การบำบัดน้ำทิ้งจากโรงพยาบาลด้วยกระบวนการโอโซเนชันเพื่อการนำกลับมาใช้ใหม่
Ozonation of Hospital Effluent for Water Recycling

จันทร์อนงค์ ฉายเหลี่ยม[1], วัชรวดี ลิ่มสกุล[2], ภทรธร เอื้อกฤดาธิการ[3*]
Jan-anong chayliem[1], Wadcharawadee Limsakul[2], Pataratorn Ua-kritdathikarn[3*]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการบำบัดน้ำทิ้งของโรงพยาบาลด้วยกระบวนการโอโซเนชัน เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการนำน้ำทิ้งกลับมาใช้ใหม่ การศึกษาทำการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการโดยใช้เครื่องผลิตโอโซนขนาด 0.015 kW ผลิตโอโซนได้ 250.56 mg/h ใช้ถังปฏิกิริยาที่ทำจากอะคริลิคขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 cm สูง 50 cm ทดลองโดยปรับความเข้มข้นของโอโซนเป็น 0.5 1 และ 2 ก O_3/ก COD ตามลำดับ โดยแต่ละความเข้มข้นทำการศึกษาระยะเวลาสัมผัสที่เวลาต่าง ๆ คือ 15 30 45 และ 60 นาที ตามลำดับ เปรียบเทียบประสิทธิภาพของการบำบัดก่อนและหลังการทดลอง ผลการศึกษาพบว่าที่ความเข้มข้นของโอโซน 2 ก O_3/ก COD เวลาการสัมผัสโอโซน 60 นาที ประสิทธิภาพในการบำบัดความขุ่น ความกระด้าง COD, BOD_5, TKN, TSS และ TDS คือ 39.00%, 16.80%, 59.10%, 66.30%, 60.80%, 30.60% และ 8.10 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเทียบกับมาตรฐานน้ำทิ้งกรมการอนามัยและกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2535 และมาตรฐานน้ำใช้ใน Cooling Tower พบว่าสามารถนำกลับไปใช้ใหม่ในระบบน้ำ Cooling Tower รวมถึงการนำไปใช้เป็นแหล่งน้ำสำหรับโรงผลิตน้ำใช้ของโรงพยาบาลได้ และเมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบำบัดต่อการซื้อน้ำประปาพบว่า ในการบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการโอโซเนชันคิดเป็น 15 บาทต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อเทียบกับการซื้อน้ำประปา 21 บาทต่อลูกบาศก์เมตร

คำสำคัญ: โอโซน, น้ำเสีย, การนำกลับมาใช้ใหม่

Abstract

This research study the treatment of hospital wastewater effluent by ozonation. The objective is to find the optimum conditions for recycling. The study was carried in laboratory by using the ozone (O_3) generator; input power is 0.015 kW which can produced O_3 rate at 250.56 mg/ h, and the reactor made from acrylic and diameter 25 cm, height 50 cm. Ozone was applied by adjusting the concentration of 0.5, 1 and 2 g O_3/g COD. Each concentration was varied the contact time of 15, 30, 45 and 60 minutes, respectively, and compared the treatment efficiency of each experiments. It was found that the O_3 concentration of 2 g O_3/g COD and contact times of 60 minutes is the optimum condition. Removal efficiency of turbidity, total hardness, COD, BOD_5, TKN, TSS and TDS were 39.00%, 16.80%, 59.10%, 66.30%, 60.80%, 30.60% and 8.10%, respectively. Result shows that it can be applied for using as a water in cooling tower and storage as a water source for the water supply which can be treated for other uses in the hospital, compared with the water standard of Department of Health, The Ministry of Natural Resources and the Environment B.E. 2535 and the water use in Cooling Tower. Ozonation shows a lower cost (15 Baht/m^3) as compared with a water supply (21 baht/m^3).

Keyword: Ozone, Effluent, Recycling

---

[1]นักศึกษา คณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต
[2,3]อาจารย์คณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตภูเก็ต
***Corresponding author, E-mail:** jan.anongch@gmail.com, sukprachok.u@phuket.psu.ac.th

