ความเป็นไปได้ในการใช้โอโซนบำบัดน้ำเสียจากอาคารมหามกุฏ

นางสาววจีวโรบล แสงสว่าง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2552
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

FEASIBILITY OF USING OZONE FOR TREATMENT OF WASTEWATER FROM A MAHAMAKUT BUILDING

Miss Wacheewarobon Sangsawang

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Environmental Science
(Interdisciplinary Program)
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

522339

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ความเป็นไปได้ในการใช้โอโซนบำบัดน้ำเสียจากอาคารมหามกุฎ
โดย	นางสาววจีวโรบล แสงสว่าง
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมใจ เพ็งปรีชา)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุเมธ ชวเดช)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ชัยพร ภู่ประเสริฐ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จินต์ อโณทัย)

วจีวโรบล แสงสว่าง : ความเป็นไปได้ในการใช้โอโซนบำบัดน้ำเสียจากอาคารมหามกุฎ (FEASIBILITY OF USING OZONE FOR TREATMENT OF WASTEWATER FROM A MAHAMAKUT BUILDING) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ.ดร.ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์, 152 หน้า.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้โอโซนบำบัดน้ำเสียจากอาคารมหามกุฎ ปัจจุบันระบบบำบัดน้ำเสียของอาคารมหามกุฎ คือ ระบบตะกอนเร่ง (Activated sludge; AS) ที่มีการเติมอากาศตลอด 24 ชั่วโมง ต้นทุนในการบำบัดน้ำเสียให้น้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าอยู่ตามเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งชุมชนและซ่อมบำรุงจึงสูงมาก น้ำเสียจากอาคารมหามกุฎแตกต่างจากน้ำเสียชุมชนทั่วไปที่พบธาตุ เช่น Zn, Ba, Cu และ Pb เท่ากับ 0.31, 0.13, 0.02 และ 0.01 มก.ล. ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลการใช้สารเคมีภายในอาคาร และจากการเติมโอโซนลงในน้ำเสียจากบ่อสุดท้าย (Final tank) พบว่า โอโซนอิ่มตัวภายใน 60 นาที เมื่อหยุดเติมโอโซน ความเข้มข้นของโอโซนในน้ำเสียลดลงเป็น 0 มก.ล.ใน 60 นาทีเช่นกัน ความเข้มข้นโอโซนกับค่าออกซิเจนละลาย (Dissolved Oxygen; DO) มีความสัมพันธ์กันโดยตรง ที่อัตราส่วนปริมาตรน้ำเสียอิ่มตัวด้วยโอโซนกับน้ำเสียจากบ่อเติมอากาศ 1:1, 1:2, 1:3 และ 1:4 โดยปริมาตร พบว่า หลังทำการผสม ทิ้งไว้ 60 นาที น้ำเสียมีค่า DO เท่ากับ 5.02±0.10, 4.75±0.13, 4.70±0.31 และ 4.50±0.10 มก.ล. ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับค่า DO ของน้ำเสียที่ได้รับการเติมอากาศตลอดเวลา (4.26±1.02 มก.ล.) การเติมโอโซนอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 20 นาที แล้วผสมกับน้ำเสียด้วยอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร ทำให้น้ำเสีย มีค่า DO เท่ากับ 7.15 มก.ล. ซึ่งจะลดลงเหลือ 4.67 มก.ล. เมื่อเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง ดังนั้น การเติมโอโซนเพียง 20 นาที จึงเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย การควบคุมอุณหภูมิน้ำเสียที่ 30 °C จะช่วยให้มีค่า DO 5.62 มก.ล. และยังคงเพียงพอต่อความต้องการของจุลินทรีย์อย่างน้อย 3 ชั่วโมง การผสมน้ำเสียที่มีโอโซนกับน้ำเสียด้วยอัตราส่วน 1:8 โดยปริมาตร และควบคุมอุณหภูมิที่ 30 °C เมื่อเวลาผ่านไป 3 ชั่วโมง สามารถลดค่า COD ลงได้ 43% ความเข้มข้นของโอโซนคงเหลือเท่ากับ 0.02 มก.ล. และมีค่า DO เท่ากับ 3.68 มก.ล. แบคทีเรียเพิ่มขึ้นจาก 7.45×10^4 เป็น 8.13×10^5 CFU

