การบำบัดสีย้อมผ้าจากน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอด้วยจุลินทรีย์

ดร.นิตยา ผาสุขพันธุ์*

สีย้อมเป็นมลพิษหลักของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ การบำบัดน้ำเสียที่มีสีเป็นองค์ประกอบนี้สามารถดำเนินการได้หลายวิธี ไม่ว่าจะเป็นการบำบัดทางกายภาพ ทางเคมี ทางกายภาพ-เคมี และทางชีวภาพ อย่างไรก็ตาม การบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพโดยอาศัยจุลินทรีย์มีข้อได้เปรียบวิธีการอื่น ๆ ในแง่ของค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่า ซึ่งโดยนัยแล้ว การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอด้วยวิธีทางชีวภาพไม่ใช่เรื่องใหม่ แต่ประเด็นที่น่าสนใจคือการพัฒนาออกแบบ ปรับปรุงรูปแบบของระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพแบบดั้งเดิม เพื่อนำไปสู่การกำจัดสีย้อมจากน้ำเสียได้อย่างสมบูรณ์ จนไม่เหลือความเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของประชาชน

*มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

บทนำ

อุตสาหกรรมที่มีบทบาทสำคัญต่อเศรษฐกิจในหลายประเทศคืออุตสาหกรรมฟอกย้อมสิ่งทอ โดยกระบวนการย้อมผ้าเป็นกระบวนหลักที่ใช้สารเคมีประเภทสีย้อมและอุปโภคน้ำในปริมาณมาก ซึ่งเป็นผลให้เกิดน้ำเสียในปริมาณมากเช่นกัน โดยน้ำเสียดังกล่าวมีลักษณะของสารแขวนลอยและสารอินทรีย์ละลายน้ำปริมาณสูงอยู่ในช่วง 43–140 มิลลิกรัมต่อลิตรและ 300–1,200 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ที่สำคัญน้ำเสียมีลักษณะมีสีซึ่งถือเป็นมลพิษหลักของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอก่อให้เกิดความน่ารังเกียจและสูญเสียภูมิทัศน์ มากไปกว่านั้น สีย้อมยังมีอันตรายต่อสุขภาพเนื่องจากมีองค์ประกอบของสารก่อมะเร็ง อย่างไรก็ตามการกำจัดสีย้อมออกจากน้ำเสียยังถือเป็นปัญหาหลักของอุตสาหกรรมฟอกย้อมสิ่งทอ เนื่องจากสีย้อมเป็นสารคงตัวต่อแสง ความร้อน และย่อยสลายทางชีวภาพได้ยาก นอกจากนี้ มีการคาดคะเนว่าหากกระบวนการย้อมผ้าไม่มีประสิทธิผลมากพอจะส่งผลให้เกิดการปลดปล่อยสีย้อมออกมาพร้อมกับน้ำทิ้งคิดเป็นมากกว่าร้อยละ 50 สู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งสีย้อมเพียง 1 มิลลิกรัมต่อลิตรก็สามารถส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมทางน้ำในแง่ของความโปร่งใสและความรู้สึกสะอาดของน้ำ มากไปกว่านั้น สีย้อมยังเป็นพิษต่อพืชและสัตว์น้ำอีกด้วย

มลพิษของสีย้อม

สีย้อม เป็นสารเคมีที่สกัดจากน้ำมันปิโตรเลียมหรือถ่านหิน เมื่อน้ำมันปิโตรเลียมหรือถ่านหินผ่านการสกัดจะได้สารไฮโดรคาร์บอนที่ไม่อิ่มตัว เช่น เบนซิน ไซลีน แอนทราซีน โทลูอีน แนฟทาลีน และพาราฟินซึ่งสารไฮโดรคาร์บอนเหล่านี้ จะถูกเปลี่ยนเป็นสีย้อมด้วยเทคนิคต่าง ๆ ซึ่งสีย้อมที่ผลิตขึ้นมามีหลายชนิดขึ้นอยู่กับความเหมาะสมกับเส้นใยและกระบวนการย้อมที่มีลักษณะแตกต่างกันไป สีซึ่งปรากฏออกมาทำให้ตามนุษย์ปกติมองเห็นได้เกิดจาก การเรียงตัวของกลุ่มอะตอมประเภทหนึ่งภายในโมเลกุลของสีย้อม กลุ่มอะตอมที่กล่าวนี้เรียกกันว่า “โครโมฟอร์” ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 7 กลุ่ม คือ กลุ่มไนโตรโซ (Nitroso Group) กลุ่มไนโตร (Nitro Group) กลุ่มอะโซ (Azo Group) กลุ่มเอ็ททิลลีน (Ethylene Group) กลุ่มคาร์บอนิล (Carbonyl Group) กลุ่มคาร์บอนิล–ไนโตรเจน (Carbonyl–Nitrogen Group) และกลุ่มซัลเฟอร์ (Sulphur Group)

