การบำบัดน้ำเสียโดยใช้โอโซนสำหรับโรงพยาบาล

ปริญญานิพนธ์

ของ

ปราชญา ตรีสุทธาชีพ

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม

พฤษภาคม 2556

การบำบัดน้ำเสียโดยใช้โอโซนสำหรับโรงพยาบาล

ปริญญานิพนธ์

ของ

ปราชญา ตรีสุทธาชีพ

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม
พฤษภาคม 2556

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การบำบัดน้ำเสียโดยใช้โอโซนสำหรับโรงพยาบาล

บทคัดย่อ

ของ

ปราชญา ตรีสุทธาชีพ

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม
พฤษภาคม 2556

ปราชญา ตรีสุทธาชีพ. (2556). *การบำบัดน้ำเสียโดยใช้โอโซนสำหรับโรงพยาบาล* ปริญญานิพนธ์ วศ.ม. (การจัดการทางวิศวกรรม). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. คณะกรรมการควบคุม: ดร.อาจรี ศุภสุธีกุล, ผู้ช่วยศาสตรจารย์ ดร.กิตติ สถาพรประสาธน์.

การบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาลในปัจจุบันโดยทั่วไปประกอบไปด้วยระบบปฏิบัติการหลายขั้นตอน เช่น ระบบการตกตะกอน การเติมอากาศ และการใช้สารเคมี เป็นต้น ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียเหล่านี้สามารถฆ่าเชื้อโรคและทำลายสารเคมีได้บางชนิดเท่านั้น และส่งผลให้เกิดการตกค้างของสารเคมีเมื่อต้องปล่อยน้ำเสียลงสู่แม่น้ำตามธรรมชาติ รวมไปถึงปัญหาเรื่องเนื้อที่และค่าใช้จ่ายระยะยาว งานวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาระบบบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาลด้วยโอโซน เพื่อทดแทนส่วนการบำบัดน้ำเสียด้วยการเติมสารเคมี ทำการศึกษามุ่งเน้นในการหาความเหมาะสมของระบบปฏิบัติการ โดยมีตัวแปร 2 ตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ แหล่งกำเนิดโอโซน และความเข้มข้นของโอโซน แหล่งกำเนิดโอโซน 2 ประเภทที่ทำการศึกษา ได้แก่ เครื่องผลิตโอโซนที่สามารถผลิตโอโซน 5 และ 10 กรัมต่อชั่วโมง และแหล่งผลิตโอโซน ได้แก่ อากาศ และออกซิเจน เพื่อศึกษาดูการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวแปรต่างๆ ตามมาตรฐานน้ำทิ้งของโรงพยาบาล อันได้แก่ ค่าบีโอดี ความเป็นกรดด่าง ปริมาณน้ำมันและไขมัน ซัลไฟด์ ค่าสารแขวนลอย ค่าตะกอนหนัก ค่าสารที่ละลายได้ทั้งหมด และปริมาณไนโตรเจน จากผลการทดลองพบว่าการใช้โอโซนทั้ง 2 เครื่องผลิตจากทั้ง 2 แหล่งผลิต ไม่มีผลต่อค่าตะกอนหนัก ซัลไฟด์ และปริมาณน้ำมันและไขมัน แต่การใช้โอโซนช่วยลดค่าบีโอดี แต่การใช้เครื่องผลิตโอโซนขนาด 5 กรัมต่อชั่วโมงโดยใช้ออกซิเจนสามารถลดค่าบีโอดีได้ดีที่สุด ลดได้ถึง 17.86% ในทางตรงกันข้ามเครื่องผลิตโอโซนขนาด 10 กรัมต่อชั่วโมงใช้ออกซิเจนเป็นแหล่งผลิตทำให้ได้ปริมาณโอโซนมากเกินไป และส่งผลทำให้ค่าบีโอดีเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นยังพบว่าการใช้โอโซนทำให้ความเป็นกรดด่างเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับค่าสารแขวนลอย สารที่ละลายได้ทั้งหมด การใช้ออกซิเจนเป็นแหล่งผลิตมีผลต่อการลดลงของปริมาณไนโตรเจน จากการทดลองทำให้ทราบว่าการใช้ออกซิเจนเป็นแหล่งผลิตโอโซนด้วยเครื่องผลิตโอโซน 5 กรัมต่อชั่วโมงให้ผลการบำบัดน้ำเสียดีที่สุดเมื่อพิจารณาจากทุกพารามิเตอร์

คำสำคัญ: การบำบัดน้ำเสียในโรงพยาบาล, โอโซน, แหล่งกำเนิดโอโซนจากอากาศ, แหล่งกำเนิดโอโซนจากออกซิเจน

WASTE WATER TREATMENT BY USING OZONE FOR HOSPITAL

AN ABSTRACT

BY

PRACHAYA TREESUTTHACHEEP

Presented in Partial Fulfillment of Requirements for the

Master of Education Degree in Engineering Management

at Srinakharinwirot University

May 2013

Prachaya Treesutthacheep. (2013). *Waste Water Treatment by Using Ozone for Hospital.* Master thesis, M.Eng. (Engineering Management). Bangkok: Graduate School, Srinakharinwirot University. Advisor Committee: Dr.Ajaree Supasuteekul, Asst. Prof. Dr.Kitti Sathapornprasat.

Nowadays, waste water treatment is composed of many step of operation, such as precipitation, aerator and chemical usage. These steps of operation are able to disinfect and remove only some type of microorganism and contaminated compounds. It leads to the problem of contamination of when the water is released to river. Moreover, those step need large space area, and long term cost is expensive. This article proposed the waste water treatment in hospital using ozone, which aimed to replace the step of chemical usage and focused on optimize 2 variables of operation. The 2 variable were different machine (ozone generator with loading capacity 5 and 10 g/h) and source of ozone generator (air-fed generator and oxygen-fed generator). The quality of waste water was monitored according to waste water standard for hospital. The inspected parameters include BOD, pH, oil & grease, sulfide, suspended solid (SS), settleable solid, total dissolved solid (TDS), total kjeldahl nitrogen (TKN). Regarding to the results, ozonation from all treatment did not have an effect on settleable solid, sulfide and oil and grease. Meanwhile, ozone treatment had affected on decrease of BOD. Ozone generator with loading capacity of 5 g/h showed the best result on decreasing of BOD with %BOD reduction of 17.86%. In contrary, ozone generator with loading capacity of 10 g/h and oxygen-fed yielded high amount of ozone, and resulted in an increase of BOD. Ozone treatment correlated to increase of pH, suspended solid and total dissolved solid. Oxygen-fed generator had decreased total kjeldahl nitrogen. According to the experimental results, ozone generator with loading capacity of 5 g/h in coordinated with oxygen-fed system was recommended for waste water treatment in hospital.

Keyword: Waste water treatment in hospital. Ozone. Air-fed generator. Oxygen-fed generator.

ปริญญานิพนธ์
เรื่อง
การบำบัดน้ำเสียโดยใช้โอโซนสำหรับโรงพยาบาล
ของ
ปราชญา ตรีสุทธาชีพ

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย สันติวัฒนกุล)
วันที่ เดือน พ.ศ. 2556

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ คณะกรรมการสอบปากเปล่า

.....ที่ปรึกษาหลัก .....ประธาน
(อาจารย์ ดร.อาจรี ศุภสุธีกุล) (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฐมทัศน์ จิระเดชะ)

.....ที่ปรึกษาร่วม .....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติ สถาพรประสาธน์) (อาจารย์ ดร.อาจรี ศุภสุธีกุล)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติ สถาพรประสาธน์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมพร ธเนศวาณิชย์)

ประกาศคุณูปการ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ดร.อาจรี ศุภสุธีกุล อาจารย์ที่ปรึกษาผู้ให้คำปรึกษา ความรู้และคอยสนับสนุนช่วยเหลือ รวมทั้งเสนอแนะแนวทางในการทำปริญญานิพนธ์นี้จนสำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์ด้วยดี ขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์ ที่ให้ความรู้และคำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ ขอกราบขอพระคุณคณะอาจารย์ประจำหลักสูตรการจัดการทางวิศวกรรมที่ทั้งให้ความรู้ทางด้านวิชาการและประสบการณ์ต่าง ๆ เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาและทำงานวิจัย

ขอขอบคุณโรงพยาบาลเจ็ดเสมียน จังหวัดราชบุรี ที่อนุเคราะห์สถานที่สำหรับใช้ในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณประสาธน์ เกียรติไพบูลย์กิจและพนักงานของบริษัท จี อีโวลูชั่น จำกัด ที่คอยช่วยเหลือสนับสนุนทั้งในด้านเงินทุน อุปกรณ์การวิจัย และคำเสนอแนะจนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณพัชราภรณ์ ถิ่นจันทร์ ที่คอยเป็นกำลังใจและคอยสนับสนุน พร้อมทั้งช่วยเหลือด้านการรวบรวมข้อมูล และการพิมพ์เอกสารในการทำปริญญานิพนธ์นี้ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากจนงานวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ท้ายสุดนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ นายขจิต ตรีสุทธาชีพ และนางพิมพ์ใจ วิเศษโวหาร บิดาและมารดา ที่เลี้ยงดู อบรม เป็นกำลังใจที่สำคัญที่สุดจนสำเร็จการศึกษาและทำให้ปริญญานิพนธ์สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ปราชญา ตรีสุทธาชีพ

สารบัญ

บทที่		หน้า
1	**บทนำ**	1
	ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
	วัตถุประสงค์งานวิจัย	2
	ขอบเขตของงานวิจัย	2
	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2	**ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**	4
	คุณสมบัติของโอโซน	4
	น้ำเสีย (waste water)	6
	การบำบัดน้ำเสีย	11
	วิธีการบำบัดน้ำเสีย	14
	การบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซน	14
	แนวคิดที่แตกต่างกันในด้านเทคโนโลยี	18
	หลักการของเครื่องผลิตโอโซน	19
	ระบบการผลิตโอโซน	21
	เครื่องผลิตโอโซนเพื่อการบำบัดน้ำเสีย	23
	ตัวอย่างงานวิจัยที่มีการใช้ประยุกต์โอโซนเพื่อประโยชน์ในด้านต่าง ๆ	26
3	**วิธีการดำเนินการวิจัย**	28
	การทดลองที่ 1: การบำบัดน้ำเสียชุมชน	29
	การทดลองที่ 2: การบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาล	31
4	**ผลการดำเนินการวิจัย**	35
	การทดลองที่ 1: การบำบัดน้ำเสียชุมชน	35
	การทดลองที่ 2: การบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาล	44
5	**สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ**	57
	สรุปผลการวิจัย	57
	ข้อเสนอแนะ	58

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
บรรณานุกรม.....	59
ภาคผนวก.....	63
ภาคผนวก ก.....	64
ภาคผนวก ข.....	69
ประวัติย่อผู้วิจัย.....	75

บัญชีตาราง

ตาราง		หน้า
1	เกณฑ์คุณภาพน้ำเสียของโรงพยาบาลประเภท ก	9
2	การเปรียบเทียบปฏิกิริยาระหว่างโอโซนกับคลอรีนในการบำบัดน้ำ.....	16
3	การเปรียบเทียบคุณสมบัติของโอโซน, คลอรีน, และคลอรีนไดออกไซด์ สำหรับการบำบัดน้ำ.....	17
4	ระดับความเข้มข้นของโอโซนและผลกระทบของโอโซน.....	18
5	การเปรียบเทียบระหว่างเทคโนโลยีปัจจุบันกับเทคโนโลยีในการวิจัย.....	19
6	เกณฑ์คุณภาพน้ำเสียของโรงพยาบาลประเภท ก.....	34
7	ค่า BOD ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (dissolved oxygen; DO) และกลิ่นของน้ำเสียชุมชนที่ใช้รูปแบบการเติมน้ำแบบต่อเนื่องและแบบไม่ต่อเนื่อง.....	36
8	ค่า BOD ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (dissolved oxygen; DO) และกลิ่นของน้ำเสียชุมชนที่ใช้รูปแบบการเติมโอโซนแบบต่อเนื่องและแบบไม่ต่อเนื่อง.....	39
9	ค่า BOD ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (dissolved oxygen; DO) และกลิ่นของน้ำเสียชุมชนที่ใช้อากาศหรือออกซิเจนเป็นแหล่งผลิตโอโซน.....	41
10	ค่า BOD ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (dissolved oxygen; DO) และกลิ่นของน้ำเสียชุมชนที่ใช้เครื่องผลิตโอโซนขนาด 5 กรัม/ชั่วโมง และ 10 กรัม/ชั่วโมง.....	43
11	ค่าตะกอนหนักและซัลไฟด์ของน้ำเสียโรงพยาบาลที่ผ่านการบำบัดด้วยโอโซน.....	46
12	คุณภาพน้ำเสียของโรงพยาบาลหลังผ่านการบำบัดโดยใช้โอโซนจากเครื่องกำเนิดโอโซน 5 กรัมต่อชั่วโมงที่ใช้อากาศและออกซิเจนเป็นแหล่งผลิตโอโซน.....	47
13	คุณภาพน้ำเสียของโรงพยาบาลหลังผ่านการบำบัดโดยใช้โอโซนจากเครื่องกำเนิดโอโซน 10 กรัมต่อชั่วโมงที่ใช้อากาศและออกซิเจนเป็นแหล่งผลิตโอโซน.....	47

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ		หน้า
1	ระบบดูดน้ำเสียลงบ่อพักเพื่อรอการบำบัด	20
2	ขั้นตอนการเติมอากาศ	20
3	การบำบัดน้ำเสียในส่วนการเติมสารเคมี	20
4	แผนผังขั้นตอนการผลิตโอโซน	21
5	แผนผังตัวอย่างของหลอดผลิตโอโซนด้านหน้าและด้านข้างที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 45 เซนติเมตร และผลิตโอโซนได้ประมาณ 5-15 กรัมต่อชั่วโมง	22
6	การทำงานของการออกแบบเครื่องกำเนิดโอโซน	24
7	อิเล็กโทรดของเครื่องผลิตโอโซน	25
8	แผนผังการทดลองบำบัดน้ำเสียโดยใช้โอโซน	28
9	อุปกรณ์หลักที่ใช้ในการวิจัยที่จังหวัดนครปฐม	30
10	อุปกรณ์หลักที่ใช้ในการวิจัยเพื่อบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนที่โรงพยาบาล	32
11	ชุดการทดลองการบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลโดยใช้โอโซน	33
12	น้ำเสียชุมชนที่ผ่านการบำบัดด้วยโอโซนขนาด 10 กรัมต่อชั่วโมงที่ใช้ออกซิเจนเป็นแหล่งผลิตโอโซนที่เวลา 0, 40, 100, 160, 220 และ 260 นาที	44
13	ร้อยละการลดของค่าบีโอดีของน้ำเสียจากโรงพยาบาลเมื่อผ่านการบำบัดโดยใช้โอโซนเมื่อใช้อากาศและออกซิเจนเป็นแหล่งผลิตโอโซน	48
14	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำเสียจากโรงพยาบาลเมื่อผ่านการบำบัดโดยใช้โอโซนเมื่อใช้อากาศและออกซิเจนเป็นแหล่งผลิตโอโซน	49
15	ค่าสารแขวนลอย (Suspended Solid) ของน้ำเสียจากโรงพยาบาลเมื่อผ่านการบำบัดโดยใช้โอโซนเมื่อใช้อากาศและออกซิเจนเป็นแหล่งผลิตโอโซน	50
16	สารที่ละลายได้ทั้งหมด (Total Dissolved Solids; TDS) ของน้ำเสียจากโรงพยาบาลเมื่อผ่านการบำบัดโดยใช้โอโซนเมื่อใช้อากาศและออกซิเจนเป็นแหล่งผลิตโอโซน	50
17	ค่าไนโตรเจนรวม (Total Kjeldahl Nitrogen; TKN) ของน้ำเสียจากโรงพยาบาลเมื่อผ่านการบำบัดโดยใช้โอโซนเมื่อใช้อากาศและออกซิเจนเป็นแหล่งผลิตโอโซน	51

บัญชีภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ **หน้า**

18 น้ำมันและไขมัน (Oil and Grease) ของน้ำเสียจากโรงพยาบาลเมื่อผ่าน
การบำบัดโดยใช้โอโซนเมื่อใช้อากาศและออกซิเจนเป็นแหล่งผลิตโอโซน..... 52

19 ค่าตะกอนหนัก (Settleable Solid) ของน้ำเสียจากโรงพยาบาลเมื่อผ่าน
การบำบัดโดยใช้โอโซนเมื่อใช้อากาศและออกซิเจนเป็นแหล่งผลิตโอโซน..... 53

20 ค่าซัลไฟด์ (Sulfide) ของน้ำเสียจากโรงพยาบาลเมื่อผ่านการบำบัดโดย
ใช้โอโซนเมื่อใช้อากาศและออกซิเจนเป็นแหล่งผลิตโอโซน..... 53

21 น้ำเสียจากโรงพยาบาลที่ผ่านการบำบัดด้วยโอโซนขนาด 10 กรัมต่อ
ชั่วโมงโดยใช้อากาศเป็นแหล่งผลิตและใช้ออกซิเจนเป็นแหล่งผลิต..... 54

บทที่ 1
บทนำ

1. ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย

มลภาวะเป็นพิษของประเทศไทยในปัจจุบัน อันได้แก่ มลพิษทางน้ำ อากาศ อาหารและในดิน อยู่ในขั้นวิกฤต มลพิษก่อผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตโดยรวมของประชาชนเป็นอย่างมากทั้งที่อาศัยในชุมชนชนบทและชุมชนเมือง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมืองใหญ่ที่สภาพแวดล้อมเป็นมลพิษทั้งบนท้องถนนบ้านพักอาศัย สำนักงาน โรงพยาบาล นอกจากนี้ปัญหามลพิษยังส่งผลกระทบถึงน้ำสำหรับอุปโภค-บริโภค พืชผัก ผลไม้ รวมไปถึงอาหารที่ใช้ในชีวิตประจำวัน ในระยะ 10 ปีที่ผ่านมาประเทศไทยได้มีการเปลี่ยนแปลงทางเศรษฐกิจและสังคมอย่างรวดเร็วทำให้คนไทยรู้จักนำเอาเทคโนโลยีสมัยใหม่มาใช้ในชีวิตประจำวันมากยิ่งขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการขยายตัวทางอุตสาหกรรมภายในประเทศ แม้ว่าประชาชนจะมีความเป็นอยู่ที่ดีขึ้นแต่คุณภาพชีวิตกลับลดลงอย่างน่าวิตก เนื่องจากต้องเผชิญทั้งปัญหาสิ่งแวดล้อมที่มีปริมาณมลพิษสะสมในอากาศและในน้ำเพิ่มมากขึ้น การปนเปื้อนของสารพิษ เชื้อจุลินทรีย์ในอาหารและน้ำดื่มเป็นปัญหาทำให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพอย่างเลี่ยงไม่ได้ เช่น โรคผิวหนัง โรคภูมิแพ้ โรคท้องร่วง โรคหลอดลมอักเสบและโรคลำไส้ เป็นต้น ดังนั้นเพื่อเป็นการป้องกันสุขภาพอนามัยจากภัยของมลพิษต่าง ๆ ซึ่งแอบแฝงอยู่ในอาหาร อากาศและน้ำ และเพื่อทำให้คุณภาพชีวิตดียิ่งขึ้นและมีอายุที่ยืนยาวปราศจากโรคภัยไข้เจ็บ จึงต้องหาวิธีการเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว

การใช้โอโซน (O_3) เป็นวิธีที่มีการนำมาใช้ในการผลิตน้ำดื่มและการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมเป็นเวลานานกว่า 90 ปี และได้รับการยอมรับว่ามีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคต่าง ๆ ซึ่งสามารถกำจัดทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ได้มากมาย รวมทั้งยังไม่ก่อให้เกิดสารตกค้างหลังการใช้ ในขณะที่การบำบัดด้วยสารเคมีอื่น ๆ ได้แก่ โปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนตหรือด่างทับทิม ($KMnO_4$) และโซเดียมไฮโปคลอไรต์ (NaClO) สามารถฆ่าเชื้อโรคและทำลายสารเคมีได้บางชนิดเท่านั้น และมีสารตกค้าง การใช้ก๊าซโอโซนได้ถูกนำมาใช้ครั้งแรกในประเทศฝรั่งเศสเพื่อผลิตน้ำบริโภคแทนก๊าซคลอรีน หลังจากนั้นการใช้โอโซนก็ได้แพร่ขยายไปทั่วทวีปยุโรป ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2455 และได้นำมาใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานฟอกย้อม โรงงานเยื่อกระดาษ โรงงานผลิตสารเคมี โรงกลั่นน้ำมันและโรงงานทอผ้า เป็นต้น ในปี พ.ศ.2537 ประเทศญี่ปุ่นได้เริ่มนำก๊าซโอโซนมาใช้ในบ้านเรือนเป็นครั้งแรกโดยการพัฒนาเครื่องผลิตโอโซนขนาดเล็กซึ่งสามารถผลิตก๊าซโอโซนได้ในปริมาณเพียง 5-200 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง (ธนวัฒน์ ฉลาดสกุล. 2552: 79) มีคุณสมบัติในการฆ่าเชื้อโรคในอากาศ ใช้ในการอาบน้ำล้างผัก ผลไม้และอาหารทะเลซึ่งมีการปนเปื้อนของสารพิษได้อย่างมีประสิทธิภาพนอกจากนี้ยังสามารถนำไปใช้ในสถานที่อื่น ๆ

ได้ เช่น ร้านอาหาร ห้องประชุม และห้องสูบบุหรี่ ต่อมาการใช้โอโซนภายในอาคารจึงได้เริ่มนิยมมากขึ้นในแถบเอเชียและในสหรัฐอเมริกา เนื่องจากการใช้ปริมาณโอโซนที่เหมาะสมมีส่วนช่วยให้คุณภาพชีวิตของมนุษย์ดียิ่งขึ้นโดยป้องกันอันตรายจากมลพิษและเชื้อโรคที่อยู่รอบข้าง โอโซนยังช่วยทำให้มีสุขภาพที่ดีขึ้นโดยการดูดซึมออกซิเจนของอวัยวะต่าง ๆ ในร่างกาย ทำให้ร่างกายเผาผลาญอาหารได้อย่างสมดุลการหมุนเวียนของโลหิตดีขึ้นและช่วยให้ร่างกายมีภูมิต้านทานต่อสิ่งแปลกปลอมมากยิ่งขึ้น ปัจจุบันโอโซนเป็นที่ยอมรับในวงการแพทย์และใช้เป็นวิธีหนึ่งในการบำบัดรักษาโรคได้หลายชนิด (Ozone therapy) เช่น โรคไขมันอุดตัน (Atherosclerosis)โรคไขข้ออักเสบ (Rheumatism) โรคกระดูกเสื่อม (Osteoporosis) โรคโลหิตจาง (Sickle Cell Anemia) โรคมะเร็ง(Cancer) และโรคเอดส์ (AIDS) เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้ในการฆ่าเชื้อโรคในโรงพยาบาลคลินิกและใช้ล้างเครื่องมือแพทย์ด้วย ดังนั้นตราบใดที่โลกของเรายังคงได้รับภัยคุกคามจากมลพิษมากขึ้น การใช้โอโซนก็มีความสำคัญต่อชีวิตประจำวันของมนุษย์เพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกัน

ก๊าซโอโซนเป็นก๊าซธรรมชาติที่ให้คุณประโยชน์มากมายต่อมนุษย์ในแง่ของการกำจัดสารพิษและเชื้อจุลินทรีย์ต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้เนื่องจากระบบการบำบัดน้ำเสียในปัจจุบันส่วนใหญ่เป็นระบบที่ต้องใช้การเติมคลอรีนซึ่งเป็นสารที่อันตราย และสถานที่ที่จะใช้สร้างที่บำบัดต้องใช้เนื้อที่ที่มากและเงินลงทุนที่สูง โดยเวลาในการบำบัดต้องใช้เวลานาน จึงได้มีแนวคิดที่จะนำโอโซนมาใช้บำบัดแทนการเติมคลอรีน เพื่อที่จะได้ประสิทธิภาพในการบำบัดที่สูงขึ้นเมื่อเทียบกับเวลา ไม่ใช้พื้นที่มาก และคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมซึ่งระบบนี้จะไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ระบบนี้เป็นระบบที่ใช้การเติม โอโซนลงใต้น้ำแทนการใช้คลอรีนในการฆ่าเชื้อโรคก่อนที่จะปล่อยออกสู่ภายนอกระบบ ทั้งนี้จากการใช้โอโซนบำบัดน้ำเสียจะมีความสามารถในการฆ่าเชื้อโรคได้ดีกว่าคลอรีนร้อยละ 52 และเร็วกว่า 3,000 เท่า (สุรพล รักปทุม. 2543: 78) และเพื่อลดอันตรายที่เกิดจากกระบวนการเติมคลอรีน

2. วัตถุประสงค์งานวิจัย

1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้และประยุกต์ใช้เครื่องผลิตโอโซนในการบำบัดน้ำเสียสำหรับโรงพยาบาล
2. เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการบำบัดคุณภาพน้ำเสียด้วยโอโซน
3. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้โอโซนบำบัดน้ำเสีย

3. ขอบเขตของงานวิจัย

1. ศึกษาการใช้โอโซนในการบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาลขนาด 30 เตียง
2. เปรียบเทียบคุณภาพน้ำเสียเมื่อผ่านการบำบัดด้วยโอโซนที่ใช้อากาศและออกซิเจนเป็นแหล่งผลิตโอโซน

3. เปรียบเทียบคุณภาพน้ำเสียเมื่อผ่านการบำบัดด้วยโอโซนจากเครื่องผลิตโอโซนขนาด 5 และ 10 กรัมต่อชั่วโมง

4. หาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาลด้วยโอโซน เช่น ลักษณะงานท่อ ความเร็วในการไหลของน้ำเสียเข้าสู่ระบบ สภาวะและเวลาที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

5. วิเคราะห์ค่าตัวแปรต่าง ๆ ตามค่ามาตรฐานน้ำทิ้งของโรงพยาบาลอันได้แก่ค่า ความเป็นกรด-ด่าง ค่า BOD ปริมาณของแข็งแขวนลอย ค่าตะกอนหนัก ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ค่าซัลไฟด์ ไนโตรเจนรวม และ น้ำมันและไขมัน

4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบถึงความเป็นไปได้ในการประยุกต์ใช้เครื่องผลิตโอโซนในการบำบัดน้ำเสียสำหรับโรงพยาบาลขนาด 30 เตียง

2. สามารถหาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้โอโซนบำบัดน้ำเสียสำหรับโรงพยาบาลขนาด 30 เตียง

3. สามารถเปรียบเทียบผลของเครื่องผลิตโอโซนขนาด 5 และ 10 กรัมต่อชั่วโมง และแหล่งผลิตโอโซนจากอากาศ และ ออกซิเจนต่อการบำบัดน้ำเสียสำหรับโรงพยาบาลขนาด 30 เตียง

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. คุณสมบัติของโอโซน

ก๊าซโอโซนพบมากในชั้นบรรยากาศของโลกในระดับความสูงประมาณ 10 ถึง 50 กิโลเมตร เหนือผิวโลกที่เรียกว่า ชั้นสตราโตสเฟียร์ (Stratospheres) ซึ่งช่วยลดอันตรายจากรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์ในธรรมชาติก๊าซโอโซนเกิดจากกระแสไฟฟ้าแรงสูงในอากาศเนื่องจากฟ้าผ่า หรือฟ้าแลบทำให้ออกซิเจนโมเลกุลแตกตัวเป็นออกซิเจนอะตอม แล้วรวมกับออกซิเจนโมเลกุล (O_2) ตัวอื่นในบริเวณใกล้เคียง เกิดเป็นโอโซนโมเลกุล วิธีการแตกตัวของออกซิเจนโมเลกุลวิธีนี้เรียกว่า Corona discharge หรือ Electric discharge นอกจากนี้โอโซนที่เกิดในธรรมชาติยังเกิดจากรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์ที่มีความยาวคลื่น 185 นาโนเมตร ทำให้ออกซิเจนโมเลกุลแตกตัว แต่โอโซนที่เกิดโดยวิธีนี้มีความเข้มข้นน้อยคือประมาณ 0.01 - 0.10 % (สุรพล รักปทุม. 2543: 110)

ก๊าซโอโซนเป็นก๊าซที่ไม่เสถียรเกิดจากการรวมตัวของอะตอมออกซิเจน 3 อะตอม มีสูตรโมเลกุลคือ O_3 มีน้ำหนักโมเลกุลเท่ากับ 48 ก๊าซโอโซนจะเกิดขึ้นเมื่อออกซิเจนแยกออกเป็น 2 อะตอม (2O) และไปรวมกับอะตอมออกซิเจนอีกอะตอมหนึ่งทำให้เกิดเป็นออกซิเจน 3 อะตอมซึ่งก็คือก๊าซโอโซนนั่นเอง ตามธรรมชาติก๊าซโอโซนสามารถเกิดขึ้นเองได้จากการที่ก๊าซออกซิเจนได้รับคลื่นรังสีอัลตร้าไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์ในชั้นบรรยากาศสตราโตสเฟียร์และเกิดขึ้นในขณะที่เกิดฟ้าผ่า เมื่อเราต้องการผลิตก๊าซโอโซนเพื่อใช้งานเราสามารถประยุกต์ปรากฏการณ์ทางธรรมชาติมาสร้างก๊าซโดยการใช้แสงอุลตร้าไวโอเล็ตหรือการสร้างสนามไฟฟ้าแรงดันสูงเพื่อให้เกิดปรากฏการณ์การปล่อยประจุไฟฟ้าเรืองแสง (Corona Discharge) แล้วปล่อยก๊าซออกซิเจนผ่านบริเวณที่มีความเข้มประจุไฟฟ้าจะทำให้เกิดการแตกตัวของโมเลกุลออกซิเจนนี้และการรวมตัวใหม่ของออกซิเจนเป็น 3 อะตอมทำให้ได้มาซึ่งก๊าซโอโซน (สุรพล รักปทุม. 2543: 110)

โอโซนเป็นสารที่ไม่เสถียรและติดไฟได้ทั้งในสถานะ ของแข็ง ของเหลว และก๊าซ โอโซนจะอยู่ในสถานะของเหลวที่อุณหภูมิต่ำกว่า -112 °C โดยจะและมีลักษณะเป็นของเหลวสีน้ำเงินเข้ม (Shin et al. 2011) นอกจากนี้โอโซนจะมีสถานะเป็นของแข็งสีม่วงดำที่อุณหภูมิต่ำกว่า -193 °C โครงสร้างทางโมเลกุลของโอโซนประกอบไปด้วยออกซิเจน 3 อะตอม ความยาวของพันธะระหว่างอะตอมของออกซิเจนเท่ากับ 1.278 A ° มีมุมของพันธะเท่ากับ116.78° และมีชื่อตามแบบ IUPAC คือ trioxygen (Zaikov; Rakovsky; & Anachkov. 2004: 1) โอโซนอยู่ในสถานะก๊าซที่อุณหภูมิและความดันปกติ โดยมีจุดเดือดเท่ากับ -119.9 °C ที่ความดันบรรยากาศและไม่เสถียร (Weber. 1972:

574) โอโซนมีค่าครึ่งชีวิต (half-life) เท่ากับ 16–20 นาที ในอากาศที่อุณหภูมิปกติ และมีค่าครึ่งชีวิตในน้ำเท่ากับ 15-30 นาที (Zaikov; Rakovsky; & Anachkov. 2004: 1) ในทางปฏิบัติจึงถือว่าโอโซนเป็นสารที่ไม่เสถียรและต้องผลิตเพื่อนำไปใช้งานเท่านั้น ไม่สามารถกักตุนไว้เพื่อใช้งานได้

โอโซนเป็นก๊าซมีกลิ่นโดยมนุษย์สามารถตรวจจับกลิ่นได้ที่ความเข้มข้นในอากาศต่ำ (0.01–0.05 ppm) ซึ่งถือว่าเป็นระดับความเข้มข้นที่ต่ำมาก โอโซนที่ระดับความเข้มข้นต่ำจะมีสีอ่อนมาก อาจมีแววสีน้ำเงินให้เห็นบ้าง แต่จะมีสีน้ำเงินเข้มและมองเห็นได้ที่ความเข้มข้นสูง (มากกว่า 1,000 ppm) โอโซนเป็นก๊าซที่ไม่เสถียร จะสลายตัวกลับเป็นออกซิเจนหรือทำปฏิกิริยากับสิ่งรอบตัวอยู่ตลอดเวลา นอกจากนี้โอโซนเป็นก๊าซที่มีพลังงานในการออกซิเดชั่น (Oxidation Potential) สูง (2.07 V in alkaline solution) ซึ่งสูงกว่าคลอรีน 152% โอโซนมีความหนาแน่น (density) สูง โดยมีความหนาแน่นสูงถึง 150% ของออกซิเจน และโอโซนยังสามารถละลายน้ำได้ดีกว่าออกซิเจน โอโซนมีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อโรคได้ดีกว่าคลอรีนร้อยละ 52 และเร็วกว่า 3,000 เท่า (สุรพล รักปทุม. 2543: pp) สามารถย่อยสลายสี กลิ่น ก๊าซพิษ และสารเคมีได้ดี (ธนวัฒน์ ฉลาดสกุล. 2552: 79) ทำให้มีการนำไปใช้ในงานในหลายรูปแบบ เช่น ใช้ผลิตน้ำดื่ม หรือ ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

โอโซนเป็นก๊าซที่โมเลกุลมีการเคลื่อนไหวอย่างแคล่วคล่องว่องไว เกิดจากการรวมตัวของออกซิเจนในสภาวะที่ไม่เสถียร ในช่วงอุณหภูมิปกติที่ 18 - 30 องศาเซลเซียส โอโซนจะแยกสลายตัวกลายเป็นอะตอมของออกซิเจน ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน หรือที่เรียกว่า ก๊าซโอโซนมีคุณสมบัติเป็น Oxidizing Agent ได้ดีนั่นเอง เมื่อผสมอยู่ในน้ำโอโซนสามารถทำปฏิกิริยาฆ่าเชื้อได้ดีกว่าคลอรีนร้อยละ 52 และเร็วกว่า 3,000 เท่า (สุรพล รักปทุม. 2543: 78) โดยที่มีครึ่งชีวิตอายุ (Half Life) สั้นกว่าคลอรีนมากทำให้ไม่เกิดสารตกค้างในน้ำ จึงสามารถฆ่าเชื้อโรค กำจัดกลิ่น กำจัดสี และใช้ทำปฏิกิริยากับสารต่าง ๆ ได้ดี (ธนวัฒน์ ฉลาดสกุล. 2552: 79) โอโซนเป็นสารออกซิแดนซ์ที่แรงกว่าออกซิเจน และปฏิกิริยาออกซิเดชันของโอโซนจะปล่อยความร้อนออกมา โดยปกติแล้วปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำกว่าออกซิเจน เมื่อโอโซนอยู่ในน้ำจะเกิดปฏิกิริยาได้เร็วกว่าไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ คลอรีน หรือ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ นอกจากนี้โอโซนมีความเสถียรเมื่ออยู่ในอากาศมากกว่าอยู่ในน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอากาศที่เย็นและแห้ง โดยความสามารถในการละลายน้ำของโอโซนขึ้นอยู่กับความดันและอุณหภูมิในสถานะก๊าซ (เนทิยา ตัณฑชุณห์. 2544: 11) โอโซนสามารถนำไปประยุกต์แทนการใช้สารเคมีใช้งานได้ในหลายรูปแบบ เช่น การบำบัดน้ำ คูลลิ่งทาวเวอร์ของระบบปรับอากาศ การเตรียมน้ำบริสุทธิ์สำหรับทำน้ำดื่ม และใช้ลดเชื้อโรคในอุตสาหกรรมอาหาร การบำบัดน้ำในสระว่ายน้ำ การบำบัดน้ำเสียและการรีไซเคิลน้ำจากอาคารและโรงงาน

2. น้ำเสีย (waste water)

น้ำเสีย (waste water) หมายถึง น้ำที่ผ่านการใช้ประโยชน์ต่างๆ อาทิเช่นการชำระล้างร่างกาย การประกอบอาหาร การขับถ่ายของเสีย การล้างวัตถุดิบในโรงงานอุตสาหกรรม การล้างเครื่องจักร ฯลฯ ทำให้คุณลักษณะของน้ำเปลี่ยนไปจากเดิมเนื่องจากมีสิ่งสกปรกต่างๆ ทั้งสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ถ่ายเทลงมาเจือปนอยู่ในน้ำ ปริมาณความสกปรกของน้ำเสียจึงขึ้นอยู่กับการใช้ประโยชน์ของน้ำ ดังนั้นน้ำทิ้งจากแต่ละแหล่งจึงมีคุณลักษณะไม่เหมือนกัน (เสริมสุข รัตสุข และ ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. 2518: 12)

น้ำทิ้ง (effluent) หมายถึง น้ำเสียที่ระบายออกจากแหล่งประกอบกิจกรรม น้ำทิ้งจึงอาจเป็นน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วก็ได้ (เสริมสุข รัตสุข และ ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. 2518: 22) ในงานวิจัยนี้จึงใช้คำว่าน้ำทิ้งอันหมายความถึงน้ำเสียที่ยังไม่ผ่านการบำบัด นอกจากนี้การบำบัดน้ำเสียนั้นต้องการกำจัดหรือลดปริมาณสิ่งเจือปนที่มากับน้ำเสีย โดยสิ่งเจือปนในน้ำที่ทำให้น้ำกลายเป็นน้ำเสียอาจเป็นรูปธรรมหรือนามธรรมก็ได้ ดังนี้ สารอินทรีย์ต่าง ๆ ทั้งที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ กรด-ด่าง ของแข็งหรือตะกอนแขวนลอย และสิ่งต่าง ๆ ที่ลอยอยู่ในน้ำ น้ำมัน ไขมัน เกลือ และแร่ธาตุที่เป็นพิษ เช่นโลหะหนัก สารที่ทำให้เกิดฟอง ความร้อน สารพิษ เช่น ยาฆ่าแมลง สีและกลิ่น สารกัมมันตภาพรังสี

น้ำเสียแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ น้ำเสียชุมชน และน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม (เสริมสุข รัตสุข และ ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. 2518: 16-17)

- น้ำเสียชุมชน หมายถึง น้ำเสียต่าง ๆ ที่ผ่านกิจกรรมประจำวันของประชากรที่อาศัยอยู่ในชุมชน รวมทั้งกิจกรรมที่เป็นอาชีพอีกด้วย ยกตัวอย่างเช่น น้ำเสียของหมู่บ้าน อำเภอ จังหวัด เป็นต้น อาจกล่าวได้ว่า น้ำเสียชุมชนเป็นน้ำเสียสาธารณะ ซึ่งหน่วยงานราชการควรเป็นผู้รับผิดชอบในการดำเนินการบำบัดให้กลายเป็นน้ำสะอาดพอเพียงที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำได้
- น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม หมายถึง น้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ ของโรงงานอุตสาหกรรมทุกประเภท น้ำเสียส่วนใหญ่มักมาจากน้ำล้างวัตถุดิบและจากกระบวนการผลิตต่าง ๆ ดังนั้นน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมจะมีลักษณะที่ดูได้จากวัตถุดิบของโรงงาน ซึ่งอาจเป็น ผลผลิตทางการเกษตร ประมง สารอินทรีย์ หรือ สารเคมีโลหะหนัก (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. 2542: 23)

จากคำจำกัดความข้างต้นน้ำเสียจากโรงพยาบาลควรจะถูกจัดอยู่ในประเภทของน้ำเสียชุมชนที่จะต้องผ่านการบำบัดให้สะอาดเพียงพอก่อนที่จะถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำชุมชน โดยโรงพยาบาลถือเป็นกิจกรรมหนึ่งในชุมชนที่เป็นแหล่งกำเนิดน้ำเสีย โดยโรงพยาบาลเป็นสถานรักษาพยาบาลผู้ป่วย ดังนั้นของเสียที่เกิดจากการให้บริการรักษาผู้ป่วยอาจมีเชื้อโรคปะปนได้ รวมทั้งน้ำเสียที่เกิดจากการล้างทำความสะอาดร่างกายก็อาจมีเชื้อโรคและสิ่งสกปรกปนเปื้อน และ

อาจแพร่กระจายออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกโรงพยาบาลได้ ปริมาณน้ำเสียจากโรงพยาบาลอยู่ในช่วง 800 ลิตรต่อเตียงผู้ป่วย น้ำเสียจากโรงพยาบาลมีลักษณะคล้ายกับน้ำเสียจากบ้านเรือน มีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์และอาจมีสารอันตราย ได้แก่ จุลินทรียที่ทำให้เกิดโรค ยาที่มีองค์ประกอบที่เป็นอันตราย สารเคมีฆ่าเชื้อโรค และสารกัมมันตรังสี ซึ่งเกิดจากกิจกรรมการให้บริการรักษาผู้ป่วยมีองค์ประกอบต่าง ๆ ดังนี้ (กรมควบคุมมลพิษ. 2553: 4)

- สารอินทรีย์ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เช่นสิ่งขับถ่ายจากคน เศษข้าว ก๋วยเตี๋ยว พืชผัก น้ำยาทำความสะอาด เป็นต้น สารอินทรีย์ในน้ำเสียมีทั้งที่อยู่ในรูปสารแขวนลอยและสารละลาย ซึ่งสามารถถูกย่อยสลายได้โดยใช้จุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน และเกิดสภาพเน่าเสียได้ ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำนิยมวัดด้วยค่า BOD (บีโอดี) เมื่อค่า BOD ในน้ำสูง แสดงว่ามีสารอินทรีย์ปนอยู่มากและสภาพเหม็นเน่าจะเกิดได้ง่าย
- จุลินทรีย์ น้ำเสียจากโรงพยาบาลจะมีจุลินทรีย์เป็นจำนวนมาก จุลินทรีย์เหล่านี้จะใช้ออกซิเจนในการดำรงชีพ ซึ่งเป็นการลดระดับของออกซิเจนละลายน้ำ ทำให้เกิดสภาพเน่าเหม็น นอกจากนี้จุลินทรีย์บางชนิดอาจเป็นเชื้อโรคที่เป็นอันตรายต่อประชาชน
- โลหะหนักและสารพิษ อาจอยู่ในรูปสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ และสามารถสะสมอยู่ในวงจรอาหาร เกิดเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต เช่น โลหะหนัก ยา และสารเคมีต่าง ๆ ที่ใช้และถ่ายทิ้งลงในน้ำเสียจากโรงพยาบาล

กิจกรรมที่เป็นแหล่งกำเนิดน้ำเสียจากโรงพยาบาลเกิดจากกิจกรรมบริการรักษาผู้เจ็บป่วยต่าง ๆ ภายในโรงพยาบาลที่ก่อให้เกิดน้ำเสีย ดังนี้ (กรมควบคุมมลพิษ. 2553: 3)

- สถานที่ตรวจคนไข้นอก มีผู้ป่วยและญาติมาใช้ห้องน้ำ
- สถานที่ตรวจคนไข้ใน มีผู้ป่วยมารับการรักษาตัวในโรงพยาบาล ญาติที่มาเฝ้า ลักษณะน้ำเสียจะแตกต่างกันตามสถานให้บริการ ลักษณะน้ำเสียจึงอาจมีการปนเปื้อนน้ำยาฆ่าเชื้อโรคในการทำความสะอาดแผล
- โรงซักผ้า ได้แก่ เสื้อผ้าผู้ป่วย หมอน ผ้าปูเตียง ผ้าห่ม น้ำเสียอาจปนเปื้อนเชื้อโรค น้ำยาซักผ้า และน้ำร้อน
- โรงครัวและโรงอาหาร น้ำเสียมีเศษอาหาร และไขมันปนเปื้อนมาก
- ห้องผ่าตัด ห้องคลอด และห้องเก็บศพ น้ำเสียมีการปนเปื้อนของเลือด และน้ำยาฆ่าเชื้อโรค
- ห้องปฏิบัติการ ลักษณะน้ำเสียประกอบไปด้วยเชื้อโรคที่ตรวจวิเคราะห์ อาหารเลี้ยงเชื้อและสารเคมีฆ่าเชื้อโรค
- ห้องยา น้ำเสียเกิดจากการปรุงยา
- อาคารบ้านพักภายในโรงพยาบาล น้ำเสียมีลักษณะเหมือนกับน้ำเสียชุมชน

- อาคารสถานที่ทำการต่าง ๆ เช่น ตึกอำนวยการ น้ำเสียจากอ่างล้างมือ และน้ำโสโครกจากซักโครก

จากข้อมูลข้างต้นทำให้สรุปได้ว่าน้ำเสียจากโรงพยาบาลมีความสกปรกสูงกว่าน้ำเสียจากบ้านเรือน โดยมีทั้งน้ำเสียที่เกิดจากการดำรงชีวิต และน้ำเสียจากผู้ป่วยที่มีจุลินทรีย์ก่อโรค จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการบำบัดน้ำเสียจากโรงพยาบาลให้ผ่านมาตรฐานควบคุมคุณภาพน้ำเสีย ก่อนที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำชุมชน มาตรฐานที่บ่งชี้เกณฑ์มาตรฐานของน้ำเสียจากโรงพยาบาลในตาราง 1 โดยแสดงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ รวมถึง วิธีการตรวจสอบพารามิเตอร์ดังกล่าวด้วย

ความเป็นกรดด่าง (pH) เป็นค่าที่แสดงความเป็นกรดเป็นด่าง ของสารเคมี ค่า pH เป็นพารามิเตอร์ที่มีประโยชน์มากที่สุดและใช้ได้ง่ายที่สุดในการตรวจสอบคุณภาพน้ำเสีย ค่า pH เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความเข้มข้นของ H^+ ในน้ำหรือสารละลายในหน่วยโมลต่อลิตร ดังสมการ

$$pH = -\log[H^+]$$

ค่า pH ที่ผ่านเกณฑ์คุณภาพน้ำเสียของโรงพยาบาลเท่ากับ 5-9 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมที่ไม่ก่อให้เกิดอันตรายแก่สัตว์น้ำ หรือผู้ใช้น้ำเมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำชุมชน การวัดค่า pH ทำได้หลายวิธี ที่ง่ายที่สุดคือการใช้กระดาษลิตมัสที่สีจะเปลี่ยนไปตามค่า pH ทำให้ได้ค่า pH โดยประมาณ หากต้องการค่า pH ที่ละเอียดมากขึ้นต้องใช้ pH meter ซึ่งมีอยู่หลายรูปแบบตามความละเอียดของค่า pH ที่ต้องการ สำหรับวิธีการที่ใช้ในการวัดค่า pH ในการทดลองนี้คือ Standard method for the examination of waste water 4500-H* B. Electrometric method ที่ใช้ pH meter ที่วัด activity of the hydrogen ions เปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากอิเล็กโทรดไฮโดรเจนมาตรฐาน และ อิเล็กโทรดอ้างอิง (APHA, AVWA, WEF. 2005: unpaged)

ค่า BOD (บีโอดี) หมายถึง ปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ แต่หากพิจารณาร่วมกับวิธีที่ใช้วัดค่า BOD ทำให้ต้องเพิ่มคำจำกัดความของค่า BOD ให้หมายถึงปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียในน้ำภายในระยะเวลา 5 วันที่อุณหภูมิคงที่ที่ 20 °C ความหมายที่แท้จริงของค่า BOD เป็นการบ่งชี้ถึงปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำ ดังนั้นน้ำที่มีค่า BOD สูง หมายถึงน้ำเสียที่มีปริมาณจุลินทรีย์อยู่มาก หรือ ในอีกแง่หนึ่งคือมีสารอินทรีย์เข้มข้นมาก ค่า BOD ของน้ำเสียที่กำหนดขึ้นมาเป็นพารามิเตอร์ในการวัดปริมาณสารอินทรีย์ของน้ำโดยอาศัยหลักการที่ว่าจุลินทรีย์ต้องการออกซิเจนในการย่อยลายสารอินทรีย์ทางชีวภาพแบบมีอากาศ (aerobic condition) และปริมาณออกซิเจนที่ต้องการใช้ขึ้นอยู่กับปริมาณจุลินทรีย์และสารอินทรียที่มีอยู่ ดังนั้นจึงสามารถใช้ค่าความต้องการออกซิเจนเป็นพารามิเตอร์แสดง

ปริมาณจุลินทรีย์และสารอินทรีย์ได้ การวัดค่า BOD ใช้เวลาในการทดลอง 5 วัน ที่อุณหภูมิคงที่ที่20 °C การที่ต้องกำหนดเวลาย่อยสลาย 5 วันเนื่องจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์เกิดขึ้นช้า สารย่อยสลายสารอินทรีย์ที่สมบูรณ์ต้องใช้เวลานานเป็นเดือน (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. 2542: 34) ซึ่งเวลา 5 วันเป็นเวลาที่สารอินทรีย์ส่วนใหญ่ถูกย่อยสลายได้แล้ว และเป็นเวลาที่ไม่สั้นหรือยาวเกินไป ค่า BOD ที่ได้จากกการวัดในห้องปฏิบัติการเป็นเวลา 5 วันมักเป็นค่า BOD ที่หมายความถึงความต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ประเภทคาร์บอน โดย ในบางกรณีอาจเห็นว่ามีการเขียน BOD_5 หรือ $BOD_{5,20}$ ซึ่งมีความหมายเดียวกับ BOD

ตาราง 1 เกณฑ์คุณภาพน้ำเสียของโรงพยาบาลประเภท ก (ขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 30 เตียง)

ตัวแปร	ค่ามาตรฐาน	วิธีตรวจสอบ
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	ค่าต้องอยู่ในช่วง 5-9	APHA,AVWA,WEF(2005), 4500-H* B.
บีโอดี (BOD)	ไม่เกิน 20 มิลลิกรัม/ลิตร	APHA,AWWA,WEF(2005), 5210 B.
ปริมาณของแข็งแขวนลอย (Suspended solid)	ไม่เกิน 30 มิลลิกรัม/ลิตร	APHA,AWWA,WEF(2005), 2540-D.
ค่าตะกอนหนัก (Settleable solid)	ไม่เกิน 0.5 มิลลิลิตร/ลิตร	APHA,AWWA,WEF(2005), 2540 F.
ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total Dissolved Solids; TDS)	ไม่เกิน 500 มิลลิกรัม/ลิตร	APHA,AWWA,WEF(2005), 2540 C.
ค่าซัลไฟด์ (Sulfide)	ไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร	APHA,AWWA,WEF(2005), 4500-S^{2-} F.
ไนโตรเจนรวม (Total Kjeldahl Nitrogen; TKN)	ไม่เกิน 35 มิลลิกรัม/ลิตร	APHA,AWWA,WEF(2005), Macro Kjeldahl Method
น้ำมันและไขมัน (Oil and Grease)	ไม่เกิน 20 มิลลิกรัม/ลิตร	APHA,AWWA,WEF(2005), 5520 B.

ที่มา: กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม (2537). กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด. ออนไลน์; American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF) (2005). Standard methods for the examination of water and wastewater. unpaged.

ของแข็ง หมายถึง สิ่งที่เจือปนอยู่ในน้ำเสียที่เหลืออยู่เมื่อระเหยน้ำออกจนหมด ไม่รวมถึงสารบางอย่างที่ระเหยไปกับน้ำ เช่นพวกกรดอินทรีย์ และกรดต่าง ๆ ที่ละลายในน้ำ ของแข็งที่อยู่ในน้ำเสียนี้อาจเป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ซึ่งอาจละลายในน้ำหรือไม่ก็ได้ (เสริมสุข รัตสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. 2518: 32)

ปริมาณของแข็งทั้งหมด (total solid) หมายถึงสิ่งที่เหลืออยู่ภายหลังการระเหยน้ำและอบแห้งที่อุณหภูมิ 103-105 °C ออกจนหมดที่ละลายได้ทั้งหมด โดยปริมาณของแข็งทั้งหมด หมายรวมถึง ของแข็งแขวนลอย (Suspended solid) และ ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total Dissolved Solids; TDS) (APHA, AVWA, WEF. 2005: unpaged)

ของแข็งแขวนลอย (Suspended solid) คือของแข็งที่ไม่ละลายน้ำแต่มีขนาดเล็กพอที่จะแขวนลอยอยู่ในน้ำได้ โดยหาได้โดยกรองตัวอย่างน้ำด้วยกระดาษกรองชนิดพิเศษที่เรียกว่า glass fiber paper (Whatman GF/C) โดยถือเป็นสารที่ถูกกักไว้ด้วยกระดาษกรองดังกล่าว โดยอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่กว่า 0.2 ไมโครเมตรแพร่อยู่ในของเหลว (APHA, AVWA, WEF. 2005: unpaged) ปริมาณของแข็งแขวนลอยมีความสำคัญอย่างยิ่งในการควบคุมคุณภาพของแหล่งน้ำธรรมชาติ เนื่องจากสารแขวนลอยนี้จะกั้นแสงแดดที่ส่องลงมาในน้ำ ยังผลให้การสังเคราะห์แสงของพืชในน้ำลดลง เป็นการลดปริมาณออกซิเจนในน้ำลงทางหนึ่ง

ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total Dissolved Solids; TDS) หมายถึงของแข็งส่วนที่ละลายน้ำได้ ซึ่งส่วนมากได้แก่เกลืออินทรีย์ เช่น NaCl, Na_2CO_3 และสารอินทรีย์บางอย่าง เช่น น้ำตาล โดยของแข็งที่ละลายได้นี้เป็นส่วนที่ผ่านการกรองด้วยกระดาษกรอง glass fiber paper โดยอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กกว่าหรือเท่ากับ 0.2 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นขนาดรู (pore size) ของกระดาษกรองที่ใช้ทดสอบ(APHA, AVWA, WEF. 2005: unpaged)

ตะกอนหนัก (Settle able Solids) หมายถึง ของแข็งที่จมตัวลงสู่ก้นภาชนะที่กำหนดให้เมื่อตั้งทิ้งไว้ในที่สงบภายในเวลาที่กำหนด (โดยปกติจะใช้เวลา 1 ชั่วโมง) สามารถหาในเชิงปริมาตรหรือน้ำหนักก็ได้ (APHA, AVWA, WEF. 2005: unpaged) หาได้โดยการนำตัวอย่างมาใส่ในภาชนะพิเศษที่เรียกว่า Imhoff cone ขนาด 1 ลิตร ตั้งทิ้งไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง จากนั้นอ่านปริมาตรของตะกอนจากสเกลบน Imhoff ค่าที่อ่านได้จะมีค่าเป็นมิลลิลิตรต่อลิตร ค่าตะกอนหนักมีความสำคัญอย่างยิ่งในการกำจัดน้ำเสียในด้านการออกแบบ ซึ่งต้องคำนวณว่าจำเป็นจะต้องใช้ถังตกตะกอนหรือเครื่องสูบตะกอนหรือไม่

ซัลไฟด์ (Sulfide) เป็นสารประกอบอย่างง่ายที่สุดของธาตุกำมะถันกับธาตุอื่น โดยซัลไฟด์เป็นสารที่มีพิษมาต่อแบคทีเรียชนิดหนึ่ง ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบคทีเรียบางชนิดสามารถรีดิวซ์

ซัลเฟตให้เป็นซัลไฟด์ได้ ซัลไฟด์มีบทบาทเกี่ยวข้องอยู่กับสมดุลเคมีของไฮโดรเจนซัลไฟด์ ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมจะพบซัลไฟด์ในรูปต่าง ๆ ระดับ pH จะเป็นตัวกำหนดชนิดและความเข้มข้นของซัลไฟด์ น้ำที่มี pH ต่ำจะพบไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ซึ่งเป็นก๊าซที่มีกลิ่นเหม็นหรือที่รู้จักกันดีว่าก๊าซไข่เน่า ซึ่งไฮโดรเจนซัลไฟด์นี้เองที่เป็นพิษต่อจุลินทรีย์โดยก๊าซชนิดนี้สามารถแทรกผ่านผนังเซลล์ของจุลินทรีย์และไปทำลายเซลล์ของจุลินทรีย์ได้ ส่วนน้ำที่ pH เป็นกลางจะพบซัลไฟด์ในรูปอิออนซัลไฟด์ซึ่งไม่มีกลิ่นเหม็น ในการวัดค่าซัลไฟด์ในน้ำเสียตามวิธีการของ APHA, AWWA, WEF(2005: unpaged), 4500-S^{2-} F นี้จะอาศัยหลักการที่เรียกว่า Iodometric method ที่อาศัยหลักการไทเทรต โดยใช้การเปลี่ยนสีของไอโอดีนที่ใช้เป็นอินดิเคเตอร์เป็นตัวบอกจุดยุติของปฏิกิริยา ค่าที่วัดได้เป็นค่าซัลไฟด์ในรูปของ S^{2-} ซึ่งเป็นตัวแทนของปริมาณซัลไฟด์ทั้งหมด (total sulfide) ที่หมายรวมถึง H_2S และ HS^- (APHA, AVWA, WEF. 2005: unpaged)

น้ำมันและไขมัน (Fat, Oil and Grease) หมายถึง ปริมาณน้ำมันและไขมันที่ปนเปื้อนในน้ำเสียทำให้ออกซิเจนจากอากาศไม่สามารถถ่ายเทลงสู่น้ำได้ ตามคำนิยามของ APHA, AVWA, WEF. (2005: unpaged) น้ำมันและไขมันหมายถึงสารทุกชนิดที่ละลายได้ในตัวทำละลาย และไม่ระเหยไปในระหว่างที่ทำการทดสอบ รวมถึงสารที่สกัดได้ด้วยตัวทำละลายในตัวอย่างที่มีการเติมกรด เช่น สารซัลเฟอร์ สี หรือคลอโรฟิวล์ เนื่องจากน้ำมันและไขมันมักเป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายด้วยวิธีทางชีวภาพได้ยาก และยังเป็นปัจจัยที่รบกวนการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียทุกชนิด สารอินทรีย์เคมีที่เป็นพิษจำนวนมากที่ละลายได้ดีในไขมันและน้ำมัน ดังนั้นเมื่อมีน้ำมันปนเปื้อนในปริมาณมากย่อมก่อให้เกิดปัญหาแก่แหล่งน้ำชุมชนที่น้ำเสียถูกปล่อยลงมา วิธีการทดสอบปริมาณน้ำมันและไขมันในน้ำเสียที่ห้องปฏิบัติการเลือกใช้คือ method 5520 B ซึ่งใช้หลักการ Partition-Gravimetric method ที่ใช้ตัวทำละลายสกัดไขมันจากน้ำเสียร่วมกับการใช้แรงเหวียง (centrifuge) เพื่อหาปริมาณน้ำมันและไขมัน

ค่าทีเคเอ็น (TKN) Total Kjeldahl Nitrogen หมายถึงปริมาณรวมทั้งหมดของ ไนโตรเจนอินทรีย์และแอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่อยู่ในโปรตีนของพืชและสัตว์หรือที่เกิดจากกระบวนการของสิ่งมีชีวิต เช่น เกิดจากการขับถ่าย ของเสีย เช่นในปัสสาวะ วิธีการทดสอบปริมาณไนโตรเจนรวมนั้นเลือกใช้ 4500-N_{org} B. Macro-Kjeldahl Method ซึ่งใช้กรดและด่างในการย่อยและคำนวณปริมาณไนโตรเจนในรูปความเข้มข้นสัมพัทธ์ของแอมโมเนีย

3. การบำบัดน้ำเสีย

การบำบัดน้ำเสีย หมายถึง การกำจัดหรือทำลายสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสียให้หมดไป หรือเหลือน้อยที่สุดให้ได้มาตรฐานที่กำหนดและไม่ทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม น้ำเสียจากแหล่ง

ต่างกันจะมีคุณสมบัติไม่เหมือนกันดังนั้นกระบวนการบำบัดน้ำจึงมีหลายวิธี โดยระบบบำบัดน้ำเสียทั่วไปมี 4 วิธี (สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล. 2556: ออนไลน์)

3.1 กระบวนการทางเคมี (chemical process)

กระบวนการทางเคมี เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยการแยกสารต่างๆ หรือสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสียที่บำบัด เช่น โลหะหนัก สารพิษ สภาพความเป็นกรด ด่างสูงๆ ที่ปนเปื้อนอยู่ด้วยการเติมสารเคมีต่าง ๆ ลงไปเพื่อให้เข้าไปทำปฏิกิริยาซึ่งจะมีประโยชน์ในการแยกสาร แต่วิธีนี้มีข้อเสียคือเมื่อเติมสารเคมีลงในน้ำเสียแล้ว ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและวิธีนี้จะมีค่าใช้จ่ายสำหรับสารเคมีค่อนข้างสูง ดังนั้นกระบวนการทางเคมีจะเลือกใช้ก็ต่อเมื่อน้ำเสียไม่สามารถบำบัดได้ด้วยกระบวนการทางกายภาพหรือชีวภาพ

การทำให้เกิดตะกอน (precipitation) อาศัยหลักการเติมสารเคมีลงไปทำปฏิกิริยาทำให้เกิดกลุ่มตะกอนตกลงมา โดยทั่วไปสารแขวนจะมีประจุลบ ดังนั้นสารเคมีที่เติมลงไปจึงเป็นประจุบวกเพื่อทำให้เป็นกลาง การแยกด้วยวิธีนี้มีค่าใช้จ่ายสูงแต่ก็มีประสิทธิภาพสูงเช่นกัน ดังนั้นวิธีนี้จะเลือกใช้ต่อเมื่อไม่สามารถ แยกได้โดยกระบวนการทางชีวภาพหรือกายภาพ โดยส่วนมากสารเคมีที่ทำให้เกิดตะกอนจะละลายน้ำ เช่น เกลือของสารประกอบต่างๆ เช่น เกลืออะลูมิเนียมซัลเฟต หรือสารส้ม ($Al_2(SO_4)$) เกลือเหล็ก ($FeCl_3$, $FeSO_4$) และเกลือของแคลเซียม ($Ca(OH)_2$) ส่วนเกลือที่นำมาช่วยในการเกิดตะกอนได้ดียิ่งขึ้นนี้เป็นสารประกอบของ กลุ่ม Activated ของ Silica และ Polyelectrolytes โดยกระบวนการทางเคมีมีหลายวิธี

