เครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนในสภาพความดันสูง สำหรับบ่อเลี้ยงกุ้งและชุมชน

OZONE WASTEWATER TREATMENT UNDER HIGH PRESSURE CONDITION FOR WASTEWATER FROM SHRIMP POND AND SANITARY SEWAGE

✸ **มงคล จงสุพรรณพงศ์**[1]
สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์[1]

บทคัดย่อ

เครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนในสภาวะความดันสูงถูกนำไปทดลองบำบัดน้ำเสียจากชุมชนและบ่อเลี้ยงกุ้ง ผลการทดลองพบว่า เครื่องมือดังกล่าวสามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนของน้ำเสีย(dissolved oxygen: DO) จากชุมชนจาก 0.0±0.0 เป็น 8.0±0.5 มล./ล. ภายใน เวลา1.6 ชั่วโมง และสามารถเพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงกุ้ง จาก 2.5±0.1 ถึง 8.0±0.9 มล./ล. นอกจากนี้แล้ว เครื่องมือดังกล่าวยังมีความามาสามารถในการลดค่าความสกปรกในรูปของ ซีโอดี (COD) และ บีโอดี (BOD) ในน้ำเสียลงได้อีกด้วยโดย สามารถลดค่า ซีโอดี และ บีโอดี ในน้ำเสียจากชุมชนได้ถึงร้อยละ 21.19±2.10 และ 39.09±2.53 ตามลำดับ ในเวลาเพียง 1.6 ชั่วโมง ส่วนน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงกุ้งนั้นเครื่องมือดังกล่าวสามารถลดค่า ซีโอดี และ บีโอดีได้ถึงร้อยละ 52.17±2.31 และ 41.18±3.10 ตามลำดับ ในเวลาเพียง 1.6 ชั่วโมง

คำสำคัญ: การทำโอโซน, การบำบัดน้ำเสีย, น้ำเสียบ่อเลี้ยงกุ้ง, น้ำเสียชุมชน

---

[1] สายวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี

Ozone Wastewater Treatment under High Pressure Condition for Wastewater from Shrimp pond and Sanitary Sewage

The designed ozone wastewater treatment under high pressure was applied to treat wastewater from sanitary sewage and shrimp pond. The results showed that the dissolved oxygen of the wastewater from sanitary sewage was increased from 0.0±0.0 to 8.0±0.5 mg/l within 1.6 hrs. On the other hand, the dissolved oxygen of the wastewater from shrimp pond was increased from 2.5±0.1 to 8.0±0.9 mg/l. Also, the designed equipment could reduce the impurities as COD and BOD of the wastewater during treatment. The COD and BOD of the wastewater from sanitary sewage were reduced within 1.6 hrs by 21.19±2.10% and 39.09±2.53%, respectively. While, the COD and BOD of the wastewater from shrimp pond were correspondingly reduced by 52.17±2.31 % 41.18±3.10 %, respectively.

บทนำ

ปัญหาการจัดการคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำต้องมีกาจัดการที่เหมาะสม หมายถึงการจัดการในด้านคุณภาพน้ำ แพลงก์ตอน การให้ออกซิเจน และการจัดการพื้นบ่อ ควบคุมการใช้ยาและเคมีภัณฑ์อย่างเหมาะสม เนื่องจากในปัจจุบันนี้การเลี้ยงสัตว์น้ำในประเทศไทย ได้มีการพัฒนาการเลี้ยงที่แตกต่างกันไปตามสภาพพื้นที่และความยากง่ายในการเลี้ยงแตกต่างกันมาก ดังนั้นการจัดการภายในฟาร์มและในบ่อเลี้ยงจะแตกต่างกันมาก เฉพาะในด้านการใช้สารเคมีและยาปฏิชีวนะในการป้องกันโรคระหว่างการเลี้ยง การให้อากาศเนื่องจากในปัจจุบันนี้เกษตรกรผู้เลี้ยงสัตว์น้ำได้ปล่อยสัตว์น้ำมีความหนาแน่นมาก เพื่อหวังผลผลิตที่สูง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องพัฒนาระบบการให้อากาศ เช่น ใช้เครื่องตีน้ำหรือเครื่องเติมอากาศ (air jet) จำนวนมากจึงทำให้การลงทุนสูงขึ้น ด้วยสาเหตุนี้จึงมีการศึกษาค้นคว้าและการวิจัยในการจัดการคุณภาพน้ำในบ่อสัตว์น้ำมากขึ้น จึงได้มีวิศวกรและนักวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมทางน้ำได้ทำการค้นคว้าเพื่อพัฒนาความรู้ในด้านการจัดการคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำให้ก้าวไกลไปกว่านี้ อันจะเป็นผลทำให้สามารถเพิ่มผลผลิตสัตว์น้ำให้สูงขึ้นโดยไม่มีปัญหามลภาวะเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมทางน้ำ เช่น จากการขยายตัวอย่างรวดเร็วของบรรดาฟาร์มเลี้ยงกุ้งในประเทศกำลังพัฒนาโดยเฉพาะในหลายประเทศแถบเอเชีย ก่อให้เกิดปัญหาต่อสภาพแวดล้อมอย่างน่าตกใจ และปัญหาในทำนองเดียวกันนี้ยังพบในแถบลาติน อเมริกาและแอฟริกาด้วย เนื่องจากการเลี้ยงกุ้งยังมีการใช้สารเคมีอันตรายจำนวนมาก ซึ่งเป็นผลให้เกิดการสะสมของสรพิษในสภาพแวดล้อม ยกตัวอย่างในกรณีประเทศไทย การสะสมของมลพิษ ทำให้ต้องทิ้งพื้นที่ไว้ระยะหนึ่งและไม่สามารถใช้พื้นที่ทำสิ่งอื่นได้ อาจก่อให้เกิดหายนะในระยะยาวต่อไป

การใช้โอโซนในการบำบัดน้ำเสียเป็นวิธีการหนึ่งที่ไม่ทำให้เกิดสารเคมีตกค้างในน้ำหลังผ่านการบำบัดแล้ว และสามารถละลายน้ำได้ดีกว่าก๊าซออกซิเจน 10 เท่า [1] ก๊าซโอโซนเป็นตัวออกซิไดซ์ที่รุนแรง ฆ่าเชื้อโรคจุลินทรีย์และแบคทีเรียได้เกือบทุกชนิดการกำจัดสารเคมีและอินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับน้ำเสียตลอดจนช่วยลดปริมาณซีโอดีได้ดี [2, 3]