บทนำ

ปัญหาการขาดแคลนแหล่งน้ำเพื่อใช้ในการอุปโภค-บริโภคเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นในหลาย ๆ พื้นที่ทั่วโลก รวมทั้งประเทศไทย ซึ่งได้ทวีความรุนแรงมากขึ้นเรื่อย ๆ จังหวัดภูเก็ตเป็นแหล่งท่องเที่ยวที่มีชื่อเสียงจึงมีนักท่องเที่ยวทั้งในและต่างประเทศเข้ามาท่องเที่ยวมากมาย ทำให้มีอัตราการใช้น้ำสูง ใน ปี พ.ศ. 2548 จังหวัดภูเก็ตประสบปัญหาภัยแล้งจนขาดแคลนน้ำสำหรับการอุปโภค-บริโภค ทำให้ภาครัฐต้องหามาตรการเฉพาะ (ผลิตน้ำจืดจากน้ำทะเล และหาแหล่งเก็บน้ำเพิ่มเติม) เพื่อแก้ไขปัญหาเร่งด่วนดังกล่าว อย่างไรก็ตามหลายประเทศทั่วโลกเริ่มสนใจที่จะนำน้ำทิ้งจากการบำบัดแล้วกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ อาทิเช่นสิงคโปร์มีการนำน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดแล้วมาผ่านกระบวนการบำบัดเพิ่มเติมจนสามารถนำกลับไปใช้ใหม่ได้ (Zhong, Ren, & Guo, 2008) รายงานว่าการนำน้ำเสียมาใช้ใหม่สามารถให้เกิดประโยชน์มากขึ้นกว่าการเก็บน้ำฝน และเป็นที่คาดว่ากำลังการผลิตที่จะนำน้ำทิ้งกลับมาใช้อาจจะเทียบเท่า 15% ของปริมาณการใช้น้ำทั่วโลก (Asano, 1988) โรงพยาบาลเป็นแหล่งที่มีอัตราการใช้น้ำที่ค่อนข้างสูงแหล่งหนึ่ง ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดน้ำประปาไม่เพียงพอต่อการใช้งาน รวมไปถึงก่อให้เกิดน้ำเสียในปริมาณที่มาก ซึ่งเมื่อผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียตามหลักวิชาการแล้วอาจสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ในบางกิจกรรมของโรงพยาบาล เพื่อช่วยลดผลกระทบของการขาดแคลนน้ำและอาจช่วยให้โรงพยาบาลประหยัดงบประมาณในการซื้อน้ำประปาเพื่อการอุปโภค-บริโภคของโรงพยาบาล รวมไปถึงช่วยลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมได้ด้วยเนื่องจากจะไม่มีการปล่อยน้ำทิ้งออกสู่สิ่งแวดล้อม

การประยุกต์ใช้โอโซน (O_3) ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ และการบำบัดน้ำเสีย เริ่มได้รับความนิยมกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เมื่อเปรียบเทียบความเป็นพิษพบว่าการใช้โอโซนไม่เกิดสารตกค้างภายหลังการบำบัด นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่าเป็นตัวเลือกที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Xu, Janex, Savoye, Cockx, & Lazarova, 2002) ป้องกันมลพิษและช่วยลดอันตรายต่อสุขภาพที่อาจเกิดขึ้นได้ (Zhang, Grant, Sharma, Chen, & Chen, 2009) ซึ่งเมื่อเทียบกับการออกซิไดซ์ด้วยสารเคมีอื่น ๆ เช่น คลอรีน พบว่าทำให้เกิดสารพิษจำพวก Chlorinated และ Chlorophenols นอกจากนี้การใช้โอโซนยังช่วยลดการใช้สารเคมีในการบำบัดลงได้ ไม่ก่อให้เกิดของเสียที่ต้องบำบัดซ้ำ ช่วยลดความขุ่นจากสารแขวนลอยสามารถตกตะกอนสารแขวนลอยได้ (คณัฐนันท์ ช่างเสาร์, 2549)

การบำบัดน้ำโดยใช้กระบวนการเติมโอโซนเป็นประบวนการบำบัดทางเคมีที่มีโอโซนเป็นตัวออกไซด์สารต่าง ๆ เนื่องจากโอโซนเป็นสารออกซิไดซ์ที่รุนแรงมีประสิทธิภาพ ในการกำจัดสีลดความเป็นพิษ สามารถสลายพันธะเคมีของสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างที่ซับซ้อนให้เป็นสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างที่ง่ายได้ นอกจากนี้โอโซนยังมีความสามารถในการออกซิไดซ์ด้วยการเข้าทำปฏิกิริยากับน้ำและแตกตัวออกเป็นอนุมูลอิสระ (Free radicals) อันได้แก่ •OH, HO_3•, HO_4• และ Super Oxide (O^{2-}•) ซึ่งอนุมูลอิสระเหล่านี้จะสามารถออกซิไดซ์สารอินทรีย์ต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โอโซนยังสามารถเปลี่ยนรูปได้ง่ายเป็นออกซิเจนจึงไม่ตกค้างอยู่ในน้ำ กระบวนการเติมโอโซนจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการบำบัดน้ำได้ ดังตัวอย่างของเมืองอัลเมเรียได้มีการนำโอโซนมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียเป็นเวลาหลายปีแล้ว (Martínez, Pérez-Parra, & Suay, 2011) เนื่องจากโอโซนต้องผลิต ณ แหล่งที่จะใช้งาน จึงเหมาะกับแหล่งกำเนิดน้ำเสียขนาดกลางถึงใหญ่ เพราะมีค่าลงทุนที่ค่อนข้างสูง ดังนั้น

