การย้อมสีดำซัลเฟอร์โดยกระบวนการย้อมมือ ซึ่งการย้อมสีซัลเฟอร์นั้น ต้องย้อมที่อุณหภูมิสูง และต้องมีการเติมหินเหลือง (โซเดียมซัลไฟด์) เป็นสารรีดิวซ์และด่างโซเดียมคาร์บอเนต เพื่อที่จะทำให้สีที่ถูกรีดิวซ์แล้วละลายน้ำได้ดีและมีความคงตัวขณะย้อม

มลภาวะ และอันตราย ของน้ำทิ้งจากการย้อมผ้า

วิโรจน์ สารการโกศล

บทนำ

การย้อมบนวัสดุสิ่งทอ เกิดขึ้นมาตั้งแต่มนุษย์เริ่มมีการสวมใส่เสื้อผ้า ซึ่งในช่วงยุคแรก สีย้อมที่ใช้เป็นสีจากธรรมชาติ ไม่ว่าจะเป็นอินดิโก (Indigo) จากต้นครามสีม่วง (Tyrian purple) จากหอยมิวเร็กซ์ (Murex) สีแดง (Carminic acid) จากแมลงพันธุ์ Cochineal เป็นต้น จนกระทั่งในปี ค.ศ.1856 ท่านเซอร์เฮนรี วิลเลียม เพอร์กิน (Sir William Henry Perkin) ก็ได้ค้นพบสีย้อมสีม่วงสังเคราะห์ตัวแรกที่ชื่อ Mauve ด้วยความบังเอิญจากการพยายามสังเคราะห์สารควินิน (Quinin) เพื่อใช้รักษาโรคมาเลเรีย และหลังจากนั้นอุตสาหกรรมการสังเคราะห์สีย้อมก็ได้เกิดขึ้นตามมาควบคู่ไปกับการพัฒนาอุตสาหกรรมการย้อมสีเรื่อยมา โดยเป็นการพัฒนาปรับปรุงกระบวนการย้อมสี และการใช้สารเคมีใหม่ๆ ที่ทำให้กระบวนการย้อมสีนั้นมีคุณภาพที่ดีขึ้นโดยที่มีต้นทุนที่ต่ำลง เพื่อทำให้สามารถตอบสนองผู้บริโภคได้ดีขึ้น

แต่ในระยะหลังมานี้ การปรับปรุงกระบวนการย้อมสีนั้นนอกจากจะพิจารณาเรื่องผลของการย้อมสีที่ดีขึ้นและต้นทุนที่ถูกลงแล้ว ประเด็นด้านสิ่งแวดล้อมก็จัดว่าเป็นสิ่งที่ผู้ย้อมสีนั้นให้ความสำคัญมากทีเดียว ซึ่งการพัฒนากระบวนการย้อมสีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้นนั้นจำเป็นต้องพิจารณาถึงการพัฒนาสีย้อม (Dyes) สาร

เสื้อผ้าหลังจากการย้อมด้วยสีซัลเฟอร์แล้วนำมาพึ่งลมเพื่อออกซิไดซ์กับออกซิเจนในอากาศ เพื่อที่จะทำให้สีย้อมนั้น กลับคืนอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำและมีความคงทนต่อการซักที่ดีก่อนที่จะส่งคืนประชาชนนำไปซักและสวมใส่ต่อ

ช่วยในการย้อมสี (Textile auxiliaries) และเครื่องจักรที่ใช้ในการย้อมสี (Dyeing machine) ซึ่งเป็นเรื่องที่ค่อนข้างยากพอสมควร เนื่องจากว่ามีข้อจำกัดทางด้านสิ่งแวดล้อมต่างๆ ที่เพิ่มขึ้นตลอดเวลา

ทั้งนี้ ในปัจจุบันได้มีมาตรฐานทางสิ่งแวดล้อมต่างๆ ออกมาเพื่อรองรับกระบวนการที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อเป็นแนวทางในการปฏิบัติ อาทิ มาตรฐาน Oeko-tex 100 ซึ่งเป็นมาตรฐานทางสิ่งแวดล้อมที่คำนึงถึงความปลอดภัยต่อผู้ใช้งานและสิ่งแวดล้อม ที่นิยมใช้กันเป็นพื้นฐานในปัจจุบัน และนอกจากนี้ ก็ได้มีมาตรฐานอื่นๆ ที่ออกตามมาเพื่อให้ตอบสนองแก่ผู้บริโภค และเป็นเครื่องมือทางการค้าที่ใช้บังคับผู้ผลิตทางด้านสิ่งทอให้ควบคุมการใช้งานสีย้อมสารเคมีคุณภาพน้ำเสียที่ปล่อยออกมา รวมไปถึงกระบวนการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมด้วย ไม่ว่าจะเป็นกฎหมาย REACH ของสหภาพยุโรป หรือมาตรฐานของทางผู้ผลิตเอกชนต่างๆ ที่ออกมาเพื่อตอบสนองความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและยกระดับสินค้าของตนนั่นเอง

กระบวนการย้อมสีสิ่งทอนั้นจะมีขั้นตอนและกระบวนการหลากหลายที่เหมาะสมกับชนิดของเส้นใย รวมไปถึงความคงทนต่างๆตามที่ลูกค้าต้องการได้ บทความนี้จึงขอกล่าวถึงกระบวนการทางการย้อมสีรวมไปถึง สารเคมีและสีย้อมที่ก่อให้เกิดมลภาวะที่เกิดจากแต่ละกระบวนการดังต่อไปนี้