จากเหตุผลดังกล่าวผู้วิจัยจึงได้คิดพัฒนาเครื่องผลิตโอโซนที่มีประสิทธิภาพและราคาถูกรวมทั้งใช้อุปกรณ์ที่ผลิตขึ้นภายในประเทศเกือบทั้งหมด โดย อาศัยหลักการในการผสมของ โอโซนกับน้ำที่สภาวะความดันอากาศสูงและพื้นที่น้ำที่สัมผัสกับก๊าซได้มากที่สุดซึ่งจะทำให้การแพร่กระจายของก๊าซผสมกับน้ำเสียเป็นไปอย่างรวดเร็วในเวลาอันสั้น โดยใช้ระบบฉีดน้ำเสียให้กระจาย เข้าไปผสมกับก๊าซโอโซนระบบความดันสูง ภายในระบบเครื่องเติมโอโซนแล้วปล่อยออกนอกระบบของเครื่องจึงไม่ไปรบกวนสัตว์น้ำ และเป็นเครื่องที่ทำหน้าที่ได้หลายอย่างในเวลาเดียวกัน เช่น ลดค่า ซีโอดี (COD), บีโอดี (BOD_5), ทีเคเอ็น (TKN) และเพิ่มค่าออกซิเจนละลาย (DO) ได้มากกว่าเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนและเครื่องเติมอากาศทั่วๆ ไปที่มีปัญหาจากการแพร่กระจายของโอโซนและออกซิเจนในน้ำไม่ทั่วถึง [4]

จุดมุ่งหมาย

1. ผลิตเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยก๊าซโอโซน
2. ทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยก๊าซโอโซน

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

โอโซนเป็น Oxidizing agent ที่รุนแรง (สามารถทำปฏิกิริยาได้เร็วกว่า คลอรีน ถึง 3,000 เท่า) ซึ่ง O_3 มีความเสถียรต่ำกว่า O_2 มาก และจะสลายตัวกลายเป็น O_2 (ภายในเวลา 30 นาที ที่ความดันบรรยากาศ) โดยปฏิกิริยาการสลายตัวของโอโซนจะเร็วขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิและลดความดัน และการสัมผัสกับสารที่มีพลังงานต่ำกว่าจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) อย่างรวดเร็ว ซึ่ง O_3 มีปฏิกิริยาสูงถึง 2.07 โวลต์ (Oxidation Potential Voltage)

ปฏิกิริยาการทำลายมลภาวะ

O_2 + Energy ===> O_3 ===> ทำลายมลภาวะ (Disinfection) ===> คืนสภาพออกซิเจน (O_2)

การทำปฏิกิริยาสลายกลิ่นแอมโมเนีย

$$3O_3 + 2NH_3 \quad ===> \quad N_2 + 3H_2O + 3O_2$$

การทำปฏิกิริยาสลายพิษคาร์บอนมอนอกไซด์

$$O_3 + CO \quad ===> \quad CO_2 + O_2$$

เนื่องจากโอโซนเป็น Oxidizing agent ที่รุนแรงและสลายตัวเร็ว ทำให้สามารถนำโอโซนไปใช้งาน ตัวอย่างเช่น

- ฆ่าเชื้อโรค เช่น ไวรัส (Virus), แบคทีเรีย (Becteria), รา (Fungus), Mold, Yeast
- ทำปฏิกิริยากับโลหะหนักที่ละลายน้ำ
- ทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำ
- กำจัดกลิ่นในอากาศ
- ลดสีในน้ำเสียโรงงาน
- ลด COD, BOD ในน้ำเสียโรงงาน
- ช่วยลดเวลาสำหรับกระบวนการตกตะกอน
- ใช้ฆ่าเชื้อโรคแทนคลอรีน ในกระบวนการผลิตอาหาร, สระว่ายน้ำ
- กำจัดสารพิษ หรือยาฆ่าแมลงที่ตกค้างในผักผลไม้
- ป้องกันตะกรันและตะไคร่น้ำในระบบหอผึ่งเย็น
- ฆ่าเชื้อโรคในบ่อเพาะเลี้ยงลูกกุ้ง
- กำจัดเชื้อโรคในน้ำดื่มก่อนบรรจุขวด
- กำจัดควันบุหรี่ สารพิษในอากาศ

ข้อได้เปรียบของโอโซน

• มีปฏิกิริยาต่อต้านและกำจัด เชื้อแบคทีเรีย สปอร์ไวรัส สัตว์เซลเดียวในไฟลัม ปรสิต และอื่นๆ

• การเติมออกซิเจนลงในโลหะหนัก (เหล็ก, แมงกานีส, ไอโอเนียน, กำมะถัน, ไซยาไนด์, ไอโอเนียนไนเตรท), กรดซัลฟูริก และรวมไปถึงสารอินทรีย์ทุกชนิดเป็นการทำให้เกิดการเน่าเสียเร็วยิ่งขึ้น

• ใช้ในการกำจัดสารตั้งต้นของธาตุโลหะจำพวกฟลูออรีน คลอรีน ซึ่งเป็นตัวการที่ทำให้เกิดการปนเปื้อนจากจุลินทรีย์อันเนื่องจากการใช้สารอื่นมาทำให้น้ำบริสุทธิ์นั่นเอง

• มีประสิทธิผลต่อการบำบัดน้ำเสียที่ต้องมีการทำลายสารอินทรีย์ในรูป BOD ซึ่งจะส่งผลให้สารอินทรีย์ในรูป COD ลดลงด้วย

• ถือได้ว่ามีความปลอดภัยทางการแพทย์เพราะได้รับการรับรองว่าเป็นระบบการฆ่าเชื้อโรคในน้ำได้ดีกว่าระบบอื่นๆ และเป็นการฆ่าเชื้อในน้ำได้อย่างหมดจด

อุปกรณ์การทดลอง

เครื่องบำบัดน้ำเสียโดยอากาศ หรือ โอโซนในสภาวะความดันสูง (Ozone or air injection appartus)

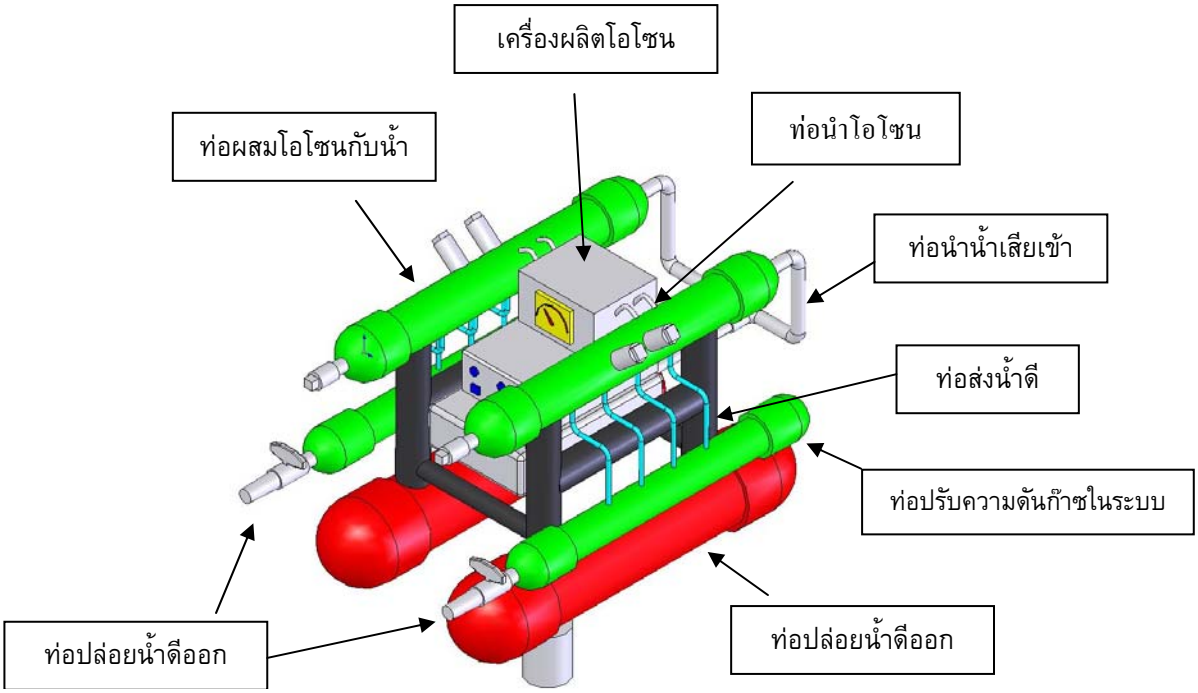
ส่วนประกอบ : ลักษณะและองค์ประกอบของเครื่องบำบัดดังกล่าว ดังแสดงใน รูปที่ 1 และ รูปที่ 2 มีดังนี้

