

ระบบบำบัดน้ำเสียที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ Wastewater Treatment in Textile Industries

สันตต์ ศิริอนันต์ไพบูลย์*

Suntud Sirianuntapiboon*

*มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพมหานคร 10140

*King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok 10210

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมสิ่งทอเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีความสำคัญต่อประเทศและมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ในแต่ละขั้นตอนของการผลิตสิ่งทอจะก่อให้เกิดน้ำเสียในปริมาณและสมบัติที่แตกต่างกัน โดยน้ำเสียดังกล่าวมักมีความเข้มข้นสูงและมีสารอินทรีย์เจือปนอยู่ สีย้อมที่ใช้กันทั่วไปในอุตสาหกรรมฟอกย้อมมีหลายชนิด โดยส่วนใหญ่แล้วจะมีโครงสร้างทางเคมีที่ซับซ้อน โดยเฉพาะสีที่มีโครงสร้างในกลุ่มอะโซ เมื่อถูกย่อยสลายในสภาวะที่มีออกซิเจน และเกิดสารตัวกลางเป็นสารอะโรมาติกเอมีน (Aromatic amine) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งและเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต ระบบบำบัดน้ำเสียของจากอุตสาหกรรมสิ่งทอที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไปสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ การบำบัดน้ำเสียทางกายภาพ การบำบัดน้ำเสียทางเคมีกายภาพ และการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ แต่การบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอทั้ง 3 วิธีมีประสิทธิภาพต่ำ ดังนั้นจึงไม่สามารถกำจัดสีย้อมออกได้มาก เนื่องจากสีย้อมส่วนใหญ่เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสูตรโครงสร้างใหญ่และซับซ้อน ย่อยสลายได้ยาก ทำให้ไม่สามารถใช้กระบวนการชนิดเดียวในการกำจัดสี จึงมักใช้กระบวนการต่าง ๆ ร่วมกัน เช่น การตกตะกอนด้วยสารเคมีตามด้วยการกำจัดโดยใช้เชื้อจุลินทรีย์ หรือกระบวนการทางชีวภาพซึ่งสามารถกำจัดสารอินทรีย์พร้อมกับกำจัดสีได้ การใช้กระบวนการทางชีวภาพ ในการกำจัดสีย้อมและย่อยสลายสารอินทรีย์นั้นกำลังเป็นที่สนใจในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นกระบวนการที่มีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าการใช้กระบวนการทางกายภาพหรือเคมี และมีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

คำสำคัญ : การกำจัดสีย้อม, ระบบบำบัดน้ำเสีย, สีย้อมอะโซ, อุตสาหกรรมสิ่งทอ

Abstract

The textile is very important to the country and is growing rapidly. The process of textile production produces wastewater of varying quantities and properties. The wastewater usually has a high color intensity and organic contaminants. There are many types of dyes commonly used in the dyeing industry. Most of them have a complex chemical structure. Especially colors in the Azo dyes when being decomposed in an oxygenated state and the intermediate is aromatic amines which are carcinogenic and toxic to living organisms. The textile wastewater treatment systems commonly used can be divided into three categories: physical wastewater treatment, physical chemical wastewater treatment and biological wastewater treatment. The three methods of textile wastewater treatment are low efficiency. Therefore, many dyes can't be removed as most dyes are complex compounds with large structural formulas that are difficult to degrade. As a result, it is not possible to use one process for color removal and therefore a combination of processes such as chemical sedimentation followed by microbial removal or biological processes which can removed organic matter along with color removal. Nowadays, using of biological processes for dye removal and degradation of organic matter is the great interest because it is lower than the cost of using physical or chemical processes and eco-friendly.

