การกำจัดสีและความเป็นพิษของสีย้อมรีแอคทีฟในน้ำเสียโดยใช้ระบบบำบัดต่อเนื่องแบบไม่ใช้อากาศและใช้อากาศ

Decolorization and Toxicity of Reactive Dye Wastewater Using an Anaerobic/Aerobic Sequential Treatment System

สุนันทา เลาวัณย์ศิริ[1]

Sunantha Laowansiri[1]

บทคัดย่อ

ศึกษาความเป็นพิษของน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้สีย้อม C.I. reactive red 141 (RR 141) ที่ความเข้มข้น 200 มิลลิกรัม/ลิตร และแหล่งคาร์บอนจาก Modified starch ที่ความเข้มข้น 1,200 มิลลิกรัมซีโอดี/ลิตร เริ่มต้นเดินระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ (An) ตามด้วยระบบแบบเติมอากาศ (An-Ae) และระบบบำบัดโดยจุลินทรีย์แบบใช้อากาศ (An-Micro) ที่เวลา 1, 6, 13 และ 18 วัน โดยนำน้ำเสียก่อนบำบัด และน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแบบ An-Ae และ An-Micro มาทดสอบประสิทธิภาพการกำจัดสี ค่าความเป็นพิษของสี ซีโอดี ทีเคเอ็น และแอมโมเนียไนโตรเจน ต่อปลาตะเพียนขาว ผลการทดลองพบว่าร้อยละการกำจัดสีในระบบ An-Micro สูงสุด มีค่าเท่ากับร้อยละ 92.1 ในวันที่ 18 ของการบำบัด ร้อยละการกำจัดซีโอดีสูงขึ้นตามระยะเวลาการบำบัด โดยในวันที่ 18 พบว่ากำจัดซีโอดีในระบบ An-Micro มีค่าสูงสุดเท่ากับร้อยละ 97.0 ระบบ An-Ae มีปริมาณทีเคเอ็นและแอมโมเนียไนโตรเจนเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบำบัด ในขณะที่ระบบ An-Micro ปริมาณทีเคเอ็นและแอมโมเนียไนโตรเจนลดลงตามระยะเวลาการบำบัด จากการศึกษาความเป็นพิษของน้ำเสียสังเคราะห์สีย้อมรีแอคทีฟ พบว่าระบบ An-Ae มีค่า LC_{50} สูงกว่า An-Micro แสดงว่า An-Micro มีความเป็นพิษสูงกว่า An-Ae แม้ว่าระบบ An-Micro มีประประสิทธิภาพในการบำบัดดีที่สุดและผ่านการบำบัดโดยจุลินทรีย์แบบใช้อากาศ ก็ไม่สามารถลดค่าความเป็นพิษที่เกิดจาก Intermediate ของการย่อยสลายสีและแหล่งคาร์บอนได้ดี

คำสำคัญ: ระบบบำบัดแบบใช้อากาศ ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ การเติมอากาศ สีรีแอคทีฟ LC_{50}

ว วิทย เทคโน มมส 2553;29(3):274-281

Abstract

The aim of this research was to study the toxicity of synthetic wastewater by C.I. reactive red 141 with 200 mg/l concentration, and modified starch concentration as a carbon source at 1,200 mg COD/l. Startup system as anaerobic treatment (An) followed aeration (An-Ae) and aerobic treatment (An-Micro) at 1, 6, 13 and 18 days, respectively. After that, influent wastewater, An-Ae and An-Micro wastewater treatment systems were analyzed for efficiency removal test of color, COD, TKN and ammonia-nitrogen by common Silver Bart. Results revealed that An-Micro had the highest color removal at 92.1 % at 18 days treated. The percentage of COD removal was increased

[1] *อาจารย์ คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม 44000*

[1] *Lecturer, Faculty of Environment and Resource Studies, Mahasarakham University, Meung District, Maha Sarakham 44000, Thailand. E-mail: sunantha18@yahoo.com,* *Received: 10 June 2009; Accepted: 15 August 2009.*

according to time of treatment process. It found that the highest COD removal was 97.0 % by An-Micro on the 18 days. The TKN and ammonia-nitrogen of An-Ae was continuously increased during treatment period. Meanwhile, TKN and ammonia-nitrogen of An-Micro was continuously decreased during treatment period. Toxicity of synthesis wastewater reactive dye in An-Ae was higher LC_{50} than An-Micro. Even though, An-micro had highest treatment efficiency but it is capacity to detoxify the intermediate of dye and carbon source from biodegradation was not satisfactory.