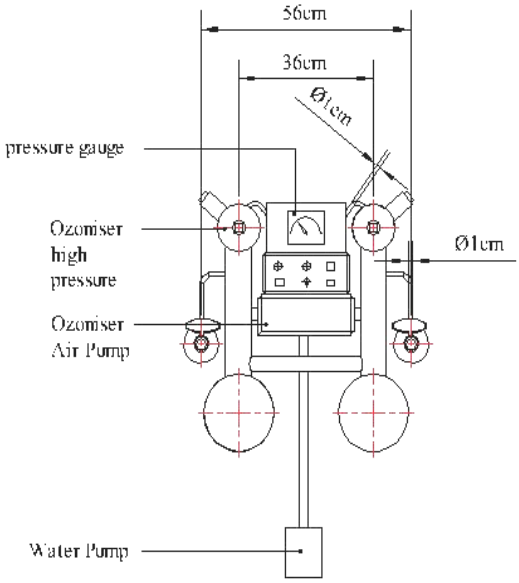
- โครงสร้างเป็นวัสดุ Stainless steel and PVC ดังแสดงในรูปที่ 1
- Ozone production ขนาด 50 ถึง 200 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง
- Air pump component (GAST Co.,Ltd, USA, model 0.25 pH) This air pump system was used to control both Oxygen and air flow at capac of up to 200 l/min
- Pressure meter (Nuovafima Co,Ltd, Japan, Model MSI-DS 150) This pressure meter was used to determine the pressure of the gas in the rang of $1.0 \times 10^5 - 1.5 \times 10^5$ N/m^2
- Voltage meter (Tamadensoku Co,Ltd. Japan Model 20 ADS)
- Current ampere meter (Yokogawa Hokushin Model 76AA 4318) This component was used for measuring the electric of the designed ozoniser.
- Water pump (Guangdng Risheng Group Co.,Ltd, China Model Hx-4500) Water flow at capacity of up to 2800 l/hr
- Water flow meter (Essom Inspection TA Co.,Ltd, Thailand Model HB 016) Water flow at capacity of up to 60 l/m

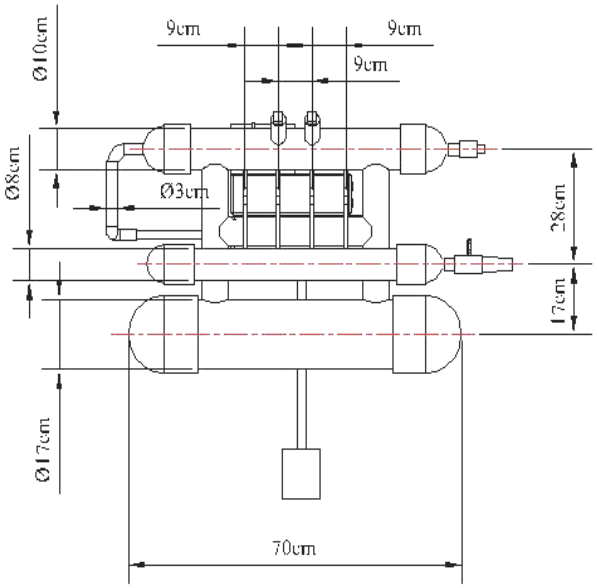
การควบคุมและเดินระบบ

หลักการทำงานของเครื่องเติมโอโซนให้น้ำในสภาวะความดันสูงและเติมอากาศในน้ำในสภาวะความดันสูงทั้งสองระบบอยู่ในเครื่องเดียวกันโดยมีอุปกรณ์ส่วนประกอบรวมกัน โดยใช้ตัวควบคุม 2 ตัวคือ

- ตัวควบคุมการใช้เติมโอโซน หรือจะใช้อากาศในการทดลอง
- ตัวควบคุมปริมาณอัตราการไหล (flow rate) ของน้ำในการทดลอง







จากจังหวัดสมุทรสาครมา 200 ลิตร มาทำการบำบัดในห้องทดสอบมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีโดยใช้อัตราการไหล (flow rate) ของน้ำ 10 l/min ปริมาณอัตราการไหล (flow rate) ของอากาศ 50 l/min ความดันอากาศในระบบ 1.3 × 10^5 N/m^2 แล้วเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่นำมาทดสอบทุก 20 นาที รวมระยะเวลาการทดลอง100 นาที จำนวนตัวอย่างที่เก็บ

เท่ากับ 5 ตัวอย่าง ที่ปลายท่อของเครื่องและถังปฏิกิริยา แล้วนำมาหาค่าออกซิเจนละลาย โดยวิธีของ Moris [5] และ หาค่าซีโอดี และ บีโอดี โดยวิธีมาตรฐาน การวิเคราะห์สมบัติน้ำเสีย แสดงดังตารางที่ 1 [6]

การบำบัดน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงกุ้งโดยเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนในสภาวะความดันสูงโดยได้นำน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงกุ้งมา 200 ลิตร มาทำการบำบัดในห้องทดสอบโดยใช้อัตราการไหล (flow rate) ของน้ำ 10 l/min อัตราการไหล (flow rate) ของอากาศ 50 l/min ความดันก๊าซในระบบ 1.3×10^5 N/m^2 ปริมาณโอโซนในระบบ 150 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง แล้วเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่นำมาทดสอบทุก 20 นาที รวมระยะเวลาการทดลอง100 นาที จำนวนตัวอย่างที่เก็บเท่ากับ 5 ตัวอย่าง ที่ปลายท่อของเครื่องและถังปฏิกิริยา แล้วนำมาหาค่าออกซิเจนละลายโดยวิธีของ Moris [5] และหาค่าซีโอดี และ บีโอดี โดยวิธีมาตรฐาน การวิเคราะห์สมบัติน้ำเสีย แสดงดังตารางที่ 1 [6]

