การจัดการน้ำเสียของอุตสาหกรรมสิ่งทอโดยเทคโนโลยีฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์

Wastewater Management of Textile Industry by TiO2 Film

ขนิษฐา หทัยสมิทธ์ [1] สมบัติ ทีฆทรัพย์ [2]

1 บทนำ

สาเหตุสำคัญของปัญหามลพิษทางน้ำที่เกิดขึ้นในปัจจุบันเกิดจากการเจริญเติบโตทางอุตสาหกรรม โดยเฉพาะอุตสาหกรรมสิ่งทอซึ่งมีการขยายตัว และการแข่งขันทางการตลาดสูง น้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอมาจากกระบวนการย้อมสี (Dyeing) และการตกแต่งสำเร็จ (Finishing) โดยน้ำเสียที่ปล่อยออกมาประกอบด้วย สี ค่าสารอินทรีย์ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ของแข็งแขวนลอย ความร้อน และอื่นๆ [1] มีผลต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ ทำให้เกิดการทำลายทัศนียภาพและเป็นที่น่ารังเกียจ สำหรับสีย้อมบางประเภทไม่สามารถบำบัดได้ด้วยวิธีทางกายภาพและทางเคมีทั่วไปได้ เช่น สีริแอกทีฟ (Reactive dye) สีเอซิด (Acid dye) สีเบสิก (Basic dye) และสีไดเร็กท์ (Direct dye) เป็นต้น ดังนั้นการบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมสิ่งทอเพื่อให้คุณภาพน้ำทิ้งได้มาตรฐานตามเกณฑ์ที่กำหนดของกรมควบคุมมลพิษจึงมีความจำเป็นอย่างมากเพื่อป้องกันปัญหามลพิษทางน้ำ

ปัจจุบันมีการศึกษาเทคโนโลยีต่างๆ เพื่อใช้การบำบัดน้ำเสียจากสิ่งทอมีอย่างต่อเนื่อง เช่น ระบบบำบัดแบบถังไร้อากาศ การนำสารเคมี มาลดสี เป็นต้น ฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นเทคโนโลยีระดับนาโนที่นำมาประยุกต์ใช้เนื่องจากคุณสมบัติที่เกิดปฏิกิริยากำจัดสารอินทรีย์ และสามารถลดสีเมื่อเกิดการกระตุ้นด้วยแสง

2 อุตสาหกรรมสิ่งทอของประเทศไทย

2.1 โครงสร้างอุตสาหกรรมสิ่งทอของประเทศไทย

อุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มของไทยมีมานานกว่า 50 ปี เป็นอุตสาหกรรมที่นำรายได้เข้าประเทศเป็นลำดับ 1 ตั้งแต่ปี 2528 [2] ในปัจจุบันอุตสาหกรรมสิ่งทอมีมูลค่าการส่งออกอยู่ในอันดับที่ 20 ของประเทศ ข้อมูลการส่งออกในปี 2552 มีมูลค่าการส่งออกรวมทั้งสิ้น 6,443.8 ล้านเหรียญสหรัฐฯ ตลาดส่งออกที่สำคัญ ได้แก่ สหรัฐอเมริกา และสหภาพยุโรป [3]