การเกิดออกซิเดชันทางเคมี (chemical oxidation) อาศัยหลักการเสียอิเล็กตรอนของอะตอม ให้แก่สารเคมีที่เติมลงไปในน้ำเสียโดยสารเคมีนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวออกซิไดซ์ (oxidizing agent) ส่วนมากวิธีนี้จะนิยมใช้เปลี่ยนโมเลกุลของโลหะที่เป็นพิษ เช่น การเปลี่ยน Fe^{2+} ซึ่งมีพิษมากไปเป็นสาร Fe^{3+} ซึ่งมีพิษน้อย ด้วยคลอรีน ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$2Fe^{2+} + Cl_2 \text{ ---> } 2\ Fe^{3+} + 2Cl^-$$

การเกิดรีดักชันทางเคมี (chemical reduction) เป็นปฏิกิริยาที่มีการรับอิเล็กตรอน วิธีการนี้เป็นการเปลี่ยนสภาพของสารพิษไปเป็นสารที่มีอันตรายน้อยลง อะตอมหรืออิออน ของสารพิษจะรับอิเล็กตรอนจากสารเคมีที่เติมลงไปซึ่งมีสมบัติเป็นตัวรีดิวซ์ (reducing agent) เช่น การเปลี่ยน Cr^{6+} ซึ่งมีพิษมากไปเป็น Cr^{3+}ด้วย เฟอรัสซัลเฟต ($FeSO_4$) ในสภาพที่เป็นกรด ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$6\ FeSO_4 + 2\ CrO_3 + 6\ H_2SO_4 \text{-----> } 3\ Fe_2(SO_4)_3 + Cr_2(SO_4)_3 + 6\ H_2O$$

การสะเทิน (neutralization) เป็นการเปลี่ยนค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำเสียให้มีฤทธิ์เป็นกลาง (pH = 7) ถ้าต้องการปรับค่าน้ำเสียที่มีฤทธิ์เป็นกรด (pH < 7 ในน้ำเสียให้สูงขึ้นต้องเติมสารที่มีฤทธิ์เป็นด่าง เช่น แคลเซียมคาร์บอเนตหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ ส่วนกรณีถ้าต้องการปรับน้ำเสียมีฤทธิ์เป็นด่าง (pH > 7) ให้มีค่า pH ต่ำลงจะต้องเติมกรด เช่น กรดซัลฟิวริก กรดไนตริก กรดเกลือและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น

3.2 กระบวนการทางชีววิทยา (Biological Process)

กระบวนการทางชีววิทยา (biological process) เป็นการอาศัยหลักการใช้จุลินทรีย์ต่าง ๆ มาทำการย่อยสลายเปลี่ยนอินทรีย์สารไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และแอมโมเนีย เป็นการบำบัดน้ำเสียที่ดีที่สุดในแง่ของการลดปริมาณสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำ แต่หลักการนี้เลือกสภาวะแวดล้อมให้เหมาะกับการทำงานของจุลินทรีย์ โดยสัมพันธ์กับปริมาณของจุลินทรีย์ และเวลาที่ใช้ในการย่อยสลาย แบคทีเรียที่เลือกใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์แยกออกได้เป็น 2 ประเภท คือ แบคทีเรียที่ต้องใช้ออกซิเจน (aerobic bacteria) ส่วนกลุ่มที่ 2 เป็นพวกไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic bacteria)

3.3 กระบวนการทางกายภาพ (physical process)

กระบวนการทางกายภาพ (physical process) เป็นการบำบัดน้ำเสียอย่างง่ายซึ่งจะแยกของแข็งที่ไม่ละลายน้ำออก วิธีนี้จะแยกตะกอนได้ประมาณ 50-65% ส่วนเรื่องการแยกความสกปรกในรูปของสารอินทรีย์ (BOD_5) ประมาณ 20-30% เท่านั้น วิธีการต่าง ๆ ในกระบวนการนี้มีหลายวิธี เช่น การดักด้วยตะแกรง (screening) เป็นการแยกเศษขยะต่าง ๆ ที่มากับน้ำเสีย เช่น เศษไม้ ถุงพลาสติก กระดาษ ตะแกรงมีหลายขนาด การดักด้วยตะแกรงจึงเป็นการแยกขั้นตอนแรกในการบำบัดน้ำเสีย การตัดย่อย คือ การใช้เครื่องตัดทำลายเศษขยะขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลง การกวาด (skimming) เป็นการกำจัดน้ำมันและไขมันโดยทำการดักหรือกวาดออกจากน้ำเสีย การทำให้ลอย (floating) จะใช้กับตะกอนที่มีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าน้ำ การตกตะกอน (sedimentation) เป็นการแยกตะกอนออกจากน้ำเสียโดยอาศัยหลักการเรื่องแรงโน้มถ่วง ซึ่งจะใช้กับตะกอนที่มีความถ่วงจำเพาะมากกว่าน้ำ

3.4 กระบวนการทางกายภาพ-เคมี (physical-chemical process)

กระบวนการทางกายภาพ-เคมี เป็นกระบวนการที่ต้องมีอุปกรณ์ช่วยมากกว่ากระบวนการที่กล่าวมา ซึ่งกระบวนการนี้จะใช้ในขั้นตอนสุดท้ายในการบำบัดน้ำเสีย ที่ผ่านกระบวนในขั้นตอนอื่นแล้ว เช่น กระบวนการดังต่อไปนี้

- การดูดซับด้วยถ่าน (carbon adsorption) วิธีการนี้ใช้ผงถ่านหรือคาร์บอนเป็นตัวดูดซับสารเจือปนที่ละลายอยู่ในน้ำทิ้ง
- การแลกเปลี่ยนประจุ วิธีการนี้อาศัยหลักการแลกเปลี่ยนประจุระหว่างสารปนเปื้อนในน้ำเสียกับตัวกลางที่บรรจุซึ่งมีทั้งประจุบวกและประจุลบ โดยจะมีการลำเลียงน้ำภายใน

4. วิธีการบำบัดน้ำเสีย

ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสีย โดยทั่วไปการบำบัดน้ำทิ้งแบ่งออกได้เป็น 4 ขั้นดังนี้

- การบำบัดขั้นเตรียมการ (preliminary treatment) เป็นขั้นตอนการแยกสิ่งสกปรกที่มีขนาดใหญ่ ไม่ละลายน้ำออกจากน้ำ โดยการใช้ตะแกรง (Screens)
- การบำบัดขั้นต้น (primary treatment) น้ำเสียที่ผ่านขั้นตอนจากข้อที่ 1 แล้ว จะถูกนำมาตกตะกอนในถังตกตะกอน ซึ่ง เรียกว่า primary sludge การบำบัดในขั้นนี้จะลดค่า BOD ได้ประมาณ 25-40% แล้วแต่คุณลักษณะของน้ำทิ้งและประสิทธิภาพของถังตกตะกอน
- การบำบัดขั้นที่สอง (secondary treatment) น้ำเสียจากข้อ 2 จะถูกนำเข้าไปสู่ถังเติมอากาศซึ่งจะมีการเติมอากาศให้แก่แบคทีเรียโดยใช้เครื่องเติมอากาศ แบคทีเรีย ช่วยย่อยสลายและกำจัดสารอินทรีย์หรือ BOD ซึ่งอยู่ในรูปของสารละลายหรืออนุภาคคอลลอยด์ ออกไปจากน้ำกลายเป็นตะกอน ตกลงไปที่ก้นถังกากตะกอนในส่วนนี้จะถูกนำไปกำจัดต่อไป น้ำในส่วนบนของถังตกตะกอนจะใสขึ้น ในขั้นตอนนี้จะช่วยลดค่า BOD ลงได้ประมาณ 75-95% ซึ่งค่า BOD ของน้ำส่วนนี้จะต่ำกว่า 20 มิลลิกรัม/ลิตร สามารถปล่อยทิ้งลงสู่แม่น้ำได้แต่ถ้าต้องการความสะอาดเหมาะแก่การนำกลับมาใช้ใหม่เข้าสู่การบำบัดขั้นที่ 3 ต่อไป
- การบำบัดขั้นที่สาม (Tertiary treatment) ต้องการความบริสุทธิ์สะอาดสามารถนำกลับมาใช้อุปโภคและบริโภคได้ กระบวนการบำบัดนี้จึงเป็นกระบวนการเคมีรวมกับฟิสิกส์ - เคมี น้ำทิ้งจากการบำบัด ขั้นตอนที่สอง จะถูกนำมาตกตะกอนด้วยวิธีทางเคมีแยกสารประกอบฟอสเฟตออกด้วยปูนขาว จากนั้นจึงนำมากำจัดสารอินทรีย์ที่เหลืออยู่ด้วยกระบวนการทาง ฟิสิกส์ -เคมีด้วยวิธีการ ion exchange ซึ่งจะได้น้ำที่สะอาดเมื่อผ่านการฆ่าเชื้อโรคแล้วจะได้น้ำที่สะอาด

5. การบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซน

การบำบัดน้ำเสียของประเทศไทยในปัจจุบันมีหลายรูปแบบ เช่น การเติมอากาศ การใช้จุลินทรีย์ และการใช้สารเคมี เป็นต้น ซึ่งแต่ละวิธีมีข้อดี-ข้อเสียแตกต่างกันไป การบำบัดน้ำเสียโดยการใช้โอโซนเป็นวิธีการใหม่ที่นำมาประยุกต์ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสีย โดยแต่เดิมโอโซนถูกนำมาใช้ในการผลิตน้ำดื่ม และต่อมาจึงนำมาใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมมาเป็นเวลานานกว่า 90 ปี (Loeb; et al. 2012: 64) การบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนได้รับการยอมรับว่ามีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคต่าง ๆ ซึ่งสามารถกำจัดทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ รวมทั้งยังไม่ก่อให้เกิด

สารเคมีตกค้างหลังการใช้ ในขณะที่การบำบัดด้วยสารเคมี เช่น คลอรีน (Cl_2) โปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนตหรือด่างทับทิม($KMnO_4$) และโซเดียมไฮโปคลอไรต์ (NaClO) สามารถฆ่าเชื้อโรคและทำลายสารเคมีได้บางชนิดเท่านั้น และยังมีสารตกค้างเมื่อต้องปล่อยน้ำเสียเหล่านี้ลงสู่ชุมชน การใช้ก๊าซโอโซนได้ถูกนำมาใช้ครั้งแรกในประเทศฝรั่งเศสเพื่อผลิตน้ำบริโภคแทนคลอรีน หลังจากนั้นการใช้โอโซนก็ได้แพร่ขยายไปทั่วทวีปยุโรป ตั้งแต่ปี พ.ศ.2455 และได้นำมาใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานฟอกย้อม โรงงานเยื่อกระดาษ โรงงานผลิตสารเคมี โรงกลั่นน้ำมัน และโรงงานทอผ้า เป็นต้น (พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ และ สุรพล บุญดวง. 2549: ออนไลน์) จากการสำรวจในเขตพื้นที่ EA3G (European, African, Asian, Australian group) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2512-2547 พบว่าการใช้โอโซนเพิ่มขึ้น โดยมีการใช้มากที่สุดเพื่อผลิตน้ำดื่ม รองลงมาได้แก่การใช้โอโซนเพื่อบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม และใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม (Loeb; et al. 2012: 67) สำหรับในประเทศไทยนั้นไม่มีข้อมูลอ้างอิงที่แน่นอนเกี่ยวกับปริมาณการใช้โอโซน แต่จากการสำรวจข้อมูลผ่านเครือข่ายสารสนเทศพบว่ามีการนำเข้า และจำหน่ายเครื่องผลิตโอโซนเพื่อผลิตน้ำดื่มและใช้เพื่อบำบัดน้ำเสียจากโรงงานเพิ่มมากขึ้นในช่วง 2-3 ปีที่ผ่านมา

สำหรับการทำงานของโอโซนเพื่อบำบัดน้ำเสียนั้นเกิดจากการที่โอโซนมีคุณสมบัติเป็นสารออกซิไดซิ่งเอเจนท์ที่มีฤทธิ์แรง (strong oxidizing agent) เมื่อผสมอยู่ในน้ำสามารถทำปฏิกิริยาฆ่าเชื้อได้ดีกว่าคลอรีนร้อยละ 52 และเร็วกว่า 3,000 เท่า (สุรพล รักปทุม. 2543: 78) และยังมีอายุสั้นกว่าคลอรีนมาก ทำให้ไม่เกิดสารตกค้างในน้ำ การบำบัดน้ำด้วยโอโซนมักมีวัตถุประสงค์เพื่อนำมาใช้ในการกำจัดสี กลิ่น สารพิษ และเชื้อโรคต่างๆ ในทางเคมีกลไกการทำงานของโอโซนเป็นไปได้ 2 รูปแบบคือ 1) เมื่อโอโซนละลายในน้ำ โอโซนจะทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำโดยตรง (electrophile attack) หรือ 2) การเกิดปฏิกิริยากับสารอื่นทางอ้อมผ่านการเกิดไฮดรอกซิลเรดิเคิล (hydroxyl radical; radical attack) จากคุณสมบัติดังกล่าวทำให้มีการนำโอโซนไปประยุกต์ใช้ร่วมกับการบำบัดน้ำเสียระบบอื่นในหลายขั้นตอน ได้แก่ ใช้ฆ่าเชื้อโรคในขั้นตอนสุดท้ายก่อนปล่อยน้ำเสียทิ้งสู่ภายนอก ใช้เพื่อปรับสภาพตะกอนก่อนปล่อยทิ้ง ใช้ควบคุมและบำบัดกลิ่น และ ใช้เพื่อพรีออกซิไดซ์ (peroxidation) น้ำเสียก่อนที่จะบำบัดด้วยวิธีอื่น (Loeb; et al. 2012: 72)

ตาราง 2 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้คลอรีนและโอโซนในการบำบัดน้ำเสีย โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพในแง่ของปฏิกิริยาทางเคมีที่มีต่อลักษณะต่าง ๆ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการใช้โอโซนเพื่อการบำบัดน้ำเสียนั้น มีข้อดีมากกว่าการใช้คลอรีน ตาราง 3 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการใช้ คลอรีน คลอรีนเปอร์ออกไซด์ และการใช้โอโซน จะเห็นได้ว่า การใช้โอโซนก็ยังมีข้อดีมากกว่าการบำบัดน้ำด้วยวิธีการอื่น ถึงแม้ว่าโอโซนจะมีประสิทธิภาพสูงเมื่อนำมาใช้ในการบำบัดน้ำ แต่โอโซนนั้นยังถูกจำแนกให้เป็นก๊าซพิษที่อาจก่อให้เกิดความระคายเคืองรุนแรงถ้าได้รับโดยตรงและในปริมาณที่สูง ตาราง 4 แสดงผลของกระทบของโอโซนที่การใช้งานที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ โอโซนเป็นอันตรายโดยตรงต่อปอดและตา ทำให้เยื่อหุ้มตาอักเสบ ผู้ที่อยู่ใน

บรรยากาศของโอโซนอาจถึงแก่ความตายได้ มนุษย์สามารถรับสัมผัสโอโซนได้ที่ระดับความเข้มข้นต่ำมาก ๆ ซึ่งโอโซนจะมีกลิ่นเหม็นทำให้รู้ตัวเสียก่อน มนุษย์สามารถทนโอโซนได้ถึง 0.1 ppm โดยไม่เป็นอันตราย แต่ถ้าความเข้มข้นสูงถึง 1-4 ppm มนุษย์จะทนได้เพียง 8 และ 1 นาทีตามลำดับ โดยไม่มีอาการผิดปกติ แต่ถ้านานกว่านี้อาจเกิดอาการผิดปกติ เช่น ไอ คอแห้ง หายใจลำบาก เคืองตา มีน้ำตาไหล ปวดหัว และแสบเยื่อจมูก ถ้ามนุษย์ดมโอโซนเข้มข้นประมาณ 1% โดยตรงจากเครื่องผลิตโอโซน จะถึงแก่ความตายได้ใน 1 นาที (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. 2539: 82)

ตาราง 2 การเปรียบเทียบปฏิกิริยาระหว่างโอโซนกับคลอรีนในการบำบัดน้ำ

ปฏิกิริยา	คลอรีน	โอโซน
กลิ่น	ไม่คงที่	ไม่มี
รส	ไม่คงที่	ไม่มี
สี	ขาวเหลือง	ใสบริสุทธิ์
การต่อต้านไวรัส	ไม่มี	สูง
การต่อต้านแบคทีเรีย	หลากหลาย	กว้างขวาง
ผลทางการทำลาย	เบา	สูง
การเคลื่อนที่ของโมเลกุล	ไม่มี	สูง

ที่มา: ห้างหุ้นส่วนจำกัดอิโนเวชันไอเดีย. (ม.ป.ท.). การประยุกต์ใช้งานเครื่องผลิตโอโซน: ออนไลน์

งานวิจัยนี้ได้นำโอโซนมาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากโอโซนสามารถฆ่าเชื้อโรคได้ด้วยกลไกการทำลายผนังเซลล์ของเชื้อโรค ทำให้สามารถฆ่าเชื้อโรค เชื้อรา ไวรัส และแบคทีเรียได้ โอโซนมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อได้ดีกว่าและเร็วกว่าคลอรีน และไม่เหลือสารเคมีตกค้าง โอโซนสามารถฆ่าเชื้อโรคได้ทั้งในน้ำและอากาศ สามารถขจัดกลิ่นเหม็นของน้ำเสียได้โดยการสลายโครงสร้างของไอระเหยจากสารอินทรีย์และอนินทรีย์ส่วนใหญ่ให้เป็นโมเลกุลที่ไม่มีกลิ่นและไม่มีพิษ จึงถูกนำมาใช้แก้ปัญหามลพิษและกลิ่นเหม็นในอากาศ การใช้โอโซนยังสามารถช่วยขจัดตะกรันและตะไคร่น้ำ โดยอาศัยความสามารถของโอโซนที่ทำลายผนังเซลล์ของแบคทีเรียซึ่งเป็นต้นกำเนิดของไบโอฟิล์ม และแหล่งสะสมตะกรัน จึงสามารถแก้ปัญหาตะกรันใน Cooling Tower ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โอโซนสามารถขจัดสารพิษ สี และโลหะได้ โดยกลไกการสลายโครงสร้างของสารเคมี ยาฆ่าแมลง สี และสารพิษต่าง ๆ นอกจากนี้โอโซนยังช่วยลดค่า BOD และ ค่า COD (chemical

oxygen demand; ซีโอดี) ในระบบบำบัดน้ำใช้และน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ (ห้างหุ้นส่วนจำกัดอิโนเวชันไอเดีย. ม.ป.ท.: ออนไลน์)

ตาราง 3 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของโอโซน คลอรีน และคลอรีนไดออกไซด์ ในการบำบัดน้ำ

คุณสมบัติ	คลอรีน	คลอรีนไดออกไซด์	โอโซน
ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคเทียบกับคลอรีน	1 เท่า	5 -7 เท่า	3,125 เท่า
ความสามารถในการฆ่าเชื้อโรคที่มีสปอร์ห่อหุ้ม	ไม่ดี	ดี	ดีมาก
ผลจากปฏิกิริยามีผลทำให้เกิดกลิ่นเหม็น	มี	ไม่มี	ไม่มี
ผลจากปฏิกิริยามีผลก่อให้เกิดสารก่อมะเร็ง (trihalomethanes, THMs)	มี	ไม่มี	ไม่มี
เกิดสารเคมีตกค้างในน้ำที่ใช้แล้วไปทำลายสภาพแวดล้อม	เกิด	เกิด	ไม่เกิด
ค่าใช้จ่ายในระยะยาว	สูง	สูง	ต่ำ
ความปลอดภัยต่อผู้ใช้งาน	ต่ำ	ปานกลาง	สูง
ช่วง pH ในการฆ่าเชื้อโรค	แคบ	กว้าง	กว้าง
ปริมาณสารหลงเหลือในน้ำที่เหมาะสมในการล้างอาหาร ผัก ผลไม้	ไม่ควรใช้	0.6 ppm	0.3-0.4 ppm

ที่มา: ห้างหุ้นส่วนจำกัดอิโนเวชันไอเดีย. (ม.ป.ท.). การประยุกต์ใช้งานเครื่องผลิตโอโซน: ออนไลน์

การผลิตโอโซนทำได้หลายวิธี แต่โดยทั่วไปการผลิตโอโซนเชิงพาณิชย์ ได้แก่ การผลิตโอโซนจากโมเลกุลของออกซิเจน ด้วยวิธีทางไฟฟ้า (electrical method) การใช้แสง UV (photochemical method) การผลิตโอโซนด้วยกระแสไฟฟ้าสามารถผลิตโอโซนได้ในในปริมาณมากกว่าการใช้แสง UV และนอกจากนั้นยังมีประสิทธิภาพมากกว่าเมื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตปริมาณมาก หลักการทางเคมีที่ใช้ในการผลิตโอโซนด้วยไฟฟ้า (electric discharge) หรืออาจเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่า corona discharge หรือ silent discharge เกี่ยวเนื่องกับการทำปฏิกิริยาระหว่างอะตอมของออกซิเจนซึ่งมีอายุสั้นมาก (10^{-5} วินาที) กับโมเลกุลของออกซิเจนเพื่อผลิตโอโซน หลักการเบื้องต้นของการเกิดโอโซน คือ เมื่อก๊าซที่ใช้ในการผลิตโอโซนผ่านเข้าสู่ช่องว่างภายในอิเล็กโทรดที่มีความต่างศักย์ประมาณ 10 kV ค่าความต่างศักย์ดังกล่าวทำให้เกิดการปล่อยประจุไฟฟ้า ทำให้ก๊าซแตกตัวเป็นไอออนและเกิดปรากฏการณ์การเรืองแสงสีม่วงในอากาศ จากนั้น

โมเลกุลของออกซิเจน 3 อะตอมที่แตกตัวจะรวมตัวกันใหม่เกิดเป็นโอโซน (พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ และสุรพล บุญดวง. 2549: ออนไลน์) ก๊าซที่นำมาใช้ในการผลิตโอโซนที่ใช้กันอย่างแพร่หลายนั้นมี 2 ชนิด ได้แก่ อากาศและออกซิเจน การใช้อากาศเป็นแหล่งผลิตโอโซนเป็นวิธีที่ใช้มาก่อนการใช้ออกซิเจน โดยมีข้อดีทางด้านต้นทุนที่ต่ำกว่าการใช้ออกซิเจน เนื่องจากอากาศเป็นวัตถุดิบต้นทุนที่ใช้ได้จากธรรมชาติ แต่การใช้อากาศผลิตโอโซนนั้นได้ผลผลิตต่ำกว่า เนื่องจากในอากาศมีออกซิเจนที่ใช้ผลิตโอโซนเพียง 20.9 % เท่านั้น ส่วนการใช้ออกซิเจนเป็นแหล่งผลิตโอโซนนั้นให้ปริมาณโอโซนที่มากว่าและได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้น (Wojtowicz. 2004: 771) โดยในประเทศญี่ปุ่นการใช้ออกซิเจนเป็นแหล่งผลิตโอโซนได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นในช่วงปลายพุทธศักราช 2533 (Loeb; et al. 2012: 72)

ตาราง 4 ระดับความเข้มข้นของโอโซนและผลกระทบของโอโซน

ความเข้มข้นของโอโซน (ppm)	**ระยะเวลาการสัมผัส**	**ผลกระทบ**
0.01 – 0.02	ไม่จำกัด	ไม่มีกลิ่นคาว
0.10	8 ชั่วโมง/วันหรือ ไม่เกิน 40 ชั่วโมง/สัปดาห์	มีกลิ่นคาวเล็กน้อย
0.30	15 นาที/ชั่วโมง วันละไม่เกิน 4 ครั้ง	มีกลิ่นคาวมาก
0.40	ไม่ปลอดภัย	วิงเวียนศีรษะ คลื่นไส้
0.60	ไม่ปลอดภัย	อาจมีผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจ

ที่มา: ห้างหุ้นส่วนจำกัดอิโนเวชันไอเดีย. (ม.ป.ท.). การประยุกต์ใช้งานเครื่องผลิตโอโซน: ออนไลน์

6. แนวคิดที่แตกต่างกันในด้านเทคโนโลยี

เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียในปัจจุบันส่วนมากยังเป็นการบำบัดน้ำเสียโดยใช้คลอรีน โดยตาราง 5 เป็นข้อมูลเปรียบเทียบลักษณะการทำงานและข้อได้เปรียบของการใช้โอโซน และนอกจากนี้ภาพประกอบ 1-3 คือภาพการบำบัดน้ำเสียที่มรการใช้สารเคมีร่วมกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศ ซึ่งเป็นภาพจากสถานที่จริงของระบบบำบัดน้ำเสียในโรงพยาบาล สารเคมีที่มีการใช้ ได้แก่ คลอรีน และ โซเดียมไฮโปคลอไรด์

ตาราง 5 การเปรียบเทียบระหว่างเทคโนโลยีปัจจุบันกับเทคโนโลยีในการวิจัย

รายการ	เทคโนโลยีที่ใช้ในปัจจุบัน	เทคโนโลยีที่ใช้ในโครงการวิจัย
เงินลงทุน	ใช้เงินลงทุนสูง (ประมาณ 5 ล้านบาท)	ใช้เงินลงทุนต่ำ (ประมาณ 2 แสนบาท)
สถานที่บำบัดน้ำเสีย	ต้องใช้พื้นที่กว้าง (อย่างน้อย 1,000 ตร.ม)	ไม่ต้องการใช้พื้นที่กว้าง (50 ตร.ม)
การติดตั้ง	เป็นการติดตั้งที่ถาวรยากต่อการเคลื่อนย้ายปรับเปลี่ยน	สะดวกต่อการติดตั้ง สามารถปรับหรือเคลื่อนย้ายได้
การฆ่าเชื้อ	ใช้คลอรีน	ใช้โอโซน

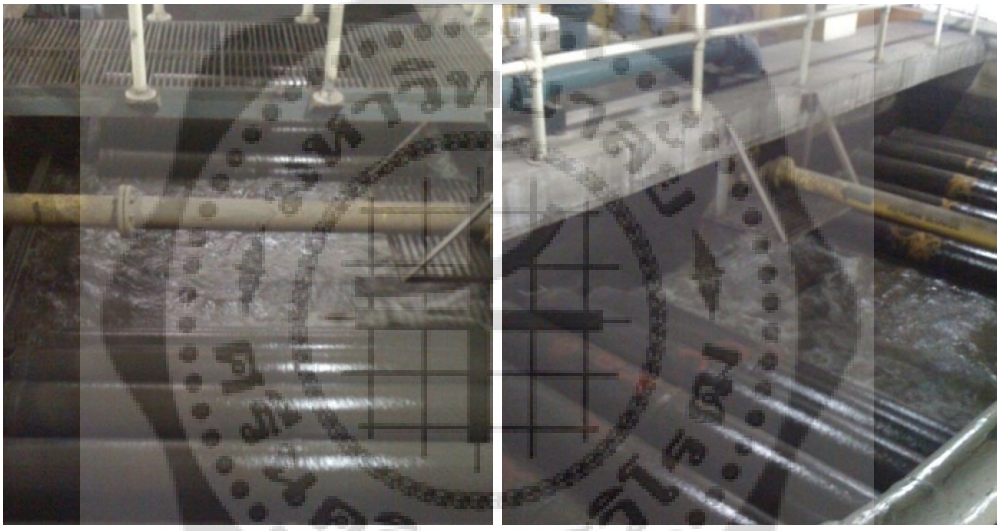
7. หลักการของเครื่องผลิตโอโซน

เครื่องผลิตกาซโอโซนโดยทั่วไปจะใช้หลักการของ Electric Discharge ก็คือสนามไฟฟ้าแรงสูง ทำให้ออกซิเจนโมเลกุลแตกตัวเป็นออกซิเจนอะตอมแล้วรวมกับออกซิเจนโมเลกุลตัวอื่น ๆ กลายเป็นโอโซน

คุณสมบัติที่โดดเด่นของโอโซนเพื่อการประยุกต์ใช้งานเครื่องกำเนิดโอโซน (ห้างหุ้นส่วนจำกัดอิโนเวชันไอเดีย. ม.ป.ท.: ออนไลน์)

- โอโซนมีคุณสมบัติเป็นสารที่ไวต่อการทำปฏิกิริยาเคมีทั้งกับสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ได้กว้างขวางโดยไม่ก่อผลตกค้างที่เป็นพิษ
- โอโซนมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคได้ดีเป็นที่ยอมรับว่าโอโซนสามารถฆ่าเชื้อโรคได้ดีกว่าคลอรีนถึง 3,125 เท่า เช่น โอโซนละลายน้ำที่ความเข้มข้น 0.01 ส่วนในล้านส่วน ฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้ 99% ภายใน 1 นาที โอโซนละลายน้ำที่ความเข้มข้น 0.4 ส่วนในล้านส่วน ฆ่าเชื้อไวรัสได้ 99% ภายใน 4 นาที

ภาพประกอบ 1 ระบบดูดน้ำเสียลงบ่อพักเพื่อรอการบำบัด



ภาพประกอบ 2 ขั้นตอนการเติมอากาศ

ภาพประกอบ 3 การบำบัดน้ำเสียในส่วนการเติมสารเคมี

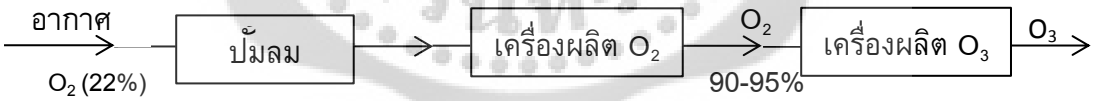
- โอโซนมีประสิทธิภาพในการสลายกลิ่นของสารระเหยต่าง ๆ ได้ดีด้วยการทำปฏิกิริยาเคมีและเปลี่ยนโครงสร้างสาร เช่น โอโซนทำปฏิกิริยากับฟอร์มาลีนได้ น้ำ ออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการ

$$HCHO + 2O_3 \rightarrow H_2O + 2O_2 + CO_2$$

- โอโซนมีประสิทธิภาพในการสลายความเป็นพิษของสารเคมีด้วยการทำปฏิกิริยาเคมีและเปลี่ยนโครงสร้างสารเช่น- โอโซนทำปฏิกิริยากับไซยาไนด์เป็นไซยาเนท
- โอโซน มีประสิทธิในการออกซิไดซ์โลหะหนักในน้ำเสียต่าง ๆ เช่น ทำปฏิกิริยาโดยออกซิไดซ์สนิมเหล็ก Fe^{2+} เป็น Fe^{3+} ซึ่งตกตะกอนและกรองออกได้
- โอโซนมีประสิทธิภาพในการสลายสีในน้ำทิ้งและน้ำเสียได้ดีด้วยการทำปฏิกิริยาเคมีและการเปลี่ยนโครงสร้าง
- โอโซนมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของสาหร่ายและตะไคร่น้ำ ในระบบน้ำหล่อเย็น (Cooling Tower) ทำให้การถ่ายเทความร้อนของระบบดีขึ้น และช่วยประหยัดพลังงานได้มากขึ้น

8. ระบบการผลิตโอโซน (Ozone Generating System)

ระบบการผลิตโอโซนประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 2 ส่วน คือ เครื่องผลิตโอโซน และ เครื่องผลิตออกซิเจน ดังแสดงในภาพประกอบ 4



