

การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนสีสังเคราะห์จากโรงงานฟอกย้อม
โดยใช้ระบบเยื่อกรองชีวภาพร่วมกับถ่านกัมมันต์

Study on Treatment Efficiency of Textile Wastewater Containing Synthetic Dye using
Membrane Bioreactor couple with Activated Carbon

สุภาภรณ์ ทิววรรณ¹, ดร.เทอดพงศ์ ศรีสุขพันธุ์²

¹นักศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัย

คณะสาธารณสุขศาสตร์และสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ

²สาขาวิชอนามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์และสิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง โดยใช้ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีลักษณะคล้ายน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม และใช้ชุดทดลองระดับห้องปฏิบัติการ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างระบบ MBR และ MBR-PAC รวมถึงเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างการเติม PAC แบบเติมครั้งเดียวและแบบต่อเนื่อง โดยทำการทดลอง 4 ชุดการทดลอง ได้แก่ 1) ไม่เติม PAC, 2) เติม PAC แบบเติมครั้งเดียวความเข้มข้น 1,000 mg/L, 3) เติม PAC แบบเติมครั้งเดียว ความเข้มข้น 2,000 mg/L และ 4) ทำการเติม PAC แบบต่อเนื่องลงในถังปฏิกรณ์ที่ 3 โดยควบคุมอายุ PAC เท่ากับ 50 วัน สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

การเติม PAC ช่วยทำให้ประสิทธิภาพการบำบัด COD ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับ 87.42 (± 9.14), 91.23 (± 3.41) และ 96.51 (± 1.59) สำหรับระบบ MBR และ MBR-PAC ที่มีการเติม PAC 1,000 และ 2,000 mg/L ตามลำดับ สำหรับการบำบัดสีในการเดินระบบระยะยาวพบว่า การเติม PAC 2,000 mg/L มีประสิทธิภาพในการบำบัดสี 74.99 (± 6.04) % ซึ่งได้ดีกว่ากรณีเติม PAC 1,000 mg/L และ ระบบ MBR ที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสี 52.11 (± 6.94) และ 47.61 (± 8.40) % ตามลำดับ ส่วนการเติมถ่านแบบต่อเนื่องโดยควบคุมอายุของ PAC เท่ากับ 50 วัน ไม่สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดเมื่อเปรียบเทียบกับ การเติมถ่านแบบครั้งเดียว

คำสำคัญ : น้ำเสียฟอกย้อม / ถ่านกัมมันต์ / ระบบเยื่อกรองชีวภาพ

Abstract

This experimental research is focusing on 1) the comparison of treatment efficiency between MBR and MBR-PAC and 2) the comparison of treatment efficiency between batch dose and continuous dose. The lab-scale experimental unit and synthetic textile wastewater were applied. The experimental conditions consist of 1) MBR without PAC added, 2) MBR-PAC where PAC of 1,000 mg/L was added, 3) MBR-PAC where PAC of 2,000 mg/L was added and 4) PAC was continuously dosed into the 3th reactor with PAC age of 50 days.

It was found that, the addition of PAC improved COD removal efficiency. In case of MBR, MBR-PAC (1,000 mg/L) and MBR-PAC (2,000 mg/L), the treatment efficiencies were 87.42 (± 9.14), 91.23 (± 3.41) and 96.51 (± 1.59), respectively. Moreover, in long-term, MBR-PAC (2,000 mg/L) performed higher color removal efficiency than MBR-PAC(1,000 mg/L) and MBR. The color removal efficiencies were 74.99 (± 6.04), 52.11 (± 6.94) and 47.61 (± 8.40) %. In case of continuous dose with PAC age of 50 days, the treatment efficiency was similar to the case of MBR-PAC(2,000 mg/L).

Keywords : Textile Wastewater / Activated Carbon / Membrane Bioreactor

บทนำ

อุตสาหกรรมฟอกย้อมเป็นอุตสาหกรรมที่มีน้ำเสียเกิดขึ้นในเกือบทุกขั้นตอนของกระบวนการผลิต ตั้งแต่ขั้นตอนการเตรียมผ้า ขั้นตอนการให้สีและขั้นตอนการตกแต่งสำเร็จ โดยเฉพาะในกระบวนการล้างและทำความสะอาดในแต่ละขั้นตอนจะพบน้ำเสียปริมาณมากและจะมีสิ่งเจือปนมาด้วยเสมอ เช่น เศษเส้นใย สารเคมี สีย้อม ฯลฯ จึงทำให้น้ำมีสภาพที่เปลี่ยนไปและส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำเป็นที่น่ารังเกียจ ทำให้ทัศนียภาพแย่ง ซึ่งน้ำเสียจากการย้อมนี้หากมีการใช้สีย้อมที่บำบัดด้วยวิธีปกติยากก็จะทำให้เห็นสีปนเปื้อนออกมาในน้ำทิ้ง

กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพโดยใช้เทคโนโลยีเยื่อกรอง (Membrane Bioreactor, MBR) เพื่อบำบัดน้ำเสียในอุตสาหกรรมฟอกย้อมเป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่มีบทบาทที่สำคัญ ซึ่งเป็นการรวมระบบพื้นฐานสองระบบ คือ การย่อยสลายสารแบบชีวภาพและการกรองผ่านเยื่อกรอง โดยสารแขวนลอยและจุลินทรีย์จะทำหน้าที่ย่อยสลายทางชีวภาพและถูกแยกออกจากน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยการกรองผ่านเยื่อกรองแทนการตกตะกอนในถังตกตะกอน ทำให้น้ำที่บำบัดมีลักษณะใส และไม่มีตะกอนแขวนลอยเจือปนสามารถนำไปใช้ประโยชน์อื่นๆได้ แต่จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ระบบ MBR มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีสังเคราะห์ได้ระดับหนึ่ง แต่น้ำทิ้งยังมีความเข้มสีหลงเหลืออยู่ (Saiviat and Fujioka, 2004)

ดังนั้นในการวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยจึงได้ศึกษาแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ MBR ในการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนสีสังเคราะห์จากโรงงานฟอกย้อมโดยการใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Powder Activated Carbon, PAC) ร่วมกับระบบ MBR

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์โรงงานฟอกย้อมโดยใช้ระบบ MBR และระบบเยื่อกรองชีวภาพร่วมกับถ่านกัมมันต์ (Membrane Bioreactor couple with Activated Carbon, MBR-PAC)
2. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพระบบ MBR-PAC ระหว่างการเติม PAC แบบเติมครั้งเดียว (Batch Dose) และแบบต่อเนื่อง (Continuous Dose)

ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยนี้ได้นำน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีลักษณะใกล้เคียงกับน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมโดยมีองค์ประกอบ ได้แก่ สีสังเคราะห์, NaCl, Glucose, Urea, FeCl₂, NaHCO₃, KH₂PO₄ และ MgSO₄·7H₂O และทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดระหว่างระบบ MBR และ MBR-PAC โดยใช้เยื่อกรองไมโครฟิลเตรชัน (Microfiltration, MF) ชนิดแผ่น (Flat Sheet)

การทบทวนวรรณกรรม

1. แนวคิดหลักการทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1.1 น้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม

อุตสาหกรรมฟอกย้อม มีกระบวนการผลิตที่มีการใช้น้ำปริมาณมากตั้งแต่ขั้นตอนการเตรียมผ้า การย้อม การพิมพ์ผ้า การตกแต่งสำเร็จ น้ำจากการล้างอุปกรณ์เครื่องจักร จึงทำให้เกิดปริมาณน้ำเสียมากด้วย นอกจากนั้นน้ำเสียที่เกิดขึ้นมักมีสารเคมีปนเปื้อนอยู่ด้วย เช่น สารช่วยย้อม สารฟอกขาว สารเคมีที่ใช้ในการตกแต่ง กรด ด่าง ซึ่งน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของสารเคมีเหล่านี้ในปริมาณที่สูง หากบำบัดไม่ถูกวิธีก็จะทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและแหล่งน้ำได้ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2545)

ลักษณะน้ำเสียของอุตสาหกรรมฟอกย้อม มีปริมาณสารอินทรีย์สูงมีสาเหตุมาจากมีสีย้อม เส้นด้ายเส้นใย มีสภาพการเป็นกรดด่างและมีของแข็งละลายน้ำสูงเนื่องจากมีโซเดียมคลอไรด์ โซเดียมคาร์บอเนต มีการปนเปื้อนของสารเคมีแล้วแต่ชนิดที่ใช้ ซึ่ง Srisukphun (2009) สรุปลักษณะสมบัติของน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมไว้ดังนี้ COD อยู่ในช่วง 229-476 mg/L, BOD อยู่ในช่วง 89.3-202 mg/L, SS อยู่ในช่วง 24-55 mg/L, pH อยู่ในช่วง 7.95-9.76 และความเข้มข้นสีอยู่ในช่วง 17.8-379 mg/L as Pt-Co

1.2 ระบบเยื่อกรองชีวภาพ (Membrane Bioreactor, MBR)

ระบบ MBR เป็นระบบตะกอนเร่งอีกรูปแบบหนึ่งที่ถูกพัฒนาขึ้นโดยใช้ถังปฏิกรณ์ชีวภาพร่วมกับการใช้แผ่นเยื่อกรองแทนถังตกตะกอน โดยการใช้แรงดันผลักดันให้น้ำไหลผ่านเยื่อกรอง รูปพรุนที่มีขนาดเล็กของเยื่อกรองสามารถกักจุลินทรีย์ในระบบไม่ให้ออกไปกับน้ำทิ้งได้ ทำให้สามารถควบคุมอายุของจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ได้อย่างดี น้ำที่ต้องการบำบัดเมื่อกรองผ่านเยื่อกรองชีวภาพแล้วมีลักษณะน้ำที่ใสและไม่มีตะกอนแขวนลอยเจือปน (ฉัฐพันธุ์ กลิ่นเกสร, 2545)

ระบบเยื่อกรองชีวภาพร่วมกับถ่านกัมมันต์ คือ การใช้ถังปฏิกรณ์ชีวภาพซึ่งมีแผ่นเยื่อกรองและมีถ่านกัมมันต์รวมกันอยู่ในถัง หลักการทำงานเหมือนกับระบบ MBR แต่ใช้ถ่านกัมมันต์ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัด เนื่องจากถ่านกัมมันต์มีโครงสร้างเป็นรูพรุนจึงช่วยเพิ่มความสามารถในการดูด

