



วว.

โครงการวิจัยที่ ภ. 46-09 / ย. 3 / รายงานฉบับที่ 1 (ฉบับสมบูรณ์)

พัฒนาการใช้โอโซน (OZONE) ในการกำจัดสีในน้ำเสียอุตสาหกรรมฟอกย้อม



สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

โครงการวิจัยที่ ภ. 46-09

พัฒนาการจัดการและระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมฟอกย้อม
เพื่อนำน้ำกลับมาใช้ใหม่

โครงการย่อยที่ 3

พัฒนาการใช้โอโซน (OZONE) ในการกำจัดสีในน้ำเสียอุตสาหกรรมฟอกย้อม

รายงานฉบับที่ 1 (ฉบับสมบูรณ์)

พัฒนาการใช้โอโซน (OZONE) ในการกำจัดสีในน้ำเสีย
อุตสาหกรรมฟอกย้อม

โดย

แสวง เกิดประทุม

อริชฐาน ทิมแย้มประเสริฐ ไชยยันต์ เวียงแก้ว

นรา สุประพัฒน์โกคา ชัยชนะ ทัดพรหม

อนันต์ ทิมพินิจ บุญเดือน มงคลแดง

บรรณาธิการ

คารณี ประภาสะโนบล

นฤมล รื่นไวย์

ลิจิต หาญจางสิทธิ์

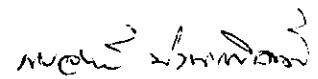
บุญเรียม น้อยชุมแพ

ปฐมสุดา สำเร็จ

วว. กรุงเทพฯ 2550

สงวนลิขสิทธิ์

รายงานฉบับนี้ได้รับการอนุมัติให้พิมพ์โดย
ผู้ว่าการสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย



(ดร. นงลักษณ์ ปานเกิดดี)

ผู้ว่าการ

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำ โครงการพัฒนาการใช้โอโซน (ozone) ในการกำจัดสีในน้ำเสียอุตสาหกรรม ฟอกย้อม ขอแสดงความขอบคุณหน่วยงานต่างๆ เช่น ห้องสมุดสภาวิจัยแห่งชาติ, ศูนย์บริการเอกสารการวิจัยแห่งประเทศไทย วว., งานจัดซื้อ, งานคลังพัสดุ และงานการเงิน ที่ให้การสนับสนุน ในการหาข้อมูลและด้านอื่นๆ เพื่อให้งานสำเร็จตามวัตถุประสงค์ไว้ ณ ที่นี้.

สารบัญ

	หน้า
สารบัญตาราง	ข
สารบัญรูป	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
ABSTRACT	1
บทคัดย่อ	2
1. บทนำ	3
2. วิธีการทดลอง	18
3. ผลการทดลอง	21
4. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	35
5. เอกสารอ้างอิง	36
ภาคผนวก	38

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1. คุณภาพน้ำเฉลี่ยที่ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกย้อม	9
ตารางที่ 2. ปริมาณน้ำใช้เฉลี่ย, ต่ำสุด, สูงสุด ของกระบวนการผลิตสิ่งทอประเภทต่างๆ กัน	11
ตารางที่ 3. คุณสมบัติของน้ำเสียและปริมาณในอุตสาหกรรมสิ่งทอแยกตามประเภท/ขั้นตอนต่างๆ	12
ตารางที่ 4. สิ่งเจือปน (สารประกอบ) ในน้ำเสียตามขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการฟอกย้อม	13
ตารางที่ 5. ความเข้มข้นเฉลี่ยและปริมาณจำเพาะของน้ำเสียในขั้นตอนหลักของกระบวนการฟอกย้อม	15
ตารางที่ 6. ผลการทดลองอัตราการเพิ่มขึ้นของโอโซนในน้ำกลั่นและน้ำเสีย	21
ตารางที่ 7. ผลการทดลองอัตราการสลายตัวของโอโซนในน้ำกลั่นและน้ำเสีย	22
ตารางที่ 8. ปริมาณความเข้มข้นของโอโซนที่สลายในน้ำกลั่นที่ระดับ pH ต่างๆ	23
ตารางที่ 9. ความเข้มข้นของน้ำเสียหลังกระบวนการบำบัดที่ช่วงเวลาต่างๆ	24
ตารางที่ 10. ผลการทดลองหาการเปลี่ยนแปลงค่า COD ของน้ำเสียหลังการบำบัด	25
ตารางที่ 11. ค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงขณะทดลองบำบัดน้ำเสีย	26
ตารางที่ 12. ผลความเข้มข้นของโอโซนคงเหลือในน้ำเสียระหว่างการบำบัดด้วยโอโซน	27
ตารางที่ 13. การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำเสียหลังการบำบัดแล้วในช่วงเวลาต่างๆ	29
ตารางที่ 14. ผลการคำนวณทางสถิติ	30
ตารางที่ 15. ผลการคำนวณทางสถิติ	31
ตารางที่ 16. อัตราส่วนสีของน้ำเสียหลังการบำบัดแล้วในช่วงเวลาต่างๆ ต่อสีของน้ำเสียที่เวลาเริ่มต้น	32
ตารางที่ 17. ผลการคำนวณทางสถิติ	33
ตารางที่ 18. ค่า pH, SS, TDS, BOD, COD และปริมาณสีในน้ำก่อนเข้าและหลังออกระบบบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนและมาตรฐานน้ำทิ้ง	34

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1. ปริมาณการใช้น้ำของภาคอุตสาหกรรมรายสาขา	3
รูปที่ 2. โครงสร้างเรโซแนนซ์ของโอโซน	5
รูปที่ 3. ปฏิกิริยารีดักชันของโอโซน	6
รูปที่ 4. การเกิดขึ้นของ H_2O_2 ซึ่งมี HO^\cdot เป็น catalyst	8
รูปที่ 5. การทดลองใส่โอโซนพ่นลงในน้ำ	18
รูปที่ 6. การทดลองพ่นโอโซนลงในน้ำเสียจากกระบวนการฟอกย้อมสีแอกทีฟ	19
รูปที่ 7. ผลการทดลองอัตราการเพิ่มขึ้นของโอโซนในน้ำกลั่นและน้ำเสีย	21
รูปที่ 8. ผลการทดลองอัตราการสลายตัวของโอโซนในน้ำกลั่นและน้ำเสีย	22
รูปที่ 9. ปริมาณความเข้มข้นของโอโซนในน้ำกลั่น	24
รูปที่ 10. ความเข้มข้นของน้ำเสียหลังกระบวนการบำบัดที่ช่วงเวลาต่างๆ	25
รูปที่ 11. ผลการทดลองหาการเปลี่ยนแปลงค่า COD ของน้ำเสียหลังการบำบัด	26
รูปที่ 12. ค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงขณะทดลองบำบัดน้ำเสีย	27
รูปที่ 13. ผลความเข้มข้นของโอโซนคงเหลือในน้ำเสียระหว่างการบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซน	28
รูปที่ 14. การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำเสียหลังการบำบัดแล้วในช่วงเวลาต่างๆ	29
รูปที่ 15. อัตราส่วนสีของน้ำเสียหลังการบำบัดแล้วในช่วงเวลาต่างๆ ต่อสีน้ำเสียที่เวลาเริ่มต้น	33

DEVELOPMENT OF TEXTILE WASTEWATER TREATMENT BY OZONE

**Sawaeng Gerdpratoom, Athitan Timyamprasert, Chaiyan Wiangkaew,
Nara Suprapatpoka, Boonturun Mongcontalang,
Chaichana Thutprom and Anan Pimpiniij**

ABSTRACT

Ozone was used in waste water treatment in dyeing industry. This experiment was conducted with an aim of removing dye color in wastewater from reactive dyeing process of TTL factory. 1,000 ml of wastewater was decolorized with ozone level of 0.25 gram/hour, at 35° C, and pH 10.9 for 3 hours. The color of wastewater was reduced from 1,080 ADMI to only 140 ADMI. Therefore, the color removal ability was 87.34% and increased to 88.98% with 5 hours of treatment. The residual color was due to its highly resistance to ozone oxidation since it was also shown that the longer time of treatment did not affect the color change.

The color stability of treated wastewater was studied. The results showed that after 24 hours of storage, the color of treated wastewater was stable. This could be concluded that the resultant substance from ozone oxidation exhibited its stability without any color change.

พัฒนาการใช้โอโซน (OZONE) ในการกำจัดสีในน้ำเสีย อุตสาหกรรมฟอกย้อม

แสวง เกิดประทุม¹, อธิษฐาน ทิมแย้มประเสริฐ¹, ไชยยันต์ เวียงแก้ว¹, นรา สุประพัฒน์โกภา¹,
บุญเตือน มงคลแสง¹, ชัยชนะ ทัดพรหม¹ และ อนันต์ พิมพินิจ¹

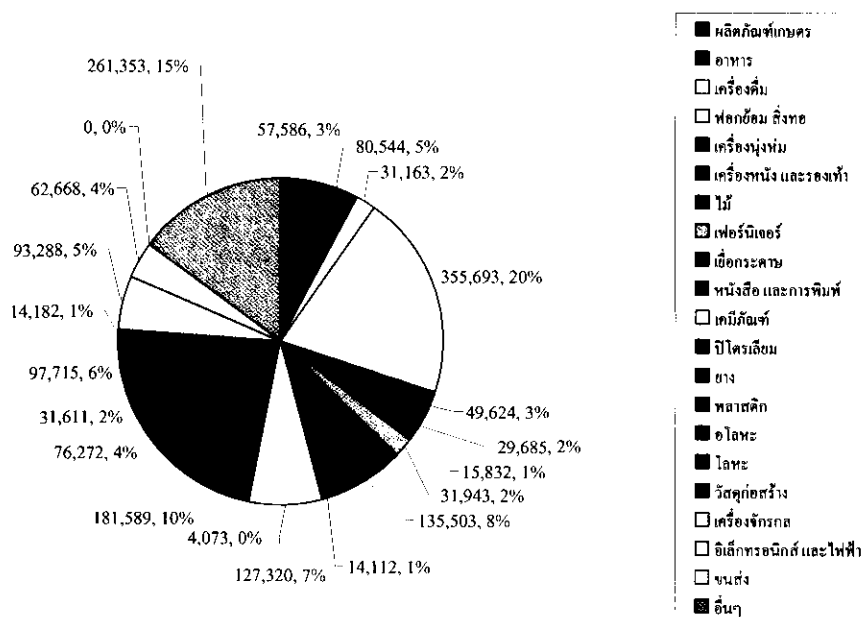
บทคัดย่อ

รายงานฉบับนี้ เสนอผลการใช้โอโซนในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม โดยได้ทำการทดลองกำจัดสีย้อม จากกระบวนการย้อมที่ใช้สรีแอกทีฟ ทำการทดลองกับน้ำเสียจากโรงงาน TTL. ในการทดลองใช้โอโซน 0.25 กรัมต่อชั่วโมง อุณหภูมิ 35° ซ. pH 10.9 บำบัดน้ำเสีย 1,000 มิลลิลิตร. ผลการทดลอง พบว่าสามารถลดสีในน้ำเสียจาก 1,080 ADMI ลงเหลือ 140 ADMI ในเวลา 3 ชั่วโมง, คิดเป็นความสามารถในการขจัดสีได้ 87.34% และที่เวลาในการกำจัด 5 ชั่วโมง สามารถขจัดสีได้ 88.98%. สีที่ยังคงเหลืออยู่จะเป็นสารที่มีความทนทานต่อการถูกออกซิไดซ์ด้วยโอโซน ทั้งนี้ถึงแม้จะใช้การบำบัดด้วยโอโซนเป็นเวลานานความเข้มสีก็ไม่ลดลง. จากการศึกษาความคงตัวของสีของน้ำหลังการบำบัดจะคงที่ หลังจากเก็บไว้เพื่อตรวจวัดความเข้มสีเป็นเวลา 24 ชั่วโมง, แสดงว่าสีที่ถูกออกซิไดซ์ได้สารที่มีความคงตัวไม่มีการเปลี่ยนแปลง.

¹สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)

1. บทนำ

อุตสาหกรรมฟอกย้อมเป็นอุตสาหกรรมประเภทหนึ่งที่มีการใช้น้ำในปริมาณมาก โดยเฉลี่ยมีการใช้น้ำประมาณ 1,000 ลูกบาศก์เมตร/โรงงาน/วัน จากปริมาณโรงงานทั้งขนาดเล็ก, กลาง และใหญ่ รวมทั้งหมด 450 โรง, ปริมาณการใช้น้ำของอุตสาหกรรมฟอกย้อมเฉลี่ยประมาณ 300,000 ลูกบาศก์เมตร/โรงงาน/ปี. ในปัจจุบันยังต้องการการพัฒนาเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงขึ้น ซึ่งที่ผ่านมาได้มีการนำเข้าผ้าผืนเพื่อใช้ผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูปในมูลค่าสูงถึง 17,000 ล้านบาท แต่มูลค่าการส่งออกผ้าผืนประมาณ 25,000-30,000 ล้านบาท ซึ่งส่วนใหญ่เป็นผ้าดิบ. ข้อมูลปี พ.ศ.2540 ระบุว่าอุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มสร้างรายได้มีมูลค่าถึง 170,289.8 ล้านบาท คิดเป็นร้อยละ 9.4 ของมูลค่าการส่งออกรวมทั้งประเทศ, ประกอบกับปัญหาภาวะการแข่งขันทางการค้ากับตลาดต่างประเทศซึ่งต้องการผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากโรงงานที่ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้น้ำเป็นปริมาณมาก, ดังนั้นโรงงานฟอกย้อมที่มีขนาดใหญ่จะต้องใช้น้ำเป็นปริมาณมากถึงวันละ 4,000-5,000 ลูกบาศก์เมตร ดังข้อมูลปริมาณการใช้น้ำของรายภาค อุตสาหกรรมที่แสดงปริมาณการใช้น้ำทั้งหมดของแต่ละอุตสาหกรรมและตามด้วยค่าที่คำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ดังแสดงในรูปที่ 1.



รูปที่ 1. ปริมาณการใช้น้ำของภาคอุตสาหกรรมรายสาขา.

ที่มา: <http://doenv.eng.cmu.ac.th>

สามารถขอยอมรับได้ แต่ถึงอย่างไรก็ตามก็ยังมีค่า BOD, COD และปริมาณสารอาหารที่สามารถย่อยสลายได้ในระดับที่ต่ำ และปริมาณสารอาหารที่สามารถย่อยสลายได้ในระดับที่ต่ำ ค่า pH ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าอยู่ในช่วง 6.5-8.5 ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสีย

ในรูปของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่า BOD, COD และปริมาณสารอาหารที่สามารถย่อยสลายได้ในระดับที่ต่ำ ค่า pH ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าอยู่ในช่วง 6.5-8.5 ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำเสีย

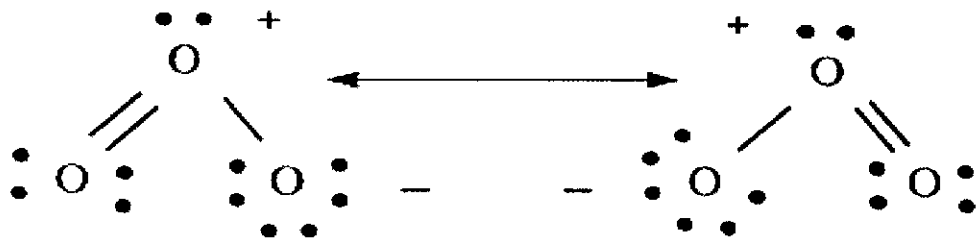
การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีแอมโมเนียไนโตรเจน (ANAMMOX) เป็นกระบวนการทางชีวเคมีที่เปลี่ยนแอมโมเนียไนโตรเจนให้เป็นไนโตรเจนแก๊สในสภาวะไร้ออกซิเจน โดยไม่ต้องใช้ออกซิเจนในการบำบัดน้ำเสีย

น้ำกลับไปใช้ซ้ำ เนื่องจากส่วนใหญ่เป็นสีรีแอกทีฟซึ่งจะไม่ตกตะกอนและถูกย่อยสลายจากจุลินทรีย์ได้น้อย.

ในโครงการวิจัยนี้จะเป็นการบำบัดน้ำเสียในส่วนที่เป็นสีรีแอกทีฟโดยจะทำการบำบัด ณ จุดที่มีการข้อมสีรีแอกทีฟ และน้ำเสียจากน้ำล้างหลังผ่านกระบวนการฟอกข้อม โดยการใช้ออกโซน, ในการบำบัดใช้การพ่นออกโซนให้ผสมกับน้ำเสีย ซึ่งออกโซนจะทำให้สีรีแอกทีฟแตกตัวออกเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ สีในน้ำเสียจึงลดลง. จากนั้นจึงนำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วกลับไปใช้ซ้ำโดยไม่ทำให้กระบวนการฟอกข้อมและคุณภาพของผ้าที่ผ่านกระบวนการข้อมมีการเปลี่ยนแปลง.

ออกโซนมีสถานะเป็นก๊าซ, โมเลกุลของออกโซนประกอบด้วยออกซิเจน 3 อะตอม. ปกติออกโซนเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ โดยการทำปฏิกิริยาระหว่างแสงอัลตราไวโอเล็ต (UV) และชั้นบรรยากาศของโลก. ในปัจจุบันออกโซนสามารถผลิตขึ้นได้โดยเครื่องกำเนิดออกโซน. วิธีที่ใช้ในการผลิตออกโซน มีหลายวิธี ได้แก่ การใช้แสง UV และการยิงกระแสไฟฟ้าผ่านออกซิเจน เป็นต้น, นอกเหนือจากวิธีผลิตในเชิงพาณิชย์ดังกล่าวแล้ว ออกโซนยังผลิตได้โดยหลักการทาง electrolyte และปฏิกิริยาเคมี. ออกโซนเป็น oxidizing agent ที่แรงที่สุดตัวหนึ่ง ซึ่งนิยมใช้ในการกำจัดสี, กลิ่นของเสียที่เป็นสารอินทรีย์ และ total organic carbon ในน้ำ รวมถึงใช้ในการฆ่าเชื้อโรคในน้ำด้วย. สำหรับการบำบัดของเสียที่มีปริมาณน้อย โดยทั่วไปนิยมใช้แสง UV ในการให้กำเนิดออกโซน แต่ถ้าปริมาณมากมักจะใช้การยิงกระแสไฟฟ้าผ่านอากาศ หรือวิธีอื่นๆ ที่เหมาะสม.

โครงสร้างทางเคมีของออกโซน มีลักษณะดังรูปที่ 2. ซึ่งแต่ละเรโซแนนซ์ประกอบด้วยพันธะเดี่ยวและพันธะคู่. พันธะเดี่ยวจะเหมือนกับพันธะของ peroxide ซึ่งค่อนข้างอ่อนแอและทำให้เกิดอนุมูลอิสระ, ส่วนพันธะคู่จะเหมือนกับของโมเลกุลของออกซิเจน ซึ่งยึดกันอย่างแข็งแรงและค่อนข้างเสถียร.



รูปที่ 2. โครงสร้างเรโซแนนซ์ของออกโซน.

ความเป็น oxidant ของโอโซน ที่โอโซนทำหน้าที่เป็น oxidant ได้นั้น เนื่องจากสภาวะออกซิเดชันของโอโซน. สภาวะออกซิเดชันหมายถึง จำนวนอิเล็กตรอนสุทธิที่ได้รับมาหรือเสียไปของอะตอม ซึ่งสัมพันธ์กับจำนวนอิเล็กตรอนในชั้นนอกสุด เช่น สภาวะออกซิเดชันของอะตอมออกซิเจน ซึ่งปกติจะมีค่าเท่ากับ -2. แต่อย่างไรก็ตาม ในโมเลกุลของทั้งโอโซนและออกซิเจนนั้น ออกซิเจนแต่ละอะตอมมีสภาวะออกซิเดชันเท่ากับ 0 ดังนั้นทั้งโอโซนและออกซิเจนต่างก็เป็น oxidant เพราะมีความสามารถในการดึงอิเล็กตรอนจากแหล่งอื่น. ในทางปฏิบัติโอโซนมีความเป็น oxidant ที่แรงกว่าออกซิเจน เพราะว่าโอโซนสามารถทำปฏิกิริยากับ substrate ด้วยตัวของมันเอง ในขณะที่ออกซิเจนต้องการ catalyst ช่วยในการเริ่มต้นปฏิกิริยา.

ปฏิกิริยารีดักชันของโอโซน ซึ่งถูกกระตุ้นด้วยไฟฟ้า ทำให้เกิดการปลดปล่อยโมเลกุลของออกซิเจนออกมาและเกิดออกซิเจนอะตอมที่มีสภาวะออกซิเดชันเท่ากับ -2 (ซึ่งแสดงในรูปของโมเลกุลของน้ำ, รูปที่ 2). กระบวนการดังกล่าวใช้พลังงานศักย์รีดักชันมาตรฐาน (เทียบกับไฮโดรเจน) เท่ากับ 2.07 V ซึ่งค่านี้สูงกว่าของสารส่วนใหญ่ จึงหมายความว่าโอโซนมีความสามารถในการออกซิไดส์สารส่วนใหญ่. ส่วนปฏิกิริยารีดักชันของโอโซน ซึ่งถูกกระตุ้นด้วยกระบวนการทางเคมีนั้นไม่สามารถทำได้ง่ายนักเพราะว่ามีหลายปฏิกิริยาเคมีเข้าเกี่ยวข้อง.



รูปที่ 3. ปฏิกิริยารีดักชันของโอโซน.

การทำงานของโอโซน โอโซนสามารถทำปฏิกิริยากับสารส่วนใหญ่ที่มีพันธะตั้งแต่พันธะคู่ขึ้นไป และปกติจะไม่ทำปฏิกิริยากับพันธะเดี่ยวเพราะว่าไม่มีเส้นทางสำหรับการเกิดปฏิกิริยาเคมี ซึ่งง่ายพอที่จะทำให้เกิดการออกซิเดชันได้. แต่อย่างไรก็ตามโอโซนสามารถออกซิไดส์อิออนที่ถูกออกซิไดส์ได้ง่าย เช่น S^{2-} ซึ่งทำให้เกิด oxyanions ได้แก่ SO_3^{2-} และ SO_4^{2-} . การออกซิเดชันดังกล่าวเกิดขึ้นได้ง่ายไม่ซับซ้อนและเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เพียงแค่โอโซนสัมผัสกับอิออนเท่านั้น.

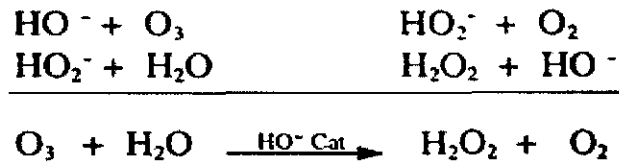
กระบวนการออกซิเดชันขั้นสูง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของโอโซน (Advanced Oxidation Process: ozone enhancement) เพื่อช่วยโอโซนในการทำปฏิกิริยากับสารก่อมลพิษที่ยากแก่การถูกออกซิไดส์. ได้มีการนำสารตัวอื่น เช่น hydrogen peroxide (H_2O_2), แสงที่มีพลังงานสูง

(ultraviolet), และ hydroxyl ion (ที่ pH สูง) มาใช้ร่วมด้วยหลายครั้ง. เราเรียกกระบวนการที่นำสารเหล่านี้ตั้งแต่หนึ่งตัวหรือมากกว่านั้นมาใช้ร่วมกับโอโซนว่า Advanced Oxidation Process (AOP). สารเหล่านี้มีความสามารถในการทำให้สารก่อมลพิษแตกตัว ดังนั้นเมื่อใช้สารเหล่านี้ร่วมกับโอโซน จะทำให้การแตกตัวของสารมลพิษที่เป็นสารอินทรีย์ไปเป็น CO_2 และ H_2O เกิดง่ายขึ้น. กระบวนการที่สารเหล่านี้ช่วยโอโซนในการทำให้สารก่อมลพิษสลายตัว.

Hydrogen Peroxide (H_2O_2) สามารถแตกตัวให้ hydroxyl radical (HO \cdot). ถือได้ว่า hydrogen peroxide เป็นแหล่งที่ให้อนุมูลอิสระ hydroxyl radical ที่มีความแรงสูง. การแตกตัวของ hydrogen peroxide ไปเป็น hydroxyl radical จะเกิดได้ช้าในที่มืดและเย็น แต่จะเกิดได้ง่ายขึ้นในที่ที่มีแสงไฟหรือที่ที่มีอุณหภูมิสูง. อนุมูลอิสระมีความสามารถในการดึงอะตอม (มักจะเป็น hydrogen) จาก substrate และในขณะที่เดียวกันก็เปลี่ยน substrate ไปเป็นอนุมูลอิสระที่ไม่เสถียร. substrate ที่อยู่ในสภาพอนุมูลอิสระจะมีความแรงในการทำปฏิกิริยาเคมีมาก และอาจจะประสบกับปฏิกิริยาภายในที่ทำให้เกิด functional group บน substrate ซึ่งไวต่อการทำปฏิกิริยากับโอโซน. ดังนั้นบทบาทหลักของ hydrogen peroxide ใน AOP เป็นเพียงแค่ทำให้สารก่อมลพิษมีความไวต่อการทำปฏิกิริยากับโอโซน.

