

Research Article

การพัฒนาและออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิต แบตเตอรี่ด้วยเทคโนโลยีโอโซนระบบพลาสมาความดันสูง

The development and design of wastewater treatment from battery factory by high pressure plasma system of ozone technology

ไพโรจน์ หอมอ่อน^{1*}, มงคล จงสุพรรณพงศ์¹, ฐกฤต ปานขลิบ¹ และปรีดา จันทวงษ์²

Phairoj Homon^{1*}, Mongkol Jongsuphanphong¹, Thakrit Pankrib¹ and Preeda Chantawong²

¹สาขาการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม 46 ถนนจรัญสนิทวงศ์ เขตบางกอกใหญ่
กรุงเทพฯ 10600

¹Energy and Environment Management, Graduate School, Siam Technology College, 46 Jarunsanitwong Road, Bangkok-yai district,
Bangkok 10600

²วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 1518 ถนนประชาชื่น สาย 1 เขตบางซื่อ
กรุงเทพฯ 10800

²College of Industrial Technology, King Mongkut's University of Technology North Bangkok, 1518 Pracharat Sai 1 Road, Bangsue,
Bangkok 10800

*Email: phairoj2006@yahoo.co.th

บทคัดย่อ

น้ำเสียที่ปล่อยออกจากโรงงานผลิตแบตเตอรี่ซึ่งผ่านกระบวนการบำบัดทางเคมีโดยใช้สารละลายโซดาไฟ (NaOH) 50% พบว่ายังมีการปนเปื้อนของไอออนตะกั่ว (Pb^{2+}) อยู่ส่วนหนึ่ง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแม้ปริมาณของ ไอออนนี้จะอยู่ในค่ามาตรฐานก็ตาม กระบวนการบำบัดทางเคมีไม่สามารถขจัดไอออนตะกั่วออกจากน้ำเสียได้

100% โอโซน (O_3) เป็นตัวออกซิไดส์ที่แรง และเนื่องจากคุณสมบัติข้อนี้ โอโซนจึงสามารถออกซิไดส์ไอออนของโลหะหนักที่เป็นพิษหลายชนิดได้เมื่อมีการแตกตัว งานวิจัยนี้จึงได้นำโอโซนมาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตแบตเตอรี่เพื่อลดการปนเปื้อนของไอออนตะกั่วให้เหลือ 0% หรือลดให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้เพื่อรักษาสิ่งแวดล้อม ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าปริมาณไอออนตะกั่วลดลงผกผันกับการเพิ่มความเข้มข้นของโอโซน ($R^2 = 0.840$) และเมื่อให้ปริมาณของโอโซนคงที่คือ $600 \text{ mgO}_3/\text{hr}$ การเพิ่มเวลาโอโซนสัมผัสกับน้ำเสียทำให้ปริมาณไอออนตะกั่วลดลงแบบผกผัน ($R^2 = 0.872$) ดังนั้นการบำบัดด้วยเทคโนโลยีโอโซนระบบพลาสมาความดันสูง จึงสามารถช่วยลดการปนเปื้อนของไอออนตะกั่วในน้ำเสียที่ปล่อยออกจากโรงงานผลิตแบตเตอรี่ได้ประมาณ 71.42-85.71%

คำสำคัญ: ระบบโอโซนพลาสมาความดันสูง, การบำบัดน้ำเสีย, โรงงานผลิตแบตเตอรี่

Abstract

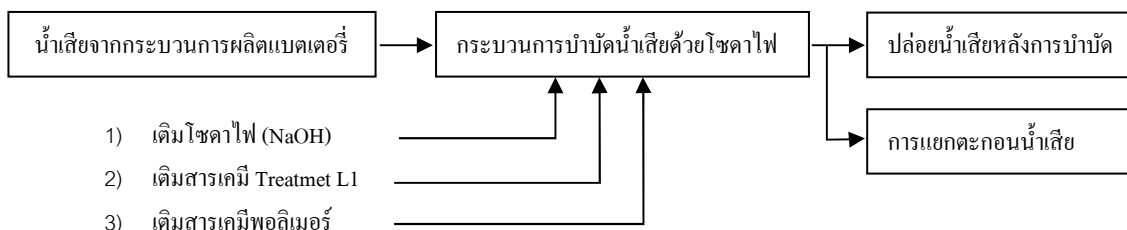
Discharged wastewater from battery manufacture which passed through chemical treatment process using 50% NaOH solution still contained some of lead ion (Pb^{2+}). This showed that though the amount of this ion was within the standard, chemical treatment process lacked the ability to eliminate 100% of lead ion from wastewater. Ozone is a strong oxidizing agent. Due to this property, ozone could oxidize many toxic heavy metal ions when it decomposes. This research, then, used ozone to increase the efficiency of wastewater treatment from battery factory for lessening of lead ion contamination to 0% or dropping as much as possible to preserve the environment. Results revealed that the amount of lead ion reduced inversely with the increasing of ozone concentration ($R^2 = 0.840$) and, when the quantity of ozone was steady at $600 \text{ mgO}_3/\text{hr}$, the rising of time for ozone treatment made the number of lead ion contrarily decline ($R^2 = 0.872$). Hence, treatment by high pressure plasma system of ozone technology could decrease lead ion contamination in discharged wastewater from battery manufacture around 71.42-85.71%

Keywords: high pressure plasma system of ozone technology , wastewater treatment, battery factory