Keywords : Dye removal, Wastewater treatment systems, Azo dyes, textile

*สันตต์ ศิริอนันต์ไพบูลย์

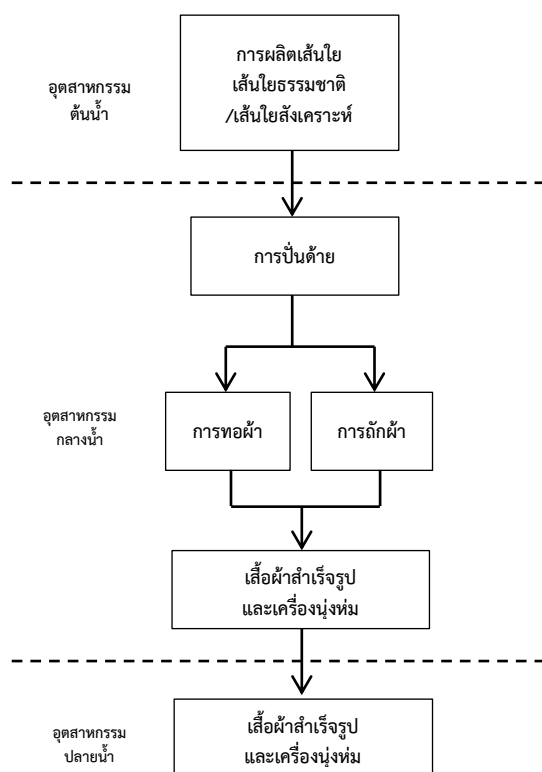
E-mail : suntud.sir@kmutt.ac.th

1. ภาพรวมของอุตสาหกรรมสิ่งทอ

อุตสาหกรรมสิ่งทอมีความสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศไทย ในปีพ.ศ. 2550-2554 อุตสาหกรรมสิ่งทอมีส่วนมูลค่าเพิ่มต่อผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศเป็นลำดับ 4 คิดเป็นมูลค่า 245 พันล้านบาท หรือ ร้อยละ 2.2 ของผลิตภัณฑ์มวลรวมทั้งประเทศมีมูลค่าการส่งออกสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มเฉลี่ยประมาณ 150,000 ล้านบาทต่อปี ในปี 2559 ประเทศไทยมีมูลค่าการส่งออกสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม คิดเป็นมูลค่ารวมทั้งสิ้น 6,449.89 ล้านดอลลาร์สหรัฐ มีมูลค่าการส่งออกอยู่ในอันดับที่ 12 ของโลก สินค้าที่ส่งออกมากที่สุดคือ ผ้าผืน และเส้นด้าย (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2556; สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ, 2560)

2. โครงสร้างอุตสาหกรรมสิ่งทอ

โครงสร้างอุตสาหกรรมสิ่งทอของประเทศไทย มีโครงสร้างการผลิตครบวงจร ตั้งแต่อุตสาหกรรมต้นน้ำ กลางน้ำ และปลายน้ำ ดังภาพที่ 1

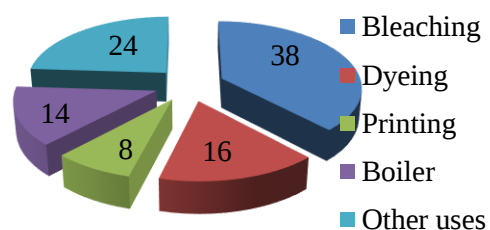


ภาพที่ 1 โครงสร้างของอุตสาหกรรมสิ่งทอ
(ธนาคารออมสิน, 2560)

3. แหล่งกำเนิดของเสียและการจัดการด้านสิ่งแวดล้อมในโรงงานสิ่งทอ

ในการผลิตเพื่อให้ได้เป็นสินค้าสำเร็จรูบนั้นจำเป็นต้องผ่านกระบวนการต่าง ๆ หลายขั้นตอน เช่น การผลิตเส้นใย การปั่นด้าย ทอผ้า ถักผ้า ฟอกย้อมเส้นใย เป็นต้น ในแต่ละขั้นตอนของการผลิตมีการใช้น้ำและสารเคมีที่แตกต่างกันทั้งชนิดและปริมาณ จึงก่อให้เกิดน้ำเสียในปริมาณและสมบัติที่แตกต่างกัน ซึ่งน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยส่วนใหญ่แล้วจะมาจากกระบวนการฟอกขาวและย้อมสี (รูปที่ 2) มลสารที่ปนเปื้อนในน้ำเสียโรงงาน สิ่งทอส่วนใหญ่แล้วจะอยู่ในรูปของ COD (Chemical Oxygen Demand), BOD (Biological Oxygen Demand) จากแป้ง สีย้อมกรดอะซิติก (Acetic acid) และเส้นด้ายที่ปนออกมาจากกระบวนการฟอกย้อมและตกแต่งสำเร็จ โดยน้ำเสียจากการกระบวนการฟอกย้อมและตกแต่งสำเร็จมีค่า COD ประมาณ 1,000 mg/L (Ghaly et al., 2014) นอกจากนั้นแล้วยังมีสารประกอบไนโตรเจน ฟีนอล โลหะหนัก (ขึ้นอยู่กับชนิดของสีย้อม) ของแข็งแขวนลอย และมีค่า pH ที่สูงอีกด้วย (Tüfekci, et al, 2007) (ตารางที่ 1) นอกจากนั้นแล้ว ในกระบวนการย้อมสีจะมีสีเพียงส่วนหนึ่งเท่านั้นที่ติดอยู่บนเส้นด้าย และอีกส่วนหนึ่งจะปนไปกับน้ำเสีย สีย้อมที่ใช้กันทั่วไปในอุตสาหกรรมฟอกย้อมมีหลายชนิด ทั้งที่สามารถย่อยสลายง่ายและยาก ซึ่งสีย้อมบางประเภทนั้นไม่สูตรโครงสร้างทางเคมีที่ซับซ้อนยากต่อการบำบัด โดยเฉพาะสีที่มีโครงสร้างในกลุ่มอะโซ เมื่อผ่านการบำบัดด้วยสภาวะไร้ออกซิเจน จะเกิดสารตัวกลางเป็นอะโรมาติกเอมีน (Aromatic amine) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งและเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต (Saratale et al., 2010) หากปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ สาธารณะโดยไม่ผ่านการบำบัดก่อน อาจก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำ ดังนั้น อุตสาหกรรมสิ่งทอ จึงต้องมีการจัดการด้านสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมก่อนปล่อยของเสียสู่สิ่งแวดล้อม ดังภาพที่ 2 (Saratale et al, 2010; Kadir and Zuhail, 2009).

