลขนาดเล็ก โดยส่วนหนึ่งจะถูกใช้ไปในการเมตาโบลิซึมภายในเซลล์ และอีกส่วนหนึ่งจะถูกเก็บสะสมไว้เพื่อใช้ในช่วงแอโรบิกและในสภาวะแอนแอโรบิกนี้เองแบคทีเรียดังกล่าวจะมีการดูดกลืนฟอสฟอรัสในปริมาณมากออกมาภายนอกเซลล์ เรียกการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนี้ว่า luxury phosphorus uptake แบคทีเรียชนิดดังกล่าว ได้แก่ aeromonas, coliform, pseudomonas และ acinetobacter (Rathi and Randall, 1994) ต่อจากนั้นเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะแอโรบิกแบคทีเรียชนิดที่ใช้ออกซิเจนจะใช้ออกซิเจนจากการเติมอากาศซึ่งในช่วงนี้สารอินทรีย์ไนโตรเจนจะถูกเปลี่ยนรูปเป็นไนไตรท์และไนเตรต เรียกปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้ว่า “ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน”(nitrification) สามารถเขียนสมการแสดงการเปลี่ยนแปลงได้ดังนี้



และในช่วงแอโรบิกนี้เองฟอสฟอรัสจากภายนอกเซลล์จะถูกดูดกลืนเข้าไปภายในเซลล์ จับตัวเป็นฟอสเฟตและจมตัวได้ในช่วงตกตะกอน ซึ่งรูปแบบของการทำงานของกระบวนการแอนน็อกซิก+แอนแอโรบิก/ออกซิกเอสปีอาร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.31



รูปที่ 2.31 กระบวนการแอนน็อกซิก/แอนแอโรบิก-ออกซิกเอสปีอาร์

จากรูปที่ 2.31 อธิบายได้ว่ากระบวนการแอนน็อกซิก+แอนแอโรบิก/ออกซิก_เอสปีอาร์ ประกอบด้วยขั้นตอนการทำงาน 6 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนรับน้ำทิ้ง(fill) ขั้นตอนแอนน็อกซิก(anoxic) ขั้นตอนไร้อากาศ(anaerobic) ขั้นตอนเติมอากาศ(aerobic) ขั้นตอนตกตะกอน(settle) และขั้นตอนระบายน้ำใสส่วนบนออก(decant) สำหรับหลักการทำงานของกระบวนการแอนน็อกซิก+แอนแอโรบิก/ออกซิก_เอสปีอาร์จะคล้ายกันกับกระบวนการเอสปีอาร์แบบธรรมดา แตกต่างกันตรงที่กระบวนการแอนน็อกซิก+แอนแอโรบิก/ออกซิกเอสปีอาร์มีสภาวะไร้อากาศเกิดขึ้นก่อนสภาวะเติมอากาศ สำหรับเอสปีอาร์แบบต่อเนื่อง(เทียม)น้ำเสียถูกปล่อยลงถังปฏิกรณ์ไบโแรกจนเต็มแล้วจะปล่อยน้ำเสียลงสู่ถังปฏิกรณ์ไบโอต่อไป ส่วนถังปฏิกรณ์ไบโแรกก็ปล่อยให้เข้าสู่ช่วงแอนน็อกซิกและแอนแอโรบิก ซึ่งจะมีการกวนเพื่อให้เกิดการผสมกันระหว่างน้ำเสียกับเซลล์จุลินทรีย์ โดยระบบจะเข้าสู่สภาพแอนน็อกซิกก่อนที่จะเข้าสู่สภาพไร้ออกซิเจน จากนั้นระบบจะเข้าสู่สภาวะเติมอากาศซึ่งจะใช้เครื่องเติมอากาศในการให้ออกซิเจน และในช่วงออกซิกนี้จะมีการระบายสลัดจ์ส่วนเกินออกเป็นการควบคุมอายุสลัดจ์ของระบบ จากนั้นทิ้งให้ตกตะกอนแล้วระบายน้ำใสส่วนบนออกเป็นอันจบวงจรการทำงาน ส่วนถังไบโออื่นๆก็จะมีการทำงานเหมือนกัน เพียงแต่เวลาจะต้องเหลื่อมกันเพื่อที่จะได้รับน้ำเสียได้ตลอดเวลา

งานวิจัยที่ผ่านมาที่เกี่ยวกับการใช้ระบบแอนน็อกซิก+แอนแอโรบิก/ออกซิกเอสปีอาร์ มีดังต่อไปนี้