บทนำ

น้ำเสียจากกระบวนการผลิตแบตเตอรี่จะมีการปนเปื้อนสารมลพิษ 2 ส่วนหลักๆ คือ การปนเปื้อนของไอออนตะกั่ว (Pb^{2+}) และการมีค่าความเป็นกรดสูงที่ค่า pH 1-2 การบำบัดมลพิษน้ำเสียของโรงงานผลิตแบตเตอรี่เป็นระบบบำบัดแบบเคมีบำบัด (chemical treatment) โดยการใช้สารละลายโซดาไฟ (NaOH) 50% ในการปรับค่า

pH ของน้ำเสียให้ได้ 5.5-9 ทำให้เกิดเป็นผลึกตะกอนของสารประกอบตะกั่ว $Pb(OH)_2$ จับตัวกันเป็นตะกอน (floc) แล้วทำให้เกิดการตกตะกอนด้วยการเติมสารเคมีพอลิเมอร์ และ Treatmet L1 ซึ่งบริษัทฯ มีต้นทุนค่าการบำบัดน้ำเสียที่สูงเนื่องจากราคาของสารเคมีในกระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยสารละลายโซดาไฟ 50% ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1. แสดงกระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยสารละลายโซดาไฟ 50%

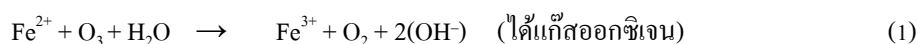
ในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย มีกระบวนการที่ใช้ในการบำบัดโลหะหนักอยู่หลายวิธี ซึ่งการพิจารณาจะเลือกใช้วิธีใดนั้น ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในแง่ต่าง ๆ ดังนี้คือ คุณสมบัติของน้ำเสียก่อนเข้ารับการบำบัด คุณภาพของน้ำที่ต้องการหลังการผ่านระบบบำบัด พื้นที่ที่ต้องการใช้ในการบำบัด ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย และความเป็นไปได้ในการนำของเสียกลับมาใช้ใหม่ (เมธินี, 2549) ซึ่งการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียที่พบในปัจจุบัน ได้แก่ (สุวิชา อัสวเรืองชัย, 2546)

1. การแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange: IE)
2. ออกซิเดชันและรีดักชัน (oxidation and reduction)
3. ออสโมซิสผันกลับ (reverse osmosis)
4. การระเหย (evaporation)
5. การแยกกรองด้วยไฟฟ้าหรืออิเล็กโทรไดอะลิซิส (electrodialysis)
6. การดูดซับ (adsorption)
7. การตกตะกอนทางเคมี (chemical precipitation)

จากการศึกษาสำหรับไอโซนที่เกิดขึ้นโดยเครื่องผลิตไอโซนทั่วไปจะใช้หลักการของการปล่อยประจุไฟฟ้า (electrical discharge) โดยสนามไฟฟ้าแรงสูง ทำให้โมเลกุลออกซิเจน (O_2) แตกตัวเป็นอะตอมออกซิเจน (O) แล้วรวมกับโมเลกุลออกซิเจนตัวอื่น ๆ กลายเป็นโมเลกุลไอโซน (O_3) (สุรพล, 2549; Jongsuphaphong และคณะ, 2010) คุณสมบัติของไอโซนคือ เมื่อเกิดการสลายตัวจะมีออกซิเจนหนึ่งอะตอมซึ่งไม่เสถียร และออกซิเจนที่เกิดจากการสลายตัวของไอโซนจะมีความไวในการออกซิไดส์อย่างแรงกับไอออนของโลหะต่าง ๆ ได้ดี นอกจากนี้เมื่อนำ

โอโซนมาใช้ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียยังสามารถช่วยลดค่า BOD, COD, TKN กับ SS และเพิ่มค่า DO (มงคล, 2550; Portjanskaja, 2008; Seo และคณะ, 2010)

วีรยา (2549) พบว่ากระบวนการโอโซนชัน (ozonation หรือ ozonization) หรือการเติมโอโซนลงในน้ำมีความสำคัญที่ช่วยในการบำบัดน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วของโรงงานเบียร์ ซึ่งสภาวะที่เหมาะสม ได้แก่ ค่า pH 10, อัตราการผลิตโอโซน 200 mg/l/hr และระยะเวลาในการสัมผัส 25 นาที มีประสิทธิภาพในการลดค่า BOD/COD เพิ่มขึ้น 77.78% และค่าของแข็งแขวนลอยเพิ่มขึ้น 92.15% นอกจากนี้โอโซนยังทำปฏิกิริยากับสารต่าง ๆ แล้วเกิดปรากฏการณ์ที่แตกต่างกันไปตามชนิดของสารที่เป็นตัวรีดิวซ์ และสภาพของโอโซนที่อยู่ในอากาศหรือสารละลาย เช่น ซัลไฟด์ (H_2S) ซัลไฟต์ (HSO_3^-) ไนไตรต์ (NO_2^-) โบรไมด์ (Br^-) ไอโอไดด์ (I^-) ไซยาไนด์ (CN^-) ไธโอไซยาไนด์ (SCN^-) และธาตุทุกชนิดยกเว้นฟลูออไรด์ จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเมื่อมีการเติมโอโซนเข้าไปและมักจะได้แก๊สออกซิเจนเกิดขึ้นมา (มงคล, 2550) ดังแสดงในสมการที่ (1), (2), (3) และ (4)