1. ขั้นตอนก่อนการย้อมสิ่งทอ (Pretreatment)

เป็นกระบวนการที่สำคัญสำหรับการเตรียมวัสดุสิ่งทอให้พร้อมต่อการย้อม ซึ่งกระบวนการในการเตรียมวัสดุสิ่งทอนี้เป็นกระบวนการที่ใช้สารเคมีเพื่อทำความสะอาดวัสดุสิ่งทอหลายชนิด โดยที่เส้นใยที่ทำความสะอาดยาก

และต้องใช้สารเคมีในการเตรียมวัสดุสิ่งทอ มากที่สุด ที่นิยมใช้งานในประเทศไทยก็คือ เส้นใยฝ้าย (Cotton fiber) เนื่องจากเป็นเส้นใยทางสิ่งทอจากธรรมชาติที่มีสิ่งเจือปนค่อนข้างสูง โดยตัวอย่างของกระบวนการที่ใช้เตรียมเส้นใยฝ้ายนั้นสามารถที่จะแบ่งออกตามขั้นตอนได้ดังนี้

1) กระบวนการลอกแป้ง (Desizing) เป็นการกำจัดสารแป้งจากกระบวนการลงแป้งบนเส้นด้ายยืนก่อนทอ ในกระบวนการนี้มีการใช้งานสารที่สามารถย่อยสลายแป้งได้ ซึ่งในอดีตมีการใช้งานสารออกซิไดซ์อย่างโซเดียมเปอร์ซัลเฟต ($Na_2S_2O_8$) แต่ด้วยความว่าสารจำพวกเกลือเปอร์ซัลเฟตนั้นสามารถทำลายเส้นใย ฝ้ายและแป้งที่ลงไปได้พร้อมๆ กัน และเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมด้วย ในปัจจุบันจึงมีการใช้งานสารในกลุ่มของเอนไซม์อะไมเลสทดแทน เนื่องจากว่ามีความจำเพาะเจาะจงสูง ไม่ทำลายเส้นใย และเป็นมิตรต่อสภาพแวดล้อมด้วย

2) กระบวนการกำจัดสิ่งสกปรก (Scouring) ปกติแล้วเส้นใยฝ้ายนั้นจะมีองค์ประกอบของสารเจือปน เช่น ไขมัน เพคติน (Pectin) หรือเฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) ที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ จึงจำเป็นต้องใช้สารเคมีต่างๆ เช่น น้ำสบู่ โซดาไฟ (NaOH) ในการกำจัดสารเจือปนเหล่านี้ ซึ่งปกติแล้วโซดาไฟเป็นด่างแก่ ที่สามารถทำให้ไขมันเกิดปฏิกิริยา Saponification กลายเป็นสารสบู่หลุดละลายออกไปกับน้ำ และยังกำจัดสารพวกเพคตินหลุดออกได้บางส่วน ในขณะที่สารพวกน้ำสบู่จะสามารถอิมัลซิไฟด์ (Emulsified) ไขมันที่เหลืออยู่ และป้องกันไม่ให้สารที่เกิดจากการทำปฏิกริยาอื่นๆ ย้อนกลับเข้าไปติดบนผ้าได้ ซึ่งหลังจากกระบวนการนี้ จำเป็นต้องทำให้ผ้าเป็นกลางด้วยการล้างด้วยกรดอ่อน เช่น กรดอาซีติค (CH_3COOH) ก่อนจะทำขั้นตอนอื่นๆ ต่อไป

3) กระบวนการฟอกขาว (Bleaching) เป็นกระบวนการที่ใช้กำจัดสีออกจากเส้นใยธรรมชาติด้วยสารเคมีพวกสารรีดิวซ์หรือสารออกซิไดซ์ แต่ที่นิยมใช้งานในการฟอกขาวเส้นใยฝ้ายที่สุดก็คือ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) เนื่องจากมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมที่สุด และไม่ก่อให้เกิดสารพิษอย่าง AOX (Adsorbable organic halogen) ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อใช้สารฟอกขาวในกลุ่มคลอรีน (Chlorine bleaching agents) ทั้งนี้ การฟอกขาวนั้นจำเป็นต้องทำในสภาวะด่าง ดังนั้นในบางกรณีก็จะสามารถทำร่วมในกระบวนการกำจัดสิ่งสกปรกรวมเป็นขั้นตอนเดียวได้เลย หลังจากที่ทำการฟอกขาวเสร็จเราจำเป็นต้องล้างเอาไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ส่วนเกินที่หลงเหลือออกด้วยสารรีดิวซ์อ่อนๆ เช่น โซเดียมไธโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3$) หรืออาจจะใช้สารในกลุ่มเอนไซม์คะตะเลส (Catalase) ทดแทน ซึ่งการใช้เอนไซม์คะตะเลสนั้นมีผลดีกว่าทั้งในเชิงของสิ่งแวดล้อมและคุณภาพของผ้าก่อนย้อมที่ดีกว่าด้วย

4) กระบวนการชุบมัน (Mercerization) เป็นกระบวนการที่ทำให้เส้นใยฝ้ายนั้นเกิดการพองตัวในสารละลายโซดาไฟที่มีความเข้มข้นสูงกว่า 15% ขึ้นไป ซึ่งความเข้มข้นระดับนี้จะทำให้เส้นใยนั้นเกิดการเปลี่ยนรูปผลึกและมีการจัดเรียงใหม่ ทำให้เส้นใยนั้นเกิดการพองตัว มีผิวที่เรียบเงามัน และมีความสามารถในการดูดซึมสีย้อมเพิ่มขึ้นด้วย