งานวิจัยชิ้นนี้จึงสนใจประยุกต์ใช้โอโซนในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงพยาบาลเอกชนในจังหวัดภูเก็ต เนื่องจากมีการใช้น้ำในกิจกรรมของโรงพยาบาลค่อนข้างมาก ควรที่จะนำน้ำทิ้งจากการบำบัดแล้วกลับมาใช้ใหม่ เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการน้ำของโรงพยาบาลให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาหาปริมาณโอโซน และระยะเวลาที่เหมาะสมของการใช้โอโซนในการบำบัดน้ำทิ้งเพื่อการนำน้ำทิ้งกลับมาใช้ใหม่
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการใช้โอโซนในการบำบัดน้ำทิ้ง และเปรียบเทียบกับมาตรฐานคุณภาพน้ำต่าง ๆ
3. เพื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำทิ้งและการซื้อน้ำประปามาใช้

แนวคิด ทฤษฎี กรอบแนวคิด

ศุภวรรณ นามพูล (2555) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารโดยกระบวนการโอโซนและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมและประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี บีโอดี ไขมันและน้ำมัน ปริมาณของแข็งทั้งหมด และความขุ่น จากผลการทดลองพบว่า กระบวนการโอโซนมีสภาวะที่เหมาะสมคือ ที่ค่าพีเอช 10 ความเข้มข้นโอโซน 10 กรัม/ชั่วโมง ระยะเวลาเก็บกัก 4 ชั่วโมง สามารถกำจัดซีโอดี บีโอดี ไขมันและน้ำมัน ปริมาณของแข็งทั้งหมดได้ 51.49±3.05% 27.53±3.39% 89.20±0.16% และ28.43±0.55% ตามลำดับ

วีรยา อาจองค์ (2549) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการโอโซเนชันในการลดสีในน้ำทิ้งของโรงงานเบียร์ที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพแล้วในถังปฏิกิริยาแบบแบทช์ โดยทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกระบวนการโอโซเนชั่นในการลดสีที่มีค่า pH อัตราการผลิตโอโซน และระยะเวลาการสัมผัสต่าง ๆ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมได้แก่ ค่า pH 10 อัตราการผลิตโอโซน 200 mg/l/ชั่วโมง และระยะเวลาสัมผัส 25 นาที ซึ่งมีประสิทธิภาพในการลดสี 74.26% ทำให้ค่า BOD/COD เพิ่มขึ้น 77.78% และค่าของแข็งแขวนลอยเพิ่มขึ้น 92.15 ซึ่งกระบวนการนี้ต้องเสียค่าไฟฟ้าเพื่อผลิตโอโซนประมาณ 70 บาท ต่อน้ำเสีย 1 m^3

นนทพงษ์ ภาณุดุลกิตติ (2547) ศึกษาการบำบัดสีของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษโดยกระบวนการโอโซเนชั่น โดยศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมต่อการบำบัดสี คือ pH ปริมาณโอโซน และระยะเวลาสัมผัสโอโซนของน้ำเสียบริเวณก่อนและหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสีย ชนิดตะกอนเร่ง เพื่อเปรียบเทียบความเหมาะสมของกระบวนการโอโซเนชั่นในการบบัดน้ำเสียขั้นต้น และขั้นสุดท้าย จากนั้นนำน้ำเสียหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสียมีความเหมาะสมในการบำบัดโดยกระบวนการโอโซเนชั่น พบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือ pH เท่ากับ 7.5 ± 0.5 อัตราการผลิตโอโซน เท่ากับ 9 กรัม/ชั่วโมง ระยะเวลาการสัมผัสโอโซน 30 นาที สามารถลดปริมาณสีได้ 95.46% และลดปริมาณ COD, BOD_5 และ TOC ได้เท่ากับ 62.00, 27.26 และ 37.98% ตามลำดับ อัตราส่วนระหว่าง BOD_5:COD มีค่ามากขึ้นจาก 0.16 เป็น 0.31