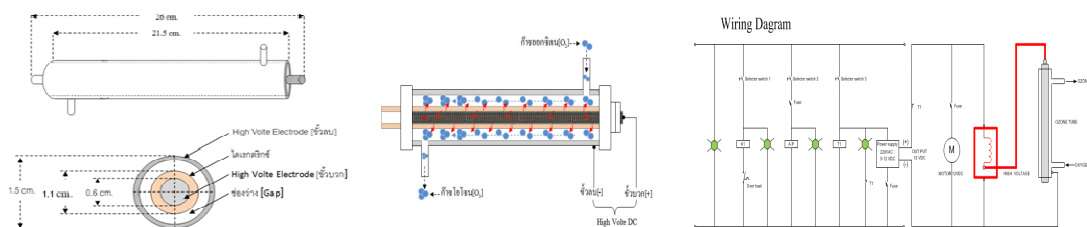
มงคลและสันทนต์ (2552) ศึกษาเปรียบเทียบการทำงานของเครื่องเติมออกซิเจนความดันสูงกับเครื่องผลิตโอโซนพลาสมาความดันสูง (เครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยระบบโอโซนพลาสมาความดันสูง) ที่ได้พัฒนาขึ้นมา พบว่าค่า K_La ของระบบภายใต้การเติมออกซิเจนมีค่าเท่ากับ 8.014 และภายใต้การเติมโอโซนมีค่าเท่ากับ 11.303 สัมประสิทธิ์ในการถ่ายเทออกซิเจนของเครื่องเติมออกซิเจนมีค่าเท่ากับ 10.43% และของเครื่องเติมโอโซนมีค่าเท่ากับ 14.72% และการเพิ่มค่าออกซิเจนละลายน้ำกับเวลาโดยเครื่องเติมออกซิเจน ($R^2 = 0.3507$) มีความสัมพันธ์ต่ำกว่าโดยเครื่องเติมโอโซน ($R^2 = 0.9335$)

จากผลดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาการแยกไอออนตะกั่วออกจากน้ำเสียของโรงงานผลิตเบตเตอรี ด้วยคุณสมบัติของโอโซนในการออกซิไดส์ไอออนของโลหะหนัก และทดสอบหาสภาวะที่เหมาะสมของปริมาณโอโซนสัมพันธ์กับเวลาในการผสมโอโซนและปริมาณน้ำเสียในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย ด้วยการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนระบบพลาสมาความดันสูง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตเบตเตอรี ให้ค่าการปนเปื้อนไอออนตะกั่วลดลงเป็นศูนย์ หรือให้ตกค้างในน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการบำบัดให้เหลือน้อยที่สุด โดยให้ค่าของไอออนตะกั่วต่ำกว่า 0.2 mg/l ก่อนปล่อยออกนอกโรงงาน ตามค่ามาตรฐานที่กฎหมายกำหนดเพื่อเป็นการช่วยรักษาสภาพแวดล้อม

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

การออกแบบและสร้างระบบบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนระบบพลาสมาความดันสูง

เครื่องผลิตโอโซนประกอบด้วย 3 ส่วน คือ หลอดผลิตโอโซน, วงจรสร้างแรงดันไฟฟ้า high voltage, ความถี่สูง, บีมจ่ายอากาศ โดยหลอดผลิตโอโซนหรือส่วนผลิตโอโซนประกอบด้วยท่อทรงกระบอก 3 ชั้น ชั้นนอกสุดทำด้วยสแตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 15 mm หนา 1 mm ยาว 215 mm ชั้นที่สองเป็นท่อแก้วไฟเร็กซ์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 11 mm หนา 1 mm ยาว 215 mm ชั้นที่สามซึ่งเป็นชั้นในสุดเป็นสแตนเลสเกลียวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 6 mm ยาว 260 mm โดยสแตนเลสเกลียวชั้นในสุดจะสัมผัสอยู่กับท่อแก้วไฟเร็กซ์พอดี ดังนั้นช่องระหว่างท่อสแตนเลสชั้นนอกกับท่อแก้วไฟเร็กซ์ประมาณ 2 mm ที่ปลายทั้งสองข้างของท่อสแตนเลสชั้นนอกสุดจะถูกเจาะรูและสวมท่อขนาด 3 mm เพื่อให้รูด้านหนึ่งเป็นด้านที่อากาศถูกบีบเข้าหลอดผลิตโอโซน ส่วนอีกด้านหนึ่งเป็นด้านให้โอโซนที่เกิดขึ้นในหลอดผ่านออกมา ช่องว่างภายในหลอดผลิตโอโซนขนาด 2 mm เป็นส่วนที่อากาศไหลผ่านและเกิด corona discharge เกิดเป็นโอโซน ที่ปลายทั้งสองข้างของหลอดผลิตโอโซนระหว่างท่อทั้งสามชั้นจะถูกปิดผนึกไว้ไม่ให้เกิดรอยรั่ว เพื่อให้เกิดแรงดันขณะที่โอโซนผ่านออกมาตามท่อชั้นนอกสุด โดยความยาวของช่องว่างภายในหลอดที่เกิด corona discharge เพื่อผลิตโอโซนเท่ากับ 215 mm หลอดผลิตโอโซนแสดงไว้ในรูป 2ก ลักษณะการเกิดโอโซนแสดงไว้ในรูป 2ข แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง, ความถี่สูง หลักการทำงานโดยนำไฟฟ้ากระแสสลับ 220 VAC, 50Hz แปลงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 12 VDC โดยใช้ rectifier diode และตัวเก็บประจุ จากนั้นก็นำไปจ่ายไฟให้กับมอเตอร์ 12 VDC ที่สามารถควบคุมความเร็วรอบได้เพื่อสร้างไฟฟ้าแรงดันสูงด้วยอุปกรณ์สร้างแรงดันไฟฟ้า high voltage, ความถี่สูง ที่สามารถควบคุมแรงดันไฟฟ้า และความถี่สูงได้ดังแสดงในรูป 2ค