Manning และ Irvine (1985) กล่าวว่าความยืดหยุ่นของระบบเอสปีอาร์มีความเหมาะสมในการกำจัดฟอสฟอรัส โดยอัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนทั้งหมดมีค่าต่ำกว่า 7.5 จะทำให้คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีปริมาณไนเตรตสูงและมีลักษณะการจมตัวของสลัดจ์ดีขึ้น เขายังกล่าวอีกว่าระบบเอสปีอาร์สามารถถูกออกแบบให้ทำงานในระบบนอนไนทริฟายอิง(non-nitrifying system) และยังสามารถควบคุมฟอสฟอรัสได้ดีอีกด้วย

Irvine and Ketchum (1989) ได้เสนอวิธีที่ใช้ได้ดีในการบำบัดน้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์โดยใช้ระบบแอนแอโรบิก-ออกซิกเอสปีอาร์ เขาได้กล่าวว่าการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีนี้เป็นวิธีที่มีค่าใช้จ่ายต่ำและเดินระบบง่าย รวมทั้งสามารถแปรเปลี่ยนช่วงเวลาการทำปฏิกิริยาและช่วงการตกตะกอนเพื่อลดปัญหาในเรื่องการแปรผันของลักษณะของน้ำเสียและลักษณะการจมตัวของสลัดจ์ได้ ยิ่งกว่านั้นน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วที่อัตราการไหลต่ำๆ (เอชอาร์ที สูงๆ) จะทำให้น้ำที่ระบายออกมีคุณภาพดี (หมายเหตุของผู้เขียน : น้ำเสียจากโรงฆ่าสัตว์มีไนโตรเจนมาก แต่มีฟอสฟอรัสไม่มากนัก ระบบ A_2/O จึงน่าจะเหมาะสมกว่าระบบ A/O)

Okada (1990) ได้ทำการศึกษาผลของเอสอาร์ทีและสารอาหารอินทรีย์ต่อการสะสมฟอสฟอรัสในเซลล์แบคทีเรีย โดยให้น้ำเสียไหลเข้าถังปฏิกิริยาในช่วงสั้นๆและให้มีสภาพแอนแอโรบิกเพียงพอ พบว่าการสะสมฟอสฟอรัสของเซลล์แบคทีเรียในถังปฏิกิริยาที่ทำงานที่เอสอาร์ทีต่ำกว่า 25 วันไม่ดีขึ้น (หมายเหตุของผู้เขียน : ที่เอสอาร์ทียาวขนาดนี้น่าจะเกิดไนเตรต ซึ่งจะมีผลกระทบต่อกระบวนการ A/O)

Shao และคณะ (1992) ได้ศึกษาผลของเอ็มซีอาร์ทีต่อการกำจัดฟอสฟอรัสโดยทดลองที่โรงบำบัดน้ำเสีย Hyperion ประเทศสหรัฐอเมริกา สรุปผลว่าการกำจัดฟอสฟอรัสจะลดลงเมื่อค่าเอ็มซีอาร์ทีลดลงจาก 3 วันเป็น 1.5 วัน โดยความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำทิ้งจะเพิ่มขึ้นจาก 0.4 มก./ล. เป็น 3.1 มก./ล. ซึ่งผลการทดลองที่ได้มีความแตกต่างจากการทดลองโดย Okada เนื่องจากการทดลองของ Okada เกิดสถานะแอนออกซิกก่อนที่จะเกิดสถานะแอนแอโรบิก ทำให้ต้องใช้เวลาในช่วงแรกเกิดปฏิกิริยาคีโนทริฟิเคชันเพื่อกำจัดไนเตรตก่อนแล้วจึงจะมีการปลดปล่อยฟอสฟอรัสตามมา ส่วนการทดลองของ Shao ไม่ได้กำหนดระยะเวลาในช่วงแอนแอโรบิก เพียงแต่เปรียบเทียบการทำงานที่อัตราการบำบัดเร็ว(F/M สูง) โดยใช้ค่าเอ็มซีอาร์ทีต่ำๆเพื่อต้องการลดปริมาณสลัดจ์ส่วนเกินที่จะต้องเอาออก (หมายเหตุของผู้เขียน: การลดปริมาณสลัดจ์ส่วนเกินดังกล่าว จะเป็นผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสลดลงตามมา)