Water Consumed (%)



ภาพที่ 2 ปริมาณการใช้น้ำในกระบวนการต่าง ๆ
(Ghaly et al., 2014)

ตารางที่ 1 จุดกำเนิดของเสีย มลพิษของเสียและสารที่ปนเปื้อนในน้ำเสียอุตสาหกรรมสิ่งทอ (Ghalyet al., 2014)

จุดที่เกิด	สารที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย	ของเสีย
การเตรียมเส้นใย	เล็กน้อยหรือไม่มีเลย	เศษด้ายและของเสียจากบรรจุภัณฑ์
การปั่นด้าย	เล็กน้อยหรือไม่มีเลย	เศษด้ายและของเสียจากบรรจุภัณฑ์
การลงแป้ง	BOD, COD, โลหะหนัก, สารทำความสะอาด, สาร sizing	เศษด้าย, ของเสียจากบรรจุภัณฑ์, แป้งที่ใช้ในการลงแป้ง
การทอผ้า	เล็กน้อยหรือไม่มีเลย	ของเสียจากบรรจุภัณฑ์ เศษด้ายและเศษผ้า, ผ้าที่ไม่ผ่านกระบวนการคัดคุณภาพ
การถักผ้า	เล็กน้อยหรือไม่มีเลย	ของเสียจากบรรจุภัณฑ์, เศษด้ายและเศษผ้า
การลอกแป้ง	BOD ประมาณ 35-50% ของทั้งหมด, สารชีวฆาต (biocides), สารป้องกันไฟฟ้าสถิต (anti-static compounds)	ของเสียจากบรรจุภัณฑ์, เศษด้าย
การกำจัดสิ่งสกปรก	BOD ประมาณ 30% ของทั้งหมด, น้ำยาฆ่าเชื้อ, โซดาไฟ, สารทำความสะอาด, โซเดียมซัลเฟต	เล็กน้อยหรือไม่มีเลย
การฟอกขาว	BOD ประมาณ 30% ของทั้งหมด, H ₂ O ₂ , คลอรีน, โซดาไฟ	เล็กน้อยหรือไม่มีเลย
การย้อมสี	BOD ค่อนข้างสูง, โลหะหนัก, เกลือ, สารลดแรงตึงผิว, สีย้อมชนิดต่าง ๆ, สารรีดิวซ์ เช่น ซัลไฟต์	เล็กน้อยหรือไม่มีเลย
การพิมพ์	BOD ค่อนข้างสูง, ของแข็งแขวนลอย (แป้งพิมพ์), น้ำมัน, สี, โลหะหนัก, สารเกิดสีกรดและเกลือโลหะ	เล็กน้อยหรือไม่มีเลย
การแต่งสำเร็จ	COD ค่อนข้างสูง, ของแข็งแขวนลอย	เศษผ้า, ของเสียจากบรรจุภัณฑ์

ตารางที่ 2 การจัดการด้านสิ่งแวดล้อมในโรงงานสิ่งทอ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, ม.ป.ป.)