(ก) หลอดผลิตโอโซน

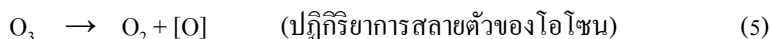
(ข) ลักษณะหลอดผลิตโอโซน

(ค) วงจรสร้างแรงดันไฟฟ้า high voltage, ความถี่สูง

รูปที่ 2. แสดงลักษณะหลอดผลิตโอโซนและวงจรสร้างแรงดันไฟฟ้า high voltage, ความถี่สูง

หลักการการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนระบบพลาสมาความดันสูง

ระบบบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนระบบพลาสมาความดันสูงประกอบไปด้วยเครื่องผลิตโอโซน สามารถผลิตโอโซนที่ปริมาณความเข้มข้น 0-600 mgO₃/hr ป้อนน้ำ 220 VAC 0.2 kw สูบน้ำจากถังพักน้ำปริมาตรบรรจุ 10 ลิตร ด้วยอัตราการไหล 6 ลิตร/นาที ส่งไปยังหัวฉีดน้ำแรงดันสูง (D) อยู่ในถังผสมหมายเลข 1 (B) น้ำเสียจะถูกฉีดพ่นเป็นละอองพร้อมกับการจ่ายโอโซนเข้าถังผสมเพื่อให้เกิดการผสมกันระหว่างน้ำเสียกับโอโซน วิธีการข้างต้นมีจุดเด่นคือ การผสมกันระหว่างน้ำเสียกับโอโซน เกิดขึ้นโดยมวลของน้ำซึ่งมีน้ำหนักมากกว่ามวลของโอโซนพุ่งเข้าชนโอโซนภายใต้สภาวะแรงดันสูง จึงเกิดการผสมกันได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ น้ำเสียเมื่อเกิดการผสมกับโอโซนที่ถังผสมหมายเลข 1 (B) จะไหลลงมารวมกันที่ถังผสมหมายเลข 2 (C) เพื่อเป็นการเพิ่มเวลาในการผสม และไหลกลับถังพักน้ำ และปั๊มน้ำก็จะสูบขึ้นไปผสมกับโอโซนอีกครั้ง การแยกไอออนตะกั่วออกจากน้ำเสียด้วยการออกซิไดส์จากอะตอมของออกซิเจนที่เกิดจากปฏิกิริยาการสลายตัวของโอโซนคาดว่าจะเกิดได้ตามสมการที่ (5) และ (6) (von Sonntag and von Gunten, 2012) ซึ่งระบบบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนระบบพลาสมาความดันสูง แสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3. แสดงลักษณะหลอดผลิตโอโซนและเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซน

เครื่องมือวิเคราะห์

เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ ได้แก่ เครื่อง conductivity meter ยี่ห้อ SevenGoTM รุ่น SG3 ดังแสดงไว้ในรูป 4ก, เครื่อง pH meter ยี่ห้อ Amtast รุ่น AMT03 ดังแสดงไว้ในรูป 4ข, เครื่องวิเคราะห์ตะกั่ว (inductively coupled plasma atomic emission spectrometry) ดังแสดงไว้ในรูป 4ค



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4. แสดง (ก) เครื่องวัดค่า conductivity/ total dissolved solids (TDS), (ข) pH และ (ค) เครื่องวิเคราะห์ตะกั่ว

วิธีดำเนินการทดลอง

เก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยสารละลายโซดาไฟ 50% มาตรวจวัดและวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่ควบคุมในน้ำเสียตั้งแต่ต้น เพื่อให้ทราบปริมาณการปนเปื้อนไอออนตะกั่วตั้งแต่ต้นก่อนการทดลอง แล้วแบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลองเพื่อให้ทราบประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนระบบพลาสมาความดันสูง ดังนี้

การทดลองที่ 1 ทดสอบประสิทธิภาพเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนโดยการจำลองอากาศเพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐาน ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซน ในการแยกไอออนตะกั่วออกจากน้ำเสียตัวอย่าง โดยกำหนดตัวแปรคงที่คือ ปริมาณน้ำเสีย 10 ลิตร, อัตราการไหล 6 ลิตร/นาที่, ระยะเวลาในการสัมผัสอากาศที่ 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60 นาที ตัวอย่างน้ำเสียมีค่าการปนเปื้อนตะกั่วในน้ำเสีย 0.14 mg/l เมื่อทำการทดลองตามค่าพารามิเตอร์ที่ควบคุมเสร็จเรียบร้อยแล้ว นำตัวอย่างน้ำเสียเข้าระบบการกรองตะกอนด้วยชั้นทรายที่ออกแบบไว้ แล้วนำตัวอย่างน้ำที่ผ่านเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนมาตรวจวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่ได้ศึกษา เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนในขั้นตอนการทดลองต่อไป

การทดลองที่ 2 ทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการเพิ่มของโอโซนกับประสิทธิภาพการบำบัดไอออนตะกั่วในน้ำเสียโดยการปรับเปลี่ยนปริมาณความเข้มข้นของโอโซนที่เวลาคงที่ โดยกำหนดตัวแปรคงที่คือ ปริมาณน้ำเสีย 10 ลิตร, อัตราการไหล 6 ลิตร/นาที่, ระยะเวลาในการสัมผัสโอโซน 30 นาที, ตัวอย่างน้ำเสียมีค่าการปนเปื้อนตะกั่วในน้ำเสีย 0.14 mg/l ตัวแปรไม่คงที่คือ ปริมาณโอโซนที่ใช้ในการสัมผัสกับน้ำเสีย 0, 100, 200, 300, 400, 500, 600 mgO₃/hr ที่เวลาคงที่ เมื่อทำการทดลองตามค่าพารามิเตอร์ที่ควบคุมเสร็จเรียบร้อยแล้ว นำตัวอย่างน้ำเสียเข้าระบบการกรองตะกอนที่ออกแบบไว้ แล้วนำตัวอย่างน้ำที่ผ่านเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนมาตรวจวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่ได้ศึกษาและบันทึกค่า