ดังนั้นการใช้โอโซนแทนการเติมอากาศจึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการเดินระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต วจีวโรบล แสงสว่าง

ปีการศึกษา 2552 ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก โฆษิตานนท์

5087189820 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEYWORDS : ACTIVATED SLUDGE / WASTEWATER TREATMENT / OZONE

WACHEEWAROBON SANGSAWANG : FEASIBILITY OF USING OZONE FOR TREATMENT OF WASTEWATER FROM A MAHAMAKUT BUILDING. THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF.CHARNWIT KOSITANONT, Ph.D., 152 pp.

Wastewater from Mahamakut building is being treated by the activated sludge system (AS). Since it has to be aerated all the time, aeration cost of the system is always high. The wastewater contained Zn, Ba, Cu and Pb at 0.31, 0.13, 0.02 and 0.01 mg/L, respectively. These elements are not common in general community wastewater but they are use in teaching classes and researches in the building. Ozone was saturated in 1 liter of final stage treatment wastewater in 60 minutes and disappeared after stop ozoning in the same time. Ozone concentration was linearly correlated to dissolved oxygen. Ozone saturated wastewater was mixed with wastewater from aeration tank at 1:1, 1:2, 1:3 and 1:4 volume/volume and monitored for DO. The final DO at 60 minutes were 5.02±0.10, 4.75±0.13, 4.70±0.31 and 4.50±0.10 mg/L, respectively. These results were close to the continuously aerated wastewater (4.26±1.02 mg/L).

Mixing water which ozonized continuously for 20 minutes with wastewater at 1:1 ratio v/v resulted in 7.15 mg/L Dissolved oxygen (DO). After 3 hours standing, DO was decreased to 4.67 mg/L. Therefore, 20 minutes ozonization resulted in enough DO for bacterial growth. From controlling wastewater temperature at 30°C, DO of 5.62 mg/L was obtained which enough for at least 3 hours bacterial oxygen need. Mixing ratio of wastewater at 1:8 could reduce COD by 43% at 3 hours while Ozone and DO residues were 0.02 and 3.68 mg/L respectively. Bacteria number was increased from 7.45×10^4 to 8.13×10^5 CFU.

This work indicates that to use ozone saturated water in stead of continuously aeration could be an optional way in wastewater treatment by AS system.

Field of Study : Environmental Science Student's Signature : Wacheerobon Sangsawang

Academic Year : 2009 Advisor's Signature : C. Kositanont

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์อย่างสูงจากบุคคลที่เกี่ยวข้องหลายฝ่าย

กราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะจุดบกพร่องต่างๆ ที่เป็นประโยชน์แก่วิทยานิพนธ์ ตลอดจนให้ความเมตตาแก่ผู้วิจัยตลอดการศึกษา

กราบขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อันประกอบด้วย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมใจ เพ็งปรีชา ประธานกรรมการ รองศาสตราจารย์ ดร.สุเมธ ชวเดช, อาจารย์ ดร.ชัยพร ภู่ประเสริฐ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จินต์ อโณทัย กรรมการ ที่กรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นเพื่อปรับปรุงให้วิทยานิพนธ์สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

กราบขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่งานอาคารและสถานที่ ประจำอาคารมหามกุฏ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับความช่วยเหลือในการเก็บตัวอย่างน้ำเสีย

กราบขอบพระคุณ บริษัท ไทยเอ็นเนอร์ยี่คอนเซอร์เวชั่น จำกัด สำหรับความอนุเคราะห์เครื่องผลิตก๊าซโอโซน

กราบขอบพระคุณ ศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติด้านการจัดการของเสียและกากของเสียอันตราย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับข้อมูลสารเคมีภายในอาคารมหามกุฏ

