

บทความวิจัย

การผลิตโอโซนระบบพลาสมาความดันสูงสำหรับบำบัดน้ำเสีย

มงคล จงสุพรรณพงศ์ และ สันต ศิริอนันต์ไพบูลย์*

บทคัดย่อ

เครื่องเติมออกซิเจนความดันสูงที่มีอยู่ดั้งเดิมได้นำไปทดลองใช้ควบคู่กับเครื่องผลิตโอโซนพลาสมาความดันสูงที่ได้พัฒนาขึ้นดังกล่าว ซึ่งเรียกว่าเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนพลาสมาความดันสูง อยู่ในวิสัยที่ทำงานได้ทั้งสองระบบจะใช้อากาศหรือโอโซนสลับสับเปลี่ยนกันได้ เครื่องดังกล่าวถูกนำไปทดสอบหาประสิทธิภาพในการเติมออกซิเจนภายใต้สภาวะเดียวกันในการใช้ออกซิเจนและการเติมด้วยโอโซน ปรากฏว่า $K_L a$ ของระบบภายใต้การเติมออกซิเจนมีค่า 8.014 และภายใต้การเติมโอโซนมีค่า 11.303 และพบว่าสัมประสิทธิ์ในการถ่ายเทออกซิเจนของเครื่องเติมอากาศภายใต้การใช้ออกซิเจนมีค่าเท่ากับร้อยละ 10.43 ภายใต้การใช้โอโซนมีค่าเท่ากับ 14.72%

คำสำคัญ: การทำโอโซน ออกซิเจน การบำบัดน้ำเสีย

Ozone Production by High Pressure Plasma System for Wastewater

Mongkol Jongsuphanphong and Suntud Sirianuntapiboon*

ABSTRACT

An oxygen supplier, with high pressure technique was constructed to mutually operate with the plasma ozonizer previously developed. The system, named High Pressure Plasma, is capable of interchangeably functioning as suppliers of oxygen and ozone. The system was tested for the oxygen supply efficiency under both air and ozone supply conditions. K_La of the system under the air supply was 8.014 whereas that of the system under the ozone supply was 11.303. For the former system, the oxygen transfer coefficient was 10.43% while for the latter it was 14.72%.

Keywords: ozonization, oxygenation, wastewater

บทนำ

ปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นพิษจากน้ำในปัจจุบันก่อให้เกิดการพัฒนากระบวนการบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพ และประหยัดค่าใช้จ่ายซึ่งมีอยู่หลายวิธี โดยวิธีที่หลายประเทศให้ความสนใจในการศึกษาวิจัยกันมาก ได้แก่ การใช้โอโซนในการบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากโอโซนสามารถละลายน้ำได้ดีกว่าก๊าซออกซิเจนถึง 10 เท่า [1, 2] ก๊าซโอโซนเป็นตัวออกซิไดซ์ที่รุนแรง และมีสมบัติหลายอย่าง เช่น ทำให้เกิดปรากฏการณ์ เรโซแนนซ์ มีการเรียงตัวของโครงสร้างโมเลกุลของออกซิเจนเป็นสามเหลี่ยมได้ 4 แบบ ไม่มีลักษณะเป็นอนุมูลอิสระที่จะทำปฏิกิริยากับสารอื่นได้ และดูดซับรังสีอัลตราไวโอเล็ต ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับ สารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ และทำปฏิกิริยาไดโพล่าไซโคลแอดดิชัน (dipolar cyclo-addition) กับ สารประกอบอะโรมาติก (aromatic compounds) ทำปฏิกิริยากับอนุมูลไฮดรอกซี (OH^-) เป็นซูเปอร์ออกไซด์ (superoxide radical) ซึ่งเป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงกว่าโอโซน โอโซนมีคุณสมบัติโดดเด่นในการฆ่าเชื้อโรค ได้ทุกชนิด ไม่ว่าจะเป็นเชื้อไวรัส แบคทีเรีย รา ยีสต์ โปรโตซัว สปอร์ ซิสต์ และไขพยาธิ โดยโอโซนจะ ทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสารประกอบที่ห่อหุ้มเซลล์ทำให้เซลล์แตก ถ้าเป็นไวรัสจะสลายกรดนิวคลีอิก ถ้าเป็นซิสต์หรือโปรโตซัวจะทำลายเยื่อหุ้มชั้นในจนถึงส่วนประกอบภายในเซลล์ ดังนั้นจึงเหมาะในการบำบัด มลภาวะทางน้ำ เช่น การฆ่าเชื้อโรค จุลินทรีย์ และแบคทีเรียได้เกือบทุกชนิด การกำจัดสารเคมีและ สารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับน้ำเสีย ตลอดจนช่วยลดปริมาณ COD ได้ดี [3, 4] สำหรับประเทศไทยได้มี บริษัทเอกชนนำเครื่องมือที่ผลิตโอโซนเข้ามาจากต่างประเทศเพื่อจำหน่ายในราคาที่สูง จึงทำให้มีผู้นำโอโซน มาประยุกต์ใช้กับระบบบำบัดน้ำเสียน้อยมาก นอกจากนี้ก๊าซโอโซนเป็นก๊าซที่ไม่เสถียร สลายตัวกลับไปเป็น ออกซิเจนได้ในเวลาอันรวดเร็ว จึงจำเป็นต้องนำอุปกรณ์ที่ผลิตโอโซนไปติดตั้งให้ใกล้กับแหล่งที่ใช้มากที่สุด และเวลาในการแพร่กระจายของโอโซนในน้ำต้องเป็นไปอย่างรวดเร็วและทั่วถึง จะเห็นได้ว่าปัญหาที่ใช้ โอโซนในการบำบัดน้ำเสียของเครื่องใช้ต่างๆ ไป ที่นำมาใช้ในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นเครื่องที่นำโอโซนอัดลงไป ในน้ำหรือใช้น้ำผสมกับโอโซนในระบบการเติมอากาศแบบเจ็ท ซึ่งทำให้การแพร่กระจายของโอโซนไม่ทั่วถึง และโอโซนจะให้พลังงานในช่วงที่โอโซนสลายเป็นออกซิเจนในเวลาทีน้อยมาก คือ ภายใน 6 วินาทีเท่านั้น ทำให้ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคและการกระจายของออกซิเจนในน้ำไม่ทั่วถึง จึงเป็นเหตุอย่างหนึ่งที่ทำให้เมื่อนำโอโซนมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียแล้วได้ผลน้อยไม่คุ้มกับการลงทุน