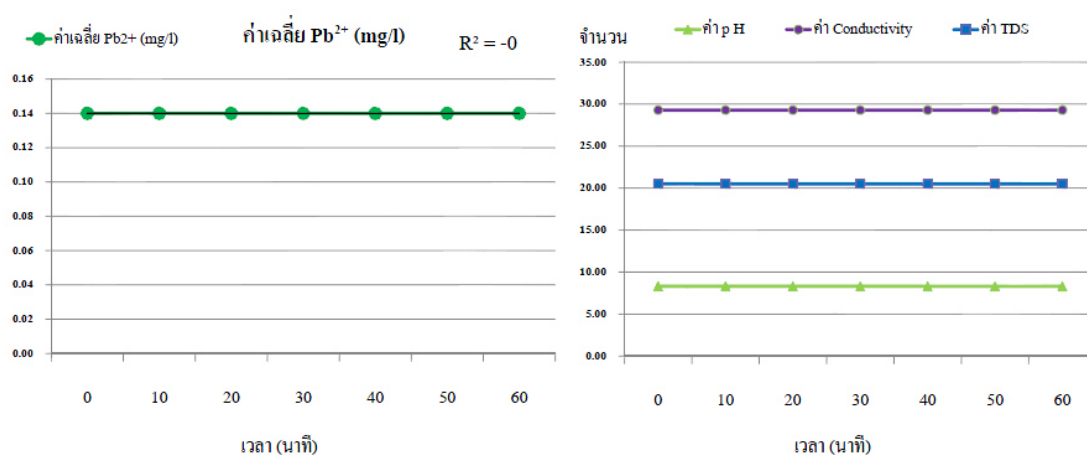
การทดลองที่ 3 ทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มเวลาที่ให้โอโซนสัมผัสสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการแยกไอออนตะกั่วในน้ำเสียโดยการปรับเปลี่ยนเวลาในการสัมผัสกับน้ำเสียที่ปริมาณความเข้มข้นโอโซนคงที่ โดยกำหนดตัวแปรคงที่คือ ปริมาณน้ำเสีย 10 ลิตร, อัตราการไหล 6 ลิตร/นาที่, ปริมาณความเข้มข้นโอโซนจ่ายเข้าระบบ

600 mgO₃/hr ค่าการปนเปื้อนตะกั่วในน้ำเสีย 0.14 mg/l ตัวแปรไม่คงที่ คือ เวลาโอโซนสัมผัสกับน้ำเสียที่ 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60 นาที เมื่อทำการทดลองตามค่าพารามิเตอร์ที่ควบคุมเสร็จเรียบร้อยแล้ว นำตัวอย่างน้ำเสียเข้าระบบการกรองตะกอนที่ออกแบบไว้ และนำตัวอย่างน้ำที่ผ่านระบบการบำบัดน้ำเสียด้วยเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซน ตรวจสอบวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่ได้ศึกษา

ผลการทดลอง

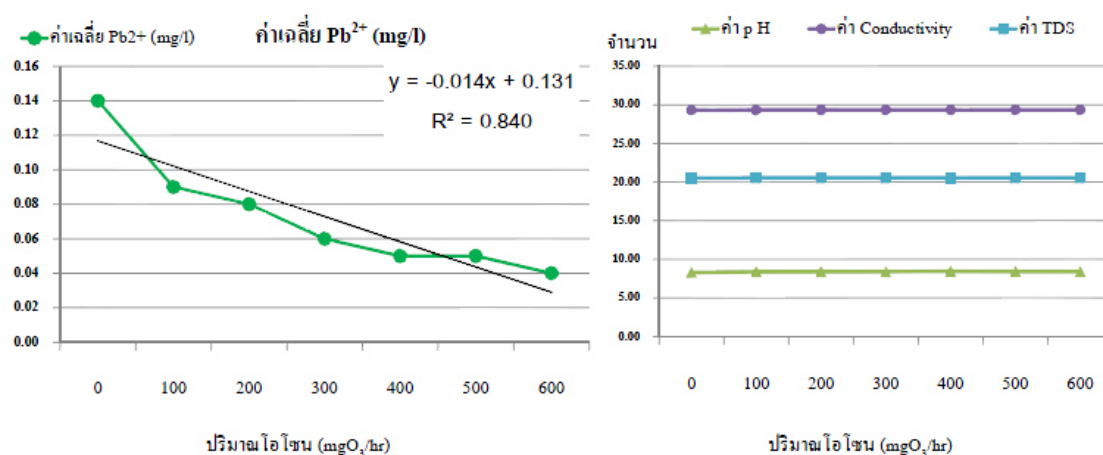
เมื่อได้ทดลองเพื่อทดสอบคุณสมบัติของโอโซนในการบำบัดไอออนตะกั่วในน้ำเสีย โดยการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโอโซนและเวลาในการสัมผัสในการแยกไอออนตะกั่วออกจากน้ำเสีย สามารถพิสูจน์ประสิทธิภาพในการบำบัดไอออนตะกั่ว ด้วยการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ควบคุมในน้ำเสียก่อนการทดลองและหลังการทดลอง ด้วยเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซน ได้ดังต่อไปนี้