ภาพประกอบ 4 แผนผังขั้นตอนการผลิตโอโซน

8.1 เครื่องผลิตโอโซน (Ozone Generator) ประกอบด้วย

- **หลอดผลิตโอโซน**

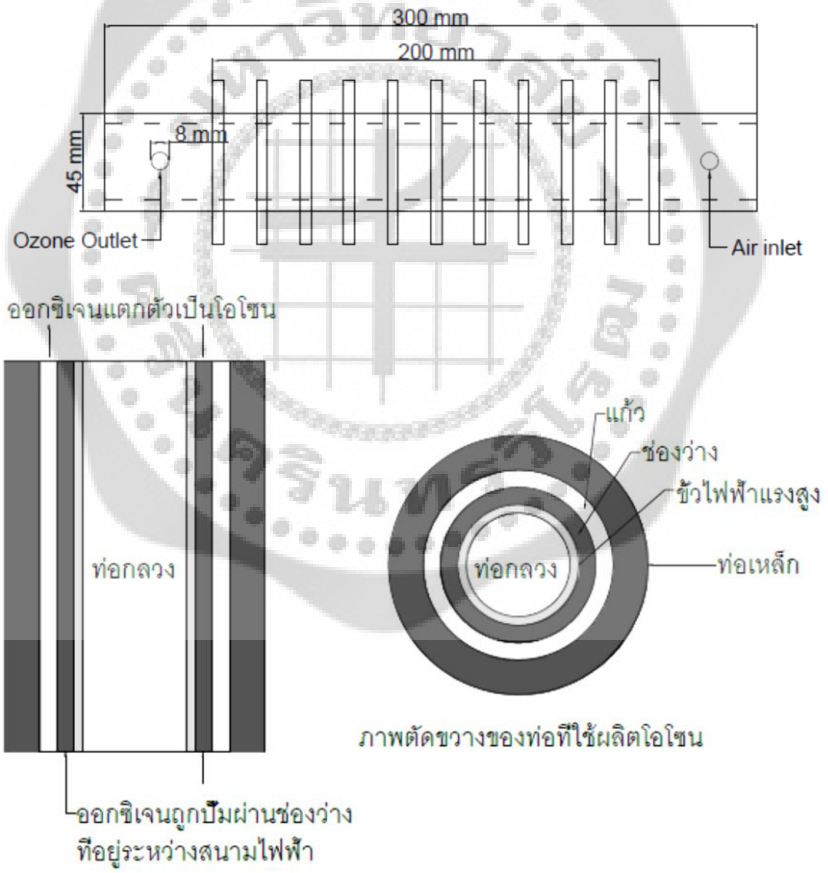
หลอดผลิตโอโซน ประกอบด้วยท่อทรงกระบอก 3 ชั้น ชั้นนอกสุดทำด้วยสเตนเลส หรืออะลูมิเนียม ชั้นที่ 2 เป็นท่อแก้วไพเร็กซ์ ส่วนทรงกระบอกชั้นที่ 3 ซึ่งเป็นชั้นในสุดเป็นท่อสเตนเลสบางสำหรับขนาดของท่อและความยาวของหลอดจะเป็นตัวกำหนดความเข้มของโอโซนที่หลอดผลิตได้

- **เครื่องผลิตออกซิเจน (O_2 Generator)**

เครื่องผลิตออกซิเจน ประกอบด้วย ปั๊มลม แอร์คอมเพรสเซอร์ (ชุดทำความเย็น) แอร์ไดรเออร์ (ชุดทำให้อากาศแห้ง) และ หลักการทำงานของหลอดผลิตโอโซนสามารถแสดงได้โดยภาพตัดขวางในภาพประกอบ 5

- **แหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดันสูง**

ไฟฟ้าแรงดันสูงที่จ่ายให้หลอดผลิตโอโซน ทำได้โดยหม้อแปลงไฟฟ้าเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้น ซึ่งในเครื่องนี้เป็นแบบ Switching power supply โดยทำการแปลงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 v/50 Hz ให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 1-10 kV/1-10 kHz การทำงานของ Switching power supply



ภาพประกอบ 5 แผนผังตัวอย่างของหลอดผลิตโอโซนด้านหน้าและด้านข้างที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 45 เซนติเมตร และผลิตโอโซนได้ประมาณ 5-15 กรัมต่อชั่วโมง

8.2 การประยุกต์ใช้งานเครื่องกำเนิดโอโซน

- การใช้โอโซนบำบัดอากาศในสถานพยาบาล/สำนักงาน
- การใช้โอโซนบำบัดอากาศในสถานบันเทิง
- การใช้โอโซนบำบัดฆ่าเชื้อโรคในห้องเย็น
- การใช้โอโซนบำบัดกลิ่นในขบวนการผลิต
- การใช้โอโซนผลิตน้ำดื่มคุณภาพ
- การใช้โอโซนบำบัดน้ำหล่อเย็น (Cooling Tower)
- การใช้โอโซนบำบัดสลายโลหะหนักในน้ำ
- การใช้โอโซนบำบัดน้ำเสียในขั้นตอนสุดท้าย ฆ่าเชื้อโรค สลายสี และสลายโลหะหนัก
- การใช้โอโซนบำบัดน้ำสระว่ายน้ำ
- การใช้โอโซนในการซักล้างเสื้อผ้าฆ่าเชื้อโรค
- การใช้โอโซนในกระบวนการผลิตอาหาร ชำระล้างอาหาร ภาชนะและส่วนส่วนประกอบอื่นๆ ที่ใช้ผลิตอาหาร
- การใช้โอโซนบำบัดน้ำเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

9. เครื่องผลิตโอโซนเพื่อการบำบัดน้ำเสีย (ธนวัฒน์ ฉลาดสกุล. 2552: 77)

การออกแบบเครื่องกำเนิดโอโซนนั้นจะใช้หลักการของโคโรนาดิสชาร์จเพื่อนำเอาโอโซนไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียลักษณะการสร้างโอโซนจะอัดอากาศที่มีก๊าซออกซิเจนไหลผ่านช่องว่างไดอิเล็คตริกในสภาวะที่มีความเครียดสนามไฟฟ้าสูงทำให้ก๊าซออกซิเจนเกิดการแตกตัวเป็นอะตอมออกซิเจน และเมื่อมีอากาศผ่านเข้ามาก็จะเกิดการรวมตัวกลายเป็นโอโซน โดยมีไดอะแกรมขั้นตอนการทำงานภาพประกอบ 6

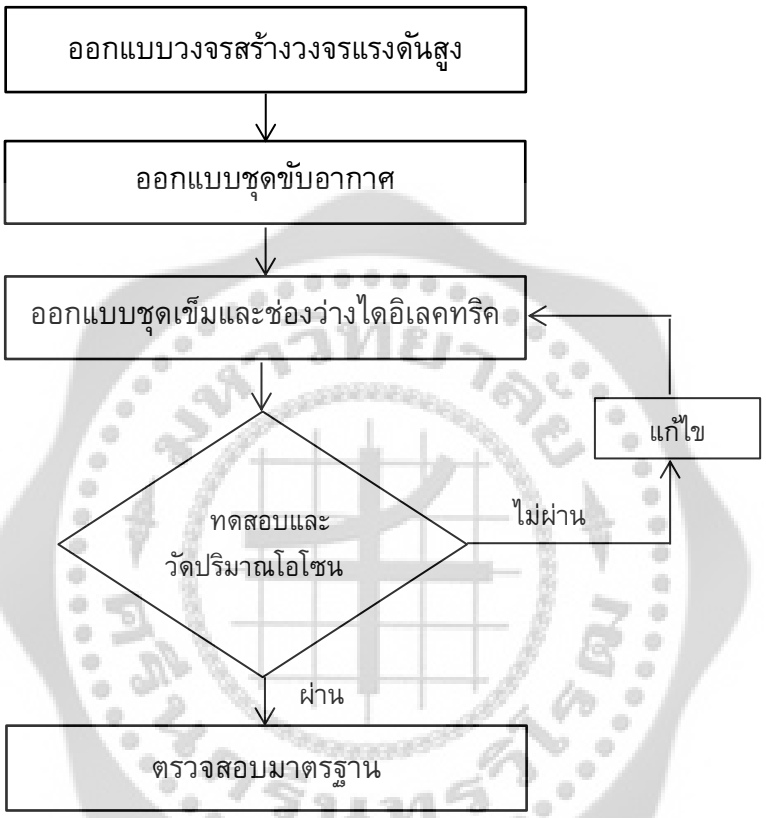
ในการออกแบบเครื่องกำเนิดโอโซนจะมีส่วนประกอบที่สำคัญโดยในการออกแบบในแต่ละส่วนต้องคำนึงให้แต่ละส่วนสามารถนำมาประกอบกันได้พอดี การทำงานของเครื่องกำเนิดโอโซนโดยใช้โคโรนาดิสชาร์จสามารถจำแนกส่วนประกอบแต่ละส่วนดังนี้

9.1 การออกแบบวงจรควบคุมแรงดันสูงกระแสสลับ

การออกแบบวงจรควบคุมการทำงานของวงจรจะใช้ทรานซิสเตอร์ในการขับการทำงานของคอยล์จุดระเบิดซึ่งความถี่ที่ใช้ในการขับคอยล์จะอยู่ประมาณ 80Hz

9.2 การออกแบบวงจรสร้างสัญญาณจาก IC 555

ในการออกแบบการสร้างพัลส์โดยเลือกใช้ IC 555 เนื่องจากสัญญาณที่ขา 3 ของ IC 555 ที่เป็นขาเอาท์พุทจะมีลักษณะพัลส์เป็นสัญญาณ Square Wave ซึ่งจะทำให้ทรานซิสเตอร์ไม่รับภาระทางด้านกระแสมากเกินพิกัด



ภาพประกอบ 6 การทำงานของการออกแบบเครื่องกำเนิดโอโซน

9.3 การออกแบบชุดควบคุมอากาศ

ความชื้นของอากาศมีผลต่อการเกิดโอโซนเพราะความชื้นในอากาศจะระเหยและเกิดการรวมตัวกันกลายเป็นหยดน้ำ ซึ่งความชื้นในอากาศรวมตัวกับโอโซนและกลายเป็นกรดไนตริกที่จะมีผลต่อท่อกำเนิดโอโซนและอุปกรณ์อื่น ๆ ในขณะที่อากาศที่มีอุณหภูมิสูงจะทำให้เกิดการดิสชาร์จหรือเบรกดาวน์ได้ง่ายขึ้น ทำให้ผลิตก๊าซโอโซนได้ปริมาณมากขึ้น ในงานวิจัยของธนวัฒน์ ฉลาดสกุล (2552: 80) ใช้ปั๊มลมในการควบคุมความร้อนทำให้เมื่อเปิดไปได้สักระยะหนึ่งก็จะทำให้เกิดความร้อนซึ่งไม่จำเป็น จึงต้องมีชุดอุ่นอากาศเพื่อเป็นการประหยัดพลังงานและกำจัดความชื้นในอากาศเพื่อลดปัญหาการเกิดกรดไนตริกดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

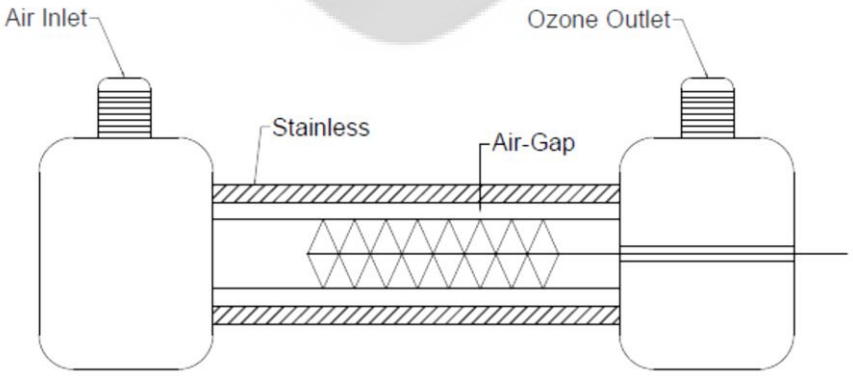
9.4 การออกแบบชุดเข็มไดอิเล็คตริก

หลอดไดอิเล็คตริกประกอบไปด้วยท่อสแตนเลส แซ่หางม้า ฝาไม้ครอบหัวท้ายเป็นการสร้างปรากฏการณ์โคโรนาดิสชาร์จที่ปลายเข็มจากความเครียดสนามไฟฟ้าแรงดันสูงขนาด 24 kV เป็นส่วนสำคัญของการทำงานของเครื่องนี้ โดยอากาศจะถูกอัดจากปั๊มลมซึ่งมีความร้อนและไหลผ่านท่อมายังหลอดไดอิเล็คตริก (ท่อที่ใช้จะต้องไม่เป็นจำพวกโลหะหรือทองเหลืองเพราะจะทำให้โอโซนเกิดการสลายตัว) ผ่าช่องว่างไดอิเล็คตริกที่มีความเครียดสนามไฟฟ้าสูง ทำให้เกิดก๊าซโอโซนบริเวณนั้น

9.5 การออกแบบอิเล็กโทรด

การออกแบบอิเล็กโทรด เป็นขั้นตอนการออกแบบเครื่องกำเนิดโอโซนเริ่มต้นจากการวิเคราะห์ทางเคมีเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานพันธะและความต้องการพลังงานของปฏิกิริยาเคมีในการผลิตโอโซน ส่วนการออกแบบอยู่บนพื้นฐานของการศึกษาลักษณะสนามไฟฟ้าที่สัมพันธ์กับการแตกตัวของก๊าซเพื่อพิสูจน์ทฤษฎีจากการคำนวณทางเคมีและสามารถผลิตโอโซน ควบคุมเงื่อนไขการเกิดได้

หลักการคือ ก๊าซโอโซนคือก๊าซที่เกิดจากการจับตัวกันของก๊าซออกซิเจน 3 อะตอม การกำเนิดต้องป้อนพลังงานจากภายนอกเข้าไปกระตุ้นก๊าซออกซิเจน (O_2) แตกพันธะเป็นอะตอมอิสระของออกซิเจน (O) แล้วจึงรวมตัวกับ O_2 กลายเป็น O_3 ในการผลิตโอโซนนั้นย่านพลังงานที่จำเป็นต้องใช้ทางเคมีคือ 493.2 kJ/mol–682.8 kJ/mol กระบวนการแปลงหน่วยจากโมลเป็นปริมาตร อ้างถึงพฤติกรรมของก๊าซในทางเคมีก๊าซในอุดมคติ (ideal gas) มีแบบจำลองเป็นจุดและไม่มีแรงกระทำต่อกัน 1 โมลของก๊าซในอุดมคติ



ภาพประกอบ 7 อิเล็กโทรดของเครื่องผลิตโอโซน

10. ตัวอย่างงานวิจัยที่มีการประยุกต์ใช้โอโซนเพื่อประโยชน์ในด้านต่าง ๆ

นวพรรษ ลักขณานุรักษ์ (2545: บทคัดย่อ) ได้นำกระบวนการโอโซนเนชันมาประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยขั้นต้นด้วย โดยได้ทำการทดลองบำบัดน้ำชะมูลฝอยจากสถานกำจัดมูลฝอยตำบลคลองนา อำเภอไทรน้อย จังหวัดนนทบุรีโดยการเติมโอโซนจากเครื่องผลิตขนาดใช้ในครัวเรือน ปริมาณโอโซนที่ผลิตได้เฉลี่ย 215 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง เข้าสู่ถังปฏิกิริยาทรงกระบอก (column) แบบเติมเข้า-ถ่ายออก ปัจจัยที่ทำการศึกษา คือ ภาระบรรทุกน้ำเสีย (100% 50% และ 25%) เวลาสัมผัส (0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 ชั่วโมง) และสภาพความเป็นกรด-ด่าง (pH 4, pH 7 และ pH 10) พบว่ากระบวนการโอโซนเนชันสามารถกำจัดสี สารอินทรีย์ ลดความซับซ้อนของสารอินทรีย์ได้ โดยมีสภาวะเหมาะสมของการทดลองบำบัดน้ำชะมูลฝอยที่ภาระบรรทุก 100% pH 7 เวลาสัมผัส 2.5 ชั่วโมง สามารถลดค่า COD และสี ได้ 27.27% และ 83.68% ตามลำดับ และเพิ่มความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ โดยให้ค่า BOD_5 เพิ่มขึ้น 8.64% สัดส่วน BOD_5 : COD เพิ่มขึ้นจาก 0.047 เป็น 0.084

วีระพงศ์ เลิศรัตนเทวี (2548: บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาความสามารถในการลดสีจากน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วของโรงงานสุราโดยกระบวนการโอโซนเนชันที่ได้ทำการทดลองแบบ Batch ในการทดลองนี้ได้หาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการโอโซนเนชัน ซึ่งประกอบไปด้วยค่าความเป็นกรด-ด่าง กำลังการผลิตโอโซน และ ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาต่างๆ โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสี ค่า COD ของแข็งทั้งหมด และของแข็งแขวนลอย พบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สุด ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7.0 กำลังการผลิตโอโซนเท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อชั่วโมง และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 4.0 ชั่วโมง ซึ่งมีประสิทธิภาพในการลดสี ค่า COD และ ของแข็งทั้งหมด เท่ากับ 69.91%, 19.28% และ 35.57% ตามลำดับ แต่พบว่าในสภาวะที่เหมาะสมกระบวนการโอโซนเนชั่นจะทำให้ค่าของแข็งแขวนลอยเพิ่มขึ้น 26.24% เมื่อทำการทดลองกระบวนการโอโซนเนชั่นด้วยสภาวะที่เหมาะสมแบบต่อเนื่องพบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดสี ค่า COD, ของแข็งทั้งหมด และ มีค่าอยู่ระหว่าง 69.20%-74.02%, 23.98%-27.63%และ 19.13%-24.68% ตามลำดับ

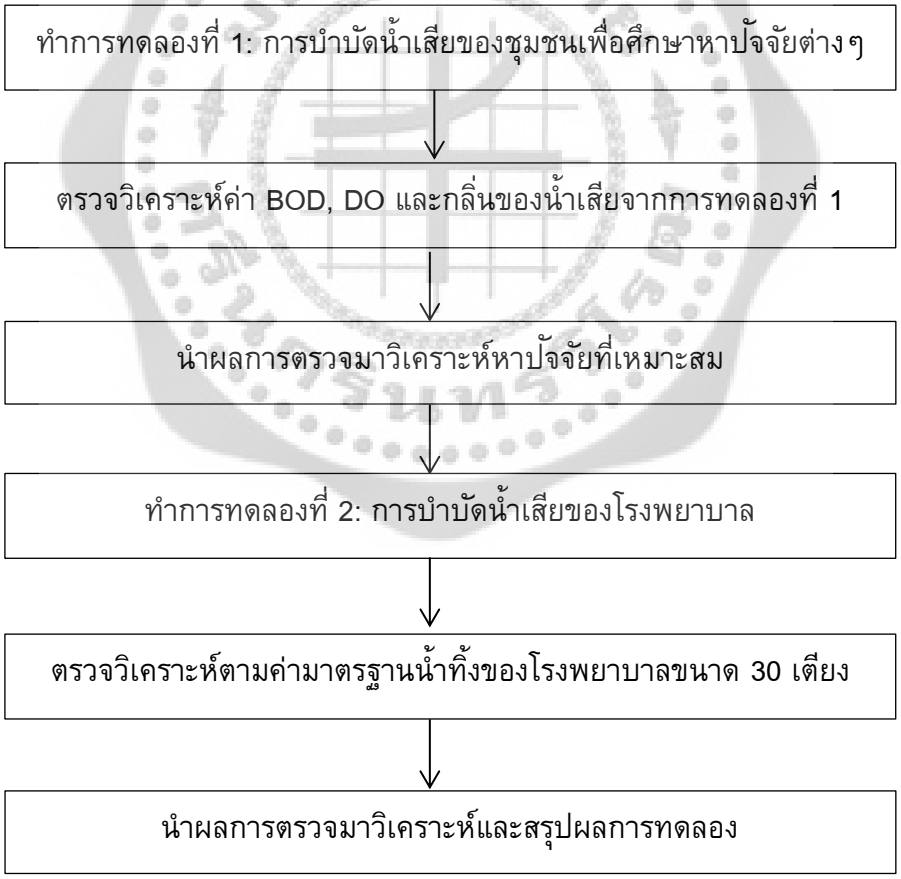
เนทิยา ตันฑชุณห์ (2544: บทคัดย่อ) ทำการศึกษากระบวนการบำบัดน้ำเสียขั้นต้นเสียก่อนเข้าระบบบำบัด โดยใช้กระบวนการโอโซนเนชันเพื่อลดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสีย และได้ทำการทดลองแบบ Batch เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการโอโซนเนชันที่ปริมาณโอโซน 355.88 มิลลิกรัมต่อนาที (21.35 กรัมต่อชั่วโมง) โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ในรูป ค่า COD, BOD และอัตราส่วนระหว่างค่า BOD: COD พบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สุด ได้แก่ ที่ภาระบรรทุกสูง (ค่า COD เท่ากับ 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร) ค่า pH 7 และระยะเวลาสัมผัส 2.5 ชั่วโมง ซึ่งสามารถลดปริมาณสารอินทรีย์ในรูปค่า COD ได้ 75% และลด BOD ได้ 62% ทำให้

สารอินทรีย์ย่อยสลายทางชีวภาพได้ง่ายขึ้น (อัตราส่วนระหว่างค่า BOD: COD เพิ่มขึ้นจาก 0.35 เป็น 0.53) และเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดในกระบวนการบำบัดทางชีววิทยา นอกจากนี้ ความสามารถในการทำลายเชื้อจุลินทรีย์ของโอโซนยังไม่ส่งผลเสียต่อกระบวนการบำบัดทางชีววิทยาที่มีเชื้อจุลินทรีย์ในระบบเพียงพอ

จากงานวิจัยที่มีการศึกษาเพื่อนำโอโซนมาประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำนั้น ได้ทำการทดลองในน้ำเสียจากหลายแหล่ง แต่ยังไม่มีการศึกษาวิจัยเพื่อใช้โอโซนในการบำบัดน้ำเสียจากโรงพยาบาลซึ่งถือเป็นน้ำเสียชุมชนประเภทหนึ่ง ดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นว่าน้ำเสียจากโรงมีการปนเปื้อนจากเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคมากกว่าน้ำทิ้งชุมชนโดยทั่วไป และอาจมีสารเคมีอันตรายปนเปื้อน นอกจากนี้การบำบัดน้ำเสียจากโรงพยาบาลโดยทั่วไปมีการใช้สารเคมีเพื่อบำบัดน้ำเสียร่วมกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบอื่น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้โอโซนเพื่อบำบัดน้ำเสียจากโรงพยาบาล เนื่องด้วยโอโซนมีคุณสมบัติเด่นในการลดปริมาณจุลินทรีย์ก่อโรคดังที่เห็นได้จากการลดลงของค่า BOD หรือ ค่า COD และยังไม่ก่อให้เกิดสารตกค้างเมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำชุมชน และนอกจากนี้ การบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนยังใช้พื้นที่ในการบำบัดน้ำเสียน้อยกว่าการบำบัดด้วยระบบเดิม เช่น ระบบแอกติเวทเต็ดสลัดจ์ (Activated sludge system) หรือระบบคลองวงเวียน ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาความเป็นไปได้ที่จะนำระบบการบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนมาใช้ ซึ่งหากระบบโอโซนสามารถประยุกต์ใช้ได้ก็จะเป็นการประหยัดพื้นที่และสามารถนำพื้นที่นี้ไปใช้ประโยชน์อย่างอื่นต่อไป

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

ในการศึกษาการบำบัดน้ำเสียโดยใช้โอโซนสำหรับโรงพยาบาล ได้ทำการทดลองเบื้องต้นกับน้ำเสียที่เป็นน้ำเสียชุมชน ซึ่งส่วนใหญ่มาจากการเลี้ยงสุกรที่มีความสกปรกมากกว่าน้ำเสียจากโรงพยาบาลดังภาพประกอบ 3.1 โดยการทดลองที่ 1 ซึ่งเป็นการทดลองเบื้องต้นนี้ได้ทำการทดลองน้ำเสียชุมชน ที่อำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม ก่อนที่จะไปทำการทดลองจริงที่โรงพยาบาลเจ็ดเสมียน จังหวัดราชบุรีเพื่อศึกษาผลของปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อคุณภาพของน้ำเสีย และหลังจากที่ได้วิธีการที่เหมาะสมจากการทดลองเบื้องต้นนี้ จึงจะนำปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อการบำบัดคุณภาพน้ำเสียให้ดีขึ้น แล้วจึงนำตัวแปรที่มีผลไปใช้ในการทดลองที่ 2 ซึ่งเป็นการบำบัดน้ำเสียจากโรงพยาบาล การทดลองที่ 1 จะช่วยให้ทราบถึงปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นในขั้นตอนต่างๆ เมื่อนำไปประยุกต์ใช้กับน้ำเสียจากโรงพยาบาล



ภาพประกอบ 8 แผนผังการทดลองบำบัดน้ำเสียโดยใช้โอโซน

โดยการเก็บผลการทดลองในการทดลองที่ 1 จะวัดค่า BOD, ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (dissolved oxygen; DO หรือ ดีโอ) และกลิ่น และพิจารณาเลือกวิธีการที่ดีที่สุดที่ช่วยลดค่า BOD ได้ดีที่สุด โดยจะทำการตรวจสอบปัจจัยต่าง ๆดังนี้

ปัจจัยที่ 1: รูปแบบการเติมน้ำ เพื่อเลือกรูปแบบการเติมน้ำระหว่างเติมน้ำต่อเนื่องและเติมน้ำไม่ต่อเนื่องซึ่งจะเติมจนน้ำเต็มทุกถังโดยน้ำจะเต็มทุกถังที่เวลา 40 นาที

ปัจจัยที่ 2: รูปแบบการเติมโอโซน เพื่อเปรียบเทียบการเติมโอโซนระหว่างการเติมโอโซน 40 นาที และการเติมเติมต่อเนื่องจนครบ 160 นาที

ปัจจัยที่ 3: แหล่งผลิตโอโซน ระหว่างอากาศและก๊าซออกซิเจน

ปัจจัยที่ 4: การเลือกเครื่องผลิตโอโซน ระหว่างขนาด 5 กรัมต่อชั่วโมง และ 10 กรัมต่อชั่วโมง

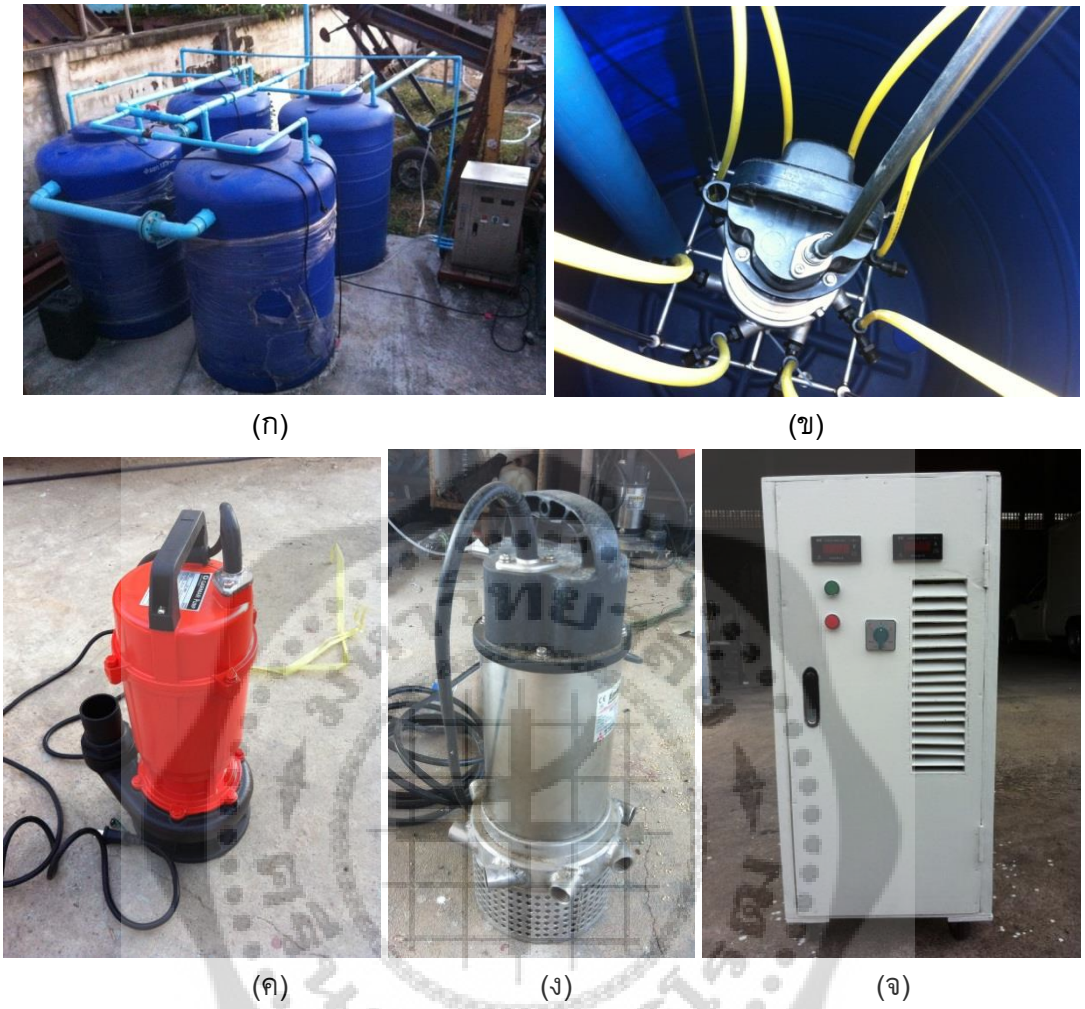
1. การทดลองที่ 1: การบำบัดน้ำเสียชุมชน

อุปกรณ์หลัก

- เครื่องกำเนิดโอโซนขนาด 5 กรัมต่อชั่วโมงและ 10 กรัมต่อชั่วโมง
- ถังเก็บน้ำขนาด 1.5 ลูกบาศก์เมตร
- เครื่องเติมอากาศใต้น้ำแบบ Venturi ejector
- ปั๊มน้ำ
- ถังออกซิเจน
- งานท่อ

ขั้นตอนการเตรียมและติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง

- ติดตั้งถังน้ำขนาด 1.5 ลูกบาศก์เมตร จำนวน 4 ถังไว้ที่พื้นที่การทดลองโดยแต่ละถังเชื่อมต่อกันด้วยท่อขนาด 3 นิ้ว
- ติดตั้งเครื่องเติมอากาศในถังที่ 1 และถังที่ 2
- ติดตั้งปั๊มน้ำเพื่อดูดน้ำเสียจากคลองมาเข้าถังที่ 1
- ติดตั้งเครื่องผลิตโอโซนขนาด 5 และ 10 กรัมต่อชั่วโมง และต่อท่อจากเครื่องผลิตโอโซนไปยังถังที่ 1 และ 2
- เตรียมถังออกซิเจนเพื่อใช้เป็นแหล่งผลิตโอโซน