Ultraviolet (UV) Light หรือแสง UV ทำให้พันธะเคมีแตกแยกออกจากกันเพราะว่าแสง UV มีพลังงานอยู่ในระดับเดียวกันกับของพันธะโคเวเลนต์. เมื่อ แสง UV ทำให้พันธะเคมีแตกแยกออกจากกันแล้ว ส่วนที่เหลือก็จะไวต่อการทำปฏิกิริยาเคมีกับโอโซน. แสง UV สามารถใช้เพื่อทำให้ H_2O_2 แตกตัว ซึ่งทำให้เกิด hydroxyl radical ที่มีความไวต่อปฏิกิริยาสูง แต่เนื่องจากแสง UV เป็นตัวที่ทำให้โอโซนแตกตัวเป็นออกซิเจน ดังนั้นตำแหน่งของมันใน AOP จะต้องคำนึงถึงด้วย.

ค่า pH ที่สูง เมื่อ pH สูง ค่าความเข้มข้นของ hydroxyl ion ก็สูงด้วย. รูปแบบการเข้าทำปฏิกิริยาของ hydroxyl ion นั้นปกติจะกระทำที่พันธะที่มีขั้ว ที่ค่า pH สูงๆ อาจทำให้เกิด hydroxyl radical โดยทางอ้อมได้ด้วย. Hydroxyl ion สามารถทำปฏิกิริยากับโอโซนเพื่อทำให้เกิด hydroperoxide ion (HO^2) ซึ่งที่ค่า pH ต่ำกว่า 11.6 สามารถเปลี่ยนรูปไปเป็น H_2O_2 ได้, ดังนั้นจะเห็นได้ว่าค่า pH ที่สูง จะช่วยเร่งปฏิกิริยาการเกิด H_2O_2 ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดของ hydroxyl radical. กระบวนการดังกล่าวแสดงดังรูปที่ 4.



รูปที่ 4. การเกิดขึ้นของ H₂O₂ ซึ่งมี HO⁻ เป็น catalyst.

โอโซนเป็นสารที่มีประสิทธิภาพในการทำให้เกิดการออกซิเดชันของอินทรีย์ที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อนและสารที่มีพันธะตั้งแต่พันธะคู่ขึ้นไป แต่การที่จะทำให้เกิดการออกซิเดชันที่มีประสิทธิภาพสูงและสมบูรณ์นั้นจะต้องอาศัยสารชนิดอื่นหรือปัจจัยอื่นร่วมด้วย เช่น H₂O₂, UV และค่า pH ที่สูง เป็นต้น.

1.1 น้ำเสียของอุตสาหกรรมฟอกย้อม

1.1.1 น้ำใช้ในอุตสาหกรรมฟอกย้อม

จากการสำรวจของคณะทำงาน อุตสาหกรรมฟอกย้อมมีการใช้น้ำมาก คุณภาพน้ำที่ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกย้อมดังแสดงในตารางที่ 1, ส่วนปริมาณน้ำใช้ของกระบวนการผลิตสิ่งทอต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2. ประเมินโดยเฉลี่ยมีการใช้น้ำประมาณ 1,000 ลูกบาศก์เมตร/โรงงาน/วัน ซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาการขาดแคลนน้ำในอนาคตได้ รวมถึงการใช้พลังงานเนื่องจากกระบวนการฟอกย้อมส่วนมากกระทำที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้อง เช่น การระเหยแห้ง, การอุ่นถึงน้ำยาเคมี, การย้อมที่อุณหภูมิสูง เป็นต้น.

การหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่อย่างมีประสิทธิภาพ จะช่วยลดการสูญเสียทั้งปริมาณน้ำและพลังงานด้วย.

ตารางที่ 1. คุณภาพน้ำดื่มที่ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกย้อม (แสดงปริมาณสารที่ยอมรับได้ในน้ำได้)

คุณภาพหรือสารเจือปน	ปริมาณที่ยอมรับได้ (มก./ล.)
ความขุ่น	น้อยกว่า 5
สารแขวนลอยที่เป็นของแข็ง สี	น้อยกว่า 5 น้อยกว่า 10 หน่วย (Hazen)
สภาพความเป็นกรด-เบส (pH)	7-9
ความเป็นกรดค้าง (acidity/alkalinity)	น้อยกว่า 100 ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต
ความกระด้าง	น้อยกว่า 70 ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต
เหล็ก	น้อยกว่า 0.3
แมงกานีส	น้อยกว่า 0.05
ทองแดง	น้อยกว่า 0.01
ตะกั่วหรือโลหะหนัก	น้อยกว่า 0.01
อะลูมิเนียม	น้อยกว่า 0.25
ซิลิกา	น้อยกว่า 10
ซัลเฟต	น้อยกว่า 250
ซัลไฟด์	น้อยกว่า 1
คลอไรด์	น้อยกว่า 250
ฟอสเฟต	ไม่จำกัด
ออกซิเจนที่ละลายน้ำ	ไม่จำกัด
คาร์บอนไดออกไซด์	น้อยกว่า 50
ไนโตรเจน	น้อยกว่า 0.5
คลอรีน	น้อยกว่า 0.1
แอมโมเนีย	น้อยกว่า 0.5
น้ำมัน, ไขมัน, ไขมัน	น้อยกว่า 1.0
สารเรืองแสง	น้อยกว่า 0.2
ของแข็งทั้งหมด (total solid)	น้อยกว่า 500

ที่มา: <http://tecnnet.tci.or.th/knowledge/wenve2.html>

1.1.2 น้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม

กระบวนการฟอกย้อมเป็นกระบวนการแบบเปียก ซึ่งมีการใช้ตัวทำละลาย จึงอาจมีการปล่อยสารอินทรีย์ระเหยง่าย (volatile organic compounds, VOCS) จากขั้นตอนการตกแต่งสำเร็จหรือขั้นตอนการอบแห้งและบริเวณที่ใช้ VOC. ความเข้มข้นของ VOC อาจมีตั้งแต่ 10 มิลลิกรัมคาร์บอน/ลูกบาศก์เมตร ขึ้นไปในกรณีกระบวนการเทอร์โมโซล (thermosol process) จนถึง 350 มิลลิกรัมคาร์บอน/ลูกบาศก์เมตร ในกรณีการอบแห้งและกลั่นตัว ซึ่งอาจใช้สกรับเบอร์ (scrubber) ดักไอ VOC, ใช้ถ่านกัมมันต์ดูดซับไว้และการป้อนเข้าระบบการเผาไหม้เพื่อกำจัด VOC ก่อนปล่อยออกสู่บรรยากาศ.

สำหรับน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อมนั้นเป็นแหล่งใหญ่ของน้ำเสีย ซึ่งอัตราการใช้น้ำและคุณภาพน้ำรวมถึงปริมาณน้ำเสียของกระบวนการฟอกย้อมแต่ละแห่งจะแตกต่างกันไปแล้วแต่ผลิตภัณฑ์ผ้า ซึ่งส่วนใหญ่มีการใช้สารเคมีมาก จึงมีการใช้น้ำปริมาณมากตั้งแต่ขั้นตอนการลอกแป้ง, การกำจัดสิ่งสกปรก, การย้อม, การพิมพ์, และการตกแต่งสำเร็จ ล้วนต้องการน้ำล้างทำความสะอาดผ้าเพื่อไปสู่ขั้นตอนต่อไปของกระบวนการ. ประมาณ 60–90% ของน้ำใช้ทั้งหมดเป็นน้ำล้างซึ่งก่อให้เกิดน้ำเสีย, อัตราการใช้น้ำ 160 กิโลกรัม/กิโลกรัมผ้า. ผ้าจากเส้นใยธรรมชาติใช้น้ำมากที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งผ้าฝ้าย, การฟอกย้อมผ้าฝ้ายใช้น้ำถึง 100–150 ลิตร/กิโลกรัมผ้า, ส่วนผ้าขนสัตว์ใช้น้ำมากถึง 200 ลิตร/กิโลกรัมผ้า, สำหรับเส้นใยสังเคราะห์ ใช้น้ำน้อยกว่าเมื่อเทียบกับหน่วยของผลิตภัณฑ์. น้ำเสียที่เกิดขึ้นและถูกปล่อยออกจากระบบในกระบวนการฟอกย้อมมีปริมาณใกล้เคียงกับปริมาณที่ป้อนเข้าระบบ ซึ่งมีการสูญเสียบ้างจากสายการผลิตและการระเหยออกไปบ้างในระหว่างการย้อม และระเหยแห้ง หรือปริมาณน้ำเสียสามารถประมาณได้ 90–95 % ของปริมาณน้ำใช้. คุณภาพน้ำเสียของกระบวนการฟอกย้อมแต่ละชนิดผ้าและแต่ละขั้นตอนแตกต่างกันไปดังแสดงในตารางที่ 3.

ตารางที่ 2. ปริมาณน้ำใช้เฉลี่ย, ต่ำสุด, สูงสุด ของกระบวนการผลิตสิ่งทอประเภทต่าง ๆ กัน

	Subcategory	Water usage (L kg-1)		
		Min	Med	Max
1	Wool scouring	4.2	11.7	77.6
2	Wool finishing	110.9	283.6	657.2
3	Low water use processing	0.8	9.2	140.1
4	Woven fabric finishing			
	a. Simple processing	12.5	78.4	275.2
	b. Complex processing	10.8	86.7	276.9
	c. Complex processing plus desizing	5.0	113.4	507.9
5	Knit fabric finishing			
	a. Simple processing	8.3	135.9	392.8
	b. Complex processing	20.0	83.4	377.8
	c. Hosiery processing	5.6	69.2	289.4
6	Carpet finishing	8.3	46.7	162.6
7	Stock and yarn finishing	3.3	100.1	557.1
8	Non-woven finishing	2.5	40.0	82.6
9	Felted fabric finishing	33.4	212.7	930.7

ที่มา : <http://tecnet.tci.or.th/knowledge/wenve2.html>

ตารางที่ 3. คุณสมบัติของน้ำเสียและปริมาณในอุตสาหกรรมสิ่งทอแยกตามประเภท/ขั้นตอนต่าง ๆ

Process and unit (U)	Waste volume (m3/U)	BOD (kg/U)	TSS (kg/U)	Other pollutants (kg/U)	
Wool processing (metric ton of wool) ^a					
Average unscoured stock ^b	544	314	196	Oil	191
Average scoured stock	537	87	43	Cr	1.33
Process-specific				Phenol	0.17
Scouring	17	227	153	Cr	1.33
Dyeing	25	27	-	Phenol	0.17
Washing	362	63	-	-	-
Carbonizing	138	2	44	Oil	191
Bleaching	12.5	1.4	-	Cr	1.33
Cotton processing (metric ton of cotton)					
Average compounded ^c	265	115	70	Phenol	0.17
Process-specific					
Yarn sizing	4.2	2.8	-		
Desizing	22	58	30		
Kiering	100	53	22		
Bleaching	100	8	5		
Mercerizing	35	8	2.5		
Dyeing	50	60	25		
Printing	14	54	12		
Other fibers (metric ton of product)					
Rayon processing	42	30	55		
Acetate processing	75	45	40		
Nylon processing	125	45	30		
Acrylic processing	210	125	87		
Polyester processing	100	185	95		

a. The pH varies widely, from 1.9 to 10.4.

b. The average compounded load factors listed are based on the assumption that only 20% of the product is mercerized (only nonwoolen components are mercerized) and 10% is bleached.

c. The average compounded load factors listed are based on the assumption that only 35% of the product is mercerized, 50% of the product is dyed, and 14% of the product is printed.

ที่มา: http://www.ifc.org/ifcext/enviro.nsf/content/Environmental_Guidelines

น้ำเสียจากกระบวนการฟอกย้อมส่วนใหญ่มีค่าด่าง (alkaline) และค่า BOD สูง ตั้งแต่ 700 – 2,000 มก./ล. และ COD สูงประมาณ 2 – 5 เท่าของ BOD มีของแข็ง น้ำมัน และอาจมีสารอินทรีย์ที่เป็นพิษเจือปน รวมทั้งสารประกอบอินทรีย์พวกฮาโลเจน (halogenated organics) จากขั้นตอนการฟอกขาว. นอกจากนี้ น้ำเสียจากการย้อมสีมักสีเข้มหรืออาจมีโลหะหนัก เช่น ทองแดง หรือโครเมียม เจือปน.

น้ำเสียจากขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการฟอกย้อม ประกอบไปด้วยสารอินทรีย์และอนินทรีย์ปะปนกัน ความแตกต่างกันขึ้นกับชนิดและกระบวนการของสิ่งทอนั้นๆ ดังกล่าวมาแล้ว พอจะสรุปสิ่งเจือปนหรือสารประกอบในน้ำเสียจากขั้นตอนหลักๆ ได้ ดังตารางที่ 4.

ตารางที่ 4. สิ่งเจือปน (สารประกอบ) ในน้ำเสียตามขั้นตอนต่างๆ ของกระบวนการฟอกย้อม

ขั้นตอน (กระบวนการ)	สารประกอบ
ลอกแป้ง (desizing)	แป้ง (size, starch), เอนไซม์ (enzymes), ไข (waxes) และ แอมโมเนีย (ammonia)
กำจัดสิ่งสกปรก (scouring)	ยาฆ่าเชื้อ (disinfectants), สารตกค้าง
ฟอกขาว (bleaching)	H ₂ O ₂ , AOX, โซเดียมซิลิเกต (sodium silicate) หรือ organic stabilizer และ pH สูง
ชุบมัน (mercerizing)	pH สูง และ NaOH
ย้อมสี (dyeing)	สี, โลหะ, เกลือ, สารซักฟอก (surfactants), สารช่วยย้อม, ซัลไฟด์ (sulphide), ความเป็นกรด/เบส และ ฟอรัลดีไฮด์ (formaldehyde)
พิมพ์ (printing)	ยูเรีย (urea), สารทำละลาย (solvents), สี และ โลหะ
ตกแต่งสำเร็จ (finishing)	เรซิน, ไข (waxes), สารประกอบคลอรีน (chlorinated compounds), แอซิเตต (acetate), สเตียเรต (stearate), ตัวทำละลาย (solvents) และ softeners

ที่มา : <http://tcnet.tci.or.th/Knowledge/weave2.html>

บางแห่งขั้นตอนการลอกแป้งถูกผนวกกับขั้นตอนกำจัดสิ่งสกปรก ซึ่งเป็นแหล่งน้ำเสียที่ก่อมลพิษที่สำคัญ. ปริมาณมลพิษจำเพาะของแป้ง (sizing agent) มีค่า 1–2 COD/กรัมของแป้ง. เมื่อพิจารณาแป้งธรรมชาติซึ่งมีโครงสร้างหลักเป็นแป้ง (starch) หรือโปรตีน (proteins) จึงมีค่า BOD สูง และอัตราส่วน BOD/COD อยู่ในช่วง 0.6-0.7, ส่วนแป้งสังเคราะห์ เช่น พอลิไวนิลแอลกอฮอล์, พีวีเอ (polyvinyl alcohol, PVA) หรือ คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (carboxymethyl

cellulose) เกือบจะไม่มีค่า BOD เลย, สามารถคำนวณปริมาณสารอินทรีย์อันเนื่องมาจากขั้นตอนการลอกเป้งโดยประมาณ บนพื้นฐานของปริมาณที่เคลือบบนเส้นด้ายของสิ่งทอนั้น ซึ่งเป้งที่เคลือบอยู่ทั่วไปประมาณ 5-20% โดยน้ำหนักของเส้นด้าย. สำหรับน้ำเสียจากการกำจัดสิ่งสกปรก (scouring) แตกต่างกันไปตามธรรมชาติและปริมาณสิ่งสกปรกที่อยู่บนเส้นใย รวมทั้งลักษณะของกระบวนการ. น้ำเสียส่วนนี้ มีของแข็งแขวนลอยและสารอินทรีย์สูง อาทิเช่น สิ่งสกปรก, ไขมัน, ไขมันในขนสัตว์, น้ำมัน, สารที่มีไนฟิช อีกทั้งสารซักฟอก สบู่ ต่าง และตัวทำละลาย ตลอดจนอาจมียาฆ่าแมลงเจือปนด้วย. โดยทั่วไป เส้นใยสังเคราะห์จะมีความสกปรกน้อยกว่าเส้นใยจากธรรมชาติ การกำจัดสิ่งสกปรกของเส้นใยสังเคราะห์เพื่อล้างเอาเป้งและน้ำมันที่เคลือบไว้ออก จึงมักนำเอาขั้นตอนการลอกเป้งร่วมกับขั้นตอนการกำจัดสิ่งสกปรกเป็นขั้นตอนเดียวกัน.

การฟอกขาวโดยการใช้สารเคมีฟอกขาว ซึ่งมีใช้กันอยู่ ได้แก่ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide), โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (sodium hypochlorite), โซเดียมคลอไรต์ (sodium chlorite), หรือก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2). ผ้าฝ้ายหรือผ้าใยผสมนิยมใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มากที่สุด และมีการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มากกว่า 90% ของการใช้สารฟอกขาวทั้งหมดที่ใช้ผลิตสิ่งทอ โดยใช้ร่วมกับสารละลายต่าง, น้ำเสียในส่วนนี้จึงมีสารเคมีเจือปนเป็นหลัก. ส่วนขั้นตอนการชุบมัน (mercerizing) ใช้กับการผลิตผ้าฝ้าย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการย้อมและเพื่อให้เส้นใยเจามัน โดยจุ่มในสารละลายต่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide), จากนั้นปรับ pH ให้เป็นกลาง แล้วจึงล้างด้วยน้ำล้าง มักใช้ต่างมาก อาจใช้ถึงประมาณ 20% ของน้ำหนักผ้า (http://www.owue.water.ca.gov/recycle/dous/RW_Dyc.pdf), น้ำเสียส่วนใหญ่นี้มีโซเดียมไฮดรอกไซด์เจือปนมาก.

ค่า BOD, COD, TSS, N และ P เป็นพารามิเตอร์ที่บ่งบอกลักษณะของน้ำเสียฟอกย้อม โดยกระบวนการหลักของการผลิตสิ่งทอ ดังแสดงในตารางที่ 5.

ตารางที่ 5. ความเข้มข้นเฉลี่ยและปริมาณจำเพาะของน้ำเสียในขั้นตอนหลักของกระบวนการฟอกย้อม

Fibre	Process	pH	BOD (mg l ⁻¹)	TSS (mg l ⁻¹)
Cotton	Desizing		1,700 – 5,200	16,000 – 32,000
	Scouring or Kiering	0 – 13	50 – 2,900	7,600 – 17,000
	Bleaching	8.5 – 9.6	0 – 1,700	2300 – 14,000
	Mercerising	5.5 – 9.5	45 – 65	600 – 1,900
	Dyeing	5 – 10	11 – 1,800	500 – 14,000
Wool	Scouring	9 – 14	30,000 – 40,000	1,100 – 64,000
	Dyeing	4.8 – 8	380 – 2,200	3,900 – 8,300
	Washing	7.3 – 10.3	4,000 – 11,000	4,800 – 19,000
	Neutralisation	1.9 – 9	28	1,200 – 4,800
	Bleaching	6	390	900
Nylon	Scouring	10.4	1,400	1,900
	Dyeing	8.4	370	640
Acrylic/ Modacrylic	Scouring	9.7	2,200	1,900
	Dyeing	1.5 – 3.7	170 – 2,000	830 – 2,000
	Final scour	7.1	670	1,200
Polyester	Scouring		500 – 800	
	Dyeing		480 – 27,000	
	Final scour		650	
Viscose	Scouring and dyeing	8.5	2,800	3,300
	Salt bath	6.8	58	4,900
Acetate	Scouring and dyeing	9.3	2,000	1,800

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาสีย้อมผ้าให้ย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ (bio-degradable) มากขึ้น แต่น้ำเสียจากการย้อมสีผ้ายังคงเป็นแหล่งสำคัญที่ก่อให้เกิดมลพิษแก่แหล่งน้ำ. ประมาณ 10-15% ของสีย้อม 700,000 ตัน ที่ผลิตได้ในแต่ละปีทั่วโลก ถูกปล่อยออกไปกับน้ำเสียในกระบวนการย้อมสี (Dore, M. 1997). สีรีแอคทีฟประมาณ 20-30% ของตลาดทั้งหมด (Gregor, H.K 1992) มีค่าอัตราการฟิสิกส์ (fixation) ต่ำ, โดยเฉพาะอย่างยิ่งสีโมโนรีแอคทีฟ (monoreactive dye) (Masten, J.S. *et al.* 1994). เมื่ออัตราการฟิสิกส์ต่ำ สีก็จะหลงเหลืออยู่ในน้ำย้อมหลังการย้อมมาก และรวมถึงในน้ำล้างด้วย หลังจากย้อมสีด้วยสีรีแอคทีฟ ประมาณ 800 มิลลิกรัมต่อลิตรของสีรีแอคทีฟที่แตกตัวคงเหลือในน้ำย้อม (Gregor, H.K 1992). การย้อมสีผ้ามักใช้สีย้อมผ้าร่วมกับการใช้สารเคมีประเภทอื่น เช่น กรด, ด่าง, เกลือ, สารฟิสิกส์ (fixing agent), ตัวพา (carries), ดิสเพอร์สซิงเอเจนต์ (dispersing agent), สารซักฟอก (surfactants) ซึ่งส่วนมาก หรืออาจจะเกือบทั้งหมดถูกปล่อยออกไปกับน้ำหลังการย้อม รวมทั้งสารพวกแอดดิทีฟ (additive) และสิ่งเจือปนอื่นๆ ที่มากับตัวสีย้อมอุตสาหกรรมเองด้วย. นอกจากสารเคมีและสารอินทรีย์ต่างๆ จะเจือปนในน้ำล้างที่กล่าวมาแล้วนั้น ยังอาจมีโลหะเจือปนด้วย. ปัจจุบันมีแนวโน้มที่จะมีโลหะหนักเจือปนลดลงเรื่อยๆ เนื่องจากการลดการใช้สีย้อมที่มีองค์ประกอบของโลหะ ซึ่งหมายรวมถึงทองแดง, โครเมียม, นิกเกิล, ตะกั่ว และ สังกะสี. โลหะที่พบเจือปนในน้ำเสียของกระบวนการฟอกย้อมอาจมาจากเส้นใย, แหล่งน้ำที่ใช้, สีย้อม, และสารเคมีปนเปื้อน. สีย้อมอาจมีสารเคมีปนเปื้อน เช่น สังกะสี, นิกเกิล, โครเมียม, และโคบอลต์ ซึ่งอยู่ในองค์ประกอบของโครงสร้างของสีย้อม หรือเจือปนมากับสีย้อม (http://www.owuc.water.ca.gov/recycle/docs/rw_Dye.pdf). ความเข้มข้นของโลหะหนักที่ออกจากหม้อย้อม โดยทั่วไปอยู่ในช่วงประมาณ 1-10 มิลลิกรัมต่อลิตร (Masten, J.S. *et al.* 1994). ถึงแม้จะเลือกใช้สีย้อมที่สามารถย่อยสลายได้โดยกลไกทางชีววิทยา (biodegradable) แต่นอกเหนือจากสีย้อมแล้ว สารอินทรีย์ที่ยังคงเหลืออยู่ไม่สามารถย่อยสลายทางชีวภาพด้วยการเติมอากาศ เช่น สารซักฟอกและสารพลอยได้ (by product), สารช่วยย้อม เช่น พอลิอะคริเลต (polyacrylates), ฟอสโฟเนต (phosphonates), sequestering agents, แป้งสังเคราะห์, สารแอนติสแตติก ดิสเพอร์ส (anti-static dispersing agents), สารกันเสีย (preservative) และสารช่วยตกแต่ง เป็นต้น. นอกจากนี้ การใช้ตัวทำลายบางชนิดในกระบวนการฟอกย้อม เช่น ในขั้นตอนการกำจัดสิ่งสกปรก หรือขั้นตอนการฟิมพ์ ก่อให้เกิดของเสียเสี่ยงอันตราย (hazardous organic wastes) (http://www.owuc.water.ca.gov/recycle/docs/rw_Dye.pdf), สารประกอบอินทรีย์ฮาโลเจน (halogenated organic compounds, AOX) อาจเกิดจากกระบวนการฟอกขาวด้วยไฮโปคลอไรต์ (hypochlorite) หรือจากน้ำทิ้งหลังจากการตกแต่งสำเร็จด้วยการควบคุมการหด (shrink – proofing finishing treatment) ด้วยการใช้น้ำคลอรีน ซึ่งอาจมีปริมาณ AOX ในน้ำที่ปล่อยออกจาก

ฟอกขาวถึง 100 มก./ล. ตลอดจนอาจมีสารก่อมะเร็ง (carcinogenic chloroform) ในปริมาณที่ต้องพิจารณาในหลายๆ ด้าน. แต่ปัจจุบันส่วนมากจะใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นสารฟอกขาว อย่างไรก็ตามสิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือ สิริแอกทีฟบางตัว เป็น AOX.

กระบวนการฟอกซ้อม มีการใช้เกลือปริมาณมาก ปริมาณเกลือที่เติมในขั้นตอนการซ้อมสี อยู่ในช่วง 20 – 80% ของน้ำหนักสิ่งทอ, หรือเกลือที่เกิดจากการปรับกรด-เบส หรือปฏิกิริยาเคมี ระหว่างกระบวนการ ทำให้เกิดปัญหาการมีเกลือสูงในน้ำเสียของกระบวนการฟอกซ้อม. ความเข้มข้นของเกลือในน้ำเสียหลังการซ้อมฝ้ายอาจสูงถึง 2,000 – 3,000 พีพีเอ็ม (ppm).

