การบำบัดน้ำเสียจากการล้างไอโซแท็งก์คอนเทนเนอร์ โดยการใช้โอโซนในระบบพลาสมาความดันสูง

Treatment of Wastewater from Iso Tank Container Cleaning Process by Using High Pressure Plasma System Ozone

วิชัย ลอยสรวงสิน[1]
Wichai Loysuangsin[1]

Received : January 15, 2021
Revised : February 10, 2021
Accepted : March 18, 2021

บทคัดย่อ

น้ำเสียจากการล้างไอโซแท็งก์นั้น มีการบรรจุสารเคมีหลายประเภท เป็นอีกสาเหตุทำให้เกิดน้ำเสียที่ยากจะบำบัดได้ แต่ด้วยอุตสาหกรรมต่าง ๆ ปัจจุบัน ยังต้องมีการขนส่งสารเคมีอยู่เป็นประจำ และวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ก็คือการขนส่งด้วยไอโซแท็งก์ จึงได้ใช้หลักการทางฟิสิกส์วิศวกรรมออกแบบเครื่องบำบัดน้ำเสีย โดยปั๊มน้ำเสียมาฉีดให้เป็นฝอยเพื่อเพิ่มพื้นที่ของน้ำเสียให้สัมผัสกับโอโซนในระบบพลาสมาความดันสูง การศึกษานี้ ได้ใช้โอโซน 800 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง กับน้ำเสีย 20 ลิตร อัตราการไหล 60 ลิตรต่อชั่วโมง ผลคือทำให้ค่าคุณภาพน้ำที่ใช้ตรวจวัด ได้แก่ ค่าออกซิเจนละลาย (DO) ค่าบีโอดี (BOD) และค่าซีโอดี (COD) ของน้ำเสียดีขึ้น ในเวลาอันรวดเร็ว คือ ค่า DO เพิ่มขึ้นจาก 0 เป็น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ในเวลา 24 นาที การวิเคราะห์ทางสถิติ ด้วยค่า R^2 = 0.903 เข้าใกล้ 1 แสดงว่า DO ที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์กับเวลาอยู่ในระดับสูงมาก ส่วน BOD ลดลงร้อยละ 32.79 จาก 6,550 เหลือ 4,402.33 มิลลิกรัมต่อลิตร ในเวลา 12 นาที โดยมีค่า R^2 = 0.708 มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าการลดของ BOD มีความสัมพันธ์กับเวลาสูง และ COD ลดลงร้อยละ 14.23 จาก 14,375.33 ลงมาเหลือ 12,330 มิลลิกรัมต่อลิตร ในเวลา 24 นาที ค่า R^2 = 0.871 มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าการลดของ COD มีความสัมพันธ์กับเวลาสูง เช่นกัน

คำสำคัญ **:** ไอโซแท็งก์คอนเทนเนอร์ โอโซนการบำบัดน้ำเสีย

[1] นักศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม
[1] Master of Engineering students Energy and Environment Management Program Siam Technology College
E-mail : wichai@simthai.com

Abstract

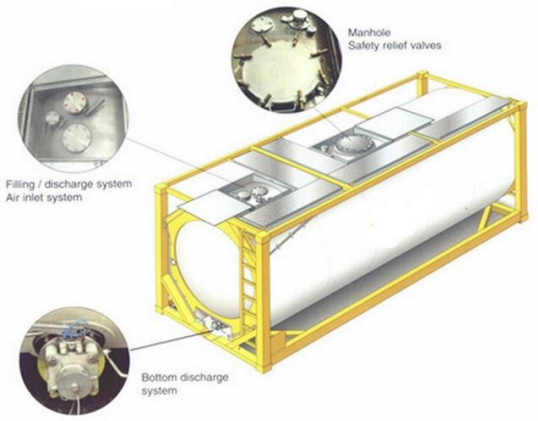
There are many types of wastewater chemicals cleaning from isotank containers. It is another cause of wastewater that is difficult to treat. But with today's industries, chemicals still need to be transported on a regular basis. And how widely used Is the isotank transport Therefore applied the principles of physics engineering to design a wastewater treatment machine The waste water pump is injected into a capillary to increase the area of wastewater exposed to ozone in high pressure plasma systems. In this study, 800 milligram per hour of ozone was applied to 20 liters of wastewater with a flow rate of 60 liters per hour. As a result, the quality of the water used to measure water was dissolved oxygen (DO), BOD and COD of wastewater. In a short time, the DO increased from 0 to 4 milligram per liter in 24 minutes. Statistical analysis with R^2 = 0.903 approaching 1 showed that increased DO was significantly associated with time, whereas BOD. Decreased 32.79 percent from 6,550 to 4,402.33 milligrams per liter in 12 minutes. The value R^2 = 0.708 approached 1, indicating that the reduction of BOD was highly time-related and the COD decreased 14.23% from 14,375.33 down to 12,330 milligram per liter in 24 minutes. R^2 = 0.871 close to 1 indicates that COD reductions are related to high time as well.