สีย้อมเป็นสารที่จัดได้ว่ามีความเป็นพิษต่ำ โดยไม่พบว่ามีอัตราการตายหรือเจ็บป่วยของผู้ที่ทำงานในโรงงานฟอกย้อมสูงกว่าบุคคลอาชีพอื่นแต่อย่างใด สีย้อมอาจเข้าสู่ร่างกายของผู้ใช้ได้ 3 ทางคือ ทางจมูกโดยการสูดดม ทางผิวหนังโดยการสัมผัส และทางระบบทางเดินอาหาร โดยปนเข้าไปกับอาหารการกิน แต่ก็เป็นที่ทราบกันดีว่าสารวัตถุดิบที่ใช้ในการสังเคราะห์สีย้อม มีจำนวนไม่น้อยที่มีความเป็นพิษสูงมากและมีหลายตัวเป็นสารก่อมะเร็ง เช่น 2–naphthylamine และ benzidine เป็นต้น

ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากสีย้อมในน้ำทิ้งจากโรงงาน สามารถสรุปได้ดังนี้ 1) ก่อให้เกิดความไม่สวยงามทางด้านทัศนียภาพ 2) ขัดขวางการเดินทางของแสง ซึ่งจำเป็นต่อการสังเคราะห์แสงของพืชน้ำ 3) ลดอัตราถ่ายเทออกซิเจนจากผิวหน้าสู่แหล่งน้ำ ทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดต่ำลงกระทบต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ 4) มีความเป็นพิษและเป็นสารก่อมะเร็ง

การบำบัดสีย้อมจากน้ำเสีย

กระบวนการในการบำบัดสีย้อมจากน้ำทิ้งโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอนั้นมีที่นิยมใช้ ได้แก่ 1) กระบวนการทางเคมี เช่น วิธีโฟโตแคตตาไลซิส การออกซิเดชั่น 2) กระบวนการทางกายภาพ–เคมี เช่น การดูดซับบนวัสดุอินทรีย์หรืออนินทรีย์ 3) กระบวนการทางชีวภาพ เช่น การย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์หรือเอนไซม์

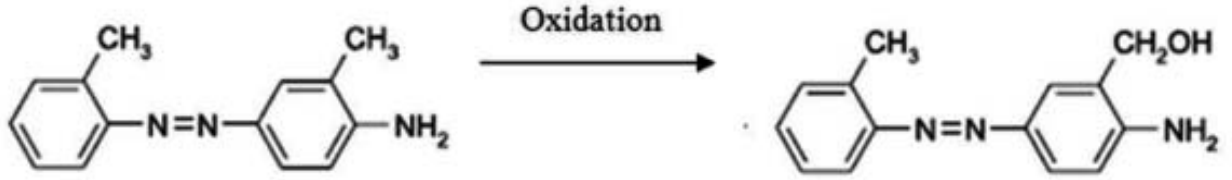
การบำบัดสีย้อมโดยกระบวนการออกซิเดชั่นด้วยสารเคมีและการดูดซับถือได้ว่ามีประสิทธิภาพสูงมากกว่าร้อยละ 95 ตามประเภทของสีย้อม สารเคมี และตัวดูดซับนั้นๆ อย่างไรก็ตามค่าดำเนินการที่ค่อนข้างสูงและการเสื่อมสภาพของ

ตัวดูดซับหรือกากตะกอนเคมีที่ได้จากกระบวนการยังคงถือเป็นปัญหาที่เพิ่มต้นทุนของกระบวนการอยู่ ด้วยเหตุนี้ การบำบัดสีย้อมทางชีวภาพจึงได้รับความสนใจเนื่องด้วยมีค่าดำเนินการและปริมาณกากของเสียที่น้อยกว่า