มลพิษและของเสีย	มลพิษและของเสีย	มลพิษและของเสีย
มลพิษน้ำ	การเตรียมผ้า	1. ระบบบำบัดทางเคมี (ทางเลือก)
	การให้สี (ย้อมผ้า)	2. ระบบบำบัดแบบใช้อากาศ ได้แก่ ระบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์
	การแต่งสำเร็จ	3. ระบบบ่อปรับเสถียร
มลพิษอากาศ	หม้อน้ำ	ติดตั้งระบบบำบัดที่เหมาะสมในกรณีที่มีมลพิษเกินมาตรฐาน
	การให้สี (ย้อมผ้า)	มีอุปกรณ์ป้องกันและติดตั้งป้ายเตือนให้สวมใส่อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล
	ห้องเก็บสารเคมี	มีระบบจัดเก็บสารเคมีที่เหมาะสม มีระบบระบายอากาศที่ดี
สิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว	หม้อน้ำ	แยกเก็บไว้ในที่รองรับที่มิดชิดและนำไปกำจัดด้วยวิธีที่เหมาะสมตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลและวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว พ.ศ. 2548

4. การจัดการน้ำเสียในอุตสาหกรรมสิ่งทอ

เทคโนโลยีการกำจัดสิ่งเจือปนในน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสีย้อมและสารเคมีที่เหลือตกค้างอยู่ในน้ำ สามารถใช้เทคนิคการบำบัดน้ำเสียได้หลายวิธี ดังนี้

4.1 กระบวนการบำบัดทางกายภาพ (Physical treatment) เป็นการกำจัดสารแขวนลอยด้วยวิธีทางกายภาพ เช่น การแยกเศษขยะออกจากน้ำเสียด้วยตะแกรง การตกตะกอนโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง เพื่อลดภาระการทำงานของเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดในขั้นต่อไป ระบบบำบัดขั้นต้นที่ใช้กันทั่วไป ได้แก่ ตะแกรงตกขยะ (Screen) และถังปรับสภาพ (Equalization) (Eaddy and Vann, 1978)

4.2 กระบวนการบำบัดทางเคมีกายภาพ (Physicochemical treatment) เทคโนโลยีที่มีการนำมาใช้ในโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอในประเทศไทย ได้แก่ การตกตะกอนทางเคมี (Chemical coagulation - flocculation) เป็นวิธีสำหรับแยกสารแขวนลอยที่มีขนาดเล็กออกจากน้ำเสีย โดยใช้สารเคมีในการตกตะกอน เช่น สารส้ม และปูนขาว เป็นต้น นิยมนำมาใช้ในการกำจัดสีและสารอินทรีย์ ซึ่งกระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมีนั้นส่วนใหญ่แล้วจะใช้เวลาควบคู่กับการวิธีการกรองด้วยเยื่อแผ่น (Membrane Technology) ซึ่งได้แก่กระบวนการ ultrafiltration, nanofiltration, reverse osmosis และการกรองโดยใช้ถังกรองทราย (Sand Filter) ซึ่งกระบวนการเหล่านี้สามารถกรองอนุภาคขนาดเล็กออกได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังสามารถลดค่า TOC ในน้ำเสียได้อีกด้วย (Marcucci et al., 2001; Fersi and Dhahbi, 2008) อย่างไรก็ตาม เทคโนโลยีการกรองด้วยเยื่อแผ่นนั้นก็ยังมีราคาที่สูงอยู่ ทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับสมบัติของน้ำเสียและความเข้มข้นของสีย้อม ที่ต้องการบำบัด (Robinson et al., 2001; Akbari et al., 2006)

นอกจากนี้ก็มีกระบวนการกำจัดสีจากโรงงานฟอกย้อมโดยการแยกสารผ่านเยื่อด้วยไฟฟ้า (Electrodialysis) ซึ่งเป็นระบบที่ใช้แผ่นกรองร่วมกับไฟฟ้ากระแสตรงแยกสารประจุบวกและประจุลบออกจากน้ำ โดยมีแผ่นกรองที่มีประจุบวก (Cation) และประจุลบ (Anion) ติดตั้งวางสลับกันเป็นชั้น ๆ จากนั้นกระแสไฟฟ้าจะถูกส่งเข้าไปในช่องระหว่างแผ่นกรอง และขณะเดียวกันก็มีการปล่อยไฟฟ้ากระแสตรงผ่านแผ่นกรอง โดยแผ่นกรองประจุบวกยอมให้ประจุบวกไหลผ่านไปพร้อมกับน้ำส่วนหนึ่ง และแผ่นกรองประจุลบยอมให้สารประจุลบไหลผ่าน โดยน้ำที่มีประจุบวกและประจุลบรวมกันแล้วไหลทิ้งออกไป

แต่มักเกิดปัญหาตะกอนเกาะติดแผ่นกรองทำให้สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้ามาก และต้องทำล้างทำความสะอาดบ่อยครั้งจึงไม่ได้รับความนิยม (ไพศาล วีรกิจ, 2549)

นอกจากกระบวนการตกตะกอนทางเคมีแล้วอุตสาหกรรมฟอกย้อมยังนิยมนำกระบวนการออกซิเดชันทางเคมี (Chemical Oxidation) ใช้สารเคมีเป็นปัจจัยสำคัญในการออกซิไดส์สารประกอบต่าง ๆ ในน้ำเสียโดยสารเคมีที่นิยมใช้เป็นตัวออกซิเดนต์อย่างแพร่หลาย ได้แก่ Fenton's reagent และโอโซน (O₃)