ขอบคุณ เจ้าหน้าที่หลักสูตรสหสาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม และภาควิทยาศาสตร์ทั่วไป จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับการเอื้อเฟื้อสถานที่และเครื่องมือในการทำวิจัย ขอบคุณ นางสาวอุรัจฉวี อุณหเลขกะ, นางสาวทิพาวรรณ รักสงบ และนางสาวจิตตรี พละกุล สำหรับความช่วยเหลือและช่วยแก้ไขปัญหาในทุกๆ เรื่อง และขอบคุณ นางสาวสิริลักษณ์ ชูโชติ สำหรับกำลังใจและข้อคิดดีๆ ในการทำงาน

และสุดท้ายนี้ กราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ น้องชายและน้องสาว ที่คอยให้กำลังใจ เข้าใจ และรับฟังผู้วิจัยเสมอ จนกระทั่งสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฑ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2

1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย 2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 แนวความคิด ทฤษฎี และเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับโอโซน 3

2.1.1 โอโซน 3

2.1.2 การสลายตัวและเสถียรภาพของโอโซน 6

2.1.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการละลายของโอโซน 8

2.1.4 ปฏิกิริยาของโอโซนกับสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ 10

2.1.5 การผลิตโอโซน 14

2.1.6 การวิเคราะห์ความเข้มข้นโอโซน 15

2.1.7 การประยุกต์ใช้ประโยชน์จากโอโซน 16

2.1.8 ข้อดีและข้อเสียของโอโซน 18

2.2 น้ำเสีย 19

2.2.1 น้ำเสียจากแหล่งชุมชน 19

2.2.2 น้ำเสียจากแหล่งอุตสาหกรรม 20

2.2.3 ผลกระทบของมลพิษทางน้ำ 25

หน้า

2.2.4 ระบบบำบัดน้ำเสีย 26
2.2.5 หลักการและขั้นตอนการบำบัดน้ำเสีย 27
2.2.6 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง (Activated sludge) 29
2.2.7 ข้อดีและข้อเสียของระบบตะกอนเร่ง 35
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 36
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย
3.1 อุปกรณ์และสารเคมี 42
3.1.1 สารเคมี 42
3.1.2 อุปกรณ์ 43
3.2 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย 48
3.2.1 ลักษณะสมบัติน้ำเสียในระบบบำบัด 48
3.2.2 ศึกษาการใช้โอโซนในการบำบัดน้ำเสีย 49
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล
4.1 ลักษณะสมบัติน้ำเสียในระบบบำบัด 53
4.1.1 วิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของน้ำเสีย 54
4.2 การใช้โอโซนในการบำบัดน้ำเสียในห้องปฏิบัติการ 59
4.2.1 ระยะเวลาที่ทำให้น้ำเสียจากบ่อสุดท้าย (final tank) โอโซนอิ่มตัว หรือโอโซนเข้าสู่สภาวะคงที่ (steady state) 57
4.2.2 ระยะเวลาที่โอโซนเปลี่ยนกลับเป็นออกซิเจน 59
4.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโอโซนและค่า DO 61
4.2.4 ศึกษาผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อปริมาณ DO 62
4.2.5 รูปแบบของออกซิเจนในน้ำเสียที่ผสมกับน้ำอิ่มตัวด้วยโอโซน 62
4.2.6 ศึกษาระยะเวลาในการเติมโอโซนที่มีผลต่อปริมาณ DO 65
4.2.7 สัดส่วนที่เหมาะสมในการผสมน้ำเติมโอโซน 66
4.2.8 ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย 70
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ
5.1 สรุปผลการวิจัย 83
5.2 ข้อเสนอแนะ 84