การบำบัดน้ำเสียชุมชนพระประแดงโดยเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยอากาศสภาวะความดันสูงได้นำน้ำเสียจากชุมชนมา 200 ลิตร มาทำการบำบัดในห้องทดสอบโดยใช้อัตราการไหล (flow rate) ของน้ำ 10 l/min ปริมาณอัตราการไหล (flow rate) ของอากาศ 50 l/min ความดันอากาศในระบบ 1.3×10^5 N/m^2 แล้วเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่นำมาทดสอบทุก 20 นาที รวมระยะเวลาการทดลอง 100 นาที จำนวนตัวอย่างที่เก็บเท่ากับ 5 ตัวอย่าง ที่ปลายท่อของเครื่องและถังปฏิกิริยา แล้วนำมาหาค่าออกซิเจนละลายโดยวิธีของ Moris [5] และหาค่าซีโอดี และ บีโอดี โดยวิธีมาตรฐาน การวิเคราะห์สมบัติน้ำเสีย [6] โดยได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 1

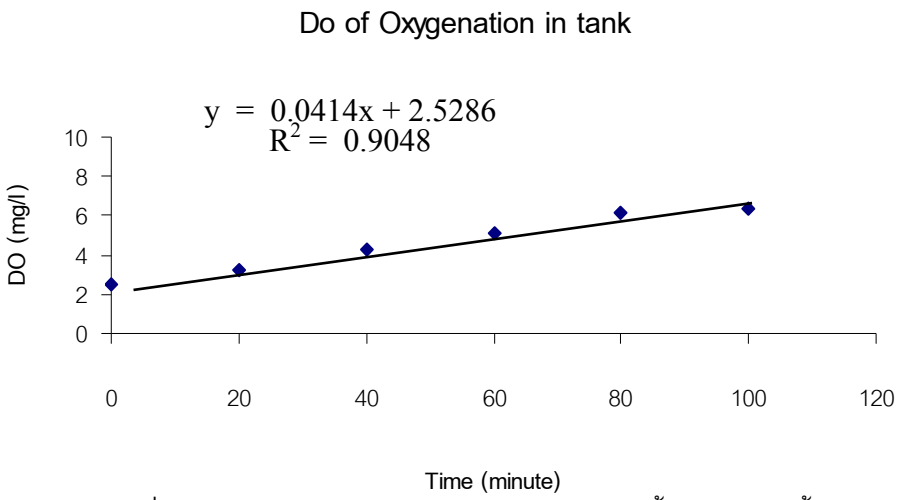
การบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนสภาวะความดันสูงได้นำน้ำเสียจากชุมชนมา 200 ลิตร มาทำการบำบัดในห้องทดสอบโดยใช้อัตราการไหล (flow rate) ของน้ำ 10 l/min ปริมาณอัตราการไหล (flow rate) ของอากาศ 50 l/min ความดันก๊าซในระบบ 1.3×10^5 N/m^2 ปริมาณโอโซนในระบบ 150 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง แล้วเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่นำมาทดสอบทุก 20 นาที รวมระยะเวลาการทดลอง 100 นาที จำนวนตัวอย่างที่เก็บเท่ากับ 5 ตัวอย่าง ที่ปลายท่อของเครื่องและถังปฏิกิริยา แล้วนำมาหาค่าออกซิเจนละลายโดยวิธีของ Moris [5] และหาค่าซีโอดี และ บีโอดี โดยวิธีมาตรฐาน การวิเคราะห์สมบัติน้ำเสีย [6] โดยได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 1

สภาวะควบคุม	น้ำเสียจากบ่อเลี้ยงกุ้ง		น้ำเสียชุมชน	
	การบำบัดด้วยอากาศ	การบำบัดด้วยโอโซน	การบำบัดด้วยอากาศ	การบำบัดด้วยโอโซน
ปริมาตรน้ำเสีย (ลิตร)	200	200	200	200
อัตราการไหลของน้ำ (l/min)	10	10	10	10
อัตราการไหลของอากาศ (l/min)	50	50	50	50
ความดันในระบบ (N/m^2)	1.3×10^5	1.3×10^5	1.3×10^5	1.3×10^5
ปริมาณโอโซน (mg/hr)	-	150	-	150
ระยะห่างของช่วงเวลา (min)	20	20	20	20

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

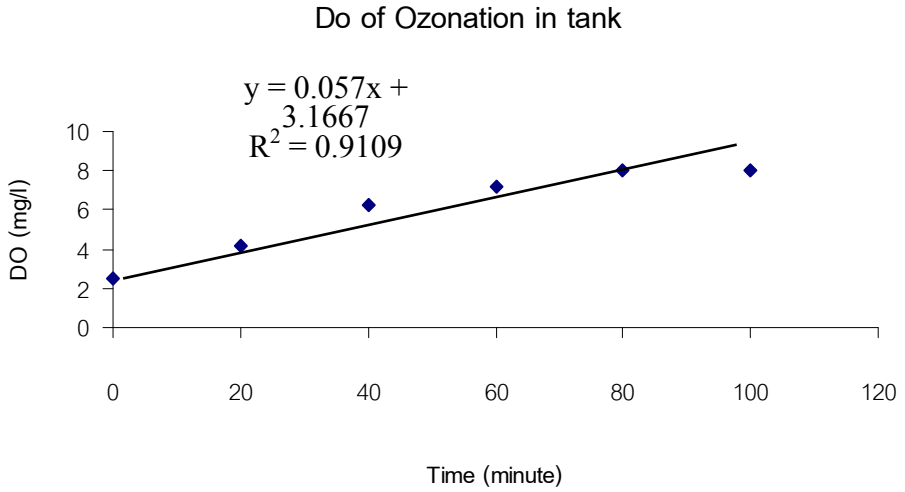
โดยการนำผลการทดลองมาสร้างกราฟ แบบสมสนิทดี (Fitting Curve) เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (dissolved oxygen: DO) กับระยะเวลา (Time) แล้วนำมาหาค่าความชัน (slope) จากพารามิเตอร์ (parameter) ของ a และ b จากจุดต่างๆ ของกราฟให้ $y = ax + b$ เป็นฟังชั่นที่ผ่านจุดเหล่านี้ เมื่อ a = ความชัน (slope) ของ DO/Time และ R^2 (สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ) จาก $R^2 = 1 -$ (SSE/SST) (SST: sum square of total; SSE: sum square of error) [7]

ผลการทดลองในการบำบัดน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงกุ้งด้วยเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยอากาศในสภาวะความดันสูงในการเพิ่มออกซิเจนละลาย (DO) พบว่า ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำจะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการบำบัดเพิ่มขึ้น ดังแสดงในกราฟรูปที่ 3 เมื่อนำผลการทดลองระหว่างปริมาณออกซิเจนละลายน้ำกับเวลาที่ผ่านไปมาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์และหาค่าความชัน (slope) และ ค่า R^2 [7]



รูปที่ 3 ผลการทดลองการเพิ่มค่าออกซิเจนละลาย (dissolved oxygen: DO) น้ำเสียของบ่อเลี้ยงกุ้งโดยใช้อากาศ