ภาพประกอบ 9 อุปกรณ์หลักที่ใช้ในการวิจัยที่จังหวัดนครปฐม (ก) ถังบำบัดน้ำ (ข) เครื่องเติมอากาศที่ติดตั้งในถังบำบัด (ค) ปั๊มน้ำแบบจุ่มสำหรับสูบน้ำเสียเข้าถังบำบัด (ง) เครื่องเติมอากาศ (จ) เครื่องผลิตโอโซน

ขั้นตอนทดลอง: วิธีการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบผลของแต่ละปัจจัย

การทดลองที่ 1 นี้จะทำการศึกษาทีละปัจจัย โดยผลการทดลองจากวิธีการที่ดีที่สุดจากปัจจัยแรก ๆ จะถูกนำไปใช้ในการทดลองต่อ ๆ ไป โดยในการทดลองปัจจัยที่ 1 รูปแบบการเติมน้ำ (แบบไม่ต่อเนื่อง และแบบต่อเนื่อง) หากพบว่าการการเติมน้ำแบบไม่ต่อเนื่องให้ผลดีกว่า ก็จะนำวิธีการเติมน้ำแบบไม่ต่อเนื่องไปใช้ในการทดลองเพื่อศึกษาผลของปัจจัยที่ 2 ต่อไป

ปัจจัยที่ 1 รูปแบบการเติมน้ำ ในการทดลองนี้เพื่อหารูปแบบการเติมน้ำเข้าระบบทั้งแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง โดยที่จะเปิดปั๊มน้ำดูดน้ำจากคลองมาใส่ที่ถังบำบัดทั้ง 4 ใบจะใช้เวลา

40 นาทีเพื่อให้น้ำเต็มถังทุกใบพร้อมกับเปิดเครื่องผลิตโอโซนและเครื่องเติมอากาศในถัง 1 และ 2 เพื่อดึงโอโซนเข้าไปผสมกับน้ำ ทั้งนี้ยังเปิดน้ำเข้าระบบอย่างต่อเนื่องจนครบเวลา 160 นาที โดยจะเก็บตัวอย่างเพื่อส่งวิเคราะห์คุณภาพน้ำที่เวลา 0 40 100 และ 160 นาที

ปัจจัยที่ 2 รูปแบบการเติมโอโซน ในการทดลองนี้จะเปรียบเทียบการเติมโอโซนระหว่างการเติมโอโซนเพียง 40 นาที และการเติมเติมต่อเนื่องจนครบ 160 นาที สาเหตุที่เติมโอโซนเพียง 40 นาทีเนื่องจากเป็นระยะเวลาที่น้ำเสียเข้าสู่ถังจนเต็มระบบที่ 40 นาที โดยจะเก็บตัวอย่างเพื่อส่งวิเคราะห์คุณภาพน้ำที่เวลา 0 40 100 และ 160 นาที

ปัจจัยที่ 3 แหล่งผลิตโอโซน ในการทดลองนี้โอโซนจะผลิตจาก 2 แหล่งคือ อากาศและก๊าซออกซิเจน จากนั้นตัวอย่างน้ำจะถูกเก็บเพื่อส่งวิเคราะห์คุณภาพน้ำที่เวลา 0 40 100 และ 160 นาที

ปัจจัยที่ 4 การเลือกเครื่องผลิตโอโซน ในการทดลองนี้จะเปรียบเทียบการใช้เครื่องผลิตโอโซน 2 ขนาดคือ เครื่องผลิตโอโซนที่ผลิตโอโซนได้ 5 และ 10 กรัมต่อชั่วโมง และเก็บตัวอย่างเพื่อส่งวิเคราะห์คุณภาพน้ำที่เวลา 0 40 100 และ 160 นาที

2. การทดลองที่ 2: การบำบัดน้ำเสียจากโรงพยาบาลด้วยโอโซน

จากผลที่ได้จากการทดลองกับน้ำทิ้งชุมชนนั้นจึงทำให้ได้ค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่จะนำมาใช้เพื่อบำบัดน้ำเสียจากโรงพยาบาล โดยตัวแปรที่เป็นผลจากการทดลองที่ 1 นำมาใช้ในการทดลองที่ 2 นี้คือ การเติมน้ำเข้าสู่ระบบแบบไม่ต่อเนื่อง คือ น้ำเสียจะถูกเติมเข้าสู่ระบบให้ครบตามจำนวนถังที่จะทดลอง จากนั้นจะทำการปิดน้ำ แล้วจึงเติมโอโซน แบบต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการทดลอง 1 ชั่วโมง ทำการเก็บตัวอย่างน้ำที่เวลา 0, 30 และ 60 นาที การทดลองเพื่อบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาลนี้ได้ทำการทดลองทั้งหมด 3 ซ้ำ

อย่างไรก็ตามน้ำเสียที่มาจากแหล่งที่ต่างกันย่อมมีสารปนเปื้อนต่างชนิด ในปริมาณที่แตกต่างกันไป นอกจากนี้ในการทดลองที่ 1 ผลของแต่ละปัจจัยยังมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำใกล้เคียงกัน ด้วยเหตุนี้ในการทดลองเพื่อบำบัดน้ำเสียจากโรงพยาบาลนี้จึงต้องการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการเติมโอโซน โดยศึกษาผลของปริมาณโอโซนที่เติมลงไปเพื่อบำบัดน้ำ โดยทดลองเปรียบเทียบระหว่างเครื่องกำเนิดโอโซนขนาด 5 กรัมต่อชั่วโมงและ 10 กรัมต่อชั่วโมง และนอกจากนี้ผลของแหล่งผลิตโอโซนคือ อากาศ และออกซิเจน จะได้ทำการทดลองเปรียบเทียบในส่วนที่ 2 นี้อีกด้วย

อุปกรณ์หลัก

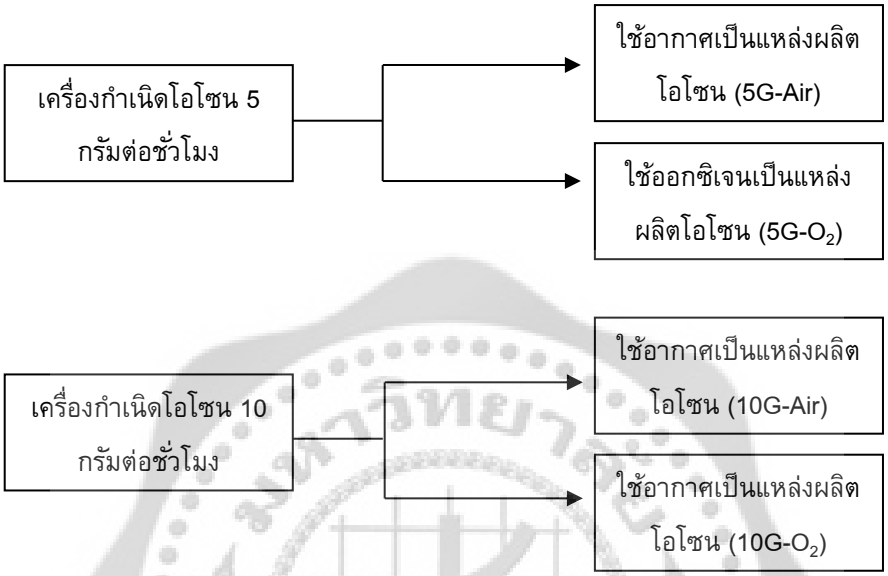
- เครื่องกำเนิดโอโซนขนาด 5 กรัมต่อชั่วโมงและ 10 กรัมต่อชั่วโมง
- ถังเก็บน้ำขนาด 1.25 ลูกบาศก์เมตร
- เครื่องเติมอากาศใต้น้ำแบบ Venturi ejector
- ปั๊มน้ำ
- ถังออกซิเจน
- งานท่อ

ภาพประกอบ 10 อุปกรณ์หลักที่ใช้ในการวิจัยเพื่อบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนที่โรงพยาบาล

ขั้นตอนทดลอง: วิธีการเติมโอโซนเพื่อบำบัดน้ำเสียจากโรงพยาบาล

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองนำมาจากบ่อน้ำเสียของโรงพยาบาล เป็นน้ำเสียที่ผ่านการกรองตะกอนหยาบมาก่อนแล้ว น้ำเสียถูกดูดขึ้นมาเติมในถังปริมาตร 1.5 ลูกบาศก์เมตร โดยใช้ปั๊ม

น้ำ จากนั้นทำการเปิดวาล์วน้ำเพื่อปล่อยน้ำเสียเข้าสู่ถังที่ 2 ผ่านท่อน้ำที่ได้ทำการเชื่อมต่อไว้แล้ว ปรับระดับน้ำจนได้ปริมาตร 0.5 ลูกบาศก์เมตร เท่ากันทั้ง 2 ถัง เพื่อให้การทดลองนี้ใช้น้ำเริ่มต้นจากแหล่งเดียวกันการบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนแบ่งชุดการทดลองออกเป็น 4 ชุดการทดลองดังภาพประกอบ 11



ภาพประกอบ 11 ชุดการทดลองการบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลโดยใช้โอโซน

การทดลองนี้เริ่มทำการทดลองโดยใช้น้ำเสียปริมาตร 0.5 ลูกบาศก์เมตร จากนั้นทำการเติมโอโซนผ่านท่ออากาศเข้าสู่ผิวน้ำเสียภายในถัง และเครื่องเติมอากาศใต้น้ำแบบ Venturi ejector เพื่อดึงโอโซนบริเวณผิวน้ำลงไปผสมกับน้ำเสียในถัง ใช้เวลาบำบัดทั้งสิ้น 1 ชั่วโมง โดยเก็บตัวอย่างที่เวลา 0, 30 และ 60 นาที นำตัวอย่างใส่ขวดพลาสติกและขวดแก้ว (ในกรณีวัดค่า oil and grease) แช่เย็นในน้ำแข็งและดำเนินการส่งเพื่อวิเคราะห์ผลในห้องปฏิบัติการ และเกณฑ์คุณภาพน้ำเสียสำหรับโรงพยาบาลประเภท ก (ขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 30 เตียง) แสดงในตาราง 6

ตาราง 6 เกณฑ์คุณภาพน้ำเสียของโรงพยาบาลประเภท ก (ขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 30 เตียง)

ตัวแปร	ค่ามาตรฐาน	วิธีตรวจสอบ
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	ค่าต้องอยู่ในช่วง 5-9	APHA, AVWA, WEF (2005), 4500-H* B.
บีโอดี (BOD)	ไม่เกิน 20 มิลลิกรัม/ลิตร	APHA,AWWA,WEF (2005), 5210 B.
ค่าสารแขวนลอย (Suspended solid)	ไม่เกิน 30 มิลลิกรัม/ลิตร	APHA, AWWA, WEF (2005), 2540-D.
ค่าตะกอนหนัก (Settleable solid)	ไม่เกิน 0.5 มิลลิลิตร/ลิตร	APHA, AWWA, WEF(2005), 2540 F.
สารที่ละลายได้ทั้งหมด (Total Dissolved Solids; TDS)	ไม่เกิน 500 มิลลิกรัม/ลิตร	APHA, AWWA, WEF(2005), 2540 C.
ค่าซัลไฟด์ (Sulfide)	ไม่เกิน 1.0 มิลลิกรัม/ลิตร	APHA, AWWA, WEF(2005), 4500-S^{2-} F.
ไนโตรเจนรวม (Total Kjeldahl Nitrogen; TKN)	ไม่เกิน 35 มิลลิกรัม/ลิตร	APHA, AWWA, WEF(2005), Macro Kjeldahl Method
น้ำมันและไขมัน (Oil and Grease)	ไม่เกิน 20 มิลลิกรัม/ลิตร	APHA, AWWA, WEF(2005), 5520 B.

ที่มา: กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม (2537). กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด. ออนไลน์; American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF) (2005). Standard methods for the examination of water and wastewater. unpaged.

บทที่ 4
ผลการดำเนินการวิจัย

1. ผลการทดลองที่ 1: การบำบัดน้ำเสียชุมชน

การทดลองเพื่อศึกษาผลของตัวแปรที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียโดยการใช้โอโซนเบื้องต้นนี้ได้ทำการทดลองกับน้ำเสียชุมชนที่ อำเภอสามพราน จังหวัดนครปฐม โดยน้ำเสียเป็นน้ำเสียที่สูบขึ้นมาจากคลองในบริเวณที่มีการทำปศุสัตว์ฟาร์มสุกรเป็นจำนวนมาก เมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าน้ำจะมีสีดำเข้ม มีปริมาณตะกอนและสิ่งเจือปนมาก จึงเหมาะที่จะใช้ในการทดสอบเบื้องต้นเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซน

ปัจจัยที่ทำการศึกษาในการทดลองที่ 1 นี้ได้แก่ รูปแบบการเติมน้ำ, รูปแบบการเติมโอโซน ,แหล่งผลิตโอโซน (อากาศและก๊าซออกซิเจน) และปริมาณการผลิตโอโซน (5 และ 10 กรัมต่อชั่วโมง)

1.1 ปัจจัยที่ 1: รูปแบบการเติมน้ำ

วิธีการการเติมน้ำเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียที่ได้ทำการทดลอง มี 2 วิธี คือ การเติมน้ำเสียเข้าสู่ระบบแบบไม่ต่อเนื่องหรือแบบกะ (batch) โดยจะเติมน้ำเสียให้เข้าสู่ระบบจนเต็มทั้ง 4 ถัง จากนั้นปิดน้ำโดยใช้เวลาทั้งสิ้น 40 นาที เปรียบเทียบกับอีกวิธีการหนึ่งคือเปิดน้ำต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง 160 นาที สำหรับการเปิดโอโซนนี้ใช้เครื่องผลิตโอโซนขนาด 5 กรัม/ชั่วโมง โดยเริ่มเปิดเครื่องผลิตโซนตั้งแต่น้ำเสียถูกสูบเข้าสู่ระบบในนาทีที่ 0 จนกระทั่งครบเวลาการทดลองที่ 160 นาที ในถังบำบัดน้ำเสียนั้นจะมีการเปิดเครื่องเติมอากาศที่มีลักษณะคล้ายปั๊มดูดอากาศที่ใช้ดูดเติมอากาศจากด้านบนของถังลงสู่ใต้น้ำ เพื่อเพิ่มการดูดโอโซนลงสู่ใต้ผิวน้ำและทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของน้ำเสียในระหว่างการบำบัดน้ำเสีย จากนั้นตัวอย่างน้ำเสียจะถูกเก็บที่เวลา 0, 40, 100 และ 160 นาที เพื่อนำไปตรวจวิเคราะห์ค่า BOD ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (dissolved oxygen; DO) และกลิ่น โดยผลการทดลองแสดงในตาราง 7

ดังแสดงในตาราง 7 เห็นได้ว่าการเปิดน้ำแบบต่อเนื่องทำให้ค่า BOD เพิ่มขึ้น ค่า BOD ในน้ำสูง แสดงถึงสารอินทรีย์ปนอยู่มากและสภาพเหม็นเน่าจะเกิดได้ง่าย เป็นน้ำที่ไม่เหมาะที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำชุมชน ค่า BOD ตามมาตรฐานของน้ำทิ้งชุมชนนั้นต้องมีค่าไม่เกิน 20 มก./ล. ซึ่งค่าที่ได้จากการทดลองแบบเปิดน้ำต่อเนื่องมีค่าสูงเกินกว่ามาตรฐาน การที่ค่า BOD เพิ่มขึ้นนั้นน่าจะมีสาเหตุมาจากคุณสมบัติของน้ำที่เข้าสู่ระบบที่มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาของการทดลอง สำหรับค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำนั้นพบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดการทดลอง

ตาราง 7 ค่า BOD ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (dissolved oxygen; DO) และกลิ่นของน้ำเสียชุมชนที่ใช้รูปแบบการเติมน้ำแบบต่อเนื่องและแบบไม่ต่อเนื่อง

รูปแบบการเติมน้ำ	ตัวอย่าง	Test value		% Reduction of BOD	กลิ่น
		BOD (มิลลิกรัม/ลิตร)	DO (มิลลิกรัม/ลิตร)		
เปิดน้ำแบบต่อเนื่อง	ตัวอย่างน้ำเสีย 0 นาที	110.00	0.00	0.0	Abnormal
	ตัวอย่างน้ำเสีย 40 นาที	125.00	0.00	13.6	Abnormal
	ตัวอย่างน้ำเสีย 100 นาที	185.00	0.00	68.2	Abnormal
	ตัวอย่างน้ำเสีย 160 นาที	165.00	0.00	50.0	Abnormal
เปิดน้ำแบบไม่ต่อเนื่อง (ปิดน้ำเข้าระบบที่ 40 นาที)	ตัวอย่างน้ำเสีย 0 นาที	41.00	0.00	0.0	Abnormal
	ตัวอย่างน้ำเสีย 40 นาที	29.50	1.80	-28.0	Normal
	ตัวอย่างน้ำเสีย 100 นาที	27.00	3.02	-34.1	Normal
	ตัวอย่างน้ำเสีย 160 นาที	24.00	2.80	-41.5	Normal

การที่ได้ตรวจวิเคราะห์ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำนั้นมีสาเหตุเนื่องมาจากปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำเป็นดัชนีสำคัญอย่างหนึ่งที่บ่งบอกถึงคุณภาพของน้ำ เพราะออกซิเจนเป็นธาตุสำคัญต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำและช่วยป้องกันไม่ให้น้ำเน่าเหม็น (เสริมสุข รัตสุข และ ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. 2518: 14) สำหรับค่ากลิ่นนั้นถือเป็นค่าคุณภาพน้ำที่สำคัญอย่างหนึ่งต่อคุณภาพของการดำรงชีวิต เนื่องจากการที่น้ำมีกลิ่นเน่าเหม็นก่อให้เกิดความรำคาญให้แก่ผู้คนในชุมชน นอกจากนี้ยังเป็นที่ทราบกันดีว่าโอโซนมีคุณสมบัติเด่นในด้านการกำจัดกลิ่นและสีของน้ำเสีย ดังนั้นจึงถือเป็นดัชนีที่ง่ายที่สุดในการตรวจวิเคราะห์น้ำเสีย การทดลองพบว่าการเปิดน้ำแบบต่อเนื่องไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของกลิ่นแต่อย่างใด กลิ่นที่ตรวจวิเคราะห์ได้ยังคงมีลักษณะผิดปกติ หรืออีกนัยหนึ่งยังเป็นกลิ่นของน้ำเสียตลอดระยะเวลาการเก็บตัวอย่าง

ในทางตรงกันข้ามพบว่าน้ำที่ใช้ระบบการเปิดน้ำแบบไม่ต่อเนื่อง โดยปิดน้ำที่เวลา 40 นาที(น้ำเต็มถังทดลอง) หลังจากเติมน้ำเต็มทุกถังที่ใช้ทำการทดลอง พบว่าค่า BOD มีค่าลดลงเมื่อระยะเวลาการทดลองนานขึ้น โดยมีค่าลดลงถึง 28% เมื่อเวลาการทดลองผ่านไป 40 นาที และมีค่าลดลงอีกเล็กน้อยเมื่อเวลาผ่านไป 100 และ 160 นาทีตามลำดับโดยในนาทีที่ 160 ค่า BOD ลงลงไปถึง 41.5% และมีค่าใกล้เคียงกับค่า BOD ตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งชุมชน และนอกจากนั้นยังพบว่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำมีค่าเพิ่มมากขึ้นตลอดการทดลอง ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากการใช้เครื่องเติมอากาศที่ดูดอากาศจากด้านบนของผิวน้ำลงสู่ใต้น้ำจึงทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำเพิ่มมากขึ้น โดยออกซิเจนที่วัดได้อาจจะเป็นออกซิเจนที่อยู่ในสภาพแวดล้อมหรือเป็นออกซิเจนที่เกิดจากการแยกสลายตัวของโอโซนที่ใช้ในการบำบัดนั่นเอง จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยโอโซนที่มีการเติมน้ำแบบไม่ต่อเนื่องทำให้กลิ่นของน้ำเปลี่ยนจาก Abnormal เป็น Normal ซึ่งถือว่าเป็นคุณลักษณะเด่นของโอโซนที่สามารถออกซิไดซ์สารที่มีกลิ่นเหม็นด้วยคุณสมบัติการเป็นออกซิไดซ์ซิ่งเอเจนท์ (oxidizing agent) ที่แรงที่สามารถกำจัดกลิ่นไม่พึงประสงค์ได้ (Rice; Graham; & Sopher. 2011: 333) จากผลการทดลองของปัจจัยที่ 1 รูปแบบการเติมน้ำเข้าสู่ระบบนี้ทำให้เลือกรูปแบบการเติมน้ำแบบไม่ต่อเนื่องเพื่อทำการทดลองในขั้นต่อไป

1.2 ปัจจัยที่ 2: รูปแบบการเติมโอโซน

ในการทดลองเพื่อทดสอบผลของปัจจัยที่ 2 คือรูปแบบการเติมโอโซน ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบรูปแบบการเติมโอโซน 2 แบบคือ การเติมโอโซนแบบต่อเนื่อง และแบบไม่ต่อเนื่องที่ปิดเครื่องกำเนิดโอโซนหลัง 40 นาทีที่น้ำถูกเติมเข้าระบบจนเต็ม การทดลองนี้ใช้รูปแบการเติมน้ำแบบไม่ต่อเนื่องซึ่งเป็นผลจากการทดลองของปัจจัยที่ 1 ซึ่งจะกักน้ำเสียให้เต็มถังและทำการทดลอง เครื่องผลิตโอโซนที่ใช้ในการทดลองของปัจจัยที่ 2 นี้สามารถผลิตโอโซนได้ 5 กรัม/ชั่วโมง โดยเริ่มเปิดเครื่องผลิตโซนตั้งแต่น้ำเสียถูกสูบเข้าสู่ระบบในนาทีที่ 0 จนกระทั่งครบเวลาการทดลองที่ 160 นาที ในถังบำบัดน้ำเสียนั้นจะมีการเปิดเครื่องเติมอากาศที่มีลักษณะคล้ายปั๊มดูดอากาศที่ใช้ดูดเติม

อากาศจากด้านบนของถังลงสู่ใต้น้ำเช่นเดียวกับการทดลองในปัจจัยที่ 1 เพื่อเพิ่มการดูดโอโซนลงสู่ใต้ผิวน้ำและทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของน้ำเสียในระหว่างการบำบัดน้ำเสีย จากนั้นตัวอย่างน้ำเสียจะถูกเก็บที่เวลา 0, 40, 100 และ 160 นาที เพื่อนำไปตรวจวิเคราะห์ค่า BOD ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (dissolved oxygen; DO) และกลิ่น โดยผลการทดลองแสดงในตาราง 8

ดังแสดงในตาราง 8 เห็นได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบรูปแบบการเติมโอโซนพบว่าการเติมโอโซนแบบต่อเนื่องให้ผลในการลดค่า BOD ได้ดีกว่าโดยสามารถลดค่า BOD จาก 41.0 มิลลิกรัม/ลิตร ในตัวอย่างน้ำเสียนาทีที่ 0 เป็น 29.50 มิลลิกรัม/ลิตร เมื่อใช้เวลาในการบำบัด 40 นาที ซึ่งคิดเป็นความสามารถในการลดค่า BOD ลงได้ถึง 28% ค่า BOD เป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ในน้ำเสีย หากค่า BOD สูงแสดงถึงความต้องการออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องการนำไปใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำสูง หรืออีกนัยหนึ่งคือการบ่งชี้ถึงจำนวนจุลินทรีย์ที่มีอยู่มากในน้ำเสีย โอโซนสามารถลดค่า BOD ได้โดยกระบวนที่เรียกว่าโอโซนเนชั่น (ozonation) ที่ไปทำลายสารที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของจุลินทรีย์ กลไกสำคัญ 2 กลไกได้รับการเสนอโดย Guzel-Seydim; Greene; & Seydim (2004: 456) ได้แก่ (1) โอโซนไปออกซิไดซ์หมู่ซัลฟิวดริล (sulfhydryl group; -SH group) ขององค์ประกอบที่เป็นโปรตีน อันได้แก่ กรดอะมิโน เอนไซม์ เปปไทด์ และโปรตีนชนิดอื่น ๆ (2) โอโซนไปออกซิไดซ์กรดไขมันไม่อิ่มตัว (polyunsaturated fatty acid) ให้กลายเป็นกรดเปอร์ออกไซด์ (peroxide acid) เนื่องจากโปรตีนและกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของจุลินทรีย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ เมื่อผนังเซลล์ของจุลินทรีย์ถูกทำลาย ทำให้เซลล์ฉีกขาด เซลล์เกิดการรั่วและถูกทำลายในที่สุด และนอกจากนั้นยังพบว่ารูปแบบการเติมโอโซนไม่มีผลต่อปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำหรือค่า DO แต่การเติมโอโซนแบบต่อเนื่องสามารถทำให้กลิ่นของน้ำเสียหายไป โดยดูได้จากค่าที่เปลี่ยนจาก Abnormal เป็น Normal หลังการบำบัดด้วยโอโซนแบบเปิดโอโซนต่อเนื่องเป็นเวลา 40 นาทีเป็นต้นไป

ดังนั้นจึงทำให้สรุปได้ว่ารูปแบบการเติมโอโซนที่เลือกใช้คือ การเติมโอโซนแบบต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการทดลอง

ตาราง 8 ค่า BOD ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (dissolved oxygen; DO) และกลิ่นของน้ำเสียชุมชนที่ใช้รูปแบบการเติมโอโซนแบบต่อเนื่องและแบบไม่ต่อเนื่อง

รูปแบบการเติมโอโซน	ตัวอย่าง	Test value		% Reduction of BOD	กลิ่น
		BOD (มิลลิกรัม/ลิตร)	DO (มิลลิกรัม/ลิตร)		
เปิดโอโซนต่อเนื่อง	ตัวอย่างน้ำเสีย 0 นาที	41.00	0.00	0.0	Abnormal
	ตัวอย่างน้ำเสีย 40 นาที	29.50	1.80	-28.0	Normal
	ตัวอย่างน้ำเสีย 100 นาที	27.00	3.02	-34.1	Normal
	ตัวอย่างน้ำเสีย 160 นาที	24.00	2.80	-41.5	Normal
แบบเปิดโอโซนไม่ต่อเนื่อง (หยุดการเติมโอโซนที่ 40 นาที)	ตัวอย่างน้ำเสีย 0 นาที	72.00	0.25	0.0	Abnormal
	ตัวอย่างน้ำเสีย 40 นาที	77.00	3.25	6.9	Abnormal
	ตัวอย่างน้ำเสีย 100 นาที	73.00	3.30	1.4	Abnormal
	ตัวอย่างน้ำเสีย 160 นาที	69.00	1.25	-4.2	Abnormal

1.3 ปัจจัยที่ 3: แหล่งผลิตโอโซน (ก๊าซออกซิเจน หรือ อากาศ)

ในการทดลองเพื่อทดสอบผลของปัจจัยที่ 3 คือแหล่งผลิตโอโซน ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบแหล่งผลิตโอโซนจาก 2 แหล่ง คือ การใช้อากาศ และก๊าซออกซิเจนเป็นแหล่งผลิตโอโซน โดยตัวแปรที่เลือกได้จากการทดสอบปัจจัยที่เหมาะสมก่อนหน้านี้ทำให้เลือกรูปแบบการเติมน้ำแบบไม่ต่อเนื่องที่ปิดเครื่องกำเนิดโอโซนหลัง 40 นาทีที่น้ำถูกเติมเข้าระบบจนเต็มจากการทดลองของปัจจัยที่ 1 และใช้รูปแบบการเติมโอโซนแบบต่อเนื่องจากการทดลองของปัจจัยที่ 2 เครื่องผลิตโอโซนที่ใช้ในการทดลองของปัจจัยที่ 3 นี้ยังคงเลือกใช้เครื่องผลิตโอโซนที่สามารถผลิตโอโซนได้ 5 กรัม/ชั่วโมง โดยเริ่มเปิดเครื่องผลิตโซนตั้งแต่น้ำเสียถูกสูบเข้าสู่ระบบในนาทีที่ 0 จนกระทั่งครบเวลาการทดลองที่ 160 นาที ในถังบำบัดน้ำเสียนั้นจะมีการเปิดเครื่องเติมอากาศที่มีลักษณะคล้ายปั๊มดูดอากาศที่ใช้ดูดเติมอากาศจากด้านบนของถังลงสู่ใต้น้ำเช่นเดียวกับการทดลองในปัจจัยที่ 1 และ 2 เพื่อเพิ่มการดูดโอโซนลงสู่ใต้ผิวน้ำและทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของน้ำเสียในระหว่างการบำบัดน้ำเสีย จากนั้นตัวอย่างน้ำเสียจะถูกเก็บที่เวลา 0, 40, 100 และ 160 นาที เพื่อนำไปตรวจวิเคราะห์ค่า BOD ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (dissolved oxygen; DO) และกลิ่น โดยผลการทดลองแสดงในตาราง 9

โดยปกติอากาศจะมีปริมาณออกซิเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ประมาณ 20.9% และในการผลิตโอโซนนั้น ออกซิเจนคือสารตั้งต้นในการผลิตโอโซน ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเลือกใช้ก๊าซออกซิเจนที่บรรจุในถังที่มีความบริสุทธิ์ 98.0% เป็นแหล่งผลิตโอโซนโดยตรง ซึ่งคาดหวังว่าจะช่วยทำให้ผลิตโอโซนได้ในปริมาณที่สูงขึ้น จากผลการทดลองซึ่งเปรียบเทียบแหล่งผลิตโอโซนระหว่างออกซิเจนและอากาศแสดงให้เห็นว่าการใช้แหล่งผลิตโอโซนที่แตกต่างกันคือออกซิเจนและอากาศทำให้ค่า BOD ลดลงใกล้เคียงกัน รวมไปถึงสามารถช่วยปรับปรุงกลิ่นของน้ำเสียจาก Abnormal เป็น Normal ได้ในระยะเวลาเท่ากัน แต่การใช้ออกซิเจนเพื่อผลิตโอโซนส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ หรือ DO มีค่าเพิ่มมากขึ้นอย่างชัดเจน ซึ่งน่าจะเกิดเนื่องมาจากการที่ออกซิเจนส่วนเกินถูกดูดลงไปในน้ำนั่นเอง

ดังแสดงในตาราง 9 เห็นได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการใช้อากาศและออกซิเจนเป็นแหล่งผลิตโอโซนที่ใกล้เคียงกัน และนอกจากนี้น้ำที่จะใช้ในการทดลองที่ 2 เป็นน้ำเสียจากโรงพยาบาลที่มีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ดังนั้นการเปรียบเทียบผลของแหล่งผลิตโอโซนจะทดลองอีกครั้งในการทดลองที่ 2

ตาราง 9 ค่า BOD ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (dissolved oxygen; DO) และกลิ่นของน้ำเสียชุมชนที่ใช้อากาศหรือออกซิเจนเป็นแหล่งผลิตโอโซน