หน้า

รายการอ้างอิง 85

ภาคผนวก 84

ภาคผนวก ก คุณสมบัติของเครื่องผลิตโอโซน 89

ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ความเข้มข้นของโอโซน 90

ภาคผนวก ค การควบคุมอุณหภูมิและข้อมูลทั่วไปของอาคารมหามกุฏ 92

ภาคผนวก ง ผลการวิเคราะห์น้ำเสีย 98

ภาคผนวก จ ข้อมูลผลการวิเคราะห์ 125

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 152

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ค่า Oxidation-reduction ของตัว Oxidants ต่างๆ	5
2.2	ค่ามาตรฐานความเข้มข้นโดยปริมาตรของโอโซนในอากาศ	6
2.3	ค่า K (Henry coefficient) ที่อุณหภูมิต่างๆ	8
2.4	ข้อดีและข้อเสียของโอโซน	18
2.5	สมมูลประชากรและลักษณะน้ำเสียชุมชน	20
2.6	ค่ากำหนดมาตรฐานควบคุม การระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาด ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม พ.ศ.2548	21
2.7	ลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ	22
2.8	ค่ากำหนดมาตรฐานควบคุม น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม พ.ศ.2548	23
2.9	เชื้อก่อโรค และโรคที่เกิดจากน้ำเสียจากแหล่งชุมชน	25
2.10	ระบบบำบัดน้ำเสียขั้นตอนต่างๆ รวมทั้งวัตถุประสงค์ของการบำบัดน้ำเสีย	28
2.11	ข้อดีและข้อเสียของระบบตะกอนเร่ง	35
3.1	แสดงค่าพารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์	48
4.1	ลักษณะสมบัติน้ำเสียจากบ่อสุดท้าย (Final tank)ของระบบบำบัดน้ำเสียของอาคารมหามกุฏ	53
4.2	แสดงปริมาณองค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่างตะกอน	55
4.3	แสดงปริมาณองค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วจากบ่อสุดท้าย (Final tank)	55
4.4	ตารางแสดงปริมาณธาตุที่พบในตัวอย่าง	56
4.5	แสดงค่ามาตรฐานโลหะหนัก (เกณฑ์กำหนดสูงสุด)	56
4.6	ตารางแสดงปริมาณธาตุที่พบในตัวอย่างหลังบำบัดด้วยโอโซน	59
4.7	แสดงผลการวิเคราะห์ไอออนในตัวอย่างน้ำเสีย ที่อัตราส่วน 1:8 โดยปริมาตร	70
ก.1	คุณสมบัติทั่วไปของเครื่องผลิตโอโซน	89

		หน้า
ก.2	คุณสมบัติเครื่องผลิตโอโซน ที่ความดัน 2 บาร์	89
ค.1	แสดงการเรียน กานสอนของอาคารมหามกุฏ	94
ค.2	รายการทิ้งของเสียอันตรายภาคเคมีเทคนิค อาคารมหามกุฏ	95
ค.3	รายการสารเคมีจากภาควิชาเคมีและจากโปรแกรม Chemtrack	96
ง.1	รายงานผลการวิเคราะห์ตะกอนด้วยเครื่องมือ XRF	98
ง.2	แสดงปริมาณธาตุที่พบในตัวอย่าง	110
จ.1	ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสีย วันจันทร์ที่ 15 ธันวาคม 2551	125
จ.2	ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสีย วันอังคารที่ 16 ธันวาคม 2551	125
จ.3	ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสีย วันพุธที่ 17 ธันวาคม 2551	126
จ.4	ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสีย วันพฤหัสบดีที่ 18 ธันวาคม 2551	126
จ.5	ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสีย วันศุกร์ที่ 19 ธันวาคม 2551	126
จ.6	แสดงความเข้มข้นของโอโซนในน้ำเสียที่เวลาต่างๆ เมื่อเติมโอโซนอย่างต่อเนื่อง ควบคุมอุณหภูมิ ขณะทำการทดลองที่ 30 °C	127
จ.7	แสดงความเข้มข้นของโอโซนในน้ำเสียที่เวลาต่างๆ เมื่อหยุดเติมโอโซน ควบคุมอุณหภูมิ ขณะทำการทดลองที่ 30 °C	127
จ.8	แสดงผลการวิเคราะห์เมื่อผสมน้ำเติมโอโซน 20 นาทีกับน้ำเสียที่อัตราส่วนต่างๆ แบบกะ	128
จ.9	ค่า Standard Curve ของ Sulfate	129
จ.10	ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้น Sulfate ในตัวอย่างน้ำเสีย	129
จ.11	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้น Sulfate ที่เวลา 0 – 3 ชั่วโมง	130
จ.12	ค่า Standard Curve ของ Nitrate	130
จ.13	ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้น Nitrate ในตัวอย่างน้ำเสีย	130
จ.14	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้น Nitrate ที่เวลา 0 – 3 ชั่วโมง	131
จ.15	Standard Curve ของ Phosphate	131
จ.16	ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้น Phosphate ในตัวอย่างน้ำเสีย	132
จ.17	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้น Phosphate ที่เวลา 0 – 3 ชั่วโมง	132
จ.18	Standard Curve ของ Bromide	133
จ.19	ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้น Bromide ในตัวอย่างน้ำเสีย	133