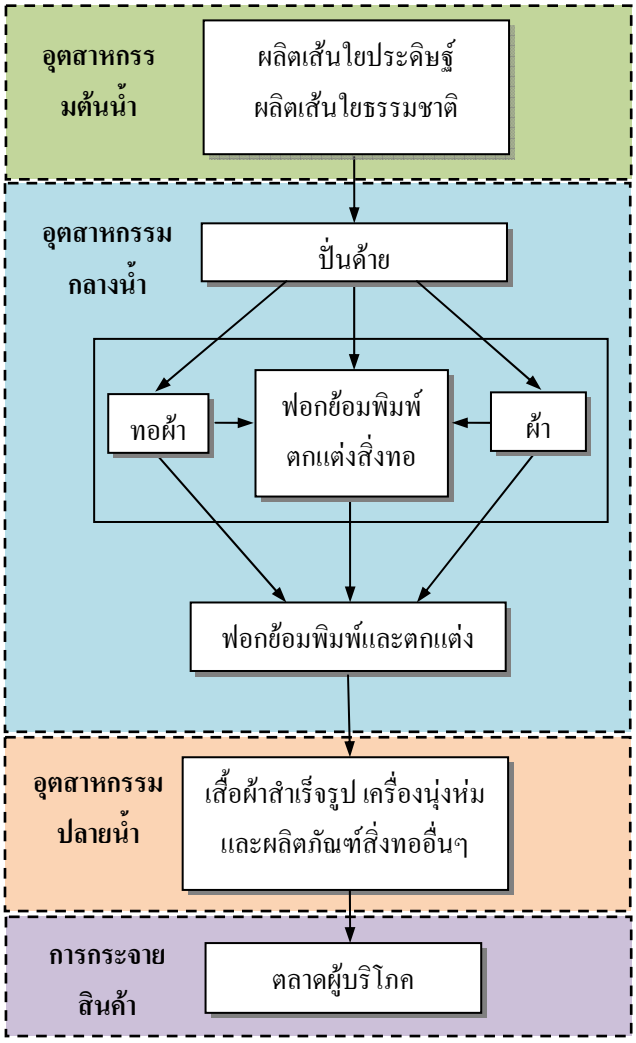
โครงสร้างอุตสาหกรรมสิ่งทอของประเทศไทยมีโครงสร้างการผลิตครบวงจรตั้งแต่การปั่นเส้นใย ปั่นด้าย ทอผ้า และถักผ้า ฟอกย้อม พิมพ์ตกแต่งสำเร็จ และการตัดเย็บเป็นเสื้อผ้าสำเร็จรูปและผลิตภัณฑ์สิ่งทอสำเร็จรูปอื่นๆ รองรับความต้องการของผู้บริโภคภายในประเทศ และยังควบคุมสถานการณ์การส่งออกของประเทศ [2] ดังภาพที่ 1

กระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมสิ่งทอ และเครื่องนุ่งห่มของไทยสามารถจำแนกตามประเภทของกรรมวิธีการผลิตออกได้เป็น 5 กลุ่ม ได้แก่ [2]

- กลุ่มเส้นใย
- กลุ่มปั่นด้าย
- กลุ่มทอผ้า
- กลุ่มฟอก ย้อม พิมพ์และตกแต่งสำเร็จ
- กลุ่มเครื่องนุ่งห่ม

[1] สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา

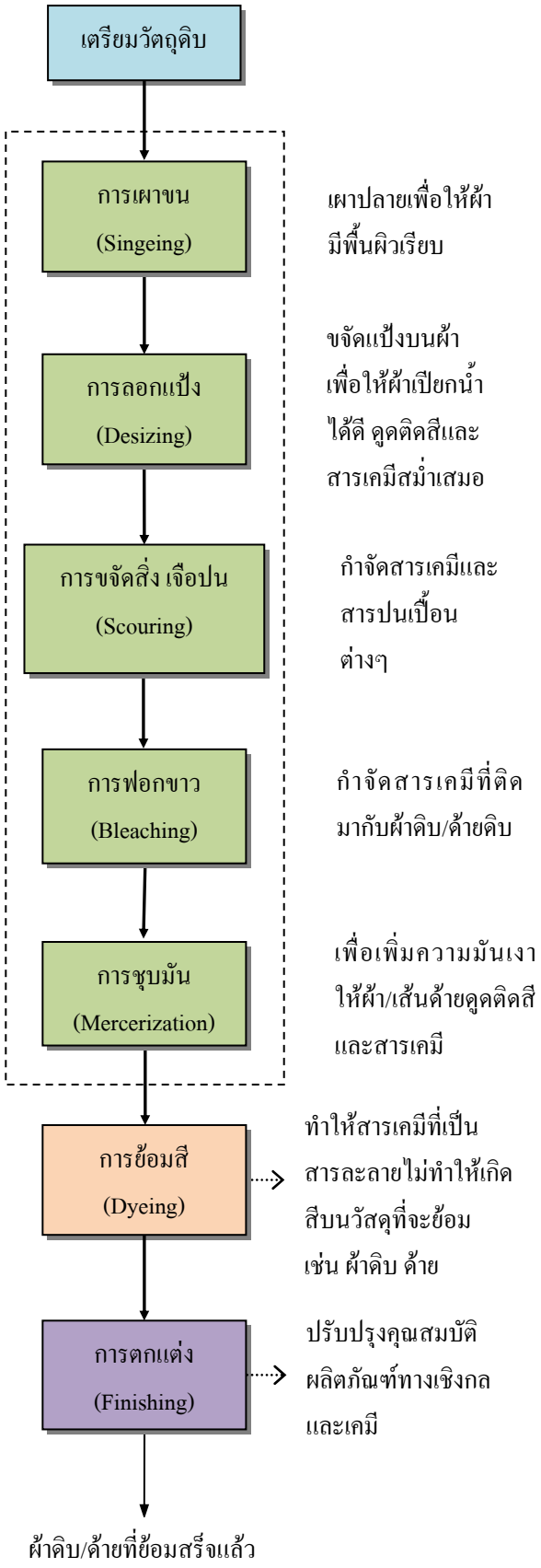
[2] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเชีย



ภาพที่ 1 กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่อง นุ่งห่ม [2]

2.2 กระบวนการผลิตสิ่งทอ

กระบวนการฟอกย้อมเป็นขั้นตอนสำคัญในอุตสาหกรรมสิ่งทอ มีวัตถุประสงค์ เพื่อทำให้ผ้าหรือเส้นด้ายมีสีสันสวยงาม คงทนต่อสภาวะแวดล้อม กระบวนการฟอกย้อมประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังภาพที่ 2 กระบวนผลิต และการฟอกย้อมสิ่งทอในแต่ละขั้นตอนมีการใช้น้ำ และสารเคมีที่แตกต่างกันทั้งชนิดและปริมาณ ขึ้นอยู่กับชนิดของผ้าหรือเส้นด้ายที่เป็นวัตถุดิบ ประเภทของเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่เลือกใช้ตลอดจนสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการจึงก่อให้เกิดมลพิษทางน้ำและลักษณะสมบัติของน้ำทิ้งที่ซับซ้อนยากต่อการบำบัด ดังตารางที่ 1



ภาพที่ 2 กระบวนการผลิต และการฟอกย้อมสิ่งทอ [1]

ตารางที่ 1 ลักษณะของน้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตของโรงงานฟอกย้อม [1]

กระบวนการ	มลสารในน้ำทิ้ง	ลักษณะของน้ำทิ้ง
การลอกแป้ง	แป้ง กลูโคส ซีเอ็มซี พีวีซี เรซิน ไขมัน และขี้ผึ้งธรรมชาติ หรือสังเคราะห์	ค่าบีโอดีสูง (35-50% ของทั้งหมด) เกิดจากแป้ง ซึ่งซีเอ็มซีและพีวีเอไม่ทำให้เกิดบีโอดีสูง
การขจัดสิ่งสกปรกเจือปน	โซดาไฟ ขี้ผึ้งและกรีซ โซดาแอช โซเดียม ซิลิเกต เศษเส้นใย	ค่าความเป็นด่างสูง สีดำ และบีโอดีสูง (30% ของทั้งหมด)
การฟอกขาว	ไฮโปคลอไรท์ คลอรีน โซดาไฟ กรดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	สารประกอบที่มีลักษณะด่าง บีโอดี (5% ของทั้งหมด)
การชุมมัน	โซดาไฟ	ค่าความเป็นด่างสูง และบีโอดี (1% ของทั้งหมด)
การย้อมสี	สีย้อมชนิดต่างๆ เกลือและสารริดิวซิ่ง เช่น ซัลไฟด์ เป็นต้น	สีเข้มบีโอดีค่อนข้างสูง ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด ซีโอดีต่ำและเกิดฟอง
การพิมพ์	สี แป้งพิมพ์ กาว น้ำมัน สารเกิดสีกรด และเกลือโลหะ	สีเข้มบีโอดีค่อนข้างสูง มีน้ำมัน
การตกแต่งสำเร็จ	แป้งเล็กน้อย สารตกแต่งที่เหลือ	เป็นด่างเล็กน้อย บีโอดีต่ำ ซีโอดีสูง

จากตารางที่ 1 จะเห็นว่าน้ำเสียเกิดจากอุตสาหกรรมสิ่งทอมีค่าสารเคมี และปริมาณสารอินทรีย์ (Organic substance) สูง ซึ่งมีสาเหตุจากแป้ง สีย้อม กรดอะซิติก (Acetic acid) เส้นใย และเส้นด้ายที่ปนออกมาจากกระบวนการย้อมและตกแต่ง นอกจากนี้แล้วยังอาจเกิดจากสบู่ ไขมัน น้ำมัน โดยทั่วไปแล้วน้ำเสียมีค่าบีโอดี (Biochemical oxygen demand : BOD) ประมาณ 100-1,000 มิลลิกรัม/ลิตร และค่าซีโอดี (Chemical oxygen demand: COD) ประมาณ 500-1,200 มิลลิกรัม/ลิตร มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ประมาณ 9-12 และอุณหภูมิสูงถึง 50 องศาเซลเซียส ความเข้มสีสูง เนื่องจากมีสีย้อมหลงเหลือจะถูกปล่อยออกมากับน้ำเสีย นอกจากนี้ในสีย้อมยังมี โลหะหนักเจือปน ดังนั้นอุตสาหกรรมสิ่งทอจึงต้องมีการจัดการกระบวนการบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยสู่ส่งแวดล้อม