2. วิธีการทดลอง

2.1 การทดลองเพื่อหาอัตราการสลายตัวของโอโซนในน้ำกลั่นและน้ำเสีย

การทดลองนี้เป็นการทดลองเพื่อหาอัตราการสลายตัวของ โอโซนในน้ำกลั่นและน้ำเสียว่ามีอัตราการสลายตัวแตกต่างกันอย่างไร และศึกษาและวิเคราะห์หาปัจจัยที่ทำให้เกิดการสลายตัวของ โอโซนในน้ำ.

วิธีทำการทดลอง

1. นำน้ำกลั่น 1 ลิตร ทำการทดลองใส่โอโซนพ่นลงในน้ำดังแสดงในรูปที่ 5 เป็นเวลา 60 นาที.
2. นำน้ำที่ผ่าน โอโซนมาทำการทดลองเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณ โดยใช้เครื่องวัดโอโซน ทำการตรวจวัดค่าโอโซนทุกๆ 10 นาที.
3. ทำการทดลองแบบเดียวกันกับข้อ 1 และข้อ 2 โดยใช้ น้ำเสียจากกระบวนการฟอกย้อมสีแอกทีฟของโรงงาน TTL โดยแต่ละการทดลองทำซ้ำ 3 ครั้ง, นำค่าที่ได้หาค่าเฉลี่ยแล้วนำไปเขียนกราฟเพื่อศึกษาหาค่าแนวโน้มและค่าครึ่งชีวิต (half life) ของการสลายตัวของโอโซน.



รูปที่ 5. การทดลองใส่โอโซนพ่นลงในน้ำ.

2.2 การทดลองเพื่อศึกษาอัตราการลดลงของสีในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซน

1. นำน้ำเสียจากกระบวนการฟอกย้อมสีแอกทีฟผ่านโอโซนลงในน้ำเสียดังแสดงในรูปที่ 6 จากนั้นทำการตรวจวัดปริมาณโอโซนที่ช่วงเวลาต่างๆ ทำการตรวจวัดทุกๆ 1 ชั่วโมง จนครบ 5 ชั่วโมง เพื่อหาความเข้มข้น, ค่า COD และ ค่า pH ของน้ำเสีย.
2. ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง แล้วนำค่าเฉลี่ยของทั้งสามครั้งเขียนกราฟแสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลง.



รูปที่ 6. การทดลองผ่านโอโซนลงในน้ำเสียจากกระบวนการฟอกย้อมสีแอกทีฟ.

2.3 การทดลองศึกษาการคงสภาพของน้ำเสียหลังการบำบัด

การทดลองนี้เพื่อทำการศึกษาการคงสภาพของน้ำเสียหลังการบำบัดว่าสีที่ถูกบำบัดโดยการทำปฏิกิริยากับ โอโซนจนสีลดลงแล้วจะมีการเกิดสีหรือมีการเปลี่ยนแปลงหลังจากเก็บไว้ในช่วงเวลาต่างๆ อย่างไร.

วิธีทำการทดลอง

1. นำน้ำเสียมารับบำบัดโดยผ่านก๊าซโอโซนเป็นเวลา 60 นาที โดยควบคุมค่า pH และ อุณหภูมิ 35 °ซ.
2. ทำการตรวจวัดอัตราการลดลงของสีทุกๆ 10 นาที.
3. นำน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดมาเก็บในหลอดทดลองที่มีฝาปิดหลอดละ 50 ลูกบาศก์ เซนติเมตร จำนวน 10 หลอด.
4. สังเกตการเปลี่ยนแปลงของสีที่เกิดขึ้น โดยวัดความเข้มสีในหน่วย ADMI ที่เวลา 0.5, 1, 2, 4, 8 และ 24 ชั่วโมง.
5. ทำการทดลองในข้อ 1 ถึง 4 ซ้ำ 4 ครั้ง.
6. ค่าความเข้มสีที่ได้ในหน่วย ADMI แล้วนำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์หาค่าความแตกต่างทางสถิติด้วยวิธี Randomized complete block design (RCBD) โดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อตรวจสอบหาความเชื่อมั่นว่าสีของน้ำเสียหลังการบำบัดเมื่อทิ้งเป็นเวลานานจะมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่.

2.4 วิธีการทดลองบำบัดน้ำเสียจากการย้อมสีรีแอกทีฟโดยใช้โอโซน

อุปกรณ์ในการทดลอง

1. เครื่องผลิตโอโซนขนาดกำลังการผลิตโอโซน 10 กรัมต่อชั่วโมง.
2. ถังผสมโอโซนกับน้ำเสีย.
3. เครื่องวัดความเข้มของโอโซน.
4. เครื่องวัดความเข้มชั้นของสี.

วิธีทดลอง

1. ผสมก๊าซโอโซน 10 กรัมต่อชั่วโมง ด้วยอัตราการไหลของก๊าซ 10 ลิตรต่อนาที ผสมกับน้ำเสียในถังผสมจนปริมาณโอโซนละลายอยู่ในน้ำจนอิ่มตัว.

3. ผลการทดลอง

3.1 ผลการทดสอบหาอัตราการสลายตัวของโอโซนในน้ำกลั่นและน้ำเสีย

ภาวะในการทดสอบ

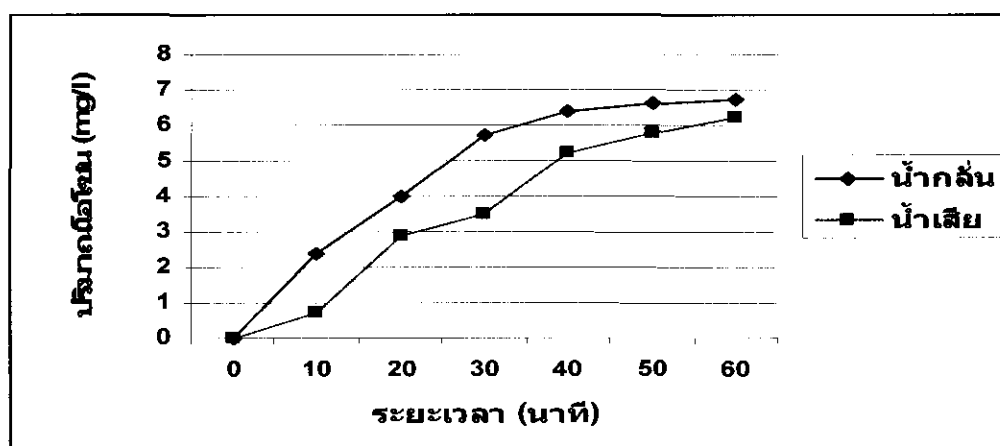
1. ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดสอบ 1,000 มิลลิลิตร.
2. ปริมาณโอโซน 0.25 กรัม/ชั่วโมง.
3. อุณหภูมิ 35^oซ.
4. เวลาที่เติมก๊าซโอโซน 60 นาที.
5. ทำการทดลองที่ pH 7.0.

ตารางที่ 6. ผลการทดลองอัตราการเพิ่มขึ้นของโอโซนในน้ำกลั่นและน้ำเสีย

หน่วย : มิลลิกรัมต่อลิตร

ชนิดของน้ำ	ระยะเวลาเติมโอโซน (นาที)						
	0	10	20	30	40	50	60
น้ำกลั่น	0	2.4	4.0	5.7	6.4	6.6	6.7
น้ำเสีย	0	0.7	2.9	3.5	5.2	5.8	6.2

ที่มา: จากการทดลอง



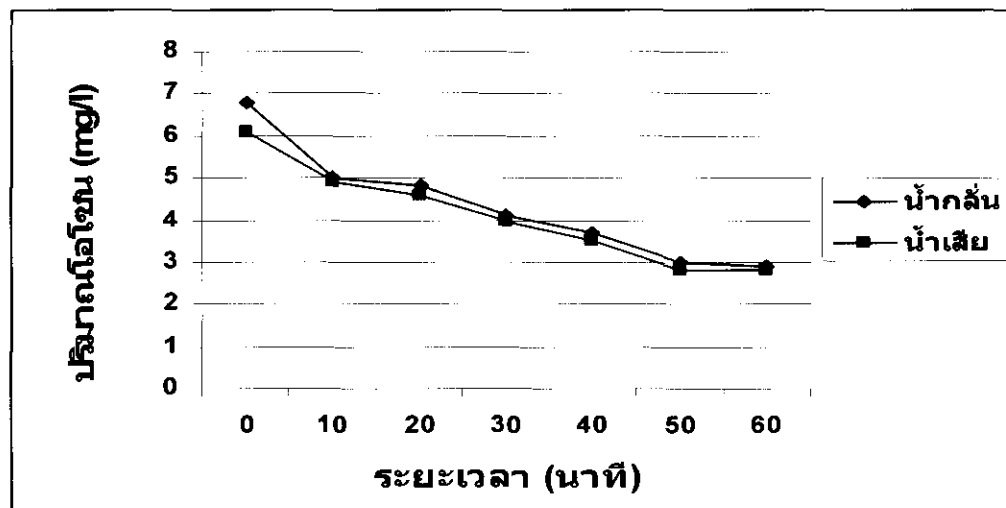
รูปที่ 7. ผลการทดลองอัตราการเพิ่มขึ้นของโอโซนในน้ำกลั่นและน้ำเสีย.

ตารางที่ 7. ผลการทดลองอัตราการสลายตัวของโอโซนในน้ำกลั่นและน้ำเสีย

หน่วย : มิลลิกรัมต่อลิตร

ชนิดของน้ำ	ระยะเวลาเติมโอโซน (นาที)						
	0	10	20	30	40	50	60
น้ำกลั่น	6.8	5.0	4.8	4.1	3.7	3.0	2.9
น้ำเสีย	6.1	4.9	4.6	4.0	3.5	2.8	2.8

ที่มา: จากการทดลอง



รูปที่ 8. ผลการทดลองอัตราการสลายตัวของโอโซนในน้ำกลั่นและน้ำเสีย.

3.2 ผลการทดลองการศึกษาหาผลของ pH ที่มีผลต่ออัตราการสลายตัว

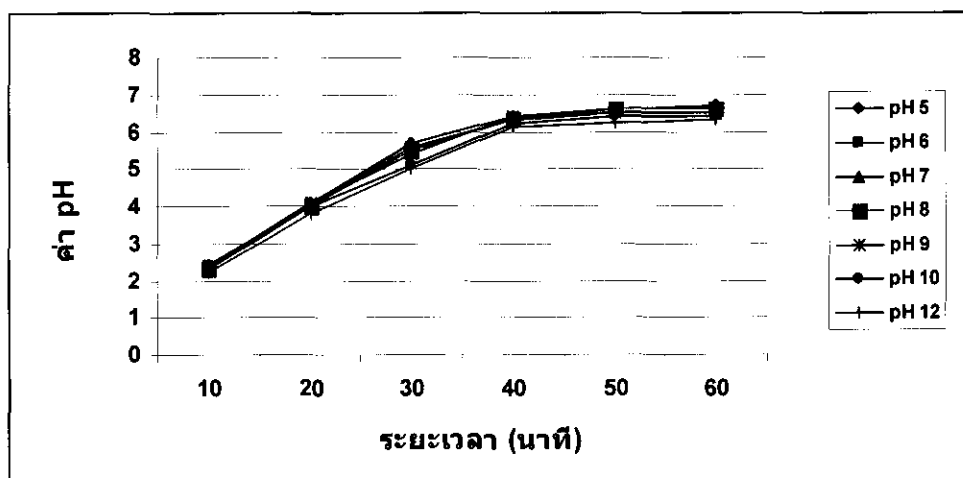
ภาวะที่ใช้ทดลอง

1. ปริมาณน้ำเสียที่ใช้ในการทดสอบ 1,000 มิลลิลิตร.
2. ปริมาณ โอ โโซน 0.25 กรัม/ชั่วโมง.
3. อุณหภูมิ 35^oซ.
4. pH ที่ใช้ทดสอบ 5,6,7,8,9,10 และ 12.

ตารางที่ 8. ปริมาณความเข้มข้นของโอโซนในน้ำกลั่นที่ระดับ pH ต่างๆ

pH	เวลา (นาที)					
	10	20	30	40	50	60
5	2.4	4.1	5.7	6.4	6.6	6.7
6	2.4	4	5.6	6.3	6.5	6.5
7	2.4	4	5.7	6.4	6.6	6.7
8	2.3	4	5.5	6.3	6.6	6.6
9	2.3	4.1	5.4	6.4	6.5	6.5
10	2.3	4	5.1	6.2	6.4	6.4
12	2.2	3.8	5.0	6.1	6.2	6.3

ที่มา: จากการทดลอง



รูปที่ 9. ปริมาณความเข้มข้นของโอโซนในน้ำกลั่น.

3.3 ผลการทดลองศึกษาหาความสามารถในการกำจัดสีโอโซน

ภาวะในการทดลอง

1. น้ำเสียจากการข้อมสีรีแอกทีฟ 1,000 มิลลิลิตร.
2. ปริมาณโอโซน 0.25 กรัม/ชั่วโมง.
3. อุณหภูมิ 35⁰ซ.
4. pH 10.9.
5. เก็บค่าต่างๆ 10 นาที แล้วนำไปวัดความเข้มข้นในหน่วย ADMI ด้วยเครื่อง

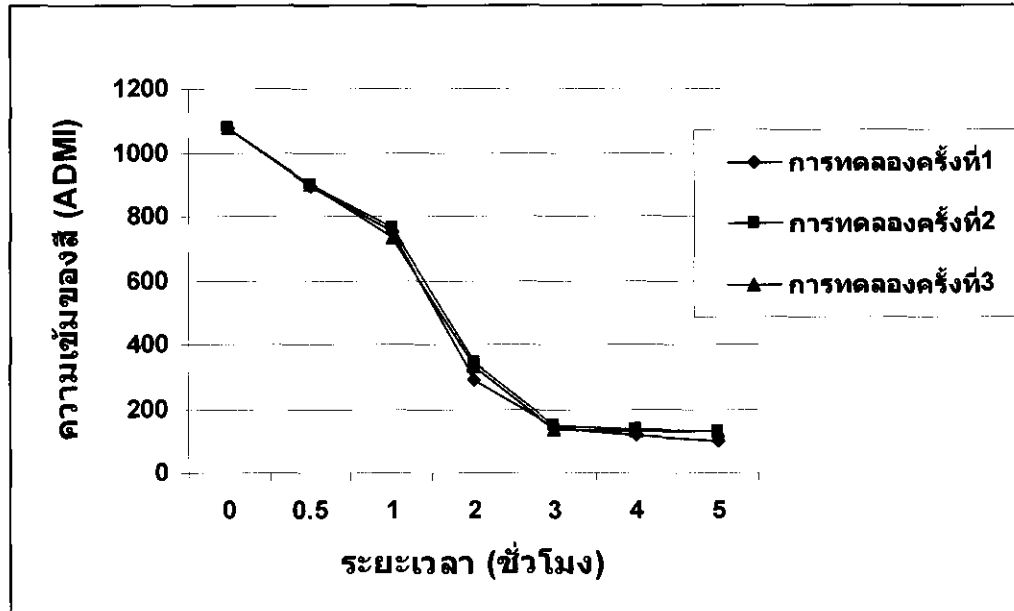
Spectrophotometer Hach DR 4,000.

ตารางที่ 9. ความเข้มข้นของน้ำเสียหลังกระบวนการบำบัดที่ช่วงเวลาต่างๆ

หน่วย : ADMI

การทดลองที่	ระยะเวลาที่เติมโอโซน (ชั่วโมง)						
	0	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
1	1080	895	748	288	139	120	100
2	1080	901	765	346	145	138	130
3	1080	896	734	330	136	132	128
เฉลี่ย	1080	897	749	321	140	130	119

ที่มา: จากการทดลอง



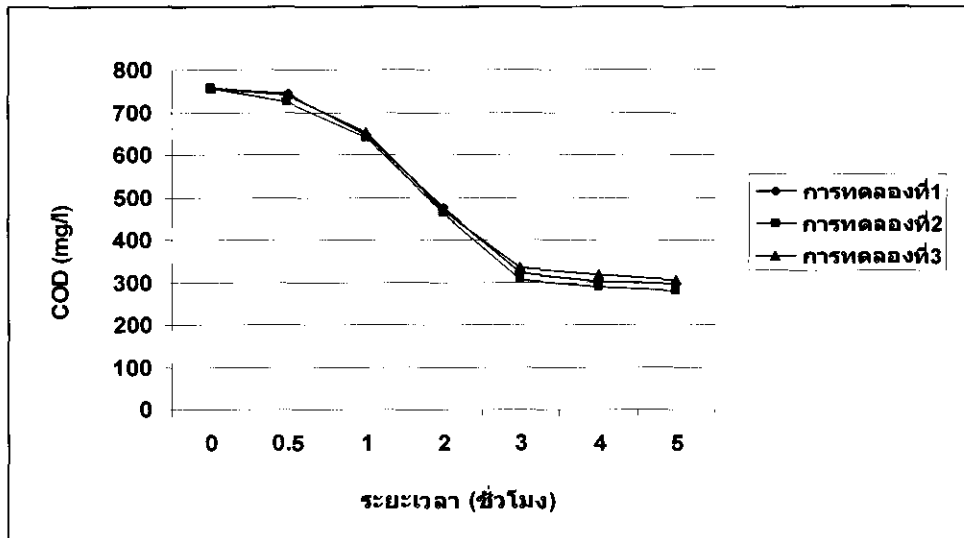
รูปที่ 10. ความเข้มข้นของน้ำเสียหลังกระบวนการบำบัดที่ช่วงเวลาต่างๆ.

ตารางที่ 10. ผลการทดลองหาการเปลี่ยนแปลงค่า COD ของน้ำเสียหลังการบำบัด

หน่วย : mg/l

การทดลองที่	ระยะเวลาที่เติมโอโซน (ชั่วโมง)						
	0	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
1	756	743	645	475	322	301	295
2	756	726	638	462	304	287	274
3	756	742	653	469	336	318	304
เฉลี่ย	756	737	645	469	321	302	291

ที่มา: จากการทดลอง

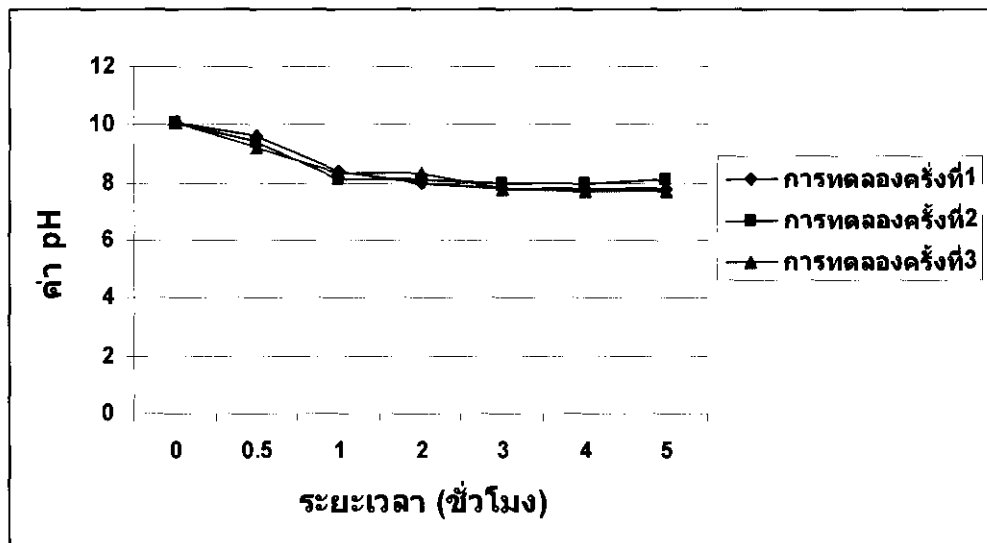


รูปที่ 11. ผลการทดลองหาการเปลี่ยนแปลงค่า COD ของน้ำเสียหลังการบำบัด.

ตารางที่ 11. ค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงขณะทดลองบำบัดน้ำเสีย

การทดลองที่	ระยะเวลาที่เติมโอโซน (ชั่วโมง)						
	0	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
1	10.1	9.6	8.4	8.0	7.8	7.8	7.8
2	10.1	9.4	8.1	8.1	8.0	8.0	8.1
3	10.1	9.2	8.3	8.3	7.8	7.7	7.7
เฉลี่ย	10.1	9.4	8.3	8.1	7.9	7.8	7.9

ที่มา: จากการทดลอง



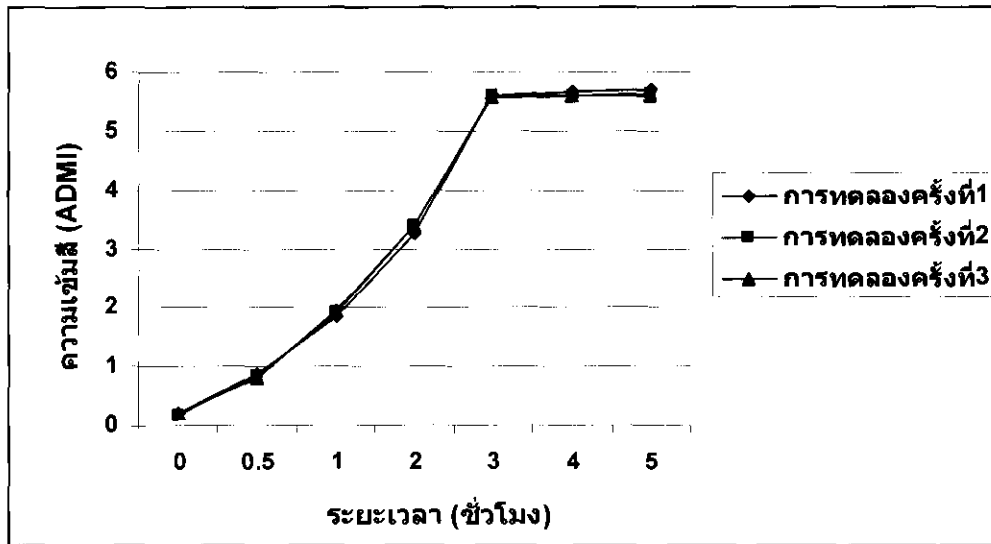
รูปที่ 12. ค่า pH ที่เปลี่ยนแปลงขณะทดลองบำบัดน้ำเสีย.

ตารางที่ 12. ผลความเข้มข้นของโอโซนคงเหลือในน้ำเสียระหว่างการบำบัดด้วยโอโซน

หน่วย : mg/l

การทดลองที่	ระยะเวลาที่เติมโอโซน (ชั่วโมง)						
	0	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
1	0.20	0.87	1.86	3.25	5.61	5.66	5.70
2	0.18	0.85	1.92	3.39	5.59	5.60	5.63
3	0.21	0.82	1.94	3.40	5.58	5.59	5.61
เฉลี่ย	0.20	0.85	1.91	3.35	5.59	5.62	5.65

ที่มา: จากการทดลอง



รูปที่ 13. ผลความเข้มข้นของไอโซนกงเหลือในน้ำเสียระหว่างการบำบัดน้ำเสียด้วยไอโซน.

3.4. ผลการทดลองหาการคงตัวของน้ำเสียหลังการบำบัด

ภาวะที่ใช้ทดสอบ

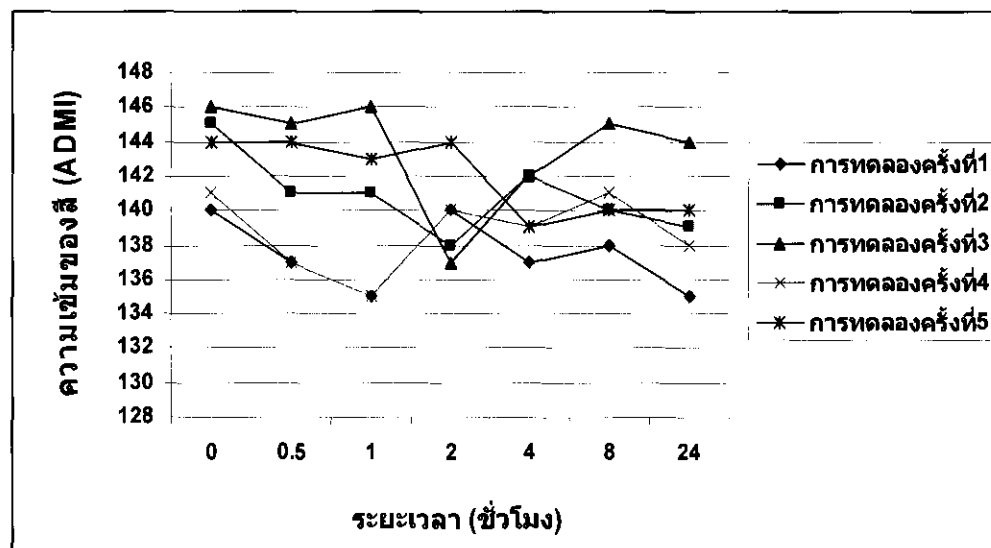
1. ปริมาณน้ำเสีย 1,000 มิลลิลิตร.
2. ปริมาณ ไอโซน 0.25 กรัม/ชั่วโมง.
3. อุณหภูมิ 35 °ซ.
4. เวลาที่ใช้บำบัดน้ำเสีย 60 นาที.
5. ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำขณะทดลอง 6 มิลลิกรัมต่อลิตร.
6. ปริมาณ ไอโซนที่คงสภาพในน้ำเสียขณะบำบัด 0.125 มิลลิกรัมต่อลิตร.
7. เก็บตัวอย่างน้ำหลังการบำบัดที่อุณหภูมิห้อง 30-35 °ซ.
8. ทำการตรวจวัดสีโดยใช้เครื่องมือ Spectrophotometer วัดความเข้มสีในหน่วย ADMI

ดังรายละเอียดวิธีการวัดซึ่งแสดงไว้ในภาคผนวก.