Keywords: aeration, aerobic treatmen, anaerobic treatmen, reactive dye, LC_{50}

J Sci Technol MSU 2010;29(3):274-281

บทนำ

ประเทศไทยมีการขยายตัวทางอุตสาหกรรมสิ่งทออย่างรวดเร็ว โดยในโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อมสิ่งทอมีการใช้สีย้อมในกระบวนการผลิต ซึ่งพบว่าสีย้อมเป็นสีย้อม C.I. reactive red 141 เป็นสีที่มีโครงสร้างทางเคมีขนาดใหญ่ กำจัดได้ยาก[1,2] สามารถละลายน้ำได้และใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมฟอกย้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับการย้อมผ้าฝ้าย[3,4] ซึ่งปกติภายหลังการย้อม มักมีปริมาณสีย้อมหลงเหลืออยู่ในน้ำย้อมประมาณร้อยละ 50 ของปริมาณสีที่ใช้ย้อม ซึ่งจะส่งผลให้น้ำทิ้งมีการปนเปื้อนด้วยสารละลายสีย้อม และเมื่อถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติจะทำให้เกิดผลเสียตามมา คือ ทำให้เกิดความไม่สวยงามทางด้านทัศนียภาพ สีย้อมเป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยากและแขวนลอยในแหล่งน้ำทำให้ออกซิเจนละลายน้ำลดลง เพราะจุลินทรีย์ในน้ำจะใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์เหล่านี้ และอาจทำให้เกิดปัญหาน้ำเน่าเสียตามมาได้ นอกจากนี้สีย้อมยังกั้นหรือขวางการเดินทางของแสงแดดไม่ให้ส่องลงใต้น้ำ ซึ่งจะเป็นผลทำให้การผลิตก๊าซออกซิเจนของพืชน้ำลดลง และส่งผลกระทบต่อสภาวะของแหล่งน้ำ ทำให้ไม่เหมาะต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ ดังนั้นน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมก่อนปล่อยออกจากโรงงานต้องผ่านระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อทำการกำจัดสารต่าง ๆ รวมทั้งสีที่ตกค้างก่อนที่จะปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อม นอกจากนี้สีย้อมบางชนิดยังมีความเป็นพิษโดยตรงต่อสิ่งมีชีวิต

ในช่วง 2 - 3 ปีที่ผ่านมาได้มีการศึกษาการใช้กระบวนการทางชีววิทยาในการกำจัดสารอินทรีย์และสีมากขึ้น เนื่องจากเป็นกระบวนการที่มีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าการใช้วิธีทางเคมีหรือกายภาพ และเป็นระบบที่สามารถกำจัดสารอินทรีย์พร้อมกับการกำจัดสีได้ โดยพบว่ากระบวนการทางชีววิทยาแบบไม่ใช้อากาศสามารถกำจัดสีได้ดี[1,2,5,6] เป็นระบบที่นิยมใช้กำจัดน้ำเสียที่มีพิษหรือกำจัดได้ยากและมีประสิทธิภาพในการบำบัดสีค่อนข้างสูง เมื่อเปรียบเทียบกับระบบใช้อากาศ แต่ระบบบำบัดไม่ใช้อากาศ ก่อให้เกิดผลกระทบในเรื่องกลิ่น และสารประกอบเอมีน (asmine) ซึ่งสารดังกล่าวสามารถบำบัดได้โดยกระบวนการบำบัดแบบใช้อากาศ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์สีย้อม RR 141 ด้วยระบบบำบัดแบบจุลินทรีย์ไม่ใช้อากาศ (An) ตามด้วยระบบแบบให้อากาศ (An-Ae) และระบบ จุลินทรีย์ใช้อากาศ (An-Micro) และศึกษาความเป็นพิษของน้ำเสียสังเคราะห์สีย้อม RR 141 ที่ผ่านการบำบัดแบบ An ตามด้วยระบบแบบ An-Ae และระบบบำบัดแบบ An-Micro โดยใช้ปลาตะเพียน โดยศึกษาความเข้มข้นที่ทำให้ปลาตะเพียนตายไป 50% (LC_{50}) ที่เวลา 14 ชั่วโมง ผลการทดลองสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับน้ำเสียจริงจากโรงงานฟอกย้อมและเป็นประโยชน์ต่อการประเมินค่าความเป็นพิษของน้ำเสียสีย้อมก่อนปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อมได้

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพและความเป็นพิษของน้ำเสียสังเคราะห์สีย้อม RR 141 ที่ผ่านการบำบัดแบบจุลินทรีย์ไม่ใช้อากาศตามด้วยแบบให้อากาศและจุลินทรีย์ใช้อากาศโดยใช้ปลาตะเพียน ซึ่งมีวัสดุ อุปกรณ์และวิธีการศึกษา ดังนี้

น้ำเสียสังเคราะห์

น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการวิจัยเป็นน้ำเสียสังเคราะห์สีย้อม RR 141 ที่เลียนแบบน้ำเสียจริง โดยมีสารอาหารและแร่ธาตุต่าง ๆ อ้างอิงโดย Manu และ Chaudhari[7] (มิลลิกรัม/ลิตร) ได้แก่ NaCl 150, $(NH_4)2SO_4$ 280, NH_4Cl 230, Na_2HPO_4 380, $Na_3HPO_4.12H_2O$ 123, $MgSO_4.7H_2O$ 5, $FeCl_2.4H_2O$ 6, $CoCl_2.6H_2O$ 0.88, H_3BO_3 0.1 $ZnSO_4.7H_2O$ 0.1, $CuSO_4.5H_2O$ 0.05, $NiSO_4.6H_2O$ 1, $MnCl_2.4H_2O$ 5, $(NH_4)6Mo_7O_{24}.4H_2O$ 0.64, $CaCl_2.2H_2O$ 5, $NaHCO_3$1500, Modified starch (carbon source) 1200, RR 141 (200) ปรับค่า pH ของน้ำเสียให้ได้ 7.00±0.02 ด้วยกรดซัลฟูริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์

ตะกอนจุลินทรีย์ (sludge)

ตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์สีย้อม RR 141 ในระบบ An เป็นตะกอนจุลินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศ ซึ่งนำมาจากโรงฆ่าสัตว์จังหวัดมหาสารคาม ส่วนตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศในระบบ An-Micro นำมาจากระบบเอเอส (activated sludge) ของโรงพยาบาลมหาสารคาม