วิธีดำเนินการวิจัย

น้ำทิ้งในงานวิจัยชิ้นนี้หมายถึงน้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียตามหลักวิชาการและผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งสามารถที่จะปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ การวิจัยเป็นการใช้น้ำทิ้งที่ผ่านกระบวนการการบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาลกรุงเทพภูเก็ต ซึ่งเป็นระบบบำบัดแบบ Activated Sludge แบบยืดการเติมอากาศ (Extended Aeration) ออกแบบให้สามารถรองรับน้ำเสีย ได้ในปริมาณ 450 m^3/วัน ดังนั้นจึงเพียงพอที่จะรองรับน้ำเสียจากกิจกรรมต่าง ๆ ของโรงพยาบาล ซึ่งมีปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นทั้งหมดประมาณ 320 m^3/วัน มีค่า BOD_5 เข้าระบบ 266 mg/l และ ค่า BOD_5 ออกจากระบบไม่เกิน 20 mg/l การทดลองได้แก่

1. การศึกษาหาปริมาณโอโซน (Ozone analysis) ที่ได้จากเครื่องผลิตโอโซนด้วยวิธีไอโอโดเมตริก (Iodometric method) เป็นการวัดปริมาณโอโซนในรูปของสารละลาย (solution phase) โดยอาศัยหลักการทำปฏิกิริยาที่รวดเร็วระหว่างโอโซนและไอโอไดด์ ดังสมการที่ 1 (Gottschalk, Libra, & Saupe, 2009)

$$O_3 + 2KI + H_2O \longrightarrow I_2 + O_2 + 2KOH \qquad (1)$$

การศึกษาทำโดยใช้สารละลาย 2% KI ปริมาณ 100 ml ใส่ลงในขวดชมพู่ขนาด 250 ml แล้วเติมโอโซนเป็นเวลา 1 นาที หลังจากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปไตเตรต (Titrate) กับ 0.1 N $Na_2S_2O_3$ โดยเติมน้ำแป้ง (อินดิเคเตอร์) 1 ml จุดยุติของการไตเตรทคือจะได้สารละลายสีน้ำเงิน ไตเตรตด้วย คำนวณปริมาณโอโซนโดย 1 ml $Na_2S_2O_3$ สมมูลกับปริมาณโอโซน 2.4 mg

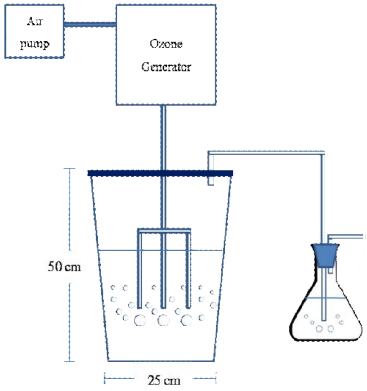
2. การศึกษาปริมาณโอโซนและเวลาสัมผัส เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำทิ้งเพื่อการนำกลับมาใช้ใหม่ ทำการทดลองโดยใช้ถังปฏิกิริยาที่ทำจากอะคริลิค เส้นผ่านศูนย์กลาง 25 cm ความสูง 50 cm อุปกรณ์การทดลองดังแสดงในภาพที่ 1 ทำการวิเคราะห์ค่า COD ของน้ำก่อนเพื่อปรับปริมาณการเติมโอโซนตามอัตราส่วน 0.5, 1 และ 2 g O_3/g COD โดยขั้นตอนการทดลอง (ภาพที่ 2) คือปรับเปลี่ยนระยะเวลาสัมผัส 15, 30, 45 และ 60 นาที ตามลำดับ สำหรับแต่ละความเข้มข้น ส่วนโอโซนที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยากับน้ำ (Excess ozone) จะถูก

กำจัดก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม โดยการออกซิไดซ์ด้วยสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ ดังสมการที่ 1 ทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำก่อนและหลังการทดลองโดยมีพารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำตาม Standard methods for the examination of water and wastewater (APHA, 2012) ดังแสดงในตารางที่ 1 แล้วเปรียบเทียบคุณภาพน้ำหลังการบำบัดกับมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากอาคารโรงพยาบาล มาตรฐานน้ำใช้จาก Cooling tower และมาตรฐานน้ำผิวดิน โดยคำนวณค่าใช้จ่าย (ค่าดำเนินการ) ในการบำบัดน้ำทิ้งด้วยกระบวนการโอโซเนชัน โดยใช้สูตรการคำนวณดังแสดงข้างล่างนี้ เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายกับการการซื้อน้ำประปาสำหรับน้ำใช้ในโรงพยาบาล

$$\text{ค่าใช้จ่าย (Baht/m}^3\text{)} = \frac{\text{(จำนวนกิโลวัตต์ (kW) * เวลาที่ใช้ (hr) * ค่าไฟฟ้า (Baht/unit)}}{\text{ปริมาตรน้ำเสีย (m}^3\text{)}}$$