Wanner(1992) ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของกระบวนการแอนแอโรบิก-ออกซิกระหว่างระบบแอกทิเวเตดสลัดจ์แบบต่อเนื่องและระบบเอสปีอาร์ พบว่าระดับการกำจัดซีโอดีและฟอสฟอรัสของทั้งสองวิธีใกล้เคียงกัน แต่จะมีปริมาณสลัดจ์ที่วัดในรูปของค่าดัชนีปริมาตรตะกอน(หรือเอสวีไอ)แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับระบบเอ/โอแอกทิเวเตดสลัดจ์แบบต่อเนื่องมีค่าเอสวีไอระหว่าง 100-200 มล./ก. พบจุลินทรีย์ชนิดเส้นใยอย่างไม่เป็นนัยสำคัญ ส่วนระบบเอ/โอ-เอสปีอาร์มีค่าเอสวีไอต่ำกว่า 100 มล./ก. และมีความเร็วในการจมตัวสูง รวมทั้งพบจุลินทรีย์ชนิดเส้นใยในระบบเอ/โอ-เอสปีอาร์น้อยกว่าด้วย ซึ่งในการวิจัยนี้พบว่าชนิดของแบคทีเรียที่เป็นเส้นใยของทั้งสองระบบแตกต่างกัน ระบบแรกพบแบคทีเรียเส้นใยชนิด 021 และ Sphaerotilus (Wanner and Grau 1989) ส่วนในระบบหลังพบแบคทีเรียเส้นใยชนิด 0961 และได้แจ้งว่าอาจจะใช้ประโยชน์ของผลที่ได้นี้มาอธิบายปรากฏการณ์ของแบคทีเรียชนิดเส้นใยในระบบเอสปีอาร์ได้ โดยฟล็อกในระบบเอ/โอเอสปีอาร์มีลักษณะหนัก มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 มม. ซึ่งแบคทีเรียชนิดเส้นใยจะรวมกับฟล็อกที่เล็กกว่ากลายเป็นฟล็อกที่มีขนาดใหญ่ตกตะกอนได้ดี แต่ฟล็อกในระบบเอ/โอแอกทิเวเตดสลัดจ์แบบต่อเนื่องจะมีขนาดไม่สม่ำเสมอและมีโครงสร้างไม่แข็งแรง ทำให้การจมตัวไม่ดีเท่ากับของระบบเอ/โอ-เอสปีอาร์

Carucci และคณะ(1994) ได้ทำการทดลองในห้องทดลองเพื่อศึกษาถึงการกำจัดฟอสฟอรัสโดยใช้กระบวนการเอสปีอาร์ สรุปว่าการที่จะสามารถกำจัดฟอสฟอรัสให้มีประสิทธิภาพสูงนั้นจะต้องลดการแย่งกันใช้สารอินทรีย์(ซีโอดี)ระหว่างแบคทีเรียชนิดดีไนทริฟรายอิงกับแบคทีเรียชนิดที่สะสมฟอสฟอรัส ซึ่งทำได้โดยต้องไม่ให้เกิดภาวะไนทริฟิเคชันในช่วงแอโรบิกและ/หรือไม่ให้เกิดภาวะดีไนทริฟิเคชันในช่วงแอนแอโรบิก

Subromaniam K. และคณะ (1994) ได้วิจัยถึงประสิทธิภาพการกำจัดธาตุอาหาร สำหรับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง(มีค่าซีโอดีในช่วง 3,500-6,000 มก./ล.) โดยใช้ระบบแอนแอโรบิก-ออกซิ-เอสปีอาร์ พบว่าสามารถกำจัดซีโอดี, ไนโตรเจนทั้งหมด, ฟอสฟอรัสทั้งหมด และของแข็งแขวนลอย เท่ากับร้อยละ 95, 92, 90 และ 94 ตามลำดับ อีกทั้งยังไม่มีปัญหาในเรื่องการจมตัวของสลัดจ์โดยวัดค่าเอสวีไอได้ต่ำกว่า 100 มล./ก. อีกด้วย

2.5.2 ข้อดีของกระบวนการแอนน็อกซิก+แอนแอโรบิก/ออกซิก

2.5.2.1 การควบคุมการไม่จมตัวของสลัดจ์

ปัญหาเรื่องการไม่จมตัวของสลัดจ์ เป็นปัญหาที่สำคัญมากในการเดินระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ และเป็นสิ่งที่ใช้บอกถึงความล้มเหลวของการเดินระบบบำบัดได้ สาเหตุของการเกิดการไม่จมตัวของสลัดจ์นี้มาจากการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วของแบคทีเรียจำพวกเส้นใย ในสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมกลุ่มประชากรที่เป็นเส้นใยจะเจริญเติบโตจนมีจำนวนมากว่ากลุ่มแบคทีเรียชนิดสร้างฟล็อกและกลายเป็นกลุ่มจุลชีพหลักของระบบ