เมื่อพิจารณาจากกระบวนการเตรียมวัสดุสิ่งทอก่อนการย้อมนั้นจะเห็นได้ว่ามีการใช้ปริมาณสารเคมีค่อนข้างสูงมาก ดังนั้นจึงควรให้ความสำคัญในการบำบัดน้ำเสียจากขั้นตอนนี้เป็นอย่างสูงด้วย ส่วนเส้นใยชนิดอื่นๆ ที่นิยมใช้ในทางอุตสาหกรรมสิ่งทอไทยนั้น มักจะเป็นเส้นใยสังเคราะห์ที่ค่อนข้างจะมีสิ่งเจือปนน้อย ทำให้การทำความสะอาดเส้นใยเหล่านี้ไม่ยุ่งยากเท่ากับการ เตรียมเส้นใยฝ้าย อาจจะมีแค่การทำความสะอาดด้วยน้ำสบู่และโซดาไฟในปริมาณเล็กน้อยก็สามารถทำให้ได้ความสะอาดในระดับที่น่าพอใจแล้ว

2. กระบวนการย้อมสีสิ่งทอ

เนื่องจากเส้นใยสิ่งทอที่ใช้งานในประเทศไทยนั้นมีหลากหลายประเภทมาก เส้นใยแต่ละชนิดนั้นก็มีสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่แตกต่างกันไป จึงทำให้สีย้อมที่เหมาะสมสำหรับการย้อมเส้นใยแต่ละชนิดนั้นก็แตกต่างกันไปตามชนิดของเส้นใยที่ใช้เป็นวัสดุสิ่งทอ ดังตารางที่ 1 ซึ่งแสดงถึงชนิดของสีย้อมที่เหมาะสมกับเส้นใยแต่ละชนิด

ตารางที่ 1 ชนิดของสีย้อม และเส้นใยที่เหมาะสมในการย้อม

ชนิดของสีย้อม	ชนิดของเส้นใยที่เหมาะสมในการย้อม
สีแอซิด (Acid dyes)	เส้นใยขนสัตว์ เส้นใยไนลอน
สีเบสิค (Basic dyes)	เส้นใยอะคริลิค เส้นใย CDP (Cationic dyeable polyester)
สีไดเรกต์ (Direct dyes)	เส้นใยฝ้ายและเส้นใยเซลลูโลสอื่นๆ
สีดิสเพอร์ส (Disperse dyes)	เส้นใยพอลิเอสเตอร์ และเส้นใยสังเคราะห์อื่นๆ
สีรีแอคทีฟ (Reactive dyes)	เส้นใยฝ้ายและเส้นใยเซลลูโลสอื่นๆ เส้นใยขนสัตว์
สีซัลเฟอร์ (Sulphur dyes)	เส้นใยฝ้ายและเส้นใยเซลลูโลสอื่นๆ
สีแวต (Vat dyes)	เส้นใยฝ้ายและเส้นใยเซลลูโลสอื่นๆ

ซึ่งสีย้อมแต่ละชนิดนั้นก็จะมีสารเคมีอื่นๆ ช่วยในการย้อมแตกต่างกันไปตามชนิดของสีย้อมและเส้นใยดังนี้

1) สีแอซิด (Acid dyes) เป็นสีที่เป็นเกลือของกรด เมื่อละลายน้ำจะมีประจุเป็นลบ นิยมใช้ย้อมบนเส้นใยไนลอนและขนสัตว์ ซึ่งสารเคมีสำคัญในการย้อมก็คือ กรดต่างๆ เช่น กรดอาซีติค กรดฟอร์มิก กรดซัลฟูริก ซึ่งการเติมกรดนั้นจะทำให้เส้นใยเกิดประจุเป็นบวกและสามารถเกิดพันธะทางไฟฟ้ากับประจุลบของสีย้อมได้ นอกจากนั้นก็มีการใช้สารละลายบัฟเฟอร์เพื่อควบคุมความเป็นกรดด่าง ในการย้อมให้คงที่ตลอดกระบวนการย้อม รวมไปถึงการเติมสารลดแรงตึงผิวบางตัวเพื่อที่จะทำให้เส้นใยนั้นสามารถดูดติดสีได้สม่ำเสมอขึ้น

2) สีเบสิค (Basic dyes) เป็นสีที่เป็นเกลือของเบส และเมื่อละลายน้ำนั้นจะมีประจุเป็นบวก นิยมใช้ย้อมเส้นใยที่มีประจุลบ เช่น เส้นใยอะคริลิค สารเคมีที่สำคัญในการย้อมนั้น ก็คือกรดอ่อนๆ เช่น กรดอาซีติค ที่สามารถทำให้สีนั้นสามารถแสดงประจุบวกได้ดี รวมไปถึงการใช้สารรีทาร์ดเดอร์ (Retarder) ที่ใช้หน่วงการติดสีในกระบวนการย้อมสี ทำให้เส้นใยสามารถดูดติดสีได้สม่ำเสมออีกด้วย