แหล่งผลิตโอโซน	ตัวอย่าง	Test value		% Reduction of BOD	กลิ่น
		BOD (มิลลิกรัม/ลิตร)	**DO (มิลลิกรัม/ลิตร)**		
ใช้ออกซิเจนเป็นแหล่งผลิตโอโซน	ตัวอย่างน้ำเสีย 0 นาที	29.00	0.00	0.0	Abnormal
	ตัวอย่างน้ำเสีย 40 นาที	20.00	9.82	-31.0	Normal
	ตัวอย่างน้ำเสีย 100 นาที	21.00	22.40	-27.6	Normal
	ตัวอย่างน้ำเสีย 160 นาที	19.00	24.42	-34.5	Normal
ใช้อากาศเป็นแหล่งผลิตโอโซน	ตัวอย่างน้ำเสีย 0 นาที	41.00	0.00	0.0	Abnormal
	ตัวอย่างน้ำเสีย 40 นาที	29.50	1.80	-28.0	Normal
	ตัวอย่างน้ำเสีย 100 นาที	27.00	3.02	-34.1	Normal
	ตัวอย่างน้ำเสีย 160 นาที	24.00	2.80	-41.5	Normal

1.4 ปัจจัยที่ 4: ขนาดของเครื่องผลิตโอโซน

ในการทดลองเพื่อทดสอบผลของปัจจัยที่ 4 คือขนาดของเครื่องผลิตโอโซน ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบขนาดของเครื่องผลิตโอโซน 2 ขนาด คือ เครื่องผลิตโอโซนขนาด 5 กรัมต่อชั่วโมง และเครื่องผลิตโอโซนขนาด 10 กรัมต่อชั่วโมงโดยตัวแปรที่เลือกได้จากการทดสอบปัจจัยที่เหมาะสมก่อนหน้านี้ทำให้เลือกรูปแบบการเติมน้ำแบบไม่ต่อเนื่องที่ปิดเครื่องกำเนิดโอโซนหลัง 40 นาทีที่น้ำถูกเติมเข้าระบบจนเต็มจากการทดลองของปัจจัยที่ 1 และใช้รูปแบบการเติมโอโซนแบบต่อเนื่องจากการทดลองของปัจจัยที่ 2 แต่เนื่องจากผลการทดลองของปัจจัยที่ 3 ยังไม่สามารถระบุชัดได้ว่าควรเลือกใช้แหล่งผลิตโอโซนประเภทใด ดังนั้นจึงเลือกใช้ออกซิเจนเป็นแหล่งผลิตโอโซนเพื่อควบคุมอิทธิพลของปัจจัยอื่นนอกเหนือจากขนาดของเครื่องผลิตโอโซนให้เหมือนกันในทั้ง 2 ชุดการทดลอง การทดสอบได้ทำการทดลองเช่นเดียวกับการทดลองก่อนหน้านี้ คือ เริ่มเปิดเครื่องผลิตโซนตั้งแต่น้ำเสียถูกสูบเข้าสู่ระบบในนาทีที่ 0 จนกระทั่งครบเวลาการทดลองที่ 160 นาที ในถังบำบัดน้ำเสียนั้นจะมีการเปิดเครื่องเติมอากาศที่มีลักษณะคล้ายปั๊มดูดอากาศที่ใช้ดูดเติมอากาศจากด้านบนของถังลงสู่ใต้น้ำเช่นเดียวกับการทดลองก่อนหน้า เพื่อเพิ่มการดูดโอโซนลงสู่ใต้ผิวน้ำและทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของน้ำเสียในระหว่างการบำบัดน้ำเสีย จากนั้นตัวอย่างน้ำเสียจะถูกเก็บที่เวลา 0, 40, 100 และ 160 นาที เพื่อนำไปตรวจวิเคราะห์ค่า BOD ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (dissolved oxygen; DO) และกลิ่น โดยผลการทดลองแสดงในตาราง 10

ดังแสดงในตาราง 10 เห็นได้ว่าเครื่องผลิตโอโซนขนาด 5 กรัม/ชั่วโมง ส่งผลให้ค่า BOD ลดลงได้ดีกว่าเครื่องผลิตโอโซนขนาด 10 กรัม/ชั่วโมงในช่วง 40 นาทีแรก แต่อย่างไรก็ตามหลังจากเวลาการทดลองผ่านไป 160 นาที ปริมาณการลดลงของ BOD จากเครื่อง 10 กรัมต่อชั่วโมงมีเปอร์เซ็นต์ที่สูงกว่าการใช้เครื่องผลิตโอโซนขนาด 5 กรัมต่อชั่วโมง นอกจากนี้เครื่องผลิตโอโซนทั้ง 2 ขนาดยังส่งผลต่อค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ หรือ DO ใกล้เคียงกัน และยังสามารถช่วยปรับปรุงกลิ่นของน้ำเสียจาก Abnormal เป็น Normal ได้อย่างมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน ดังนั้นในการทดลองที่ 2 จะนำปัจจัยที่ 3 และ 4 ซึ่งก็คือแหล่งที่ใช้ผลิตโอโซน (อากาศ และออกซิเจน) และเครื่องผลิตโอโซนที่มีขนาดแตกต่างกันเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของปัจจัยดังกล่าวในการบำบัดน้ำเสียจากโรงพยาบาลในการทดลองที่ 2 ต่อไป

นอกจากนี้โอโซนสามารถยังมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีได้ ดังแสดงในภาพประกอบ 12 ซึ่งจะเห็นได้ว่าสีดำเข้มของน้ำเสียมีลักษณะใสขึ้นเมื่อผ่านกรบำบัดด้วยโอโซนในระยะเวลานานขึ้น โดยการที่สีเปลี่ยนแปลงโดยมีลักษณะใสขึ้นเกิดจากคุณสมบัติของโอโซนที่สามารถตัดพันธะคู่ระหว่างคาร์บอน-คาร์บอนที่เป็นโครงสร้างหลักของโมเลกุลของสารที่ให้สี ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางด้านสีและการมองเห็น ที่ส่งผลให้ค่าการดูดกลืนแสงของสารให้สีเปลี่ยนจากช่วงแสงที่ตามองเห็นได้ (visible light) เป็นช่วง UV (Wojtowicz. 2000: 805)

ตาราง 10 ค่า BOD ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (dissolved oxygen; DO) และกลิ่นของน้ำเสียชุมชนที่ใช้เครื่องผลิตโอโซนขนาด 5 กรัม/ชั่วโมง และ 10 กรัม/ชั่วโมง

เครื่องผลิตโอโซน	ตัวอย่าง	Test value		% Reduction of BOD	กลิ่น
		BOD (มิลลิกรัม/ลิตร)	DO (มิลลิกรัม/ลิตร)		
เครื่องผลิตโอโซนขนาด 5 กรัมต่อชั่วโมง	ตัวอย่างน้ำเสีย 0 นาที	29.00	0.00	0.0	Abnormal
	ตัวอย่างน้ำเสีย 40 นาที	20.00	9.82	-31.0	Normal
	ตัวอย่างน้ำเสีย 100 นาที	21.00	22.40	-27.6	Normal
	ตัวอย่างน้ำเสีย 160 นาที	19.00	24.42	-34.5	Normal
เครื่องผลิตโอโซนขนาด 10 กรัมต่อชั่วโมง	ตัวอย่างน้ำเสีย 0 นาที	70.00	0.00	0.0	Abnormal
	ตัวอย่างน้ำเสีย 40 นาที	54.00	3.08	-22.9	Abnormal
	ตัวอย่างน้ำเสีย 100 นาที	41.50	18.12	-40.7	Normal
	ตัวอย่างน้ำเสีย 160 นาที	38.00	21.00	-45.7	Normal

ภาพประกอบ 12 น้ำเสียชุมชนที่ผ่านการบำบัดด้วยโอโซนขนาด 10 กรัมต่อชั่วโมงที่ใช้ออกซิเจนเป็นแหล่งผลิตโอโซน (ก) ที่เวลา 0 นาที (ข) ที่เวลา 40 นาที (ค) ที่เวลา 100 นาที (ง) ที่เวลา 160 นาที (จ) ที่เวลา 220 นาที (ฉ) ที่เวลา 280 นาที

2. ผลการทดลองที่ 2: การบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาล

2.1 ข้อมูลเกี่ยวกับโรงพยาบาล

โรงพยาบาลเจ็ดเสมียน อำเภอโพธาราม จังหวัดราชบุรี ซึ่งเป็นโรงพยาบาลประเภท ก ที่มีจำนวนเตียงเท่ากับ 30 เตียง ระบบการบำบัดน้ำเสียที่โรงพยาลเจ็ดเสมียนใช้อยู่คือระบบระบบแอกติเวทเต็ดสลัดจ์ร่วมกับการเติมสารเคมี ปริมาณน้ำเสียต่อวันโดยประมาณของโรงพยาบาลเจ็ดเสมียนเท่ากับ 40-80 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน

2.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองที่ 2

การทดลองบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนในส่วนที่ 2 นี้ได้ทำการปรับใช้ค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ศึกษาทดลองจากการทดลองที่ 1 ซึ่งทำการทดลองบำบัดน้ำเสียชุมชน ซึ่งโดยมากแล้วเป็นน้ำเสียจากฟาร์มสุกร ในเขต อ.สามพราน จ.นครปฐม ตัวแปรที่นำมาประยุกต์ใช้ได้แก่รูปแบบการเติมน้ำแบบกะซึ่งจะเติมน้ำเพื่อบำบัดให้ครบเต็มระบบ โดยไม่มีการเปิดน้ำผ่านอย่างต่อเนื่อง ตัวแปรที่ 2

คือ รูปแบบการเติมโอโซน ซึ่งเลือกใช้รูปแบบการเติมโอโซนอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาการทดลอง สำหรับตัวแปรที่ 3 และ 4 คือ แหล่งผลิตโอโซน (อากาศและก๊าซออกซิเจน) และ การเลือกเครื่องผลิตโอโซน (5 และ 10 กรัมต่อชั่วโมง) นั้นพบว่าไม่สามารถบอกได้อย่างชัดเจนว่าปัจจัยใดมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำได้ดีกว่า ด้วยเหตุนี้จึงได้เลือกปัจจัยดังกล่าวเพื่อศึกษาต่อในการทดลองที่ 2

น้ำเสียจากโรงพยาบาลเจ็ดเสมียนได้ทำการสูบมาจากบ่อที่น้ำเสียได้ผ่านการกรองตะกอนหยาบมาแล้ว จากนั้นน้ำเสียจะถูกส่งเข้าสู่ถังบำบัดเพื่อทำการทดสอบต่อไป น้ำเสียจะถูกเก็บเพื่อนำไปวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เวลา 0, 30 และ 60 นาที ตัวอย่างน้ำเสียจะถูกเก็บในขวดพลาสติกใสปริมาตร 1.5 ลิตรเพื่อนำไปใช้วิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ แต่ในกรณีของตัวอย่างที่จะนำไปวิเคราะห์ปริมาณไขมันและน้ำมันนั้น ตัวอย่างจะต้องเก็บในขวดแก้วสีชาเพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงของตัวอย่าง ตัวอย่างทั้งหมดจะถูกเก็บในอ่างน้ำแข็งจนกว่าจะได้รับการตรวจวิเคราะห์ โดยในการทดลองนี้ได้ส่งตัวอย่างเพื่อตรวจวิเคราะห์ ณ บริษัทห้องปฏิบัติการกลาง แห่งประเทศไทย (จำกัด) ซึ่งตั้งอยู่ที่ ต.โคกขาม อ.เมือง จ.สมุทรสาคร

การตรวจสอบคุณภาพน้ำนั้นตรวจสอบตามวิธีมาตรฐานเพื่อตรวจสอบคุณภาพน้ำและน้ำเสีย จากผลการตรวจสอบคุณภาพน้ำเสียโรงพยาบาลที่ผ่านการบำบัดด้วยโอโซนพบว่าการใช้โอโซนไม่มีผลต่อค่าตะกอนหนักและค่าซัลไฟด์ โดยค่าตะกอนหนักหมายถึงของแข็งที่จมตัวลงสู่ก้นภาชนะที่กำหนดให้เมื่อตั้งทิ้งไว้ในที่สงบภายในเวลาที่กำหนด (โดยปกติจะใช้เวลา 1 ชั่วโมง) และปริมาณซัลไฟด์ได้จากการทดสอบด้วยวิธี Iodoric method ที่ใช้การไทเทรตด้วยสารละลายไอโอดีนและรายงานค่าเป็นปริมาณซัลไฟด์ในตัวอย่างน้ำเสียในหน่วยมิลลิกรัมซัลไฟด์ต่อลิตร โดยเมื่อผ่านระยะเวลาในการบำบัดตลอด 1 ชั่วโมงค่าที่ได้ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ความแตกต่างระหว่างชุดการทดลองของเครื่องผลิตโอโซนขนาด 5 และ 10 กรัมต่อชั่วโมงนั้นเกิดจากคุณภาพเริ่มต้นของน้ำที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าการใช้โอโซนเพื่อบำบัดน้ำเสียจากโรงพยาบาลใน 1 ชั่วโมงนั้นไม่มีผลต่อค่าดังกล่าว (ตาราง 11) เมื่อเปรียบเทียบค่ากับเกณฑ์มาตรฐานพบว่าค่าของทั้งสองตัวแปรผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ในการตรวจสอบคุณภาพน้ำเสียจะวัดค่าปริมาณซัลไฟด์จะอยู่ในรูป anion ซึ่งสามารถเปลี่ยนรูปเป็นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) หรือก๊าซไข่เน่า ซัลเฟอร์สามารถอยู่ในรูปของก๊าซไอโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) หรือก๊าซไข่เน่าซึ่งระเหยสู่อากาศได้อย่างรวดเร็ว จากการสังเกตพบว่ากลิ่นของน้ำเสียโรงพยาบาลที่ผ่านการบำบัดด้วยโอโซนครบ 1 ชั่วโมง จากทุกชุดการทดลองไม่มีกลิ่นเหม็นคล้ายกลิ่นไข่เน่าที่เป็นลักษณะกลิ่นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เหลืออยู่ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Shin; Hwang; & Song (2011: 2392) ซึ่งพบว่าการใช้โอโซนที่ความเข้มข้น 0.144 กรัมโอโซนต่อชั่วโมงสามารถกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้มากกว่า 99% ดังนั้นจึงถือได้ว่าการใช้โอโซนไม่มีผลต่อปริมาณซัลไฟด์ที่ละลายน้ำได้ แต่มีผลต่อการกำจัดซัลไฟด์ที่อยู่ในรูปก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากคุณสมบัติการเป็นสารออกซิไดซิ่งเอเจนท์ที่มีฤทธิ์แรง

ตาราง 11 ค่าตะกอนหนักและซัลไฟด์ของน้ำเสียโรงพยาบาลที่ผ่านการบำบัดด้วยโอโซน

ตัวแปร	5G-Air[1]		10G-Air[2]		5G-O_2[3]		10G-O_2[4]	
	0 นาที	60 นาที	0 นาที	60 นาที	0 นาที	60 นาที	0 นาที	60 นาที
ค่าตะกอนหนัก (มิลลิลิตร/ลิตร)	0.000	0.058	0.100	0.100	0.000	0.208	0.000	0.000
ค่าซัลไฟด์ (มิลลิกรัม/ลิตร)	0.39	0.33	0.11	0.11	0.39	0.37	0.11	0.00

หมายเหตุ: [1] 5G-Air คือ เครื่องกำเนิดโอโซน 5 กรัมต่อชั่วโมงที่ใช้อากาศเป็นแหล่งผลิตโอโซน
[2] 10G-Air คือ เครื่องกำเนิดโอโซน 10 กรัมต่อชั่วโมงที่ใช้อากาศเป็นแหล่งผลิตโอโซน
[3] 5G-O_2 คือ เครื่องกำเนิดโอโซน 5 กรัมต่อชั่วโมงที่ใช้ออกซิเจนเป็นแหล่งผลิตโอโซน
[4] 10G-O_2 คือ เครื่องกำเนิดโอโซน 10 กรัมต่อชั่วโมงที่ใช้ออกซิเจนเป็นแหล่งผลิตโอโซน

เมื่อพิจารณาค่าคุณภาพน้ำเสียจากตัวแปรอื่นดังตาราง 12 และ 13 พบว่าการบำบัดโดยใช้โอโซนจากทั้งอากาศและออกซิเจนมีผลต่อค่าต่างๆ ดังต่อไปนี้ ค่า BOD ความเป็นกรดด่าง ค่าสารแขวนลอย สารที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณไนโตรเจนรวม และ น้ำมันและไขมัน สำหรับค่า BOD (BOD: Biochemical Oxygen Demand) นั้นเป็นค่าที่แสดงปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์โดย หากค่า BOD สูงแสดงถึงการมีปริมาณของสารอินทรีย์เจือปนอยู่ในน้ำเสียเป็นจำนวนมาก ก่อให้เกิดให้เกิดภาระอินทรีย์ (Organic loading) ซึ่งส่งผลเสียต่อคุณภาพน้ำเมื่อปล่อยลงสู่ธรรมชาติ

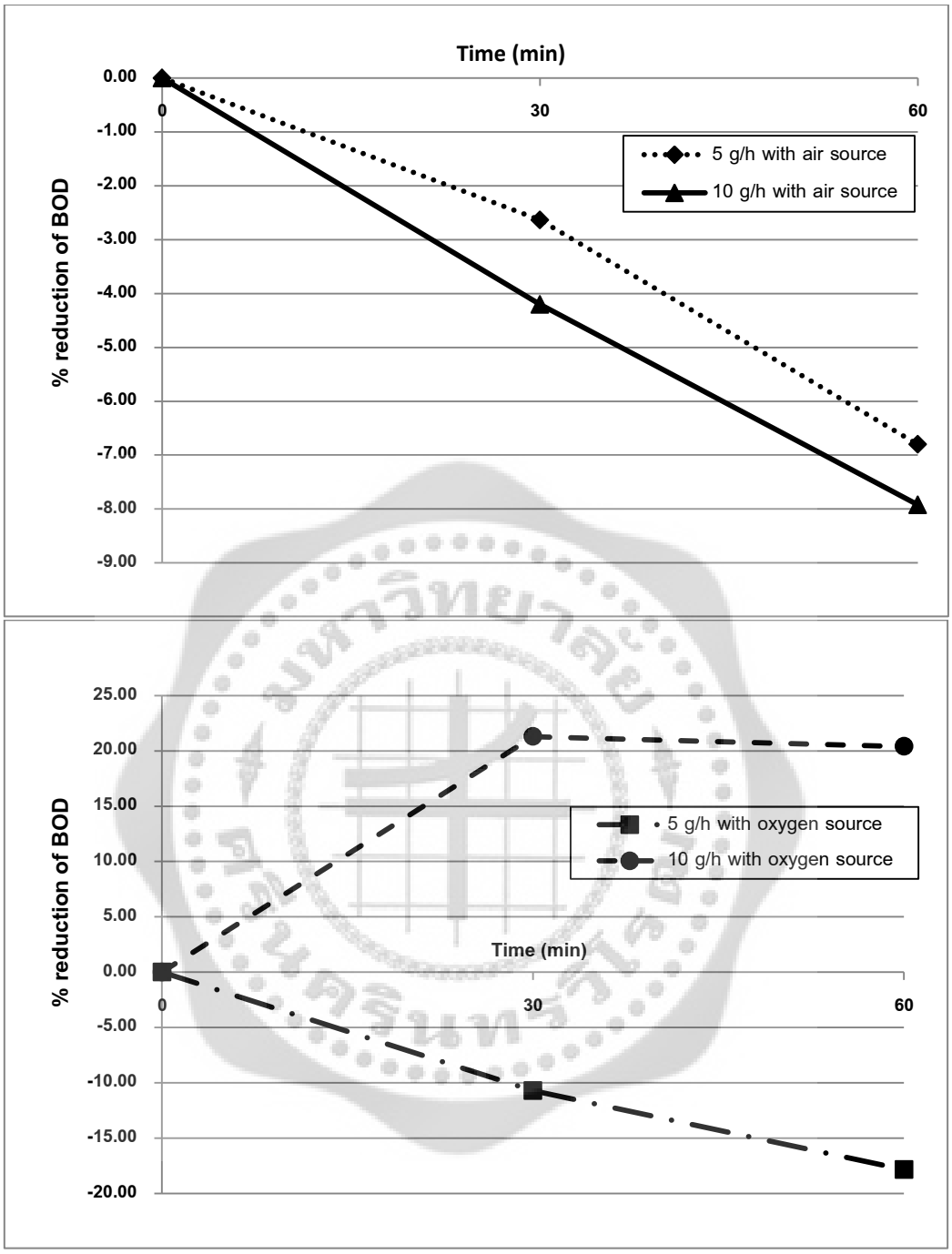
จากภาพประกอบ 13 พบว่าการใช้อากาศเป็นแหล่งผลิตโอโซนจากเครื่องผลิตโอโซนขนาด 5 และ 10 กรัมต่อชั่วโมงมีประสิทธิภาพการลดค่า BOD ใกล้เคียงกัน แต่การใช้เครื่องผลิตโอโซนขนาด 5 กรัมต่อชั่วโมงโดยใช้ออกซิเจนสามารถลดค่า BOD ได้ดีที่สุด โดยลดได้ถึง 17.86% หลังการบำบัด 1 ชั่วโมง ในทางตรงกันข้ามพบว่าการใช้เครื่องผลิตโอโซนขนาด 10 กรัมต่อชั่วโมงโดยใช้ออกซิเจนส่งผลให้ค่า BOD เพิ่มขึ้น 20.40% หลังการบำบัด 1 ชั่วโมง โดยอาจมีสาเหตุเนื่องจากโอโซนที่มีปริมาณสูงเกินไปนั้นเหนี่ยวนำให้เกิดกระบวนการเกิดโอโซน (Ozonation) ที่ทำให้เพิ่มความสามารถในการย่อยสลายของสารอินทรีย์ (Biodegradability) เพิ่มขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของสารอินทรีย์มีขนาดลดลง จึงทำให้จุลินทรีย์สามารถนำสารอินทรีย์เหล่านี้ไปใช้มากขึ้นและส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า BOD นั่นเอง (Absi; et al. 1993: 6)

ตาราง 12 คุณภาพน้ำเสียของโรงพยาบาลหลังผ่านการบำบัดโดยใช้โอโซนจากเครื่องกำเนิดโอโซน 5 กรัมต่อชั่วโมงที่ใช้อากาศและออกซิเจนเป็นแหล่งผลิตโอโซน

ตัวแปร	อากาศ			ออกซิเจน		
	0 นาที	30 นาที	60 นาที	0 นาที	30 นาที	60 นาที
BOD (มิลลิกรัม/ลิตร)	37.88	36.88	35.30	37.88	33.81	31.11
ความเป็นกรด-ด่าง	7.56	7.82	7.92	7.56	7.72	7.76
ค่าสารแขวนลอย (มิลลิกรัม/ลิตร)	27.94	25.58	29.63	27.94	27.36	25.00
สารที่ละลายได้ทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตร)	418.00	434.00	428.00	418.00	442.00	480.00
ไนโตรเจนรวม (มิลลิกรัม/ลิตร)	15.68	15.68	15.96	15.68	15.12	14.00
น้ำมันและไขมัน (มิลลิกรัม/ลิตร)	7.65	7.79	6.14	7.65	7.83	7.45

ตาราง 13 คุณภาพน้ำเสียของโรงพยาบาลหลังผ่านการบำบัดโดยใช้โอโซนจากเครื่องกำเนิดโอโซน 10 กรัมต่อชั่วโมงที่ใช้อากาศและออกซิเจนเป็นแหล่งผลิตโอโซน

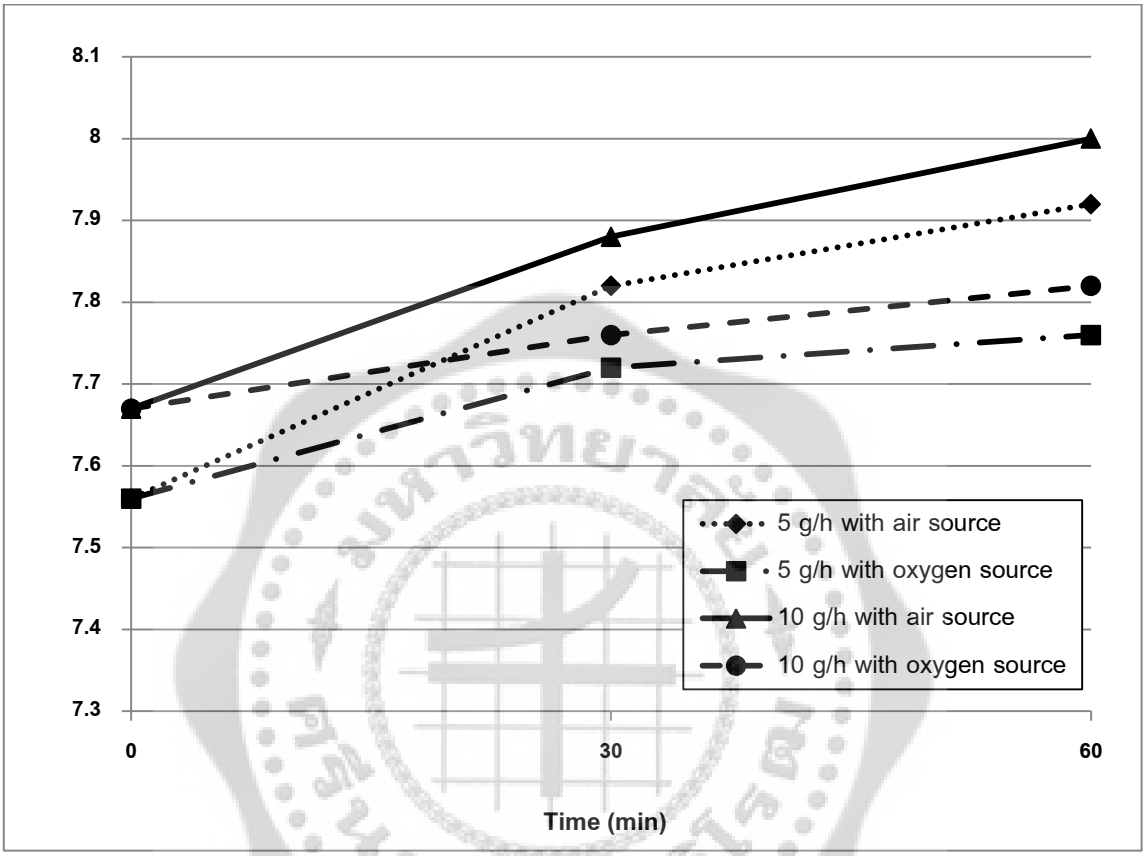
ตัวแปร	อากาศ			ออกซิเจน		
	0 นาที	30 นาที	60 นาที	0 นาที	30 นาที	60 นาที
BOD (มิลลิกรัม/ลิตร)	23.38	22.40	21.68	23.38	28.35	28.15
ความเป็นกรด-ด่าง	7.67	7.88	8.00	7.67	7.76	7.82
ค่าสารแขวนลอย (มิลลิกรัม/ลิตร)	18.05	23.81	27.33	18.05	20.95	22.11
สารที่ละลายได้ทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตร)	499.00	534.00	540.00	450.00	548.00	508.00
ไนโตรเจนรวม (มิลลิกรัม/ลิตร)	12.88	14.24	13.54	15.22	14.10	12.60
น้ำมันและไขมัน (มิลลิกรัม/ลิตร)	4.36	4.92	4.68	3.62	3.94	1.50



ภาพประกอบ 13 ร้อยละการลดของค่า BOD ของน้ำเสียจากโรงพยาบาลเมื่อผ่านการบำบัดโดยใช้โอโซนเมื่อใช้อากาศ (บน) และออกซิเจน (ล่าง) เป็นแหล่งผลิตโอโซน

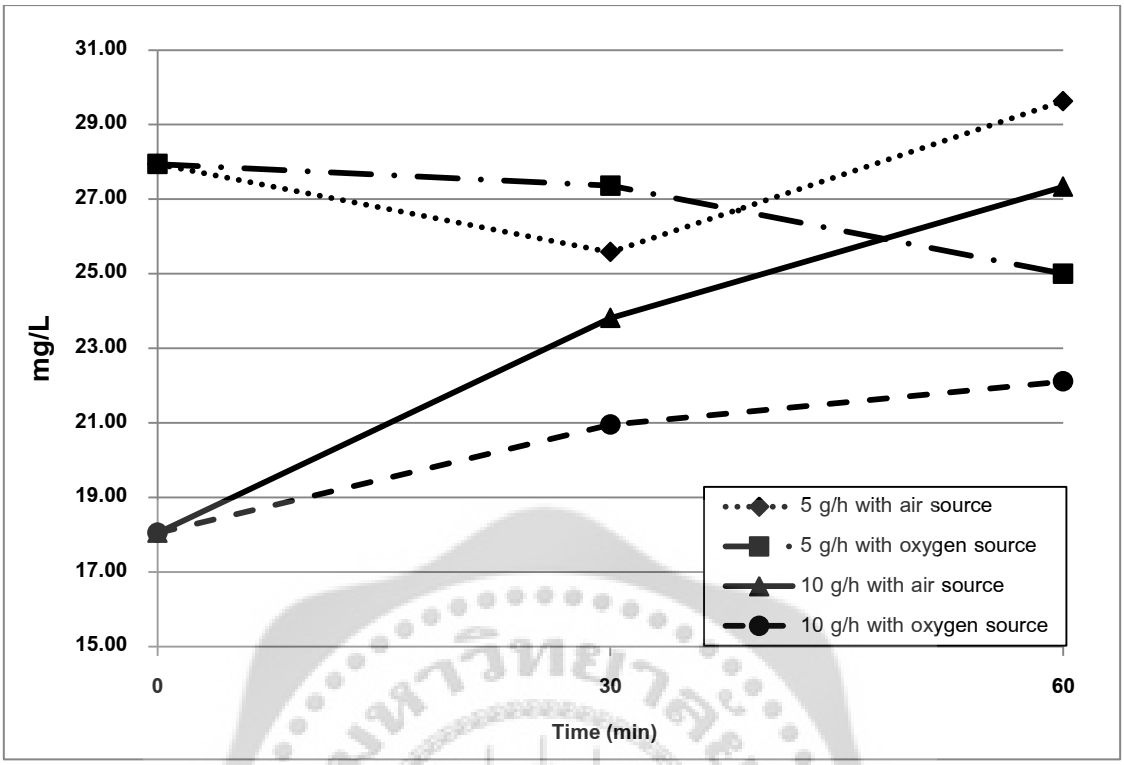
สำหรับค่าความเป็นกรด-ด่างนั้นพบว่าทุกชุดการทดลองหลังผ่านการบำบัดด้วยโอโซน ค่าความเป็นกรด-ด่างมีความเป็นด่างเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ แต่มีค่าน้อยกว่า 9 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน การที่โอโซนทำให้น้ำเสียมีความเป็นด่างเพิ่มขึ้นจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของโอโซน โดยโอโซนมีแนวโน้มที่จะแตกตัวเป็นโมโนออกไซด์เรดิเคิล (O^-, monoxide radicle) ที่จะทำ

ปฏิกิริยากับน้ำเกิดเป็นไฮดรอกซิลเรดิเคิล ($HO^{\cdot}$, hydroxyl radicle) ที่สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นได้ง่าย และไม่จำเพาะกับสารที่จะทำปฏิกิริยา จึงทำให้การบำบัดน้ำจากโมเลกุลของไฮดรอกซิลเรดิเคิลมีประสิทธิภาพสูง (Wojtowicz. 2004: 768; Yan; et al. 2012: 138)