การปรับสภาพจุลินทรีย์

การปรับสภาพจุลินทรีย์เป็นการทำให้จุลินทรีย์คุ้นเคยกับน้ำเสียสังเคราะห์สีย้อม RR 141 ที่ใช้ในการทดลอง โดยนำตะกอนจุลินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศ และใช้อากาศ มาเลี้ยงในถังขนาด 120 ลิตร ใช้ตะกอนจุลินทรีย์ 1 ส่วนต่อน้ำ 2 ส่วน โดยในระยะเริ่มต้นเติมน้ำเสียสังเคราะห์สีย้อม RR 141 ลงไปจากที่ความเข้มข้นน้อยจนกระทั่งถึงความเข้มข้น 100 %

สิ่งมีชีวิตที่ใช้ทดสอบความเป็นพิษ

สิ่งมีชีวิตที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือปลาตะเพียนขาว เนื่องจากเป็นปลาที่เลี้ยงง่ายโตเร็ว จัดอยู่ในกลุ่มปลากินพืช อยู่รวมกันเป็นฝูง ชอบอยู่ในแหล่งน้ำที่มีคุณภาพดี เมื่อน้ำเสียปลาตะเพียนจะตายก่อนปลาชนิดอื่น ๆ ดังนั้นปลาตะเพียนขาวจึงเป็นสิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่งที่นิยมนำมาใช้ในการทดสอบพิษเฉียบ โดยงานวิจัยนี้ใช้ปลาตะเพียนขาวขนาดความยาวเฉลี่ย 3-4 เซนติเมตร อายุ 2 เดือน นำมาจากร้านจำหน่ายและเพาะพันธุ์ปลา อำเภอโกสุมพิสัย จังหวัดมหาสารคาม โดยทำการทดลองเลี้ยงแบบ Batch ในตู้ปลา

ขั้นตอนดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นที่ 1 ศึกษาประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์สีย้อม RR 141 ด้วยระบบบำบัด An ตามด้วยระบบ An-Ae และระบบ An-Micro โดยใส่น้ำเสียสังเคราะห์สีย้อม RR 141 ปริมาตร 100 ลิตร ลงในถังปฏิกรณ์ระบบ An ที่มีตะกอนจุลินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศ (MLSS) 1.9 กรัม/ลิตร หลังจากนั้นนำน้ำส่วนใสที่ผ่านการบำบัดจากถังปฏิกรณ์ระบบ An ปริมาตร 80 ลิตร แบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนละ 40 ลิตร โดยส่วนแรกนำไปบำบัดต่อด้วยระบบ An-Ae ส่วนที่สองนำไปบำบัดต่อด้วยระบบ An-Micro โดยในระบบ An-Ae นำไปเติมอากาศอย่างเดียว (ไม่มีจุลินทรีย์แบบใช้อากาศ) เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ส่วนถังปฏิกรณ์ระบบ An-Micro ใส่ตะกอน จุลินทรีย์แบบใช้อากาศ (MLSS) 1.3 กรัม/ลิตร แล้วเติมอากาศ 6 ชั่วโมง โดยเก็บน้ำเสียในวันที่ 1, 6, 13, และ 18 นำน้ำเสียสังเคราะห์สีย้อม RR 141 ไปวิเคราะห์ สี, COD, TKN, NH3-N, pH, VFA, Alkalinity และ SS ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาความเป็นพิษของน้ำเสียสังเคราะห์สีย้อม RR 141 ก่อนเข้าระบบ (influent) ระบบ An-Ae และระบบ An-Micro ในวันที่ 6 และ 18 เจือจางน้ำเสีย 0 (ไม่เจือจาง), 2, 5, 10, 20 เท่า และชุดควบคุม คือ 100 เท่า (น้ำกลั่น) ปริมาตร 12 ลิตร ตู้เลี้ยงปลาทำจากกระจกทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 20×40×25 เซนติเมตร โดยใช้ปลาตะเพียนขาว 10 ตัว/ตู้เลี้ยงปลา ให้อากาศตลอดเวลา ระหว่างการทดลองไม่ให้อาหารปลา ทำการทดลอง 2 ซ้ำ นับอัตราการตายของปลา ที่เวลา 14 ชั่วโมง เพื่อคำนวณค่า LC_{50}

วิธีวิเคราะห์

การวิเคราะห์ ซีโอดี ทีเคเอ็น แอมโมเนียไนโตรเจน กรดไขมันระเหยง่าย (volatile fatty acid, VFA) ความเป็นด่าง (alkalinity) และตะกอนแขวนลอย (suspended solids, SS) ใช้วิธีวิเคราะห์ตามหนังสือมาตรฐานอเมริกา Standard methods for the examination of water and wastewater[8] และคู่มือวิเคราะห์น้ำเสียสมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมไทย[9] การวัด pH ด้วยเครื่อง pH meter รุ่น C532 (Belgium) การวัดสีในรูปค่าการดูดกลืนด้วยเครื่อง UV/VIS Spectrophotometer รุ่น Uvi Light XTD5 – SECOMAM (France) ในหน่วย SU