การบำบัดสีย้อมจากน้ำเสียทางชีวภาพ

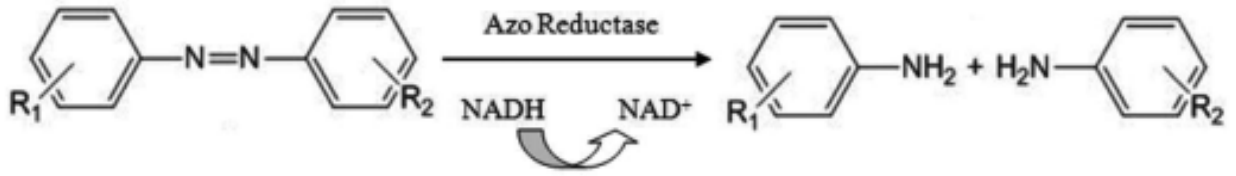
การบำบัดสีย้อมด้วยกระบวนการทางชีวภาพอาศัยการย่อยสลายโมเลกุลของสีย้อมผ้าด้วยจุลินทรีย์ ซึ่งจำแนกได้เป็น 2 รูปแบบด้วยกัน คือ การย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ประเภทใช้อากาศและประเภทไม่ใช้อากาศ

การบำบัดสีย้อมจากน้ำเสียด้วยจุลินทรีย์ประเภทใช้อากาศ ส่วนใหญ่เกิดจากดูดซับทางชีวภาพบนเซลล์จุลินทรีย์ (Biosorption) เนื่องจากสีย้อมเป็นสารเคมีที่ย่อยสลายได้ยากภายใต้กระบวนการทางชีวภาพแบบใช้อากาศ โดยได้มีการศึกษาเปรียบเทียบการกำจัดค่าบีโอดีในน้ำเสีย 2 แหล่งด้วยกระบวนการทางชีวภาพแบบใช้อากาศ พบว่าอัตราการย่อยสลายน้ำเสียที่มีสีย้อมเป็นองค์ประกอบ คิดเป็นร้อยละ 31 ในขณะที่อัตราการย่อยสลายน้ำเสียชุมชนคิดเป็นร้อยละ 92 ในระยะเวลา 10 วันเท่ากัน นอกจากนี้ ได้มีการศึกษาการย่อยสลายของ o–Aminoazotoluene เพื่อศึกษากลไกการย่อยสลายทางชีวภาพของสีย้อมโดยจุลินทรีย์ประเภทใช้อากาศ พบว่าไม่สามารถระบุสารประกอบจากการย่อยสลายได้ พบเพียงปริมาณของสารประกอบเท่านั้น เนื่องจากปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วมาก ผู้ศึกษาจึงได้เสนอว่าการย่อยสลายน่าจะเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่น โดยความน่าจะเป็นของปฏิกิริยาออกซิเดชั่นภายใต้สภาวะใช้อากาศแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ความน่าจะเป็นของการย่อยสลาย o–Aminoazotoluene ภายใต้สภาวะใช้อากาศ

การย่อยสลายสีย้อมด้วยจุลินทรีย์ประเภทไม่ใช้อากาศนั้นได้มีการเสนอแนวคิดของการย่อยสลายสีย้อมภายใต้ภาวะไร้อากาศด้วยจุลินทรีย์ไว้ว่า การย่อยสลายนี้มีความเกี่ยวข้องกับไซโตพลาสมิคเอ็นไซม์ (Cytoplasmic enzyme) เช่น กรณีของการย่อยสลายสีย้อมโครงสร้างอะโซ โดยไซโตพลาสมิคเอ็นไซม์ตัวนี้จะถูกเรียกว่า อะโซรีดักเตส (Azoreductase) โดยจะมีสารประกอบฟลาวิน (Flavin) เช่น FAD ทำหน้าที่เป็นโคเอนไซม์ โดย FAD จะถูกรีดิวซ์ด้วยสาร NADH กลายเป็น FADH2 (Reduce Flavin Nucleotides) ซึ่งจะถ่ายทอดอิเล็กตอนให้กับพันธะอะโซของสีย้อม (R–N=N–R) ส่งผลให้พันธะอะโซแตกออก เกิดการลดลงของสีนั่นเอง ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าการลดลงของสีย้อมในน้ำเสียไม่ใช่การย่อยสลายโดยตัวสีย้อมเป็นสารให้อิเลคตรอนดังเช่นสารอินทรีย์ทั่ว ๆ ไป แต่กลับทำหน้าที่เป็นสารออกซิไดซ์สำหรับ FADH2 ในการเปลี่ยนรูปกลับไปเป็นโคเอนไซม์ FAD ในระบบขนส่งอีเล็คตรอนต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 2