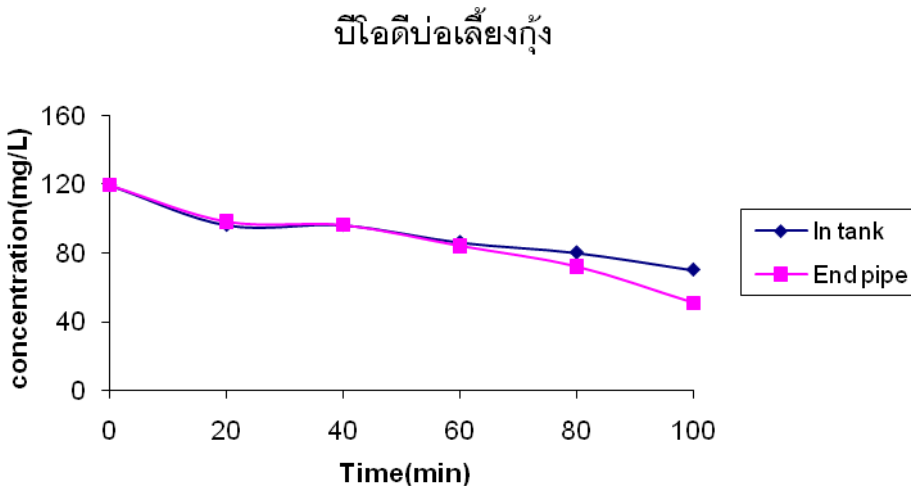
ได้ค่าความชัน (slope) เท่ากับ 0.0414 และ R^2 เท่ากับ 0.9048 ค่า R^2 เข้าใกล้ 1 แสดงว่าค่าออกซิเจนละลาย ที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์กับเวลาอยู่ในระดับสูง [3] ดังแสดงในกราฟรูปที่ 4 แสดงว่าการเพิ่มค่าออกซิเจนละลายน้ำกับเวลามีความสัมพันธ์เชิงเส้น (linear correlation) [8] แต่น้อยกว่าโอโซน เพราะโอโซนละลายน้ำได้ดีกว่าออกซิเจน 10 เท่า [9,10] นอกจากนี้ยังได้นำผลการทดลองในการบำบัดน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงกุ้งด้วยเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนในสภาวะความดันสูงในการเพิ่มออกซิเจนละลาย สร้างกราฟแสดงความสำพันธ์และหาค่าความชัน (slope) และ R^2



รูปที่ 4 ผลการทดลองการเพิ่มค่าออกซิเจนละลาย (dissolved oxygen: DO) น้ำเสียของบ่อเลี้ยงกุ้งโดยใช้โอโซน

แล้วนำมาวิเคราะห์หาค่าความชัน (slope) ได้ 0.0570 และ R^2 ได้ 0.9109 ค่า R^2 เข้าใกล้ 1 แสดงว่าค่าออกซิเจนละลายที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์กับเวลาอยู่ในระดับสูง [3] จากรูปที่ 4 วิเคราะห์กราฟหาค่าความชัน (slope) ได้ 0.0570 ค่า R^2 ได้ 0.9109 จากรูปที่ 4 แสดงว่าการเพิ่มค่าออกซิเจนละลาย กับเวลามีความสัมพันธ์เชิงเส้น (linear correlation) [8] ตรงกับคำกล่าวที่ว่า ก๊าซโอโซนสามารถละลายน้ำได้ดีกว่าก๊าซออกซิเจนถึง 10 เท่า [2,10] จึงทำให้การเพิ่มค่าออกซิเจนละลาย จากการใช้โอโซนเป็นไปอย่างรวดเร็วกว่าการใช้อากาศมาก จะเห็นได้จากผลในเวลา 80 นาที ออกซิเจนละลาย เพิ่มขึ้นที่ค่าออกซิเจนละลาย เท่ากับ 8 มก/ล คงที่ทั้งระบบ แต่การใช้อากาศค่าออกซิเจนละลาย ได้เท่ากับ 6.4 ซึ่งน้อยกว่ากรณีของการใช้โอโซน ถึง 1.6 มก/ล ที่สภาวะการทดลองเดียวกัน

ได้นำผลการทดลองการบำบัดน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงกุ้งด้วยเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนในสภาวะความดันสูง มาวิเคราะห์กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการลดของค่าบีโอดีกับเวลา หาค่าความชัน (slope) และ R^2



รูปที่ 5 ผลการทดลองลดค่าบีโอดีในน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงกุ้ง

ในถังปฏิกิริยา $y = -13.151x + 144.66$

$R^2 = 0.9211$

ปลายท่อของเครื่อง $y = 19.35x + 147.77$

$R^2 = 0.9308$

การคำนวณหาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของการทดลองการบำบัดน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงกุ้งด้วยเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนในสภาวะความดันสูงในการลดค่าบีโอดี [9]

$$\text{ประสิทธิภาพในถังปฏิกิริยา} = \frac{(\text{ความเข้มข้นบีโอดีน้ำเข้า} - \text{ความเข้มข้นบีโอดีน้ำออก}) \times 100}{\text{ความเข้มข้นบีโอดีน้ำเข้า}}$$

$$= \left(\frac{119 \pm 9 - 70 \pm 7}{119 \pm 9}\right) \times 100$$

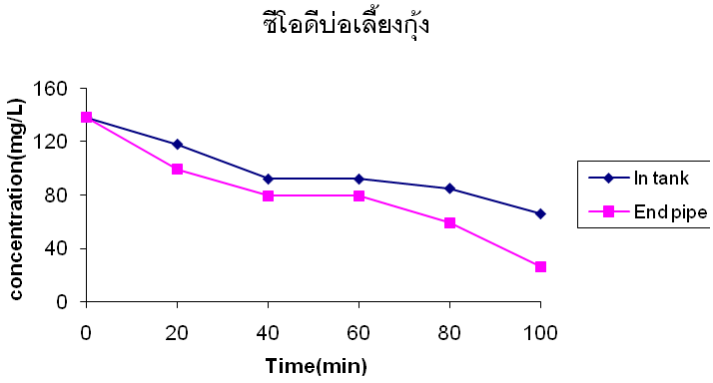
$$= 41.18 \pm 3.10\%$$

$$\text{ประสิทธิภาพปลายท่อของเครื่อง} = \frac{(\text{ความเข้มข้นบีโอดีน้ำเข้า} - \text{ความเข้มข้นบีโอดีน้ำออก}) \times 100}{\text{ความเข้มข้นบีโอดีน้ำเข้า}}$$

$$= \left(\frac{119 \pm 7 - 51 \pm 4}{119 \pm 7}\right) \times 100$$

$$= 57.14 \pm 1.53\%$$

ได้นำผลการทดลองการบำบัดน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงกุ้งด้วยเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนในสภาวะความดันสูง มาวิเคราะห์กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการลดของค่าซีโอดี กับเวลา หาค่าความชัน (slope) และ R^2



รูปที่ 6 ผลการทดลองลดค่าซีโอดีในน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงกุ้ง