ผลการศึกษาและวิจารณ์

1. ประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์สีย้อม RR 141

ศึกษาประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์สีย้อม RR 141 ด้วยระบบบำบัด An ตามด้วยแบบ An-Ae และ An-Micro โดย influent คือ น้ำเสียก่อนเข้าระบบ, An คือ ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ, An-Ae คือ ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศตามด้วยการเติมอากาศ และ An-Micro คือ ระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศตามด้วยระบบบำบัดแบบใช้อากาศที่มีตะกอน จุลินทรีย์

1.1 ประสิทธิภาพการกำจัดสี

Figure 1 แสดงร้อยละการกำจัดสีในระบบ An ตามด้วย An-Ae และ An-Micro โดยน้ำเสียสังเคราะห์ก่อนเข้าระบบบำบัด (influent) มีความเข้มข้น 200 มิลลิกรัม/ลิตร หลังจากผ่านการบำบัดวันที่ 1, 6, 13 และ 18 พบว่าการกำจัดสีเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการบำบัดเพิ่มมากขึ้น[1,5,6] โดยการบำบัดในระบบ An ในวันที่ 1, 6, 13 และ 18 พบว่าการกำจัดสีเท่ากับร้อยละ 1.4, 53.8, 79.9 และ 88.9 ตามลำดับ การกำจัดสีในระบบ An-Ae เท่ากับร้อยละ 4.3, 58.7, 85.1 และ 90.8 ในวันที่ 1, 6, 13 และ 18 ตามลำดับ การกำจัดสีในระบบ An-Micro เท่ากับร้อยละ 50.1, 79.9, 90.0 และ 92.1 ในวันที่ 1, 6, 13 และ 18 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าระบบ An-Micro มีร้อยละการกำจัดสีสูงสุด โดยมีร้อยละการกำจัดสีดีกว่าระบบ An-Ae และ An ตามลำดับ เนื่องจากในระบบ An-Micro มีการย่อยสลายสีโดยจุลินทรีย์แบบใช้อากาศ ในขณะที่ระบบ An-Ae มีการเติมอากาศเพียงอย่างเดียว ส่วนการบำบัดระบบ An มีร้อยละการกำจัดสีน้อยกว่า An-Ae และ An-Micro เนื่องจากเป็นระบบบำบัดขั้นต้นก่อนเข้าระบบ An-Ae และ An-Micro จึงส่งผลให้บำบัดสีได้น้อย ซึ่งการบำบัดสีในวันที่ 18 ของทั้ง 3 ระบบจะมีประสิทธิภาพการกำจัดสีที่ใกล้เคียงกัน

1.2 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

การศึกษาร้อยละการกำจัดซีโอดีดัง Figure 2 พบว่าเมื่อเวลาในการบำบัดเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ร้อยละการกำจัดซีโอดีเพิ่มสูงขึ้น[1,2,6] โดยพบว่าระบบ An-Micro มีร้อยละการกำจัดซีโอดีมากกว่า An-Ae และ An ตามลำดับ เนื่องจากระบบ An-Micro บำบัดโดยใช้ตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศ ซึ่งจุลินทรีย์สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดี

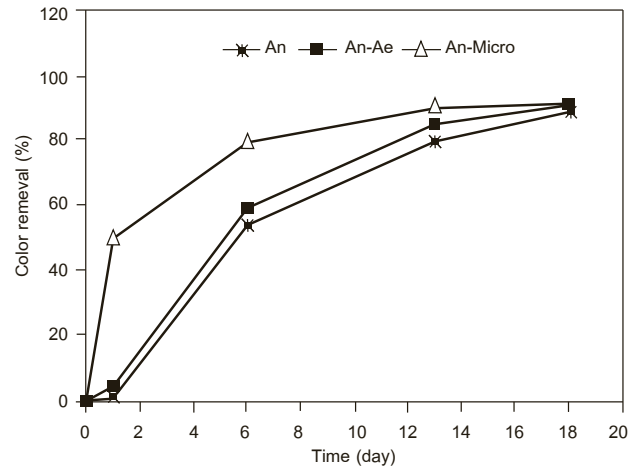

Figure 1 Percentage color removals of An, An-Ae and A n-Micro

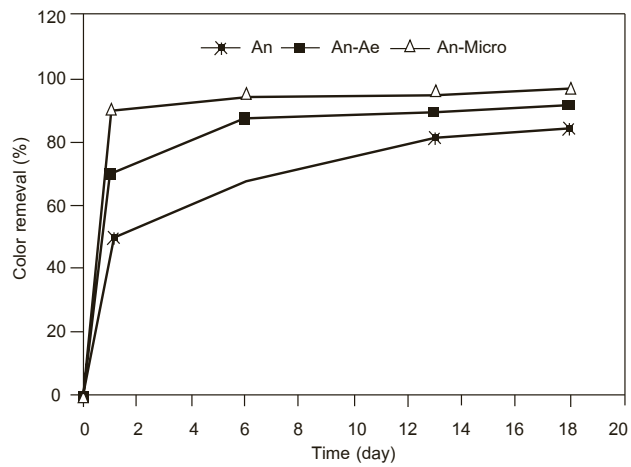

Figure 2 Percentage COD removals of An, An-Ae and An-Micro

จึงส่งผลให้กำจัดซีโอดีได้เป็นอย่างดี[10] ในขณะที่ระบบ An-Ae มีการเติมอากาศเพียงอย่างเดียว จึงส่งผลให้ค่าซีโอดีลดลงน้อยกว่าระบบ An-Micro ส่วนการบำบัดระบบ An พบว่ามีร้อยละการกำจัดซีโอดีน้อยกว่า An-Ae และ An-Micro เนื่องจากเป็นระบบบำบัดขั้นต้นก่อนเข้าระบบ An-Ae และ An-Micro จึงส่งผลให้บำบัดซีโอดีได้น้อย โดยที่ระยะเวลาบำบัดวันที่ 18 มีประสิทธิภาพการกำจัด ซีโอดีสูงสุด โดยระบบ An, An-Ae และ An-Micro สามารถกำจัดซีโอดีเท่ากับร้อยละ 84.5, 91.2 และ 97.0 ตามลำดับ