หน้า

จ.20	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้น Bromide ที่เวลา 0 – 3 ชั่วโมง	134
จ.21	Standard Curve ของ Chloride	134
จ.22	ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้น Chloride ในตัวอย่างน้ำเสีย	134
จ.23	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้น Chloride ที่เวลา 0 – 3 ชั่วโมง	134
จ.24	Standard Curve ของ Fluoride	135
จ.25	ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้น Fluoride ในตัวอย่างน้ำเสีย	136
จ.26	Standard Curve ของ Sodium	136
จ.27	ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้น Sodium ในตัวอย่างน้ำเสีย	137
จ.28	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้น Sodium ที่เวลา 0 – 3 ชั่วโมง	137
จ.29	Standard Curve ของ Sodium	138
จ.30	ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้น Ammonium ในตัวอย่างน้ำเสีย	138
จ.31	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้น Ammonium ที่เวลา 0 – 3 ชั่วโมง	139
จ.32	Standard Curve ของ Potassium	139
จ.33	ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้น Potassium ในตัวอย่างน้ำเสีย	139
จ.34	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้น Potassium ที่เวลา 0 – 3 ชั่วโมง	140
จ.35	Standard Curve ของ Calcium	140
จ.36	ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้น Calcium ในตัวอย่างน้ำเสีย	141
จ.37	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้น Calcium ที่เวลา 0 – 3 ชั่วโมง	141
จ.38	Standard Curve ของ Magnesium	142
จ.39	ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้น Magnesium ในตัวอย่างน้ำเสีย	142
จ.40	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้น Magnesium ที่เวลา 0 – 3 ชั่วโมง	143
จ.41	แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า DO ในถังปฏิกรณ์หลังผสมน้ำเติมโอโซนกับน้ำเสีย	144
จ.42	ค่า COD ในน้ำออกระบบ จากน้ำเสียสังเคราะห์ (ค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ)	144
จ.43	ค่า DO ในระบบ เมื่อทำการผสมน้ำเติมโอโซนกับน้ำเสียสังเคราะห์	145
จ.44	จำนวนแบคทีเรียในน้ำออกระบบ จากน้ำเสียสังเคราะห์ (ค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ)	146
จ.45	ความเข้มข้นของโอโซนในน้ำออกระบบ จากน้ำเสียสังเคราะห์ (ค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ)	146

		หน้า
จ.46	แสดงความเข้มข้นของน้ำเติมโอโซน (ค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ) และค่า DO ในน้ำเสียสังเคราะห์ก่อนการผสมลงในถังปฏิกรณ์	147
จ.47	แสดงค่า BOD ในน้ำเสียสังเคราะห์ เมื่อครบระยะกักพักทางจลศาสตร์ (ค่าเฉลี่ย 2 ซ้ำ)	147
จ.48	แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่า DO น้ำเสียจากอาคารมหามกุฎในถังปฏิกรณ์หลังผสมน้ำเติมโอโซนกับน้ำเสีย	148
จ.49	ค่า COD ในน้ำออกระบบ จากน้ำเสียอาคารมหามกุฎ (ค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ)	148
จ.50	ค่า DO ในระบบ เมื่อทำการผสมน้ำเติมโอโซนกับน้ำเสียจากอาคารมหามกุฎ	149
จ.51	จำนวนแบคทีเรียในน้ำออกระบบ จากน้ำเสียอาคารมหามกุฎ (ค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ)	150
จ.52	ความเข้มข้นของโอโซนในน้ำออกระบบ จากน้ำเสียสังเคราะห์ (ค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ)	150
จ.53	แสดงความเข้มข้นของน้ำเติมโอโซน (ค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ) และค่า DO ในน้ำเสียจากอาคารมหามกุฎก่อนการผสมลงในถังปฏิกรณ์	151
จ.54	แสดงค่า BOD ในน้ำเสียจากอาคารมหามกุฎ เมื่อครบระยะกักพักทางจลศาสตร์ (ค่าเฉลี่ย 2 ซ้ำ)	151