ขับสารปนเปื้อนในน้ำเสีย และอนุภาคถ่านเป็นบริเวณที่มีความเหมาะสมต่อการอยู่อาศัยของจุลินทรีย์ได้ดี ทำให้ระบบ MBR สามารถรับภาระสารอินทรีย์ได้มากขึ้น (สร้อยดาว วินิจนันทรรัตน์, 2551)

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สร้อยดาว วินิจนันทรรัตน์ (2551) ได้ศึกษาประสิทธิภาพในการเติมถ่านกัมมันต์ในถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นเพื่อบำบัดและกำจัดสีย้อมจากน้ำเสียโรงงานฟอกย้อม โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ระยะ ได้แก่ ระยะที่ 1 ศึกษาจลพลศาสตร์ของการบำบัดสีรีแอคทีฟโทนแดง 141 ที่แหล่งคาร์บอนต่างกัน โดยวิธีทางชีววิทยาแบบไม่ใช้อากาศ ซึ่งพบว่า การบำบัดสีย้อมในสถานะไม่ใช้อากาศเมื่อใช้แหล่งคาร์บอนต่างกันไม่มีความแตกต่างกันเมื่อความเข้มข้นของสีย้อมต่ำ แต่เมื่อความเข้มข้นสูงจะกำจัดสีได้ดีเมื่อใช้ Modified Starch (MS) เป็นแหล่งคาร์บอน และระยะที่ 2 ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดของถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นที่มีการเติมถ่านกัมมันต์โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์และตามด้วยน้ำเสียจริงจากโรงงานฟอกย้อมเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์และสีเมื่อเติมถ่านกัมมันต์กับไม่เติมถ่านกัมมันต์ พบว่าการเติมถ่านกัมมันต์ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้ได้ค่าน้ำทิ้งไม่เกินมาตรฐานน้ำทิ้งโรงงาน โดยสามารถบำบัดบำบัดสีได้ 60-70 %

พัฒนพงษ์ ดิษะรา (2552) ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้นสูง โดยระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบใช้เยื่อกรอง พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีเท่ากับ 99.79%, 99.61%, และ 99.54% ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีเท่ากับ 98.54%, 93.49% และ 94.10% ประสิทธิภาพการบำบัดสารแขวนลอยเท่ากับ 98.88%, 98.24% และ 98.36% ประสิทธิภาพการบำบัดทีเคเอ็นเท่ากับ 91.20%, 75.13% และ 74.47%

วีระพงษ์ แซ่โจ้ว (2545) ศึกษาการบำบัดสีจากน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมโดยระบบ SBR วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับสีต่างๆ ที่ใช้ในโรงงานฟอกย้อมของตะกอนจุลินทรีย์ชนิดที่มีชีวิตและไม่มีชีวิตพบว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิตมีประสิทธิภาพในการดูดซับสีได้มากกว่าตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตและตะกอนจุลินทรีย์จากโรงบำบัดน้ำเสียรวม 1 มีค่าการดูดซับมากกว่าโรงบำบัดน้ำเสียชุมชน 2

Kim et al. (2005) ศึกษาการพัฒนาเยื่อกรองชีวภาพร่วมกับถ่านกัมมันต์ชนิดผงในการบำบัดน้ำเสีย โดยควบคุมปริมาณถ่านกัมมันต์ที่ระดับความเข้มข้น 0 g/L, 10 g/L และ 40 g/L พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์คาร์บอนและมีประสิทธิภาพการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 254 นาโนเมตร และการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงในปริมาณที่เพิ่มขึ้นทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดเพิ่มขึ้นด้วย

Ng et al. (2013) การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบเยื่อกรองชีวภาพโดยการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง ในงานวิจัยนี้แบ่งการศึกษาวิจัยออกเป็น 2 เรื่อง คือ ประสิทธิภาพของความเข้มข้นถ่านกัมมันต์ในระบบเยื่อกรองชีวภาพและประสิทธิภาพของเวลากักพักตะกอน SRT โดยการเติมถ่านกัมมันต์และไม่เติมถ่านกัมมันต์และควบคุม SRT ที่ 10, 30 และมากกว่า 30 วัน พบว่า กรณีไม่เติมถ่านกัมมันต์ระยะเวลาที่กักตะกอนนานการทำงานจะลดลงทำให้เกิดการอุดตันที่การไหลพอประมาณ กรณีเติมถ่านกัมมันต์ระยะเวลาที่กักตะกอนสั้นควบคุมการอุดตันได้คืออาจเป็นเพราะส่วนใหญ่ถ่านกัมมันต์ยังใหม่อยู่