การทดลองที่ 1 ผลจากการทดสอบประสิทธิภาพเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนโดยการจ่ายอากาศ เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนพบว่า ระบบการบำบัดน้ำเสียโดยมีการเปลี่ยนแปลงเวลาในการสัมผัสอากาศ มีค่าพารามิเตอร์ Pb²⁺, pH, conductivity และ TDS ที่ได้ศึกษาไม่มีการเปลี่ยนแปลง (รูปที่ 5) แสดงให้เห็นว่าระบบบำบัดน้ำเสียไม่มีผลต่อค่าพารามิเตอร์ดังกล่าว กล่าวคืออากาศปกติไม่สามารถแยกไอออนตะกั่วออกจากน้ำเสียได้



รูปที่ 5. กราฟแสดงผลการทำปฏิกิริยาของอากาศในการแยกไอออนตะกั่ว (Pb²⁺) และการเปลี่ยนแปลงของค่า pH, conductivity และ TDS

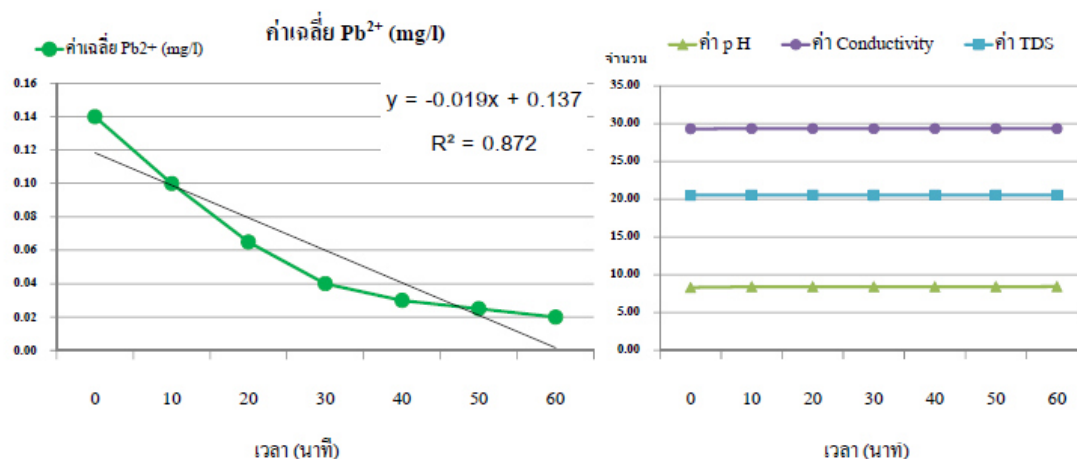
การทดลองที่ 2 ผลจากการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการเพิ่มของโอโซนกับประสิทธิภาพการบำบัดไอออนตะกั่วในน้ำเสีย พบว่าค่าพารามิเตอร์ Pb^{2+} , pH, conductivity และ TDS ที่ได้ศึกษามีค่า Pb^{2+} ลดลงตามปริมาณความเข้มข้นของโอโซนที่เพิ่มขึ้น ค่า pH, conductivity และ TDS มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย (รูปที่ 6) โดยประสิทธิภาพในการแยกไอออนตะกั่วออกจากน้ำเสียมีค่าเท่ากับ 71.42%



รูปที่ 6. กราฟแสดงผลการทำปฏิกิริยาของโอโซนในการแยกไอออนตะกั่ว (Pb^{2+}) และการเปลี่ยนแปลงของค่า pH, conductivity และ TDS ตามการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของโอโซนที่เวลา 30 นาที

การทดลองที่ 3 ผลจากการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มเวลาที่โอโซนสัมผัสกับประสิทธิภาพการแยกไอออนตะกั่วในน้ำเสีย พบว่าค่าพารามิเตอร์ Pb^{2+} , pH, conductivity และ TDS ที่ได้ศึกษามีค่า Pb^{2+} ลดลงตามระยะเวลาที่โอโซนสัมผัสกับน้ำเสียเพิ่มขึ้น ค่า pH, conductivity และ TDS มีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย (รูปที่ 7) โดยประสิทธิภาพในการแยกไอออนตะกั่วออกจากน้ำเสียมีค่าเท่ากับ 85.71%

ดังนั้นการแยกไอออนตะกั่วออกจากน้ำเสียที่ปล่อยออกจากโรงงานผลิตแบตเตอรี่ด้วยเทคโนโลยีโอโซนระบบพลาสมาความดันสูงจึงมีความเป็นไปได้ ซึ่งคาดว่าไอออนตะกั่วจะถูกออกซิไดส์ด้วยโอโซนดังสมการที่ (6) อันเนื่องมาจากการสลายตัวของโอโซนดังสมการที่ (5) และจากผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของโอโซนที่เวลาคงที่ คือ 30 นาที พบว่าปริมาณไอออนตะกั่วลดลงแปรผกผันกับการเพิ่มความเข้มข้นของโอโซน ($R^2 = 0.840$) และการเพิ่มเวลาโอโซนสัมผัสกับน้ำเสียที่ปริมาณความเข้มข้นของโอโซนคงที่ คือ 600 mgO₃/hr ปริมาณไอออนตะกั่วลดลงแปรผกผันกับการเพิ่มเวลาสัมผัส ($R^2 = 0.872$) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโอโซนสามารถออกซิไดส์ไอออนตะกั่วไปเป็น PbO อยู่ในระดับสูง อันเนื่องมาจากค่า R^2 ของทั้งสองการทดลองซึ่งถือว่าอยู่ในระดับที่ดี