ตารางที่ 13. การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำเสียหลังการบำบัดแล้วในช่วงเวลาต่างๆ

การทดลองที่	ระยะเวลาที่เติมโอโซน (ชั่วโมง)						
	0	0.5	1.0	2.0	4.0	8.0	24.0
1	140	137	135	140	137	138	135
2	145	141	141	138	142	140	139
3	146	145	146	137	142	145	144
4	141	137	135	140	139	141	138
5	144	144	143	144	139	140	140

ที่มา: จากการทดลอง



รูปที่ 14. การเปลี่ยนแปลงสีของน้ำเสียหลังการบำบัดแล้วในช่วงเวลาต่างๆ.

การวิเคราะห์ด้วยรูปแบบที่เรียกว่า Completely randomized design (CRD)

ตารางที่ 14. ผลการคำนวณทางสถิติ

Source of variation (SOV)	df	SS	MS	F		
				Calculate	Table	
					0.05	0.01
Total	34	348.74				
Treatment	6	51.94	8.66	0.82 ^{ns}	2.44	3.53
Error	28	296.80	10.60			

ที่มา: จากการคำนวณ

เมื่อพิจารณาค่า F ที่ได้จากการคำนวณพบว่า มีค่า 0.82 ซึ่งน้อยกว่าค่า F จากตาราง แสดงว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05 และ 0.01.

จากตัวเลขช่วงเวลาทั้ง 7 แม้ว่าระดับความเข้มข้นของสีจะออกมาใกล้เคียงกันหรือเท่ากันในทางสถิติก็ยังไม่แน่ใจว่ามีความใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงใช้ความแปรปรวนในการเปรียบเทียบช่วงเวลา:

- ความแปรปรวนของช่วงเวลา 0 มีค่าเท่ากับ 6.7
- ความแปรปรวนของช่วงเวลา 0.5 มีค่าเท่ากับ 14.2
- ความแปรปรวนของช่วงเวลา 1 มีค่าเท่ากับ 24
- ความแปรปรวนของช่วงเวลา 2 มีค่าเท่ากับ 7.2
- ความแปรปรวนของช่วงเวลา 4 มีค่าเท่ากับ 4.7
- ความแปรปรวนของช่วงเวลา 8 มีค่าเท่ากับ 6.7
- ความแปรปรวนของช่วงเวลา 24 มีค่าเท่ากับ 10.7

จากการเปรียบเทียบความแปรปรวนจะเห็นได้ว่าค่าความแปรปรวนของช่วงเวลา 0, 2, 4 และ 8 จะใกล้เคียงกัน ในขณะที่ช่วงเวลา 0.5, 1 และ 24 มีความแปรปรวนมากกว่า. การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ พบว่าน้ำเสียหลังผ่านการบำบัดเมื่อตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ไม่มีการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสีอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.01 และ 0.05.

การวิเคราะห์ด้วยรูปแบบที่เรียกว่า **Randomized complete block design (RCBD)**

ตารางที่ 15. ผลการคำนวณทางสถิติ

Source of variation (SOV)	df	SS	MS	F		
				Calculate	Table	
					0.05	0.01
Total	34	348.74				
Replication	4	171.03	42.76	8.16**	2.78	4.22
Treatment	6	51.94	8.66	1.65 ^{ns}	2.51	3.67
Error	24	125.77	5.24			

เมื่อพิจารณาค่า Treatment พบว่ามีค่าน้อยกว่าค่าที่แสดงไว้ในตาราง แสดงว่าค่า Treatment ไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 และ 0.01 หรือกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งว่าความเข้มของสีในแต่ละชั่วโมงไม่มีความแตกต่างกัน.

ค่า Replication SS พบว่ามีค่ามากกว่าค่าที่แสดงไว้ในตาราง แสดงว่าค่า Replication มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ 0.05 และ 0.01 หรือกล่าวได้อีกอย่างว่าความเข้มของสีในการทดลองในแต่ละครั้งมีความแตกต่างกัน ซึ่งสามารถวิเคราะห์ความแตกต่างด้วยวิธี Duncan's New Multiple Rang Test โดยดูความแตกต่างของการทดลองเป็นคู่ๆ เพื่อดูว่าการทดลองในครั้งใดบ้างที่มีความแตกต่างกัน. สามารถสรุปผลความแตกต่างได้ดังนี้คือ:

- การทดลองครั้งที่ 1 มีความแตกต่างกับการทดลองครั้งที่ 3 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
- การทดลองครั้งที่ 1 มีความแตกต่างกับการทดลองครั้งที่ 4 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01, 0.05
- การทดลองครั้งที่ 1 มีความแตกต่างกับการทดลองครั้งที่ 5 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01, 0.05
- การทดลองครั้งที่ 2 มีความแตกต่างกับการทดลองครั้งที่ 5 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01, 0.05
- การทดลองครั้งที่ 3 มีความแตกต่างกับการทดลองครั้งที่ 5 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

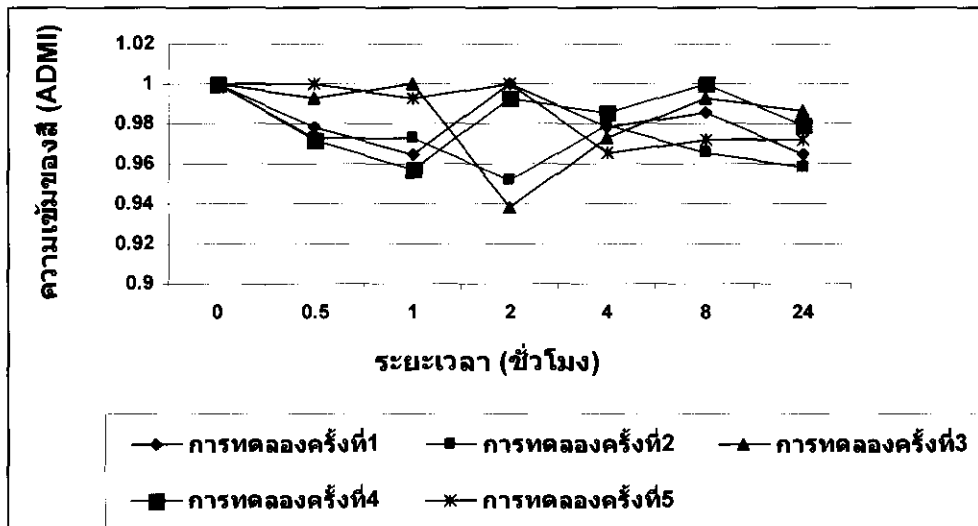
- การทดลองครั้งที่ 1 ไม่มีความแตกต่างกับการทดลองครั้งที่ 2 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01, 0.05
- การทดลองครั้งที่ 2 ไม่มีความแตกต่างกับการทดลองครั้งที่ 3 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01, 0.05
- การทดลองครั้งที่ 2 ไม่มีความแตกต่างกับการทดลองครั้งที่ 4 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01, 0.05

การทดลองครั้งที่ 3 ไม่มีความแตกต่างกับการทดลองครั้งที่ 4 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01, 0.05
 การทดลองครั้งที่ 4 ไม่มีความแตกต่างกับการทดลองครั้งที่ 5 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01, 0.05
 จากข้อมูลและการคำนวณทางสถิติพบว่า ความเข้มข้นของสีในน้ำเสียหลังการบำบัดแล้วเก็บ
 ทิ้งไว้เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงของสีที่ระดับนัยสำคัญ 0.01 และ 0.05 แต่
 การทดลองแต่ละครั้งให้ผลแตกต่างกันทั้งนี้เพราะสีที่ใช้เริ่มต้นมีความเข้มข้นแตกต่างกัน.

แต่ถ้าทำการวิเคราะห์ผลทางสถิติของค่าความเข้มข้นสีที่ช่วงเวลาต่างๆ ทารด้วยความเข้มข้นสีที่
 ช่วงเวลา 0 นาที พบว่า การทดลองในแต่ละครั้งไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสีของน้ำเสียหลังการ
 บำบัด.

**ตารางที่ 16. อัตราส่วนสีของน้ำเสียหลังการบำบัดแล้วในช่วงเวลาต่างๆ ต่อสีของน้ำเสียที่
 เวลาเริ่มต้น**

การทดลองที่	ระยะเวลาที่เติมโอโซน (ชั่วโมง)						
	0	0.5	1.0	2.0	4.0	8.0	24.0
1	1.000000	0.978571	0.964286	1.000000	0.978571	0.985714	0.964286
2	1.000000	0.972414	0.972414	0.951724	0.979310	0.965517	0.958621
3	1.000000	0.993151	1.000000	0.938356	0.972603	0.993151	0.986301
4	1.000000	0.971631	0.957447	0.992908	0.985816	1.000000	0.978723
5	1.000000	1.000000	0.993056	1.000000	0.965278	0.972222	0.972222



รูปที่ 15. อัตราส่วนสีของน้ำเสียหลังการบำบัดแล้วในช่วงเวลาต่างๆ ต่อสีน้ำเสียที่เวลาเริ่มต้น.

ตารางที่ 17. ผลการคำนวณทางสถิติ

Source of variation (SOV)	df	SS	MS	F		
				Calculate	Table	
					0.05	0.01
Total	34	0.00952				
Replication	4	0.00092	0.00023	0.90651 ^{ns}	2.78	4.22
Treatment	6	0.00252	0.00042	1.66194 ^{ns}	2.51	3.67
Error	24	0.00608	0.00025			

เมื่อพิจารณาค่า Replication และค่า Treatment พบว่ามีค่าน้อยกว่าค่าที่แสดงไว้ในตาราง แสดงว่าค่า Treatment ไม่มีความแตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 และ 0.01 หรือกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งว่าความเข้มของสีในแต่ละชั่วโมง และแต่ละครั้งในการทดลองความเข้มของสีไม่มีความแตกต่างกัน.

ตารางที่ 18. ค่า pH, SS, TDS, BOD, COD และปริมาณสีในน้ำก่อนเข้าและหลังออกระบบ
บำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนและมาตรฐานน้ำทิ้ง

	น้ำก่อนเข้าระบบ	น้ำหลังออกระบบ	มาตรฐานน้ำทิ้ง
pH	10.67	10.65	5-8
SS	32	6	> 50
TDS (mg/l)	55,000	48,600	< 3,000
BOD (mg/l)	175	42	> 60
COD (mg/l)	350	42	> 60
สี (ADMI)	1,160	520	ไม่เป็นที่นํารังเกียจ

4. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การทดลองเพื่อศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับการละลาย และการสลายตัวของ โอโซน ในน้ำที่สะอาดคือ น้ำกลั่นและน้ำเสีย.

จากผลการทดลองหาระยะเวลาการละลายของโอโซนในน้ำ พบว่าโอโซนใช้เวลาในการละลายน้ำจนอิ่มตัวโดยใช้เวลา 50 นาที และการละลายของโอโซนในน้ำเสียนี้อัตราการละลายน้อยกว่าในน้ำกลั่นเล็กน้อย ทั้งนี้เพราะในน้ำเสียนี้ออกซิเจนหรือสารที่ทำปฏิกิริยากับโอโซนปนอยู่ด้วย ทำให้โอโซนส่วนหนึ่งต้องทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์เหล่านั้นทำให้อัตราการละลายของโอโซนในน้ำเสียนี้น้อยลงเล็กน้อย.

สรุปผลการทดลองหาอัตราการสลายตัวของ โอโซน ในน้ำและในน้ำเสีย:

จากผลการทดลองที่ 2.1 พบว่าอัตราการสลายตัวของโอโซนในน้ำกลั่นและในน้ำเสียนี้อัตราใกล้เคียงกันดังแสดงในรูปที่ 8 ซึ่งจะมีครึ่งชีวิต (half life) 45 นาที.

ความสามารถในการกำจัดสีรีแอกทีฟของโอโซน ร้อยละ 50-60 จึงทำให้น้ำเสียหลังการบำบัดยังคงมีสีปะปนอยู่และน้ำเสียหลังผ่านการบำบัด สีที่ลดลงจะไม่กลับคืนแสดงว่าเกิดปฏิกิริยาได้สารสีที่คงตัว สารสีที่เหลือจะเป็นสีที่ทนต่อการถูกออกซิไดซ์.

จากการทดลองพบว่าสีในน้ำ สีน้ำเงินจะสามารถถูกกำจัดได้ ส่วนสีแดงเป็นสีที่ยังคงค้างอยู่ในน้ำเสียหลังการบำบัดน้ำเสียซึ่งเป็นสีที่ทนต่อการถูกออกซิไดซ์ ดังนั้นถ้าใช้โอโซนร่วมกับสารกลุ่ม oxidation catalyst ช่วยจึงน่าจะทำให้ความสามารถในการลดสีดีขึ้น.

5. เอกสารอ้างอิง

- กาญจนเศรษฐ์, พิชิต. 2539. การศึกษาทดลองการกำจัดสีของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมผ้าด้วยวิธี Re-dex. เทคโนโลยีบริหารสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยมหิดล.
- “คุณภาพน้ำเฉลี่ยที่ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกย้อม”. 2549. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://tecnet.tei.or.th/knowledge/weave2.thm/>.
- “คุณสมบัติของน้ำเสียและปริมาณในอุตสาหกรรมสิ่งทอแยกตามประเภท”. 2549. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://ifc.org/ifcext/enviro.ns/content/Environmental/Guidelines>.
- ชวเดช, สุเมธ. 2541. การพัฒนากระบวนการออกซิเดชันโอโซนสำหรับการบำบัดน้ำเสีย. วิทยาลัทยปีโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชุนทพฤทธิ, ชานน และ ปิติเจริญพันธ์, สุนทร. 2543. การบำบัดน้ำทิ้งจากสีย้อมกระดาษด้วยโอโซน. โอโซนร่วมกับสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และไทเทเนียมไดออกไซด์. ภาควิชาวิศวกรรมเคมี. คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ชินเวชกิจวานิชย์, โสภา. 1998. การลดสีรีแอกทีฟในน้ำเสียภายใต้สภาวะไร้อากาศด้วยระบบยูเอเอสบี. Thai Environmental Engineering. Vol. 12, January-February. 26-30.
- “น้ำเสีย”. 2549. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.owue.water.ca.gov/recycle/docs/Rw_Dye_pdf.
- “ปริมาณการใช้น้ำของภาคอุตสาหกรรม”. 2549. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: <http://doenv.eng.cmu.ac.th>
- Correia, V.M., Stephenson, T. and Judd, S.D. 1994. Characterisation of Textile Wastewaters – a Review, Environ. Technical. 15, 917-929
- Dore, M. 1997. The Role of Ozone in Advanced Oxidation Process. Proceeding of FRANCO-THAI Symposium on New Advanced in Water and Wastewater Treatments. Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand, October 22-24, pp. 13-26.
- EPA. 1997. Office of Compliance Sector Notebook Project: Profile of the Textile Industry. US Environmental Protection Agency. Office of Compliance. EPA/310-R-97-009. September.
- Evans, L.F. 1972. Ozone in Water and Wastewater Treatment. U.S.A. : Ann Arbor Science Publishers, Inc., pp.
- Gregor, H.K. 1992. Oxidative Decolorization of Textile Wastewater with Advanced Oxidation Processes in Chemical Oxidation Technology for the Nineties. Proceeding of the third International Symposium. Nashville Tennessee, Feb. 1992. pp. 161-193.

- Masten, J.S. and Davies, H.R.S. 1994. *Environment Science Technology*. 28(4) 181-184.
- Perkins, S.W., Namboodri, C.G. and Walsh, W.K. 1993. Decolorizing Dyes with Ozone and Chlorine in Chemical Oxidation Technology for the Nineties. *Proceeding of the Second International Symposium*. Nashville Tennessee, pp. 202-215.
- Relife, A. and Freeman, S.H. 1996. *Environmental Chemistry of Dyes and Pigments*. U.S.A. : John Wiley & Sons, Inc., pp.
- Rice, G.R., Bollyky, J.L. and Lacy, J.W. 1986. *Analytical Aspects of Ozone Treatment of Water and Wastewater*. U.S.A. : Lewis Publisheres, Inc., pp.
- Rao, M.N. and Datta, A.K. 1987. *Textile Mill Waste Water Treatment*.
- Samokhin, V.N., *et. al.* 1986. *Facilities for Ozonation. Design handbook of Wastewater System*. New York. Allerton Press, Inc., pp. 324-338.
- Steenken-Richter J., Kerner, W.D. 1992. Decolourizing textile effluents. *J. Soc. Dyess Color* 108, 182-186.

ภาคผนวก

ภาคผนวก 1

การวัดสีในน้ำเสีย

ตามปกติสีของน้ำธรรมชาติมักเป็นสีเหลืองน้ำตาลหรือสีชา เกิดขึ้นจากการเน่าเปื่อยของพืช ซึ่งมีสารลิกนิน lignin เป็นส่วนประกอบ เมื่อสลายตัวจะให้สารแทนนิน (tannin) กรดฮิวมิก (humic acid) และสารฮิวเมต (humates) ซึ่งเป็นสีเหลืองชา. นอกจากนี้ สีของน้ำยังเกิดจากอิออนของโลหะในน้ำ เช่น เหล็ก, แมงกานีส และจากการปนเปื้อนของน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม.

สีของน้ำธรรมชาติแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ สีปรากฏ (apparent color) เกิดจากสารแขวนลอยต่างๆ และสีแท้ (true color) ซึ่งเป็นสีของน้ำที่เกิดจากการย่อยสลายของพืชหรืออนุภาคคอลลอยด์ต่างๆ สีของน้ำธรรมชาติเทียบได้กับสีน้ำที่เกิดจากเกลือแพลทินัมในรูปของ K_2PtCl_6 หรือโพแทสเซียมคลอโรแพลทีเนต สีที่เกิดขึ้นจากสารประกอบแพลทินัมนี้จะเป็นสีเหลืองที่คล้ายกับสีธรรมชาติ และถ้าผสมโคบอลต์คลอไรด์ ($CoCl_2$) เล็กน้อยลงไป จะทำให้สีเหมือนธรรมชาติมากขึ้น. เกลือแพลทินัมดังกล่าวเข้มข้น 1 มิลลิกรัม/ลิตร จะมีสีเข้มข้น 1 หน่วย.

1. วิธีการวัดสีน้ำธรรมชาติโดยการเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน

(สีของ K_2PtCl_6 ที่ผสม $CoCl_2 \cdot 6H_2O$)

1.1 การเตรียมสารละลายสีมาตรฐาน

เตรียมสารละลายโพแทสเซียมคลอโรแพลทีเนต (potassium chloroplatinate, K_2PtCl_6) 1.246 กรัม (จะมี Pt 500 มิลลิกรัม) และโคบอลต์คลอไรด์ (cobaltous chloride, $CoCl_2 \cdot 6H_2O$) 1.00 กรัม (จะมี Co 250 มิลลิกรัม) ในน้ำกลั่นซึ่งเติมกรดไฮโดรคลอริก 100 มิลลิกรัม แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร. สารละลายสต็อกสีมาตรฐานนี้มีความเข้มข้นของสีเท่ากับ 500 หน่วย.

1.2 วิธีวิเคราะห์

- เตรียมอนุกรมสารละลายสีมาตรฐานที่มีสี 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, และ 70 หน่วย โดยการเจือจางปริมาตรสารละลายสต็อกสีมาตรฐานดังต่อไปนี้คือ 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5, 5.0, 6.0, และ 7.0 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 50 มิลลิลิตรในหลอดเนสเลอร์ ปิดจุกให้แน่น.

- ถ้าตัวอย่างน้ำมีสารแขวนลอยหรือขุ่น นำไปเข้าเครื่องเหวี่ยงเพื่อให้สารแขวนลอยตกตะกอน.

การวัดค่าโดยวิธี AMDI เป็นวิธีที่ค่อนข้างง่ายและสะดวก สามารถทำได้ใน ปัจจุบันกับวิธีวัดสีของน้ำเสียอุตสาหกรรมที่ง่ายและสะดวกคือ วิธี SU (Space Unit) ซึ่งเป็นการวัด Absorbance (A) ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่นแสง 400-700 นาโนเมตร ซึ่ง เป็นช่วงความยาวคลื่นที่ตามนุษย์มองเห็นได้ โดยวิธีวัดสีจะวัดและ 100 นาโนเมตร แล้วนำค่าที่ได้ มาคูณด้วยค่าการดูดกลืนแสงเป็นค่าหนึ่ง และค่าความยาวคลื่นแสงในหน่วยนาโนเมตรเป็นค่าหนึ่ง

เช่นวิธีการวัดสีแบบนี้จะนำไปใช้ได้

หากไม่ทราบมาก่อนว่ามีสีชนิดใดบ้างอยู่ในน้ำเสียหรือมีการใช้สีหลายชนิดปนกัน การบอกความ หรือความเข้มของสีที่วัดได้จึงไม่สามารถวัดได้อย่างชัดเจนได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ค่าที่วัดได้แล้ว ปริมาณสีที่วัดได้ซึ่งแตกต่างกันมาก การวัดความเข้มโดยบอกปริมาณ กลายเป็นสีเข้ม ในขณะที่สีที่วัดได้ของสีที่วัดได้จะทำได้เป็นสีเข้มมากขึ้น ยิ่งหาก ทำได้ยาก เนื่องจากสีที่มีมากสามารถแยกสีออกจากกันได้ยาก การวัดสีในน้ำ เป็นสีน้ำ, ถ้าสีที่วัดได้โดยบางสีจะเห็นเป็นสีน้ำ, การวัดสีความเข้มของสีในน้ำเสีย สะท้อนให้เห็นถึงความเข้มของสีที่วัดได้, หากสีที่วัดได้โดยสีที่วัดได้จะเห็น ง่ายเลย. มนุษย์สามารถมองเห็นแสงในช่วงความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร. หากวัดค่า อุณหภูมิที่วัดได้ของสีที่วัดได้และค่าการวัดสีที่วัดได้จะแตกต่างกันไป การวัดสีที่วัดได้ ไม่ สีของน้ำเสียที่วัดได้แตกต่างกันจากสีที่วัดได้ที่วัดได้ที่วัดได้ที่วัดได้ที่วัดได้ที่วัดได้ เช่น

$$\text{เมื่อ } A = \text{ค่าที่ได้จากการวัดสีที่วัดได้ที่วัดได้ที่วัดได้ที่วัดได้ที่วัดได้ที่วัดได้} \\ B = \text{ปริมาณของสีที่วัดได้ที่วัดได้ที่วัดได้ที่วัดได้ที่วัดได้ที่วัดได้ (มิลลิเมตร)}$$

$$\text{หน่วยสี} = \frac{B}{A \times 50}$$

- ความเข้มของสีที่วัดได้ที่วัดได้ที่วัดได้ที่วัดได้ที่วัดได้ที่วัดได้ :

- นำตัวอย่างน้ำที่วัดสีได้ให้หลอดเมตร 500 มิลลิเมตร, นำมาเปรียบเทียบกับ เลือกลักษณะที่ใกล้เคียงกับสีของตัวอย่างมากที่สุด ถ้าตัวอย่างมีสีเกินค่ามาตรฐาน (70 หน่วย) ทำการเจือจางตัวอย่างนั้น. ถ้าต้องการวัดสีที่วัดได้ที่วัดได้ที่วัดได้ที่วัดได้ที่วัดได้ (หน่วย) ทำการเจือจางตัวอย่างนั้นจากตัวอย่างจากที่เดิมโดยตรงมาทำการ วัดสีโดยไม่ต้องกังวลค่าความเข้มข้นออกก่อน.

สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ใช้งานร่วมกับคอมพิวเตอร์ได้ก็สามารถกำหนดให้เครื่องทำการวัดแบบไล่ลำดับ (scan) ช่วงละ 1 นาโนเมตร แล้วเก็บข้อมูลไว้. จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาพื้นที่ใต้กราฟด้วยโปรแกรมออกมาเป็นหน่วยเอสยูได้ทันที พร้อมทั้งสามารถเห็นเส้นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนคลื่นแสงและความยาวคลื่นได้ในเวลาเดียวกัน.

2. วิธีการวัดสีน้ำเสียอุตสาหกรรมด้วยวิธีแบบเอสยู (Space Unit Method)

2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ แบบที่สามารถใช้วัดสีที่มีความยาวคลื่นแสงในช่วง 400-700 นาโนเมตร, เครื่องที่สามารถสแกนค่าความดูดกลืนคลื่นแสงในช่วง 400-700 นาโนเมตร และคำนวณพื้นที่ใต้กราฟระหว่างช่วงสีดังกล่าวได้จะเหมาะสมที่สุด.

- ชุดกรองชนิดที่วิเคราะห์หาค่า SS กระดาษกรองใช้เป็นแบบแก้วไฟเบอร์ (fiberglass) ที่มีรูขนาด 1-1.5 ไมครอน หรืออาจเป็นแบบมิลลิพอร์ (millipore) ขนาดรู 0.45 ไมครอน.

2.2 วิธีวิเคราะห์

- เตรียมเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ โดยตั้งความยาวคลื่นแสงไว้ที่ 400,500,600 และ 700 นาโนเมตร.

- นำตัวอย่างน้ำขุ่น กรองด้วยชุดกรอง แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงตามความยาวคลื่นที่ได้ตั้งไว้.