ในถังปฏิกิริยา $y = -8.9268x + 122.45$

$R^2 = 0.9394$

ปลายท่อของเครื่อง $y = 12.367x + 129.69$

$R^2 = 0.9583$

การคำนวณหาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของการทดลองการบำบัดน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงกุ้งด้วยเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนในสภาวะความดันสูงในการลดค่าซีโอดี [9]

$$\text{ประสิทธิภาพในถังปฏิกิริยา} = \frac{(\text{ความเข้มข้นซีโอดีน้ำเข้า} - \text{ความเข้มข้นซีโอดีน้ำออก}) \times 100}{\text{ความเข้มซีโอดีน้ำเข้า}}$$

$$= \left(\frac{138 \pm 8 - 66 \pm 4}{138 \pm 8}\right) \times 100$$

$$= 52.17 \pm 2.31\%$$

$$\text{ประสิทธิภาพปลายท่อของเครื่อง} = \frac{(\text{ความเข้มข้นซีโอดีน้ำเข้า} - \text{ความเข้มข้นซีโอดีน้ำออก}) \times 100}{\text{ความเข้มข้นซีโอดีน้ำเข้า}}$$

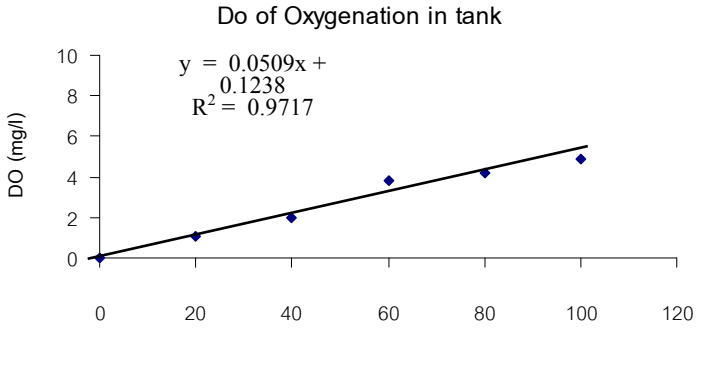
$$= \left(\frac{138 \pm 7 - 26 \pm 4}{138 \pm 7}\right) \times 100$$

$$= 81.16 \pm 1.20\%$$

วิเคราะห์กราฟหาความสัมพันธ์ระหว่างการลดค่าบีโอดีและ ซีโอดี กับเวลา ผลการลดค่าบีโอดีกับเวลาได้ค่า ความชัน (slope) ในถังปฏิกิริยาเท่ากับ –13.151 และ R^2 เท่ากับ 0.9211 ที่ปลายท่อของเครื่องได้ค่าความชัน (slope) เท่ากับ -19.35 และ R^2 เท่ากับ 0.9308 จากรูปที่ 5 และผลการลดค่าซีโอดี กับเวลาได้ค่าความชัน (slope) ที่ ในถังปฏิกิริยาเท่ากับ –8.9268 และR^2 เท่ากับ 0.9394 ที่ปลายท่อของเครื่อง ค่าความชัน (slope) เท่ากับ -12.3670 และ R^2 เท่ากับ 0.9583 จากรูปที่ 6 แสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ของการลดลงลดค่าบีโอดี กับเวลามีความสัมพันธ์สูง โดยปริมาณบีโอดีในถังปฏิกิริยาจะลดลงสูงถึงร้อยละ 41.18±3.10 และที่ปลายท่อของเครื่องลดลงสูงถึงร้อยละ 57.14±1.53 ส่วนการลดลงของ ซีโอดี กับเวลาที่ในถังปฏิกิริยาและ ที่ปลายท่อของเครื่องก็อยู่ในทิศทางเดียวกันกับกรณีของ บีโอดี โดย ปริมาณซีโอดีในถังปฏิกิริยาจะลดลงสูงถึงร้อยละ 52.17±2.31 และที่ปลายท่อของเครื่องลดลงสูงถึงร้อยละ 81.16±1.20 [7] แสดงว่าการใช้โอโซนบำบัดน้ำเสียทำให้ค่าบีโอดีและซีโอดี ลดลงได้อย่างเร็ว เพราะโอโซนจะทำหน้าที่สองอย่างพร้อมกัน คือ ละลายน้ำได้ดีกว่าการใช้อากาศ 10 เท่า ขณะเดียวกันก็จะกำจัดสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับน้ำเสียโดยขบวนการ ออกซิเดชัน (oxidation) [2,10]

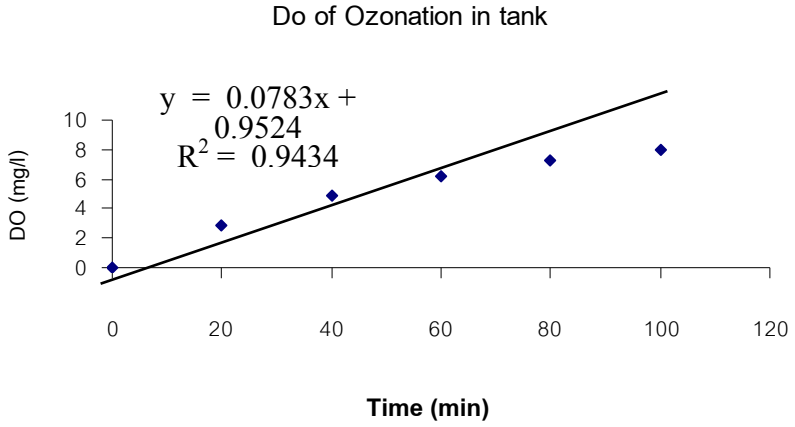
ในการทดลองบำบัดน้ำเสียจากชุมชนได้ใช้อัตราการไหล (flow rate) ของน้ำเสียที่ 10 l/min ซึ่งเป็นอัตราการไหล (flow rate) ของน้ำที่เหมาะสมมากที่สุดในการทดลองการเพิ่มค่าออกซิเจนละลาย น้ำจากเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนในสภาวะความดันสูงและอากาศ ที่ผู้วิจัยได้ศึกษาจากการทดลองหาประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจนของเครื่องเติมอากาศ

นำเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยอากาศในสภาวะความดันสูงไปบำบัดน้ำเสียชุมชน แล้วบันทึกผลการทดลองสร้างกราฟหาค่าความชัน (slope) และ R^2 ดังแสดงในกราฟรูปที่ 7 รวมทั้งหาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย



รูปที่ 7 ผลการทดลองการเพิ่มค่าออกซิเจนละลาย (dissolved oxygen: DO) น้ำเสียของชุมชนโดยใช้อากาศ

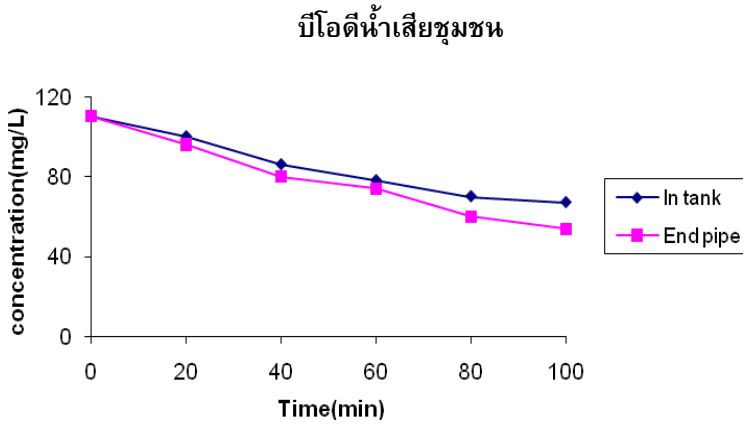
ผลการวิเคราะห์พบว่าค่าความชัน (slope) เท่ากับ 0.0509 และ R^2 เท่ากับ 0.9717 ค่า R^2 เข้าใกล้ 1 แสดงว่าค่าออกซิเจนละลาย ที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์กับเวลาสูงแต่อัตราการเพิ่มค่าออกซิเจนละลาย เป็นไปช้ากว่าการใช้โอโซนโดยเปรียบเทียบจากผลการทดลอง จากนั้นได้นำผลการทดลองในการบำบัดน้ำเสียจากชุมชนด้วยโอโซนในสภาวะความดันสูงในการเพิ่มค่าออกซิเจนละลาย ไปสร้างกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณออกซิเจนละลายน้ำกับระยะเวลาและหาค่าความชัน (slope) และ R^2 ดังแสดงในกราฟรูปที่ 8