วิธีดำเนินการวิจัย

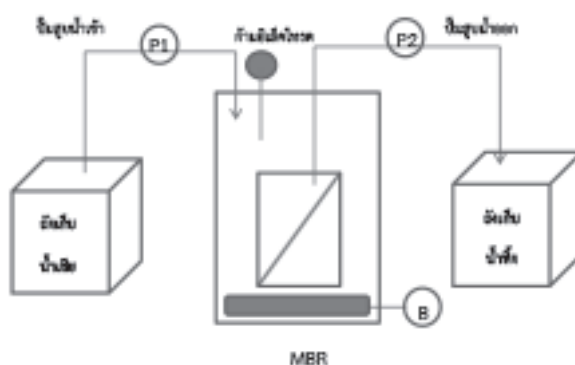
1. ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีลักษณะคล้ายน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม และใช้ชุดทดลองระดับห้องปฏิบัติการ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างระบบ MBR และ MBR-PAC รวมถึงเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างการเติม PAC แบบเติมครั้งเดียวและแบบต่อเนื่อง

2. อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 น้ำเสียสังเคราะห์ ดำเนินการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีลักษณะคล้ายน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมที่ปนเปื้อนสีสังเคราะห์ที่มีค่า COD 400 mg/L และโดยการผสมสารเคมีในน้ำประปา สำหรับสีสังเคราะห์ใช้ผลิตภัณฑ์ WINIMEX รุ่น Evercion Red H-E7B และได้อ้างอิงสัดส่วนของมีสารเคมีตามงานวิจัยของ วีระพงษ์แซ่โจ้ว (2545) โดยใช้ความเข้มข้นของ สีย้อม, NaCl, glucose, urea, FeCl₂, NaHCO₃, KH₂PO₄ และ MgSO₄·7H₂O เท่ากับ 0.04, 2, 0.375, 0.023, 0.0007, 0.135, 0.011 และ 0.0085 g/L ตามลำดับ

2.2 ถังปฏิกรณ์เยื่อกรองชีวภาพ (MBR) มีลักษณะเป็นถังสี่เหลี่ยมผืนผ้าผลิตจากอะคริลิกใส ขนาดความจุ 20 ลิตร ภายในติดตั้งเยื่อกรองไมโครฟิลเตรชัน (Toray) ชนิดแผ่น (flat sheet) ผลิตจาก polyvinylidene fluoride (PVDF) ขนาดรูพรุนเฉลี่ย 0.08 μm พื้นที่ผิวการกรองเฉลี่ย 0.114 m² ขนาดกว้าง 230 mm สูง 320 mm หนา 5 mm ด้านล่างของเยื่อกรองติดตั้งหัวจ่ายอากาศทำหน้าที่ให้อากาศแก่จุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ รวมถึงช่วยป้องกันการอุดตันของเยื่อกรอง โดยใช้เครื่องจ่ายอากาศชนิด aquarium air pump ขนาด 7 L/min ใช้ peristaltic pump (Masterflex) สูบน้ำที่ผ่านการบำบัดออกจากเยื่อกรองด้วยอัตราการกรอง 20 L/d ใช้ drive pump ขนาด 5 L/H สำหรับสูบน้ำเสียสังเคราะห์จากถังพักน้ำเสียเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ถังปฏิกรณ์ MBR

2.3 ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (PAC) ใช้ผลิตภัณฑ์ Pure Sorb ขนาดของอนุภาคถ่านกัมมันต์ 200 mesh และความชื้น (Moisture Content) ไม่เกิน 40%

3. วิธีการทดลอง

การวิจัยครั้งนี้ได้ทำการเดินระบบแบบต่อเนื่อง กำหนดอัตราการไหลของน้ำเสียเท่ากับ 20 L/d ควบคุม MLVSS เท่ากับ 3,500 mg/L โดยแบ่งเป็น 4 ชุดการทดลอง ได้แก่ 1) ไม่เติม PAC, 2) เติม PAC แบบเติมครั้งเดียวความเข้มข้น 1,000 mg/L, 3) เติม PAC แบบเติมครั้งเดียว ความเข้มข้น

2,000 mg/L และ 4) เติม PAC แบบต่อเนื่องลงในถังปฏิกรณ์ที่ 3 กำหนดอายุของ PAC ในถังปฏิกรณ์เท่ากับ 50 d โดยการระบายตะกอนส่วนเกินออกปริมาณ 0.4 L/d และเติม PAC 0.8 g/d โดยมีรายละเอียดตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ชุดการทดลอง

การทดลอง	ปริมาณ PAC (mg/L)	PAC age (d)	Qw (L/d)	PAC dose (g/d)
1	-	-	-	-
2	1,000	-	-	-
3	2,000	-	-	-
4	-	50	0.4	0.8

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำที่ผ่านการบำบัดไปวิเคราะห์พารามิเตอร์ โดยใช้ความถี่และวิธีการวิเคราะห์ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวิเคราะห์

พารามิเตอร์	ตำแหน่งเก็บตัวอย่าง	ความถี่ในการเก็บตัวอย่าง (วัน/สัปดาห์)	วิธีการวิเคราะห์
pH1	Influent/Effluent/Reactor	3	Electronic pH Meter
BOD1	Influent/Effluent	1	Azide Modification of Iodometric Method
COD1	Influent/Effluent	3	Closed Reflux
SS1	Influent/Effluent	3	Dried at 103-105°C
Color	Influent/Effluent	3	Spectrophotometer
EC	Influent/Effluent/Reactor	3	EC Meter
TDS1	Influent/Effluent	3	Dried at 103-105°C

ที่มา : 1Standard method for examination of water and wastewater 20th Edition (APHA,1998)