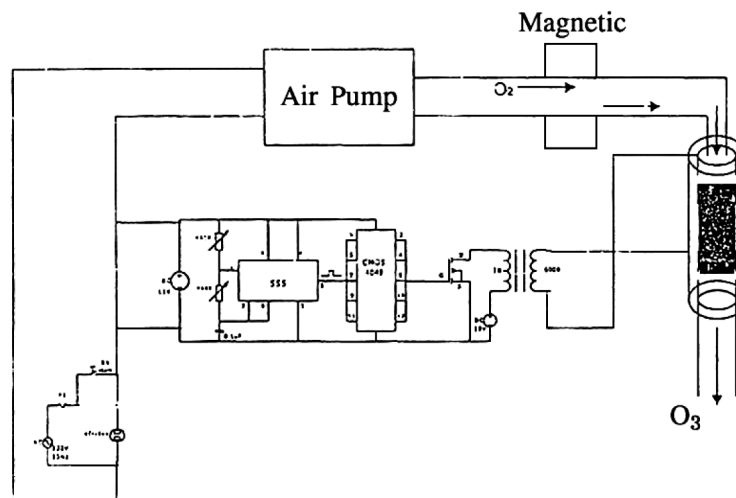
จากเหตุผลดังกล่าวผู้วิจัยจึงได้คิดพัฒนาเครื่องผลิตโอโซนที่มีประสิทธิภาพและราคาถูกที่ใช้อุปกรณ์ ที่ผลิตขึ้นภายในประเทศเกือบทั้งหมด หนึ่งระบบผลิตโอโซนในปัจจุบันมีอยู่ 2 แบบ คือ แบบความต่าง ศักย์สูง (discharge high voltage) และแบบระบบพลาสมาความดันสูง (high pressure plasma) การ ทดลองครั้งนี้เลือกใช้ระบบพลาสมาความดันสูง ทั้งนี้เนื่องจากเป็นระบบที่ใช้พลังงานในการผลิตโอโซน ต่ำกว่าจึงน่าจะเหมาะสมกว่าในการผลิตโอโซนเชิงอุตสาหกรรม นอกจากนั้นเพื่อต้องการให้โอโซนแพร่ กระจายในน้ำเสียเป็นไปอย่างรวดเร็วและทั่วถึง จึงได้นำเครื่องผลิตโอโซนที่พัฒนาขึ้นมาประยุกต์ใช้กับ เครื่องเติมอากาศใต้น้ำในสภาวะความดันสูงที่ผู้วิจัยได้ประดิษฐ์ขึ้น โดยใช้หลักคุณสมบัติที่สภาวะความดัน อากาศสูงและพื้นที่น้ำที่สัมผัสกับก๊าซได้มากที่สุดซึ่งจะทำให้การแพร่กระจายของก๊าซผสมกับน้ำเสียเป็นไปอย่าง รวดเร็วในเวลาอันสั้น โดยใช้ระบบฉีดน้ำเสียให้กระจายเป็นฝอยเข้าไปผสมกับก๊าซโอโซนระบบความดันสูง

ภายในระบบเครื่องเติมโอโซนแล้วปล่อยออกนอกระบบของเครื่องจึงไม่ไปรบกวนสัตว์น้ำและเป็นเครื่องที่เพิ่มค่า DO ได้มากกว่าเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนและเครื่องเติมอากาศทั่วๆ ไปที่มีปัญหาจากการแพร่กระจายของโอโซนและออกซิเจนในน้ำไม่ทั่วถึง

อุปกรณ์

เครื่องผลิตโอโซน (ozone production apparatus)

เป็นเครื่องผลิตโอโซน ขนาด 22 วัตต์ ใช้กับไฟฟ้า AC 220 V 50 Hz ผลิตโอโซนได้ 50 ถึง 200 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง จากอากาศ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 วงจรไฟฟ้าของโอโซนไนเซอร์