- นำค่าที่ได้มาเขียนกราฟ โดยให้ค่าการดูดกลืนคลื่นแสงเป็นแกนตั้งและค่าความยาวคลื่นแสงในหน่วยนาโนเมตรเป็นแกนนอน, คำนวณพื้นที่ใต้กราฟเป็นค่าความเข้มสีหน่วยเอสยู.

ภาคผนวก 2

1. การวิเคราะห์หาค่า COD (Chemical Oxygen Demand)

1.1 เครื่องมือในการกลั่นแบบไหลแล้วคืน (reflux)

1. flasks ก้นกลม ขนาดความจุ 250 มล.
2. condensers ขนาดยาว 45 ซม.
3. heaters

1.2 น้ำยาเคมี

1. สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต 0.25 N ละลาย $K_2Cr_2O_7$ ที่อบแห้งแล้ว 12.259 กรัม ในน้ำกลั่น เติมกรดซัลฟามิก 0.12 กรัม แล้วเจือจางจนปริมาตรเป็น 1 ลิตร.
2. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น ซึ่งปกคิบรรจุในขวดขนาด 9 ปอนด์ (2.64 ลิตร) เติม Ag_2SO_4 ลงไป 22 กรัม ปล่อยให้ละลายจนหมดซึ่งอาจกินเวลา 1-2 วัน.
3. สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.10 N ละลาย $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ 39 กรัม ในน้ำกลั่น เติมกรด H_2SO_4 เข้มข้น 20 มล. คนและทำให้เย็นเจือจางจนปริมาตร 1 ลิตร. สารละลายนี้ต้องให้ค่าความเข้มข้นมาตรฐานทุกครั้งที่ใช้โดยไทเทรตกับสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต.

การหาค่าความเข้มข้นมาตรฐาน $K_2Cr_2O_7$ 10 มล. ให้มีปริมาตรเป็น 100 มล. โดยประมาณ, เติมกรด H_2SO_4 เข้มข้น 30 มล. ตั้งไว้ในที่มืด 5 นาที ปล่อยให้เย็น, ไทเทรตด้วยสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต ใช้เฟอโรอินเป็นอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด.

$$\text{Normality} = \frac{\text{มล. } K_2Cr_2O_7 \times 0.25}{\text{มล. } Fe(NH_4)_2(SO_4)_2}$$

4. สารละลายเฟอโรอินอินดิเคเตอร์ ละลาย 1,10-Phenanthroline monohydrate 1.485 กรัม พร้อมกับ $Fe(SO_4)_7 \cdot H_2O$ 0.695 กรัม ในน้ำกลั่น และเจือจางให้เป็น 100 มล.
5. ซิลเวอร์ซัลเฟต ชนิดผง.

6. เมอร์คิวริกซัลเฟต ชนิดเป็นผลึกบริสุทธิ์.

1.3 วิธีการวิเคราะห์

1. ใส HgSO_4 0.4 กรัม ลงในขวดกลั่น.
2. เติมตัวอย่างน้ำ 20 มล. หรือส่วนของตัวอย่างเจือเป็น 20 มล.
3. เติมสารละลายมาตรฐาน $\text{K}_2\text{C}_2\text{O}_7$ 0.250 นอร์มัล 10 มล.
4. ค่อยๆ เติม H_2SO_4 เข้มข้นที่มี AgSO_4 ผสมอยู่ลงไป 30 มล.
5. ใสลูกแก้วลงไป 5-10 เม็ด.
6. กลั่นสารผสมทั้งหมดเป็นเวลา 2 ชั่วโมง.
7. ปล่อยให้เย็น และฉีดล้างส่วนที่ค้างอยู่ใน condenser ด้วยน้ำกลั่น.
8. เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตรเป็น 140 มล. โดยประมาณปล่อยให้เย็นเท่ากับ

อุณหภูมิห้อง.

9. ไทเทรต สารละลาย $\text{K}_2\text{C}_2\text{O}_7$ ที่เหลือจากปฏิกิริยาด้วยสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต, ใช้เฟอโรอินเป็นอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด จนกระทั่งเปลี่ยนจากน้ำเงินแกมเขียวเป็นสีน้ำตาลแดง แสดงว่าถึงจุดสมมูล.

10. ทำการ blank โดยใช้ น้ำกลั่น 20 มล. แทนตัวอย่างและทำเช่นเดียวกับตัวอย่างน้ำทุกประการ, reflux พร้อมกันไป.

1.4 การคำนวณ

$$\text{mg/l COD} = \frac{(a-b) \times C \times 8000}{\text{ml. Sample}}$$

เมื่อ COD = Chemical Oxygen Demand from Dichromate
a = ml $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$ used for blank
b = ml $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$ used for sample
c = Normality of $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2$

หมายเหตุ

การใช้ HgSO_4 0.4 กรัม เป็นการเพียงพอที่จะทำปฏิกิริยากับอนุภาคคลอไรด์ 40 กรัม ถ้ามีคลอไรด์อยู่มากกว่านี้อาจใช้ HgSO_4 เพิ่มขึ้นได้ โดยต้องได้อัตราส่วน HgSO_4 : Cl = 10:1 ถึงแม้ว่าบางครั้งจะมีตะกอนเกิดขึ้นเล็กน้อยก็ไม่มีผลกระทบต่อการหา ค่า COD แต่ประการใด

ภาคผนวก 3

กระบวนการผลิตสิ่งทอ เส้นด้าย และผ้าผืน

1. กระบวนการผลิตสิ่งทอ เส้นด้าย และผ้าผืน

1.1 กระบวนการผลิตสิ่งทอ

กระบวนการผลิตสิ่งทอประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ มากมาย แตกต่างกันไปแล้วแต่เส้นใยและสิ่งทอที่ต้องการ ขั้นตอนที่สำคัญพอสรุปได้ดังรูปที่ 1. เริ่มตั้งแต่ชนิดของเส้นใย (fiber) ซึ่งแบ่งออกได้ 3 ประเภทคือ เส้นใยธรรมชาติ (natural fiber) เส้นใยกึ่งสังเคราะห์ (regenerate fiber) และเส้นใยสังเคราะห์ (synthetic fiber). เส้นใยธรรมชาติเป็นเส้นใยที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ อาจเป็นเส้นใยจากพืช เช่น ฝ้าย, หรือจากสัตว์ เช่น ไหมและขนสัตว์. เส้นใยที่ได้จากพืชมีเซลลูโลสเป็นโครงสร้างหลัก อาจได้มาจากส่วนที่เป็นเมล็ดพืช เช่น นุ่น, ฝ้าย และได้จากส่วนที่เป็นลำต้น เช่น ลินิน, ป่าน, ปอ. นอกจากนี้ยังมีเส้นใยที่ได้จากใบ เช่น ป่าน, ลินิน และใยมะพร้าว เป็นต้น. เส้นใยที่ได้จากสัตว์มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น ขนแกะ, ขนแพะ และไหม เป็นต้น. เส้นใยกึ่งสังเคราะห์เป็นเส้นใยที่เกิดจากการนำเส้นใยธรรมชาติมาผ่านกระบวนการทางเคมี เพื่อให้เส้นใยมีความเหมาะสมต่อการใช้งานมากขึ้น เช่น เส้นใยเรยอนแอซีเตตพอลิโนซิก (rayon acetate polynosic) ส่วนเส้นใยสังเคราะห์เป็นเส้นใยที่เกิดจากการนำสารเคมีมาสังเคราะห์ เช่น ไนลอนและพอลิเอสเตอร์ เป็นต้น.

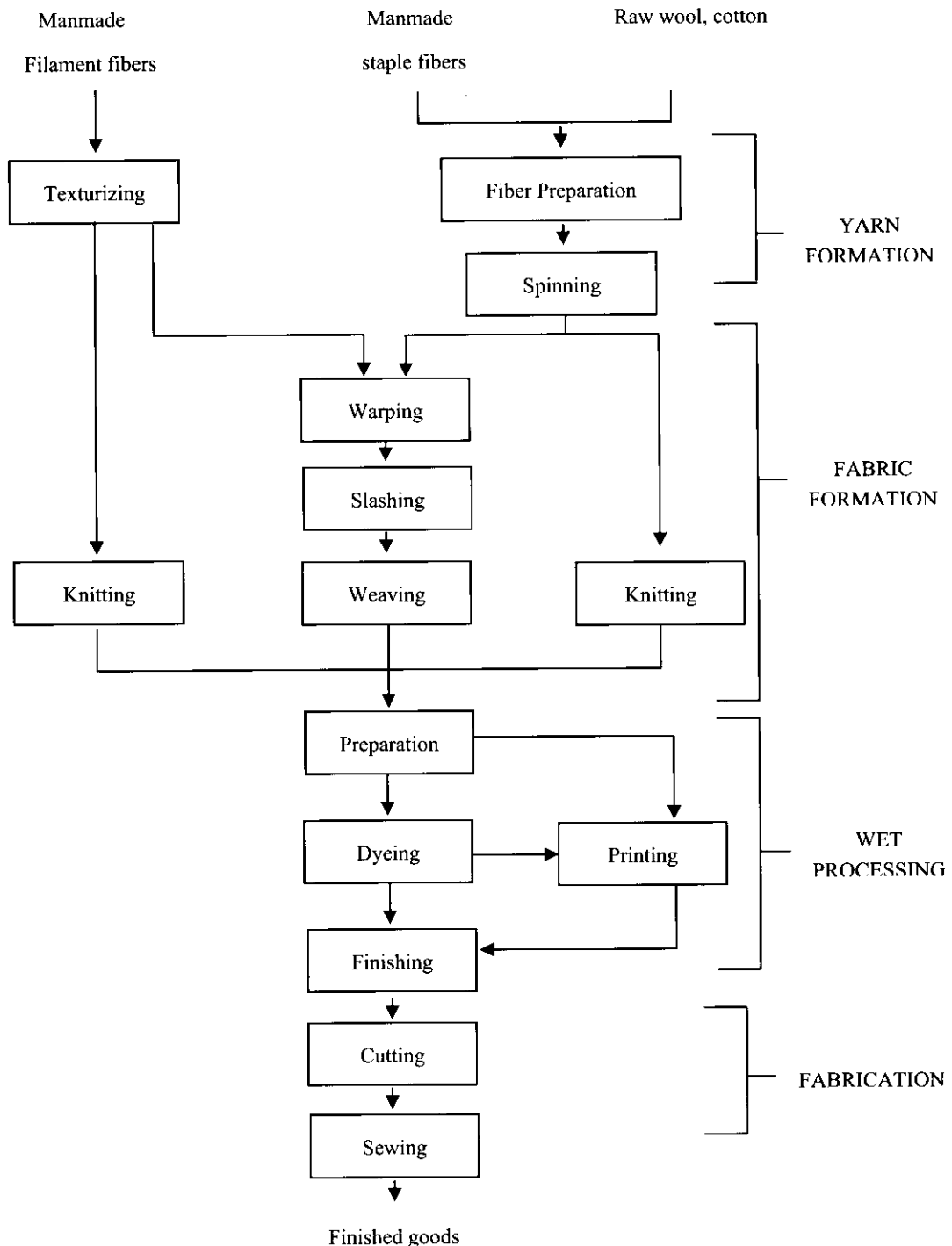
วัสดุที่นำมาผลิตเป็นสิ่งทอ จำเป็นต้องมีคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่เหมาะสมในการเลือกใช้ เช่น มีความนุ่มนวล, โค้งงอได้, เหนียว, ทนทานต่อการใช้งาน, มีความยืดหยุ่น, แกร่ง, คงทนต่อความร้อน สารเคมี หรือตัวทำละลาย, มีการเกาะตัวของเส้นใย เป็นต้น. เส้นใยฝ้ายจะทนสภาพเบสได้ดีกว่ากรด. ส่วนเส้นใยเรยอน (rayon) ซึ่งเป็นเส้นใยกึ่งสังเคราะห์เซลลูโลสเป็นเซลลูโลสที่บริสุทธิ์กว่า จะดูดน้ำและสีได้มากกว่าฝ้าย. สำหรับพอลิเอสเตอร์ (polyester) เป็นเส้นใยสังเคราะห์ มีคุณสมบัติด้านความเหนียว ทนกรด-เบสดีกว่าและมีความลื่นกว่าฝ้ายและเรยอน.

การปั่นเส้นใยให้เป็นเส้นด้ายนั้น แบ่งได้เป็น 2 ระบบ คือ:

1. ระบบการปั่นด้ายจากเส้นใยสั้น เช่น ฝ้าย;
2. ระบบการปั่นด้ายจากเส้นใยยาว เช่น ใยขนสัตว์.

ที่กล่าวมาเป็นระบบสำหรับเส้นด้ายซึ่งผลิตมาจากใยธรรมชาติ แต่สำหรับการผลิตเส้นด้ายจากเส้นใยสังเคราะห์ ก็สามารถทำได้ตามทั้ง 2 ระบบนี้ โดยขึ้นอยู่กับว่าขนาดความยาว

ของเส้นใยที่ผลิตขึ้นว่า เป็นชนิดใยสั้นหรือใยยาว. ด้ายที่ปั่นจะเป็นได้ทั้งชนิดใยธรรมชาติหรือใยสังเคราะห์ และเป็นด้ายผสมระหว่างใยธรรมชาติกับใยสังเคราะห์



Source : ATMI, Comments on draft of this document, 1997b.

รูปที่ 1. แผนผังกระบวนการผลิตสิ่งทอโดยสังเขป.

1.2 เส้นด้าย

เส้นด้ายที่ใช้ในสิ่งทอแยกออกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่:

1.2.1 ด้ายสปัน (spun yarn) เป็นเส้นด้ายที่ปั่นจากเส้นใยสั้น อาจจะเป็นเส้นใยธรรมชาติ หรือเส้นใยสังเคราะห์ หรือใยผสมระหว่างเส้นใย 2-3 ชนิด. เส้นใยเหล่านี้จะยึดเกาะติดกัน ได้ด้วยความยืดของผิวเส้นใยเอง และโดยการควมเกลียวประมาณ 15-25 เกลียว/นิ้ว, ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของเส้นด้ายที่ปั่น และคุณสมบัติด้านความยาวและความละเอียดของเส้นใยที่ใช้.

1.2.2 ด้ายฟิลาเมนต์ (filament yarn) เป็นเส้นด้ายที่ประกอบด้วยเส้นใยยาวต่อเนื่องกันตลอดเส้นด้ายนั้น อาจจะเป็นฟิลาเมนต์เพียงเส้นเดียวหรือฟิลาเมนต์หลายเส้นด้วยจำนวนเกลียวน้อย ประมาณ 1 เกลียวต่อความยาว 1 ฟุต.

1.2.3 ด้ายเท็กซ์เจอร์ (texture yarn) โดยทั่วไปเป็นเส้นด้ายที่ทำจากฟิลาเมนต์หลายๆเส้น (multifilament). พวกที่คุณสมบัติอ่อนตัวเมื่อถูกความร้อนจะถูกนำมาผ่านกระบวนการต่างๆ เพื่อให้เกิดจากหยิกงอของเส้นใยหรือเกิดการผูกตัวเป็นห่วงข้งซ้อนๆ กัน ทำให้เส้นด้ายนั้นพองตัวมีคุณสมบัตินุ่มต่อการสัมผัสและยืดหยุ่นได้ดี. ผ้าที่ทำมาจากด้ายเท็กซ์เจอร์จะทำให้การสัมผัสนุ่มมือ, ทึบแสง, ดูความชื้นได้ดี และป้องกันการถ่ายเทความร้อนได้ดี.

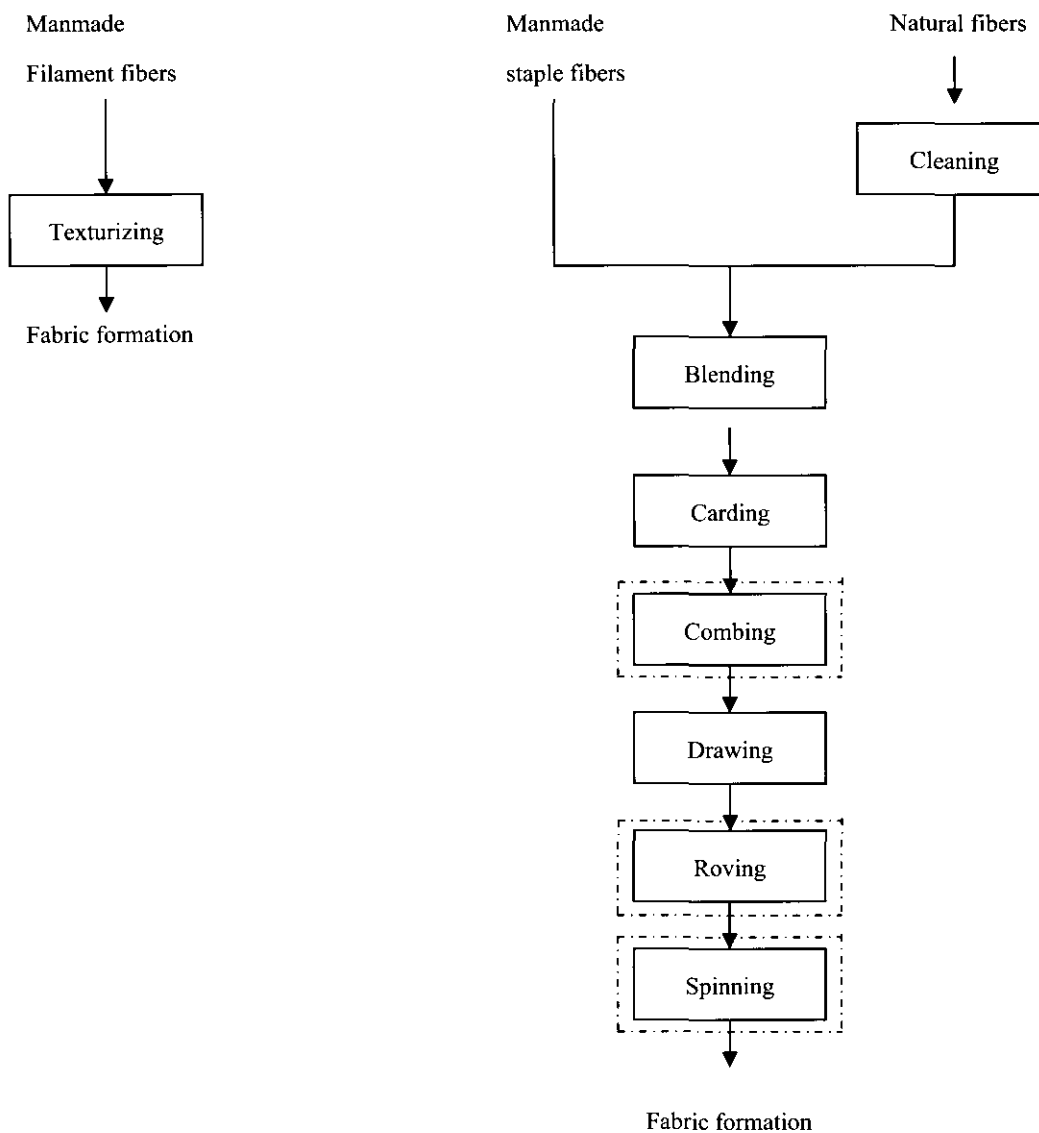
กระบวนการปั่นด้าย (yam formation) เป็นกระบวนการเปลี่ยนจากเส้นใยมาเป็นเส้นด้าย ขึ้นกับชนิดของเส้นใยซึ่งแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ เส้นใยธรรมชาติ (natural fibers) และเส้นใยสังเคราะห์ (manmade fibers), แสดงขั้นตอนไว้ในรูปที่ 2.

1.3 ผ้าผืน

ชนิดของผ้าสามารถแบ่งตามกรรมวิธีการผลิต เช่น หากได้มาจากการทอเรียกผ้านั้นว่าผ้าทอ (woven fabric), หากได้มาจากการถักจะเรียกว่าผ้าถัก (knitted fabric) แต่ยังมีผ้าที่ไม่ได้เกิดจากการถักหรือทอ ซึ่งจะเรียกว่าผ้านอนวูฟเวน (non-woven fabric). ส่วนใหญ่เครื่องนุ่งห่มที่ใช้นั้นแพร่หลายเป็นผ้าทอและผ้าถัก.

1.3.1 ผ้าทอ ลักษณะของผ้าทอจะใช้ด้ายสองหมู่มาสานขัดกัน หมู่หนึ่งจึงไปตามความยาวของผ้าเรียกว่าด้ายยืน อีกหมู่หนึ่งขัดเส้นด้ายยืนเป็นมุมฉากทำให้เป็นผืนได้เรียกด้ายพุ่ง. เวลาทอ เมื่อสอดด้ายพุ่งแต่ละเส้นต้องสอดออกมาจนถึงเส้นริมสุดของด้ายยืน จึงกลับวกสอดเข้าไปใหม่ ทำให้มีริมผ้าเป็นเส้นตรงทั้งด้ายยืนและด้ายพุ่ง ซึ่งเส้นยืน (warp yarn) หรือด้ายยืน คือเส้นด้ายที่ใช้เป็นแกนตามความยาวของผ้า. เส้นยืนนี้ถ้าเป็นเส้นใยธรรมชาติ ต้องมีการลงแป้งธรรมชาติ เช่น แป้งสาเก, แป้งมันสำปะหลัง เป็นต้น เพื่อเพิ่มความเหนียวและทำให้เส้นเรียบ ทำให้เส้นด้ายสามารถทนการเสียดสีที่เกิดขึ้นระหว่างการทอ. หากเป็นเส้นใยสังเคราะห์จะเคลือบ

ด้วยแป้งสังเคราะห์ เช่น พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (polyvinylalcohol, PVA), อะคริลิก (acrylic) และ พอลิเอสเตอร์ (polyester) เป็นต้น เพื่อเพิ่มความเป็นกลาง และลดความเสียดสีของเส้นด้าย. ส่วนเส้นพุ่ง (weft or filling) หรือด้ายพุ่ง คือ เส้นด้ายที่ใช้กับเส้นยืนตามกว้างของผ้า. การนำเส้นพุ่งจากด้านหนึ่งของเครื่องจักรไปอีกด้านหนึ่ง อาจทำได้หลายวิธีตั้งแต่สอดด้วยมือ โดยใช้กระสวยซึ่งยิงโดยลมหรือการกระแทก หรือใช้ระบบไร้กระสวยซึ่งส่งเส้นด้ายโดยแกนเหล็ก หรือใช้แรงลมหรือแรงน้ำ แล้วแต่ความยากง่ายและซับซ้อนของเครื่อง.



รูปที่ 2. แผนผังแสดงขั้นตอนการปั่นด้าย.

1.3.2 ผ้าถัก คือ ผ้าที่ผลิตจากการถักเส้นด้ายเส้นเดียวหรือหลายเส้นให้เป็นห่วงติดต่อกันจนเป็นผ้าผืน.

1.3.3 ผ้าทอ เป็นผ้าที่ผลิตจากการนำเส้นใยมาทำเป็นผ้าผืนโดยตรง ไม่ผ่านการทำเป็นเส้นด้าย. ผ้าชนิดนี้มีคุณสมบัติทางกายภาพที่สม่ำเสมอในทุกทิศทางตามทางกว้างและยาว จึงเหมาะสมที่จะใช้ในอุตสาหกรรมเพราะมีความแข็งแรงและต้นทุนการผลิตต่ำ.

2. กระบวนการฟอกย้อม

ขั้นตอนการย้อมผ้าสามารถทำได้ทั้งการย้อมเส้นด้ายก่อนการนำมาทอเป็นผ้าผืน และการทอเป็นผ้าแล้วจึงนำผ้ามาย้อม ซึ่งขั้นตอนการฟอกย้อมและพิมพ์ผ้าผืนแสดงในรูปที่ 3.

2.1 หลักการและวัตถุประสงค์การเตรียมผ้า

การเตรียมผ้า (preparation) ซึ่งเป็นขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการให้สีและตกแต่งสำเร็จที่เป็นขั้นตอนต่อไป ดังนั้นการนำด้ายหรือผ้าที่ออกจากโรงปั่นหรือโรงทอมาผ่านกระบวนการต่างๆ เพื่อเตรียมให้อยู่ในสภาพที่สามารถนำไปให้สีหรือตกแต่งสำเร็จได้เป็นอย่างดี. การเตรียมผ้าสามารถแจกแจงได้ดังต่อไปนี้:

2.1.1 เพื่อขจัดสิ่งสกปรกที่เจือปนในเส้นใย ที่ผ่านกระบวนการปั่น, ทอ หรือถักมาสำหรับใยธรรมชาติ อาจเป็นพวกสารจีฟี่ในฝ้าย, กาวในไหมดิบ, เศษไม้ในปอ หรือแป้งที่ลงในด้ายยืน. ส่วนใยสังเคราะห์อาจจะเป็นพวกสารหล่อลื่นที่เติมในขั้นตอนการปั่นหรือการลงแป้งสังเคราะห์ด้ายยืน ตลอดจนสิ่งสกปรกที่ติดมากับขั้นตอนต่างๆ ก่อนถึงการเตรียมผ้า.