***Keywords*:** ISO tank container, Ozone, Wastewater treatment

1. บทนำ

ไอโซแท็งก์คอนเทนเนอร์ คือ ถังบรรจุสารเคมีประเภทของเหลวก๊าซ และผงสารเคมีต่าง ๆ ที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย บรรจุภัณฑ์นี้ ออกแบบตามมาตรฐานสากลเพื่อขนส่งสารเคมีอันตราย และไม่อันตราย จากรูปที่ 1 และ 2 ลักษณะของแท็งก์จะเป็นถังทรงกระบอกแนวยาว อยู่ในโครงเหล็กขนาดใหญ่ ผนังของถังนิยมทำเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless Steel) และจะถูกบุด้วยฉนวน หรือชั้นป้องกัน ซึ่งทำมาจากอะลูมิเนียม (Aluminum) หรือโพลียูรีเทน (Poly Urethane) และต้องการควบคุมความดันตามชนิดวัสดุที่นำมาใช้ประกอบบรรจุภัณฑ์ ซึ่งสามารถที่บรรจุได้ 10,000 - 26,000 ลิตร อุตสาหกรรมการขนส่งสารเคมี มีอัตราการเติบโตสูงมาก ยิ่งในกรณีที่ขนส่งสารเคมีที่มีความจำเพาะ และปริมาณมาก เพราะมีความจำเป็นต้องใช้สูง

เพื่อความสะอาดและความปลอดภัยในการใช้งานจึงต้องมีกระบวนการล้างที่ถูกวิธีทำให้เกิดอุตสาหกรรมล้างบรรจุภัณฑ์ “ไอโซแท็งก์คอนเทนเนอร์” ขึ้น และทำให้เกิดน้ำเสียจากกระบวนการนี้เช่นกัน ซึ่งอาจจะประกอบด้วยสารเคมีและสารอินทรีย์ที่ขนถ่ายและสารเคมีที่ใช้ล้างทำความสะอาดส่งผลให้อาจเกิดการปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยผู้ประกอบการมิได้มีเจตนา [1]



รูปที่ 1 ภาพจำลองไอโซแท็งก์คอนเทนเนอร์ [2]

รูปที่ 2 การดำเนินการของโรงงานที่มีการใช้สารเคมี [3]

รูปที่ 3 ถังบรรจุสารเคมีเพื่อการขนส่ง
: ไอโซแทงก์คอนเทนเนอร์

รูปที่ 4 การขนส่งสารเคมีโอโซน
โดยไอโซแทงก์คอนเทนเนอร์

ดังนั้น เพื่อต้องการบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้น งานวิจัยนี้จึงเลือกการใช้โอโซนซึ่งมีค่าใช้จ่ายต่ำขั้นตอนสะดวกเหมาะสมกับน้ำเสียที่เกิดจากการล้างไอโซแท็งก์ เนื่องจากมีสารเคมีหลายชนิดปะปนกันอยู่ และโอโซนเป็นสารออกซิไดซ์ที่รุนแรง มีความสามารถฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ได้หลายชนิด รวมทั้งเชื้อไวรัส ของโรคไข้หวัดใหญ่ (Influenza) เชื้อโรคโปลิโอ (Poliomyelitis) และเชื้อบิด (Endamoeba Histolytica)

โอโซนสามารถสลายตัวได้ง่าย และเปลี่ยนเป็นออกซิเจนเมื่อสัมผัสกับสารรีดิวส์ หรือใช้โลหะทรานซิชั่นเป็นตัวเร่งจากสมบัติดังกล่าวจึงมีการนำโอโซนมาบำบัดน้ำเสียจากชุมชน และน้ำทิ้งจากโรงงาน โอโซนสามารถออกซิไดซ์โลหะหนักต่าง ๆ ให้อยู่ในรูปตะกอนที่ไม่ละลายน้ำ เช่น Pb^{2+}, Cd^{2+}, Hg^{2+}, Mn^{2+} เป็นต้น [4]

$$Pb^{2+} + 2O_3 \rightarrow PbO_2 + 2O_2$$

2. แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 มลพิษทางน้ำ

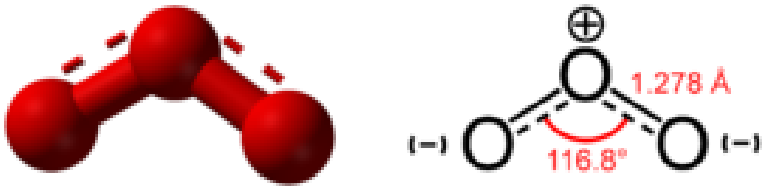
มลพิษทางน้ำ (Water Pollution) เป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่มากที่สุด ปัญหาหนึ่งของประเทศ เมื่อเปรียบเทียบกับปัญหามลพิษอื่น ๆ ปัญหามลพิษทางน้ำมักเกิดกับเมืองใหญ่ แหล่งน้ำที่สำคัญของ ประเทศซึ่งถูกปนเปื้อนด้วยสิ่งสกปรก และสารมลพิษต่าง ๆ ทำให้ไม่สามารถใช้ประโยชน์จากแหล่งน้ำได้เต็มที่ ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิต การพัฒนาทางเศรษฐกิจ และสังคม