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าร้อยละ

ผลการวิจัย

1. ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ MBR

จากผลการทดลองของชุดการทดลองที่ 1 (รูปที่ 2) ซึ่งเป็นชุดการทดลองที่ไม่มีการเติม PAC, เติม PAC 1,000 mg/L และ เติม PAC 2,000 mg/L สามารถสรุปลักษณะสมบัติของน้ำทิ้งและประสิทธิภาพของระบบบำบัดได้ดังนี้

ชุดการทดลองที่ 1 พบว่า สัดส่วนของ MLVSS/MLSS ในระบบมีค่าอยู่ระหว่าง 0.66-0.75 เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการบำบัด พบว่าในช่วง 15 วันแรกน้ำทิ้งมี COD ความแปรปรวนเล็กน้อย และเริ่มคงที่หลังจากวันที่ 20 ของการทดลอง โดยมี COD เฉลี่ย $25.51 (\pm 10.99)$ mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ย $87.42 (\pm 9.14)$ % ส่วน BOD มีค่าเฉลี่ย $1.98 (\pm 1.69)$ mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ย $98.94 (\pm 1.28)$ % ซึ่งมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลอง สำหรับความเข้มข้นของน้ำทิ้ง พบว่า ในช่วง 26 วันแรก ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดความเข้มข้นต่ำมาก หลังจากนั้นประสิทธิภาพค่อย ๆ เพิ่มขึ้น ภายหลังจาก 29 วัน ความเข้มข้นมีค่าค่อนข้างคงที่โดยน้ำทิ้งมีค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยเท่ากับ $0.23 (\pm 0.04)$ Abs คิดเป็นประสิทธิภาพ ณ สภาวะคงตัวเฉลี่ยเท่ากับ $47.61 (\pm 8.40)$ % นอกจากนี้ น้ำทิ้งมี TDS เฉลี่ยเท่ากับ $2,405.67 (\pm 150.07)$ mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ยเท่ากับ $3.54 (\pm 3.73)$ %

2. ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ MBR-PAC แบบเติม PAC ครั้งเดียว

จากผลการทดลองของชุดการทดลองที่ 2 และ 3 (รูปที่ 2) ซึ่งเป็นชุดการทดลองที่มีการเติม PAC 1,000 และ 2,000 mg/L ตามลำดับ สามารถสรุปลักษณะสมบัติของน้ำทิ้งและประสิทธิภาพของระบบบำบัดได้ดังนี้

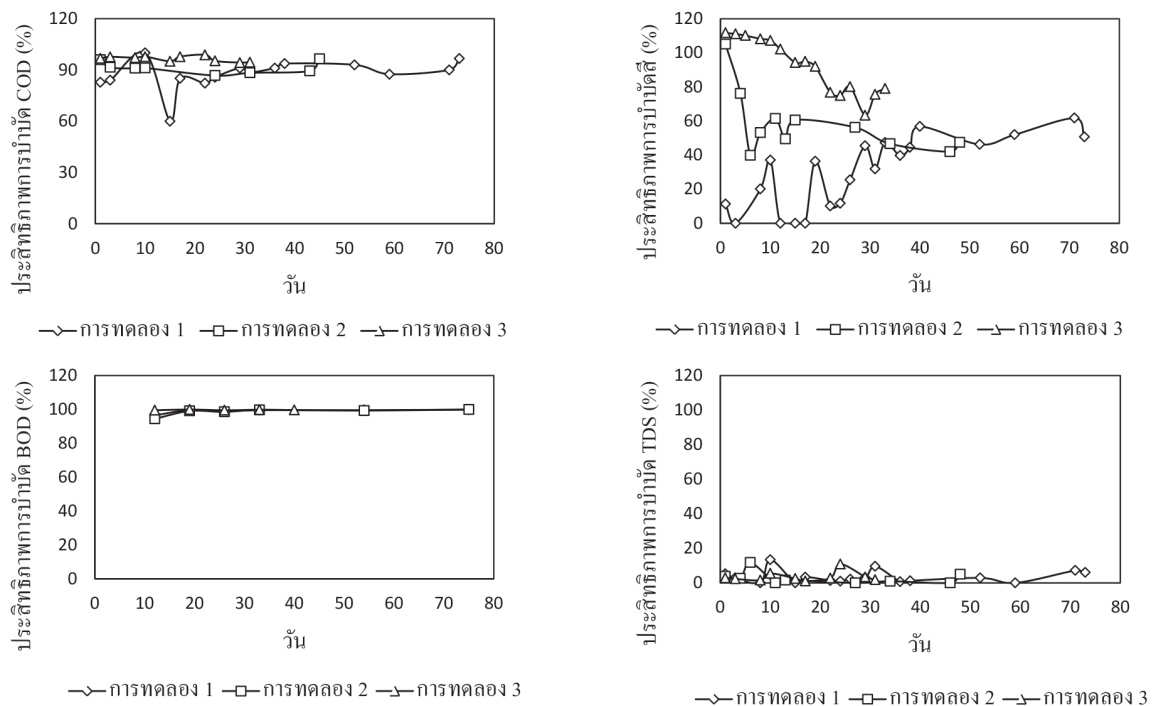
ชุดการทดลองที่ 2 พบว่า สัดส่วนของ MLVSS/MLSS ในระบบมีค่าอยู่ระหว่าง 0.75-0.79 เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการบำบัด พบว่า น้ำทิ้งมี COD ค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลอง ซึ่งมีค่าเฉลี่ย $29.32 (\pm 10.89)$ mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัดเฉลี่ย $91.23 (\pm 3.41)$ % ส่วน BOD มีค่าเฉลี่ย $2.57 (\pm 2.37)$ mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ย $98.44 (\pm 2.05)$ % สำหรับความเข้มข้นสี พบว่า ในช่วง 5 วันแรกของการทดลองระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดสีสูงมากอยู่ในช่วง 105.13-76.13% หลังจากนั้นประสิทธิภาพมีแนวโน้มลดต่ำลงจนคงที่ในวันที่ 8 ซึ่งน้ำทิ้งมีค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยเท่ากับ $0.18 (\pm 0.07)$ Abs คิดเป็นประสิทธิภาพ ณ สภาวะคงตัวเฉลี่ยเท่ากับ $52.11 (\pm 6.94)$ % นอกจากนี้ พบว่า น้ำทิ้งมี TDS เฉลี่ย $2,309.19 (\pm 117.22)$ mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ย $2.87 (\pm 3.79)$ %