Wanner (1987) กล่าวว่าสภาพไร้ออกซิเจนสามารถระงับ (suppress) การเจริญเติบโตของแบคทีเรียชนิดเส้นใย เช่นชนิด 021N และ *Sphaerotilus natans* ได้ และยังสรุปว่าจุลินทรีย์ชนิดเส้นใยเหล่านี้มีอัตราการใช้สารอาหาร (substrate utilization rate) ในสภาพไร้อากาศต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการใช้สารอาหารของกลุ่มจุลินทรีย์ที่สามารถสะสมโพลีฟอสเฟตได้ จนอาจกล่าวได้ว่าในสภาพดังกล่าวนี้จะไม่มีการใช้สารอาหารโดยกลุ่มจุลชีพชนิดเส้นใย

2.5.2.2 ความสามารถในการกำจัดธาตุอาหารโดยไม่ต้องใช้สารเคมี

สารฟอสฟอรัสและไนโตรเจนซึ่งเป็นธาตุอาหารของจุลินทรีย์ สามารถถูกกำจัดออกได้โดยวิธีเอโอโดยไม่ต้องใช้ถังตกตะกอนเพิ่มขึ้น และไม่มี ความจำเป็นที่จะต้องใช้ถังตกตะกอนทางเคมีเพื่อกำจัดสารฟอสฟอรัส ทำให้ไม่มีสลัดจ์เคมีเกิดขึ้น การเกิดภาวะการสลายตัวของสารไนโตรเจนหรือดีไนทริฟิเคชันให้เป็นก๊าซไนโตรเจนนั้นทำได้โดยการสลายตัวของอินทรีย์สารหรือบีโอดีในน้ำเสีย ทำให้ไม่มีความจำเป็นในการใช้สารเคมีที่มีราคาแพง เช่น เมทานอล อีกด้วย

2.5.2.3 ความคงตัวของระบบ

Hong (1991) พบว่าระบบแอนแอโรบิก-ออกซิกสามารถดำเนินการได้ในช่วงกว้างๆของอัตราการไหลของน้ำเสียและภาระอินทรีย์ (organic loading) ทั้งนี้ได้มีการติดตั้งระบบแอนแอโรบิก-ออกซิก ที่เมือง Lehigh มลรัฐเพนซิลวาเนีย สหรัฐอเมริกา โดยมีจุดประสงค์เพื่อกำจัดบีโอดีของน้ำเสียจากโรงงานผลิตเบียร์และโรงงานผลิตอาหารสำเร็จรูป พบว่า แม้ว่าค่าบีโอดีของน้ำเสียที่เข้าสู่

ระบบบำบัดจะมีความแปรปรวนในช่วงกว้างเนื่องจากการหยุดทำงานในวันหยุดสัปดาห์ แต่น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดก็ยังคงมีค่าบีโอดีต่ำกว่า 100 มก./ล. เสมอ

2.5.2.4 การใช้สลัดจ์ทำปุ๋ยอินทรีย์

ระบบบำบัดน้ำเสียประเภทอื่นๆ อาจมีสลัดจ์ที่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัดมาก แต่สลัดจ์ที่เกิดขึ้นในระบบแอนแอโรบิก-ออกซิกจะเป็นแหล่งทรัพยากรที่มีค่าเพราะสลัดจ์นี้หากตากแห้งแล้วจะได้ปุ๋ยอินทรีย์ที่มีคุณภาพสูงเพราะมีค่าฟอสฟอรัสสูงขึ้นเป็นพิเศษ ค่าใช้จ่ายของพลังงานในการตากสลัดจ์ให้แห้งอาจสูงกว่าการที่จะนำเอาสลัดจ์เหล่านี้มาทำเป็นปุ๋ยอินทรีย์ และคาดว่า การเอาสลัดจ์นี้ไปทำปุ๋ยอินทรีย์น่าจะได้ผลตอบแทนเชิงเศรษฐศาสตร์มากกว่า(สุจินต์ พนาปวุฒิกุล, 2535)