สีย้อมโครงสร้างอะโซ **สารประกอบอะโรมาติก เอมีน**

รูปที่ 2 สมมติฐานกลไกการย่อยสลายสีย้อมโครงสร้างอะโซภายใต้สภาวะไร้อากาศ

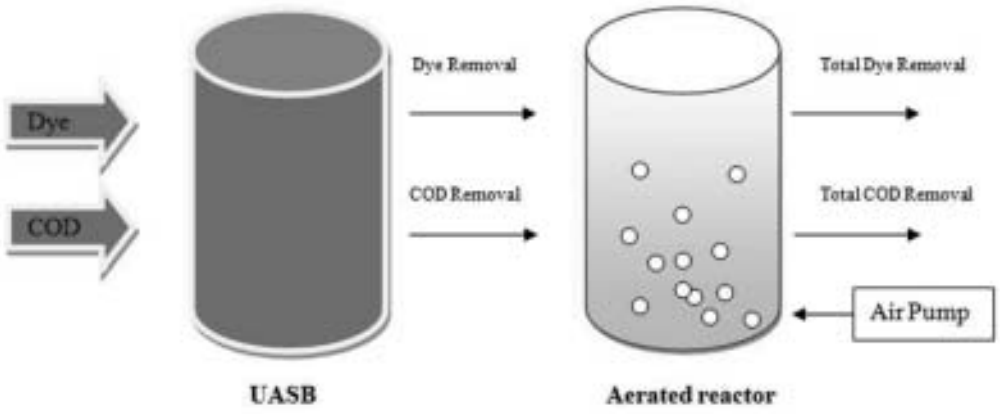
อย่างไรก็ตาม เป็นที่ทราบกันดีว่าสีย้อมเมื่อถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศจะเปลี่ยนรูปเป็นสารประเภทอะโรมาติกเอมีน (Aromatic Amine) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งและมีความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ประเภทไร้อากาศเอง แต่อย่างไรก็ตามสารประเภทอะโรมาติกเอมีนนี้สามารถเปลี่ยนรูปหรือย่อยสลายได้อย่างสมบูรณ์ด้วยจุลินทรีย์ประเภทใช้อากาศ

ด้วยเหตุนี้ แนวคิดการพัฒนาปรับปรุงระบบบำบัดแบบชีวภาพแบบดั้งเดิมจึงเกิดขึ้นบนพื้นฐานของความต้องการกำจัดสีย้อมจากน้ำเสียให้หมดสิ้นหรือเปลี่ยนรูปอย่างสมบูรณ์ ไม่ก่อให้เกิดความเป็นพิษเมื่อปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม

การพัฒนาและปรับปรุงการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบดั้งเดิมเพื่อลดมลพิษจากสีย้อม

จากพื้นฐานความรู้ของการศึกษาวิจัยที่พบว่า สีย้อมถูกย่อยสลายได้อย่างมีประสิทธิภาพภายใต้ภาวะไร้อากาศโดยจุลินทรีย์ประเภทไม่ใช้อากาศ แต่สารเปลี่ยนรูปจากสีย้อมหรือ by product ที่ได้ กลับเป็นสารที่มีพิษทั้งต่อจุลินทรีย์เองและสุขภาพอนามัย อย่างสารก่อมะเร็ง ได้แก่ สารประเภทอะโรมาติก เอมีน (Aromatic Amine) ซึ่งสามารถถูกย่อยสลายได้อย่างสมบูรณ์โดยจุลินทรีย์ประเภทใช้อากาศ จึงทำให้เกิดแนวคิดการบำบัดร่วมกันระหว่างกระบวนการไร้อากาศและใช้อากาศในการบำบัดสีย้อม โดยการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาได้มีการออกแบบกระบวนการบำบัดสีย้อมตามแนวคิดข้างต้นอยู่ 2 ลักษณะด้วยกัน คือ 1) การบำบัดร่วมไร้อากาศและใช้อากาศแบบแยกขั้นตอน (Separated stage Anaerobic–Aerobic process) 2) การบำบัดร่วมไร้อากาศและใช้อากาศแบบถังเดียว (Single stage Anaerobic–Aerobic process)