2.3 การจัดการน้ำเสียในอุตสาหกรรมสิ่งทอ

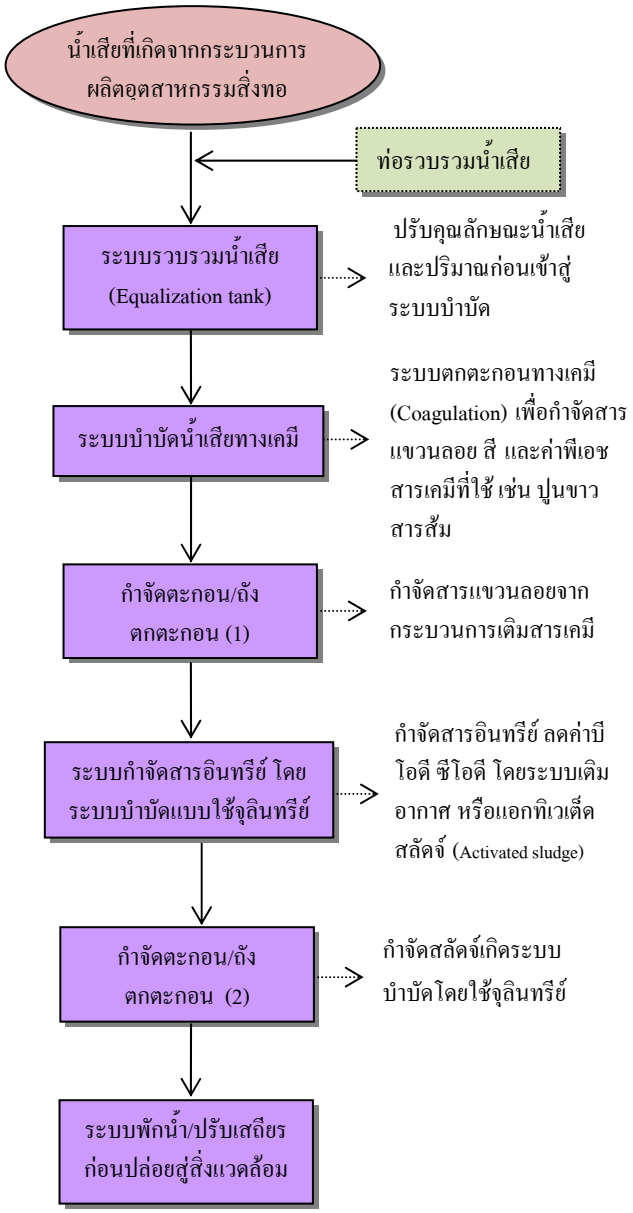
การจัดการกระบวนการบำบัดน้ำเสียในอุตสาหกรรมสิ่งทอ ประกอบด้วยส่วนต่างๆ และหน้าที่ดังต่อไปนี้ (ภาพที่ 3)