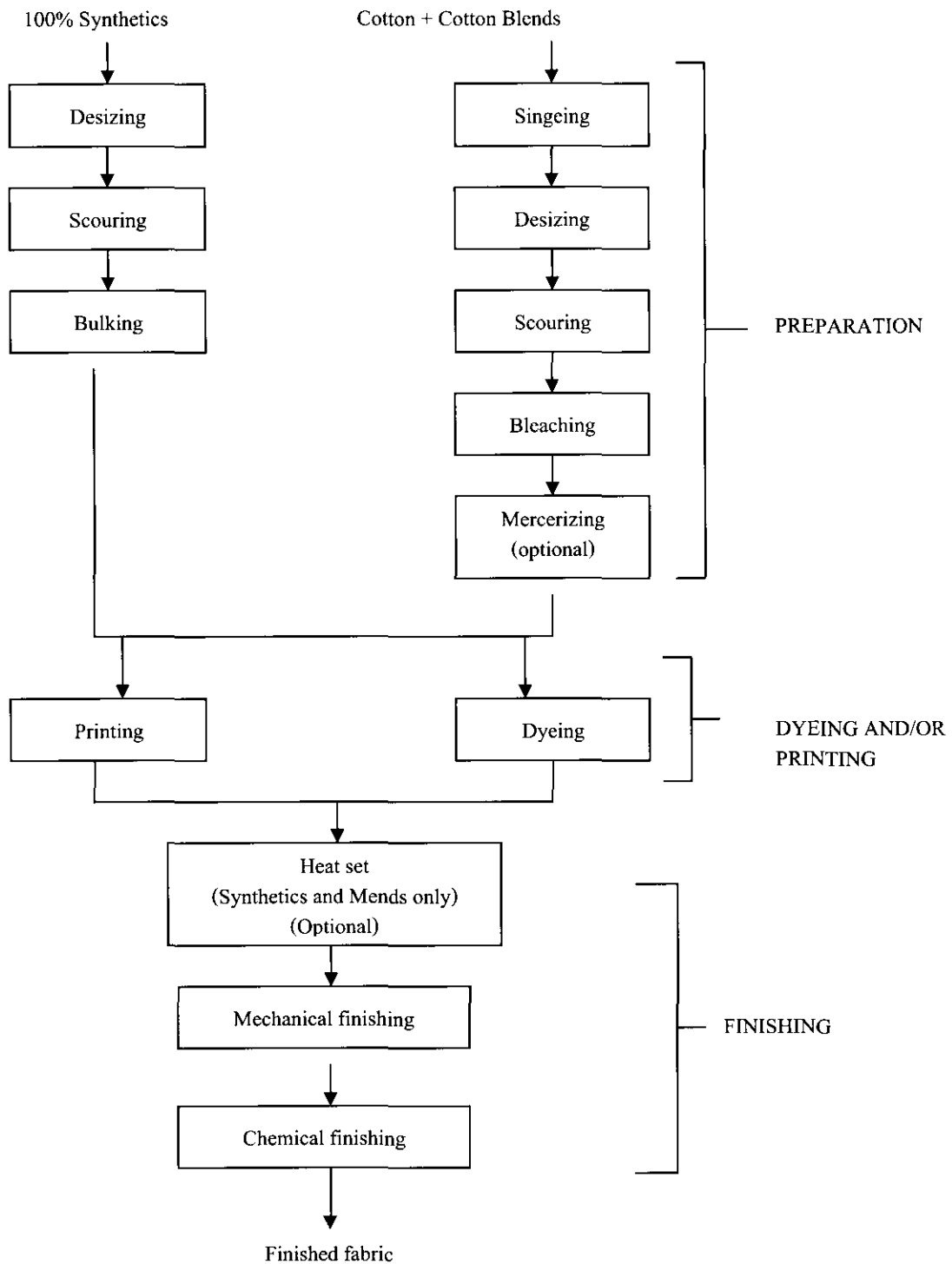
2.1.2 เพื่อให้เส้นใยมีการดูดซึมน้ำได้ดี ช่วยให้กระบวนการย้อม, พิมพ์ หรือ การตกแต่งสำเร็จได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง ประหยัดเวลาและสารเคมีที่ใช้ลงได้.

2.1.3 ช่วยให้ขั้นตอนต่อไปดำเนินไปได้ตามต้องการ เช่น การฟอกขาว เพื่อให้ผ้าขาวที่สุด หรือกรณีที่ต้องการผ้าเงามันเป็นพิเศษ โดยการเผาขนผ้า จะได้พื้นผิวผ้าที่ดูเรียบและเงามันขึ้น เมื่อนำไปพิมพ์จะได้ลายที่คมชัด หรือเมื่อนำไปตกแต่งสำเร็จด้วยการอัดรีด จะทำให้ผ้ามีความเงามันสูงสุด.

2.1.4 เพื่อให้เส้นใยสามารถดูดซับสีและสารเคมีได้มากขึ้น เช่น การชุบมันในกรณีของผ้าฝ้าย เป็นต้น.

2.1.5 เพื่อให้เส้นใยสังเคราะห์คงรูป ไม่เสียรูปในภายหลัง ทำการเซ็ทด้วยความร้อน ป้องกันการหดตัวหรือเสียรูปในระหว่างการย้อม.

Unfinished fabric or "greige goods"



รูปที่ 3. แผนผังขั้นตอนการฟอกย้อมและพิมพ์ผ้าโดยสังเขป.

2.2 ขั้นตอนการเตรียมสิ่งทอ (ผ้า)

ขั้นตอนการเตรียมผ้ามักจะประกอบด้วยขั้นตอนซึ่งขึ้นกับชนิดผ้าที่ผลิต ขั้นตอนหลักๆ ดังต่อไปนี้:

2.2.1 การเผาขน (singeing)

เส้นด้ายที่ปั่นจากเส้นใยดิบมักมีเส้นใยโพลีเมอร์ที่ผิวเส้นด้ายเป็นจำนวนมาก และเมื่อนำไปทอเป็นผืนผ้า เกิดการเสียดสีเนื่องจากการทอ จึงมีขุยหรือปลายเส้นใยเหนือผิวผ้ามากขึ้น ทำให้ผ้าดูไม่เรียบ ไม่เงางาม. การเผาขนจึงมีส่วนช่วยแก้ปัญหานี้ โดยการดึงผ้าผ่านลูกกลิ้งความเร็วสูงผ่านเปลวไปจากแก๊ส เพื่อเผาขนของผ้า หรือผ่านไปบนแผ่นโลหะที่ถูกเผาจนร้อนในอัตราเร็วสูงพอที่ผ้าจะไม่ติดไฟ. ในขณะเดียวกันก็ฆ่าพอกที่ปลายเส้นใยที่โพลีเมอร์เหนือผิวผ้าจะถูกทำลายไป แต่ต้องแน่ใจว่าผ้าไม่มีสารเคมีซึ่งเมื่อได้รับความร้อนแล้วจะเกิดปัญหากับผ้า หรือปัญหาการหลอมตัวของเส้นใยสังเคราะห์. การเผาขนมักกระทำกับผ้าฝ้ายหรือผ้าใยผสมที่มีฝ้ายเป็นส่วนผสมอยู่ด้วย และนิยมใช้เปลวแก๊สเนื่องจากใช้ได้ผลดีกว่าวิธีอื่น. จุดมุ่งหมายของการเผาขนเพื่อทำให้ผ้าดูเรียบ เงางามดีขึ้น เป็นการเตรียมสำหรับผ้าที่จะนำไปชุบมัน, อัดกลีบ หรือขัดมัน เพื่อให้ผ้ามีความเงามันสูงสุด และการเผาขนจำเป็นสำหรับผ้าพิมพ์ที่ต้องการให้ได้ลายคมชัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการพิมพ์ลายที่มีรายละเอียด. นอกจากนี้การเผาขนอาจใช้กับผ้าใยสังเคราะห์ เช่น ผ้าพอลิเอสเตอร์ เพื่อลดปัญหาการเกิดขุยบนเนื้อผ้าเมื่อใช้ไปนานๆ ได้.

2.2.2. การลอกแป้ง (desizing)

เส้นด้ายที่ใช้ในการทอผ้าแบ่งออกเป็นด้ายยืนและด้ายพุ่ง. ด้ายยืนจะต้องถูกดึงและเสียดสีตลอดเวลา จึงต้องมีการลงแป้งเส้นด้ายยืน เพื่อเพิ่มความแข็งแรง อีกทั้งลดการเสียดสีระหว่างการทอ ซึ่งแป้งจะซึมเข้าไปตามช่องว่างระหว่างเส้นใยภายในเส้นด้าย และเคลือบผิวรอบเส้นด้ายเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ อันมีผลให้เส้นด้ายไม่ดูดซับน้ำ. ดังนั้น ก่อนนำไปฟอกย้อมจำเป็นต้องลอกแป้งออกเสียก่อนด้วยน้ำยาลอกแป้ง ซึ่งมีองค์ประกอบแตกต่างกันขึ้นกับชนิดและคุณสมบัติของแป้งนั้น. วิธีการลอกแป้งจะแตกต่างกันไปตามชนิดของสารย้อมหรือน้ำยาลอกแป้ง. การลอกแป้งมีความสำคัญที่ช่วยให้ผ้ามีคุณสมบัติในการเปียกน้ำ, ดูดซับสีและสารเคมีดีและสม่ำเสมอ อีกทั้งทำให้การตกแต่งผ้าในขั้นตอนต่อไปมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น รวมทั้งทำให้ผ้ามีความนุ่มต่อการสัมผัส ไม่แข็งกระด้าง.

สารที่ใช้ลงแป้งด้ายยืนแตกต่างกันขึ้นกับชนิดของเส้นใยว่าเป็นเส้นใยธรรมชาติ หรือเส้นใยสังเคราะห์ ดังนั้น แป้งจึงถูกจำแนกออกเป็นแป้งธรรมชาติและแป้งสังเคราะห์ กระบวนการลอกแป้งก็จะจำแนกเป็นการลอกแป้งธรรมชาติและการลอกแป้งสังเคราะห์ดังต่อไปนี้:

1. การลอกแป้งธรรมชาติ

แป้งธรรมชาติที่ใช้กันมากกับผ้าฝ้าย ได้แก่ แป้งสากุ แป้งข้าวโพด และแป้งมันสำปะหลัง เป็นต้น ซึ่งล้วนเป็นสารโมเลกุลใหญ่ ไม่ละลายน้ำ เป็นสารพอลิแซ็กคาไรด์ ซึ่งประกอบด้วยสารแอมิโลสและสารแอมิโลเพกทินในสัดส่วนแตกต่างกัน ขึ้นกับแหล่งที่มาของแป้ง. การจะลอกแป้งออกสามารถทำได้ด้วยการทำลายโมเลกุลให้มีขนาดเล็กลงและละลายน้ำได้ โดยอาศัยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่มีกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา หรือการใช้เอนไซม์แอมิเลส หรือสารออกซิไดซิง เช่น โซเดียมโบรไมต์, ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และสารพวกเปอร์ซัลเฟต.

การลอกแป้งด้วยการใช้กรด เช่น กรดซัลฟิวริก ไม่นิยมใช้แล้วเนื่องจากกรดสามารถทำลายเส้นใยได้. การลอกแป้งด้วยการใช้เอนไซม์แอมิเลส ซึ่งสามารถย่อยแป้งได้ ใช้เวลา 8 ชั่วโมง อุณหภูมิห้อง หรือ 30 นาที ที่อุณหภูมิ 60 °ซ. จากนั้นต้มด้วยน้ำสบู่เพื่อล้างแป้งออก. ส่วนประกอบของน้ำยาลอกแป้งมักประกอบด้วย เอนไซม์, สารช่วยเปียก, เกลือแกง (NaCl) และพวกคอมเพล็กซิงเอเจนต์ (complexing agent). สารช่วยเปียกต้องไม่เป็นพิษกับเอนไซม์นั้น ช่วยทำให้เส้น ค่ายพองตัวและลดแรงตึงผิวของน้ำ. ส่วนเกลือแกงเป็นสตาบิไลเซอร์ (stabilizer) ช่วยให้เอนไซม์ทนความร้อนได้ดี. คอมเพล็กซิงเอเจนต์ เป็นสารจัดอนุโมลทำให้โลหะตกตะกอน แต่ข้อเสียของการลอกแป้งด้วยเอนไซม์ คือ เอนไซม์มีความไวต่ออุณหภูมิ และ pH.

การลอกแป้งด้วยการใช้สารออกซิไดซิง ใช้ลอกแป้งได้ทั้งแป้งธรรมชาติและแป้งสังเคราะห์ นิยมใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) และโซเดียมเปอร์ซัลเฟต ($Na_2S_2O_8$). สาร 2 ชนิดนี้ มีข้อแตกต่างกันตรงที่สารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะทำให้ผ้าขาวมากขึ้นด้วย ในขณะที่โซเดียมเปอร์ซัลเฟตเป็นตัวช่วยย่อยสลายแป้งเท่านั้น. น้ำยาลอกแป้งมักประกอบด้วยสารออกซิไดซิง, โซดาไฟ และสารช่วยเปียก ซึ่งโซดาไฟช่วยกระตุ้นการทำงานของสารออกซิไดซิง ส่วนสารช่วยเปียกช่วยให้เส้นใยดูดซับน้ำได้ดีขึ้น และขจัดแป้งและสิ่งสกปรกจากผ้าในขั้นตอนการซักล้างหลังการย่อยสลายแป้ง. นอกจากนี้ โซเดียมโบรไมต์ (sodium bromite) เป็นสารออกซิไดซิงที่นิยมใช้เช่นกัน.

อนึ่ง การลอกแป้งแต่ดั้งเดิมโดยการหมักด้วยน้ำให้แบคทีเรียในน้ำช่วยย่อยสลายแป้ง แต่ใช้เวลานาน ยากต่อการควบคุมให้สม่ำเสมอ จึงไม่ใช้กันแล้ว.

2. การลอกแป้งสังเคราะห์

แป้งสังเคราะห์ที่นิยมใช้กันอยู่ อาทิเช่น แป้งพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ หรือ พีวีเอ (polyvinylalcohol, PVA), แป้งอะคริลิก (acrylic) และแป้งพอลิเอสเทอร์ (polyester) เป็นต้น. พีวีเอเป็นสารโมเลกุลใหญ่ที่ไม่ละลายน้ำ จากการใช้ดีไซซิงเอเจนต์ (desizing agent) ที่มีคุณสมบัติ

ทำลายโมเลกุลฟิวเอให้เล็กลง จะทำให้ละลายน้ำได้ดีขึ้น การลอกแบ่งฟิวเอทำได้หลายวิธี อาจใช้วิธีซักล้างในน้ำสบู่ที่อุณหภูมิสูง หรือใช้สารเคมีที่ทำลายฟิวเอ อาทิเช่น โซเดียมเปอร์ซัลเฟต และ โซเดียมโบรไมด์ เป็นต้น.

ส่วนแป้งอะคริลิก มีคุณสมบัติละลายน้ำได้ในสารละลายที่เป็นกรดหรือเบสอ่อน และละลายได้มากขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น จึงสามารถซักล้างออกได้ในอุณหภูมิที่เหมาะสม. โดยปกติแป้งอะคริลิกเป็นที่นิยมใช้กับใยสังเคราะห์ที่ค่อนข้างสะอาดอยู่แล้ว การลอกแป้งจึงมักทำควบคู่กับขั้นตอนการกำจัดสิ่งสกปรก. สำหรับพอลิเอสเทอร์เป็นแป้งที่ไม่ละลายน้ำ ขจัดออกได้ด้วยการซักล้างในน้ำที่มีคุณสมบัติเป็นด่าง. แต่ถ้ามีความเป็นด่างสูง แป้งอาจตกตะกอนกลับไปติดผ้า หากมีอนุมูลโลหะในน้ำจะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการลอกแป้ง จึงมักเติมสารจับอนุมูลโลหะลงไปในน้ำซักด้วย. นอกจากนี้ การใช้น้ำสบู่ที่เหมาะสมสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการขจัดได้ด้วย.

2.2.3 การกำจัดสิ่งสกปรก (scouring) เป็นขั้นตอนกำจัดสิ่งสกปรก เช่น ไขมัน และสิ่งสกปรกที่ติดมากับใยผ้า รวมทั้งล้างเอาแป้งที่ละลายแล้วหลังจากขั้นตอนการลอกแป้งออกให้หมด เส้นใยบางชนิดมีวิธีทำความสะอาดโดยเฉพาะ ขั้นตอนการทำความสะอาดจึงไม่จำเป็นต้องกระทำภายหลังการลอกแป้งเสมอไป. น้ำยาทำความสะอาดประกอบด้วยน้ำยาด่าง ที่นิยมใช้คือโซดาไฟ ผสมกับน้ำสบู่หรือผงซักฟอก อาจเติมสารกำจัดอนุมูลโลหะ (complexing agent) เช่น Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Cu^{2+} , Mn^{2+} ซึ่งมักตกตะกอนไฮดรอกไซด์ในภาวะเป็นด่าง. ตะกอนเหล่านี้จะรบกวนการฟอกผ้าด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จึงต้องกำจัดออก เมื่อผ่านขั้นตอนทำความสะอาด เส้นใยจะมีความสะอาดปราศจากวัตถุเจือปนดังกล่าวมา.

2.2.4 การฟอกขาว (bleaching)

เนื่องจากผ้าหรือเส้นใยธรรมชาติ เช่น ฝ้าย มักมีสารที่มีสีในธรรมชาติติดมากับวัสดุสิ่งทอ ผ้าที่ต้องการความขาว ผ้าที่จะนำไปย้อมสีอ่อนหรือสีสดใสนั้น จำเป็นต้องผ่านการฟอกขาว. สำหรับผ้าที่จะนำไปย้อมสีเข้มหรือเส้นใยสังเคราะห์ซึ่งค่อนข้างขาวอยู่แล้ว หรือสิ่งเจือปนในเส้นใยที่ถูกกำจัดหมดในขั้นตอนการลอกแป้งและทำความสะอาด ไม่ต้องฟอกขาว ยกเว้นผ้าที่ต้องการความขาวเป็นพิเศษ เช่น ผ้าขาว.

การฟอกขาวกระทำได้ด้วยการใช้สารออกซิไดซิง หรือสารรีดิวซิงให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน ซึ่งมีทั้งชนิดที่เป็นกรดและเบส. ระยะเวลาที่ใช้แช่ผ้าต้องเลือกให้ถูกต้องตามชนิดของเส้นใยและควบคุมสภาวะให้ถูกต้อง มิฉะนั้นจะเป็นอันตรายต่อเส้นใย. สารเคมีที่นิยมใช้ฟอกขาว คือ โซเดียมไฮโปคลอไรด์ (NaOCl), ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) และสารประกอบพวกเปอร์ออกไซด์อื่น ๆ.

สำหรับสารรีดิวซิงที่ใช้ฟอกขาว เช่น โซเดียมไฮโดรซัลไฟต์, โซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ กลุ่มนี้มักให้ความขาวไม่ถาวร. น้ำยาฟอกขาวด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มักประกอบด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์, โซดาไฟ, สเตบิลไลเซอร์ (stabilizer) เพื่อป้องกันการระเหยของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และคุมไม่ให้แตกตัวเร็วเกินไป, และน้ำสบู่เพื่อขจัดไขมัน อุณหภูมิที่ใช้ 100 °ซ. เป็นเวลาประมาณ 40 นาที. ส่วนการฟอกผ้าด้วยไฮโปคลอไรต์ สามารถใช้ที่อุณหภูมิห้องหรืออุณหภูมิห้อง สารประกอบที่ใช้อาจเป็นโซเดียมไฮโปคลอไรต์หรือน้ำยาคลอรีน และแคลเซียมไฮโปคลอไรต์ หรือที่เรียกว่า ผงคลอรีน ไฮโปคลอไรต์ใช้ได้ในช่วง pH 11-12 และมีข้อจำกัดห้ามใช้กับเส้นใยโปรตีนหรือเส้นใยที่มีไนโตรเจน เนื่องจากฟอกไม่ขาวแล้วยังเปลี่ยนเป็นสีเหลืองและเปื่อย เช่น ไหม, ไนลอน.

2.2.5 การชุบมัน (mercerizing)

การชุบมัน เป็นขั้นตอนการเตรียมผ้าฝ้ายให้มีความเงางาม, ดูดซับสีได้มากขึ้น และเส้นใยอ่อนนุ่มขึ้น โดยการแช่ผ้าในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นประมาณ 20-35 โบเม (baume) ทำให้เกิดการคลายเกลียวหรือการพองตัวของเส้นใยอย่างสม่ำเสมอ ขยายพื้นที่ผิวภายในเส้นใยให้ดูดซับสีย้อมได้ดีขึ้น, ต้องดึงผ้าให้ตึงก่อนจะนำไปล้างต่างออก.

2.3 การย้อมสี (dyeing)

2.3.1 การย้อมสี

การย้อมสีสิ่งทอเพื่อให้ได้ผ้าสีสวยสะอาด ได้สีสม่ำเสมอ คงทนต่อการใช้งาน ต้องเลือกสีย้อมให้ถูกต้องกับชนิดเส้นใยและเทคนิคการย้อม เพื่อป้องกันสีตก, ดำง หรือเส้นใยเสื่อมคุณภาพภายหลัง. การย้อมทำได้หลายระยะ คือ ก่อนหรือภายหลังการปั่น ก่อนหรือภายหลังการทอ ดังนี้:

1. การย้อมเมื่อเป็นของเหลว (solution dyeing) การย้อมระยะนี้ใช้เฉพาะใยสังเคราะห์ โดยใส่สีในขณะเหลว ในระหว่างการผลิตเส้นใยสังเคราะห์. ต้นทุนการผลิตถูกกว่าที่ผลิตเป็นเส้นใยก่อนแล้วจึงย้อม อีกทั้งสีไม่ตก.
2. การย้อมเส้นใย (stock dyeing) ใช้ย้อมเฉพาะกรณีที่ต้องการให้เห็นเส้นใยแต่ละส่วนมีสีต่างกัน เช่น การทำจุดด้วยเส้นใยสีต่างๆ ในผ้า หรือกรณีผ้าสักหลาดที่มีสีเข้มสลับอ่อนปนกัน.
3. การย้อมเส้นด้าย (yam or skein dyeing) ย้อมเส้นด้ายก่อนนำมาทอเป็นผืนผ้า.
4. การย้อมผืนผ้า (piece dyeing) เป็นวิธีย้อมที่ง่ายที่สุด แต่ถ้าเป็นผ้าทอเนื้อแน่นหรือใช้เส้นด้ายเข้าเกลียวแน่น สีจะซึมเข้าได้ช้า. ผ้าที่ผลิตจากเส้นใยชนิดเดียว ย้อมได้เป็นสีเดียวกันโดยตลอด ถ้าเป็นเส้นใยหลายชนิดปนกัน ย้อมให้เป็นสีเดียวกัน (union dyeing) หรือย้อมให้เส้น

ย้อมสีกัน (cross dyeing). การย้อมสีผ้าเป็นที่นิยมมากกว่า เนื่องจากง่าย, เร็ว และต้นทุนต่ำ ให้สีและเนื้อสัมผัสที่สวยงาม.

2.3.2 กระบวนการย้อมสีสิ่งทอ (textile dyeing processes)

กระบวนการย้อมสีสิ่งทอแบ่งออกได้เป็นกระบวนการใหญ่ ๆ ดังนี้:

1. การย้อมแบบแช่หรือดูดซึม (immersion or exhaustion dyeing)

การย้อมแบบแช่ การย้อมสีจำเป็นต้องคำนึงถึงปัญหาสีค้างและการย้อมซ้ำ ตลอดจนอัตราส่วนระหว่างวัสดุย้อมกับน้ำย้อม (liquor ratio, LR). มีปัจจัยมากมายที่มีอิทธิพลต่อการดูดซึมสีเข้าไปในเส้นใย. สารช่วยย้อมมีความจำเป็นในกรณีเฉพาะ เช่น ใช้ช่วยการดูดซึมสีให้ได้มากที่สุด ยกตัวอย่างเช่น การใช้เกลือสำหรับย้อมสีไครเรตหรือสีรีแอกทีฟ หรือสารที่ช่วยถ่วงไม่ให้สีย้อมถูกดูดซึมเข้าไปในเส้นใยเร็วเกินไปในกรณีที่สีมีค่าความสามารถในการดูดซึมสี (substantivity) สูง อาทิเช่น สีเบสิกกับเส้นใยอะคริลิก.

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการย้อมสีสิ่งทอดังต่อไปนี้:

1. โครงสร้างของเส้นใย
2. โครงสร้างของโมเลกุลสี
3. การควบคุมอุณหภูมิของการย้อม
4. ความเป็นกรด-เบส
5. อัตราส่วนระหว่างวัสดุสิ่งทอกับน้ำย้อม (liquor ratio)
6. สารช่วยย้อม
7. อัตราการหมุนเวียนของน้ำย้อมขึ้นอยู่กับการออกแบบเครื่องย้อมกับน้ำย้อม
8. อิทธิพลจากขั้นตอนการเตรียมผ้าและสารตกค้างที่มาจากขั้นตอนก่อนย้อม.

2. การย้อมแบบต่อเนื่อง (continuous or impregnation-fixing method)

การย้อมแบบต่อเนื่อง เทคนิคการย้อมแบบนี้ ผ้าจะเคลื่อนที่ผ่านอุปกรณ์ต่างๆ ไปอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งเสร็จกระบวนการย้อม ทำให้การย้อมแบบนี้ใช้เวลาในการย้อมสั้นกว่าวิธีการแรก.