1. การบำบัดร่วมไร้อากาศและใช้อากาศแบบแยกขั้นตอน (Separated stage Anaerobic–Aerobic process) ในกระบวนการนี้น้ำเสียสีย้อมจะเข้าสู่ระบบหรือกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ เมื่อได้ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียตามค่าการออกแบบที่มีประสิทธิผลแล้ว น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการไร้อากาศจะถูกถ่ายเทสู่ระบบหรือกระบวนการบำบัดเสียแบบใช้อากาศ ดังแสดงในรูปที่ 3

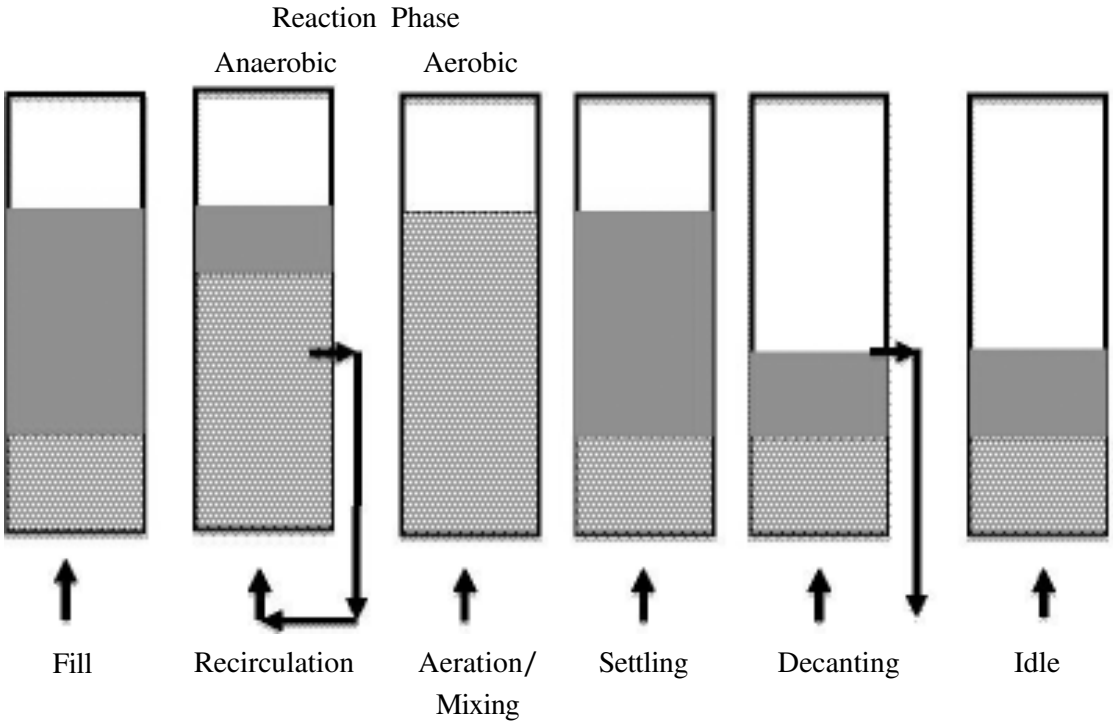


รูปที่ 3 ตัวอย่างการบำบัดร่วมไร้อากาศและใช้อากาศแบบแยกขั้นตอน
ที่มา: อ้างอิงตาม Amaral F.M. และคณะ

โดยมีการศึกษาการใช้ระบบระบบชั้นตะกอนจุลินทรีย์ไร้อากาศแบบไหลขึ้นหรือยูเอเอสบี (Upflow anaerobic sludge blanket; UASB) ร่วมกับระบบตะกอนเร่ง (Activated sludge; AS) พบว่า สีย้อมลดลงร้อยละ 90–95 และหลงเหลือสารอะโรมาติกเอมีนในรูปของซีโอดี ซึ่งถูกกำจัดด้วย AS ร้อยละ 85–90

กระบวนการการบำบัดร่วมระหว่างระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศและใช้อากาศนี้ มีข้อดีที่สามารถบำบัดสีย้อมได้อย่างสมบูรณ์ แต่มีข้อเสียเปรียบ เช่น ต้องการพื้นที่ขนาดใหญ่เพราะต้องเดินระบบบำบัดน้ำเสียถึงสองระบบในเวลาเดียวกัน หากเดิมมีระบบบำบัดแบบใช้อากาศ จำเป็นต้องก่อสร้างเพิ่มเติมในส่วนของระบบบำบัดแบบไร้อากาศ นอกจากนี้ยังต้องการการกำจัดกากตะกอนน้ำเสีย และการเดินควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสียค่อนข้างยุ่งยากซับซ้อน