รูปที่ 8 ผลการทดลองการเพิ่มค่าออกซิเจนละลาย (dissolved oxygen: DO) น้ำเสียของชุมชนโดยใช้โอโซน

พบว่าค่าความชัน (slope) เท่ากับ 0.0783 และ R^2 เท่ากับ 0.9434 ค่า R^2 เข้าใกล้ 1 แสดงว่าค่าออกซิเจนละลาย ที่เพิ่มขึ้นมีความสัมพันธ์กับเวลาสูงอยู่ในระดับสูง เพราะโอโซนละลายน้ำได้ดีกว่ากรณีที่ใช้ออกซิเจนถึง 10 เท่า แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มค่าออกซิเจนละลาย กับเวลามีความสัมพันธ์ ในเชิงเส้น [8] ตรงกับคำกล่าวที่ว่า ก๊าซโอโซนสามารถละลายน้ำได้ดีกว่าก๊าซออกซิเจนถึง 10 เท่า [2,10] จึงทำให้การเพิ่มค่าออกซิเจนละลาย จากการใช้โอโซนเป็นไปอย่างรวดเร็วกว่าการใช้อากาศมาก และเกิดความสมดุลในระบบบำบัดได้รวดเร็วในเวลา 100 นาที ค่าออกซิเจนละลาย เท่ากับ 8 ทั้งในถังปฏิกิริยาและปลายท่อของเครื่อง

ได้นำผลการทดลองการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนในสภาวะความดันสูง มาวิเคราะห์กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการลดของค่าบีโอดีกับเวลา หาค่าความชัน (slope) และ R^2 แสดงในกราฟรูปที่ 9



รูปที่ 9 ผลการทดลองลดค่าบีโอดีในน้ำเสียจากชุมชน

ในถังปฏิกิริยา $y = -6.0117x + 126.25$

$R^2 = 0.9143$

ปลายท่อของเครื่อง $y = -12.023x + 125.37$

$R^2 = 0.9239$

ผลการวิเคราะห์ค่า R^2 ที่ในถังปฏิกิริยาและปลายท่อของเครื่อง มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าการลดของค่าบีโอดีมีความสัมพันธ์กับเวลาสูง [8]

การคำนวณหาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของการทดลองการบำบัดน้ำเสียจากชุมชนด้วยเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนในสภาวะความดันสูงในการลดค่าบีโอดี [9]

$$\text{ประสิทธิภาพในถังปฏิกิริยา} = \frac{(\text{ความเข้มข้นบีโอดีน้ำเข้า} - \text{ความเข้มข้นบีโอดีน้ำออก}) \times 100}{\text{ความเข้มข้นบีโอดีน้ำเข้า}}$$

$$= \left(\frac{110 \pm 5 - 67 \pm 2}{110 \pm 5}\right) \times 100$$

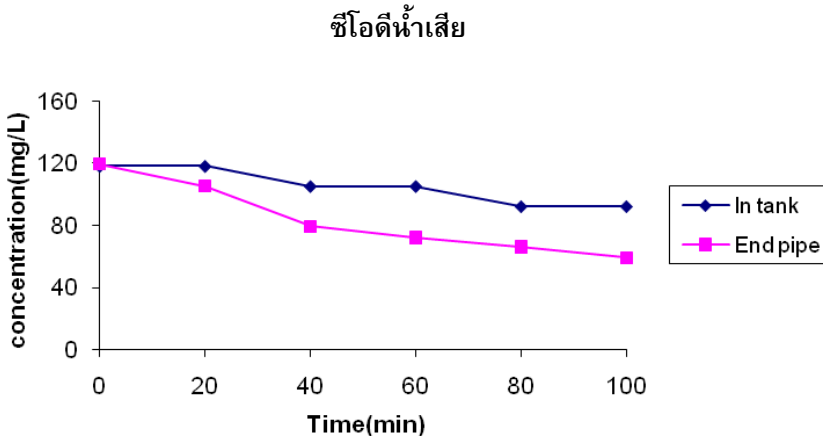
$$= 39.09 \pm 2.53\%$$

$$\text{ประสิทธิภาพปลายท่อของเครื่อง} = \frac{(\text{ความเข้มข้นบีโอดีน้ำเข้า} - \text{ความเข้มข้นบีโอดีน้ำออก}) \times 100}{\text{ความเข้มข้นบีโอดีน้ำเข้า}}$$

$$= \left(\frac{110 \pm 7 - 54 \pm 4}{110 \pm 7}\right) \times 100$$

$$= 50.91 \pm 2.53\%$$

ได้นำผลการทดลองการบำบัดน้ำเสียจากชุมชนด้วยเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนในสภาวะความดันสูง มาวิเคราะห์กราฟความสัมพันธ์ระหว่างการลดของค่าซีโอดี กับเวลาหาค่าความชัน (slope) และ R^2 แสดงในกราฟรูปที่ 10



รูปที่ 10 ผลการทดลองลดค่าซีโอดีในน้ำเสียจากชุมชน

ในถังปฏิกิริยา $y = -9.0405x + 116.55$

$R^2 = 0.9635$

ปลายท่อของเครื่อง $y = -11.343x + 118.47$

$R^2 = 0.9783$

ผลการวิเคราะห์ค่า R^2 ที่ ในถังปฏิกิริยาและปลายท่อของเครื่อง มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าการลดของค่าซีโอดี มีความสัมพันธ์กับเวลา [7]

การคำนวณหาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของการทดลองการบำบัดน้ำเสียจากชุมชนด้วยเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนในสภาวะความดันสูงในการลดค่าซีโอดี [9]

$$\text{ประสิทธิภาพในถังปฏิกิริยา} = \frac{(\text{ความเข้มข้นซีโอดีน้ำเข้า} - \text{ความเข้มข้นซีโอดีน้ำออก}) \times 100}{\text{ความเข้มซีโอดีน้ำเข้า}}$$

$$= \left(\frac{118 \pm 8 - 93 \pm 6}{118 \pm 8} \right) \times 100$$
$$= 21.19 \pm 2.10\%$$

$$\text{ประสิทธิภาพปลายท่อของเครื่อง} = \frac{(\text{ความเข้มข้นซีโอดีน้ำเข้า} - \text{ความเข้มข้นซีโอดีน้ำออก}) \times 100}{\text{ความเข้มข้นซีโอดีน้ำเข้า}}$$

$$= \left(\frac{119 \pm 9 - 59 \pm 5}{119 \pm 9} \right) \times 100$$
$$= 50.42 \pm 2.10\%$$