เครื่องบำบัดน้ำเสียโดยโอโซนในสภาวะความดันสูง

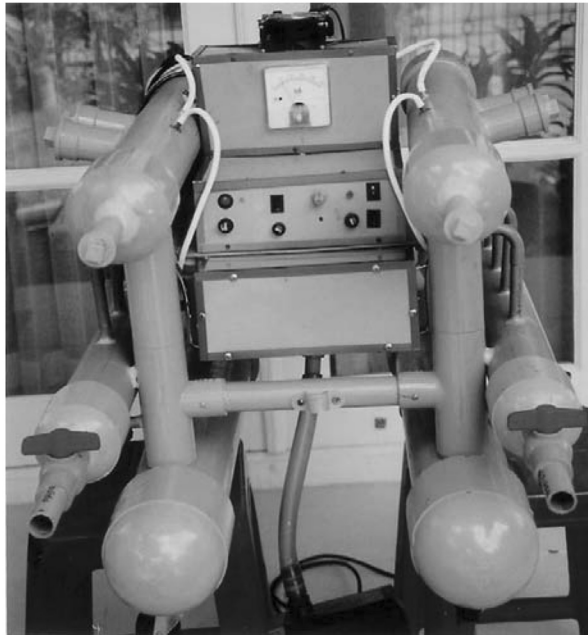
ส่วนประกอบ

- โครงสร้างของระบบใช้วัสดุจำพวก stainless steel and PVC ขนาดตามรูปที่ 2 โดยสามารถผลิตโอโซนได้ประมาณ 50 ถึง 200 มิลลิกรัม/ชั่วโมง
- เครื่องอัดอากาศ (air pump component: GAST Co., Ltd. USA, model 0.25 pH, control both oxygen and air flow at capacity of up to 200 L/min)
- เครื่องวัดความดัน (pressure meter: Nuovafima Co, Ltd. Japan, Model MSI-DS 150 to determine the pressure of the gas in the rang of 1.0×10^5 - 1.5×10^5 N/m²)
- เครื่องวัดความต่างศักย์ (voltage meter: Tamadensoku Co, Ltd. Japan Model 20 ADS ขนาด 3,000-18,000 โวลต์)
- เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า (current ampere meter: Yokogawa Hokushin Model 76AA 4318 ขนาด 10-35 มิลลิแอมแปร์)

- เครื่องสูบน้ำ (water pump: Guangdng Risheng Group Co., Ltd, China Model Hx-4500 ขนาดไม่ต่ำกว่า 2,800 ลิตร/ชม.)

- เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำ (water flow meter: Essom Inspection TA Co., Ltd. Thailand Model HB 016 ขนาดไม่ต่ำกว่า 60 ลิตร/นาที)

เครื่องบำบัดน้ำเสียโดยโอโซนในสภาวะความดันสูง แสดงดังรูปที่ 2

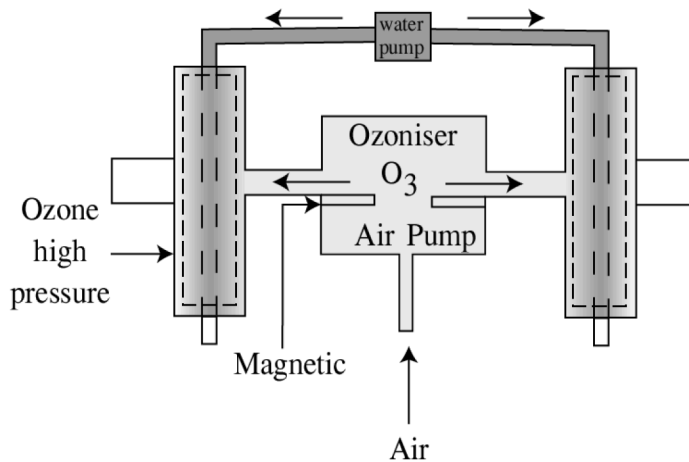


รูปที่ 2 เครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนในสภาวะความดันสูง

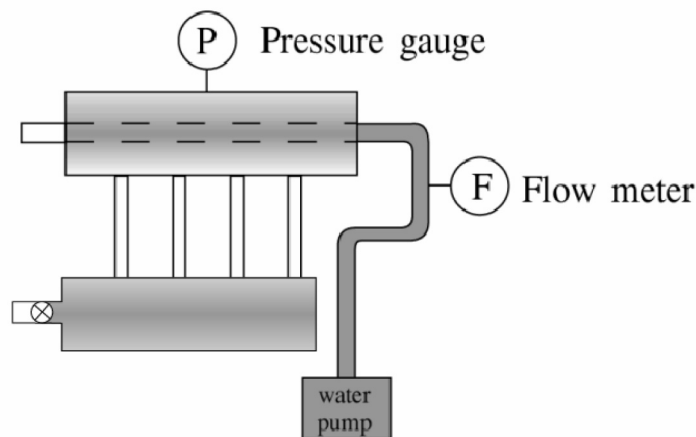
การควบคุมสภาวะการทำงานของเครื่อง (operation condition)