3) สีไดเรกต์ (Direct dyes) เป็นสีที่สามารถติดบนเส้นใยฝ้ายและเส้นใยเซลลูโลสอื่นๆ ได้โดยตรง และมีแรงยึดเหนี่ยว กับเส้นใยด้วยพันธะไฮโดรเจน การย้อมสีกลุ่มนี้จำเป็นต้องเติมเกลือเพื่อลดแรงผลักของสีย้อมและเส้นใยเนื่องจากว่าทั้งเส้นใยและสีย้อมต่างก็มีประจุลบทั้งคู่ และเนื่องจากสีชนิดนี้ยึดเกาะบนเส้นใยด้วยพันธะไฮโดรเจนเท่านั้น ทำให้สีตกง่ายเมื่อถูกซักล้าง จึงต้องใช้สารผนึกสีที่มีประจุบวก (Cationic fixing agents) ร่วมด้วย เพื่อจับกับโมเลกุลของสีย้อมให้เกิดเป็นสารเชิงซ้อนและละลายน้ำได้ยากขึ้น ซึ่งจะทำให้มีความคงทนต่อการซักที่มากขึ้น

4) สีดิสเพอร์ส (Disperse dyes) เป็นสีที่ละลายน้ำได้น้อยมาก จนเกือบจะไม่ละลายเลย การใช้งานสีกลุ่มนี้จึงต้องใช้อยู่ในรูปสารแขวนลอย (Colloid) สามารถติดบนเส้นใยสังเคราะห์ที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic synthetic fibers) ได้ทุกชนิด ไม่ว่าจะเป็นเส้นใยพอลิเอสเตอร์ ไนลอน หรือ อาซีเตต ซึ่งสีกลุ่มนี้จำเป็นต้องใช้สารช่วยในการกระจายตัว (Dispersing agents) และสารปรับความสม่ำเสมอของสี (Levelling agents) รวมไปถึงต้องใช้กรดอ่อนใส่ลงไปในกระบวนการย้อมสีด้วย เพื่อรักษาสภาพของสีย้อมไม่ให้ถูกทำลายที่อุณภูมิสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการย้อมบนเส้นใยพอลิเอสเตอร์ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียสด้วย สีกลุ่มนี้หลังจากการย้อมเสร็จก็ต้องทำการกำจัดสีส่วนเกินด้วยสารรีดิวซ์ที่แรง (Reduction clearing) ก็จะทำให้ได้ความคงทนต่อการซักที่สูงได้

5) สีรีแอคทีฟ (Reactive dyes) เป็นสีที่มีหมู่ว่องไวต่อปฏิกิริยา (Reactive group) ที่สามารถทำปฏิกิริยากับเส้นใยฝ้าย เส้นใยเซล

การนำเสื้อสีขาวลงย้อมด้วยสีดำรีแอคทีฟในเครื่องย้อมชนิด Garment piece dyeing โดยขั้นตอนนี้จะเริ่มใส่สีย้อมละลายน้ำลงไปก่อน ซึ่งตัวสียังไม่สามารถจะติดบนผ้าได้จนกระทั่งเติมเกลือโซเดียมคลอไรด์เพื่อเพิ่มการดูดซึม และเติมด่างโซเดียมคาร์บอเนตเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้สีย้อมทำปฏิกิริยากับผ้าฝ้าย

ลูโลส และเส้นใยขนสัตว์ได้ การย้อมสีกลุ่มนี้จำเป็นต้องเติมเกลือในปริมาณสูงมากที่สุดเมื่อเทียบกับสีย้อมชนิดอื่น ซึ่งในกรณีที่เป็นสีเข้มมากๆ นั้นอาจจะต้องใช้เกลือ ถึง 60-80 กรัม/ลิตรทีเดียว และนอกจากนั้นถ้าสีรีแอคทีฟนั้นนำมาใช้ย้อมบนเส้นใยฝ้ายหรือเส้นใยเซลลูโลสอื่นๆ ก็จำเป็นต้องใช้ด่างอย่างโซดาแอช และโซดาไฟช่วยในการเร่งทำให้สีเกิดปฏิกิริยากับเซลลูโลสในเส้นใยอีกด้วย แต่เมื่อทำการย้อมเสร็จจำเป็นต้องทำการกำจัดสีส่วนเกินออกด้วยน้ำจำนวนมาก และสารช่วยละลายสีส่วนเกินให้ออกมาจนหมดด้วยเพื่อป้องกันสีตก สีย้อมประเภทนี้สามารถทำปฏิกิริยากับเส้นใยเกิดเป็นพันธะโควาเลนต์ (Covalent bond) ทำให้มีความคงทนต่อการซักที่สูงมาก

6) สีซัลเฟอร์ (Sulphur dyes) เป็นสีย้อมที่ได้จากการทำปฏิกิริยาของกำมะถันกับสารอินทรีย์ และเกิดเป็นสารที่มีสีและมีหมู่ที่สามารถถูกรีดิวซ์ได้ ซึ่งปกติแล้วสีซัลเฟอร์นั้นไม่สามารถละลายน้ำได้เอง แต่สามารถที่จะถูกรีดิวซ์ด้วยสารรีดิวซ์ เช่น โซเดียมซัลไฟด์ในสภาวะด่างได้ ทำให้อยู่ในรูปที่ละลายน้ำ และสามารถดูดซึมเข้าเส้นใยฝ้ายและเส้นใยเซลลูโลสอื่นๆ ได้ โดยเมื่อย้อมจนสีเกิดการดูดซึมเข้าเส้นใยแล้วจะต้องทำการออกซิไดซ์ด้วยสารออกซิไดซ์ เช่น โซเดียมไดโครเมตในสภาวะกรด หรือผึ่งอากาศเพื่อให้ออกซิเจนนั้นออกซิไดซ์สีที่อยู่ในรูปละลายน้ำให้กลายเป็นรูปที่ไม่ละลายน้ำแบบเดิม เนื่องจากว่าสีกลุ่มนี้ไม่ละลายน้ำ จึงทำให้สีมีความคงทนต่อการซักสูง แต่ว่ามีความคงทนต่อการขัดถูต่ำ เนื่องจากผลึกสีที่แทรกซึมในโพรงของเส้นใยนั้นถูกทำลายด้วยแรงเชิงกลได้