2. การบำบัดร่วมไร้อากาศและใช้อากาศแบบถังเดียว (Single stage Anaerobic–Aerobic process) จากข้อเสียเปรียบของการบำบัดร่วมระหว่างระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศและใช้อากาศ ส่งผลให้ระบบบำบัดแบบถังเทชีวภาพ (Sequencing Batch Reactor; SBR) ได้รับความสนใจนำมาศึกษาวิจัยเพื่อช่วยบำบัดสีย้อมอย่างสมบูรณ์ ด้วยข้อได้เปรียบที่ SBR ใช้พื้นที่น้อยกว่า การควบคุมดูแลรักษาง่าย มีความยืดหยุ่นในการปรับสภาวะช่วงทำปฏิกิริยา ค่าใช้จ่ายในการกำจัดกากตะกอนต่ำกว่าระบบ AS อาจไม่จำเป็นต้องก่อสร้างระบบบำบัดขึ้นใหม่เนื่องจากสามารถปรับใช้จากระบบ AS ที่มีอยู่แล้วได้ รูปแบบการทำงานของ การบำบัดด้วยถังเทชีวภาพภายใต้สภาวะไร้อากาศและใช้อากาศ แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ตัวอย่างขั้นตอนการบำบัดร่วมไร้อากาศและใช้อากาศแบบถังเดียว
ที่มา: Khalida Muda และคณะ

น้ำเสียสีย้อมจะถูกสูบเข้าระบบ SBR โดยมีการกวนผสมอยู่ตลอดเวลาแต่ไม่มีการเติมอากาศ เนื่องจากมีการปรับสภาพให้เป็นแบบไร้อากาศเพื่อให้เกิดการกำจัดสีย้อม จากนั้นเมื่อระยะเวลากักเก็บน้ำเสียในสภาวะไร้อากาศเพียงพอแล้ว จะมีการเติมอากาศเข้าสู่ระบบบำบัดเพื่อให้เกิดสภาวะใช้อากาศในการบำบัดสารเปลี่ยนรูปจากสีย้อม เช่น สารประเภทอะโรมาติก เอมีน จากนั้นระบบจะถูกทิ้งให้เกิดการตกตะกอนของจุลินทรีย์และสูบน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วออกในที่สุด โดยทุกขั้นตอนที่กล่าวมาจะเกิดขึ้นในถังปฏิกิริยาหรือถังบำบัดเพียงถังเดียว

มีการศึกษาวิจัยด้วยการใช้ Anaerobic–Aerobic Sequencing Batch Reactor (A/A SBR) ในการบำบัดสีย้อมโครงสร้างต่าง ๆ พบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดสีย้อมได้อยู่ในช่วงร้อยละ 32–77 ตามแต่ชนิดของโครงสร้างสี ความเข้มข้นของสีย้อม ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียและสารอาหารจุลินทรีย์ที่ใช้ในการศึกษา

ตารางที่ 1 ได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสีย้อมโดยการบำบัดร่วมไร้อากาศและใช้อากาศแบบแยกขั้นตอนและถังเดียว จะเห็นได้ว่า ความสามารถในการบำบัดสีย้อมของกระบวนการบำบัดร่วมไร้อากาศและใช้อากาศอยู่ในเกณฑ์ที่ดี โดยเฉพาะกระบวนการแบบถังเดียวที่ดูจะมีข้อได้เปรียบหลาย ๆ อย่าง อย่างไรก็ตาม มีงานวิจัยบางชิ้นชี้ให้เห็นว่ากระบวนการบำบัดร่วมไร้อากาศและใช้อากาศแบบถังเดียวไม่สามารถกำจัดสารอะโรมาติกเอมีนบางตัวได้อย่างสมบูรณ์ในช่วงสภาวะเติมอากาศ

ตารางที่ 1 ร้อยละการบำบัดสีด้วยการบำบัดร่วมไร้อากาศและใช้อากาศแบบแยกขั้นตอนและแบบถังเดียว