หลักการทำงานของเครื่องเติมโอโซนให้น้ำในสภาวะความดันสูงและเติมอากาศในน้ำในสภาวะความดันสูง ทั้งสองระบบอยู่ในเครื่องเดียวกัน โดยมีอุปกรณ์ส่วนประกอบรวมกัน และใช้ตัวควบคุม 2 ตัว คือ

- ตัวควบคุมการใช้โอโซน หรือการใช้อากาศในการทดลอง
- ตัวควบคุมปริมาณการไหลของน้ำในการทดลอง ดังรูปที่ 3 และ รูปที่ 4



รูปที่ 3 ภาพด้านบนระบบการทำงานของเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนในสภาวะความดันสูง



รูปที่ 4 ภาพด้านข้างของเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนในสภาวะความดันสูง

คุณสมบัติของเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนในสภาวะความดันสูงนั้นสามารถควบคุมได้ทั้งการใช้โอโซนหรืออากาศธรรมดา โดยมีสวิทช์ควบคุมว่าจะเป็นการเติมโอโซนหรืออากาศธรรมดาก็ได้ โดยจะใช้เครื่องผลิตอากาศหรือโอโซนตัวเดียวกัน

วิธีการทดลอง

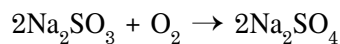
นำเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนสภาวะความดันสูงทดลองหาประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจนในน้ำประปา ดังแสดงในรูปที่ 5 โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. นำน้ำประปา 200 ลิตร มาลดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (dissolved oxygen: DO) ให้มีค่าเป็นศูนย์

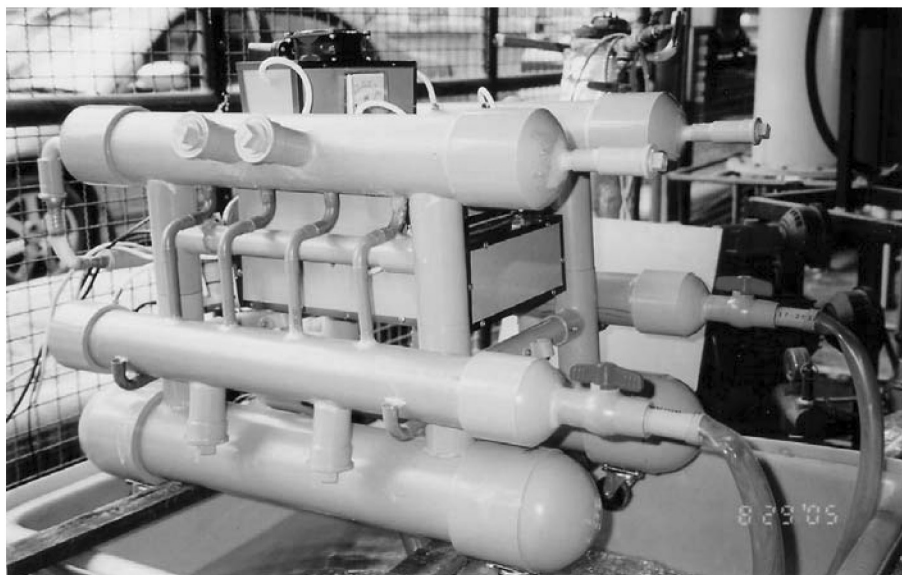
2. นำน้ำดังกล่าวมาทดสอบการเพิ่มออกซิเจนให้น้ำจากเครื่องเติมโอโซนในสภาวะความดันสูง โดยให้อัตราการไหลของอากาศเข้าสู่ระบบเครื่อง 50 ลิตร/นาที หรือปริมาณโอโซน 150 มิลลิกรัม/ชั่วโมง ความดันก๊าซในระบบ $1.3 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ อัตราการไหลของน้ำปรับให้เท่ากับ 25 L/10 min, 50 L/10 min, 75 L/10 min, 100 L/10 min และ 150 L/10 min ตามลำดับ

3. นำน้ำตัวอย่างที่เก็บจากปลายท่อของเครื่องและในถังปฏิกริยาตามวิธีการของ Moris [5] มาหาค่าออกซิเจนละลายน้ำ โดยวิธีเอไซด์โมดิฟิเคชัน (azide modification) [6]

อนึ่งการทำให้น้ำประปามีค่าออกซิเจนละลายน้ำเป็นศูนย์ทำได้ โดยนำน้ำประปาปริมาณ 1,000 ลิตร มากำจัดออกซิเจน โดยใช้สารเคมีโซเดียมซัลไฟท์ (Na_2SO_3) ในเกรดระดับงานวิเคราะห์ ดังสมการ



การคำนวณปริมาณของโซเดียมซัลไฟท์ที่ใช้โดยทั่วไปจะคิดปริมาณเกินพอกจากทฤษฎี คือ 7.88 มิลลิกรัม/ลิตร ในการทดสอบครั้งนี้ได้นำน้ำประปาดอกซิเจนละลายให้มีค่าเท่ากับศูนย์ แล้วทำการทดลองโดยให้น้ำเข้าสู่ระบบของเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนในสภาวะความดันสูง



รูปที่ 5 ภาพขณะทดลองบำบัดน้ำเสียของเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนสภาวะความดันสูง

นำน้ำเสียมาใส่ในถังปฏิกริยาแล้วนำเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนสภาวะความดันสูงมาติดตั้งไว้บนถังปฏิกริยา จากนั้นเปิดเครื่องให้ทำงานตรวจสอบอัตราการไหลของน้ำให้เท่ากับ 25 L/10 min 50 L/10 min, 75 L/10 min, 100 L/10 min และ 150 L/10 min ตามลำดับ และให้ความดันของก๊าซในระบบเท่ากับ $1.3 \times 10^5 \text{ N/m}^2$

การหาค่าสัมประสิทธิ์ในการถ่ายเทออกซิเจนลงไปในน้ำ [7]

$$K_L a = 2.303 \times \text{slope} \times 60$$

การหาค่าความสามารถในการเติมออกซิเจนของเครื่องเติมอากาศ (oxygenation capacity) (mgO₂/hr)

$$OC = K_L a C_s V$$

การหาค่าอัตราการถ่ายเทออกซิเจน (oxygen transfer rate)

$$R_o = \frac{OC}{P}$$

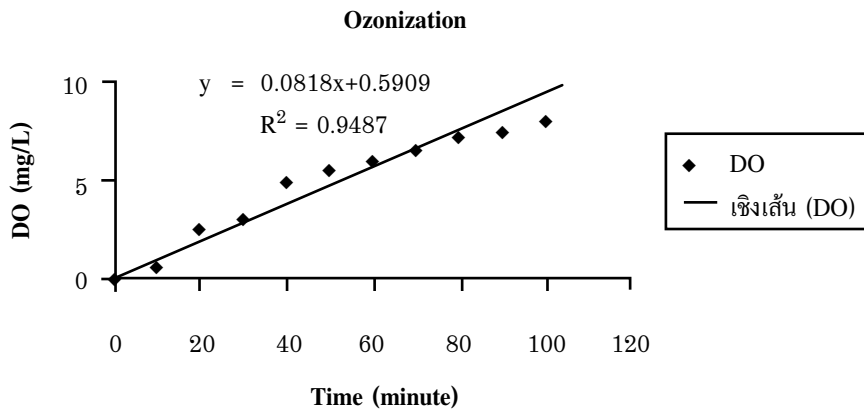
ประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจนของเครื่องเติมอากาศ

$$E = \frac{OC}{A} \times 100$$

- โดย $K_L a$ = สัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทออกซิเจน โดยค่าดังกล่าวจะขึ้นกับการปั่นป่วนของน้ำ อุณหภูมิ ความดันบรรยากาศ และความเข้มข้นของสารละลายในน้ำ
- OC = ความสามารถในการเติมออกซิเจน (mg/L)
- R_o = อัตราการถ่ายเทออกซิเจน (mg/kW-hr)
- E = ประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจนของเครื่องเติมอากาศ (%)
- C_s = ออกซิเจนอิ่มตัวในน้ำ (mg/L)
- C_t = ออกซิเจนละลายน้ำที่เวลา = t (mg/L)
- PWR = กำลังไฟฟ้าที่ใช้ให้กับเครื่องเติมอากาศ (kW)
- V = ปริมาตร L (m³)
- A = ปริมาณออกซิเจนที่เติมลงไปในน้ำ ณ สภาวะมาตรฐาน (0.008 m³/min) (60 min/hr) (282,900 mgO₂/m³) (ณ สภาวะมาตรฐานที่อุณหภูมิ 20 °C ความดัน 1 บรรยากาศ มีมวลออกซิเจน 282,900 mgO₂/m³ ของอากาศ)
- P = กำลังไฟฟ้า (วัตต์)

ผลการทดลอง

จากผลการทดลองของเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนในสภาวะความดันสูงที่ใช้อัตราการไหลของน้ำเสียเท่ากับ 100 L/10 min ซึ่งเป็นอัตราการไหลของน้ำที่เพิ่มค่าออกซิเจนละลายได้มากที่สุดมาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่างปริมาณออกซิเจนละลายน้ำกับระยะเวลาการเติมออกซิเจน จะได้ค่า slope เท่ากับ 0.0818 และ R^2 เท่ากับ 0.9487 ดังแสดงในรูปที่ 6 แล้วนำค่า slope ที่ได้ไปใช้ในสูตรหาค่าสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทออกซิเจน ($K_L a$) ได้ไปใช้คำนวณหาประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจนของเครื่องเติมอากาศ รายละเอียดดังผลการคำนวณต่อไปนี้



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ออกซิเจนละลาย (DO) กับเวลาของการใช้โอโซน

$$\begin{aligned} K_L a &= 2.303 \times \text{slope} \times 60 \\ &= 2.303 \times 0.0818 \times 60 \\ &= 11.303 \text{ hr}^{-1} \end{aligned}$$