1.3 ไนโตรเจน

การศึกษาปริมาณทีเคเอ็นและแอมโมเนียไนโตรเจนดัง Figure 3 พบว่า น้ำเสียก่อนเข้าระบบมีปริมาณ ทีเคเอ็น

เท่ากับ 146.4 มิลลิกรัม/ลิตร โดยระบบ An ในวันที่ 1, 6, 13 และ 18 ปริมาณทีเคเอ็นจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาบำบัดที่มากขึ้น (Figure 3 (A)) โดยมีค่าเท่ากับ 117.6, 129.1, 141.1 และ 144.5 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ เนื่องจากเกิดการย่อยสลายแหล่งคาร์บอนและสีในสภาวะไม่ใช้อากาศ จึงทำให้เกิดการสะสม Intermediate ส่งผลให้ทีเคเอ็นเพิ่มขึ้น

ส่วนระบบ An-Ae พบว่าปริมาณทีเคเอ็นเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาบำบัดที่มากขึ้น เนื่องมาจากเกิดการสะสมของ Intermediate ที่ไม่สามารถกำจัดในการเติมอากาศเพียงอย่างเดียว โดยระบบ An-Ae มีปริมาณทีเคเอ็นเท่ากับ 132.7, 142.8, 143.6 และ 145.2 มิลลิกรัม/ลิตร ในวันที่ 1, 6, 13 และ 18 ตามลำดับ ในขณะที่ระบบ An-Micro มีปริมาณทีเคเอ็นลดลงตามระยะเวลาในการบำบัดที่มากขึ้น โดยมีค่าเท่ากับ 105.3, 101.4, 93.2 และ 81.8 มิลลิกรัม/ลิตร ในวันที่ 1, 6, 13 และ 18 ตามลำดับ เนื่องจากจุลินทรีย์ในระบบใช้อากาศสามารถใช้ไนโตรเจนในการสร้างเซลล์[11,12]

เมื่อศึกษาปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน (Figure 3 (B)) พบว่าน้ำเสียก่อนเข้าระบบมีแอมโมเนียไนโตรเจนเท่ากับ 117.9 มิลลิกรัม/ลิตร หลังจากผ่านการบำบัดด้วยระบบ An พบว่าปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาบำบัดที่มากขึ้น เนื่องจากสีถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศซึ่งทำให้เกิดสารอะโรมาติกเอมีน[2,6] และ Intermediate จากการย่อยสลายแหล่งคาร์บอนและสีก่อให้เกิดการสะสมของแอมโมเนียไนโตรเจนในสภาวะที่ไม่ใช้อากาศ โดยปริมาณของแอมโมเนียไนโตรเจนของระบบ An มีค่าเท่ากับ 111.2, 119.6, 122.9 และ 127.7 มิลลิกรัม/ลิตร ในวันที่ 1, 6, 13 และ 18 ตามลำดับ

การบำบัดด้วยระบบ An-Ae พบว่าปริมาณของแอมโมเนียไนโตรเจนมีค่าเท่ากับ 105.3, 117.6, 122.1 และ 78.1 มิลลิกรัม/ลิตร ในวันที่ 1, 6, 13 และ 18 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลาบำบัดที่มากขึ้นเช่นเดียวกับระบบ An ในขณะที่ระบบ An-Micro ปริมาณของแอมโมเนียไนโตรเจนมีแนวโน้มลดลงโดยมีค่าเท่ากับ 86.8, 73.4, 86.2 และ 46.2 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ เนื่องจากเกิดการใช้แอมโมเนียไนโตรเจนในการสร้างเซลล์ของจุลินทรีย์แบบใช้อากาศ และผลจากการใช้จุลินทรีย์แบบใช้อากาศทำให้เกิดการกำจัดแอมโมเนียไนโตรเจน โดยระบบ An-Micro ในวัน 18 พบว่าปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจนจะมีค่าลดลงเช่นเดียวกับค่าทีเคเอ็น

