



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

การบำบัดสีย้อมด้วยกระบวนการโอโซนเนชั่นร่วมกับแมงกานีสไดออกไซด์
เคลือบบนผงอะลูมินา

Dye Wastewater Treatment with Ozonation Process with Manganese Dioxide
Coated on Alumina Powder

หทัยชนก จรเชื้อ¹ และ ต่อบงศ์ กรัธชาติ^{1*}

Hathaichanok Jorakhe¹ and Torpong Kreetachai^{1*}

¹⁾ คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยพะเยา, พะเยา 56000, ประเทศไทย

¹⁾ School of Energy and Environment, University of Phayao, Phayao 56000, Thailand

Received: 7 มี.ค. 62

Revised: 24 เม.ย. 62

Accepted: 14 พ.ค. 62

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการบำบัดสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์อุตสาหกรรมฟอกย้อมด้วยกระบวนการโอโซนเนชั่นร่วมกับแมงกานีสไดออกไซด์เคลือบบนผงอะลูมินา โดยมีวัตถุประสงค์หลักสำหรับศึกษาจลนศาสตร์และให้ได้สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดสีย้อม ในงานวิจัยแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน คือ กระบวนการโอโซนเนชั่น (Ozonation Process) กระบวนการบำบัดโดยตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic Process) และกระบวนการโอโซนเนชั่นร่วมกับใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalytic Ozonation Process) ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยา ที่ pH 4.0 6.0 และ 8.0 ปริมาณโอโซนที่ใช้ 5.0 mg/min และปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในกระบวนการ 2.5 และ 5.0 g ผลการทดลองที่พบว่า สีย้อม azo ถูกบำบัดได้ด้วยกระบวนการโอโซนเนชั่นร่วมกับแมงกานีส ไดออกไซด์ที่เคลือบบนผงอะลูมินา โดยสภาวะที่เหมาะสม คือ pH 8 ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 2.5 g ในเวลา 40 min สามารถบำบัดสีย้อมได้ถึง 95% มีค่าคงที่ของปฏิกิริยา $30.0 \times 10^{-4} \text{ ADMI}^{-1} \text{ L min}^{-1}$ เป็นปฏิกิริยาอันดับที่ 2 (Second-Order Reaction)

คำสำคัญ : โอโซนเนชั่น แมงกานีสไดออกไซด์ อะลูมินา แคตาไลติก

Abstract

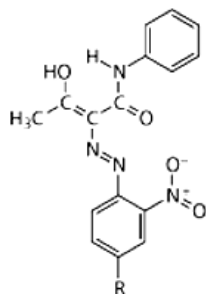
This research aims to study on kinetics of dye treatment from industrial dye wastewater using ozone with manganese dioxide on alumina powder. The treatments were divide into three processes: ozonation, catalysis and catalytic ozonation. The optimization conditions studied on pH 4, 6 and 8 with 5 mg/min ozone consumption while, catalyst loading 2.5 and 5 g The result showed by ozonation process successfully degraded 95% in 40 minutes of azo dye under conditions pH 8 and 2.5 g catalyst loading. The reaction followed second-order reaction with constant $30.0 \times 10^{-5} \text{ ADMI}^{-1} \text{ L min}^{-1}$.

Keywords : Ozonation: Manganese Dioxide: Alumina: Catalytic

*ติดต่อ: hathaichanok0711@gmail.com, โทรศัพท์ 0947107300

1. บทนำ

ปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการพัฒนาอุตสาหกรรมโดยเฉพาะอุตสาหกรรมสิ่งทอที่ใช้ น้ำ เป็นปัจจัยสำคัญร่วมกับวัตถุดิบในทุกขั้นตอนตั้งแต่การผลิต จนถึงการฟอกย้อมโดยวัตถุดิบที่ใช้ เช่น สี ย้อมผ้า โดยเฉพาะกลุ่มสี Azo สารเคมี บางชนิด ละลายน้ำได้ ทำให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำจาก สารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำ ส่งผลกระทบต่อจุลินทรีย์ใน กระบวนการบำบัดทางชีวภาพ โครงสร้างของสีย้อม Azo (red-azo dye) [1] แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 โครงสร้างของสีย้อม Azo (red-azo dye)