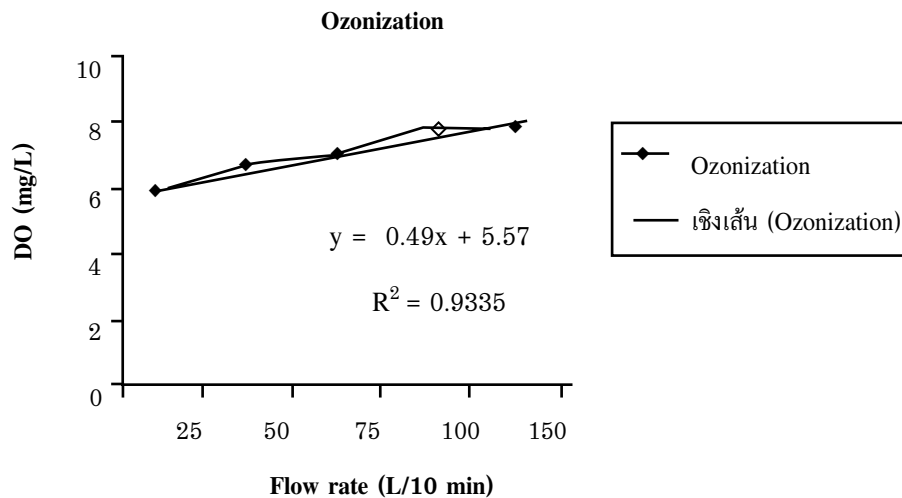
$$\begin{aligned} OC &= K_L a C_s V \\ &= 11.303 \times 8.84 \times 200 \text{ mgO}_2/\text{hr} \\ &= 19,983.704 \text{ mgO}_2/\text{hr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_0 &= \frac{OC}{P} = \frac{19983.704}{0.012} = 1,665,308.667 \text{ mgO}_2/\text{hr} \\ &= 1.665 \text{ kgO}_2/\text{kW-hr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E &= \frac{OC}{A} \times 100 \\ &= \frac{19,983.704 \times 100}{(0.008 \text{ m}^3/\text{min} \times 60 \text{ min/hr}) (282,900 \text{ mgO}_2/\text{m}^3)} \\ &= 14.72\% \end{aligned}$$

จากการวิเคราะห์พบว่า สัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทออกซิเจน ($K_L a$) เท่ากับ 11.303 hr^{-1} ความสามารถในการเติมออกซิเจน (OC) เท่ากับ $19,983.704 \text{ mgO}_2 \cdot \text{hr}^{-1}$ อัตราการถ่ายเทออกซิเจน (R_O) เท่ากับ $1,665,308.667 \text{ mgO}_2 \cdot \text{hr}^{-1}$ ประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจนของเครื่องเติมอากาศได้ 14.72% โดยหลักการในการถ่ายเทออกซิเจนระหว่างอากาศกับน้ำเป็นไปตามหลักการถ่ายเทของไหลทั่วไป [7]

นอกจากนี้ยังได้ทำการทดลองเครื่องในการเติมโอโซนในน้ำด้วยโดยทำการทดลองแปรค่าอัตราการไหลของน้ำ นำผลการทดลองมาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณออกซิเจนละลายน้ำกับอัตราการไหลของน้ำ จากผลการทดลอง พบว่าในดังปฏิกิริยา ค่า slope เท่ากับ 0.4900 และ R^2 เท่ากับ 0.9335 ดังแสดงในรูปที่ 7 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มค่าออกซิเจนละลายกับอัตราการไหลของน้ำมีค่าสูงถึง 93% ซึ่งอยู่ในระดับดีมาก เพราะโอโซนละลายน้ำได้ดีกว่าออกซิเจนถึง 10 เท่า [6] และการเพิ่มโมเมนต์ระหว่างโมเลกุลของน้ำกับโมเลกุลของโอโซนจากอัตราการไหลของน้ำที่เพิ่มขึ้น $P = (\text{mv}) \text{H}_2\text{O} + (\text{mv})\text{O}_3$ [1]



รูปที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์อัตราการไหลของน้ำกับการเพิ่มค่าออกซิเจนละลาย (DO) โดยการใช้โอโซน