กระบวนการ	การดำเนินการ	ค่าความเข้มข้นสีน้ำเสีย (มก./ล.)	ร้อยละการบำบัดสี
การบำบัดร่วมไร้อากาศและใช้อากาศแบบแยกขั้นตอน	UASB + AS	450	75
	Anaerobic pack column+AS	50-400	60-80
การบำบัดร่วมไร้อากาศและใช้อากาศแบบถังเดียว	Anaerobic-aerobic SBR	100	58
	Anaerobic-aerobic SBR	533	> 90

บทสรุป

การบำบัดสีย้อมจากน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอด้วยวิธีทางชีวภาพ จำเป็นต้องอาศัยจุลินทรีย์ประเภทไม่ใช้อากาศและใช้อากาศ ทำงานร่วมกันเพื่อให้เกิดการเปลี่ยนรูปของสีย้อมไปอยู่ในรูปที่ไม่มีพิษต่อสุขภาพและสิ่งมีชีวิตในสิ่งแวดล้อม ซึ่งการทำงานร่วมกันของจุลินทรีย์ทั้งสองประเภทนี้ถูกออกแบบให้อยู่ภายใต้กระบวนร่วมแบบไร้อากาศและใช้อากาศแบบแยกขั้นตอนหรือถังเดียว โดยทั้งสองกระบวนการบำบัดนี้มีข้อได้เปรียบและเสียเปรียบต่างกันออกไปทั้งในแง่ประสิทธิภาพในการบำบัดสีย้อม การลดความเป็นพิษของสีย้อม พื้นที่ที่ต้องการ ค่าก่อสร้างและดำเนินการ มากไปกว่านั้น หากมุ่งเน้นเพื่อการลดมลพิษจากสีย้อมอย่างจริงจัง ควรพิจารณาถึงความสามารถในการกำจัดสารประเภทอะโรมาติก เอมีน ที่เป็นผลผลิตจากการย่อยสลายสีย้อมด้วยจุลินทรีย์ประเภทไม่ใช้อากาศ ซึ่งดูเหมือนผลการศึกษาวิจัยกระบวนร่วมแบบไร้อากาศและใช้อากาศแบบแยกขั้นตอน จะชี้ว่ากระบวนการนี้เหมาะสมด้วยศักยภาพในการกำจัดสารประเภทอะโรมาติก เอมีน อย่างไรก็ตาม การพัฒนาปรับปรุงศักยภาพของกระบวนร่วมแบบไร้อากาศและใช้อากาศแบบถังเดียวในการกำจัดสารประเภทอะโรมาติก เอมีน ควรได้รับการศึกษาวิจัยเพิ่มเติม อาทิเช่น การเพิ่มการเติมอากาศ หรือการใช้สารหรือวัสดุดูดซับสารพิษ เป็นต้น นอกจากนี้ ปัจจัยพื้นฐานในการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียเป็นสิ่งไม่สามารถมองข้ามไปได้ เช่น ค่าอายุตะกอน ค่าการเก็บกักน้ำเสีย ค่าของสีย้อมในน้ำเสีย และสารอาหารส่งเสริมการย่อยสลายสีย้อม เป็นต้น อันจะนำไปสู่การเพิ่มศักยภาพของกระบวนการบำบัดสีย้อมด้วยจุลินทรีย์ในอนาคตต่อไป

เอกสารอ้างอิง

Abrahart, E.N., 1977, **Dye and Their Intermediates**, Pergamon Press Ltd., pp. 13-31, 185-192.

Bell, J., Plumb, J.J., Buckley, C.A. and Stuckey, D.C., 2000, "Treatment and Decolorization of Dyes in an Anaerobic Baffled Reactor", **Journal of Environmental Engineering**, Vol. 126, No. 21, pp. 1026-1032.

Bromley- Challenor, K.C.A., Knapp, J.S., Zhang, Z., Gray, N.G., Hetheridge, M.J. and Evans, M.R., 2000, " Decolorization of Azo Dye by Unacclimated Activated Sludge under Anaerobic Condition", **Water Research**, Vol. 34, No.8, pp. 4410-4418.

Ekici, P., Leupold, G. and Parlar, H., 2001, "Degradability of Selected Azo dye Metabolites in Activated Sludge System", Chemophere, Vol. 44, pp. 721-728.

Field, J.A., Stams, A.J.M., Kato, M. and Schraa, G., 1995, "Enhanced Biodegradation of Aromatic Pollutants in Co-Cultures of Anaerobic and Anaerobic Bacterial Consortia", **Antonic Van Leeuwenhock 67**, pp. 47-77.