สาเหตุของการเกิดมลพิษทางน้ำ ส่วนใหญ่เกิดจากน้ำทิ้งจากที่อยู่อาศัย ซึ่งมักจะมีสารอินทรีย์ปนเปื้อนมาด้วย น้ำทิ้งดังกล่าวมักเป็นสาเหตุของการที่น้ำมีสีดำ และมีกลิ่นเน่าเหม็น น้ำที่มีสารพิษตกค้างอยู่ เช่น น้ำจากแหล่งเกษตรกรรมที่มีปุ๋ย และยากำจัดศัตรูพืช น้ำทิ้งที่มีโลหะหนักปนเปื้อนจากโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น สารเหล่านี้จะถูกสะสมในวงโคจรห่วงโซ่อาหารของสัตว์น้ำ และมีผลต่อมนุษย์ ภายหลัง

2.2 การบำบัดน้ำเสียโดยการใช้โอโซน

โอโซน เป็นสารออกซิแดนท์ที่แข็งแกร่งสามารถใช้ในการเพิ่มความเสถียรของน้ำผิวดิน หรือน้ำใต้ดิน รวมถึงการบำบัดน้ำเสียเพื่อกำจัดจุลินทรีย์ ไอออนอนินทรีย์ และสารอินทรีย์ การใช้โอโซนที่เก่าแก่ที่สุดนั้น เป็นเหมือนไบโอไซด์ในการบำบัดน้ำดื่ม การได้รับโอโซนเป็นส่วนประกอบที่ จำเป็นสำหรับการฆ่าเชื้อโรคในระดับที่กำหนด สามารถคำนวณได้จากค่าคงที่จลศาสตร์การเคลื่อนไหวของจุลินทรีย์ โอโซนกำจัดเหล็กแมงกานีส และสารหนูจากน้ำโดยการออกซิเดชั่นไปยังรูปแบบที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งจะถูกแยกออกโดยการกรองเพิ่มเติม กระบวนการทั้งสองต้องการโอโซนในรูปโมเลกุล แต่การกำจัดสารอินทรีย์ที่เป็นวัสดุทนไฟเพื่อการรักษาอื่น ๆ สามารถทำได้โดยการใช้ประโยชน์จากปฏิกิริยาทางอ้อมที่เกิดขึ้นในช่วงโอโซน ทางตอนเหนือของสวีเดนได้มีการศึกษาในอีกสาขาอุตสาหกรรมที่ใช้โอโซน คือ การกำจัดยาโดยการทิ้งลงไปในระบบการกำจัดน้ำเสีย แม้ว่าไม่ได้เป็นส่วนหนึ่งของการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียที่ทันสมัย (Wastewater Treatment Plant: WWTP) แต่น่าแปลกใจที่ WWTP ได้รับการระบุว่าเป็นแหล่งสำคัญของเวชภัณฑ์ที่เข้าสู่สิ่งแวดล้อม สำหรับปฏิกิริยาออกซิเดชั่นที่เกิดขึ้นจากการเติมโอโซน ทางเภสัชกรรมในน้ำทิ้งของ WWTP เป็นหนึ่งในการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมที่มีการพิจารณามากที่สุด ซึ่งมีความสามารถพร้อมสำหรับการใช้งานเต็มรูปแบบในแง่การจัดการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมยานี้ อย่างไรก็ตามมีหลายแง่มุมของการใช้งานที่จะต้องมีการวิจัยเพิ่มเติม ซึ่งพบว่าโอโซนนั้น ได้มีผลกระทบกับแบคทีเรียต่าง ๆ หลายชนิดอย่างชัดเจนแบบมีนัยสำคัญ [5]

โอโซน (Ozone หรือ O_3) เป็นโมเลกุลของก๊าซ ที่ประกอบจากก๊าซออกซิเจน 3 อะตอม ดังรูปที่ 5 ปรากฏ อยู่ในชั้นบรรยากาศของโลก และมีการใช้งานในทางอุตสาหกรรม และเครื่องใช้ตามบ้านทั่วไป



รูปที่ 5 รูปร่างโมเลกุลของโอโซน [6]