ชุดการทดลองที่ 3 พบว่า สัดส่วนของ MLVSS/MLSS ในระบบมีค่าอยู่ระหว่าง 0.80-0.83 เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการบำบัด พบว่า น้ำทิ้งมี COD และ BOD ค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลอง ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $11.97 (\pm 6.24)$ และ $0.84 (\pm 0.42)$ mg/L ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัดเฉลี่ย $96.51 (\pm 1.59)$ และ $99.61 (\pm 0.19)$ % ส่วนความเข้มข้นสีของน้ำทิ้ง พบว่า ในช่วง 12 วันแรก ระบบมีประสิทธิภาพสูงมากอยู่ในช่วงระหว่าง 111.67-102.19% หลังจากนั้นประสิทธิภาพมีแนวโน้มลดต่ำลงจนเริ่มคงที่ในวันที่ 22 ของการทดลองซึ่งมีค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยในช่วงท้ายการทดลองเท่ากับ $0.15 (\pm 0.02)$ Abs คิดเป็นประสิทธิภาพ ณ สภาวะคงตัวเฉลี่ยเท่ากับ $74.99 (\pm 6.04)$ % น้ำทิ้งมี TDS เฉลี่ยเท่ากับ $2,241.87 (\pm 85.85)$ mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ยเท่ากับ $3.51 (\pm 2.86)$ %

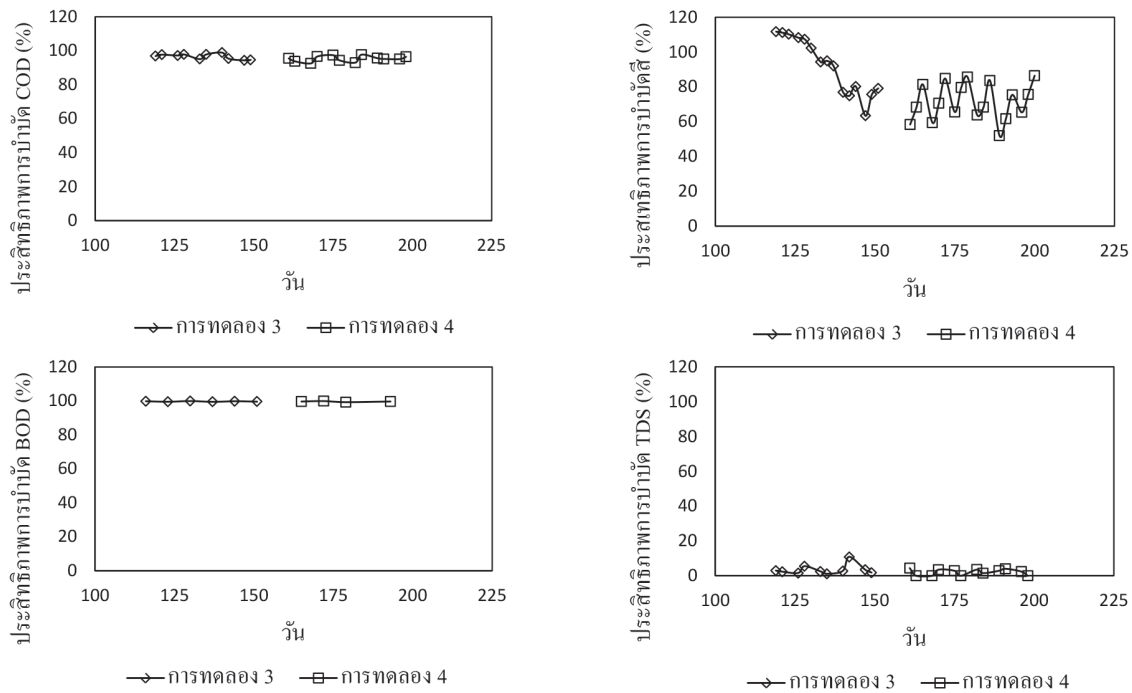
3. ประสิทธิภาพของระบบ MBR-PAC แบบเติม PAC ต่อเนื่อง