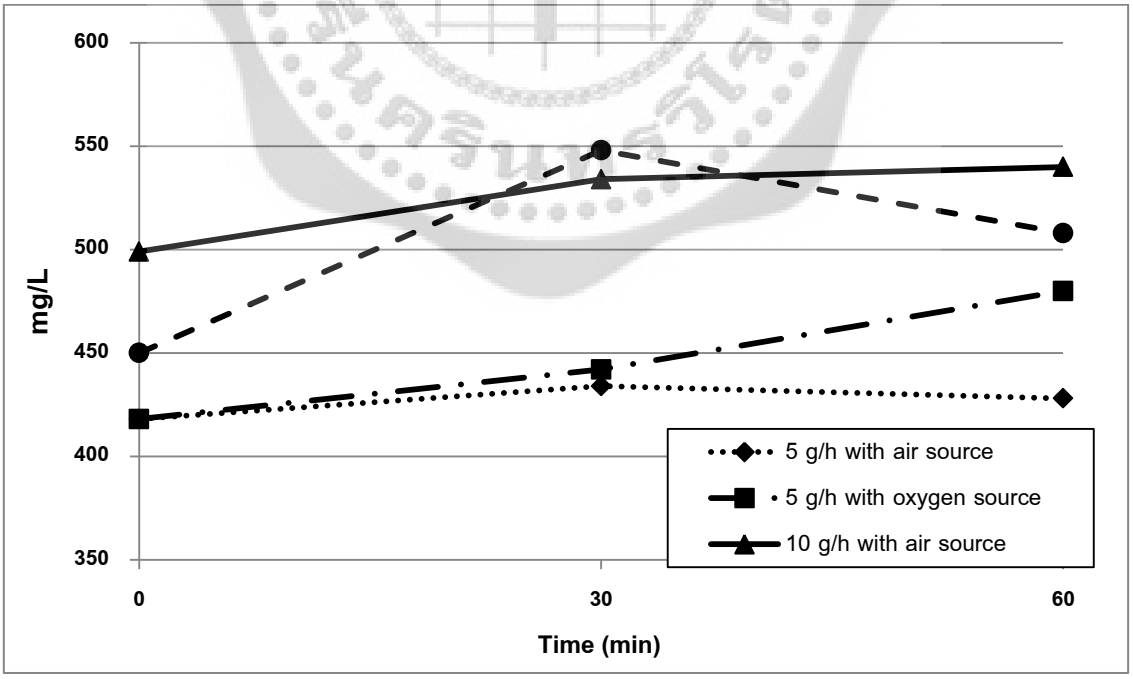


ภาพประกอบ 14 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำเสียจากโรงพยาบาลเมื่อผ่านการบำบัดโดยใช้โอโซนเมื่อใช้อากาศและออกซิเจนเป็นแหล่งผลิตโอโซน

เมื่อพิจารณาจากตาราง 12 และ 13 การบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนส่งผลให้ค่าสารแขวนลอยและสารที่ละลายได้ทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งมีสาเหตุมาจากการที่โอโซนเหนี่ยวนำให้เกิด floatation process ซึ่งกระบวนการนี้เริ่มจากการตกตะกอนโดยธรรมชาติของของแข็งในน้ำ ทำให้เกิด residual ferrous ion ในรูป ferric hyoxide ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นสารที่ทำให้ตกตะกอนสงสู่ก้นถัง (Wojtowicz. 2004: 777) และเนื่องจากน้ำที่นำมาตรวจสอบเก็บมาจากด้านล่างของถัง จึงเป็นไปได้ว่าการใช้โอโซนร่วมกับการตกตะกอนโดยธรรมชาติส่งผลให้ค่าทั้งสองค่าเพิ่มขึ้น

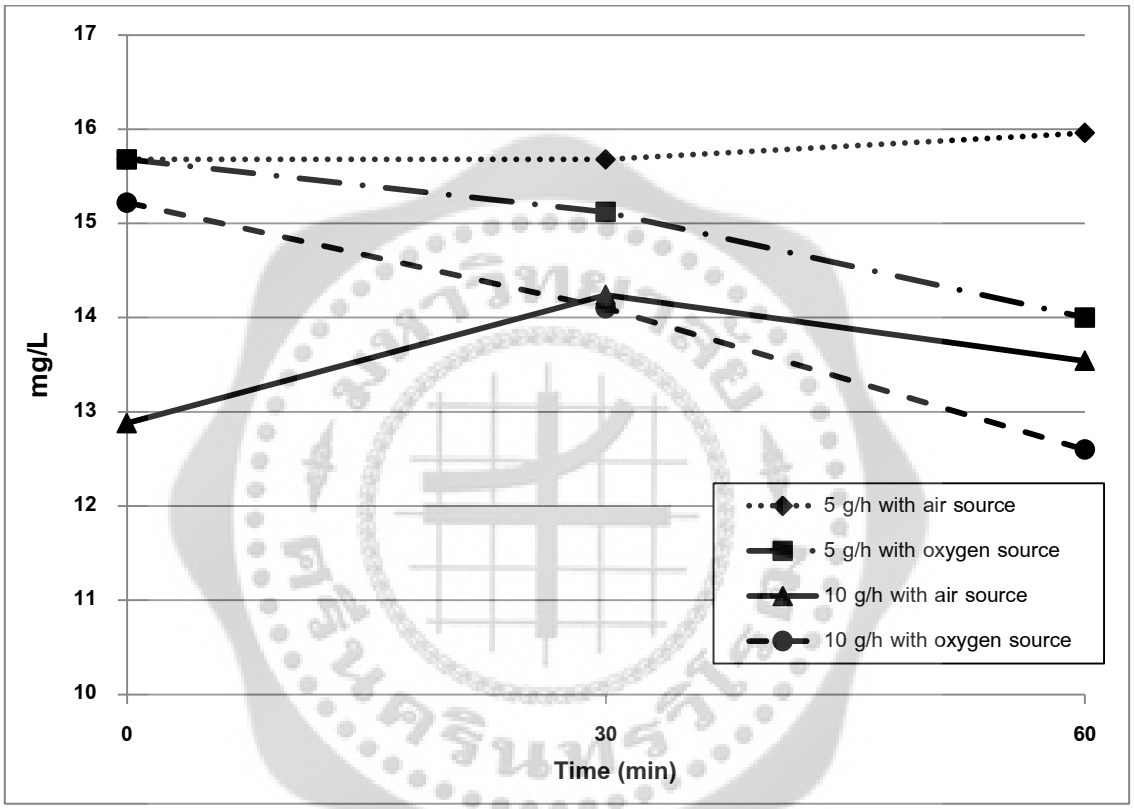


ภาพประกอบ 15 ค่าสารแขวนลอย (Suspended Solid) ของน้ำเสียจากโรงพยาบาลเมื่อผ่านการบำบัดโดยใช้โอโซนเมื่อใช้อากาศและออกซิเจนเป็นแหล่งผลิตโอโซน



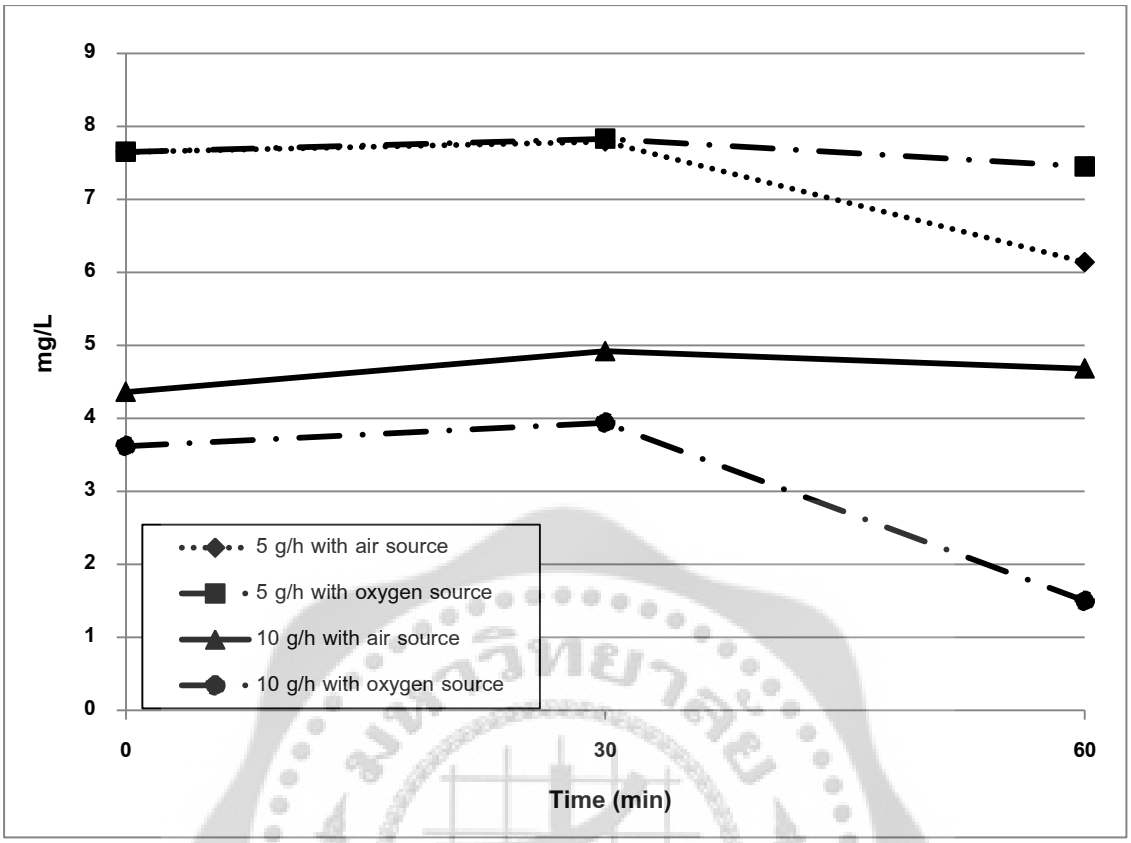
ภาพประกอบ 16 สารที่ละลายได้ทั้งหมด (Total Dissolved Solids; TDS) ของน้ำเสียจากโรงพยาบาลเมื่อผ่านการบำบัดโดยใช้โอโซนเมื่อใช้อากาศและออกซิเจนเป็นแหล่งผลิตโอโซน

สำหรับค่าปริมาณไนโตรเจนรวมนั้นพบว่าการบำบัดโดยใช้อากาศเป็นแหล่งผลิตโอโซนนั้นไม่มีผลต่อปริมาณไนโตรเจน แต่ในทางตรงกันข้ามพบว่า การใช้ออกซิเจนเป็นแหล่งผลิตโอโซนนั้นทำให้ปริมาณไนโตรเจนลดลงหลังการบำบัด 1 ชั่วโมง โดยปัจจัยที่ส่งผลต่อการลดลงของปริมาณไนโตรเจนนี้เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพการทำงานของโอโซนในสภาวะอากาศแห้ง การใช้อากาศเป็นแหล่งผลิตโอโซนนั้นทำให้มีปริมาณความชื้นเข้าไปในระบบด้วย โดยโอโซนจะทำให้เกิดการออกซิไดซ์ของสารประกอบไนโตรเจนได้ดีในสภาวะอากาศแห้ง (Loeb; et al. 2012: 70)



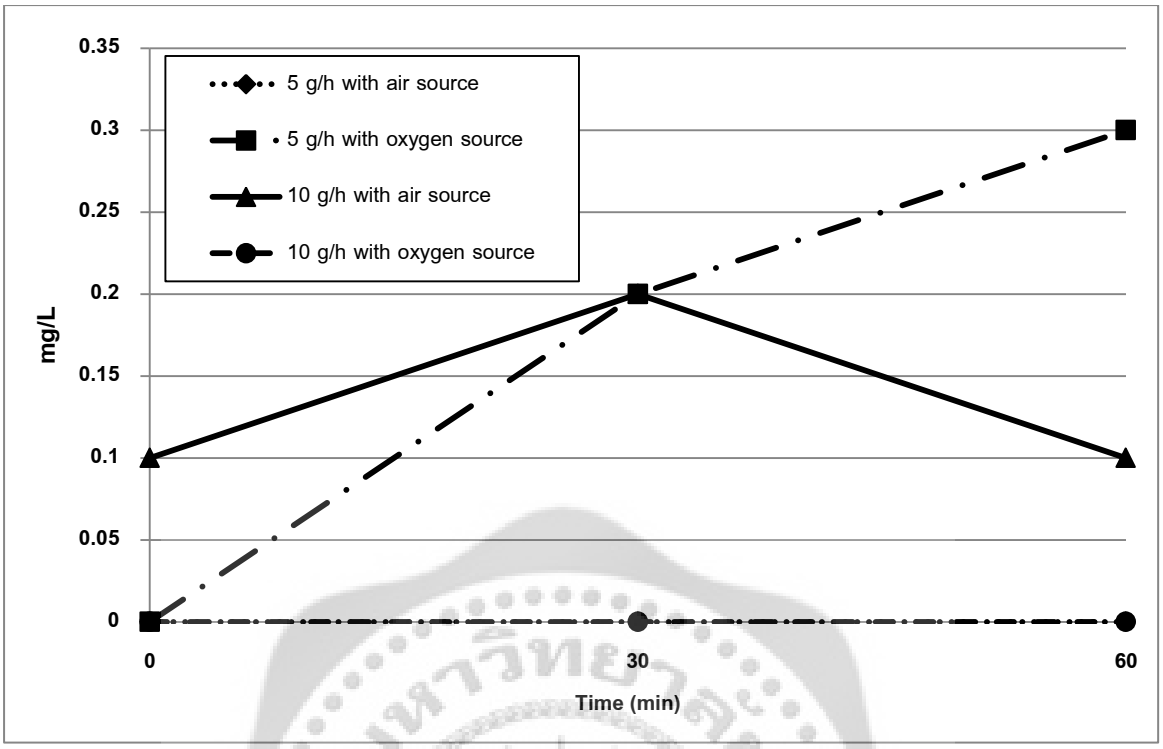
ภาพประกอบ 17 ค่าไนโตรเจนรวม (Total Kjeldahl Nitrogen; TKN) ของน้ำเสียจากโรงพยาบาลเมื่อผ่านการบำบัดโดยใช้โอโซนเมื่อใช้อากาศและออกซิเจนเป็นแหล่งผลิตโอโซน

สำหรับค่าปริมาณน้ำมันและไขมันเริ่มต้นของน้ำเสียโรงพยาบาลนั้นมีค่าเริ่มต้นน้อยกว่า 20 มิลลิกรัม/ลิตร อยู่แล้ว ซึ่งถือว่าผ่านเกณฑ์คุณภาพ และเมื่อผ่านการบำบัดพบว่าค่าดังกล่าวมีปริมาณลดลงอยู่ในช่วง 2-50 % ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าปริมาณที่ลดลงไม่มีความสัมพันธ์กับปริมาณโอโซนที่ใช้ หรือการใช้อากาศหรือออกซิเจนเป็นแหล่งผลิต ซึ่งเชื่อว่าน่าจะมีผลมาจากค่าความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นของน้ำและน้ำมันมากกว่าโอโซน เมื่อเวลาผ่านไปน้ำมันก็จะลอยขึ้นสู่ผิวด้านบนของน้ำเสียเพิ่มมากขึ้น และดังที่ได้กล่าวไปแล้วตัวอย่างน้ำที่เก็บมาตรวจนั้นเก็บจากด้านล่างของถังบำบัดนอกจากนี้การใช้โอโซนในการบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาลยังมีผลดีต่อสีของน้ำเสียอีกด้วย

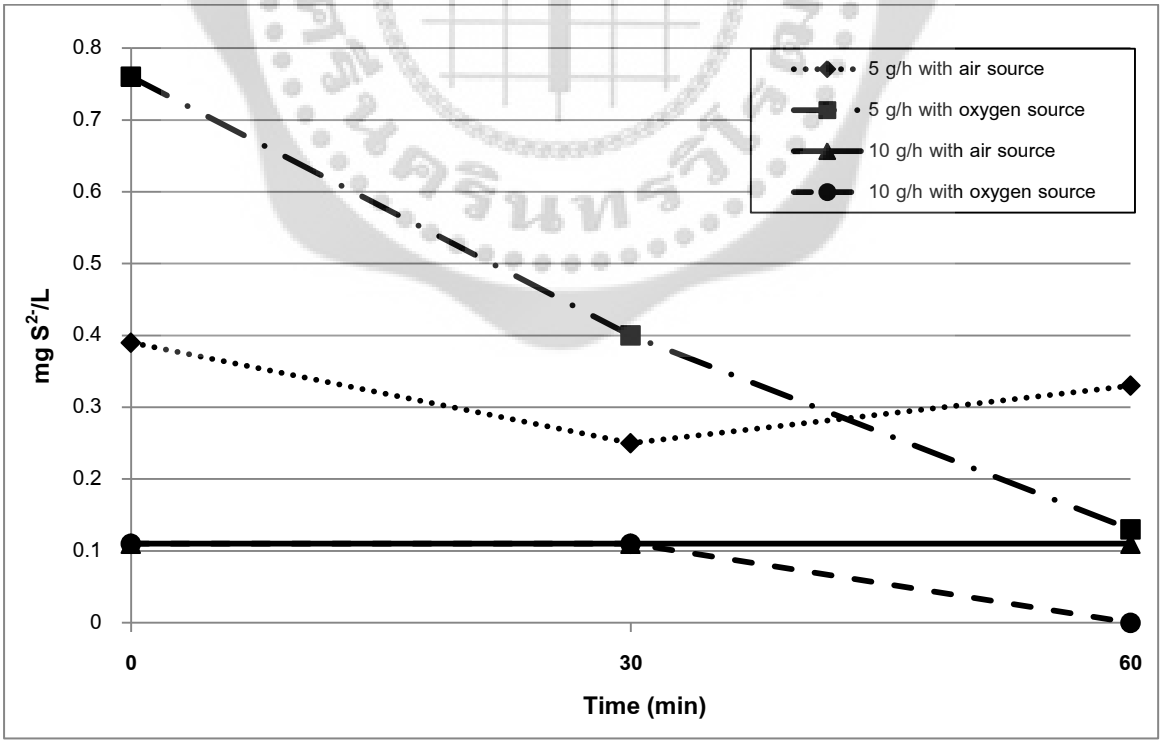


ภาพประกอบ 18 น้ำมันและไขมัน (Oil and Grease) ของน้ำเสียจากโรงพยาบาลเมื่อผ่านการบำบัดโดยใช้โอโซนเมื่อใช้อากาศและออกซิเจนเป็นแหล่งผลิตโอโซน

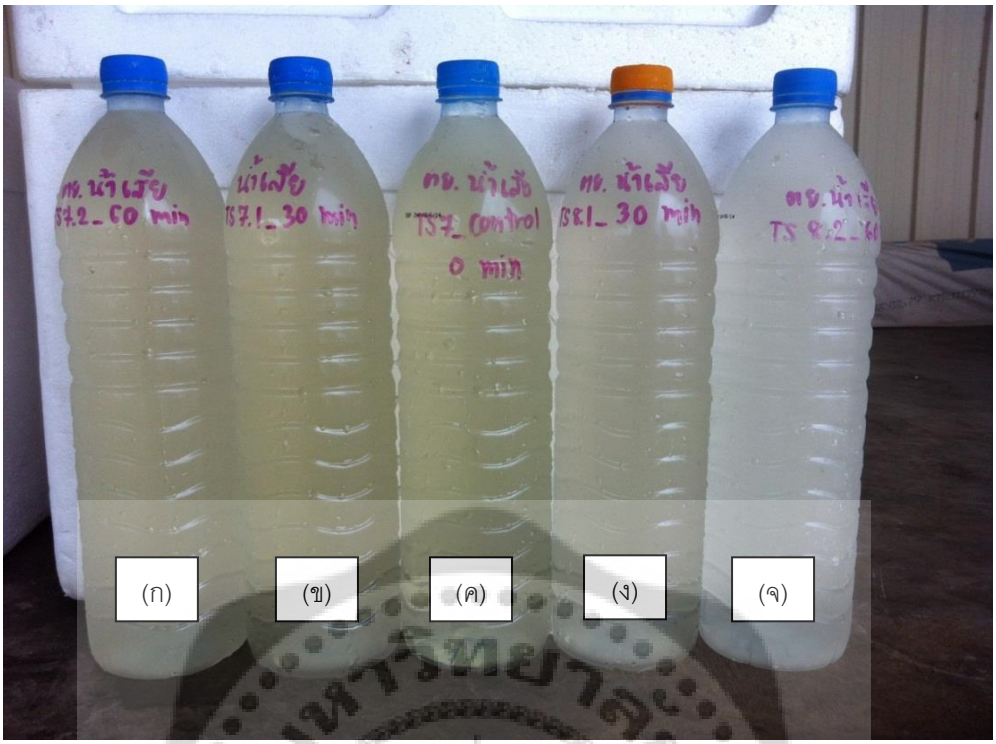
สำหรับค่าตะกอนหนักและค่าซัลไฟด์จากตาราง 12 และ 13 พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญและจากการสังเกตพบว่าการใช้ออกซิเจนเป็นแหล่งผลิตโอโซนด้วยเครื่องผลิตโอโซนขนาด 10 กรัมต่อชั่วโมงทำให้น้ำเสียเปลี่ยนจากสีน้ำตาลอ่อนเป็นสีขาวอีกด้วย ซึ่งค่าสีดังกล่าวไม่มีผลต่อเกณฑ์คุณภาพน้ำเสีย แต่อย่างไรก็ตามการใช้โอโซนในการบำบัดน้ำนั้นมีข้อดีหลายประการ ได้แก่ ไม่มีสารตกค้าง มีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคสูง ใช้พื้นที่ในการปฏิบัติการน้อย มีต้นทุนในการดำเนินการต่ำกว่าระบบบำบัดน้ำเสียบางวิธี และยังสามารถกำจัดสีและกลิ่นไม่พึงประสงค์ในน้ำเสียได้อีกด้วย



ภาพประกอบ 19 ค่าตะกอนหนัก (Settleable Solid) ของน้ำเสียจากโรงพยาบาลเมื่อผ่านการบำบัดโดยใช้โอโซนเมื่อใช้อากาศและออกซิเจนเป็นแหล่งผลิตโอโซน



ภาพประกอบ 20 ค่าซัลไฟด์ (Sulfide) ของน้ำเสียจากโรงพยาบาลเมื่อผ่านการบำบัดโดยใช้โอโซนเมื่อใช้อากาศและออกซิเจนเป็นแหล่งผลิตโอโซน



ภาพประกอบ 21 น้ำเสียจากโรงพยาบาลที่ผ่านการบำบัดด้วยโอโซนขนาด 10 กรัมต่อชั่วโมง (ก) ใช้อากาศเป็นแหล่งผลิตที่เวลา 60 นาที (ข) ใช้อากาศเป็นแหล่งผลิตที่เวลา 30 นาที (ค) น้ำเสียก่อนการบำบัด (ง) ใช้ออกซิเจนเป็นแหล่งผลิตที่เวลา 30 นาที (จ) ใช้ออกซิเจนเป็นแหล่งผลิตที่เวลา 60 นาที

จากการทดลองทั้งสองการทดลองทำให้สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

ในการทดลองที่ 1 ซึ่งทำการศึกษาเพื่อหาปัจจัยในการทำการวิจัยได้แก่การหาปัจจัยของรูปแบบการเติมน้ำ ปัจจัยของรูปแบบการเติมโอโซน ปัจจัยของการเลือกแหล่งผลิตโอโซน และปัจจัยของการเลือกขนาดของเครื่องผลิตโอโซนสรุปได้ว่า

1. ปัจจัยของรูปแบบการเติมน้ำ การที่เติมน้ำเข้าแบบต่อเนื่องจะได้ค่า BOD มีค่าที่ไม่แน่นอน แต่แบบที่เติมน้ำไม่ต่อเนื่องค่า BOD มีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องและผลจากกลิ่นก็ดีขึ้นเป็นปกติ ดังนั้นจึงเลือกการเติมน้ำแบบไม่ต่อเนื่องซึ่งจะเติมจนน้ำเต็มทุกถังโดยน้ำจะเต็มทุกถังที่เวลา 40 นาทีไปใช้ในการบำบัดน้ำที่โรงพยาบาล

2. ปัจจัยของการเลือกแหล่งผลิตโอโซน ระหว่างการเติมโอโซนแบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องพบว่าการเติมแบบต่อเนื่องสามารถลดค่า BOD ได้มากกว่า โดยที่สามารถลดได้ถึง 41.5%

แต่การเติมแบบไม่ต่อเนื่องจะลดค่า BOD ได้น้อยกว่าซึ่งสามารถลดได้แค่ 4.2% ดังนั้นจึงเลือกการเติมโอโซนแบบต่อเนื่องไปใช้ในการบำบัดน้ำที่โรงพยาบาล

3. ปัจจัยของการเลือกแหล่งผลิตโอโซนและการเลือกขนาดของเครื่องผลิตโอโซน พบว่าค่า BOD ที่ได้ในการเปรียบเทียบทั้ง 2 ปัจจัยนั้นมีค่าที่ไม่ต่างกันมาก จึงนำปัจจัยทั้งการเลือกแหล่งผลิตและการเลือกขนาดไปทำการวิจัยต่อที่โรงพยาบาล

ในการทดลองที่ 2 ซึ่งทำการศึกษาการใช้โอโซนในการบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลนั้นพบว่า

1. การใช้โอโซนในการบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลไม่มีผลต่อ ค่าตะกอนหนัก ซัลไฟด์ และปริมาณน้ำมันและไขมัน แต่การใช้โอโซนมีผลต่อค่าตัวแปรดังต่อไปนี้ ค่า BOD ความเป็นกรดด่าง ค่าสารแขวนลอย สารที่ละลายได้ทั้งหมด และปริมาณไนโตรเจนรวม

2. การบำบัดน้ำเสียจากโรงพยาบาลด้วยการใช้เครื่องผลิตโอโซนขนาด 5 กรัมต่อชั่วโมง และใช้ออกซิเจนสามารถลดค่า BOD ได้ดีที่สุด โดยลดได้ถึง 17.86% หลังการบำบัด 1 ชั่วโมง ขณะที่การใช้เครื่องผลิตโอโซนขนาด 10 กรัมต่อชั่วโมงทำให้ค่า BOD เพิ่มขึ้นมีสาเหตุมาจากการที่โอโซนในปริมาณสูงนั้นเหนี่ยวนำให้เกิดกระบวนการเกิดโอโซนที่ทำให้เพิ่มความสามารถในการย่อยสลายของสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น

3. ตัวอย่างน้ำเสียจากโรงพยาบาลในทุกชุดการทดลองหลังผ่านการบำบัดด้วยโอโซนมีค่าความเป็นกรด-ด่างมีความเป็นด่างเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ แต่มีค่าน้อยกว่า 9 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

4. การบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนส่งผลให้ค่าสารแขวนลอยและสารที่ละลายได้ทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งมีสาเหตุมาจากการที่โอโซนเหนี่ยวนำให้เกิด floatation process

5. การบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนและใช้โดยใช้อากาศเป็นแหล่งผลิตโอโซนนั้นไม่มีผลต่อปริมาณไนโตรเจน แต่ในทางตรงกันข้ามพบว่า การใช้ออกซิเจนเป็นแหล่งผลิตโอโซนนั้นทำให้ปริมาณไนโตรเจนลดลงหลังการบำบัด 1 ชั่วโมง

6. การบำบัดเสียจากโรงพยาบาลด้วยโอโซนมีผลทำให้ค่าปริมาณน้ำมันและไขมันมีปริมาณลดลงอยู่ในช่วง 2-50 % โดยที่ค่ามาตรฐานจะต้องไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งค่าเริ่มต้นของน้ำเสียโรงพยาบาลก็มีค่าไปเกินค่ามาตรฐาน และจากผลการทดลองพบว่าปริมาณที่ลดลงไม่มี

ความสัมพันธ์กับปริมาณโอโซนที่ใช้ น่าจะมีผลมาจากค่าความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นของน้ำและน้ำมันมากกว่าโอโซนที่ใช้อากาศหรือออกซิเจนเป็นแหล่งผลิต

ผลการทดลองทำให้สามารถสรุปได้ว่าการบำบัดน้ำเสียจากโรงพยาบาลด้วยเครื่องผลิตโอโซนขนาด 5 กรัมต่อชั่วโมงที่ผลิตโดยใช้ออกซิเจนเป็นแหล่งผลิตโอโซนนั้นสามารถลดค่า BOD ได้ดีที่สุด เมื่อพิจารณาร่วมกับค่าตัวแปรอื่น ๆ แล้วพบว่านั้นเครื่องผลิตโอโซน 5 กรัมต่อชั่วโมงจากออกซิเจนให้ผลการบำบัดน้ำเสียจากโรงพยาบาลได้ดีที่สุด เหมาะที่จะนำไปใช้และพัฒนาปรับปรุงต่อไป

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

1. สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้ได้ทำการบำบัดคุณภาพน้ำเสียของชุมชนเพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสมและนำปัจจัยที่เหมาะสมมาใช้บำบัดคุณภาพน้ำเสียของโรงพยาบาลขนาด 30 เตียงโดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลองดังนี้

ในการทดลองที่ 1 ได้ทำการศึกษาเพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซน ซึ่งเป็นการทดลองเบื้องต้นที่ได้ทำการทดลองกับน้ำเสียชุมชน ก่อนที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาล โดยมีปัจจัยที่ทำการศึกษา ได้แก่ รูปแบบการเติมน้ำ รูปแบบการเติมโอโซน การเลือกแหล่งผลิตโอโซน และการเลือกขนาดของเครื่องผลิตโอโซน พบว่าการเติมน้ำแบบไม่ต่อเนื่องและการเติมโอโซนแบบต่อเนื่องสามารถลดค่า BOD และทำให้กลิ่นของน้ำเสียดีขึ้นจนอยู่ในระดับน้ำปกติที่ไม่มีกลิ่นเหม็น แต่แหล่งผลิตโอโซน (อากาศและออกซิเจน) และขนาดของเครื่องผลิตโอโซน (5 และ 10 กรัมต่อชั่วโมง) นั้นให้ผลใกล้เคียงกันจึงนำมาศึกษาทดลองต่อในการทดลองที่ 2