โอโซน ถูกค้นพบครั้งแรกโดย คริสเตียน ฟรีดริช เชินไบน์ (Christian Friedrich Schönbein) นักเคมีชาวเยอรมันในปี ค.ศ. 1840 โดยตั้งชื่อตามภาษากรีกคำว่า Ozein ซึ่งแปลว่ากลิ่น โอโซนเข้มข้นมีสีฟ้าที่อุณหภูมิ และความดันมาตรฐาน (Standard Temperature and Pressure; STP) เมื่ออุณหภูมิลดลงถึง -112 องศาเซลเซียส โอโซนจะเป็นของเหลวสีน้ำเงิน และเมื่ออุณหภูมิ ลดต่ำกว่า -193 องศาเซลเซียส ก็จะกลายเป็นของแข็งสีดำ นอกจากแก๊สโอโซนเป็นตัวออกซิไดส์ที่ดี หากเกิดการสัมผัสกับสารที่มีพลังงานต่ำกว่าจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น (Oxidation) อย่างรวดเร็ว ซึ่งมีปฏิกิริยาสูงถึง 2.07 โวลต์ (Oxidation Potential) ในขณะเดียวกันก็เป็นสารที่ไม่อยู่ตัว มักจะสลายเป็นก๊าซออกซิเจนได้ง่ายดังสมการ [6]

$$2O_3 \rightarrow 3O_2$$

โอโซนเป็นก๊าซที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีระหว่างออกไซด์ของไนโตรเจน ไฮโดรคาร์บอน และมีแสงแดดเป็นตัวพลังงานที่ทำให้เกิดก๊าซโอโซน โดยปกติแล้วในบรรยากาศชั้นล่างจะมีโอโซนปะปนอยู่เล็กน้อย ซึ่งมีมากแถวชายทะเลที่แสงแดดจัด ส่วนในบรรยากาศที่ชั้นบนจะมีเป็นชั้นโอโซนอยู่ [7] ประโยชน์ของโอโซนคือ เพิ่มออกซิเจนในอากาศทำให้อากาศบริสุทธิ์ขึ้น แต่ถ้าในบรรยากาศของเรามีก๊าซโอโซนมากเกินไป ก็จะก่อให้เกิดโทษได้มากมายเช่นกัน เช่น ทำให้เกิดอาการแสบตาระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ และรุนแรงถึงขั้นก่อให้เกิดมะเร็งผิวหนังได้เพราะก๊าซโอโซนมีคุณสมบัติ ยอมให้แสงผ่านได้มากกว่าก๊าซชนิดอื่น

สำหรับโอโซนในบรรยากาศชั้นบนนั้น พบว่านับวันโอโซนจะลดลงเรื่อย ๆ ทั้งนี้เพราะมีการปล่อยสารคลอโรฟลูออโรคาร์บอน ซึ่งสารพวกนี้จะใช้ขับดันในกระป๋องฉีดสเปรย์ เมื่อปล่อยสู่บรรยากาศจะไปทำลายโอโซน ทำให้ชั้นโอโซนลดลง ปริมาณรังสีอุลตราไวโอเลตที่ส่งมายังพื้นโลกก็สามารถผ่านมาได้มากขึ้น ทำให้มีระดับมากกว่าปกติ อาจทำให้มีระดับมากกว่าปกติ อาจทำให้เกิด มะเร็งที่ผิวหนังได้ [1]

ตัวอย่างสมการ การเกิดปฏิกิริยาของโอโซน

การทำปฏิกิริยาสลายกลิ่นแอมโมเนีย:

$$3O_3 + 2NH_3 \rightarrow N_2 + 3H_2O + 3O_2$$

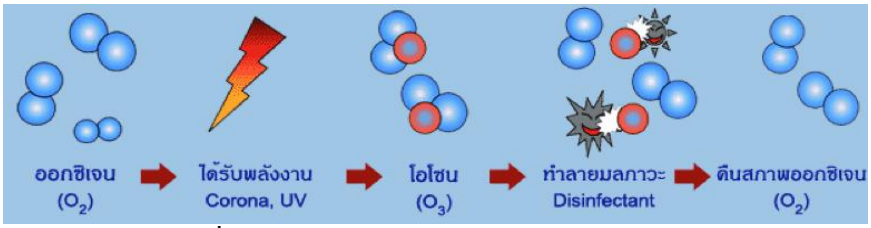
การทำปฏิกิริยาสลายพิษคาร์บอนมอนอกไซด์:

$$O_3 + CO \rightarrow CO_2 + O_2$$

จุดเด่นของการใช้ก๊าซโอโซน

1. ฆ่าเชื้อโรคได้รวดเร็วโดยเฉพาะแบคทีเรีย (ทำให้เกิดโรค และกลิ่นเหม็น) ที่ความเข้มข้นเพียง 0.01 - 0.04 ppm.
2. ทำลายกลิ่น สารเคมี และก๊าซพิษได้ดีเยี่ยม
3. ไม่ทิ้งพิษตกค้างเพราะเมื่อทำปฏิกิริยากับมลพิษเสร็จทุกครั้งจะได้ออกซิเจน (O_2) จึงเป็นการรักษาสิ่งแวดล้อมที่ดี
4. สามารถผลิตขึ้นได้จากอากาศทั่วไป และบริเวณที่มีไฟฟ้าใช้
5. สามารถควบคุมได้ง่าย อย่างอัตโนมัติ
6. ค่าใช้จ่ายในการใช้งาน และบำรุงรักษาต่ำมาก และใช้ได้ตลอดไป ไม่ต้องคอยเปลี่ยนใหม่ เหมือนสารเคมีดับกลิ่นอื่น ๆ