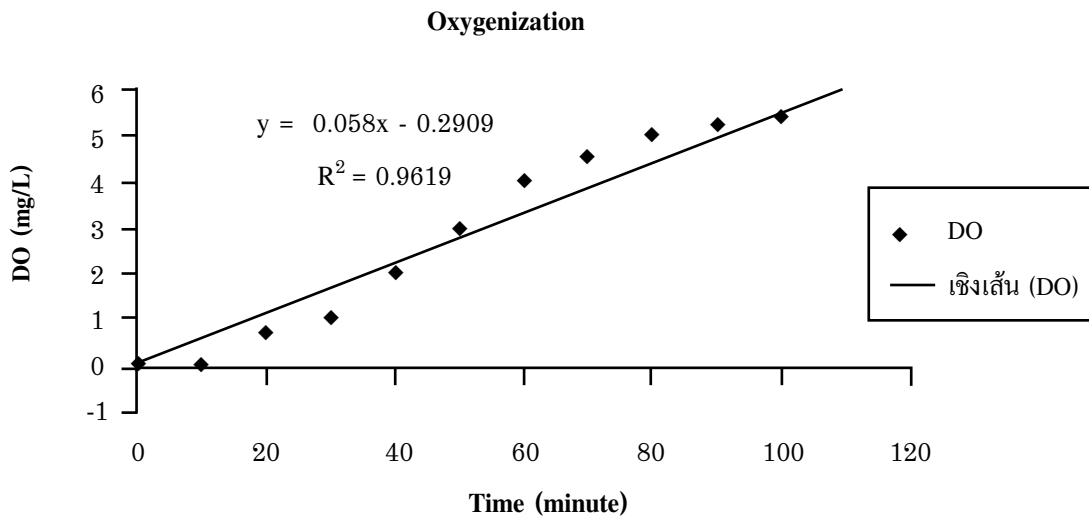
นอกจากนี้ได้นำเครื่องบำบัดน้ำเสียด้วยอากาศในสภาวะความดันสูงไปทดลองหาประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจนของเครื่องเติมอากาศ และนำผลการทดลองมาสร้างกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างออกซิเจนละลายน้ำกับระยะเวลา หาค่า slope และ R^2 แล้วนำไปคำนวณหาประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจน

ผลจากการทดลองการเพิ่มค่าออกซิเจนละลายในน้ำที่ในดังปฏิกิริยาและปลายท่อของเครื่องจะแปรตามอัตราการไหลของน้ำ ทั้งนี้เนื่องจากเมื่ออัตราการไหลของน้ำเพิ่มมากขึ้น พลังงานจลน์โมเลกุลของน้ำก็จะเพิ่มน้ำขึ้นตามสมการ ($E_k = \frac{1}{2} \text{mv}^2$) [1] เข้าชนกับโมเลกุลของออกซิเจน (O_2) ได้แรงขึ้น จึงทำให้หยดน้ำที่ฉีดจากรูเล็กในระบบของเครื่องแตกเป็นหยดเล็กๆ มากขึ้น ทำให้ออกซิเจนละลายในน้ำได้มากขึ้น เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของน้ำซึ่งค่าออกซิเจนละลาย เพิ่มได้สูงสุดที่อัตราการไหลของน้ำ 150 L/10 min ที่ในดังปฏิกิริยาและปลายท่อของเครื่องเท่ากับ $6.4 \pm 0.9 \text{ mg/L}$ และ $6.7 \pm 1.1 \text{ mg/L}$ ตามลำดับ

โดยออกซิเจนละลายน้ำที่ปลายท่อของเครื่องมากกว่าในถังปฏิกรณ์ เพราะที่ในถังปฏิกรณ์การแพร่กระจายออกซิเจนในปริมาณน้ำมากกว่าที่ปลายท่อของเครื่อง การเพิ่มค่าออกซิเจนละลายของน้ำแปรตามอัตราการไหลของน้ำเป็นไปตามหลักของโมเมนตัมจากการชนของมวลน้ำกับโมเลกุลของก๊าซออกซิเจนตามสมการ

$$P = (mv)_{\text{H}_2\text{O}} + (mv)_{\text{O}_2} \quad [1]$$

ผลการวิเคราะห์พบว่า ค่า slope เท่ากับ 0.0588 และ R^2 เท่ากับ 0.9619 ดังแสดงในรูปที่ 8 นำค่า slope ที่ได้ไปหาค่าสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทออกซิเจน ($K_L a$) และนำไปใช้คำนวณหาประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจนของเครื่องเติมอากาศ



รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างออกซิเจนละลาย (DO) กับเวลาของการใช้ออกซิเจน

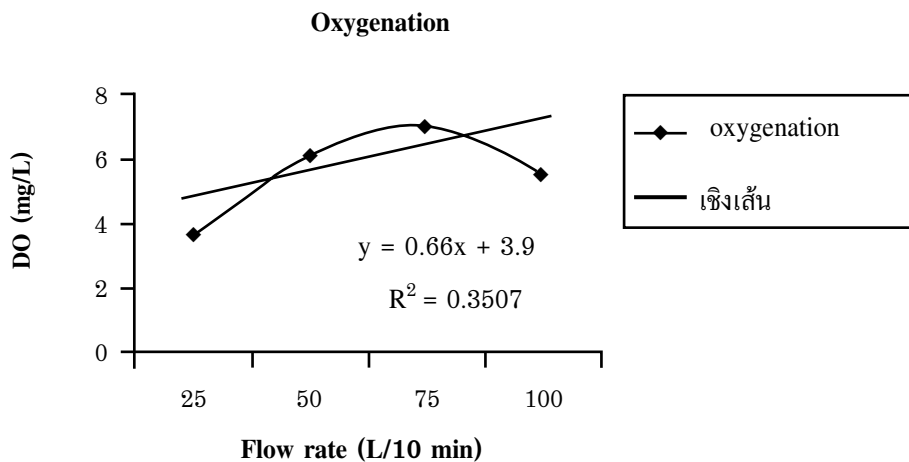
$$\begin{aligned} K_L a &= 2.303 \times \text{slope} \times 60 \\ &= 2.303 \times 0.058 \times 60 \\ &= 8.014 \text{ hr}^{-1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} OC &= K_L a C_s V \\ &= 8.014 \times 8.84 \times 200 \text{ mgO}_2/\text{hr} \\ &= 14,168.752 \text{ mgO}_2/\text{hr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_0 &= \frac{OC}{A} = \frac{14,168.752}{0.010} = 1,416,875.20 \text{ mgO}_2/\text{hr} \\ &= 1.416 \text{ kgO}_2/\text{kW-hr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E &= \frac{OC}{A} \times 100 \\ &= \frac{14,168.752 \times 100}{(0.008 \text{ m}^3/\text{min} \times 60 \text{ min/hr}) (282,900 \text{ mgO}_2/\text{m}^3)} \\ &= 10.43\% \end{aligned}$$