ในการทดลองที่ 2 ซึ่งทำการบำบัดน้ำเสียของโรงพยาบาลด้วยโอโซนนั้นได้ทำการศึกษาเพื่อมุ่งเน้นหาความเหมาะสมของระบบปฏิบัติการ โดยมีตัวแปร 2 ตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ แหล่งกำเนิดโอโซน และขนาดของเครื่องผลิตโอโซน แหล่งผลิตโอโซน 2 ประเภทที่ทำการศึกษา ได้แก่ อากาศและออกซิเจน ส่วนเครื่องผลิตโอโซนที่นำมาศึกษาทดลอง ได้แก่ เครื่องผลิตโอโซนขนาด 5 และ 10 กรัมต่อชั่วโมง เพื่อศึกษาดูการเปลี่ยนแปลงของค่าตัวแปรต่างๆ ตามมาตรฐานน้ำทิ้งของโรงพยาบาล อันได้แก่ ค่า BOD ความเป็นกรดด่าง ปริมาณน้ำมันและไขมัน ซัลไฟด์ ค่าสารแขวนลอย ค่าตะกอนหนัก ค่าสารที่ละลายได้ทั้งหมด และปริมาณไนโตรเจน จากผลการทดลองพบว่าการใช้โอโซนทั้ง 2 เครื่องผลิตจากทั้ง 2 แหล่งผลิต ไม่มีผลต่อค่าตะกอนหนัก ซัลไฟด์ และปริมาณน้ำมันและไขมัน แต่การใช้โอโซนช่วยลดค่าบีโอดี แต่การใช้เครื่องผลิตโอโซนขนาด 5 กรัมต่อชั่วโมงโดยใช้ออกซิเจนเป็นแหล่งผลิตสามารถลดค่า BOD ได้ดีที่สุด ลดได้ถึง 17.86% ในทางตรงกันข้ามเครื่องผลิตโอโซนขนาด 10 กรัมต่อชั่วโมงใช้ออกซิเจนเป็นแหล่งผลิตทำให้ได้ปริมาณโอโซนมากเกินไป และส่งผลทำให้ค่า BOD เพิ่มขึ้น นอกจากนั้นยังพบว่าการใช้โอโซนทำให้ความเป็นกรดด่างเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับค่าสารแขวนลอย สารที่ละลายได้ทั้งหมด การใช้ออกซิเจนเป็นแหล่งผลิตมีผลต่อการลดลงของปริมาณไนโตรเจน

ในการเลือกปัจจัยที่เหมาะสม ได้ทำการเลือก การเติมน้ำแบบไม่ต่อเนื่องและการเติมโอโซนแบบต่อเนื่อง โดยนำปัจจัยที่เลือกมาทำการศึกษาต่อโดยใช้ อากาศและออกซิเจนเป็นแหล่งผลิต ส่วนเครื่องผลิตโอโซนที่นำมาศึกษาต่อ ได้แก่ เครื่องผลิตโอโซนขนาด 5 และ 10 กรัมต่อชั่วโมง และจากการทดลองทำให้ทราบว่าการใช้ออกซิเจนเป็นแหล่งผลิตโอโซนด้วยเครื่องผลิตโอโซน 5 กรัมต่อชั่วโมงให้ผลการบำบัดน้ำเสียดีที่สุดเมื่อพิจารณาจากทุกพารามิเตอร์

2. ข้อเสนอแนะ

ผลการทดลองทำให้ทราบว่าการใช้เครื่องผลิตโอโซนขนาด 5 กรัมต่อชั่วโมงที่ผลิตโดยใช้ออกซิเจนเป็นแหล่งผลิตโอโซนมีคุณสมบัติที่ดีต่อการบำบัดน้ำเสีย ดังนั้นจึงสามารถนำผลจากการทดลองนี้ไปประยุกต์ใช้กับน้ำเสียแหล่งอื่นเพื่อช่วยลดระยะเวลาในการบำบัดน้ำเสียและการใช้สารเคมี การทดลองนี้ทำให้ทราบว่าโอโซนสามารถลดสีและกลิ่นของน้ำเสียได้ดี ดังนั้นจึงสามารถนำคุณสมบัตินี้ไปใช้ประโยชน์ในงานที่ต้องการลดสีและกลิ่นต่อไป

ในการทดลองนี้ได้ศึกษาปัจจัยของขนาดเครื่องผลิตโอโซนขนาด 5 และ 10 กรัมต่อชั่วโมงเท่านั้น และพบว่าการใช้เครื่องผลิตโอโซนขนาด 10 กรัมต่อชั่วโมงที่ผลิตโดยใช้ออกซิเจนให้ค่า BODเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามผู้วิจัยมีความเห็นว่าปริมาณโอโซนมีผลอย่างยิ่งต่อการลดค่า BOD ดังนั้นจึงแนะนำให้ศึกษาผลของเครื่องผลิตโอโซนขนาดอื่นเพิ่มเติม

น้ำเสียจากแหล่งที่ต่างกันมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงแนะนำให้ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการที่สามารถควบคุมตัวแปรต่าง ๆ ได้ดีกว่า ก่อนที่จะนำไปประยุกต์ใช้จริงในการบำบัดน้ำเสียที่มีขนาดใหญ่ขึ้น การบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนอาจนำไปใช้ทดแทนหรือนำเอาไปเพิ่มเติมในกระบวนการบำบัดน้ำเสียเพื่อให้เกิดผลลัพธ์ที่ดีที่สุด และหากมีการนำระบบการบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนไปใช้กับน้ำเสียของโรงพยาบาลที่มีขนาดไม่เท่ากับ 30 เตียง ปัจจัยที่ควรคำนึงถึง คือ คุณภาพและปริมาณน้ำเสียจากแต่ละโรงพยาบาล รวมไปถึงค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียต่อหน่วยของปริมาณน้ำเสียที่ทำการบำบัด ซึ่งผู้วิจัยเห็นว่ามีผลอย่างยิ่งต่อการตัดสินใจเลือกใช้การบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซน

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

กรมควบคุมมลพิษ. (2553). *คู่มือการจัดการน้ำเสียอาคารประเภท ก ประเภทโรงพยาบาล*. กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. (2537, ตุลาคม). มาตรฐานน้ำทิ้งโรงพยาบาลประเภท ก. *กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด*. สืบค้นเมื่อ 23 ตุลาคม 2553, จาก http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water04.html.

นวพรรษ ลักขณานุรักษ์. (2545). *การบำบัดน้ำชะมูลฝอยขั้นต้นด้วยกระบวนการโอโซนเนชัน*. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ถ่ายเอกสาร.

เนทิยา ตัณฑชุณห์. (2544). *การลดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดโดยการโอโซนเนชั่น*. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ถ่ายเอกสาร.

พิเชษฐ ลิ้มสุวรรณ และ สุรพล บุญดวง. (2549, มกราคม). การวิจัยทางด้านโอโซน-อันตรายที่เกิดจากติดเชื้อที่แพร่กระจายในน้ำ ของเชื้อแบคทีเรียและไวรัส และการฆ่าเชื้อโรคในน้ำอุปโภคและบริโภคสำหรับประชาชน. *โอโซน*. สืบค้นเมื่อ 2 มกราคม 2553, จาก http://www.physics.kmutt.ac.th/researchgroup4.html.

ธนวัฒน์ ฉลาดสกุล. (2552, เมษายน-พฤษภาคม). เครื่องผลิตโอโซนเพื่อการบำบัดน้ำเสีย, *ส่งเสริมเทคโนโลยี ฉบับที่ 204*. หน้า 77-83.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. (2539). *วิศวกรรมการประปา เล่ม 2*. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. (2542). *เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม เล่ม 1*. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วีระพงศ์ เลิศรัตนเทวี. (2548). *การลดสีจากน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วของโรงงานสุราโดยกระบวนการโอโซนเนชัน*. วิทยานิพนธ์ วศ.ม. (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ถ่ายเอกสาร.

สถาบันนวัตกรรมการเรียนรู้ มหาวิทยาลัยมหิดล. (2556, เมษายน). การบำบัดน้ำเสีย. *น้ำเสีย*. สืบค้นเมื่อ 27 เมษายน 2556, จาก http://www.il.mahidol.ac.th/e-media/ecology/chapter3/chapter3_water13.html.

สุรพล รักปทุม. (2543). *โอโซนเพื่อชีวิตและสิ่งแวดล้อม*, กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ภาพพิมพ์.

เสริมสุข รัตสุข และไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. (2518). *การกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและแหล่งชุมชน*. กรุงเทพฯ: สถาบันวิทยาศาสตร์ประยุกต์แห่งประเทศไทย.

ห้างหุ้นส่วนจำกัดอิโนเวชันไอเดีย. (ม.ป.ท., มกราคม). การประยุกต์ใช้งานเครื่องผลิตโอโซน. *เครื่องผลิตโอโซน*. สืบค้นเมื่อ 2 มกราคม 2553, จาก http://www.innovationidea.com/applications.html.

Absi, F.; et al. (1993, October). Pilot plant investigation of ozone disinfection of physicochemically treated municipal wastewater. *Waste water treatment*. สืบค้นเมื่อ 23 ตุลาคม 2553, จาก http://ozonia.com/media/pdf/app/municiple_wastewater-e.html.

APHA, AWWA, WPCF. (2005). *Standards methods for the examination of water and wastewater*, 21th ed. Washington, DC: American Public Health Association.

Guzel-Seydim, Zeynep B.; et al. (2004, October 14). *Use of ozone in the food industry*. Food Science and Technology. 37: 453-460.

Loeb, Barrey L.; et al. (2012, March 19). Worldwide ozone capacity for treatment of drinking water and wastewater: a review. *Ozone: Science & Engineering*. 34: 64–77.

Rice, Rip G.; Graham, Dee M.; & Sopher, Charles D. (2011). Case studies of ozone in agri-food applications. In *Nonthermal Processing Technologies for Food*. Edited by Zhang, H.Q.; Barbosa-Cánovas, G.V.; & Balasubramaniam., V.M. pp. 314-341. New York: Blackwell Publishing Ltd.

Shin, S.; Hwang, H.J.; & Song, J. (2011, August 5). A combined process of non-thermal plasma with sludge stabilization for the simultaneous reduction of odor and organic waste. *Water Science & Technology*. 64(12): 2389-2394.

Weber, Junior W.J. (1972). *Physicochemical processes for water quality control*. New York: John Wiley and Sons, Inc.

Wojtowicz, John A. (2000). *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Yan, Wang; et al. (2012, July 2). Ozonation combined with ultrasound for the degradation of tetracycline in a rectangular air-lift reactor. *Separation and Purification Technology*. 84: 138-146.

Zaikov, G.E; Rakovsky, S.; & Anachkov, M. (2004). *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างใบรายงานผลการทดสอบการบำบัดน้ำเสียชุมชน

บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด
สาขาสมุทรสาคร : 23/13 หมู่ 9 ต.โคกขาม อ.เมือง จ.สมุทรสาคร 74000 ประเทศไทย
Samutsakhon Branch : 23/13 Moo 9 Khokkham, Muang, Samutsakhon 74000 Thailand
Tel: (66) 0 3485 7710-15 Fax: (66) 0 3485 7709
http://www.centrallabthai.com

Central Lab

Issue Date : March 16, 2012
Report No : TR(SS) 55/05131
Page : 1 of 1

TEST REPORT

Customer Name and Address	G-Evolution Co.,Ltd. 102 First Floor, Soi Aree, Sukhumvit 26, Klongton, Klongteoy, Bangkok 10110 Thailand.
Sample Description	T5 01 @ 0 min
Sample Code	SS 55/01687-001
Sample Characteristic and Condition	Packaging : plastic bottle plastic lid Quantity : 1 bottle, Weight/Volume : 1.5 l. Temperature : chilled, in good condition when received
Received Date	March 09, 2012
Tested Date	March 09, 2012 - March 15, 2012

Analysis Results

Test items	Test Results	Units	LOD	Reference Methods
BOD	41.00	mg/L	-	APHA, AWWA, WEF (2005), 5210B
DO	0.00	mg/L	-	APHA, AWWA, WEF (2005) 4500-O C.
Odor	Abnormal	-	-	By Smell

Approved

(Mr.Punyarit Suddee)
Director,
Samutsakhon Office

CERTIFIED

This report is certified only on the sample tested.
This report shall not be reproduced, except in full, without prior approval of the company.
FM-QP-24-01-002-R04(19/04/53)P1/1-SS

ภาพประกอบ 22 ใบรายงานผลการทดสอบการบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้เครื่องกำเนิดโอโซน 5 กรัมต่อชั่วโมงและใช้อากาศเป็นแหล่งผลิตโอโซนที่เวลา 0 นาที

บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด
สาขาสมุทรสาคร : 23/13 หมู่ 9 ต.โคกขาม อ.เมือง จ.สมุทรสาคร 74000 ประเทศไทย
Samutsakhon Branch : 23/13 Moo 9 Khokkham, Muang, Samutsakhon 74000 Thailand
Tel : (66) 0 3485 7710-15 Fax : (66) 0 3485 7709
http://www.centrallabthai.com

Central Lab

Issue Date : March 16, 2012
Report No : TR(SS) 55/05132
Page : 1 of 1

TEST REPORT

Customer Name and Address	G-Evolution Co.,Ltd. 102 First Floor, Soi Aree, Sukhumvit 26, Klongton, Klongteoy, Bangkok 10110 Thailand.
Sample Description	T5 02 @ 40min
Sample Code	SS 55/01687-002
Sample Characteristic and Condition	Packaging : plastic bottle plastic lid Quantity : 1 bottle, Weight/Volume : 1.5 l. Temperature : chilled, in good condition when received
Received Date	March 09, 2012
Tested Date	March 09, 2012 - March 15, 2012

Analysis Results

Test items	Test Results	Units	LOD	Reference Methods
BOD	29.50	mg/L	-	APHA, AWWA, WEF (2005), 2510B
DO	1.80	mg/L	-	APHA, AWWA, WEF (2005) 4500-O C.
Odor	Normal	-	-	By Smell

Approved

(Mr.Punyarit Suddee)
Director,
Samutsakhon Office

CERTIFIED

This report is certified only on the sample tested.
This report shall not be reproduced, except in full, without prior approval of the company.
FM-QP-24-01-002-R04(19/04/53)P1/1-SS

ภาพประกอบ 23 ใบรายงานผลการทดสอบการบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้เครื่องกำเนิดโอโซน 5 กรัมต่อชั่วโมงและใช้อากาศเป็นแหล่งผลิตโอโซนที่เวลา 40 นาที

บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด
สาขาสมุทรสาคร : 23/13 หมู่ 9 ค.โคกขาม อ.เมือง จ.สมุทรสาคร 74000 ประเทศไทย
Samutsakhon Branch : 23/13 Moo 9 Khokkham, Muang, Samutsakhon 74000 Thailand
Tel: (66) 0 3485 7710-15 Fax: (66) 0 3485 7709
http://www.centrallabthai.com

Issue Date : March 16, 2012
Report No : TR(SS) 55/05133
Page : 1 of 1

TEST REPORT

Customer Name and Address	G-Evolution Co.,Ltd. 102 First Floor, Soi Aree, Sukhumvit 26, Klongton, Klongteoy, Bangkok 10110 Thailand.
Sample Description	T5 03 @ 100 min
Sample Code	SS 55/01687-003
Sample Characteristic and Condition	Packaging : plastic bottle plastic lid Quantity : 1 bottle, Weight/Volume : 1.5 l. Temperature : chilled, in good condition when received
Received Date	March 09, 2012
Tested Date	March 09, 2012 - March 15, 2012

Analysis Results

Test items	Test Results	Units	LOD	Reference Methods
BOD	27.00	mg/L	-	APHA, AWWA, WEF (2005), 2510B
DO	3.02	mg/L	-	APHA, AWWA, WEF (2005) 4500-O C.
Odor	Normal	-	-	By Smell

Approved

(Mr.Punyarit Suddee)
Director,
Samutsakhon Office

CERTIFIED

This report is certified only on the sample tested.
This report shall not be reproduced, except in full, without prior approval of the company.
FM-QP-24-01-002-R04(19/04/53)P1/1-SS

ภาพประกอบ 24 ใบรายงานผลการทดสอบการบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้เครื่องกำเนิดโอโซน 5 กรัมต่อชั่วโมงและใช้อากาศเป็นแหล่งผลิตโอโซนที่เวลา 100 นาที

บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด
สาขาสมุทรสาคร : 23/13 หมู่ 9 ต.โคกขาม อ.เมือง จ.สมุทรสาคร 74000 ประเทศไทย
Samutsakhon Branch : 23/13 Moo 9 Khokkham, Muang, Samutsakhon 74000 Thailand
Tel : (66) 0 3485 7710-15 Fax : (66) 0 3485 7709
http://www.centrallabthai.com

Central Lab

Issue Date : March 16, 2012
Report No : TR(SS) 55/05134
Page : 1 of 1

TEST REPORT

Customer Name and Address	G-Evolution Co.,Ltd. 102 First Floor, Soi Aree, Sukhumvit 26, Klongton, Klongteoy, Bangkok 10110 Thailand.
Sample Description	T5 04 @ 160 min
Sample Code	SS 55/01687-004
Sample Characteristic and Condition	Packaging : plastic bottle plastic lid Quantity : 1 bottle, Weight/Volume : 1.5 l. Temperature : chilled, in good condition when received
Received Date	March 09, 2012
Tested Date	March 09, 2012 - March 15, 2012

Analysis Results

Test items	Test Results	Units	LOD	Reference Methods
BOD	24.00	mg/L	-	APHA, AWWA, WEF (2005), 2510B
DO	2.80	mg/L	-	APHA, AWWA, WEF (2005) 4500-O C.
Odor	Normal	-	-	By Smell

Approved

(Mr.Punyarit Suddee)
Director,
Samutsakhon Office

CERTIFIED

This report is certified only on the sample tested.
This report shall not be reproduced, except in full, without prior approval of the company.
FM-QP-24-01-002-R04(19/04/53)P1/1-SS

ภาพประกอบ 25 ใบรายงานผลการทดสอบการบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้เครื่องกำเนิดโอโซน 5 กรัมต่อชั่วโมงและใช้อากาศเป็นแหล่งผลิตโอโซนที่เวลา 160 นาที

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างใบรายงานผลการทดสอบ การบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาล

บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด
สาขาสมุทรสาคร : 23/13 หมู่ 9 ต.โคกขาม อ.เมือง จ.สมุทรสาคร 74000 ประเทศไทย
Samutsakhon Branch : 23/13 Moo 9 Khokkham, Muang, Samutsakhon 74000 Thailand
Tel : (66) 0 3485 7710-15 Fax : (66) 0 3485 7709
http://www.centrallabthai.com

Issue Date : August 22, 2012
Report No : TR(SS) 55/19007
Page : 1 of 1

TEST REPORT

Customer Name and Address	G-Evolution Co.,Ltd. 102 First Floor, Soi Aree, Sukhumvit 26, Klongton, Klongteoy, Bangkok 10110 Thailand.
Sample Description	Wastewater_TS1_Control_0 min
Sample Code	SS 55/05933-001
Sample Characteristic and Condition	Packaging : plastic bottle plastic lid Quantity : 4 bottles, Weight/Volume : 1.50 L./bottle. Temperature : chilled, in good condition when received
Received Date	August 09, 2012
Tested Date	August 09, 2012 - August 21, 2012

Analysis Results

Test items	Test Results	Units	LOD	Reference Methods
pH	7.65	-	-	APHA, AWWA, WEF (2005), 4500-H^+ B
Sulfide	0.34	mgS^{2-}/L	-	APHA, AWWA, WEF (2005) 4500-S^{2-} F.
BOD	21.75	mg/L	-	APHA, AWWA, WEF (2005), 2510B
Oil & Grease	3.90	mg/L	-	APHA, AWWA, WEF (2005) 5520 B.
Settleable Solids	0.00	mg/L	-	APHA,AWWA,WEF (2005) Part 2540 F.
Suspended solids (SS)	22.06	mg/L	-	APHA, AWWA, WEF (2005),2540- D.
Total Dissolved solids (TDS)	418.00	mg/L	-	APHA, AWWA, WEF (2005), 2540 C
Total Kjeldahl Nitrogen	18.53	mg/L	-	APHA,AWWA,WEF (2005) Part 4500-N org Nitrogen (Organic) B

Approved

(Mr.Punyarit Suddee)
Director,
Samutsakhon Office

CERTIFIED

This report is certified only on the sample tested.
This report shall not be reproduced, except in full, without prior approval of the company.

ภาพประกอบ 26 ใบรายงานผลการทดสอบการบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลโดยใช้เครื่องกำเนิดโอโซน 5 กรัมต่อชั่วโมงและใช้อากาศและก๊าซออกซิเจนเป็นแหล่งผลิตโอโซนที่เวลา 0 นาที

บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด
Central Laboratory (Thailand) Co.,Ltd.
สาขาสมุทรสาคร : 23/13 หมู่ 9 ต.โคกขาม อ.เมือง จ.สมุทรสาคร 74000 ประเทศไทย
Samutsakhon Branch : 23/13 Moo 9 Khokkham, Muang, Samutsakhon 74000 Thailand
Tel : (66) 0 3485 7710-15 Fax : (66) 0 3485 7709
http://www.centrallabthai.com

Central Lab

Issue Date : August 22, 2012
Report No : TR(SS) 55/19008
Page : 1 of 1

TEST REPORT

Customer Name and Address	G-Evolution Co.,Ltd. 102 First Floor, Soi Aree, Sukhumvit 26, Klongton, Klongteoy, Bangkok 10110 Thailand.
Sample Description	Wastewater_TS1.1_30 min
Sample Code	SS 55/05933-002
Sample Characteristic and Condition	Packaging : plastic bottle plastic lid Quantity : 4 bottles, Weight/Volume : 1.50 L./bottle. Temperature : chilled, in good condition when received
Received Date	August 09, 2012
Tested Date	August 09, 2012 - August 21, 2012

Analysis Results

Test items	Test Results	Units	LOD	Reference Methods
pH	7.79	-	-	APHA, AWWA, WEF (2005), 4500-H^+ B
Sulfide	0.37	mgS^{2-}/L	-	APHA, AWWA, WEF (2005) 4500-S^{2-} F.
BOD	20.00	mg/L	-	APHA, AWWA, WEF (2005), 2510B
Oil & Grease	3.50	mg/L	-	APHA, AWWA, WEF (2005) 5520 B.
Settleable Solids	0.00	mg/L	-	APHA,AWWA,WEF (2005) Part 2540 F.
Suspended solids (SS)	11.59	mg/L	-	APHA, AWWA, WEF (2005),2540- D.
Total Dissolved solids (TDS)	434.00	mg/L	-	APHA, AWWA, WEF (2005), 2540 C
Total Kjeldahl Nitrogen	16.41	mg/L	-	APHA,AWWA,WEF (2005) Part 4500-N org Nitrogen (Organic) B

Approved

(Mr.Punyarit Suddee)
Director,
Samutsakhon Office

Food Safety
Central Laboratory (Thailand) Co.,Ltd.
CERTIFIED

This report is certified only on the sample tested.
This report shall not be reproduced, except in full, without prior approval of the company.
FM-QP-24-01-002-R04-(19/04/53)P1/1-SS

ภาพประกอบ 27 ใบรายงานผลการทดสอบการบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลโดยใช้เครื่องกำเนิดโอโซน 5 กรัมต่อชั่วโมงและใช้อากาศเป็นแหล่งผลิตโอโซนที่เวลา 30 นาที

บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด
สาขาสมุทรสาคร : 23/13 หมู่ 9 ต.โคกขาม อ.เมือง จ.สมุทรสาคร 74000 ประเทศไทย
Samutsakhon Branch : 23/13 Moo 9 Khokkham, Muang, Samutsakhon 74000 Thailand
Tel : (66) 0 3485 7710-15 Fax : (66) 0 3485 7709
http://www.centrallabthai.com

Central Lab

Issue Date : August 22, 2012
Report No : TR(SS) 55/19009
Page : 1 of 1

TEST REPORT

Customer Name and Address	G-Evolution Co.,Ltd. 102 First Floor, Soi Aree, Sukhumvit 26, Klongton, Klongteoy, Bangkok 10110 Thailand.
Sample Description	Wastewater_TS1.2_60 min
Sample Code	SS 55/05933-003
Sample Characteristic and Condition	Packaging : plastic bottle plastic lid Quantity : 4 bottles, Weight/Volume : 1.50 L./bottle. Temperature : chilled, in good condition when received
Received Date	August 09, 2012
Tested Date	August 09, 2012 - August 21, 2012

Analysis Results

Test items	Test Results	Units	LOD	Reference Methods
pH	8.01	-	-	APHA, AWWA, WEF (2005), 4500-H+ B
Sulfide	0.43	mgS^{2-}/L	-	APHA, AWWA, WEF (2005) 4500-S^{2-} F.
BOD	20.00	mg/L	-	APHA, AWWA, WEF (2005), 2510B
Oil & Grease	3.20	mg/L	-	APHA, AWWA, WEF (2005) 5520 B.
Settleable Solids	0.10	mg/L	-	APHA,AWWA,WEF (2005) Part 2540 F.
Suspended solids (SS)	19.72	mg/L	-	APHA, AWWA, WEF (2005),2540- D.
Total Dissolved solids (TDS)	428.00	mg/L	-	APHA, AWWA, WEF (2005), 2540 C
Total Kjeldahl Nitrogen	17.25	mg/L	-	APHA,AWWA,WEF (2005) Part 4500-N org Nitrogen (Organic) B

Approved

(Mr.Punyarit Suddee)
Director,
Samutsakhon Office

CERTIFIED

This report is certified only on the sample tested.
This report shall not be reproduced, except in full, without prior approval of the company.

ภาพประกอบ 28 ใบรายงานผลการทดสอบการบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลโดยใช้เครื่องกำเนิดโอโซน 5 กรัมต่อชั่วโมงและใช้อากาศเป็นแหล่งผลิตโอโซนที่เวลา 60 นาที

บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด
Central Laboratory (Thailand) Co.,Ltd.
สาขาสมุทรสาคร : 23/13 หมู่ 9 ต.โคกขาม อ.เมือง จ.สมุทรสาคร 74000 ประเทศไทย
Samutsakhon Branch : 23/13 Moo 9 Khokkham, Muang, Samutsakhon 74000 Thailand
Tel : (66) 0 3485 7710-15 Fax : (66) 0 3485 7709
http://www.centrallabthai.com

Central Lab

Issue Date : August 22, 2012
Report No : TR(SS) 55/19010
Page : 1 of 1

TEST REPORT

Customer Name and Address	G-Evolution Co.,Ltd. 102 First Floor, Soi Aree, Sukhumvit 26, Klongton, Klongteoy, Bangkok 10110 Thailand.
Sample Description	Wastewater_TS2.1_30 min
Sample Code	SS 55/05933-004
Sample Characteristic and Condition	Packaging : plastic bottle plastic lid Quantity : 4 bottles, Weight/Volume : 1.50 L./bottle. Temperature : chilled, in good condition when received
Received Date	August 09, 2012
Tested Date	August 09, 2012 - August 21, 2012

Analysis Results

Test items	Test Results	Units	LOD	Reference Methods
pH	7.83	-	-	APHA, AWWA, WEF (2005), 4500-H^+ B
Sulfide	0.23	mgS^{2-}/L	-	APHA, AWWA, WEF (2005) 4500-S^{2-} F.
BOD	19.50	mg/L	-	APHA, AWWA, WEF (2005), 2510B
Oil & Grease	2.60	mg/L	-	APHA, AWWA, WEF (2005) 5520 B.
Settleable Solids	0.20	mg/L	-	APHA,AWWA,WEF (2005) Part 2540 F.
Suspended solids (SS)	12.86	mg/L	-	APHA, AWWA, WEF (2005),2540- D.
Total Dissolved solids (TDS)	422.00	mg/L	-	APHA, AWWA, WEF (2005), 2540 C
Total Kjeldahl Nitrogen	18.38	mg/L	-	APHA,AWWA,WEF (2005) Part 4500-N org Nitrogen (Organic) B

Approved

(Mr.Punyarit Suddee)
Director,
Samutsakhon Office

CERTIFIED

This report is certified only on the sample tested.
This report shall not be reproduced, except *in full, without prior approval of the company.*
FM-QP-24-01-002-R04-(19/04/53)P1/1-SS

ภาพประกอบ 29 ใบรายงานผลการทดสอบการบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลโดยใช้เครื่องกำเนิดโอโซน 5 กรัมต่อชั่วโมงและใช้ก๊าซออกซิเจนเป็นแหล่งผลิตโอโซนที่เวลา 30 นาที

บริษัท ห้องปฏิบัติการกลาง (ประเทศไทย) จำกัด
Central Laboratory (Thailand) Co.,Ltd.
สาขาสมุทรสาคร : 23/13 หมู่ 9 ต.โคกขาม อ.เมือง จ.สมุทรสาคร 74000 ประเทศไทย
Samutsakhon Branch : 23/13 Moo 9 Khokkham, Muang, Samutsakhon 74000 Thailand
Tel : (66) 0 3485 7710-15 Fax : (66) 0 3485 7709
http://www.centrallabthai.com

Central Lab

Issue Date : August 22, 2012
Report No : TR(SS) 55/19011
Page : *1 of 1*

TEST REPORT

Customer Name and Address	G-Evolution Co.,Ltd. 102 First Floor, Soi Aree, Sukhumvit 26, Klongton, Klongteoy, Bangkok 10110 Thailand.
Sample Description	Wastewater_TS2.2_60 min
Sample Code	SS 55/05933-005
Sample Characteristic and Condition	Packaging : plastic bottle plastic lid Quantity : 4 bottles, Weight/Volume : 1.50 L./bottle. Temperature : chilled, in good condition when received
Received Date	August 09, 2012
Tested Date	August 09, 2012 - August 21, 2012

Analysis Results

Test items	Test Results	Units	LOD	Reference Methods
pH	7.84	-	-	APHA, AWWA, WEF (2005), 4500-H^+ B
Sulfide	0.37	mgS^{2-}/L	-	APHA, AWWA, WEF (2005) 4500-S^{2-} F.
BOD	17.00	mg/L	-	APHA, AWWA, WEF (2005), 2510B
Oil & Grease	2.40	mg/L	-	APHA, AWWA, WEF (2005) 5520 B.
Settleable Solids	0.40	mg/L	-	APHA,AWWA,WEF (2005) Part 2540 F.
Suspended solids (SS)	24.66	mg/L	-	APHA, AWWA, WEF (2005),2540- D.
Total Dissolved solids (TDS)	476.00	mg/L	-	APHA, AWWA, WEF (2005), 2540 C
Total Kjeldahl Nitrogen	17.68	mg/L	-	APHA,AWWA,WEF (2005) Part 4500-N org Nitrogen (Organic) B

Approved by : Safety

(Mr.Punyarit Suddee)
Director,
Samutsakhon Office

CERTIFIED

This report is certified only on the sample tested.
This report shall not be reproduced, except in full, without prior approval of the company.
FM-QP-24-01-002-R04-(19/04/53)P1/1-SS

ภาพประกอบ 30 ใบรายงานผลการทดสอบการบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลโดยใช้เครื่องกำเนิดโอโซน 5 กรัมต่อชั่วโมงและใช้ก๊าซออกซิเจนเป็นแหล่งผลิตโอโซนที่เวลา 60 นาที

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ นามสกุล	นายปราชญา ตรีสุทธาชีพ
วัน เดือน ปีเกิด	25 มกราคม พ.ศ. 2526
สถานที่เกิด	เขตปทุมวัน จังหวัดกรุงเทพฯ
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	599/36 หมู่บ้านอารียา ถนนลาดปลาเค้า แขวงจรเข้บัว เขตลาดพร้าว จังหวัดกรุงเทพฯ 10230
ตำแหน่งงานปัจจุบัน	วิศวกร
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	บริษัท จี อีโวลูชั่น จำกัด 102 ถนนสุขุมวิท 26 แขวงคลองตัน เขตคลองเตย จังหวัดกรุงเทพฯ 10110

ประวัติการศึกษา

พ.ศ.2544	มัธยมศึกษาตอนปลาย จาก โรงเรียนศรีวิกรม์
พ.ศ.2551	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วิศวกรรมเครื่องกล จาก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
พ.ศ.2556	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต การจัดการทางวิศวกรรม (พลังงานและสิ่งแวดล้อม) จาก มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