จากข้อมูลที่กล่าวมา ไม่ว่าจะเป็นการฆ่าเชื้อ กำจัดมลพิษ ราคาที่ไม่สูง จึงทำให้การนำโอโซนไปใช้งานอย่างกว้างขวาง เช่น โรงงานผลิตน้ำดื่มผ่านการฆ่าเชื้อด้วยน้ำโอโซน เครื่องฟอกอากาศ เครื่องปรับอากาศในบ้าน เป็นต้น

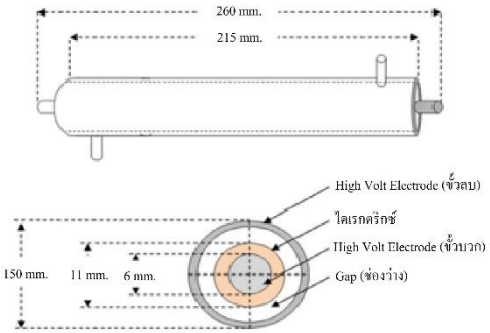


รูปที่ 6 กระบวนการแปลงสภาพของโอโซน [8]

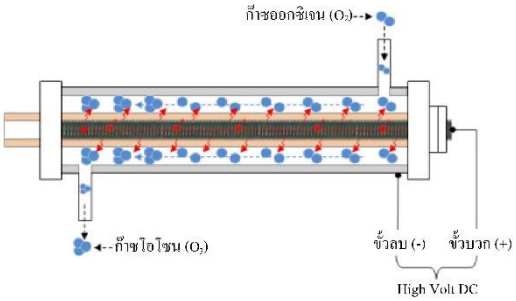
จากเหตุผลข้างต้น จึงนำมาถึงหัวข้อที่ผู้วิจัยทำการทดลองโดยใช้โอโซนในระบบพลาสมา ความดันสูง มาบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากการล้างไอโซแท็งก์คอนเทนเนอร์ โดยใช้การวัดค่า DO ค่า BOD และค่า COD ในการพิจารณาคุณภาพน้ำ เป็นสำคัญ

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง วิจัย เครื่องผลิตโอโซนในระบบพลาสมาความดันสูง

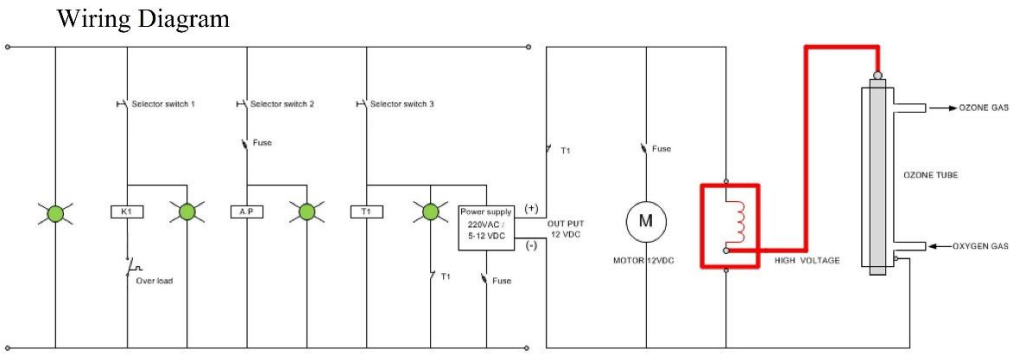


รูปที่ 7 ขนาดภายนอก และภายในหลอดผลิตโอโซน[4]



รูปที่ 8 ลักษณะการเกิดโอโซน [4]

หลักการทำงานโดยนำแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ (VAC) ความถี่ 50 เฮิร์ต (Hz) แปลงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์ (VDC) โดยใช้ Rectifier Diode และตัวเก็บประจุ จากนั้นก็นำไปจ่ายไฟให้กับมอเตอร์ 12 โวลต์ (VDC) ที่สามารถควบคุมความเร็วรอบได้ เพื่อสร้างไฟฟ้าแรงดันสูงด้วยอุปกรณ์สร้างแรงดันไฟฟ้าแรงดันสูง (High Voltage) และความถี่สูง (High Frequency) ที่สามารถควบคุมแรงดันไฟฟ้า และความถี่สูงได้ ดังแสดงในรูปที่ 9 [4]



รูปที่ 9 วงจรสร้างแรงดันไฟฟ้า High Voltages, High Frequency [4]