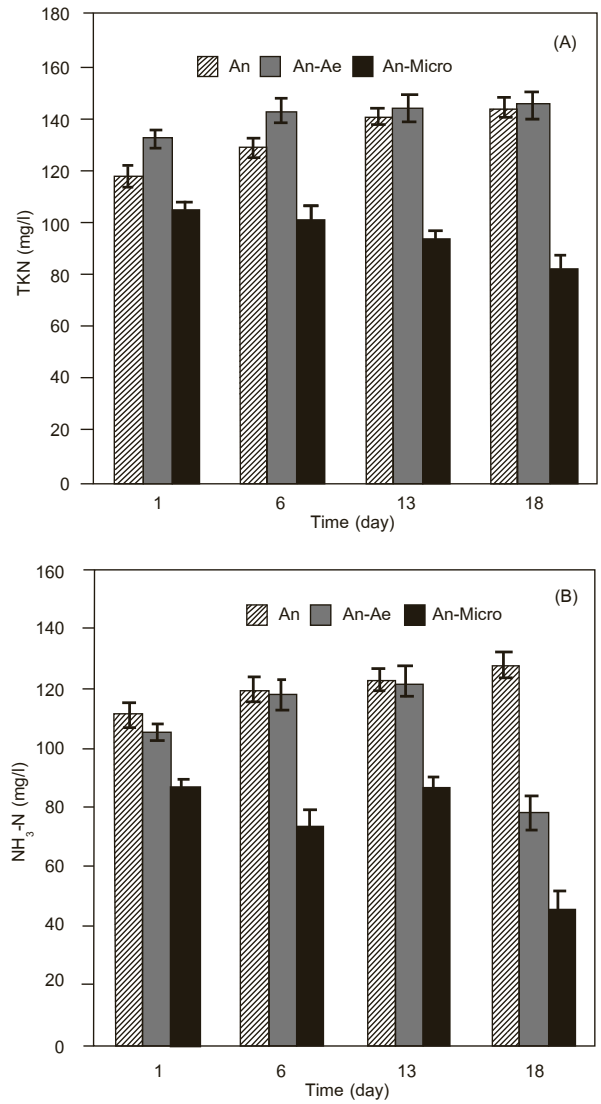

Figure 3 TKN (A) and NH_3-N (B) residues of An, An-Ae and An-Micro

1.4 ประสิทธิภาพการทำงานของระบบ

ประสิทธิภาพการทำงานของระบบโดยการศึกษาค่าพีเอชและอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยง่ายต่อความเป็นด่าง (VFA/alkalinity) ของน้ำเสียสังเคราะห์จากโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ พบว่าค่าพีเอชเหมาะแก่การทำงานของระบบ ดัง Table 1 โดยน้ำเสียก่อนเข้าระบบมีค่าพีเอชเท่ากับ 6.98 เมื่อผ่านการบำบัดแบบ An ค่าพีเอชจะลดลงจากตอนเริ่มต้น เนื่องจากจุลินทรีย์มีการสะสมกรดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้อากาศ[2,11,13,14] ในขณะที่เมื่อผ่านการบำบัดแบบ An-Ae ซึ่งพบว่าค่าของพีเอชเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดจากการเติมอากาศเพื่อไล่ CO_2

Table 1 pH values of An, An-Ae and An-Micro

Date	pH			
	Influent	An	An-Ae	An-Micro
1	6.98±0.007	6.90±0.007	8.00±0.014	7.90±0.014
6	6.98±0.007	6.70±0.014	7.83±0.021	7.84±0.014
13	6.98±0.007	6.90±0.007	8.18±0.014	7.87±0.007
18	6.98±0.007	6.83±0.007	8.20±0.007	7.75±0.021

Note: All the values are the mean of two replicates ± S.D.

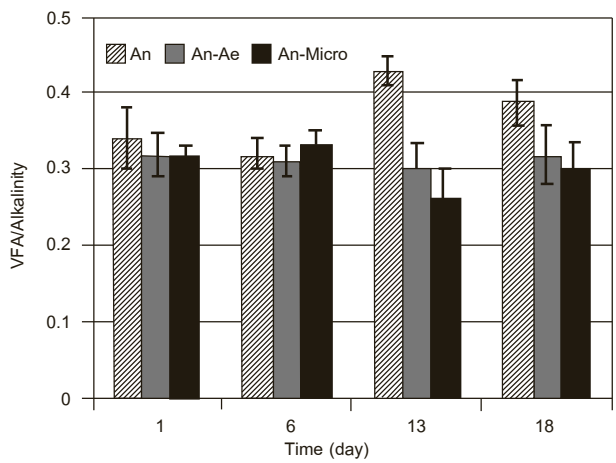

Figure 4 VFA/alkalinity of An, An-Ae and An-Micro

ทำให้ค่าพีเอชค่อย ๆ เพิ่มขึ้น พบว่าค่าพีเอชอยู่ในช่วง 7.83-8.20 เมื่อผ่านการบำบัดแบบ An-Micro พบว่าค่าพีเอชอยู่ในช่วง 7.75-7.90 เนื่องจากระบบบำบัดเป็นแบบใช้อากาศที่มีจุลินทรีย์อยู่ในระบบจะไม่ทำให้เกิดการสะสมกรดเกิดขึ้น Figure 4 แสดงอัตราส่วน VFA/alkalinity พบว่าระบบ An มีอัตราส่วน VFA/alkalinity อยู่ในช่วง 0.13-0.43 และระบบ An-Ae อัตราส่วน VFA/alkalinity มีค่าอยู่ในช่วง 0.30-0.32 ตามลำดับ และระบบ An-Micro อัตราส่วน VFA/alkalinity มีค่าอยู่ในช่วง 0.26-0.33 ซึ่งพบว่าอัตราส่วน VFA/alkalinity ของทั้ง 3 ระบบ มีกำลังบัฟเฟอร์สูงเนื่องจากอัตราส่วน VFA/alkalinity น้อยกว่า 0.40 แต่ถ้ามีอัตราส่วน VFA/alkalinity สูงกว่า 0.80 แสดงว่ามีกำลังบัฟเฟอร์ต่ำ[2,11,13,15] ซึ่งแสดงว่าอัตราส่วน VFA/alkalinity เหมาะแก่การทำงานของระบบไม่ใช้อากาศ