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

พารามิเตอร์	**วิธีการวิเคราะห์**
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	pH Meter
Turbidity	Turbidity meter
Total Hardness	EDTA Titrimetric Method
Total Suspended Solids	Total Suspended Solids Dried at 103 – 105 ^{o}C
Total Dissolved Solids	Total Dissolved Solids Dried at 180 ^{o}C
TKN (Total Kjeldahl Nitrogen)	Kjeldahl Method
Chemical Oxygen Demand (COD)	Close Reflux, Titrimetric Method
Biological Oxygen Demand (BOD_5)	Azide Modification Method
Coliform Bacteria	Multiple Tube Fermentation Technique
E-Coli Bacteria	Multiple Tube Fermentation Technique

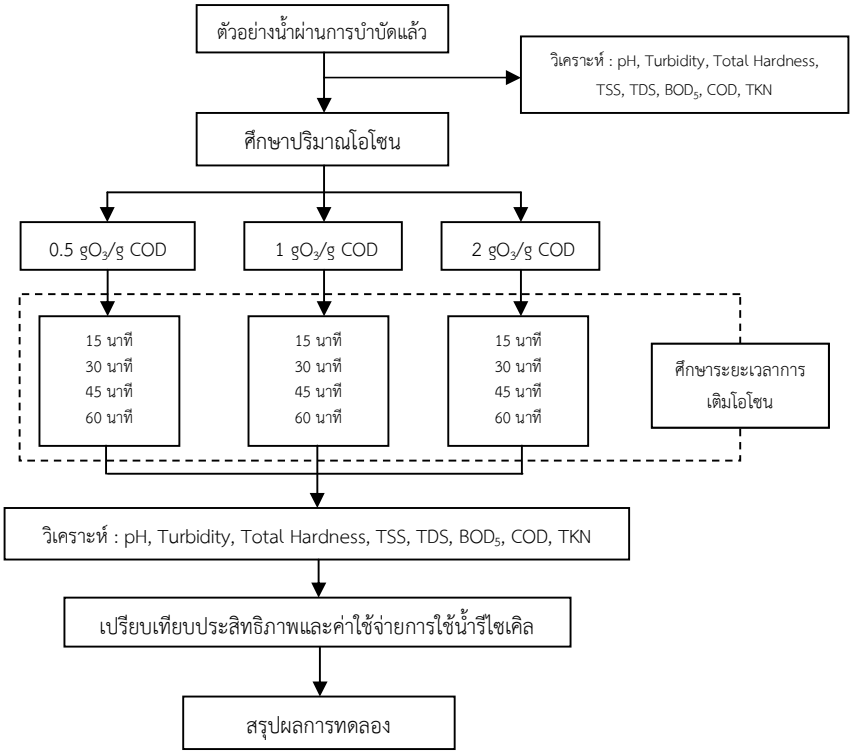


ภาพที่ 1 ชุดอุปกรณ์การทดลอง

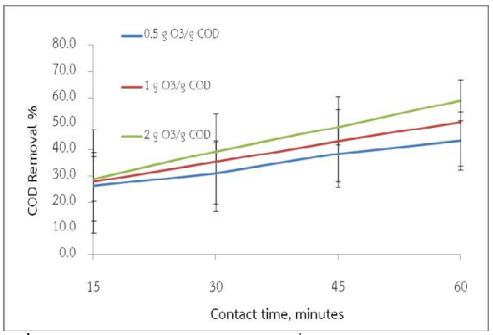
สรุปผลการวิจัย

1. การศึกษาปริมาณโอโซนที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดโอโซน ผลการศึกษาพบว่าใช้ $Na_2S_2O_3$ 1.74 ml จากการทดลองเติมโอโซนเป็นระยะเวลา 1 นาที สามารถคำนวณปริมาณโอโซนที่เครื่องผลิตได้ ดังนี้ ปริมาณโอโซนที่เครื่องผลิตได้ (mg O_3/h) = 1.74 x 2.4 x 60 = 250.56 mg O_3/h สอดคล้องกับคุณสมบัติที่ระบุจากผู้ผลิต (เครื่องสามารถผลิตโอโซนได้ 200-400 mg O_3/h)