อุปกรณ์ เครื่องแก้ว และสารเคมี

เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง

รูปที่ 10 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง วิจัย

รูปที่ 11 ขณะทดลอง การเติมโอโซนในระบบพลาสมาความดันสูง

3.2 การวิเคราะห์หาค่าออกซิเจนละลาย หรือ ดีโอ (DO)

การหาค่าออกซิเจนละลายสามารถวัดโดยใช้วิธีวิเคราะห์ทางเคมีที่เรียกว่าเอไซด์โมดิฟิเคชั่น (Azide Modification) ซึ่งเป็นวิธีวัดออกซิเจนละลายได้ทั้งในน้ำสะอาด น้ำเสีย และน้ำที่ผ่านการบำบัดทางชีววิทยาแล้ว [9]

3.3 การวิเคราะห์หาค่าบีโอดี BOD

บีโอดี (BOD; Biochemical Oxygen Demand) เป็นวิธีมาตรฐานสำหรับการทดสอบในห้องปฏิบัติการ เพื่อหาปริมาณออกซิเจนที่ต้องการ สำหรับน้ำทิ้ง น้ำโสโครก และน้ำเสีย เป็นการวัดปริมาณออกซิเจนที่ต้องการสำหรับการสลายตัว ทางชีวะของสารอินทรีย์ (Carbonaceous Oxygen Demand: COD) และออกซิเจนที่ใช้ในการออกซิไดซ์ สารอนินทรีย์ เช่น ซัลไฟล์ และเฟอร์รัสไอออน ซึ่งอาจจะรวมค่าออกซิเจนที่ใช้ในการออกซิไดซ์ ไนโตรเจน (Nitrogenous Demand) ถ้าไม่ใส่สารยับยั้งการย่อยสลายไนโตรเจน [9]

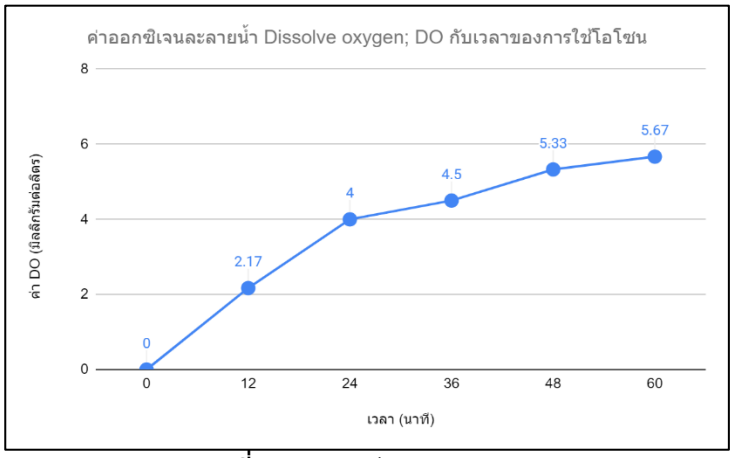
3.4 การวิเคราะห์หาค่าซีโอดี COD ด้วยวิธีรีฟลักซ์แบบปิด

วิธีนี้ประหยัดกว่าวิธีรีฟลักซ์แบบเปิด แต่ต้องผสมตัวอย่างน้ำที่มีสารแขวนลอย ให้เข้ากันให้ดี เพื่อได้ผลที่ถูกต้อง และวิธีนี้จะสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ระเหยได้มากกว่า เนื่องจาก สัมผัสสารโปแตสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) ได้นานกว่า เหมาะสมกับตัวอย่างน้ำที่มีค่าซีโอดีต่ำกว่า 500 มิลลิกรัมต่อลิตร

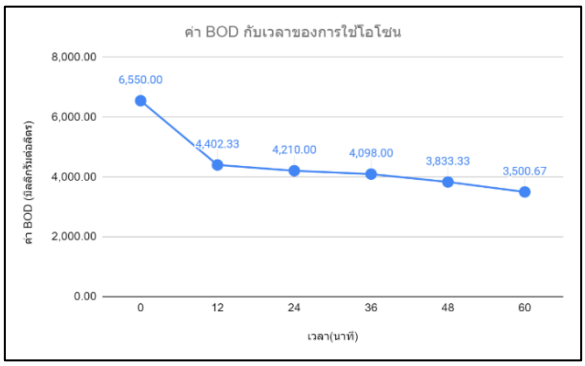
4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการทดลองค่า DO, BOD และ COD

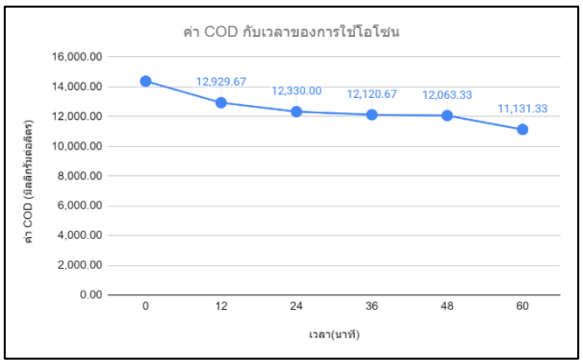
จากการทดลองพบว่าเมื่อใช้โอโซนในระบบพลาสมาความดันสูงในเวลาที่เพิ่มขึ้น ได้ค่าออกซิเจนละลายน้ำ Dissolved Oxygen; DO, BOD และ COD (มิลลิกรัมต่อลิตร: mg/l) ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์เป็นกราฟได้ดังรูปที่ 12, 13 และ 14 ตามลำดับ