2. ความเป็นพิษของน้ำเสียสังเคราะห์สีย้อม RR 141 ต่อปลาตะเพียน

ศึกษาความเป็นพิษของน้ำเสียสังเคราะห์สีย้อม RR 141 ก่อนเข้าระบบ (influent) ที่ผ่านการบำบัดแบบ An ตามด้วย ระบบ An-Ae และระบบ An-Micro โดยผลการทดลองดัง Table 2 แสดงค่า LC_{50} น้ำเสียก่อนเข้าระบบ (influent), An-Ae และ An-Micro วันที่ 6 และ 18 ที่เวลา 14 ชั่วโมง พบว่าระบบ An-Ae และ An-Micro มีค่า LC_{50} ต่ำกว่า Influent ซึ่งแสดงว่าระบบ An-Ae และ An-Micro มีความเป็นพิษต่อปลาตะเพียนมากกว่า Influent เนื่องจากเกิดการสะสม Intermediate จากการย่อยสลายสี (อะโรมาติกเอมีน)[2,16] และแหล่งคาร์บอน รวมถึงระยะเวลาในการบำบัดระบบ An-Ae และ An-Micro น้อยเกินไป เมื่อเปรียบเทียบระบบ An-Ae และ An-Micro พบว่าระบบ An-Micro มีค่า LC_{50} ต่ำกว่า An-Ae ซึ่งแสดงว่า An-Micro มีความเป็นพิษสูงกว่า An-Ae เนื่องจากระบบ An-Micro มีการย่อยสลายสีโดยจุลินทรีย์แบบใช้อากาศและเกิดการสะสม Intermediate ที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายสีและแหล่งคาร์บอนของจุลินทรีย์แบบใช้อากาศจึงส่งผลต่อความเป็นพิษต่อปลาตะเพียน และในระบบ An-Micro เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification) โดยจุลินทรีย์แบบใช้อากาศจะเปลี่ยนแอมโมเนียไนโตรเจนเป็นไนไตรท์และไนเตรท[2,12,13] ซึ่งทำให้เกิดการสะสมของไนไตรท์และไนเตรทส่งผลให้มีความเป็นพิษต่อปลาตะเพียนมากกว่าระบบ An-Ae ในขณะที่ระบบ An-Ae มีการเติมอากาศเพียงอย่างเดียวทำให้เกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน (nitrification) น้อย ส่งผลให้เกิดการสะสมไนไตรท์และไนเตรทน้อย ทำให้ความเป็นพิษต่อปลาตะเพียนลดลง เมื่อเปรียบเทียบวันที่ 6

Table 2 LC_{50} of Influent, An-Ae and An-Micro wastewater treatments of 14 hours at 6 and 18 days treated

Parameters	Influent	An-Ae (mg/l)		An-Micro (mg/l)	
		6 days	18 days	6 days	18 days
Color (RR 141)	120	16.70	0.28	8.00	0.25
COD	1,000	41.00	3.00	21.00	0.90
TKN	90.50	28.50	3.00	20.00	1.50
NH_3-N	74.50	23.50	1.90	14.50	1.00

และ 18 พบว่า วันที่ 18 ของการบำบัดมีค่า LC_{50} น้อยกว่าวันที่ 6 แสดงว่ายิ่งการบำบัดนานจะส่งผลให้เกิดความเป็นพิษมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเกิดการย่อยสลายสีรีแอคทีฟด้วยระบบ An ที่ระยะเวลานานก็จะเกิด Intermediate สารอะโรมาติก เอมีน[2,5,6,7] ซึ่งทำให้เกิดความเป็นพิษต่อปลาตะเพียนในระบบ An-Micro และ An-Ae จากรายงานของ ชลิดา[17] ได้ศึกษาวิจัยความเป็นพิษแบบเฉียบพลันของสีเบสิคและสีไดเร็กท์ต่อปลานิลวัยอ่อน พบว่าสีเบสิคมีความเป็นพิษแบบเฉียบพลันต่อปลานิลวัยอ่อนสูงกว่าสีไดเร็กท์ เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยนี้ พบว่าสีย้อม RR 141 ที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบ An-Micro และ An-Ae จะมีความเป็นพิษมากกว่างานวิจัยของชลิดา ทั้งนี้เนื่องจากเกิด Intermediate สารอะโรมาติกเอมีน จากที่กล่าวมาข้างต้น

สรุปผล

1. ประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์สีย้อม RR 141

1.1 ร้อยละการกำจัดสีและซีโอดีสูงขึ้นตามระยะเวลาการบำบัดที่มากขึ้น โดยในวันที่ 18 ร้อยละการกำจัดสีและซีโอดีสูงสุด โดยร้อยละการกำจัดสีและซีโอดีของระบบ An-Micro สูงสุด ตามด้วยระบบ An-Ae และ ระบบ An ตามลำดับ

1.2 ปริมาณทีเคเอ็นและแอมโมเนียไนโตรเจนในระบบ An จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบำบัด เนื่องจากสีถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์แบบไร้อากาศ ซึ่งทำให้เกิดสารอะโรมาติกเอมีนและ Intermediate จากการย่อยสลายแหล่งคาร์บอนและสี ก่อให้เกิดการสะสมของแอมโมเนียไนโตรเจนในสภาวะที่ไม่ใช้อากาศ ในระบบ An-Ae พบว่าปริมาณทีเคเอ็นเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาบำบัดที่มากขึ้น เนื่องมาจากเกิดการสะสมของ Intermediate ที่ไม่สามารถกำจัดในช่วงเติมอากาศ ในขณะที่ระบบ An-Micro มีปริมาณทีเคเอ็นและแอมโมเนียไนโตรเจนลดลง เนื่องจากเกิดการใช้แอมโมเนียไนโตรเจนในการสร้างเซลล์ของจุลินทรีย์แบบใช้อากาศ