7) สีแวต (Vat dyes) เป็นสีย้อมสังเคราะห์ที่มีพฤติกรรมการย้อมสีคล้ายกับสีซัลเฟอร์ แต่แตกต่างที่โครงสร้างทางเคมีที่มีกจะมีหมู่ควิโนน (Quinone) ที่สามารถถูกรีดิวซ์ได้ในสภาวะด่างเช่นเดียวกัน แต่สารรีดิวซ์ที่ใช้นั้นต้องมีศักย์รีดักชันที่สูงกว่าสีซัลเฟอร์ เช่น โซเดียมไฮโดรซัลไฟต์ (Sodium hydrosulfite) ในสภาวะด่าง สีกลุ่มนี้นิยมใช้ย้อมบนเส้นใยฝ้าย และเส้นใยเซลลูโลสอื่นๆ ทั้งนี้ สีชนิดนี้มีความคงทนต่อการซักและแสงแดดสูงมาก แต่มีความคงทนต่อการขัดถูในระดับต่ำจนถึงปานกลางเท่านั้น

3. อันตรายของสีย้อมและสารเคมีที่ช่วยในการย้อมสีต่อสิ่งแวดล้อม

จากกระบวนการต่างๆ ข้างต้น จะเห็นได้ว่ามีการใช้สีย้อม และสารเคมีหลายชนิดเพื่อให้กระบวนการย้อมสีมีประสิทธิภาพที่สูงสุด สารเคมีต่างๆ และสีย้อมมีองค์ประกอบของสารอันตรายหลายชนิด อาทิ อิออนของโลหะหนักอย่าง ทองแดง นิกเกิล โครเมียม ปรอท และโคบอลต์ ซึ่งโลหะหนักเหล่านี้ล้วนเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตทั้งสิ้น ซึ่งที่มาของอิออนของโลหะหนักที่เจือปนอยู่ในสีย้อมนั้น ได้แก่ 1) เจือปนจากกระบวนการสังเคราะห์สี เช่น ปรอทที่ถูกใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในขั้นตอนการ Sulfonation ของสีในกลุ่มของแอนธราควิโนน (Anthraquinone dyes) และเหลือตกค้างเจือปนในสีย้อม และ 2) เป็นส่วนหนึ่งในโครงสร้างโมเลกุลของสีเอง เพื่อทำให้สีย้อมนั้นมีสมบัติการย้อมและความคงทนสูงขึ้น เนื่องจากว่าอิออนของโลหะหนักนั้นจะทำให้มวลโมเลกุลของสีย้อมสูงขึ้นทำให้ความคงทนต่อการซักดีขึ้นตามไปด้วย รวมไปถึงยังสามารถดึงดูดอิเล็ก

ตารางที่ 2
ชนิดของโลหะหนักที่อยู่ในโครงสร้างของสีย้อมชนิดต่างๆ

ชนิดของสีย้อม	โลหะหนักที่มักอยู่ในโครงสร้าง
สีไดเรกต์	ทองแดง
สีรีแอคทีฟ	ทองแดง และนิกเกิล
สีแวต	ไม่มีโลหะหนัก
สีดิสเพิร์ส	ไม่มีโลหะหนัก
สีแอซิด	ทองแดง โครเมียม และโคบอลต์

ตรอนที่ถูกเร้าเมื่อได้รับแสงที่มากระทบทำให้มีความคงทนต่อแสงแดดสูงขึ้นอีกด้วย ทั้งนี้ สีย้อมแต่ละชนิดจะมีชนิดของโลหะหนักที่อยู่ในโมเลกุลที่แตกต่างกันไปตามแต่ชนิดของสี ดังแสดงในตารางที่ 2

นอกจากนี้ สีย้อมนั้นเป็นสารอินทรีย์ซึ่งสามารถก่อให้เกิดค่า Biochemical oxygen demand (BOD) ได้สูงมาก ซึ่ง BOD เป็นตัวชี้วัดถึงความต้องการในการใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์ ในน้ำในการย่อยสลายสารต่างๆ ค่า BOD ที่สูง สะท้อนให้เห็นว่าจะทำให้แหล่งน้ำขาดออกซิเจนได้ ทำให้แหล่งน้ำเน่าเสีย และทำให้สิ่งมีชีวิตล้มตาย โดยน้ำทิ้งจากสีย้อมบางชนิดมีค่า BOD ได้สูงถึง 100,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมได้กำหนดให้มีค่าไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร และตามมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินกำหนดไว้ว่าควรมี BOD น้อยกว่า 1.5 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับการประมงหรืออนุรักษ์สัตว์น้ำ หรือน้อยกว่า 4 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับน้ำเพื่ออุตสาหกรรม และต้องผ่านการปรับปรุงคุณภาพน้ำเป็นพิเศษหากใช้ในการอุปโภคบริโภค นอกจากนี้ตัวสีย้อมนั้นจะสามารถดูดกลืนแสงได้ ทำให้พืชน้ำที่ต้องการแสงในการสังเคราะห์แสงนั้นได้รับผลกระทบอย่างรุนแรงจากการขาดแสงสว่างตามไปด้วย