รูปที่ 12 DO กับเวลาเติม O_3

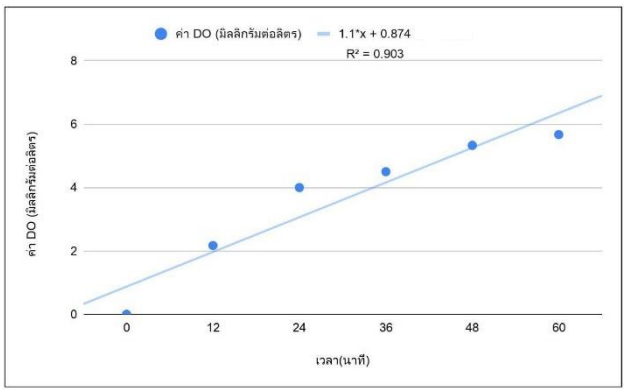


รูปที่ 13 BOD เวลาเติม O_3

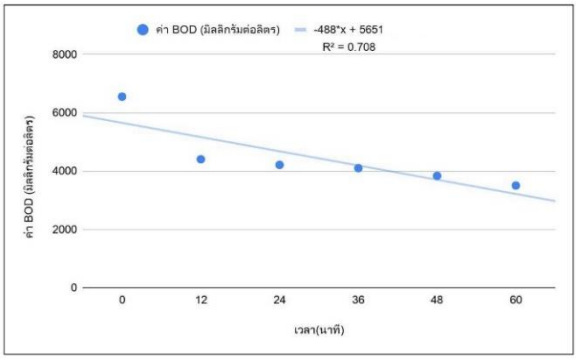


รูปที่ 14 COD กับเวลาเติม O_3

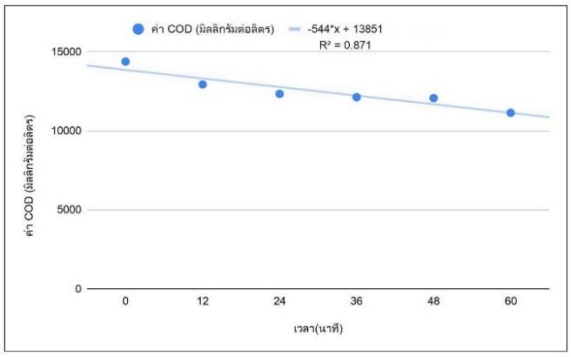
โดยการนำผลการทดลองมาสร้างกราฟแบบสมสนิทดี (Fitting Curve) เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen: DO), BOD และ COD กับระยะเวลา (Time) แล้วนำมาหาค่าความชัน (Slope) จากพารามิเตอร์ (Parameter ของ a และ b จากจุดต่าง ๆ ของกราฟ โดยให้ y = ax + b เป็นฟังก์ชันที่ผ่านจุดเหล่านี้ เมื่อ a = ความชัน (Slope) ของ DO/Time และ R^2 (สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ) จาก R^2 = 1- (SSE/SST) (SST: Sum Square of Total; SSE: Sum Square of Error เมื่อนำผลการทดลองระหว่างปริมาณออกซิเจนละลายน้ำกับเวลาที่ผ่านไป มาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ และหาค่าความชัน (Slope) และค่า R^2 [10]



รูปที่ 15 R^2 ของ DO.



รูปที่ 16 R^2 ของ BOD



รูปที่ 17 R^2 ของ COD

5. สรุปผลการวิจัย

พบว่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการบำบัดเพิ่มขึ้น ดังแสดงในกราฟ รูปที่ 12 เมื่อนำผลการทดลองระหว่างปริมาณออกซิเจนละลายน้ำกับเวลาที่ผ่านไปมาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์และหาค่าความชัน (Slope) และค่า R^2 [10] ได้ค่าความชัน (Slope) เท่ากับ 1.1 และ R^2 เท่ากับ 0.903 ค่า R^2 เข้าใกล้ 1 แสดงว่าค่าออกซิเจนละลายที่เพิ่มขึ้น มีความสัมพันธ์กับเวลา อยู่ในระดับสูงมาก [11]

ดังที่แสดงในกราฟ ตามรูปที่ 15 แสดงว่าการเพิ่มค่าออกซิเจนละลายน้ำที่สัมพันธ์กับเวลานั้นมีความสัมพันธ์เชิงเส้น (Linear Correlation) [12] และเพราะว่าโอโซนละลายน้ำได้ดีกว่าออกซิเจน 10 เท่า