ระบบที่ 1 : รวบรวมน้ำจากกระบวนการผลิต

ระบบที่ 2 : กำจัดของแข็งแขวนลอย สี

ระบบที่ 3 : กำจัดสารอินทรีย์ ค่าซีโอดี บีโอดี

ระบบที่ 4 : พักน้ำเพื่อปรับคุณภาพก่อนทิ้งสู่สิ่งแวดล้อม

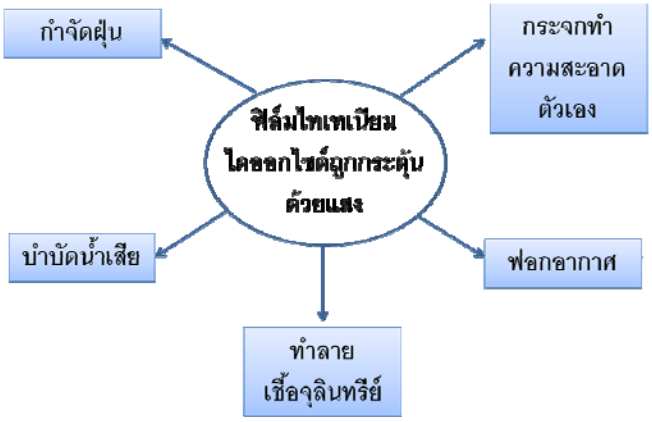


ภาพที่ 3 กระบวนการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอ

3 เทคโนโลยีฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์

3.1 การประยุกต์ใช้ฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์

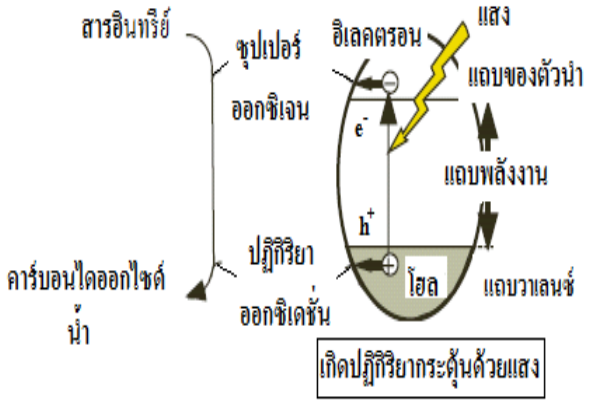
ไททาเนียมไดออกไซด์ (TiO2) เป็นสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) ประเภท N-type ที่สามารถเกิดปฏิกิริยากระตุ้นด้วยแสง (Photocatalytic) เมื่อมีแสงยูวีมากระทบที่ผิวไทเทเนียมไดออกไซด์ทำให้เกิดสารประกอบออกไซด์ที่สามารถใช้กำจัดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำหรืออากาศที่สัมผัสกับพื้นผิวของไททาเนียมไดออกไซด์ จากคุณสมบัตินี้จึงนำมาประยุกต์ใช้ในปัจจุบัน ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ประโยชน์ของการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงของไททาเนียมไดออกไซด์ [4]

3.2 กระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงบนฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์

กระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงบนฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นกระบวนการที่มีการดูดซับ โฟตอน (Photon, hν) ที่มีพลังงานเกิดขึ้นมากว่าแถบพลังงาน (Band gap) ของสารกึ่งตัวนำ ทำให้อิเล็กตรอนอิสระที่แถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำมีความแตกต่างของพลังงานที่จะทำให้เกิดอิเล็กตรอน (e^-) ในแถบวาเลนซ์ (Valence band) ของโมเลกุลไปยังแถบของตัวนำ (Conduction band) เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนย้ายจากแถบวาเลนซ์ไปยังแถบตัวนำและอิเล็กตรอนจะอิสระโฮล (Hole, h^+) เกิดขึ้นเมื่ออิเล็กตรอนนั้นหลุดออกไปโฮลบวกและอิเล็กตรอนลบจะกลับมารวมตัวกันได้อีก และเกิดการปล่อยพลังงานความร้อนออกมา และทำให้มีอะตอมอื่นเข้ามาใกล้กับสารกึ่งตัวนำแล้วเกิดการทำปฏิกิริยากัน โดยเรียกปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นว่า “ปฏิกิริยาการใช้แสง” (Photoreactions) โดยที่ปฏิกิริยานี้จะถูกกระตุ้นด้วยโฟตอน และเมื่อมีตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalysts) เกิดการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง ดังภาพที่ 5 อิเล็กตรอนถูกปล่อยออกมาทำปฏิกิริยากับตัวรับอิเล็กตรอน เช่น ออกซิเจนดูดซับ หรือถูกละลายในน้ำ อนุมูลของ $OH^{\cdot}$ อาจจะเปลี่ยนรูปไปเป็น H_2O_2 จากไอออนของอนุมูลอิสระออกซิเจน (O_2^-) ไฮดรอกซิล (OH^-) และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) เป็นสารออกซิไดซ์ซิงค์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย และลดสีได้ [5]



ภาพที่ 5 การเกิดกระบวนการเร่งปฏิกิริยาโดยแสง (Photocatalysis reaction) [5]