อุตสาหกรรมฟอกย้อมมีการใช้น้ำและสารเคมี จำนวนมากปัญหาที่พบคือ มีการปล่อยน้ำทิ้งจาก โรงงานที่ไม่ได้มาตรฐาน มลสารส่วนใหญ่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำ ลดอัตราการเกิดออกซิเจนละลายในน้ำ บดบัง แสงจากดวงอาทิตย์ ทำให้พืชไม่สามารถสังเคราะห์ แสงได้ [2] ดังนั้นการจัดการสิ่งแวดล้อมของโรงงานจึง มีความจำเป็น โดยมีเทคโนโลยีที่ใช้บำบัดน้ำเสีย เพื่อให้ได้น้ำทิ้งที่ผ่านมาตรฐาน [3] อย่างไรก็ตาม กระบวนการออกซิเดชันขั้นสูง (Advance Oxidation Process; AOPs) [4] เป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งกระบวนการที่เน้นใช้คือ กระบวนการโอโซนเนชั่น (Ozonation) ที่มีแมงกานีสไดออกไซด์ (MnO_2) เป็น ตัวออกซิไดซ์ในการทำปฏิกิริยาร่วมกับโอโซน (O_3) เคลือบลงบนผิวของอะลูมินา (Al_2O_3) ซึ่งปฏิกิริยาเริ่ม จากเปลี่ยนออกซิเจนให้เป็นโอโซน หลังจากนั้นโอโซน ที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับแมงกานีสไดออกไซด์ที่ เคลือบบนผิวอะลูมินา เพื่อให้เกิดพันธะไฮดรอกซิล เรดิคัล ($\text{OH}^\bullet$) จับกับโมเลกุลของสี และย่อยสลาย โดยการเปลี่ยนโครงสร้างของสารนั้น [5]

2. วิธีการวิจัย

2.1 สารเคมี

1) การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยา โดยใช้ MnCl_2 100 mL 2.5 M. ผสมกับ NaOH 1.0 mL 10 M. เทใส่อะลูมินา 100 g. ในถ้วยทนความร้อน อบที่อุณหภูมิ 150°C เวลา 5 hr. หลังจากนั้นนำมาเผาที่อุณหภูมิ 500°C เวลา 3 hr. ทิ้งให้เย็นในอุณหภูมิห้องแล้วล้างด้วยน้ำกลั่น 2-3 ครั้ง ทิ้งให้แห้ง [6]

2) การเตรียมสีย้อม azo ที่ความเข้มข้น 2,000 ADMI หรือ 3 mg/L ในน้ำ DI

3) ไอโซนที่ใช้ ผลิตจากเครื่อง Ozzon Ozone Generator ที่ 5 mg/min

2.2. ถังปฏิกิริยา

ถังปฏิกิริยาขนาด 2 L ตั้งบนเครื่องกวนผสม เชื่อมต่อกับเครื่องผลิตไอโซน (Ozone Generator รุ่น OZ-A1 ยี่ห้อ Ozzon) จุ่ม diffuser ลงด้านล่างของถังปฏิกิริยา

2.3 การทดลอง

การทดลองแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ Ozonation Process คือ ติดตั้งถังปฏิกิริยา แล้วทำการทดลองเปรียบเทียบสถานะของ pH 4.0 6.0 และ 8.0 ตามลำดับ กระบวนการต่อมาคือ Catalytic Process เป็นการทดลองโดยเปรียบเทียบปริมาณของสารตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ คือ 2.5 และ 5 g. และสุดท้ายคือ Catalytic Ozonation Process คือ การทดลองเปรียบเทียบสถานะของ pH 4.0 6.0 และ 8.0 ตามลำดับ ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ 2.5 และ 5 g.

ความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อม azo อยู่ที่ 2,000 ADMI หรือ 3 mg/L ปริมาตร 1 L เก็บตัวอย่างทุก ๆ 5 min เป็นเวลา 40 min แล้วนำไปวิเคราะห์ปริมาณสีที่หลงเหลืออยู่ด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer

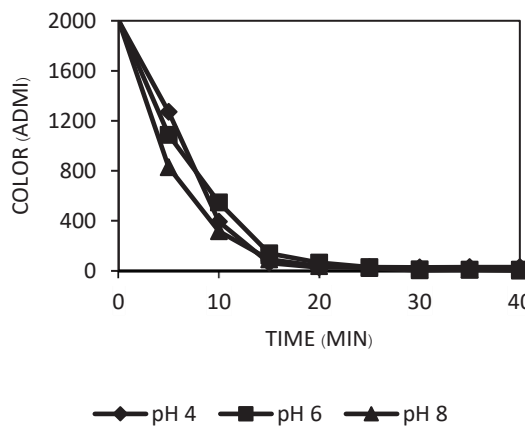
2.4 การวิเคราะห์สีย้อม azo ในหน่วยของ ADMI

นำน้ำตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการบำบัดมาวิเคราะห์ ค่าแสงส่องผ่าน (%Transmission; %T) ด้วยเครื่อง UV-Vis spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 590 540 และ 438 nm ตามลำดับ จากนั้นนำมาวิเคราะห์คำนวณค่า ADMI ตามวิธี Method 110.1 Colorimetric, ADMI [6]

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

3.1 การบำบัดสีย้อมด้วยกระบวนการ Ozonation

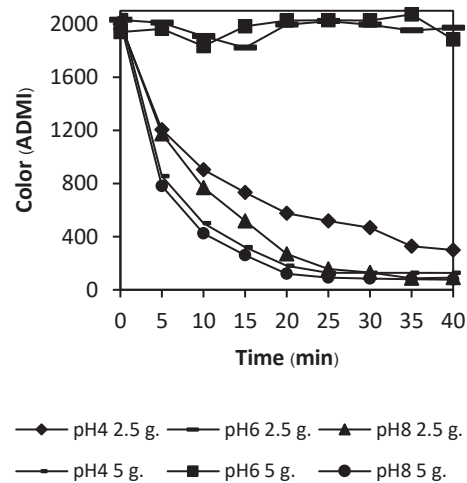
ในการทดลองการบำบัดสีย้อมด้วยกระบวนการไอโซนเนชัน โดยใช้ความเข้มข้นของสีเริ่มต้นที่ 2,000 ADMI และเติมปริมาณไอโซนที่ 5 mg/min โดยการเปรียบเทียบ pH 4.0 6.0 และ 8.0 ตามลำดับ ปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง ด้วย กรดซัลฟิวริก และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ผลการทดลองพบว่าที่ pH 8.0 มีการลดลงของสีย้อม ได้ดีที่สุดสูงกว่า pH 6.0 และ 4.0 แสดงว่าในสถานะ pH ที่เป็นด่างมีความเหมาะสมในการบำบัดได้ดีกว่าในสถานะที่เป็นกรด ในเวลาที่ 0-15 นาทีที่มีการลดลงของสีย้อมอย่างรวดเร็ว จากความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อมที่ 2,000 ADMI เหลือ 92 ADMI มีประสิทธิภาพการบำบัดมากถึง 95% หลังจากเวลาที่ 15-40 นาที มีการลดลงของสีน้อย แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การบำบัดสีย้อมด้วยกระบวนการ Ozonation โดยการเปรียบเทียบ pH 4.0 6.0 และ 8.0

3.2 การบำบัดด้วยกระบวนการ Catalytic

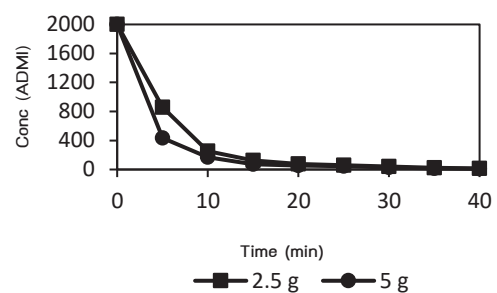
จากการทดลองการบำบัดสีย้อมด้วยกระบวนการ Catalytic โอโซนที่ใช้ผลิตจากเครื่อง Ozone Generator ที่ 5 mg/min เปรียบเทียบปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 2.5 และ 5 g. ที่ pH 4.0 6.0 และ 8.0 ตามลำดับ ปรับสภาวะความเป็นกรด-ด่าง ด้วย กรดซัลฟิวริก และโซเดียมไฮดรอกไซด์ จากการทดลองพบว่าที่ปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 5 g. ให้ประสิทธิภาพการบำบัดได้ดีกว่าปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา 2.5 g. เมื่อเปรียบเทียบ pH 4.0 6.0 และ 8.0 ที่ pH 8 มีประสิทธิภาพการบำบัดได้ดีกว่า pH 4.0 ส่วน pH 6.0 ไม่มีการลดลงของสีย้อม และแสดงว่าสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดสีย้อมด้วยกระบวนการ Catalytic คือสภาวะที่เป็นกรดแก่ และต่างแก่ [8] และแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การบำบัดสีย้อมด้วยกระบวนการ Catalytic