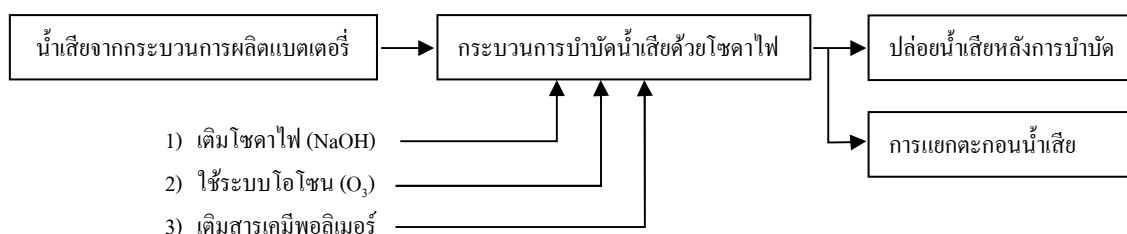
รูปที่ 7. กราฟแสดงผลการทำปฏิกิริยาของโอโซนในการแยกไอออนตะกั่ว (Pb^{2+}) และการเปลี่ยนแปลงของค่า pH, conductivity และ TDS ตามการเพิ่มเวลาสัมผัสที่ปริมาณความเข้มข้นของโอโซน 600 mgO_3/hr

วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง

โอโซนถูกนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมหลายด้าน โดยเฉพาะการนำไปบำบัดน้ำเสียในอุตสาหกรรม การผลิตกระดาษ อุตสาหกรรมการผลิตสี และอุตสาหกรรมอาหาร อันเนื่องมาจากคุณสมบัติการเป็นตัวออกซิไดส์ที่แรง จึงช่วยขจัดสี สารพิษพวกไซยาไนด์ (cyanide) โลหะหนัก และสารประกอบฟีนอล (phenolic compounds) รวมทั้งการฆ่าเชื้อโรคอีกด้วย นอกเหนือจากโอโซนจะขจัดสิ่งที่ไม่พึงประสงค์ออกจากน้ำเสียได้ โอโซนยังไม่ก่อให้เกิดผลผลิตที่เป็นพิษ และยังช่วยเพิ่มค่าออกซิเจนที่ละลาย (dissolved oxygen: DO) อีกด้วย ซึ่งจะช่วยให้การสลายตัวของสารมลพิษที่ตกค้างได้ต่อไป ปฏิกิริยาการสลายตัวของโอโซนในสารละลายมีทั้งความซับซ้อนและได้รับผลจากปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ pH, อุณหภูมิ และสารที่อยู่ในน้ำนั้น เป็นต้น ดังนั้นหากสามารถควบคุมการสลายตัวของโอโซนได้ก็จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการเป็นตัวออกซิไดส์ของโอโซนให้มากขึ้นอีกได้ (Eriksson, 2005; Upadhyay และ Srivastava, 2005; Satoh และ Saito, 2013) ดังนั้นจึงมีการคิดค้นเพื่อประดิษฐ์เครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนแบบต่าง ๆ ขึ้นมาเพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งต่าง ๆ

มงคล (2550) และ Jongsuphaphong และคณะ (2010) ได้สร้างเครื่องผลิตโอโซนระบบพลาสมาความดันสูงสำหรับบำบัดน้ำเสียจากบ้านเรือนและฟาร์มกุ้ง และพบว่าเครื่องผลิตโอโซนแบบนี้ช่วยปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียให้ดีขึ้นภายหลังจากการบำบัดเพียง 60 นาที นอกเหนือไปจากเครื่องผลิตโอโซนระบบพลาสมาความดันสูงแล้ว ยังมีเครื่องผลิตโอโซนแบบอื่น ๆ ที่นำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ เครื่องผลิตโอโซนแบบสเปรย์ความร้อน (thermal sprayed ozonizer) (Gadow และคณะ, 2010) และเครื่องผลิตโอโซนจากการปล่อยประจุไฟฟ้าคู่แบบขวางกัน (dielectric barrier discharge) ซึ่งพบว่าช่วยเพิ่มค่า DO และฆ่าเชื้อโรคได้หมดอีกด้วย (Bhatta และคณะ, 2015)

จะเห็นได้ว่าเครื่องผลิตโอโซนทุกแบบที่กล่าวมาต่างช่วยในการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่ได้จากงานวิจัยนี้คือ เครื่องผลิตโอโซนระบบพลาสมาความดันสูงช่วยบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตแบตเตอรี่ได้ โดยช่วยลดปริมาณของไฮดรอกซิลในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยกระบวนการทางเคมีและผ่านกระบวนการตกตะกอนแล้ว ซึ่งค่าการปนเปื้อนของไฮดรอกซิลมีค่าลดลง ตามปริมาณการเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นของโอโซน และตามระยะเวลาในการสัมผัส จึงสรุปได้ว่างานวิจัยนี้สามารถนำระบบบำบัดน้ำเสียด้วยเทคโนโลยีโอโซนระบบพลาสมาความดันสูงเข้ามาประยุกต์ใช้ร่วมกับระบบบำบัดน้ำเสียทางเคมี ที่ใช้งานในปัจจุบันของโรงงานผลิตแบตเตอรี่ ดังแสดงในรูปที่ 8 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสีย และลดการส่งเชื้อสารเคมีในการบำบัดน้ำเสียลงได้ เป็นการช่วยลดต้นทุนและรักษาสภาพสิ่งแวดล้อม เครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนระบบพลาสมาความดันสูงมีประสิทธิภาพในการแยกไฮดรอกซิลออกจากน้ำเสียประมาณ 71.42-85.71% ซึ่งสาเหตุที่ไม่สามารถแยกไฮดรอกซิลออกได้ 100% เนื่องจากในน้ำเสียของโรงงานผลิตแบตเตอรี่มีการปนเปื้อนสารมลพิษหรือสารโลหะหนักอื่น ๆ ซึ่งมีผลต่อการออกซิไดส์ของโอโซน