4 ตัวอย่างงานวิจัยของฟิล์มไทเนียมไดออกไซด์ที่มีผลต่อการลดสี

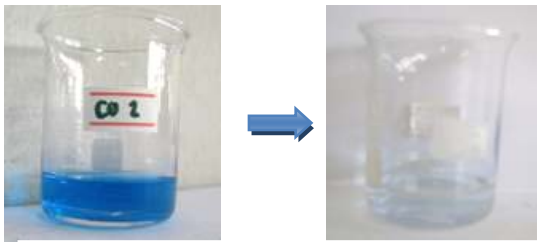
จากงานวิจัยประยุกต์ใช้แผ่นฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ในการลดสีที่ใช้ในกระบวนการฟอกย้อมของอุตสาหกรรมสิ่งทอมีอย่างกว้างขวางทั้งต่างประเทศ และประเทศไทย เช่น

Ammar Houas และคณะ (2000) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเมทิลีนบลู ($C_{16}H_{18}N_3SCl$) โดยการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงซึ่งอาศัยไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่ง พบว่า การกำจัดสารละลายเมทิลีนบลูทำได้ ภายใต้กระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง เกิดการเปลี่ยนแปลง วงเบนซินในโครงสร้างของเมทิลีนบลูอยู่ในรูปก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ซัลฟอร์ไดออกไซด์ (SO_4^{2-}) แอมโมเนีย (NH_4^+) และไนเตรต (NO_3^-) ส่งผลให้สีของเมทิลีนบลูจางลง [6]

Miaoliang Huang และคณะ (2008) ศึกษาการปรับปรุงไทเทเนียมไดออกไซด์ โดยใช้แพลตตินัม (Pt) เป็นตัวเคลือบบนซีโอไลต์ (Natural zeolites) โดยการใช้เทคนิคจุ่ม (Sol-gel) และการใช้แสงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ใช้ในการลดสีของเมทิลออเรนจ์ (Methyl orange) ได้ถึงร้อยละ 81.9 [7]

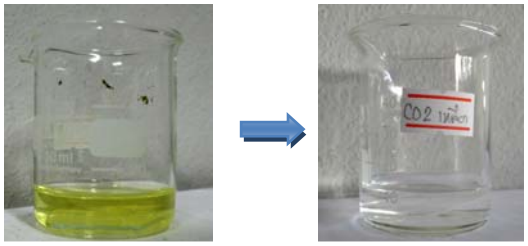
ขนิษฐา หทัยสมิทธ์ (2553) ศึกษาประสิทธิภาพการลดสีเมทิลีนบลู และสีเหลือง (Cation yellow X-Gl 200%) โดยฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เคลือบฟิล์มแบบรีแอกทีฟดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอริง (DC Magnetron spattering) ผลการทดลองพบว่า สีเมทิลีนบูลที่ความเข้มข้น 0.05 มิลลิโมลต่อลิตร ลดสีร้อยละ 70 ในระยะเวลาฉายแสง 5 วัน และสีเหลืองที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดสีร้อยละ 90 ในระยะเวลาฉายแสง 2 วัน [8] ดังภาพที่ 6

ก) สีเมทิลีนบลูเมื่อผ่านการเร่งปฏิกิริยากระตุ้นด้วยแสงโดยฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่งที่ระยะเวลา 5 วัน



ก่อนฉายแสงยูวี ฉายแสงยูวี 5 วัน

ข) สีเหลืองเมื่อผ่านการการเร่งปฏิกิริยากระตุ้นด้วยแสงโดยฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่งที่ระยะเวลา 2 วัน