ผลการวิเคราะห์พบว่าสัมประสิทธิ์ของการถ่ายเทออกซิเจน ($K_L a$) เท่ากับ 8.014 hr^{-1} ความสามารถในการเติมออกซิเจน (OC) เท่ากับ $14,168.752 \text{ mgO}_2 \cdot \text{hr}^{-1}$ อัตราการถ่ายเทออกซิเจน (R_o) เท่ากับ $141,687.20 \text{ mgO}_2 \cdot \text{hr}^{-1}$ ประสิทธิภาพในการถ่ายเทออกซิเจนของเครื่องเติมอากาศเท่ากับ 10.43% ของหลักการถ่ายออกซิเจนระหว่างน้ำและอากาศ [7, 8] และยังได้ทำการทดลองเครื่องในการเติมอากาศในน้ำด้วย โดยทำการทดลองแปรค่าอัตราการไหลของน้ำ นำผลการทดลองมาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณออกซิเจนละลายน้ำกับอัตราการไหลของน้ำ



รูปที่ 9 กราฟแสดงความสัมพันธ์อัตราการไหลของน้ำกับการเพิ่มค่าออกซิเจนละลาย (DO) โดยการใช้อากาศ

จากผลการทดลอง พบว่าในถังปฏิกรณ์ค่า slope เท่ากับ 0.66 และ R^2 เท่ากับ 0.3507 ดังแสดงในรูปที่ 9 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มค่าออกซิเจนละลายกับอัตราการไหลของน้ำมีค่าค่อนข้างต่ำ เท่ากับ 0.3507

สรุปผลการทดลอง

การทดลองหาประสิทธิภาพของเครื่องผลิตโอโซนในระบบพลาสติกความดันสูงกับการใช้อากาศในสภาวะเดียวกันจากน้ำประปาที่มีค่าออกซิเจนละลายน้ำเท่ากับศูนย์ ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำกับการเพิ่มของออกซิเจนละลายระหว่างการใช้อากาศและอากาศในสภาวะเดียวกัน ผลการทดลองพบว่าการเพิ่มค่าออกซิเจนละลายน้ำกับเวลาโดยเครื่องเติมโอโซน (R^2 เท่ากับ 0.9335) มีความสัมพันธ์สูงกว่ากรณีของเครื่องเติมอากาศ (R^2 เท่ากับ 0.3507) โดยค่าคงที่ต่างๆ จากการทดลองสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สรุปประสิทธิภาพของเครื่องผลิตโอโซนในระบบพลาสมาความดันสูงกับการใช้อากาศในสถานะเดียวกัน

Constant	Ozonization	Oxygenation
$K_L a$	11.303	8.014
OC	19,983.704 mgO ₂ /hr	14,168.752 mgO ₂ /hr
R _o	1.665 kgO ₂ /kW-hr	1.416 kgO ₂ /kW-hr
E	14.72%	10.43%

เอกสารอ้างอิง

1. Evans, F. L. 1972. Ozone in Water and Wastewater Treatment. Michigan. Ann Arbor Science Pub. Inc. p. 185.
2. Bollyky, L. J. 2002. Benefits of Ozone Treatment for Bottled Water. *Ozone News* 31 (2): 12-21.
3. Kutner, M. H., Christopher, J., and Buser, H. R. 2005. Applied Linear Statistical Methods. 5th Edition (International Edition). U.S.A. McGraw-Hill.
4. Beltran, F. J., Rivas, J., Alvarez, P., and Montero-de-Espinosa, R. 2002. Kinetics of Heterogeneous Catalytic Ozone Decomposition in Water on an Activated Carbon. *The Journal of the International Ozone Association* 24 (4): 227-237.
5. Moris, K. 1977. Method of Sampling and Analysis. 2nd Edition. U.S.A. APHA intersociety Committee.
6. APHA, AWWA, WPCF. 1995. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater 18th Edition. Washington D.C. American Public Health Association.
7. Metcalf and Eddy. 1995. Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse. 3rd Edition. Revised by Tchobanoglous, G., and Burton, F. L. New York. Mcgraw-Hill.
8. Hick, C. R. 1993. Fundamental Concepts in the Design of Experiment. 4th Edition. New York. Saunders College Publishing.

ได้รับบทความวันที่ 28 ตุลาคม 2551

ยอมรับตีพิมพ์วันที่ 22 ธันวาคม 2551