วิเคราะห์กราฟหาความสัมพันธ์ระหว่างการลดค่าบีโอดีและ ซีโอดี กับเวลา ผลการลดค่าบีโอดีกับเวลาได้ค่าความชัน (slope) ที่ ในถังปฏิกิริยา เท่ากับ –6.0117 และ R^2 เท่ากับ 0.9143 ที่ ปลายท่อของเครื่อง ได้ค่าความชัน (slope) เท่ากับ -12.023 และ R^2 เท่ากับ 0.9239 จากรูปที่ 9 และผลการลดค่าซีโอดี กับเวลาได้ค่าความชัน (slope) ที่ ในถังปฏิกิริยาเท่ากับ –9.0405 และR^2 เท่ากับ 0.9635 ที่ปลายท่อของเครื่อง ค่าความชัน (slope) เท่ากับ -11.343 และ R^2 เท่ากับ 0.9783 จากรูปที่10 แสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ของการลดลงลดค่าบีโอดี กับเวลามีความสัมพันธ์สูง โดยปริมาณบีโอดีในถังปฏิกิริยาจะลดลงสูงถึงร้อยละ 39.09±2.53 และที่ปลายท่อของเครื่องลดลงสูงถึงร้อยละ 50.91±2.53 ส่วนการลดลงของ ซีโอดี กับเวลาที่ในถังปฏิกิริยาและ ที่ปลายท่อของเครื่อง ก็อยู่ในทิศทางเดี่ยวกันกับกรณีของ บีโอดี โดยปริมาณซีโอดีในถังปฏิกิริยาจะลดลงสูงถึงร้อยละ 21.19±2.10 และที่ปลายท่อของเครื่องลดลงสูงถึงร้อยละ 50.42±2.10 [5] แสดงว่าการใช้โอโซนบำบัดน้ำเสียทำให้ค่าบีโอดีและซีโอดี ลดลงได้อย่างเร็ว เพราะโอโซนจะทำหน้าที่สองอย่างพร้อมกัน คือ ละลายน้ำได้ดีกว่าการใช้อากาศ 10 เท่า ขณะเดียวกันก็จะกำจัดสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับน้ำเสียโดยขบวนการ ออกซิเดชัน (oxidation) [2]

สรุปผลการทดลอง

ผลของความสัมพันธ์ระหว่างการลดลงของค่า ซีโอดี และ บีโอดี กับเวลานั้นพบว่าในการบำบัดค่าบีโอดี ของน้ำเสียชุมชน ในถังปฏิกิริยา (in tank) กับเวลาที่ผ่านไป ได้ค่าความชัน (slope) เท่ากับ –6.0117 และ R^2 เท่ากับ 0.9143 ส่วนที่ปลายท่อของเครื่อง (end pipe) ได้ค่าความชัน (slope) –12.023 และ R^2 เท่ากับ 0.9239 จากรูปที่ 9 ส่วนผลการบำบัดค่าซีโอดี ของน้ำเสียชุมชนในถังปฏิกิริยา (in tank) กับเวลาที่ผ่านไป ได้ค่าความชัน (slope) เท่ากับ –9.0405 และ R^2 เท่ากับ 0.9635 ส่วนที่ปลายท่อของเครื่อง (end pipe) ได้ค่าความชัน (slope) เท่ากับ –11.3430 และ R^2 เท่ากับ 0.9783 จากรูปที่ 10 แสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างการลดลงของค่า ซีโอดี และ บีโอดี กับเวลามีความสัมพันธ์ในเชิงเส้น (linear correlation) โดย การลดลงของ บีโอดีของน้ำเสียชุมชน ในถังปฏิกิริยา และปลายท่อของเครื่องเท่ากับร้อยละ 39.09±2.53 และ 50.91±2.53 ตามลำดับ ส่วนการลดลงของ ซีโอดีของน้ำเสียชุมชน ในถังปฏิกิริยาและปลายท่อของเครื่องเท่ากับร้อยละ 21.19±2.10 และ 50.42±2.10 ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะโอโซนจะทำหน้าที่สองอย่างพร้อมกัน คือ ละลายน้ำได้ดีกว่าการใช้อากาศ 10 เท่า ขณะเดียวกันจะกำจัดสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับน้ำเสียโดยขบวนการออกซิเดชัน (oxidation) ด้วย

ส่วนประสิทธิภาพบำบัดน้ำเสียจากบ่อเลี้ยงกุ้งพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างการลดลงของค่า ซีโอดี และ บีโอดี กับเวลามีความสัมพันธ์ ในเชิงเส้น (linear correlation) เช่นกัน โดย การลดลงของ บีโอดีของน้ำเสียจากบ่อกุ้งในถังปฏิกิริยาและปลายท่อของเครื่องเท่ากับร้อยละ 41.18±3.10 และ 57.14±1.53 ตามลำดับ ส่วนการลดลงของ ซีโอดีของน้ำเสียจากบ่อกุ้ง ในถังปฏิกิริยา และปลายท่อของเครื่องเท่ากับร้อยละ 52.17±2.31 และ 81.16±1.20 ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะโอโซนจะทำหน้าที่สองอย่างพร้อมกัน คือ ละลายน้ำได้ดีกว่าการใช้อากาศและขณะเดียวกันจะกำจัดสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับน้ำเสียโดยกระบวนการ ออกซิเดชัน (oxidation) ด้วย

บรรณานุกรม

Bollyky, L. J. 2002. **Benefits of Ozone Treatment for Bottled Water**. Ozone News. 31(2): 12-21.

Evans, F. L. 1972. **Ozone in Water and Wastewater Treatment.** Ann arbor Science Pub, Inc. Michigan. p. 185.

Zhou, H. and Daniel, W. 2000. **Ozone Mass Transfer in Water and Wastewater Treatment: Experimental Observations Using a 2D Laser Particle Dynamics Analyzer**. Water Res. 34: 909-9211.

Ternes, T. A. 1998. **Occurrence of Drugs in German Sewage Treatment Plants and Rivers**. Water Res. 32: 3245-3260.

Moris, K. 1977. **Method of Sampling and Analysis, APHA Intersociety Committee**. 2nd edition. American Public Health Association. Washington.

APHA, AWWA, WPCF. 1995. **Standard Methods for Examination of Water and Wastewater**: 19th edition. American Public Health Association. Washington DC.

Kutner, M. H., Christopher, J. and Buser, H. R. 2005. Applied Linear Statistical Models. 5th Edition (International Edition). McGraw-Hill Irwin.Boston.

Guikford, J. P. and Benjamin, F. 1973. **Fundamental Statics in Psychology and Education. McGraw-Hill Kagakusha.** Tokyo. p. 215.

George, T. and Franklin, B. 1991. **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse**. 3rd Edition. McGraw – Hill. New York.

Frank, K. and William, B. 1980. **Basic Heat Transfer.** Harper & Row Publisher. New York.