ก่อนฉายแสงยูวี ฉายแสงยูวี 2 วัน

ภาพที่ 6 การลดสีของเมทิลีนบลู และสีเหลืองในห้องปฏิบัติการ

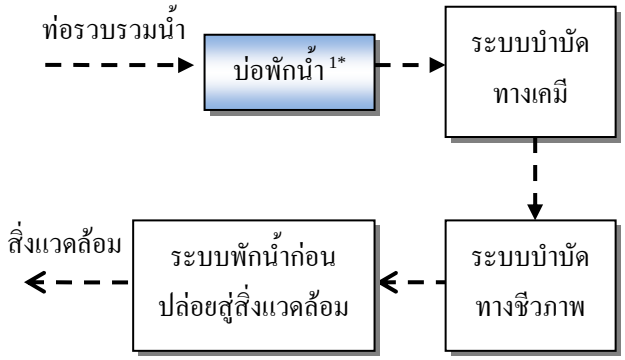
จากการศึกษากระบวนการกระตุ้นด้วยแสงบนฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ในการประยุกต์ในงานสิ่งแวดล้อม พบว่า ฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์สามารถบำบัดสี และสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้ โดยเฉพาะสามารถลดสีย้อมผ้าได้ดี ในปัจจุบันนี้การทดลองเกี่ยวกับเทคโนโลยีฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ ยังอยู่ในห้องปฏิบัติการเป็นส่วนใหญ่เนื่องจากราคาของสารเคมี และปัจจัยในการเคลือบเพื่อให้เกิดผลึกที่เหมาะสมต่อการทำปฏิกิริยานั้นทำได้ยากจึงอยู่ในขั้นตอนที่กำลังพัฒนาไปสู่ระดับอุตสาหกรรม

5 แนวการประยุกต์ฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ในการบำบัดน้ำเสียโรงฟอกย้อม

ระบบบำบัดน้ำเสียของอุตสาหกรรมสิ่งทอโรงฟอกย้อมของประเทศไทย มีการจัดการระบบที่แตกต่างกันซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของโรงงาน และพื้นที่เป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นแนวคิดในการประยุกต์ใช้ฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์จึงปรับให้เข้ากับความเหมาะสมกับระบบบำบัดน้ำเสียที่มีอยู่

แนวคิดที่ 1 ติดตั้งฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ที่บ่อพักน้ำ

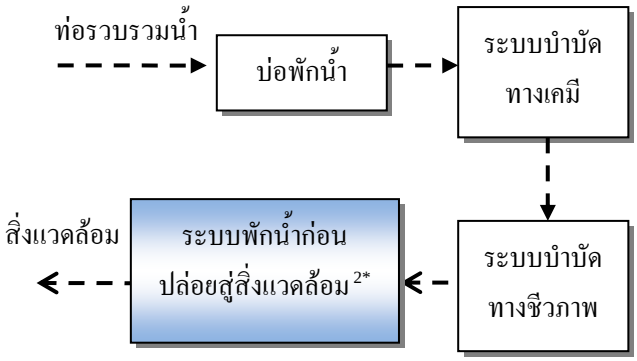
แนวคิดที่ 1 ใช้ใบพัดที่เคลือบฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ในบ่อพักน้ำเพื่อลดสีและสารอินทรีย์เบื้องต้นก่อนเข้าระบบบำบัดทางเคมี เพื่อลดปริมาณสารเคมีที่ต้องใช้ในกระบวนการตกตะกอนโดยสารเคมี ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการซื้อสารเคมี และลดต้นทุนในการกำจัดสลัดจ์ที่เกิดจากการตกตะกอน ดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ติดตั้งฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ในบ่อพักน้ำ

แนวคิดที่ 2 ติดตั้งฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ที่บ่อพักน้ำก่อนปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม

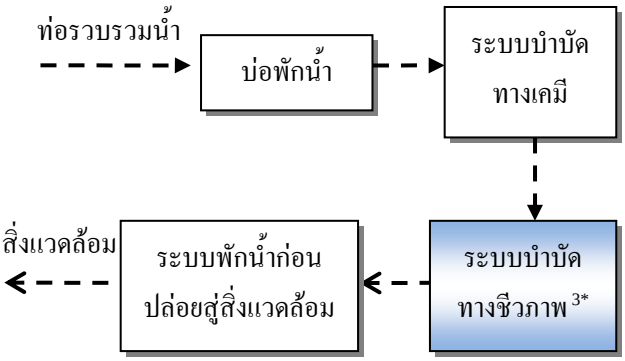
แนวคิดที่ 2 ใช้ฟิล์มไทเทเนียมลดสีที่กำจัดไม่หมดจากระบบบำบัดที่มีอยู่ปกติ เพื่อลดสี และสารอินทรีย์ต่างๆ ก่อนปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมให้มีสีใกล้ธรรมชาติมากที่สุด ช่วยลดปัญหาระหว่างโรงงานกับชุมชน หรือนำน้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดนำกลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการผลิตเพื่อลดต้นทุนการผลิต ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ติดตั้งฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ในบ่อพักน้ำก่อน ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม

แนวคิดที่ 3 ติดตั้งฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ที่ระบบบำบัดทางชีวภาพ