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ปฏิกิริยาการเกิดโอโซน	3
2.2	แสดงการเปลี่ยนแปลงของโอโซนในบรรยากาศที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ	4
2.3	โครงสร้างแบบไฮบริด เรโซแนนซ์ 4 แบบของโอโซน	4
2.4	ปฏิกิริยาการสลายตัวโอโซนในน้ำ	7
2.5	ค่า pH ที่มีผลต่อความเข้มข้นของโอโซนในน้ำ	9
2.6 ก	แสดงความสามารถของโอโซนในการ oxidize ที่บริเวณ Cycloaddition	11
2.6 ข	แสดงความสามารถของโอโซนในการ oxidize ที่บริเวณ Electrophilic reactions	11
2.6 ค	แสดงความสามารถของโอโซนในการ oxidize ที่บริเวณ Nucleophilic reactions	12
2.7 ก	แสดงการเกิดปฏิกิริยา Oxidize Bromine จนได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็น Bromateโดยโอโซน	12
2.7 ข	การเกิดปฏิกิริยา Oxidize Bromine จนได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็น Bromateโดยโอโซนและ OH radicals	13
2.8	แสดงการเกิดปฏิกิริยา Oxidize Iodine จนได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็น Iodate	13
2.9	การผลิตโอโซนแบบ Corona discharge	14
2.10	การตรวจวัดโอโซนเป็นเวลา 14 นาที ด้วยวิธี Indigo วิธี UV-Spectrophotometric และเครื่องวัดโอโซน (Monitor)	15
2.11	ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสีย	27
2.12	การเปลี่ยนแปลงการทำงานของจุลินทรีย์ในกระบวนการบำบัดทางชีววิทยาแบบกะ หรือครั้งคราว (Batch)	30
2.13	ส่วนประกอบและการทำงานของระบบตะกอนเร่ง	32
3.1	เครื่องผลิตโอโซน (Ozone Generator) ยี่ห้อ Econo-Watd	45
3.2	แสดง Dynamic Ozone Mixing Method ของเครื่องผลิตโอโซน	45
3.3	แสดง Ozone Mixing Pump ของเครื่องผลิตโอโซน	46