กระบวนการเฟนตัน (Fenton process) เป็นกระบวนการออกซิเดชันขั้นสูงที่ใช้สารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H₂O₂) ทำปฏิกิริยากับเฟอร์รัสไอออน (Fe²⁺) ได้ไฮดรอกซิลเรดิคัล (OH) ซึ่งเป็นตัวออกซิไดส์สารอินทรีย์ (Nannan et al., 2016) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นสามารถออกซิไดส์สารอินทรีย์ที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ยากจนเปลี่ยนเป็นรูปคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ (Yang & James, 2006) มีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดสีของโรงงานย้อมสิ่งทอ (Yu et al., 2009) ส่วนกระบวนการโอโซนออกซิเดชัน (Ozone oxidation) เป็นการกำจัดสีด้วยโอโซนทำให้พันธะของโมเลกุลที่ทำให้เกิดสี (Chromophores) แตกออกกลายเป็นโมเลกุลเล็กและสีหายไป (Asghar et al., 2015) อย่างไรก็ตามการใช้กระบวนการโอโซนออกซิเดชันในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอนั้นอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำได้ เนื่องจากก๊าซโอโซนเป็นสารให้ออกซิเจนอย่างแรง (Strongly oxidizing agent) และอาจมีการทำปฏิกิริยากับสารบางชนิดทำให้เกิดเป็นสารก่อมะเร็งได้ (Carcinogenic compound) (Chen, 2000)

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาวิธีการบำบัดน้ำเสียแบบใหม่ที่อาศัยกระบวนการทางกายภาพร่วมกับทางเคมี เรียกว่าวิธีออกซิเดชันแบบก้าวหน้า (Advanced oxidation process, AOPs) โดยการนำโฟโตคะตะลิสต์ชนิดซิงค์ออกไซด์ (ZnO photocatalyst) มาใช้เพื่อสลายสีย้อมอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย (Vafaei et al., 2017)

4.3 กระบวนการบำบัดทางชีวภาพ (Biological treatment) เนื่องกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางกายภาพและเคมีมีการใช้สารเคมีในการกำจัดสีและเกิดตะกอนทางเคมีในระบบบำบัดจึงทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายและไม่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม กระบวนการบำบัดทางชีวภาพจึงเป็นวิธีการที่น่าสนใจเนื่องจากต้นทุนต่ำ เกิดตะกอนในระบบน้อยกว่าและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่า (Banat et al., 1996; Rai et al., 2005) มีงานวิจัยมากมายที่ใช้แบคทีเรีย ยีสต์ รา และสาหร่ายในการบำบัดและลดความเป็นพิษของสีย้อมในกลุ่มอะโซ

(Azo dye) (Banat et al., 1996; Chang et al., 2004, Jadhav et al., 2007; Humnabadkar et al., 2008; Hsueh et al., 2009; Chen et al., 2009; Jin et al., 2009) การย่อยสลายสีอะโซโดยแบคทีเรียเป็นวิธีการที่อาศัยความสามารถของแบคทีเรียในการย่อยสลายพันธะอะโซ (-N=N-) ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน (anaerobic condition) โดยอาศัยเอนไซม์อะโซรีดักเทส (Azoreductase) ซึ่งพันธะอะโซของสีย้อมจะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน ทำให้พันธะอะโซแตกออกส่งผลให้สีลดลงและได้ผลผลิตคืออะโรมาติกเอมีน (Aromatic Amine) ที่เป็นพิษ โดยสารพวกนี้จะถูกย่อยสลายต่อด้วยสภาวะใช้อากาศ (aerobic condition) (Hsueh et al., 2009) ดังนั้นการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนสีย้อมในกลุ่มอะโซจึงควรบำบัดในสภาวะที่ใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจนร่วมกัน ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic treatment process) ได้แก่ ระบบแอกติเวตเต็ดสลัดจ์ (Activated sludge) และบ่อเติมอากาศ (Aerated lagoon) ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic treatment process) ได้แก่ ระบบบ่อไร้ออกซิเจน (Anaerobic ponds)

การเลือกใช้เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม สิ่งสำคัญที่ต้องคำนึง คือ ลักษณะของน้ำเสีย การเลือกใช้เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมกับลักษณะของน้ำเสียจะส่งผลให้การบำบัดน้ำเสียมีประสิทธิภาพมากขึ้น อีกทั้งยังมีปัจจัยอื่นสำหรับพิจารณาในการเลือกใช้เทคโนโลยีการบำบัด เช่น ปริมาณน้ำเสีย ประสิทธิภาพของเทคโนโลยี ค่าใช้จ่าย เป็นต้น