รูปที่ 8. แสดงแนวทางในการประยุกต์ใช้โอโซนร่วมในการบำบัดน้ำเสียโดยสารละลายโซดาไฟ (NaOH) 50%

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ของบัณฑิตวิทยาลัย วิทยาลัยเทคโนโลยีสยามทุกท่านที่ให้ความรู้ในด้านต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้วิจัยตระหนักและซาบซึ้งในคุณค่าที่ทุกท่านได้มอบให้ จึงขอขอบคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

เอกสารอ้างอิง

ศุวิชา อัครเรืองชัย, (2546) การบำบัดน้ำเสียในน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมโดยการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์, ที่มา: http://tdc.thailis.or.th/tdc/browse.php?option=show&browse_type=title&titleid=119317&query=ศุวิชา&s_mode=any&d_field=&d_start=0000-00-00&d_end=2559-03-04&limit_lang=&limited_lang_code=&order=&order_by=&order_type=&result_id=26&maxid=105, สืบค้น 10 กรกฎาคม 2558.

- เมธิณี บุญชูเกลี้ยง, (2549) ผลของ Pb^{2+} และ Ni^{2+} ต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์, ที่มา: http://tdc.thailis.or.th/tdc/browse.php?option=show&browse_type=title&titleid=53648&query=ผลของPb&s_mode=any&d_field=&d_start=0000-00-00&d_end=2559-03-04&limit_lang=&limited_lang_code=&order=&order_by=&order_type=&result_id=1&maxid=1, สืบค้น 10 กรกฎาคม 2558.
- วีรยา อางองค์, (2549) การบำบัดสีจากน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วของโรงงานเบียร์โดยกระบวนการโอโซนเนชั่น, ที่มา: http://tdc.thailis.or.th/tdc/browse.php?option=show&browse_type=title&titleid=133433&query=โอโซน&s_mode=any&d_field=&d_start=0000-00-00&d_end=2559-03-04&limit_lang=&limited_lang_code=&order=&order_by=&order_type=&result_id=100&maxid=244, สืบค้น 10 กรกฎาคม 2558.
- สุรพล บุญดวง, (2549) การผลิตโอโซนโดยวิธีโคโรนาดีสชาร์จ, ที่มา: http://tdc.thailis.or.th/tdc/browse.php?option=show&browse_type=title&titleid=53759&query=โอโซน&s_mode=any&d_field=&d_start=0000-00-00&d_end=2559-03-04&limit_lang=&limited_lang_code=&order=&order_by=&order_type=&result_id=25&maxid=244, สืบค้น 10 กรกฎาคม 2558.
- มงคล จงสุพรรณพงศ์, (2550) การผลิตโอโซนในระบบพลาสมาความดันสูงสำหรับบำบัดน้ำเสียในบ่อเลี้ยงกุ้งและชุมชน, ที่มา: http://tdc.thailis.or.th/tdc/browse.php?option=show&browse_type=title&titleid=53759&query=โอโซน&s_mode=any&d_field=&d_start=0000-00-00&d_end=2559-03-04&limit_lang=&limited_lang_code=&order=&order_by=&order_type=&result_id=25&maxid=244, สืบค้น 2 เมษายน 2558.
- มงคล จงสุพรรณพงศ์ และสันตติ ศิริอนันต์ไพบุลย์, (2552) การผลิตโอโซนระบบพลาสมาความดันสูงสำหรับบำบัดน้ำเสีย. วารสารวิทยาศาสตร์ มศว., 25(1): 133-145.
- Bhatta R., Kayastha R., Subedi D.P. and Joshi R., (2015) Treatment of wastewater by ozone produced in dielectric barrier discharge. J. Chem., Article ID 648162, 6 pp.
- Eriksson M., (2005) Ozone chemistry in aqueous solution-Ozone decomposition and stabilisation, Licentiate Thesis, Department of Chemistry, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 37 P.
- Gadow R., Friedrich C., Killinger A. and Floristán M., (2010) Development of atmospheric plasma sprayed dielectric ceramic coatings for high efficiency tubular ozone generators. J. Water Res. Protect., 2: 799-808.
- Jongsuphaphong M., Sirianuntapiboon S. and Limmeechokchai B., (2010) Evaluation of a pilot scale high pressure plasma ozonizer for use in wastewater treatment. African J. Biotech., 9(32): 5151-5161.
- Portjanskaja E., (2008) "Ozone reactions with inorganic and organic compounds in water", 28 P., In: Munter R. (Ed), Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS) (6.192), EOLSS Publishers.

- Sato K. and Saito T., (2013) A newly developed wastewater treatment by using solidification reaction of milk fats and proteins through ozonation. Chem. Engineer. Trans., 32: 1-6.
- Seo S.H., Sung B.W., Kim G.J., Chu K.H., Um C.Y. et al., (2010) Removal of heavy metals in an abandoned mine drainage via ozone oxidation: a pilot-scale operation. Water Sci. Technol., 62(9): 2115-2120.
- Upadhyay K. and Srivastava J.K., (2005) Application of ozone in the treatment of industrial and municipal wastewater. J. Indus. Pollut. Cont., 21(2): 235-245.
- von Sonntag C. and von Gunten U., (2012) Chemistry of ozone in water and wastewater treatment, 1st edition, IWA Publishing, London, 320 P.