หลักการวิธีการย้อมแบบต่อเนื่อง:

1. ขั้นตอนการจุ่มอัด (impregnation หรือ padding)

เริ่มต้นด้วยการจุ่มอัดผ้าในน้ำสีในอ่างสี (dye trough), ผ้าที่ผ่านการทำจุ่มอัดจะเคลื่อนผ่านเข้าสู่ลูกกลิ้ง (roller) เพื่อบีบเอาสีส่วนเกินออก. ในขั้นตอนนี้สีจะยังคงสามารถแพร่ตัวได้อย่างอิสระ. นอกจากนี้ลูกกลิ้งจะทำหน้าที่บีบสีให้แพร่เข้าไปยังใจกลางของเส้นใยด้วย.

สิ่งที่ต้องระมัดระวัง คือ ผ้าก่อนย้อมจะต้องผ่านกระบวนการกำจัดสิ่งสกปรกอย่างดี เพื่อให้แน่ใจว่าจะทำให้ผ้าดูดซับน้ำสีอย่างสม่ำเสมอ. สีที่ใช้ในการย้อมด้วยเทคนิคนี้ควรจะมีลักษณะแบบมีความสามารถในการดูดซึมต่ำ (nil substantivity) ซึ่งแตกต่างจากการย้อมแบบ exhaustion และลูกกลิ้งจะต้องมีผิวเรียบ ควรใช้วัสดุที่ทำด้วยยางเพราะไม่ดูดซับน้ำสีและมีความยืดหยุ่นตัวดี.

ผ้าที่ออกจากลูกกลิ้งจะผ่านเข้าหน่วยอบแห้ง (dryer) เพื่อให้ผ้าแห้ง. ปัญหาที่พบเป็นประจำในขั้นตอนการทำแห้ง คือ ความไม่สม่ำเสมอของสี (uneven distribution) สาเหตุเกิดจากในขณะที่ทำแห้ง น้ำจะแพร่จากด้านในเส้นใยออกสู่ผิวเส้นใย ขณะที่น้ำแพร่ออกมานั้นก็จะพาสีย้อมแพร่ตามออกมาด้วย. ถ้าการแห้งของผิวผ้าเป็นไปอย่างไม่สม่ำเสมอ ก็จะส่งผลให้การแพร่ออกของน้ำเป็นแบบไม่สม่ำเสมอตามไปด้วย ซึ่งก็จะหมายถึงความเข้มของสีที่ผิวผ้าก็จะเป็นไปแบบไม่สม่ำเสมอเช่นกัน ทำให้เกิดปัญหาการย้อมค้างเกิดขึ้น. นอกจากปัญหาการแพร่ออกของสีย้อมที่เป็นไปแบบไม่สม่ำเสมอแล้ว ยังมีปัญหาของวงแหวนสี (ring dyes) ซึ่งอาจจะเกิดเป็นตำหนิขาวบนผ้าได้เมื่อสีผิวผ้าหลุดลอกออกไป. การลดปัญหาความไม่สม่ำเสมอของสีในขณะที่ทำแห้ง อาจทำได้โดยติดตั้งหน่วยอุปกรณ์อินฟราเรด หรือเติมสารยับยั้งการแพร่ตัวของสี เช่น โซเดียม-อัลจิเนต เป็นต้น.

2. ขั้นตอนการฝืนสี

ในขั้นตอนการฝืนสี (fixation) สามารถใช้วิธีดังต่อไปนี้:

- ฝืนสีด้วยเครื่องอบไอน้ำ (steamer) ใช้ไอน้ำร้อนในการช่วยให้สีทำปฏิกิริยาหรือฝืนสีติดกับเส้นใย;
- ฝืนสีด้วยลมแห้ง (hot-air thermosol) ใช้ความร้อนแห้งอุณหภูมิสูงกว่าใช้ไอน้ำ ทำให้ลดเวลาการฝืนสีลง;
- ฝืนสีด้วยลูกกลิ้งร้อน (hot roller) ผ้าจะสัมผัสกับลูกกลิ้งตลอดเวลา ถ้าควบคุมไม่ดีทำให้ผ้าไหม้ได้.

3. ขั้นตอนการซักล้าง (washing process) เครื่องย้อมแบบต่อเนื่องจะประกอบด้วยอ่างซักล้างหลายอ่าง เนื่องจากผ้าจะเคลื่อนที่ไปข้างหน้าตลอดเวลา. อ่างซักล้างต่างๆ จะมีน้ำสีเข้ม ทำให้ประสิทธิภาพการซักล้างของอ่างต่างๆ ลดลง จำเป็นต้องเตรียมอ่างซักล้างเรียงกันหลายๆ อ่าง โดยมาตรฐานแล้วจะมีประมาณ 8 อ่าง. ข้อดีของเทคนิคการย้อมแบบต่อเนื่อง คือ ให้ผลผลิตสูงกว่าการย้อมแบบแช่ แต่ก็มีข้อเสียคือผลิตในปริมาณเพิ่มน้อยๆ ไม่ได้ เพราะไม่คุ้มกับการลงทุนและถ้าเครื่องซักล้างจะใช้เวลานานในการแก้ไข.

เทคนิคการย้อมอีกวิธีหนึ่งซึ่งเป็นที่นิยมในปัจจุบัน คือ เทคนิคการย้อมกึ่งต่อเนื่อง (pad batch process). ขั้นตอนการย้อมแบ่งออกเป็น 3 ช่วง คือ จุ่มอัด, หมักผ้า (batching) และซักล้าง.

เทคนิคสำคัญอยู่ที่การทำ batching ผ้าที่ผ่านการจุ่มอัดแล้ว จะนำไปม้วนเข้ากับแกนหมุน หุ้มบีบผ้า ด้วยพลาสติกเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ แล้วนำแกนหมุนไปหมุนด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง เพื่อให้สีผนึกติดกับเส้นใยอย่างสม่ำเสมอ. แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางจะช่วยให้สีข้อมกระจายตัวในผ้าอย่างสม่ำเสมอ แต่ข้อจำกัดของวิธีการข้อมแบบนี้ คือ ใช้ได้กับสีที่มีความว่องไวสูงเท่านั้น.

2.3.3 ประเภทของสีข้อม

ประเภทของสีข้อมสามารถจำแนกตามกรรมวิธีการข้อมและจำแนกตามองค์ประกอบทางเคมี.

สีข้อมจำแนกตามกรรมวิธีการข้อมได้ดังนี้:

1. สีไคเร็ก (direct dyes)

สีไคเร็กละลายน้ำได้ ส่วนใหญ่เป็นเกลือโซเดียมของกรดซัลโฟนิก (sulphonic acid) และสารประเภทพวเคโซ, เมื่อสีละลายน้ำและแสดงประจุลบในสภาพสารละลาย มีแรงยึดกับเส้นใยเซลลูโลส. วิธีการข้อมสีประเภทนี้ไม่ยุ่งยาก ต้องการตัวช่วยข้อมที่จำเป็นเพียงชนิดเดียวเท่านั้น คือ เกลือแกง (sodium chloride) หรือเกลือโซเดียมซัลเฟต (sodium sulphate).

2. สีเบสิก (basic dyes)

สีเบสิกเป็นไฮโดรคลอไรด์ หรือเกลือของสารอินทรีย์. ส่วนที่เป็นโครงสร้างโมเลกุลที่ทำให้เกิดสีหรือโครโมฟอร์ (chromophores) มีประจุบวก (cationic) เราจึงเรียกสีประเภทนี้ว่า สีแคตไอออนิก (cationic dyes) ใช้ข้อมเส้นใยเซลลูโลส, มีความเสถียรสูง แต่คงทนต่อแสงต่ำ. ปัจจุบันได้รับการปรับปรุงให้คงทนต่อแสงดีขึ้น มักนิยมใช้ข้อมเส้นใยอะคริลิกเป็นส่วนใหญ่.

3. สีซัลเฟอร์ (sulphur dyes)

เป็นสีที่มีซัลเฟอร์หรือกำมะถันเป็นองค์ประกอบ หรือเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีกำมะถันอยู่ในโครงสร้างสี, โมเลกุลสภาพปกติไม่ละลายน้ำ แต่สามารถรีดิวซ์เปลี่ยนให้อยู่ในสถานะต่าง มีแรงยึดเกาะกับเส้นใยเซลลูโลส. หลังการข้อมต้องออกซิไดซ์ให้อยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำกลับคืนมาภายในเส้นใย ใช้ข้อมเส้นใยเซลลูโลสซึ่งมีความคงทนต่อการซัก แต่สีไม่สดใส. ถ้าข้อมสีอ่อนจะมีความคงทนต่อแสงต่ำ จึงนิยมข้อมสีซัลเฟอร์ในระดับความเข้มข้นสูงและปานกลาง นอกจากนี้ยังราคาถูก.

4. สีอะโซอิก (azoic dyes)

เป็นสีไม่ละลายน้ำซึ่งเกิดขึ้นในเส้นใยโดยปฏิกิริยาระหว่างสารเคมี 2 ชนิด; ชนิดหนึ่งเป็นพวกคัปปลิงคอมโพเนนต์ (coupling component) ที่ละลายน้ำได้ และอีกชนิดคือกลุ่มไดอะโซไทซ์ (diazotized base) คงทนต่อการซักและแสงแดด ใช้ข้อมเส้นใยเซลลูโลส, แอซีเตต และพอลิเอสเตอร์.

5. สีแเวต (vat dyes)

สีแเวต ไม่ละลายน้ำ มีหลักการย้อมคล้ายกับสีซัลเฟอร์ คือ ก่อนย้อมจะถูกรีดิวซ์ให้เปลี่ยนอยู่ในรูปลิโวที่ละลายน้ำได้ด้วย. การใช้โซดาไฟกับสารรีดิวซ์ เช่น โซเดียมไฮโดรซัลไฟด์ สารประกอบลิโวจะถูกออกซิไดซ์กับเส้นใยเซลลูโลส. จากนั้นทำการออกซิไดซ์ให้อยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำเช่นเดิม นิยมใช้ย้อมผ้าเส้นใยเซลลูโลส คงทนต่อการซักได้ดีมาก แต่ราคาแพง.

6. สีรีแอคทีฟ (reactive dyes)

เป็นสีที่ประกอบด้วยรีแอคทีฟกรุ๊ปในโมเลกุล ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยาทางเคมีโดยตรง โดยการเกิดพันธะโคเวเลนต์กับหมู่ไฮดรอกซิลในเส้นใยเซลลูโลส ทำให้เกิดความทนทานต่อการซักได้ดีมาก. ส่วนมากใช้ย้อมสำหรับเส้นใยเซลลูโลส และบางพวกใช้ย้อมเส้นใยโปรตีนและไนลอนได้ด้วย.

7. สีแอซิด (acid dyes)

โดยปกติเป็นเกลือโซเดียมของกรดซัลโฟนิคเป็นส่วนใหญ่ โครงสร้างของโมเลกุลคล้ายสีไดเร็กมาก แต่ขนาดโมเลกุลเล็กกว่า ใช้ย้อมเส้นใยโปรตีน เช่น ขนสัตว์, ไหม และ เส้นใยพอลิเอไมด์ เช่น ไนลอน.

8. สีเมทัลคอมเพลกซ์ (metal complex dyes)

เป็นสีย้อมประเภทพิเศษ ซึ่งอาจจะจัดอยู่ในพวกสีแอซิด เพราะมีกรรมวิธีการย้อมคล้ายกันโดยน้ำสีย้อมมีกรด; ใช้ในการย้อมเส้นใยโปรตีนและพอลิเอไมด์เช่นเดียวกัน คงทนต่อการซักดีกว่าสีแอซิด.

9. สีมอร์แดนต์หรือโครม (mordant or chrome dyes)

ประกอบด้วยสีธรรมชาติและสีสังเคราะห์หลายตัว สีสังเคราะห์มักได้จากแอนทราซีน (anthracene). โดยตัวสีเองไม่มีพลังในการติดต่อกับเส้นใยต่างๆ นอกจากเอาเส้นใยมาทำมอร์แดนต์ก่อนด้วยออกไซด์ของโลหะ จึงจะย้อมสีได้.

10. สีดิสเพิร์ส (disperse dyes)

เป็นสีไม่ละลายน้ำ หรือละลายน้ำได้น้อย อยู่ในน้ำในลักษณะการกระจายตัวแขวนลอยอยู่ โดยใช้ดิสเพิร์ซิงเอเจนต์ (dispersing agent) ช่วยในการกระจายตัวแขวนลอย; ใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลสแอซิเตด, ไนลอน และเส้นใยที่ไม่ชอบน้ำ.

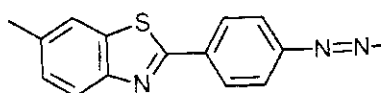
สีย้อมที่จำแนกตามองค์ประกอบทางเคมีได้ดังต่อไปนี้:

1. สีเอโซ (azo colorants)

โครงสร้างของสีเอโซจะต้องมีหมู่ $-N=N-$ อย่างน้อย 1 หมู่เป็นองค์ประกอบ และเป็นสีกลุ่มใหญ่ที่สุด ทั้งนี้เพราะว่าเป็นสีที่สังเคราะห์ง่าย และให้เฉดสีครบทุกเฉดสี.

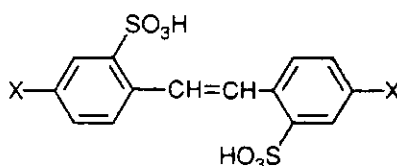
2. สีไธอะโซล (thiazole dyes)

โครงสร้างเคมีจะมีวงแหวนไธอะโซล (thiazole ring) เป็นองค์ประกอบ ส่วนใหญ่ให้เฉดสีเหลือง (สีส้มในกลุ่มนี้ส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มสีโคเร็กและสีเบสิก) หมู่วงแหวนไธอะโซลทำหน้าที่ช่วยเพิ่มความสามารถในการเกาะติดของสียบนเส้นใยฝ้าย จึงนิยมนำหมู่นี้ไปต่อเชื่อมเข้ากับไมโครฟอร์ที่มีสมบัติการเกาะติดอยู่บนเส้นใยดำ เช่น anthraquinone เป็นต้น.



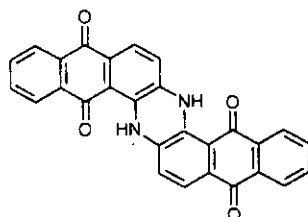
3. สีสไตบีน (stilbene dyes)

เกือบ 75% ของสีสไตบีนเป็นสารเรืองแสง (fluorescent brightening agents).



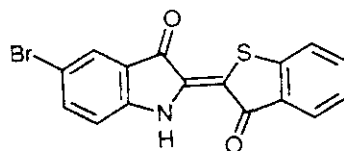
4. สีแอนทราควิโน (anthraquinone dyes)

ส่วนใหญ่เป็นสีน้ำเงินและขายในรูปของสีแวต สีแอนทราควิโนนเป็นสีที่มีความเข้มดำและเป็นสีที่มีราคาค่อนข้างแพง.



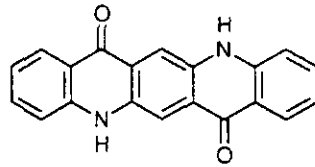
5. สีอินดิโกอยด์ (indigoid colorants)

ส่วนใหญ่ขายในรูปสีแวต ในอดีตสีอินดิโกอยด์เป็นสีที่ได้จากธรรมชาติ.



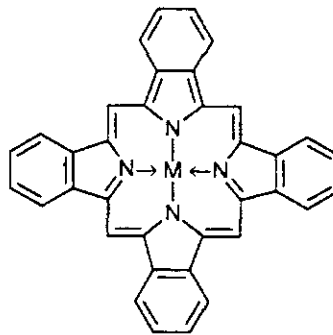
6. สารสีควินาคริโคน (quinacridone pigments)

ขายในรูปของพิกเมนต์ (สำหรับอุตสาหกรรมสีทา) ให้เฉดสีม่วง magenta หรือสีแดงเข้ม.



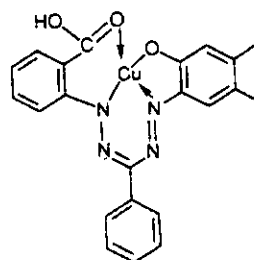
7. สีพธาลอไซยานีน (phthalocyanine colorants)

ผลิตขายในรูปของสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะไอออนต่างๆ (metal complex) ให้สีน้ำเงินและเขียวเข้ม สามารถนำไปผลิตเป็นพิกเมนต์และสีย้อมต่างๆ แต่ไม่นิยมนำไปผลิตเป็นสียืดเฟิร์ส.



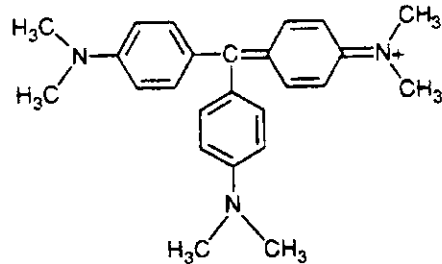
8. สีฟอร์มazan (formazan dyes)

เป็นสีที่อยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อนกับทองแดง ส่วนใหญ่พบในสีแอซิดและสีรีแอกทีฟ เฉดสีส่วนใหญ่เป็นสีน้ำเงิน.



9. สีไตรเอริลมีเทน (triarylmethane colorants)

เป็นสีที่มีความเข้มสูง แต่มักไม่มีความคงทนต่อแสง. ปัจจุบันสีในตระกูลนี้เริ่มได้รับความนิยมน้อยลงเรื่อยๆ ส่วนใหญ่จะพบในสีแอซิด, เบสิก, มอร์แคนด์ และสีโซลเวนต์.



นอกจากนี้ ยังมีสีในตระกูลอื่นๆ เช่น cyanine colorants, nitro&nitroso colorants, xanthene colorants เป็นต้น.

2.3.4 เครื่องย้อมสิ่งทอ

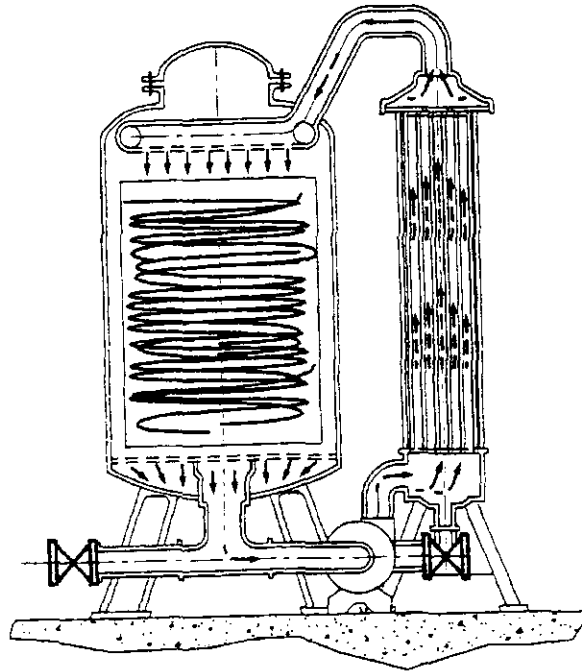
เครื่องย้อมสีสำหรับวัสดุสิ่งทอแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ หลักๆ คือ เครื่องย้อมสำหรับการย้อมแบบแช่ (exhaustion) และเครื่องย้อมสำหรับการย้อมแบบต่อเนื่อง (continuous).

เครื่องย้อมสำหรับการย้อมแบบแช่นั้น วัสดุสิ่งทอจะถูกแช่อยู่ในน้ำย้อม หรือมีการสัมผัสระหว่างวัสดุและน้ำย้อมตลอดเวลา. ในเครื่องย้อมมี 2 เฟส คือ เฟสของแข็ง (วัสดุที่นำมาย้อม) และเฟสของเหลว (น้ำย้อม). เครื่องย้อมจะถูกออกแบบเพื่อให้มีการแพร่ของสีอย่างมีประสิทธิภาพโดยมีหลักการทำงานใน 3 ลักษณะ คือ เฟสของแข็งอยู่กับที่ ขณะที่เฟสของเหลวเคลื่อนที่, หรือเฟสของแข็งเคลื่อนที่ผ่านเฟสของเหลว, หรือทั้งเฟสของแข็งและเฟสของเหลวเคลื่อนที่.

เครื่องย้อมสิ่งทอที่ใช้กัน ได้แก่:

1. เครื่องย้อมสำหรับย้อมเส้นใย (raw stock dyeing machine)

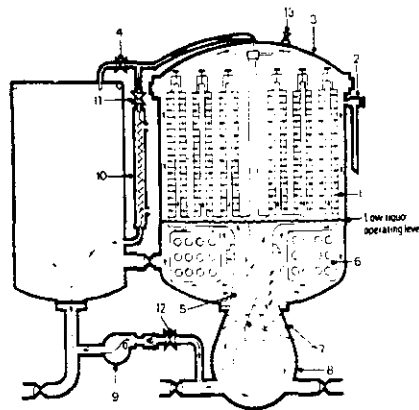
เครื่องย้อมประเภทนี้ถูกออกแบบมาใช้ย้อมเส้นใย มีลักษณะดังรูปที่ 4. น้ำย้อมอาจถูกป้อนจากข้างล่างขึ้นข้างบนหรือข้างบนลงข้างล่าง. ขณะน้ำย้อมไหลเวียน ความดันอันเนื่องมาจากแรงฉุดของน้ำจะทำให้สีย้อมแทรกซึมเข้าภายในเส้นใยอย่างทั่วถึง.



รูปที่ 4. เครื่องย้อมเส้นใย.

2. เครื่องย้อมเส้นด้าย หรือเครื่องย้อมแพคเกจ (package dyeing machine)

เครื่องย้อมแพคเกจ สามารถที่จะย้อมภายใต้ความดันสูงได้. เส้นด้ายก่อนที่จะนำมา ย้อมจะต้องกรอ (winding) ให้เป็นหลอดเสียก่อน ซึ่งจะเรียกว่า โคน (cone) หรือแพคเกจ (package) แกนของแพคเกจ อาจจะเป็นเหล็กสแตนเลสที่มีรูพรุน (perforated tubes). เครื่องย้อม สามารถบรรจุโคน (cone) ได้ในปริมาณมาก. การบรรจุโคนจะจัดวางซ้อนกันลงใน perforated rods ที่มีลักษณะเป็นท่อกลวงเพื่อให้ น้ำย้อมสามารถไหลหมุนเวียนได้ ดังรูปที่ 5.

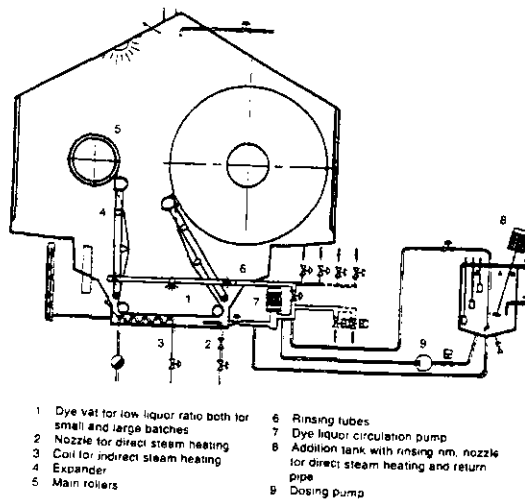


- | | | |
|--|--|---|
| 1. Directional flow shown in to out through packages for low level | 5. Flow reversal unit (for fully flooded operation only) | 9. Secondary pump (addition pump) |
| 2. Pressure lock sample device | 6. Closed coil heat exchanger | 10. Bleed cooler (isolatable) |
| 3. Quick acting pressure cover | 7. Flow control valves | 11. Bleed cooler isolating valve |
| 4. Pressure release | 8. Directly coupled pump unit | 12. Addition tank isolate valve |
| | | 13. Compressed air pressurisation point |

รูปที่ 5. เครื่องย้อมเส้นด้าย

3. เครื่องย้อมผ้าแบบจิก (jig dyeing machine)

ตัวเครื่องย้อมประกอบด้วยลูกกลิ้ง (drawing roller) ที่ใช้เป็นตัวขับเคลื่อนให้ผ้าผ่านลงในอ่างน้ำย้อม ลูกกลิ้งข้างหนึ่งหมุนเพื่อทำการม้วนผ้า ในขณะที่ลูกกลิ้งอีกตัวหนึ่งหมุนเพื่อคลายผ้าออก ที่ก้นอ่างจะมีลูกกลิ้ง (guide roller) เพื่อช่วยให้ผ้าสัมผัสน้ำ. ลักษณะเครื่องย้อมแบบจิกแสดงในรูปที่ 6. เครื่องประเภทนี้มีข้อดีคือเรื่องอัตราส่วนระหว่างวัสดุย้อมกับน้ำย้อม (liquor ratio) ต่ำ อยู่ในช่วง 1:2 – 1:6 ซึ่งจะประหยัดสารเคมีและพลังงาน แต่ก็มีข้อเสียเนื่องจากลูกกลิ้งม้วนผ้ากลับไปกลับมา เกิดแรงดึง (tension) ทำให้ผ้าเสียรูปทรง ความกว้างของผ้าจะแคบลงหลังจากกระบวนการย้อม ขณะเดียวกันผ้าจะยาวขึ้น. ประสิทธิภาพของเครื่องแบบนี้ต่ำ เนื่องจากผ้าส่วนใหญ่อยู่เหนือน้ำย้อม ใช้เวลาย้อมนานขึ้น การที่ผ้าอยู่เหนือน้ำทำให้การควบคุมอุณหภูมิยากขึ้น อีกทั้งไม่เหมาะกับการนำไปใช้กับขั้นตอนการกำจัดสิ่งสกปรก (scouring) หรือการฟอกขาว (bleaching) จึงไม่สะดวกในทางปฏิบัติ. นอกจากนี้ ช่วงเวลาการย้อมผ้าของต้นม้วน กลางม้วน และปลายม้วน จะแตกต่างกัน โดยต้นม้วนและปลายม้วนจะอยู่ในอ่างย้อมสั้นกว่ากลางม้วน มีผลต่อความสม่ำเสมอของเจดสี ซึ่งเรียกว่าเทลลิง (tailing).