5. ระบบบำบัดน้ำเสียในโรงงานสิ่งทอ

น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตและการล้างอุปกรณ์ในโรงงานสิ่งทอจะมีสีและกลิ่นปนเปื้อน โดยเฉพาะน้ำเสียจากการลอกแป้งฟอกขาวและย้อมสีจะมีค่า BOD และ COD สูง โรงงานส่วนใหญ่จะมีการระบายน้ำเสียลงรางระบายน้ำเสียภายในโรงงาน แล้วน้ำเสียจะถูกส่งรวบรวมและส่งไปบำบัดที่ระบบบำบัดน้ำเสียก่อนระบายออกสู่สิ่งแวดล้อมต่อไป การบำบัดน้ำเสียในโรงงานสิ่งทอนั้นมีความซับซ้อน เนื่องจากสีย้อมและสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตมีโครงสร้างที่ซับซ้อนยากต่อการกำจัดส่วนใหญ่จึงต้องใช้ระบบบำบัดทางเคมีแล้วตามด้วยระบบบำบัดทางชีวภาพแบบใช้อากาศ (Wang et al., 2011)

5.1 การบำบัดน้ำเสียโรงงานสิ่งทอด้วยวิธีแบบดั้งเดิม (Conventional treatments of textile wastewater)

การบำบัดน้ำเสียโรงงานสิ่งทอด้วยวิธีแบบดั้งเดิมนั้นมีกระบวนการดังนี้ น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นแล้วจะผ่านกระบวนการตกตะกอนทางเคมี (Coagulation and flocculation) เพื่อกำจัดสารอินทรีย์และสีย้อม (Akshaya et al., 2012) โดยการเติม aluminium sulphate (alum) หรือ ferric chloride (FeCl₃) เพื่อลดประจุไฟฟ้าทำให้อนุภาคที่แขวนลอยในน้ำมีขนาดใหญ่ขึ้นและสามารถแยกออกจากน้ำได้ง่าย บางโรงงานอาจใช้กระบวนการเฟนตัน (Fenton process) ซึ่งสามารถบำบัดน้ำเสียที่มีสารเคมีที่เป็นพิษที่ไม่สามารถบำบัดด้วยวิธีการทางชีวภาพได้แต่ก็มีตะกอนของเหล็กเกิดขึ้น (นาถและคณะ, 2555) จากนั้นน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการทางเคมีแล้วจะถูกบำบัดด้วยกระบวนการทางชีววิทยาต่อไปในขั้นตอนนี้สามารถกำจัดสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปละลายน้ำ โดยประสิทธิภาพของระบบบำบัดทางชีววิทยาจะอาศัยการทำงานจุลินทรีย์ในระบบภายใต้สภาวะมีอากาศและ ไร้อากาศ โดยส่วนใหญ่แล้วจะเป็นระบบบำบัดแบบ Activated sludge และแบบ Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, ม.ป.ป.)

5.2 การบำบัดน้ำเสียโรงงานสิ่งทอด้วยวิธีแบบขั้นสูง (Advanced method of textile treatment)

เนื่องจากกระบวนการทางเคมีและเคมีกายภาพเป็นวิธีการที่ไม่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและต้องใช้ต้นทุนที่สูง ระบบบำบัดทางชีวภาพจึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจในการนำมาใช้บำบัดน้ำเสียในโรงงานสิ่งทอ (Robinson et al., 2001) อย่างไรก็ตามการใช้ระบบบำบัดทางชีววิทยาเพียงอย่างเดียวอาจไม่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารเคมีที่มีโครงสร้างซับซ้อนได้ (Pala and Tokat, 2002) เพื่อที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบบำบัดทางชีววิทยาให้มีคุณภาพ การประยุกต์ใช้ Membrane Technology จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบบำบัดทางชีวภาพได้

Membrane Bioreactor (MBR) เป็นการรวมระบบพื้นฐาน 2 ระบบ คือ การย่อยสลายทางชีวภาพและการกรองผ่านด้วยเมมเบรนเข้าด้วยกัน โดยจุลินทรีย์จะทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์และถูกแยกออกจากน้ำที่ต้องการบำบัดด้วยการกรองผ่านเมมเบรน ทำให้น้ำที่ผ่านการบำบัดมีลักษณะใส ไม่มีตะกอนแขวนลอยเจือปน และสามารถควบคุมอายุของตะกอนจุลินทรีย์ได้ถึงปฏิกิริยาได้ เนื่องจากไม่มีการหลุดรอดของตะกอนจุลินทรีย์ไปกับน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้ว เมื่อนำเอา MBR ไปเปรียบเทียบกับ Activated sludge แบบทั่วไป พบว่า MBR มีข้อดี คือ 1) สามารถควบคุม MLSS ให้อยู่ในช่วง 10,000 – 15,000 mg/L ช่วยลด