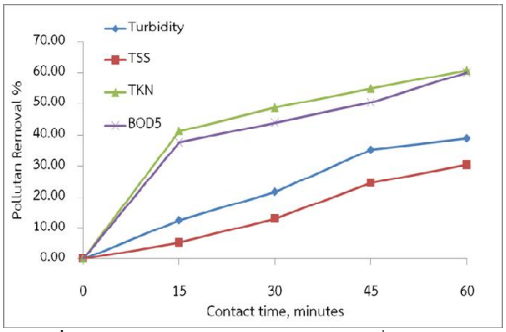
การศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการเติมโอโซน จากการทดลองโดยใช้น้ำทิ้งจากโรงพยาบาล มาทำการเติมโอโซนที่ความเข้มข้น 0.5, 1 และ 2 g O_3/g COD และทำการบำบัดที่ระยะเวลาต่าง ๆ กันคือ 15, 30, 45 และ 60 นาที ผลการทดลองพบว่าที่ความเข้มข้นของปริมาณโอโซน 2 g O_3/g COD ระยะเวลาในการบำบัดคือ 60 นาที ให้ผลในการบำบัดดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับที่ความเข้มข้นและระยะเวลาสัมผัสอื่น ๆ (ภาพที่ 3) และประสิทธิภาพการบำบัดมลพิษต่าง ๆ ในน้ำเช่น ความขุ่น สารแขวนลอย BOD_5 และเชื้อโรคต่าง ๆ ดีขึ้น (ภาพที่ 4) (Kusuma, Yanuwiadi, Laksmono, Kamahara, & Daimon, 2014; Lazarova, Liechti, Savoye, & Hausler, 2013; Ried, Helmig, Claffey, Robinson, & DeMarco, 2014)



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการทดลอง



ภาพที่ 3 ประสิทธิภาพการบำบัด COD ที่ความเข้มข้นของโอโซนและเวลาสัมผัสต่าง ๆ



ภาพที่ 4 ประสิทธิภาพการกำจัดมลพิษต่าง ๆ ที่ความเข้มข้นของโอโซน 2 g O_3/g COD

2. การศึกษาคุณภาพน้ำหลังผ่านกระบวนการโอโซเนชัน เปรียบเทียบกับมาตรฐานคุณภาพน้ำต่างๆ (ตารางที่ 2) พบว่าคุณภาพน้ำที่ผ่านกระบวนการโอโซเนชัน ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด ตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม และสามารถนำไปปรับใช้ในระบบน้ำ Cooling Tower ได้ และเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำผิวดินพบว่ามีปริมาณ fecal coliform bacteria ต่ำ จัดอยู่ในประเภทแหล่งน้ำประเภทที่ 3 ยกเว้นค่า BOD_5 ที่มีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานซึ่งจะต้องบำบัดเพิ่มเติมหากจะนำไปใช้เป็นแหล่งน้ำสำรองเพื่อการอุปโภค-บริโภค และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการบำบัดพบว่าสามารถลดฟีคอลโคลิฟอร์มได้ถึง 98.06% สอดคล้องกับการทดลองบำบัดน้ำเสียจากโรงพยาบาลในเมืองมาลัง ประเทศอินโดนีเซีย ซึ่งทำการทดสอบความสามารถในการบำบัดด้วยโอโซนในถังปฏิกิริยาเพื่อลดบีโอดี ฟีคอลโคลิฟอร์ม ฟีนอลและสารตะกั่ว ผลจากการศึกษาพบว่ามีประสิทธิภาพการกำจัดได้ 97.92%, 94.8%, 100% และ 100% ตามลำดับ (Kusuma et al., 2014) และพบว่าโอโซเนชันมีประสิทธิภาพในการบำบัด COD, BOD_5, SS, TKN ได้ 59.10, 66.30, 30.60 และ 60.80% ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยอื่น ๆ เช่นการศึกษาการใช้โอโซนเป็นสารออกซิไดซ์น้ำทิ้งจากการบำบัดน้ำเสียขั้นที่สองของระบบบำบัดน้ำเสียเทศบาลสามารถลดค่า COD ได้ถึง 50% จากค่าเริ่มต้น อย่างไรก็ตามเนื่องจากการใช้โอโซนเพียงอย่างเดียวอาจจะทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดไม่สูงนักเทียบกับวิธีอื่น ๆ อาทิการใช้โอโซนและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เล็กน้อยสามารถเพิ่มการกำจัด COD ได้ถึง 70% และการใช้โอโซนกับแสงยูวีสามารถกำจัดได้ทั้ง COD และ TOC ถ้าเทียบกับการใช้โอโซนเพียงอย่างเดียว (Rivas, Gimeno, & Beltrán, 2009)

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบคุณภาพน้ำกับมาตรฐานคุณภาพน้ำต่าง ๆ