F.M. Amaral , M.T. Kato , L. Florncio , S. Gavazza, 2014, Color, organic matter and sulfate removal from textile effluents by anaerobic and aerobic processes, Bioresource Technology, Vol. 163, pp. 364-369.

Kapdan, I.K. and R. Oztekin, 2006, "The Effect of Hydraulic Residence Time and Initial COD Concentration on Color and COD Removal Performance of the Anaerobic- Aerobic SBR", **Journal of Hazardous Materials**, Accepted.

Kapdan, I.K., Tekol, M. and Sengul, F., 2003, "Decolorization of Simulated Textile Wastewater in an Anaerobic-Aerobic sequential Treatment System", **Process Biochemistry**, Vol. 38, No. 7, pp. 1031-1037.

Khalida Muda, Azmi Aris, Mohd Razman Salim and Zaharah Ibrahim. **Sequential Anaerobic-Aerobic Phase Strategy Using Microbial Granular Sludge for Textile Wastewater Treatment** (Online). Available from: http://www.intechopen.com/books/biomass-now-sustainable-growth-and-use/sequential-anaerobic-aerobic-phase-strategy-using-microbial-granular-sludge-for-textile-wastewater-t

Luangdilok, W. and Panswad, T., 2000, "Effect of Chemical Structures of Reactive Dyes on Color Removal by an Anaerobic-Aerobic Process", **Water Science and Technology**, Vol. 42, No. 3-4, pp. 377-382.

O'Neill, C., Hawkes, F.R., Hawkes, D.L.,Esteves, S. and Wilcox S.J.,1999, "Anaerobic-Aerobic Treatment of Simulated Textile Effluent", **Chemical Technology Biotechnology**, Vol. 74, No. 8, pp. 993-999.

O'Neill, C., D.L. Hawkes, S. Esteves and S.J. Wilcox, 2000, "Anaerobic-Aerobic Biotreatment of Simulated Textile Effluent Containing Varied Ratios of Starch and Azo Dye", **Water Research**, Vol.34, No.8, pp. 2355-2361.

Pasukaphun, N., Vinitnantharat, S. 2003. "Degradation of organic substances and reactive dye in an immobilized-cell sequencing batch reactor operation on simulated textile waste water". **Journal of Environmental Science and Health Part A-Toxic / -substances & Environmental Engineering** A38, 10, pp. 2019-2028

Pierce, J., 1994, "Colour in Textile Effluents-the Origins of the Problem", **Journal of the Society of Dyers and Colourists**, Vol. 110, No. 4, pp. 131-133.

Ramakrishna, K.R. and Viraraghavan, T., 1997, "Dye Removal Using Low Cost Adsorbents", **Water Science and Technology**, Vol.36, No. 2-3, pp. 189-196.

Shaw, C.B., Carliell, C.M. and Wheatley, A.D., 2002, "Anaerobic/Aerobic Treatment of Coloured Textile Effluents Using Sequencing Batch Reactors", **Water Research**, Vol. 36, No. 8, pp. 1993-2002.

Slokar, Y.M. and Majcen, L.M.A., 1998, "Methods of Decolorization of Textile Wastewaters", **Dyes and Pigments**, Vol. 37, No. 4, pp. 335-356.

Supak, N., Juntongjin, K., Damronglerd, S., Dlia, M-L, Strehaiano, P. 2004. "Microbial decolorization of reactive azo dyes in a sequential anaerobic - aerobic system". **Chemical Engineering Journal**, pp. 169-176.

Water, B.D., 1995, "The Regulator's View in Colour in Dyehourse Effluent", **Journal of the Society of Dyers and Colourists**, the Alden Presss, Oxford.

Yoo, E.S., Libra, J. and Adrian, L., 2001, "Mechanism of Decolorization of Azo Dyes in Anaerobic Mixed Culture", **Journal of Environmental Engineering**, Vol. 127, No. 9, pp. 844-849.

ร.อ.หญิง รัชนีย์ รุกขชาติ. สีย้อมและการบำบัดสีย้อมในน้ำทิ้ง(ออนไลน์) http://www.navy.mi.th/science/BrithDay46/Brithday_data/biology.htm

กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, 2542, สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน, **คู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรมฟอกย้อม**, กรุงเทพฯ.

สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย, 2544, **คู่มือการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานทอ ผ้าและฟอกย้อม**, กรุงเทพฯ.