3.3 การบำบัดสีย้อมด้วยกระบวนการ Catalytic Ozonation

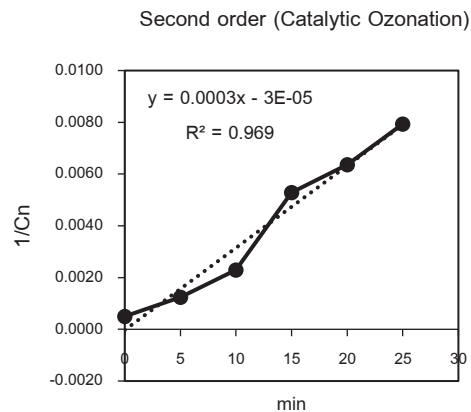
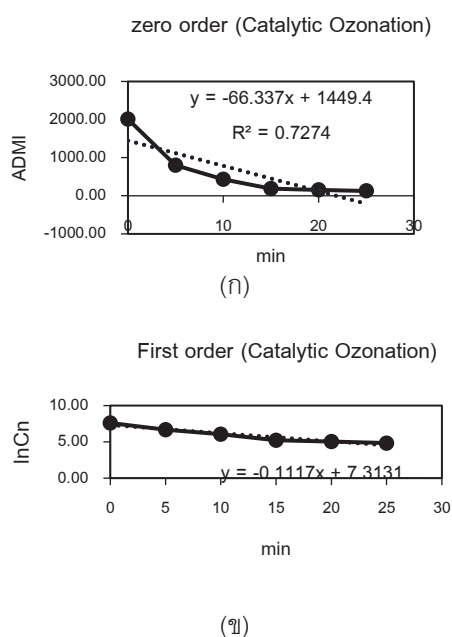
จากการทดลองการบำบัดสีย้อมด้วยกระบวนการ Catalytic Ozonation โดยเปรียบเทียบปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 2.5 และ 5 g. ที่ pH 8.0 พบว่าปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 5.0 g. สามารถบำบัดสีย้อมได้ดีกว่าปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 2.5 g. แสดง ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 การบำบัดสีย้อมด้วยกระบวนการ Catalytic Ozonation

3.4 จลนพลศาสตร์ของการย่อยสลายสีย้อม ด้วยกระบวนการ Ozonation กระบวนการCatalytic และกระบวนการ Catalytic Ozonation

ผลการเปรียบเทียบค่าจลนพลศาสตร์ของกระบวนการ Ozonation กระบวนการ Catalytic และกระบวนการ Catalytic Ozonation ในการบำบัดสีย้อมโดยหาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสีย้อม (azo) และเวลาในการบำบัด (time) ที่ pH 8.0 ปรับสภาวะความเป็นด่าง ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ตัวเร่งปฏิกิริยา 2.5 g. พบว่ากระบวนการ Ozonation และกระบวนการ Catalytic เป็นปฏิกิริยาอันดับ 1 (First- Order Reaction) [9] ส่วนกระบวนการ Catalytic Ozonation เป็นปฏิกิริยาอันดับที่ 2 (Second-Order Reaction) ซึ่งแสดงการได้มาของอันดับปฏิกิริยา ดังรูปที่ 5 และแสดงค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาของกระบวนการ Catalytic Ozonation ในการบำบัดสีย้อม ดังตารางที่ 1



(ค)