คณะผู้วิจัยได้ทำการทดลองชุดที่ 4 โดยเติม PAC แบบต่อเนื่องในถังปฏิกรณ์ของการทดลองชุดที่ 3 (ควบคุมอายุของ PAC ในถังปฏิกรณ์เท่ากับ 50 วัน) เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างการเติม PAC แบบครั้งเดียว (การทดลองชุดที่ 3) และการเติมแบบต่อเนื่อง (การทดลองชุดที่ 4) ผลการทดลองชุดที่ 4 แสดงในรูปที่ 3 ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

จากผลการทดลองของชุดการทดลองที่ 4 (รูปที่ 3) พบว่า สัดส่วนของ MLVSS/MLSS ในระบบอยู่ระหว่าง 0.81-0.88 เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพของระบบ พบว่า น้ำทิ้งมีค่า COD และ BOD เฉลี่ย $16.99 (\pm 6.01)$ และ $1.14 (\pm 0.88)$ mg/L ตามลำดับคิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ย $95.20 (\pm 1.63)$ และ $99.58 (\pm 0.26)\%$ ส่วนความเข้มข้นสีของน้ำทิ้งมีความแปรปรวนอยู่ในช่วงแคบๆ ตลอดการทดลองระหว่าง 0.12-0.17 Abs มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.15 Abs (± 0.02) คิดเป็นประสิทธิภาพ ณ สภาวะคงตัวเฉลี่ย $71.41 (\pm 10.53)\%$ สำหรับค่า TDS พบว่ามีค่าเฉลี่ย $2,228.93$ mg/L (± 58.14) คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ยเท่ากับ $2.08\% (\pm 1.70)$



รูปที่ 2 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดชุดการทดลองที่ 1-3



รูปที่ 3 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดขูดกการทดลองที่ 3 และ 4

อภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสีสังเคราะห์ในน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมโดยใช้ระบบเยื่อกรองชีวภาพร่วมกับถ่านกัมมันต์ โดยได้ทำการทดลองทั้งหมด 4 ชุดการทดลอง สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบ MBR และ MBR-PAC

1.1 ประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์

จากผลการทดลองที่ 1-3 สรุปได้ว่าการเติม PAC ช่วยทำให้ประสิทธิภาพการบำบัด COD โดยเฉลี่ยเท่ากับ $87.42 (\pm 9.14)$, $91.23 (\pm 3.41)$ และ $96.51 (\pm 1.59)$ สำหรับระบบ MBR และ MBR-PAC ที่มีการเติม PAC 1,000 และ 2,000 mg/L ตามลำดับ ซึ่งสัมพันธ์กับสัดส่วนของ MLVSS/MLSS ในถังปฏิกรณ์ ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.70, 0.77 และ 0.82 ทั้งนี้อาจเนื่องจากการเติม PAC ช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวกลางให้จุลินทรีย์ยึดเกาะทำให้มีปริมาณจุลินทรีย์ที่จะช่วยย่อยสลายสารอินทรีย์ได้มาก (สร้อยดาว วินิจนันท์, 2551) ส่วนประสิทธิภาพการบำบัด BOD มีค่าใกล้เคียงกันในทุกชุดการทดลอง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลองเตรียมจากน้ำตาล glucose ซึ่งจุลินทรีย์สามารถย่อยได้ง่าย จึงทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดของแต่ละชุดการทดลองมีความแตกต่างกันไม่มากนัก

1.2 ประสิทธิภาพการบำบัดสี สรุปได้ดังนี้

- ระบบ MBR ในช่วงแรกไม่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสี แต่ในช่วงที่ระบบคงตัว พบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดสีเพิ่มขึ้นเป็น $47.61 (\pm 8.40) \%$ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก ในช่วงแรกของการเดินระบบโมเลกุลของสีที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดรูพรุนของเยื่อกรองสามารถผ่านการกรองออกไปกับน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดได้ ในเวลาต่อมาเมื่อเยื่อกรองเริ่มอุดตันมากขึ้น จนทำให้รูพรุนของเยื่อกรองมีขนาดเล็กลง พบว่า

ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดสีเพิ่มสูงขึ้น (เทอดพงศ์ ศรีสุขพันธุ์ และ ชาติ เขียมไชยศรี, 2554) นอกจากนี้ สร้อยดาว วินิจนันทรณ์ (2551) ได้รายงานไว้ว่า ระบบบำบัดทางชีวภาพสามารถลดความเข้มข้นสีได้ในระยะยาวจากการดูดซับและย่อยสลายของจุลินทรีย์

- ส่วนระบบ MBR-PAC ที่มีการเติม PAC 1,000 และ 2,000 mg/L การเติม PAC 1,000 และ 2,000 จะให้ประสิทธิภาพดีกว่าชุดการทดลองที่ไม่เติม PAC อย่างชัดเจนเฉพาะช่วงแรกของการทดลอง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในช่วงแรกของการทดลองถ่านกัมมันต์กำจัดสีโดยอาศัยกลไกการกรอง (เทอดพงศ์ ศรีสุขพันธุ์ และ ชาติ เขียมไชยศรี, 2554) ส่วนในช่วงที่ระบบคงตัว พบว่า การเติม PAC 2,000 mg/L ให้ประสิทธิภาพเฉลี่ย 74.99 (± 6.04)% ซึ่งสูงกว่าการเติม PAC 1,000 mg/L ที่ให้ประสิทธิภาพเฉลี่ยเท่ากับ 52.11 (± 6.94)% ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเติม PAC ช่วยเพิ่มพื้นที่ตัวกลางให้จุลินทรีย์ยึดเกาะทำให้มีปริมาณจุลินทรีย์ที่จะช่วยย่อยสลายสารอินทรีย์ได้มาก (สร้อยดาว วินิจนันทรณ์, 2551)