ปัญหาตะกอนส่วนเกินที่ต้องกำจัดบ่อย ช่วยลดค่าใช้จ่ายในส่วนของ Sludge Treatment ได้ 2) สามารถรับ Hydraulic สูง ๆ ได้ 3) สามารถรับ BOD loading สูงกว่าระบบตะกอนเร่งทั่วไป ทำให้ใช้ขนาดถัง Aeration ที่เล็กลงได้ แต่ในปัจจุบันยังมีข้อเสียตรงที่ตัวเมมเบรนนั้นมีราคาสูง และผู้ใช้งานควรศึกษาถึงการใช้งานที่เหมาะสมเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการอุดตันได้เร็ว (สมาคมอุตสาหกรรมฟอกย้อมพิมพ์และตกแต่งสิ่งทอไทย, 2549)

6. เอกสารอ้างอิง

- กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.
(ออนไลน์). (2556). **คู่มือแนวทางการจัดการสีน้ำทิ้งของโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ**. ค้นเมื่อ ตุลาคม 11, 2560, จาก http://www.diw.go.th/hawk/Job/1_8.pdf.
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.
(ม.ป.ป.). **อุตสาหกรรมฟอกย้อมสิ่งทอ**. ค้นจาก <http://www2.diw.go.th/Industry10.asp>.
- ธนาคารออมสิน. (2560). **อุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องแต่งกาย**. ค้นจาก : <https://www.gsb.or.th/Getattachment/2de8/อุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องแต่งกาย.aspx>.
- นาถ ภูวงศ์ผา, เฉลิม เรืองวิริยะชัย และสุนันทา เลาวินัยศิริ. (2555). การกำจัดสีและซีไอทีในน้ำเสียห้องปฏิบัติการเคมีด้วยปฏิกิริยาเฟนตัน. **วิทยาศาสตร์ มข.** 40, (4) หน้า 1272-1284.
- ไพศาล วีรกิจ. (2549). **การผลิตน้ำสำหรับอุตสาหกรรม**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์นาคอักษรการพิมพ์.
- สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ. (2560). **รายงานภาวะอุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม**. ค้นเมื่อ ตุลาคม 11, 2560, จาก <http://www.thaitextile.org/index.php/blog/2017/04/iu6028042560>.
- สมาคมอุตสาหกรรมฟอกย้อมพิมพ์และตกแต่งสิ่งทอไทย. (2549). การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเมมเบรนเพื่อบำบัดน้ำเสียในอุตสาหกรรมสิ่งทอ. **Colour Way Textile**. 11 (63), หน้า 49-51.
- Akshaya, K.V., Rajesh, R.D. and Puspendu, B. (2012). A review on chemical coagulation/occulation Technologies for removal of colour from textile wastewaters. **J. Environmental Management**. 3 (1), pp., 154-168.
- Akbari, A., Desclaux, S., Rouch, J.C., Aptel, P. and Remigy, J.C. (2006). New UV photografted nanofiltration membranes for the treatment of colored textile dye effluents. **J. Membrane Science**. 286 (1-2), pp., 342-350.
- Asghar, A., Raman, A.A.A., and Daua. W.M.A.W. (2015). Advanced oxidation processes for in-situ production of hydrogen peroxide/hydroxyl radical for textile wastewater treatment: a review. **J. Cleaner Production**. 87: 826-838.
- Banat, I.M., Nigam, P., Singh, D. and Marchant, R. (1996). Microbial decolorization of textile-dye-Containing effluents: a review. **J. Bioresource Technology**. 58 (3), pp., 217-227.
- Chang, J.S., Chen, B.Y. and Lin, Y.S. (2004). Stimulation of bacterial decolorization of an azo dye by Extracellular metabolites from Escherichia coli strain No. 3. **J. Bioresource Technology**. 91 (3), pp., 243-248.
- Chen, B.Y., Lin, K.W., Wang, Y.M. and Yen, C.Y. (2009). Revealing interactive toxicity of aromatic amines to azo dye decolorizer Aeromonas hydrophila. **J. Hazardous Materials**. 166 (1), pp., 187-194.
- Chen, L.C. (2000). Effects of factors and interacted factors on the optimal decolorization process of methyl orange by ozone. **J. Water Research**. 34 (3), pp., 974-982.
- Eaddy, J. and Vann, J. (1978). **Physical/chemical treatment of textile noshing wastewater for process reuse**. Washington: D.C.: Environmental Protection Agency.
- Fersi, C. and Dhahbi, M. (2008). Treatment of textile plant effluent by ultrafiltration and/or nanofiltration for water reuse. **J. Desalination**. 222 (1-3), pp., 263-271.
- Ghaly, A.E., Ananthashankar, R., Alhattab, M. and Ramakrishnan, V.V. (2014). Production Characterization And Treatment of Textile Effluents: A Critical Review. **J. Chemical Engineering & Process Technology**. 5 (1), pp., 1-18.