รูปที่ 5 กราฟการบำบัดสีย้อมของปฏิกิริยา แคตาไลติกโอโซนเนชั่น (Catalytic Ozonation Process) ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 2.5 กรัม ที่ pH 8.0 ของปฏิกิริยาอันดับ 0 (ก) ปฏิกิริยาอันดับ 1 (ข) และปฏิกิริยาอันดับ 2 (ค)

กระบวนการ AOPs	Catalytic Ozonation	
Zero order Reaction	-66.337	0.7274
(ADMI/L ⁻¹ min ⁻¹)		
First Order Reaction	-0.1117	0.9384
(min ⁻¹)		
Second Order Reaction	0.0003	0.969
(ADMI ⁻¹ L min ⁻¹)		

ตารางที่ 1 ค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาของกระบวนการ Catalytic Ozonation ในการบำบัดสีย้อม

4. สรุป

สีย้อม azo (red-azo dye) ถูกบำบัดได้ด้วยกระบวนการไฮโซนเนชันร่วมกับแสงยูวี-เอไดออกไซด์ที่เคลือบบนผงอะลูมินา โดยสภาวะที่เหมาะสมคือ pH 8 ตัวเร่งปฏิกิริยาที่ 2.5 กรัม ในเวลา 40 นาที สามารถบำบัดสีย้อมได้ถึง 95% มีค่าคงที่ของปฏิกิริยา $30.0 \times 10^{-5} \text{ ADMI}^{-1} \text{ L min}^{-1}$ เป็นปฏิกิริยาอันดับที่ 2 (Second-Order Reaction)

อย่างไรก็ตามจะต้องมีการศึกษาสภาวะที่เหมาะสม ของปัจจัย pH และปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มเติม ด้วยโปรแกรมออกแบบการทดลอง RSM (Response Surface Methodology)

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณห้องปฏิบัติการวิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยาเป็นอย่างสูง ในการอนุเคราะห์สถานที่ อุปกรณ์ ตลอดจนเครื่องมือวิเคราะห์ ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ต่อพงศ์ กรีธาชาติ ที่ให้คำปรึกษา และขอขอบพระคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่อุดหนุนทุนการทำการวิจัยส่งเสริมและสนับสนุนการวิจัยประเภทบัณฑิตศึกษา ในงานวิจัยครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] อรชฎา ชันติกุล และ อนุรักษ์ ปีติรักษ์สกุล. การหาสภาวะที่เหมาะสมของการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานหมักพื้โดยกระบวนการไฮโซนเนชัน. วิศวกรรมศาสตรมหาวิทยาลัย ขอนแก่น 2550; 34 (2): 177 - 188.
- [2] พงษ์ศักดิ์ ชาวอินทร์. การกำจัดสีย้อมจากน้ำทิ้งโรงงานฟอกย้อมโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดพื้นฟูสภาพได้. [วิทยานิพนธ์ปริญญา
- วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี]. มหาวิทยาลัยสงขลลา -นครศรีธรรม; 2555.
- [3] ขนิษฐา. อุตสาหกรรมฟอกย้อม. (สื่อออนไลน์) [เข้าถึงเมื่อ วันที่ 7 กรกฎาคม 2561]. เข้า ถึง ได้ จ าก <http://www.doae.go.th/html.detail.sunflower.t2.gif>
- [4] Muhammad A, et al. Decolorization and Removal of COD and BOD from Raw and Biotreated Textile Dye Bath Effluent Through Advanced Oxidation Processes (AOPs). Brazilian Journal of Chemical Engineering. 2008; 25(3): 453 - 459
- [5] Rice R G, Miller G W, Robson C M, Hill A G. Ozone Utilization in Europe. In. Al Che Symposium Series. Ozone Institute: Toronto; 1980.
- [6] Trung - D, Arghya N B, Quang- T T, Sudipta R. Fast degradation of dyes in water using manganese- oxide- coated diatomite for environmental remediation. Journal of Physics and Chemistry of Solids 2016; 98: 50–58.
- [7] Jaroon J. Measurement of color in waste water [MEn Thesis]. Faculty of Science, Chiang Mai University; 2016.
- [8] Tom D R, Paul A R. Unit Operation and Proceed in Environment Engineering ; 2009