พารามิเตอร์	หน่วย	คุณภาพน้ำ		% Removal	เปรียบเทียบกับมาตรฐานน้ำ		
		ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง		น้ำทิ้งอาคาร	Cooling	น้ำผิวดิน
กรด-ด่าง (pH)	-	6.98	7.52	-	5-9	7-9	5-9
Conductivity	µs/cm	1052.7	1068.0	-	-	< 3000	-
Turbidity	NTU	23.65	14.68	39.00	-	-	-
Total Hardness	mg/l	132.90	111.40	16.80	-	< 300	-
SS	mg/l	29.92	21.33	30.60	≤30	-	-
TDS	mg/l	742.00	683.00	8.10	≤500*	< 2000	-
TKN	mg/l	6.16	2.52	60.80	≤35	-	-
COD	mg/l	51.17	20.97	59.10	≤120**	-	-
BOD_5	mg/l	17.08	6.10	66.30	≤20	-	2.0
Fecal Coliform Bacteria	MPN/100ml.	170,000	3,300	98.06	-	-	4,000
E-Coli Bacteria	MPN/100ml.	270	12	95.55	-	-	-

* เป็นค่าที่เพิ่มขึ้นจากปริมาณสารละลายในน้ำใช้ตามปกติ ** เป็นไปตามค่าที่โรงพยาบาลกำหนด

3. ผลการคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองพบว่าค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียคิดเป็น 15 บาทต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งเมื่อเทียบกับการซื้อน้ำประปาราคา 21 บาทต่อลูกบาศก์เมตร การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการโอโซเนชันสามารถลดค่าใช้จ่ายในซื้อน้ำประปาได้เป็นอย่างมาก

$$\text{ค่าใช้จ่าย} = \frac{0.015\ (kW) * 1\ (hr) * 3\ (Baht/unit)}{0.003\ (m^3)} = 15\ \text{บาท}/m^3$$

อภิปรายผลการวิจัย

โอโซนได้ถูกเริ่มใช้ในการบำบัดน้ำดื่มตั้งแต่ปี ค.ศ. 1990 และมีการใช้อย่างกว้างขวางเป็นต้นมา จนได้มีการนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย (Rice, 1996) การทำปฏิกิริยาของโอโซนกับน้ำเสียเกิดขึ้นได้ทั้งแบบทางตรงและทางอ้อมกับสารอินทรีย์ในน้ำทำให้คุณภาพน้ำด้านกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยาอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน (Paraskeva

& Graham, 2002) น้ำทิ้งจากโรงพยาบาลเป็นน้ำเสียที่เกิดแหล่งปนเปื้อนจากการขับถ่ายของผู้ป่วย ห้องผ่าตัด และสารเคมีและยาจากการรักษา จำเป็นต้องมีการบำบัดโดยใช้เทคโนโลยีการออกซิเดชันเพิ่มเติมขึ้น (Ferre-Aracil et al., 2016) จากการศึกษาพบว่าการบำบัดน้ำด้วยโอโซนสามารถลดค่าความขุ่น สี COD BOD_5 TSS และ TDS ได้ (Alfafara, Migo, Amarante, Dallo, & Matsumura, 2000; Li, Shi, Li, & Zhang, 2015; Paraskeva & Graham, 2002) คุณภาพน้ำที่ได้สามารถนำไปใช้สำหรับ Cooling tower หรือนำไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นได้อีก (Ried et al., 2014)

ข้อเสนอแนะและการนำผลการวิจัยไปใช้

1. ควรมีการออกแบบระบบบำบัดเพิ่มเติมเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัดน้ำทิ้งเพื่อการนำน้ำกลับไปใช้ใหม่ เช่น เพิ่มการกรองหรือการดูดซับเพื่อลดค่าของแข็งแขวนลอยที่มีขนาดเล็กจะทำให้น้ำใสขึ้นเหมาะสำหรับนำไปใช้ในระบบต่าง ๆ ของโรงพยาบาล และอาจช่วยลดค่า BOD_5 ซึ่งอาจจะสามารถนำไปใช้เป็นแหล่งน้ำสำรองได้

2. การบำบัดน้ำทิ้งด้วยกระบวนการโอโซเนชันนี้สามารถนำไปใช้กับสถานประกอบการอื่น ๆ ทั้งในภาคการบริการ เช่น ห้าสรรพสินค้า โรงแรม โรงพยาบาล ฯลฯ และในภาคอุตสาหกรรมที่มีความจำเป็นต้องใช้น้ำในกระบวนการต่าง ๆ จำนวนมาก อย่างไรก็ตามคุณภาพน้ำและสิ่งปนเปื้อนของแต่ละแหล่งอาจมีความแตกต่างกัน จึงควรทำการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำทิ้งของแต่ละแหล่ง

เอกสารอ้างอิง

Alfafara, C., Migo, V., Amarante, J., Dallo, R., & Matsumura, M. (2000). Ozone treatment of distillery slop waste. *Water Science and Technology, 42*(3-4), 193-198.