ส่วนในกรณีของสารช่วยย้อมทางสิ่งทอหลากหลายชนิดที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการย้อมสีนั้น ก็ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วยเช่นกัน ดังเช่น

1) เกลือและสารอิเล็กโตรไลต์ที่เป็นกลางต่างๆ จะทำให้น้ำมีความเข้มข้นของไอออนในน้ำ หรือความเค็มสูง ซึ่งความเค็มของน้ำจะมีผลต่อการควบคุมปริมาณน้ำภายในร่างกายของสัตว์น้ำ โดยสามารถวัดได้ในรูปของ ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด ซึ่งตามมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมได้กำหนดให้ มีค่าไม่เกิน 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ปริมาณเกลือที่ใช้ในการย้อมผ้านั้นส่วนมากจะมีค่าสูงถึง 5,000-80,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งหากทิ้งลงแหล่งน้ำธรรมชาติ ก็จะเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำอย่างมาก ทั้งนี้ น้ำในแม่น้ำต่างๆ มีค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด ระหว่าง 10-200 มิลลิกรัมต่อลิตร

2) กรด และด่าง ที่ใช้ในการย้อม ส่งผลทั้งทางตรงทางอ้อมต่อสิ่งมีชีวตในน้ำ ทั้งการกัดกร่อน และการเปลี่ยนรูปแบบของสารละลายต่างๆ ในน้ำ โดยค่า pH ที่เป็นมาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมจะกำหนดให้อยู่ในช่วงระหว่าง 5.5-9.0 ซึ่งเป็นช่วงที่เป็นกลาง ไม่เป็นกรดหรือด่างมากเกินไป การปรับสภาพความเป็นกรดด่างของน้ำก่อนทิ้ง เป็นไปในลักษณะของการสะเทินด้วยสารตรงข้าม เช่น สะเทินด่างด้วยกรด ซึ่งส่งผลทำให้ของแข็งละลายน้ำทั้งหมดสูงขึ้นอย่างมากตามไปด้วย

3) สารรีดิวซ์ จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในน้ำ ทำให้ออกซิเจนในน้ำลดลงนั้นมีค่าลดลงจนเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ เช่นเดียวกับสีย้อมบางชนิดที่มี BOD สูง

4) สารออกซิไดซ์ในกลุ่มคลอรีน จะก่อให้เกิด AOX (Adsorbable organic halogen) ซึ่งมีความเป็นพิษสูงและไม่สลายตัวตามธรรมชาติ และยังสามารถสะสมในชั้น เนื้อเยื่อไขมันของสิ่งมีชีวิตได้ดีอีกด้วย ส่วนสารออกซิไดซ์อีกตัวที่น่าเป็นห่วงนั้นก็คือสาร ประกอบไดโครเมต (Dichromate salt) ที่ใช้เป็นสารออกซิไดซ์สำหรับการย้อมสีซัลเฟอร์ที่มีประสิทธิภาพสูง แต่ก็มีโครเมียมเป็นองค์ประกอบส่งผลทำให้ปริมาณโครเมียมที่ถูกปลดปล่อย

ในแหล่งน้ำนั้นมีปริมาณที่สูงขึ้นด้วย

5) สารลดแรงตึงผิว เป็นสารที่ใช้ทำความสะอาดเส้นใยในกระบวนการกำจัดสิ่งสกปรกและเป็นสารช่วยย้อมในเส้นใยเกือบทุกชนิด ซึ่งบางชนิดเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำได้อย่างมาก ซึ่งสารที่ควรระวังมากที่สุดนั้นคือสารในกลุ่มของ APEO (Alkylphenol ethylene oxides) โดยในยุโรปและมาตรฐาน สิ่งแวดล้อมส่วนมากนั้นก็ได้มีการประกาศห้าม ใช้สารกลุ่มนี้ในกระบวนการสิ่งทอ นอกจากนั้นยังมีสารในกลุ่มของ DSDMAC (Distearyldimethylammonium chloride) ซึ่งเป็นสารที่ใช้ปรับความนุ่มของผ้า ซึ่งก็มีบางมาตรฐานสิ่งแวดล้อมได้ประกาศห้ามใช้กันบ้างแล้ว โดยที่สารเหล่านี้รวมไปถึงสารลดแรงตึงผิวที่ไม่ได้ประกาศห้ามใช้ทุกตัวก็เป็นสารอินทรีย์ที่สามารถก่อให้เกิดค่า BOD สูงมาก

นอกจากนี้ยังมีสารช่วยทางสิ่งทออื่นๆ ที่มีผลต่อสิ่งแวดล้อม แม้ว่าจะใช้ในปริมาณที่ไม่มาก เช่น สารลดความกระด้างของน้ำอย่าง EDTA (Ethylenediaminetetraaceticacid) ซึ่งมีปัญหาเรื่องการย่อยสลายทางชีวภาพที่ต่ำมาก หรือสารในกลุ่มของแคริเออร์ที่เป็นสารช่วยย้อมในเส้นใยพอลิเอสเตอร์ที่มีองค์ประกอบเป็นสารอะโรมาติกที่มีกลิ่นแรง ไม่ย่อยสลายทางชีวภาพ และหลายชนิดเป็นสารก่อมะเร็ง และยังสามารถสะสมในชั้นเนื้อเยื่อไขมันของสิ่งมีชีวิต (Bioaccumulation) ได้ดี