แนวคิดที่ 3 เหมาะกับโรงงานที่ใช้ระบบบำบัดสารอินทรีย์แบบใช้เครื่องเติมอากาศลงในบ่อธรรมชาติ เนื่องจากปัจจัยในการกระบวนการกระตุ้นด้วยแสงของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ปริมาณออกซิเจนจะทำให้เกิดไฮดรอกไซด์เรดิคัล และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดสี และสารอินทรีย์สูงขึ้น การประยุกต์ใช้แนวคิดที่ 1 รวมกับแนวคิดที่ 3 สามารถเป็นไปได้และประสิทธิภาพในการบำบัดสูง แต่ต้นทุนในกระบวนการบำบัดสูง ดังนั้นจึงต้องคำนึงถึงการนำน้ำกลับไปใช้ใหม่เพื่อลดต้นทุนการผลิตด้วย ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 9 ติดตั้งฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ในระบบบำบัดทางชีวภาพ

แนวคิดที่ 1 และ 2 เหมาะสมกับระบบบำบัดน้ำเสียที่ในระบบแอกทิเวเต็ดสลัด (Activated Sludge) เนื่องฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์มีคุณสมบัติบางประการในการทำลายเชื้อแบคทีเรียจึงอาจส่งผลกับประสิทธิภาพในการลดสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ในระบบได้ จึงควรใช้ไทเทเนียมไดออกไซด์ในระบบอื่นที่ไม่ใช่ระบบที่มีจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์

6 บทสรุป

การจัดการระบบบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสิ่งทอนั้นมีความสำคัญทั้งทางด้านสิ่งแวดล้อม และช่วยลดปัญหาการกีดกันทางการค้าอันเนื่องจากผลกระทบสิ่งแวดล้อม ดังนั้นการเสาะหาเทคโนโลยีใหม่ เพื่อเพิ่มศักย์ภาพของระบบจึงเป็นที่ต้องการของภาคอุตสาหกรรมฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เป็นเทคโนโลยีที่น่าสนใจ เนื่องจากสามารถลดสีจากอุตสาหกรรมสิ่งทอได้อย่างดี ซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญและกำจัดยาก นอกจากนี้ฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ทำปฏิกิริยากระตุ้นโดยแสงยูวีจากดวงอาทิตย์หรือจากแหล่งที่เหมาะสมอื่นซึ่งเป็นการนำทรัพยากรธรรมชาติมาใช้อย่างคุ้มค่า และช่วยลดการใช้พลังงาน

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, “แนวปฏิบัติที่ดีด้านการป้องกันและลดมลพิษอุตสาหกรรมฟอกย้อม,” กรุงเทพมหานคร, 2548.

[2] ศูนย์สารสนเทศเศรษฐกิจอุตสาหกรรม, สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม, “รายงานรายเดือนดัชนีอุตสาหกรรม,” กรุงเทพมหานคร, 2549.

[3] สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ, “รายงานภาวะอุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม,” กรุงเทพมหานคร, 2552, จาก http://www.thaitextile.org, (25 ก.ย. 2553).

[4] http://www.tipe.com.cn/, (25 ก.ย. 2553).

[5] http://www.lumasense.dk/Photocatalysis.pas.0.html, (25 ก.ย. 2553)

[6] A. Houas, H. Lachheb, M. Ksibi, E. Elaloui, C. Guillard and J. Herrmann, “Photocatalytic degradation pathway of methylene blue in wate,”Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, Vols. 31, pp. 145-157, 2000.

[7] M. Huang, C. Xu, Z. Wu, Y. Huang, J. Lin and J. Wu, “Photocatalytic discolorization of methyl orange solution by Pt modified TiO2 loaded on natural zeolit,” Days and Pigments, Vols. 77, pp 327 – 334, 2008.

[8] K. Hathaisamit, W. Pengmula, T. Wesamula and S. Pudwat “Photocatalytic Decolorization of Dyes for Nano-structures of Titanium Dioxide (TiO2) Films,” Advanced Material Research , Vols. 93-94, pp. 63-606, 2010.

[9] T. Zhang, T. Oyama, A. Aoshima, H. Hidaka, J. Zhao and N. Serpone. “Photooxidative N-demethylation of methylene blue inaqueous TiO2 dispersions under UV irradiation,” Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry , Vols. 140, pp. 163-172, 2001.

[10] W.S. Kuo and P.H. Ho, “Solar photocatalytic decolorization of dyes in solution with TiO2 film,” Dyes and Pigments, Vols 71, pp. 212-217, 2006.