1.3 อัตราส่วน VFA/alkalinity ของทั้ง 3 ระบบมีกำลังบัฟเฟอร์สูงเพราะมีอัตราส่วน VFA/alkalinity น้อยกว่า 0.4 และค่าพีเอชของทั้ง 3 ระบบ อยู่ในช่วง 6.7-8.2

2. ความเป็นพิษของน้ำเสียสังเคราะห์สีย้อม RR 141

2.1 ค่า LC_{50} ของระบบ An-Ae และ An-Micro ต่ำกว่า Influent แสดงว่าเมื่อมีการบำบัดระบบ An-Ae และ An-Micro จะเกิด Intermediate ของการย่อยสลายสีและแหล่งคาร์บอน จึงทำให้เกิดความเป็นพิษสูง ซึ่งมีผลต่อการตายของปลาตะเพียน

2.2 ระบบ An-Ae มีค่า LC_{50} สูงกว่า An-Micro แสดงว่า An-Micro มีความเป็นพิษสูงกว่า An-Ae เนื่องจากแม้ว่าระบบ An-Micro จะผ่านการบำบัดโดยจุลินทรีย์แบบใช้อากาศ ก็ไม่สามารถลดค่าความเป็นพิษที่เกิดจาก Intermediate ของการย่อยสลายสีและแหล่งคาร์บอน รวมถึงการสะสมไนไตรท์และไนเตรทจากกระบวนการไนตริฟิเคชัน

ข้อเสนอแนะ

ควรศึกษาเพิ่มเติมเรื่องระยะเวลาในการบำบัดด้วยระบบ An-Ae และ An-Micro รวมถึงศึกษาความเข้มข้นสีย้อม ชนิดของสีย้อม แหล่งคาร์บอนที่แตกต่างกัน และน้ำเสียจริงจากโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเงินทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2551 ผู้วิจัยขอขอบคุณ

กองส่งเสริมและพัฒนางานวิจัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ที่ได้ให้การสนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Laowansiri S, Vinitnantharat S, Chaiprasert P, Ha SR. Anaerobic degradation kinetics of reactive dye with different carbon sources. J Environ Biol 2008;29:309-14.
2. สุนันทา เลาวัณย์ศิริ. จลนพลศาสตร์ทางชีววิทยาและการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอโดยถังปฏิกรณ์แผ่นกั้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สายวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี; 2544
3. สำนักงานเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม. รายงานฉบับสมบูรณ์ (ฉบับหลัก) โครงการศึกษาสำรวจเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการลดปริมาณมลพิษทางน้ำของโรงงานฟอกย้อมขนาดกลางและเล็ก. กรุงเทพฯ: 2542
4. นันทยา ยานุเมศ. ความเป็นพิษและมลพิษของสีย้อมและสารเคมีที่ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ. คัลเลอร์เวย์ 2539;1(6):30-32.
5. Panswad T, Luangdilok W. Decolorization of reactive dyes with different molecular structures under different environmental conditions. Water Res 2000;34(17):4177-184.
6. Bell J, Plumb JJ, Buckley CA, Stuckey DC. Treatment and decolorization of dyes in an anaerobic baffled reactor. J Environ Eng 2000; 126(11):1026-32.
7. Manu B, Chaudhari S. Anaerobic decolorisation of simulated textile wastewater containing azo dyes. Bioresource Technol 2002;82:225-231.
8. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20th ed., Washington: American Public Health Association; 1998.
9. ธงชัย พรรณสวัสดิ์ และอุษา วิเศษสุมน. คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย. เมือง: สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมไทย; 2532.
10. โรมรัน ศรีสัมฤทธิ์. การศึกษาเบื้องต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเครื่องกรองไร้ออกซิเจนที่ใช้อินทรีย์วัสดุเป็นตัวกลาง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2525.
11. มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. คู่มือวิชาการระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศเล่มที่ 2. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม; 2546.
12. สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์. ระบบบำบัดน้ำเสีย. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ท๊อป; 2549.
13. มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. คู่มือวิชาการระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศเล่มที่ 2. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม; 2546.
14. เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. วิศวกรรมการกำจัดน้ำเสีย เล่ม 4. นนทบุรี: 2543.
15. รุ่งโรจน์ ลีลาเมธากุล. การใช้กระบวนการถังกรองไร้อากาศป้อนน้ำย้อนขึ้นแบบมีตัวกลางในการบำบัดน้ำเสียชุมชน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและพัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี; 2540.
16. Rajaguru P, Kalaiselvi K, Palanivel M, Subburam V. Biodegradation of azo dyes in a sequential anaerobic-aerobic system. Appl Microbiol Biotechnol 2000;54:268-273.
17. ชลิดา เขมวรานันท์. ความเป็นพิษแบบเฉียบพลันของสีย้อมสังเคราะห์ชนิดเบสิคและไดเร็กท์ และการสะสมของทองแดงในปลานิลวัยอ่อน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสุขาภิบาลสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล; 2540