มาวิเคราะห์กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการลดลงของค่าบีโอดีกับเวลา นำมาหาค่าความชัน (Slope) และค่า R^2 = 0.708 มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าการลดลงของค่าบีโอดี มีความสัมพันธ์กับเวลาสูง ดังรูปที่ 16 พบว่าปริมาณค่าบีโอดีลดลงเมื่อระยะเวลาการบำบัดเพิ่มขึ้น [12]

การลดลงของค่าซีโอดีกับเวลา นำมาหาค่าความชัน (Slope) และ R^2 ซีโอดีของน้ำเสีย ดังรูปที่ 17 พบว่าปริมาณค่าซีโอดีลดลง ผลการวิเคราะห์ค่า R^2 = 0.871 ในถังปฏิกิริยามีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าการลดลงของค่าซีโอดีมีความสัมพันธ์กับเวลาสูง เมื่อระยะเวลาการบำบัดเพิ่มขึ้น [13]

สรุปข้อมูลค่าใช้จ่ายพลังงานในการบำบัดน้ำเสีย

ค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนในระบบพลาสมาความดันสูง อยู่ที่ 0.1892 kW ที่อัตราการไหล 6 ลิตรต่อนาที ดังนั้นการบำบัดน้ำเสีย 6 ลิตรใช้เวลา 1 นาที

ถ้าบำบัดน้ำเสีย 1,000 ลิตร จะใช้เวลา (1,000 x 1)/6 = 166.66 นาทีหรือ 2.77 ชั่วโมง

สูตรการคิดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า คือ

ค่ากำลังไฟฟ้า (kW) x เวลาในการใช้งาน (ชั่วโมง) x ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย (บาท)

แทนค่าจะได้ = 0.1892 kW x 2.77 ชั่วโมง x 4 บาท = 2.09 บาท / น้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร

หมายเหตุ: คำนวณจากค่าพลังงานไฟฟ้าโรงงานหน่วยละ 4 บาท (ข้อมูลปี พ.ศ.2562)

เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ. ภาวะมลพิษภัยใกล้ตัว. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ; 2534.

[2] Allbiz(C2010-21), ISO Tank Container, Retrived Oct 24, 2018 from https://gujarat.all.biz/iso-tank-container-g335953

[3] กรมโรงงานอุตสาหกรรม. กฎหมายที่เกี่ยวข้องและการตรวจโรงงานที่มีการใช้สารเคมี. กรุงเทพฯ: กรมโรงงานอุตสาหกรรม; 2560.

[4] ไพโรจน์ หอมอ่อน. การพัฒนาและออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตแบตเตอรี่ด้วยเทคโนโลยีโอโซนระบบพลาสมาความดันสูง [วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต]. [กรุงเทพ]: วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม; 2558.

[5] Nilsson F. Application of ozone in wastewater treatment: Oxidation of pharmaceuticals and filamentous bulking sludge [Doctural Thesis]. [Lund]: Lund University; 2017.

[6] Hindawi [Internet]. London: Rita Bhatta; c2015. Treatment of Wastewater by Ozone Produced in Dielectric Barrier Discharge; [modified 2015 Jun 22; cited 2020 Sep 18]; [about 1 p.]. Available from: http://dx.doi.org/10.1155/2015/648162

[7] วิกิพีเดีย [อินเทอร์เน็ต]. กรุงเทพฯ: วิกิพีเดีย; [สืบค้นเมื่อวันที่ 18 ก.ย. 2559]. จาก https://th.wikipedia.org/wiki/โอโซน

[8] การประปานครหลวง. โอโซน. วารสารออนไลน์คลินิกน้ำสะอาด [อินเทอร์เน็ต]. 2556 [สืบค้นเมื่อวันที่ 18ก.ย. 2559];3(2):9-10. จาก: http://cwc.mwa.co.th/index.php?page=showarticlebytopic.php&id=16

[9] Fresenius W and Quentin KE. Water Analysis. Berlin Heidelberg: Springerverlag; 1988.

[10] Kutner MH, Christopher J and Buser HR. Applied Linear Statistical Models. 5th ed. Boston: McGraw-Hill Irwin; 2005.

[11] Zhou H and Daniel W. Ozone Mass Transfer in Water and Wastewater Treatment: Experimental Observations Using a 2D Laser Particle Dynamics Analyzer. Water Research [Internet]. 2000 [cited 2016 Jun 21];(34), 909-9211. Available from: https://www.sciencedirect. com/science/article/abs/pii/S0043135499001967?via%3Dihub

[12] Guikford, JP and Benjamin F. Fundamental Statics in Psychology and Education. Tokyo: McGraw-Hill Kagakusha; 1973.

[13] George T and Franklin B. Wastewater Engineering Treatment, Disposal and Reuse. 3rd ed. New York: McGraw – Hill; 1991.