APHA, A. a. W. (2012). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Washington, DC: American Public Health Association. .

Asano, T. (1988). Wastewater Reclamation and Reuse. *Journal (Water Pollution Control Federation), 60*(6), 854-856.

Ferre-Aracil, J., Valcárcel, Y., Negreira, N., de Alda, M. L., Barceló, D., Cardona, S., & Navarro-Laboulais, J. (2016). Ozonation of hospital raw wastewaters for cytostatic compounds removal. Kinetic modelling and economic assessment of the process. *Science of the Total Environment, 556*, 70-79.

Gottschalk, C., Libra, J. A., & Saupe, A. (2009). *Ozonation of water and waste water: A practical guide to understanding ozone and its applications*: John Wiley & Sons.

Kusuma, Z., Yanuwiadi, B., Laksmono, R. W., Kamahara, H., & Daimon, H. (2014). Hospital wastewater treatment using aerated fixed film Biofilter--ozonation (Af2b/O3). *Advances in Environmental Biology*, 1251-1260.

Lazarova, V., Liechti, P. A., Savoye, P., & Hausler, R. (2013). Ozone disinfection: main parameters for process design in wastewater treatment and reuse. *Journal of Water Reuse and Desalination, 3*(4), 337-345. doi: 10.2166/wrd.2013.007

Li, X., Shi, H., Li, K., & Zhang, L. (2015). Combined process of biofiltration and ozone oxidation as an advanced treatment process for wastewater reuse. *Frontiers of Environmental Science & Engineering, 9*(6), 1076-1083.

Martínez, S. B., Pérez-Parra, J., & Suay, R. (2011). Use of Ozone in Wastewater Treatment to Produce Water Suitable for Irrigation. *Water Resources Management, 25*(9), 2109-2124. doi: 10.1007/s11269-011-9798-x

Paraskeva, P., & Graham, N. J. (2002). Ozonation of municipal wastewater effluents. *Water Environment Research*, 569-581.

Rice, R. G. (1996). Applications of ozone for industrial wastewater treatment—a review. *Ozone: science & engineering, 18*(6), 477-515.

Ried, A., Helmig, E. G., Claffey, G., Robinson, K., & DeMarco, M. J. (2014). Removal of Active Pharmaceutical Ingredients (APIs) from Wastewater–a review of existing treatment solutions. *Proceedings of the Water Environment Federation, 2014*(13), 439-454.

Rivas, J., Gimeno, O., & Beltrán, F. (2009). Wastewater recycling: Application of ozone based treatments to secondary effluents. *Chemosphere, 74*(6), 854-859.

Xu, P., Janex, M.-L., Savoye, P., Cockx, A., & Lazarova, V. (2002). Wastewater disinfection by ozone: main parameters for process design. *Water Research, 36*(4), 1043-1055. doi: http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354(01)00298-6

Zhang, Y., Grant, A., Sharma, A., Chen, D., & Chen, L. (2009). Alternative Water Resources for Rural Residential Development in Western Australia. *Water Resources Management, 24*(1), 25-36. doi: 10.1007/s11269-009-9435-0

Zhong, L., Ren, W., & Guo, W. (2008). A pilot scale test of ozonization treatment of ethene wastewater for reuse. *Frontiers of Chemical Engineering in China, 2*(2), 191-195. doi: 10.1007/s11705-008-0028-x

คณัฐนันท์ ช่างเสาร์. (2549). การปรับปรุงคุณภาพน้ำเสี้ยงกุ้งกุลาดำระยะนอเพียสแลละโพสลาวา โดยใช้โอโซนเพื่อนำกลับมาใช้เลี้ยงใหม่. (วิทยาศาสตรมหาบัญฑิต), เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ.

นนทพงษ์ ภาณุดุลกิตติ. (2547). การบำบัดสีน้ำทิ้งโรงงานเยื่อและกระดาษโดยกระบวนการโอโซเนชัน. (วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต), มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วีรยา อาจองค์. (2549). การบำบัดสีจากน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วของโรงงานเบียร์โดยกระบวนการโอโซนเนชั่น. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศุภวรรณ นุ่มพูล. (2555). การบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารโดยกระบวนการโอโซนและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.