1.3 ประสิทธิภาพการบำบัด TDS พบว่า ระบบ MBR และ MBR-PAC มีประสิทธิภาพการบำบัด TDS เพียงเล็กน้อย โดยไม่สามารถกำจัด TDS ที่ส่วนใหญ่มีองค์ประกอบจากเกลือ NaCl ซึ่งเป็นของแข็งละลายคงตัว (Fixed Solids, FS) ได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของพัฒน์พงษ์ ดิษะรา (2552) ที่รายงานไว้ว่า เมื่อค่า TDS น้ำเข้าสูงค่า TDS น้ำออกก็จะสูงตามด้วยแต่จะลดลงเล็กน้อย ดังนั้นถ้าต้องการจะบำบัดค่า TDS ให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจะต้องใช้วิธีการบำบัดแบบอื่นที่เหมาะสมกว่า

2. เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดระหว่างการเติม PAC แบบครั้งเดียวและเติมแบบต่อเนื่อง ผลการทดลองของชุดการทดลองที่ 3 และ 4 สรุปได้ว่า ประสิทธิภาพการบำบัด COD, BOD และสี ของการเติม PAC แบบครั้งเดียว มีประสิทธิภาพดีกว่าการเติมแบบต่อเนื่อง ทั้งนี้เนื่องมาจากการเติมถ่านแบบต่อเนื่องมีการถ่ายจุลินทรีย์ออกจากระบบทุกวันเพื่อควบคุมอายุของ PAC ในระบบในถังที่ ซึ่งเป็นเหตุทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตไม่ทัน ส่วนประสิทธิภาพการบำบัด TDS พบว่าไม่แตกต่างกันทั้งในชุดการทดลองที่เติม PAC แบบครั้งเดียวและแบบเติมต่อเนื่อง

ข้อเสนอแนะ

1. ในระบบ MBR นี้ไม่สามารถบำบัดค่า TDS ได้ จึงควรหาวิธีการบำบัดแบบอื่นที่เหมาะสมกว่า
2. ควรทำการทดลองเติม PAC แบบต่อเนื่อง โดยควบคุมอายุของ PAC ที่ค่าอื่นเพิ่มเติม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดของระบบ MBR-PAC

เอกสารอ้างอิง

กรมโรงงานอุตสาหกรรมกระทรวงอุตสาหกรรมและสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย. (2545)

ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ : สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.

ณัฐพันธ์ กลิ่นเกสร. (2545). การกำจัดซีโอดีในโตรเจน และฟอสฟอรัส ด้วยกระบวนการทางชีวภาพร่วมกับไมโครฟิลเตรชัน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- เทอดพงศ์ ศรีสุขพันธุ์ และ ชชาติ เจียมไชยศรี (2554). ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยเก่า โดยใช้เยื่อกรองไมโครฟิลเตรชันร่วมกับถ่านกัมมันต์. วารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย. 25 (3), 61-69.
- พัฒน์พงษ์ ดิษะรา. (2552). การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้นสูงโดยระบบ ถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบใช้เมมเบรน. ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วีระพงษ์ แซ่ใจ. (2545). การบำบัดน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมโดยระบบ Sequencing Batch Reactor System. ปรินญาวิทยาศาตรมหาบัณฑิตสาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี.
- สร้อยดาว วินิจนันทรรัตน์. (2551). รายงานวิจัยเรื่องโครงการศึกษาประสิทธิภาพในการเติมถ่านกัมมันต์ ในถังปฏิกรณ์แผ่นกั้นเพื่อบำบัดและกำจัดสีย้อมจากน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ. สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- APHA (1998). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 20th edition. American Public Health Association, Washington, D.C.
- Kim, H.S., et al. (2005). **Development of a microfilter separation system coupled with a high dose of powdered activated carbon for advanced water treatment**. Desalination. 186 , 215-226.
- Ng, C. A., et al. (2013). **Optimization of Membrane Bioreactors by The Addition of Powdered Activated Carbon**. Bioresource Technology. 138 , 38-47.
- Srisukphun, T. (2009). **Study of Fouling Mechanism and Fouling Indicators of Reverse Osmosis Membrane for Enhancing Reuse Potential of Wastewater for Textile Industry**. Doctoral Desertation. Environmental Engineering. Faculty of Engineer. Kasetsart University.
- Saivivat N. and T. Fujioka. (2004). **Experiments of Wastewater Reuse in Textile and Finishing/ Dyeing Factories**. pp. 7-10 – 7-19. In The Seminar on Wastewater Reuse Project in Thailand, Entitled “The Development of Environmental Wastewater Reuse Technology”. Department of Industrial Works, Century Park Hotel, Bangkok.