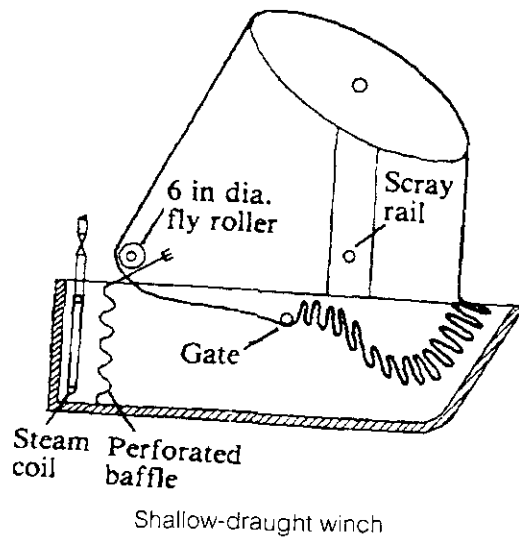
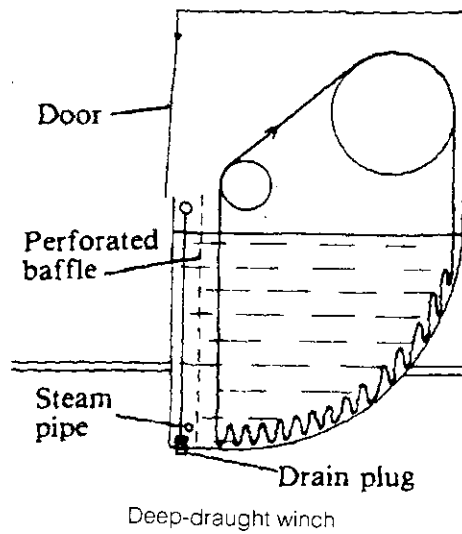


- | | |
|---|--|
| 1 Dye vat for low liquor ratio both for small and large batches | 6 Rinsing tubes |
| 2 Nozzle for direct steam heating | 7 Dye liquor circulation pump |
| 3 Coil for indirect steam heating | 8 Addition tank with rinsing nm, nozzle for direct steam heating and return pipe |
| 4 Expander | 9 Dosing pump |
| 5 Main rollers | |

รูปที่ 6. เครื่องย้อมผ้าแบบจิ๊ก

4. เครื่องย้อมผ้าแบบวินช์

ผ้าที่นำมาย้อมจะถูกยึดต่อหัวท้ายเข้าด้วยกันเป็นวงที่เรียกว่าลูป (loop) หรือโรป (rope) อาจมีตั้งแต่ 1-40 โรป แต่ละโรปต้องมีความยาวเท่ากัน เหนืออ่างย้อมจะมีรีล (reel) อยู่ 2 ตัว ตัวด้านหน้าเครื่องเป็นลูกกลิ้งฟลาย (fly roller) ตัวด้านหลังเรียกว่า วินช์รีล (winch reel) ทำหน้าที่ขับเคลื่อนให้ผ้าหมุนไปรอบๆ. ส่วนอ่างย้อมมี 2 แบบ คือ แบบลึก (deep draught winch) และแบบตื้น (shallow draught winch) ซึ่งแบบตื้นถูกออกแบบให้ลดปัญหาการยับของผ้า โดยเฉพาะ. รูปร่างเครื่องแสดงดังรูปที่ 7. เครื่องประเภทนี้ราคาถูกและง่ายต่อการใช้งาน ใช้ในขั้นตอนลอกแป้งล้างไขมัน, ฟอกขาว, ซักล้าง และทำให้ نرم ได้. ใช้กับการย้อมผ้าทุกชนิดที่อยู่ในรูปผ้าโรป เช่นผ้าที่ทอจากเส้นใยขนสัตว์, เส้นใยสังเคราะห์ และผ้าถักแบบเซอร์คูลาร์นิต (circular knitted) เกือบทุกชนิด.

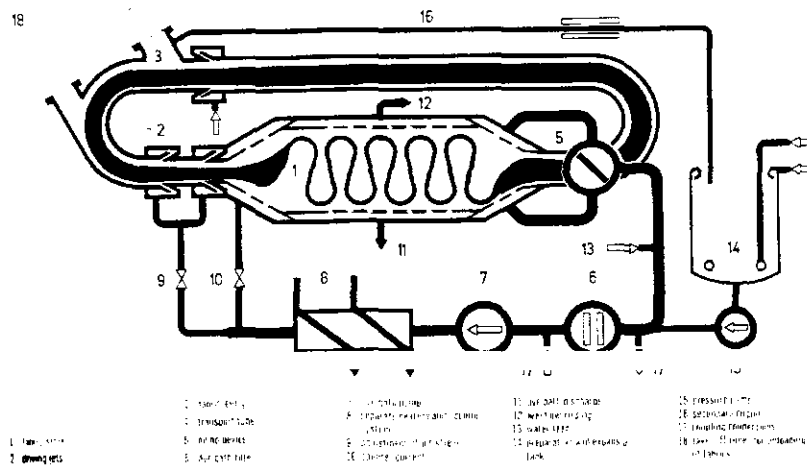
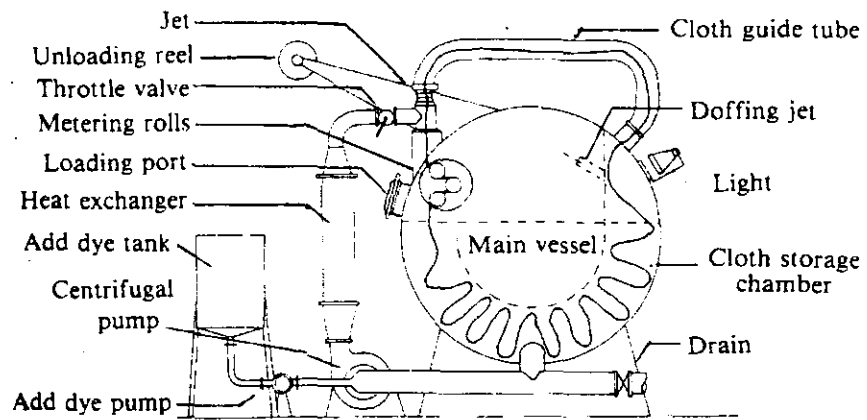


รูปที่ 7. เครื่องย้อมผ้าแบบวินช์.

5. เครื่องย้อมผ้าแบบเจ็ต (jet dyeing machine)

เครื่องย้อมประเภทนี้แตกต่างจากประเภทอื่นที่กล่าวมาโดยที่ทั้งน้ำย้อมและผ้าต่างเคลื่อนที่ ทำให้การดูดซึมสีได้อย่างสม่ำเสมอในเวลาอย่างรวดเร็ว. การขับเคลื่อนผ้าจะคล้ายเครื่องย้อมแบบวินช์ ต่างกันตรงที่ใช้น้ำในการขับเคลื่อนผ้า โดยน้ำจะถูกฉีดผ่านช่องเล็ก ๆ ที่เรียกว่าเวนจูรีเจ็ต (venturi jet) ด้วยความเร็วสูงพอที่จะเกิดแรงดูดภายในท่อเวนจูรี (venturi tube), ผ้าจึง

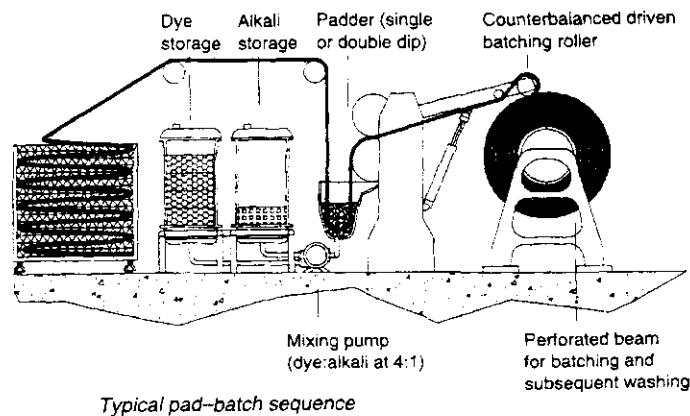
ถูกคูดให้เคลื่อนลงสู่ตัวเครื่องย้อม. การย้อมแบบนี้สามารถย้อมภายใต้ความดันที่อุณหภูมิประมาณ 135 °ซ. และมีอัตราส่วนสิ่งทอต่อน้ำย้อม (liquor ratio) ต่ำช่วง 1:10 ถึง 1:5 ลดปัญหาการยับของผ้าเนื่องจากผ้าเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วและเป็นอิสระ. สำหรับผ้าที่มีโครงสร้างละเอียดอ่อน อาจเสียหายได้เนื่องจากแรงน้ำที่ฉีดผ่านเวนจูรีเจ็ต. สำหรับเครื่องรุ่นใหม่จะสามารถปรับความเร็วของเวนจูรีเจ็ตไม่ให้แรงไปได้. เครื่องย้อมแบบเจ็ตมี 2 แบบ คือ แบบกลม (round kier or cigar kier) มักมีปัญหาการเกิดฟอง ต้องเติมสารกันฟองลงไป และไม่เหมาะกับผ้าที่มีโครงสร้างประณีต เช่น ไทรแอชิตเตด หรือผ้าถักด้วยใยอะคริลิก และแบบยาว (long horizontal kier or fully flood jet machine) ซึ่งถูกออกแบบมาเพื่อลดปัญหาฟองเนื่องจากผ้าจมอยู่ใต้น้ำตลอด. เครื่องย้อมแบบเจ็ตแสดงในรูปที่ 8.



รูปที่ 8. เครื่องย้อมผ้าแบบเจ็ต.

6. เครื่องย้อมผ้าแบบอัด (pad dyeing machine)

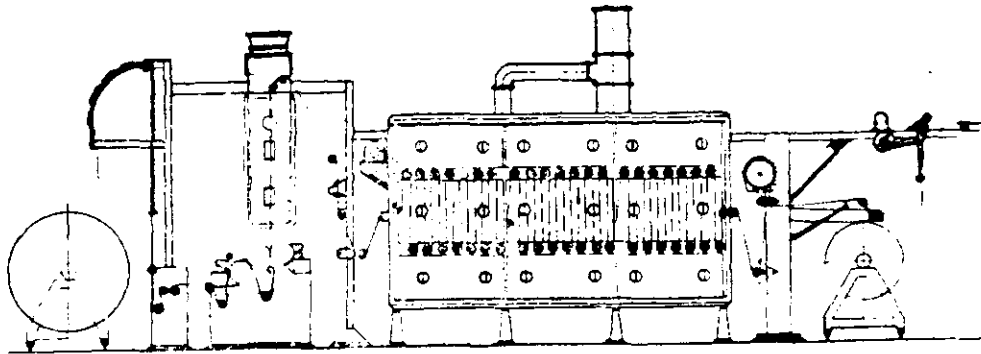
เครื่องย้อมแบบอัดนี้ประกอบด้วย ถังย้อมและลูกกลิ้งที่ปรับระดับได้ ใช้ในการบีบน้ำย้อมออกตามความต้องการ. ผ้าจะผ่านลงไปใต้น้ำย้อม แล้วผ่านมายังลูกกลิ้งบีบน้ำย้อมออก ใช้น้ำย้อมน้อยมาก.



รูปที่ 9. เครื่องย้อมผ้าแบบอัด.

7. เครื่องย้อมผ้าแบบต่อเนื่อง (continuous dyeing machine)

เครื่องย้อมผ้าแบบนี้จะประกอบด้วย ขั้นตอนการย้อมและหลังการย้อมมาต่อกันเป็นระบบทำงานต่อเนื่อง ประกอบด้วยเครื่องย้อมแบบอัด (padder), เครื่องทำให้แห้ง (dryer), เครื่องอบไอน้ำ (curing over or steamer), เครื่องล้าง (washer) และอาจต่อด้วยการทำให้แห้งอีกครั้ง. แพดเดอร์ (padder) ประกอบด้วยอ่างสีและลูกกลิ้งอัดน้ำสีย้อม (squeezing roller) เพื่อรีดน้ำสีออก และน้ำสีย้อมที่ถูกรีดออกจะไหลลงสู่อ่างสีเดิม. สีที่ควรเลือกใช้ในระบบนี้ควรเป็นสีที่มีค่าการดูดซึมของสี (substantivity) ต่ำ ป้องกันการเกิดความแตกต่างของเฉดสีระหว่างหัวผ้าและท้ายผ้า และควรมั่นใจว่าสีละลายอย่างสมบูรณ์ เพื่อป้องกันการเกิดสีด่างเป็นจุด. สำหรับการทำให้แห้งก่อนที่จะผืนสีต่อไป ทัวไปจะมีการทำให้แห้งเบื้องต้น (pre-drying) โดยมักติดตั้งเตาอบอินฟราเรด (infrared oven) เหนือแพดเดอร์ และต่อด้วยการทำให้แห้งโดยใช้ลูกกลิ้งความร้อน (heater roller) หรือแบบ hot-flue oven. จากนั้น ในขั้นตอนผืนสี (fixation) เครื่องอบผืนสี (fixation oven) มีลักษณะคล้ายเครื่องอบแห้ง แต่อุณหภูมิที่ใช้สูงกว่า, ส่วนเครื่องอบไอน้ำ (steamer) ใช้ในการผืนสีด้วยไอน้ำร้อน ใช้เฉพาะกับสีบางประเภท เมื่อผืนสีแล้วไปยังขั้นตอนการซักล้าง



รูปที่ 10. เครื่องย้อมผ้าแบบต่อเนื่อง.

2.4 การตกแต่งผ้า (finishing)

การตกแต่งผ้า เป็นกระบวนการขั้นสุดท้ายหลังจากผ่านขั้นตอนการเตรียมผ้า และ ขั้นตอนการย้อมสี เพื่อที่จะเปลี่ยนแปลงปรับปรุง หรือเพิ่มเติมคุณภาพบางอย่างให้กับสิ่งทอ ทำให้คุณสมบัติในการใช้สอยดีขึ้น, เปลี่ยนแปลงลักษณะภายนอกของผ้า และตรงตามความต้องการของผู้ใช้มากขึ้น รวมทั้งช่วยยกระดับคุณภาพในการใช้งาน.

2.4.1 วัตถุประสงค์ของการตกแต่งผ้า ดังต่อไปนี้:

1. เพื่อเปลี่ยนแปลงความสัมผัส

- การตกแต่งให้นุ่มโดยใช้สารทำให้นุ่ม (softener) สารทำให้นุ่มจะแทรกซึมเข้าไปภายในเส้นใย และบางส่วนเคลือบอยู่บนผิวผ้า ทำให้ผ้ามีความนุ่มมากขึ้น.

- การตกแต่งให้แข็งกระด้าง เพื่อให้ผ้ามีการรักษารูปทรงได้ดี เช่น บริเวณคอเสื้อเชิ้ต.

- การตกแต่งเพื่อเพิ่มหรือลดน้ำหนักผ้า การลดน้ำหนักผ้าทำให้ผ้านุ่มขึ้น.

2. เพื่อเปลี่ยนแปลงภายนอก

- การตกแต่งให้ขาว จำเป็นมากสำหรับผ้าขาวที่เป็นผ้าฝ้าย.

- การตกแต่งให้มันเงาโดยผ่านเครื่องขัดเงา (calender machine).

3. เพื่อให้ง่ายต่อการดูแลรักษา

- การตกแต่งกันยับ ไม่ต้องรีดภายหลังการซัก.

- การตกแต่งกันหด ป้องกันการหดของผ้าในระหว่างการซักและการรีด.

4. เพื่อเพิ่มความคงทนในการใช้งาน
 - การตกแต่งกันส้านเนื้อแยก.
5. เพื่อป้องกันผลกระทบจากสภาวะแวดล้อมภายนอก
 - การตกแต่งให้ขึ้นขน เช่น ผ้าที่นำไปทำเสื่อกันหนาว (โดยผ่านเครื่องขูดขน).
 - การตกแต่งกันน้ำ เช่น เสื่อกันฝน, เต็นท์ที่ใช้ในงานพิธีต่างๆ.
 - การตกแต่งกันความร้อน ให้มีคุณสมบัติสะท้อนความร้อนที่แผ่มากระทบ.

2.4.2 กรรมวิธีการตกแต่งผ้าตามวัตถุประสงค์ต่างๆ ดังนี้

1. การตัด (shearing)

ผ้าผิวเรียบเมื่อแปรงเรียบร้อยแล้ว จะผ่านเครื่องตัดให้ตัดปลายเส้นใย, ปุ่ม, ปม และปลายเส้นด้ายที่ไม่ต้องการออก เพื่อให้ผิวผ้าเรียบและสะอาด. ถ้าเป็นผ้ากำมะหยี่ จะตัดขนเพื่อให้ขนยาวเท่ากัน บางครั้งตัดเป็นลวดลายต่างๆ ต่างๆ เป็นความสวยงามอีกแบบหนึ่ง.

2. การทำให้แข็งและมีเนื้อมาก (sizing or dressing)

เมื่อตกแต่งแล้ว จะทำให้ผ้าแข็งกระด้าง มีเนื้อหนามากขึ้น. สารที่ใช้ตกแต่ง ได้แก่ แป้ง, คินขาว, ซอล์ค, เจลาติน, พีวีเอ (PVA) หรือสารสังเคราะห์ชนิดอื่น. สารละลายเซลลูโลสที่ใช้ตกแต่งได้ ให้ความรู้สึกสัมผัสดีกว่าสารชนิดอื่น โดยไม่ทำให้รู้สึกว่ามีแป้งในเนื้อผ้า. จะทำให้แข็งมากหรือน้อยก็ได้.

3. การขัดมัน (calender)

เวลารีดผ้า ถ้ารีดดูไปมาหลายๆ ครั้ง จะเป็นมันวาว เรียกว่า การขัดมัน. โรงงานอุตสาหกรรมมีเครื่องจักรเพื่อการตกแต่งประเภทนี้โดยเฉพาะ ประกอบด้วยลูกกลิ้งขนาดต่างกันหลายลูก มีการให้ความร้อนและแรงกดทับ ทำให้ผ้าที่ได้มีลักษณะมันวาว.

4. การรีด (swissing)

เป็นการรีดให้ผ้าเรียบ เครื่องรีดประกอบด้วยลูกกลิ้งใหญ่อันหนึ่งหุ้มด้วยผ้าสักหลาด และลูกกลิ้งเล็กไม่เป็นสนิมเล็กๆ ประมาณ 4 อัน ช่วยทำให้ผ้าเรียบ วิธีนี้ทำก่อนที่จะนำผ้าไปตกแต่งด้วยวิธีอื่น.

5. การทำลายน้ำ (chasing)

ผ้าที่รีดเป็นมันขึ้นคล้ายเหมือนกระแสน้ำวน เรียกว่า ผ้าลายน้ำ (moiré) ใช้เครื่องจักรรีดขัดมัน แต่จัดอันดับลูกกลิ้งใหม่และหุ้มด้วยผ้าเนื้อหยาบ ยกเว้นอันที่จะทำให้ร้อนอันใหญ่ อันเดียวเท่านั้น. ผ้าที่จะทำลายน้ำได้ต้องทอมาจากใยแอซีเตต จึงจะทนซัก ไม่เลือนหาย ถ้าทำจากใยชนิดอื่นไม่ถาวร.

6. การทำให้ย่น (embossing)

โดยทั่วไปเรียกว่า ผ้าลายปี่ เพราะลักษณะลายนูนสูงชันและเว้าลง ทำให้เกิดเป็นลวดลายได้ต่างกัน, เป็นการตกแต่งโดยวิธีพิมพ์ลวดลาย ใช้เครื่องขัดมันแกะลวดลายนูนที่ลูกกลิ้งอันหนึ่ง อีกอันหุ้มผ้าหนา ก่อนพิมพ์ต้องเดินเครื่องให้ลูกกลิ้งลายกดลงบนลูกกลิ้งผ้าจนเป็นรอยลึก ถ้าพิมพ์ผ้าใยสังเคราะห์ลายจะคงอยู่ถาวร.

7. การพิมพ์มัน (schrenering)

คือ การตกแต่งให้มันวิธีหนึ่ง เป็นวิธีพิมพ์ผ้าอย่างเดียวกับการทำให้ย่น โดยลูกกลิ้งจะแกะเป็นเส้นเล็กละเอียดขนานกัน เส้นขนานจะทำมุมกับเส้นยืนไปทางเดียวกับเส้นค้ำย ทำให้ลูกกลิ้งร้อนแล้วกดลงไป ทำให้เส้นค้ำยตรงส่วนนั้นแบน จึงสะท้อนแสงได้มาก. ผ้าที่ได้จากการตกแต่งวิธีนี้จะมีความมันไม่ถาวร ชักครั้งเดียวก็เลือนหาย.

8. การทูป (breeting)

เป็นการทูปให้เส้นค้ำยแบนด้วยค้อนไม้ ทำให้ผ้ามีเนื้อแน่นมากขึ้นและเป็นมัน. ตามปกติใช้ตกแต่งใยลินิน แต่ปัจจุบันใช้ตกแต่งใยเรยอนหรือผ้าทำเทียมลินิน.

9. การทำให้ขนฟู (napping)

คือวิธีตะกุกให้ปลายเส้นใยหลุดออกจากเส้นค้ำยฟองฟูขึ้นมา ทำให้ผ้ามีเนื้อนุ่มและหนาขึ้น. ถ้าต้องการให้ผ้ามีขนหนามากขึ้นจะทอจนเป็นห่วงแล้วตัด ตะกุกให้ฟู. การตกแต่งแบบนี้ถ้าทำมากเกินไป ผ้าจะขาดเร็ว.

10. การแปรง (brushing)

มีเครื่องจักร 2 แบบ แบบที่ 1 เป็นขนแปรงธรรมชาติพันรอบลูกกลิ้ง ทำหน้าที่แปรงเอาขนสั้นๆ ที่หลุดง่ายหรือหลุดออกจากผ้าแล้วให้ร่วงหลุดไป หรือช่วยแปรงผ้ากำมะหยี่. แบบที่ 2 คือ ใช้กระดาษทรายสำหรับขัดปุมปมที่อยู่ในเนื้อผ้าหรือเส้นค้ำยเรียบหลุดออกไป ทำให้ผิวผ้าสวยงามใช้มากขึ้น ถ้าขัดมากไปจะทำให้ผ้าขาดได้.

11. การดึงขนาด (stentering)

เป็นการตกแต่ง 2 อย่างพร้อมกัน คือ ดึงผ้าให้ยืดออกและดึงเส้นค้ำยให้เป็นเส้นตรง ทำให้ผ้าเรียบมีผิวเนียน ไม่ย่น เวลาตกแต่งผ้าด้วยสารเรซิน ต้องทำให้แห้งด้วยเครื่องดึงขนาด มิฉะนั้นผ้าจะหดมาก.

12. การตกแต่งด้วยเรซินสังเคราะห์

เรซินเป็นสารประกอบสังเคราะห์มีโมเลกุลใหญ่ บางชนิดละลายน้ำ บางชนิดไม่ละลายน้ำ มีลักษณะเป็นของเหลวอย่างข้น แต่ละชนิดให้ประโยชน์ได้แตกต่างกัน ที่นิยมทำกันมากได้แก่ กั้นยับ, กั้นหด, ปุ่มดอก, ขัดมัน, ทำให้แข็ง, และสะท้อนน้ำ. เมื่อนำมาตกแต่งผ้า ต้อง

ละลายให้เป็นของเหลวเสียก่อน ถ้าสามารถทำให้เรซินซึมผ่านเข้าไปในผ้าได้ จะทำให้เนื้อผ้าอ่อนลงและเรซินเกาะติดผ้าทนทานมากขึ้น.

13. การตกแต่งเพื่อทนยับ

ผ้าที่ไม่ทนยับจนเกินไป นำมาตกแต่งได้ดี เส้นด้ายต้องไม่เข้าเกลียวแน่นมาก. ผ้าจะทนยับได้ดีเมื่อมีความชื้นน้อย การตกแต่งให้ทนยับจึงเป็นการตกแต่งให้เส้นใยดูดน้ำหรือความชื้นได้น้อยลง.

14. การตกแต่งให้คงตัว (stabilization)

หมายความว่า ผ้านั้นสามารถรักษาขนาดและรูปร่างในระหว่างการใช้ไว้ได้ ผ้าที่ไม่มีความคงตัวจะยืดหรือหดได้ ทำให้เกิดปัญหา. การทำให้ผ้าคงตัวจะต้องทำให้ผ้าไม่หดหรือหดตัวเต็มที่เสียก่อน.

15. การควบคุมการหด (shrinkage control) มี 2 วิธี คือ

1. การควบคุมการหดด้วยวิธีทางกล (mechanical compressive shrinkage) เป็นการตกแต่งโดยใช้เครื่องจักรกลประกบกับความร้อนและไอน้ำ จะทำให้ผ้าหดตัวเต็มที่ ผ้ามีผิวเรียบและเป็นมันมากขึ้น.

2. การควบคุมการหดด้วยสารเคมี (progressive shrinkage) มีสารเคมีหลายชนิดที่ใช้ได้ดี ที่ให้ผลดีที่สุดเป็นการตกแต่งด้วยอัลติไฮด์ ใช้ชื่อทางการค้าว่า sanforset และ zeset.