4. การควบคุมกระบวนการย้อมสีเพื่อก่อให้เกิดมลภาวะน้อยที่สุด

การลดมลภาวะให้น้อยที่สุด ผู้ย้อมสีนั้นจำเป็นต้องใช้การพิจารณาในการเลือกใช้กระบวนการย้อมสี ชนิดของสีย้อม และสารเคมีเพื่อที่ทำให้น้ำทิ้งจากกระบวนการย้อมสีนั้นสร้างมลภาวะให้ต่ำสุดโดยมีหลักการทั่วไป ดังนี้

1) ควรลดปริมาณน้ำใช้ให้เหลือน้อยที่สุด โดยการออกแบบเครื่องจักรที่ใช้ให้ใช้ปริมาณน้ำย้อมต่ำ (Low liquor ratio technique) ซึ่งเมื่อปริมาณน้ำน้อยลงก็จะใช้สารเคมีต่างๆ น้อยลง ทำให้ของเสียที่ก่อให้เกิดมลภาวะนั้นลดลงตามไปด้วย

2) เลือกใช้สีย้อมที่สามารถดูดซับบนเส้นใยให้สูงที่สุด ซึ่งปกติแล้วความสามารถในการดูดซับนั้นขึ้นอยู่กับค่าสัมพรรคภาพ (Affinity) ของสีย้อมตัวนั้นๆ ถ้าเลือกใช้สีย้อมที่มีค่าสัมพรรคภาพสูงๆ แล้วก็จะทำให้สีย้อมที่เหลือทิ้งจากกระบวนการย้อมสีนั้นน้อยลงตามไปด้วย

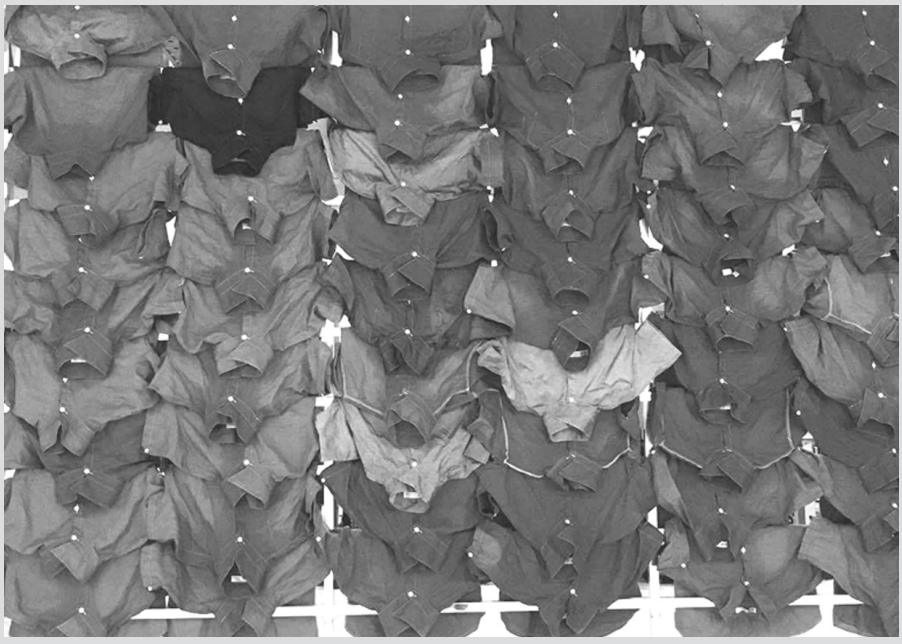
3) เลือกใช้สีย้อมที่สามารถกำจัดสีส่วนเกินออกได้ง่าย เพื่อที่จะทำให้ใช้ปริมาณของน้ำในการกำจัดสีส่วนเกินออกได้ต่ำที่สุด นอกจากนั้นยังทำให้ประหยัดพลังงานและทำให้ผ้าที่ย้อมนั้นมีความคงทนต่อการซักที่สูงสุดอีกด้วย

4) ควรมีการศึกษาการใช้งานสารเคมีทดแทนที่มีความเป็นพิษและก่อมลภาวะน้อยกว่า เช่น การย้อมสีซัลเฟอร์ ซึ่งแต่เดิมนั้นจำเป็นต้องใช้โซเดียมซัลไฟด์ในการรีดิวซ์สีให้ละลายน้ำ ก็อาจจะมีการดัดแปลงใช้น้ำตาลกลูโคสที่เป็นน้ำตาลรีดิวซ์ทดแทน โดยการปรับเปลี่ยนกระบวนการย้อม หรืออาจจะใช้สารในกลุ่มของเอนไซม์ทดแทนสารเคมี เช่น การใช้เอนไซม์อะไมเลสทดแทนสารเคมีที่ใช้กำจัดแป้ง การใช้เอนไซม์คะตะเลสทดแทนสารรีดิวซ์ที่ใช้กำจัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ส่วนเกิน เป็นต้น