- Humnabadkar, R.P., Saratale, G.D. and Govindwar, S.P. (2008). Decolorization of Purple 2R by *Aspergillus ochraceus* (NCIM-1146). **J. Microbiology, Biotechnology and Environmental Sciences**. 10 (3), pp., 693-697.
- Hsueh, C.C., J.P., Parshetti, G.K., Kalme, S.D. and Govindwar, S.P. (2007). Understanding effects of chemical structure on azo dye decolorization characteristics by *Aeromonas hydrophila*. **J. Hazardous Materials**. 167, pp., 995-1001.
- Jadhav, J.P., Parshetti, G.K., Kalme, S.D. and Govindwar, S.P. (2007). Decolourization of azo dye methyl red by *Saccharomyces cerevisiae* MTCC463. **J. Chemosphere**. 68 (2), pp. 394-400.
- Jin, R., Yang, H. Zhang, A., Wang, J. and Liu, G. (2009). Bioaugmentation on decolorization of c.i.Direct blue 71 by using genetically engineered strain *Escherichia coli* JM109 (pGEX-AZR). **J. Hazardous Materials**. 163 (2-3), pp., 1123-1128.
- Kadir, T. and Zuhal, T. (2009). Decolorization of direct dye in textile wastewater by ozonization in a Semi-batch bubble column reactor. **J. Desalination**. 242 (1-3), pp., 256-263.
- Marcucci, M., Nosenzo, G., Capannelli, G., Ciabatti, I., Corrieri, D. and Ciardelli. (2001). Treatment and reuse of textile effluents based on new ultrafiltration and other membrane technologies. **J. Desalination**. 138 (1-3), pp., 75-82.
- Nannan, W., Tong, Z., Guangshan, Z. and Peng, W. (2016). A review on Fenton-like processes for Organic wastewater treatment. **J. Environmental Chemical Engineering**. 4 (1), pp., 762-787.
- Pala, A. and Tokat, E. (2002). Color removal from cotton textile industry wastewater in an activated sludge system with various additives. **J. Water Research**. 36 (11), pp., 2920-2925.
- Rai, H., Bhattacharya, M., Singh, J., Bansal, T.K., Vats, P. and Banerjee, U.C. (2005). Removal of dyes from the effluent of textile and dyestuff manufacturing industry: a review of emerging techniques with reference to biological treatment. **J. Critical Reviews in Environmental Science and Technology**. 35 (3), pp., 219-238.
- Robinson, T., McMullan, G., Marchant, R. and Nigam, P. (2001). Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with proposed alternatives. **J. Bioresource Technology**. 77 (3), pp., 247-255.
- Saratale, R.G., Saratale, G.D., Chang, J.S. and Govindwar, S.P. (2010). Bacterial decolorization and Degradation of azo dyes: A review. **J. Taiwan Institute of Chemical Engineers**. 42 (1), pp., 238-257.
- Tfekci, N., Sivri, N. (2007). Pollutants of textile industry wastewater and assessment of its discharge Limits by water quality standards. **J. Fisheries and Aquatic Sciences**. 7 (2), pp., 97-103.
- Vafaei, M., Olya, M.E., Drean, J.Y. and Hekmati, A. H. (2017). Synthesis, characterization and application of ZnO/W/Ag as a new nanophotocatalyst for dye removal of textile wastewater; kinetic and economic studies. **J. Taiwan Institute of Chemical Engineers**. 80 (5), pp., 379-390.
- Wang, Z., Xue, M., Huang, K. and Liu, Z. (2011). **Textile Dyeing Wastewater Treatment, Advances in Treating Textile Effluent**. In Tech. (ed. Hauser, Peter) DOI: .5772/22670.
- Yang, D. and James, D.E. (2006). Treatment of landfill leachate by the Fenton process. **J. Water Research**. 40 (20), pp., 683-694.
- Yu, R.F., Chen, H.W., Cheng, W.P. and Hsieh, P.H. (2009). Dosage control of the Fenton process for Color removal of textile wastewater applying ORP monitoring and artificial neural networks. **J. Environmental Chemical Engineering**. 135: 325-332.