5) ควบคุมกระบวนการย้อมสีให้มีความแม่นยำสูง เพื่อที่จะทำให้สามารถย้อมครั้งเดียวสำเร็จได้ เพราะถ้ากระบวนการนั้นไม่แม่นยำก็จะทำให้จำเป็นต้องย้อมทับ (Topping) หรือต้องกำจัดสีเก่า (Stripping) และย้อมซ้ำ (Redyeing) เกิดผลเสียทั้งทางเศรษฐศาสตร์และมลภาวะได้ เนื่องจากว่าจำเป็นต้องใช้น้ำ สีย้อม และสารเคมีเพิ่มขึ้นจากการย้อมปกติได้

สรุป

กระบวนการย้อมสีเป็นกระบวนการสำคัญในอุตสาหกรรมสิ่งทอที่สามารถก่อให้มลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม รวมไปถึงน้ำทิ้งอย่างมาก เนื่องจากเป็นกระบวนการที่มีการใช้งานสีย้อม และสารเคมีอย่างมากมาย และหลากหลายไปตามชนิดของเส้นใย ดังนั้น การใช้เลือกใช้สีย้อมและสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการย้อมสี รวมไปถึงเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการย้อมสีจำเป็นต้องพิจารณาถึงผล



เสื้อที่ย้อมสีดำรีแอคทีฟเรียบร้อยแล้วนำมาพึ่งให้แห้ง ซึ่งจากรูปจะเห็นได้ว่าเสื้อบางตัวนั้น จะไม่เป็นสีดำสนิท เนื่องจากสีรีแอคทีฟนั้นเป็นสีย้อมผ้าฝ้าย แต่เสื้อที่มีการติดสีอยู่บ้างนั้นเป็นเสื้อที่เป็นเส้นใยผสมเส้นใยพอลิเอสเตอร์/ฝ้ายในอัตราส่วนต่างๆกัน เนื่องจากการผสมเส้นพอลิเอสเตอร์ลงไปนั้น จะทำให้เสื้อรีดง่ายและทนยับมากขึ้น แต่พบว่าเส้นด้ายที่ใช้เย็บเสื้อทั้งหมดเป็นเส้นใยพอลิเอสเตอร์ ทำให้เราเห็นเส้นด้ายขาวลอยออกมาจากสีเสื้อ

กระทบที่เกิดขึ้นกับสิ่งแวดล้อมด้วย นอกจากนั้นปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการย้อมสีจำเป็นต้องใช้ในปริมาณที่ต่ำที่สุดโดยที่ไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผ้าย้อม เพื่อเป็นการก่อมลภาวะให้ต่ำที่สุด ซึ่งส่งผลทำให้การรักษาสิ่งแวดล้อม เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพที่สูงสุดตามไปด้วย

จากเนื้อหาข้างต้นจะเห็นได้ว่า กระบวนการย้อมสี เป็นกระบวนการที่มีการใช้สารเคมีที่มีอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมในเกือบทุกขั้นตอน น้ำสีที่เหลือจากการย้อมจึงปะปนไปด้วยสารเคมีปริมาณมาก ทั้งนี้ ในกระบวนการย้อมสีหลายๆ ครั้งที่ไม่ได้ย้อมในโรงงานอุตสาหกรรม อาทิ การรับย้อมผ้าดำจากร้านหรือรถเข็นรับย้อมสีก็เป็นส่วนหนึ่งที่ก่อให้เกิดมลภาวะกับสิ่งแวดล้อม เนื่องจากว่าสีย้อมดำที่นิยมใช้ย้อมในร้านหรือรถเข็นเหล่านี้เป็นสีซัลเฟอร์ที่ย้อมค่อนข้างง่าย และใช้ระยะเวลาไม่นานนัก อีกทั้งยังสามารถให้ความคงทนต่อการซักที่สามารถยอมรับได้

แต่อย่างไรก็ตาม การย้อมสีซัลเฟอร์ในระดับชาวบ้านนี้ก็ไม่ได้มีการใช้สารเคมีที่ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม เช่น สารรีดิวซ์ที่ช่วยในการย้อมที่นิยมใช้กันอย่างโซเดียมซัลไฟด์ หรือที่เรียกกันว่า หินเหลือง หรือเกลือหินซึ่งเป็นเกลือของแก๊ซไฮโดรเจน ซัลไฟด์ หรือที่เรารู้จักกันดีในชื่อ แก๊ซไข่เน่าที่ส่งกลิ่นที่น่ารังเกียจ และเป็นสารที่มีระดับความเป็นพิษถึงระดับ 3 (สูงสุดระดับ 4) ตามมาตรฐาน NFPA (National Fire Protection Association) ซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในสิ่งแวดล้อม และยังอาจมีสารเคมีอื่นๆ ที่อาจมีการใช้ร่วมเพื่อปรับสภาพกรดด่าง หรือเพื่อช่วยย้อมอีกด้วย ผู้ย้อมจึงควรตระหนักถึงผลกระทบที่จะเกิดขึ้น กระทำด้วยความระมัดระวัง และไม่ควรทิ้งน้ำเสียเหล่านี้ลงสู่ท่อระบายน้ำ หรือแหล่งน้ำโดยไม่ได้รับการบำบัด

บรรณานุกรม

1. *ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ.2539) เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงาน อุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ลงวันที่ 3 มกราคม 2539 ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 113 ตอนที่ 13 ลงวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2539*
2. *ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ.2537) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ.2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 111 ตอนที่ 16 ง ลงวันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2537*
3. *Leelahakriengkrai, P., Peera-pornpisal, Y. 2011. Water quality and trophic status in main rivers of Thailand. Chiang Mai J. Sci. 38 2, 280-294.*