หน้า

3.4	แสดงการปรับความดันที่ 2 บาร์ อัตราการไหลของก๊าซ 0.64 ลิตรต่อนาที อัตราการไหลของน้ำ 8 ลิตรต่อนาที และเครื่องกำจัดก๊าซโอโซน	46
3.5	แผนผังการทำงานของเครื่องผลิตก๊าซโอโซน ยี่ห้อ Econo-watd รุ่น M15NP(D)	47
3.6	เครื่องมือ X-ray florescence spectrometer (XRF)	49
3.7	แผนดำเนินการทดลอง	52
4.1	โพรโทซัวที่พบในระบบบำบัดน้ำเสียจากอาคารมหามกุฏ	54
4.2	ความเข้มข้นของโอโซนในน้ำเสีย เมื่อเติมโอโซนที่เวลาต่างๆ โดยมีแหล่งกำเนิดออกซิเจนคือ อากาศ (ข้อมูลเป็นค่าเฉลี่ยของการทดลอง 5 ซ้ำ)	57
4.3	ความเข้มข้นของโอโซนในน้ำประปา เมื่อเติมโอโซนที่เวลาต่างๆ โดยมีแหล่งกำเนิดออกซิเจนคือ อากาศ	58
4.4	การละลายของโอโซนในน้ำ ที่เวลา 0-60 นาที	59
4.5	ความเข้มข้นของโอโซนในน้ำเสีย เมื่อหยุดเติมโอโซน	60
4.6	ความเข้มข้นของโอโซนในน้ำประปา เมื่อหยุดเติมโอโซน	61
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของโอโซน และค่า DO	61
4.8	ผลของอุณหภูมิต่อการแตกตัวของโอโซน ที่อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร	62
4.9	รูปแบบของออกซิเจนในน้ำเสียที่ผสมกับน้ำอิ่มตัวด้วยโอโซน ที่ 60 นาที ที่อัตราส่วนการผสมต่างๆ	63
4.10	ค่า Dissolved oxygen ที่ 60 นาที ที่อัตราส่วนการผสมต่างๆ	64
4.11	รูปแบบของออกซิเจนในน้ำเสียที่ผสมกับน้ำอิ่มตัวด้วยโอโซน ที่ 3 ชั่วโมง ที่อัตราส่วนการผสมต่างๆ	64
4.12	ค่า Dissolved oxygen ที่ 2 และ 3 ชั่วโมง ที่อัตราส่วนการผสมต่างๆ	65
4.13	ผลของระยะเวลาเติมโอโซนต่อปริมาณ DO ในน้ำเสีย ที่อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร	66
4.14	ผลของระยะเวลาเติมโอโซนต่อปริมาณ DO ในน้ำเสีย ที่อัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร	66
4.15	ผลของอัตราส่วนต่อค่า DO ในน้ำเสีย (ค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ)	67
4.16	ผลของอัตราส่วนต่อความเข้มข้นของโอโซน (ค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ)	68

หน้า

4.17	ผลของอัตราส่วนต่อจำนวนแบคทีเรียในน้ำเสียที่เวลา 72 ชั่วโมง (ค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ)	69
4.18	ผลของอัตราส่วนต่อค่า COD (ค่าเฉลี่ย 3 ซ้ำ)	69
4.19	แสดงการจำลองระบบบำบัดขนาดเล็กที่ใช้ในการทดลอง	71
4.20	แสดงถังปฏิกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง และจุดน้ำเข้า น้ำออก และจุดเติมน้ำโอโซน	72
4.21	การเปลี่ยนแปลงของค่า DO ในน้ำเสียหลังการผสม	73
4.22	แสดงการเดินระบบช่วงที่ 1 โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ในการทำการทดลอง	73
4.23	แสดงความเข้มข้นของโอโซนเมื่อผสมกับน้ำเสียสังเคราะห์ในถังปฏิกรณ์	74
4.24	แสดงจำนวนแบคทีเรียจากน้ำออกระบบในน้ำเสียสังเคราะห์	75
4.25	แสดงค่า DO ในน้ำเสียสังเคราะห์	76
4.26	แสดงค่า COD ในน้ำเสียสังเคราะห์	77
4.27	แสดงการเดินระบบช่วงที่ 2 โดยใช้น้ำเสียจากบ่อน้ำเสียรวมอาคารมหามกุฎ	78
4.28	แสดงความเข้มข้นของโอโซนเมื่อผสมกับน้ำเสียจากอาคารมหามกุฎ	79
4.29	แสดงจำนวนแบคทีเรียจากน้ำออกระบบในน้ำเสียจากอาคารมหามกุฎ	79
4.30	แสดงค่า DO ในน้ำเสียจากอาคารมหามกุฎ	80
4.31	แสดงค่า COD ในน้ำเสียจากอาคารมหามกุฎ	81
ค.1	เครื่อง Cooling bath และ Cooling coil	92
ค.2	การควบคุมอุณหภูมิ โดยให้น้ำไหลผ่าน Cooling coil	92
ค.3	แสดงแผนผังระบบบำบัดน้ำเสียของอาคารมหามกุฎ	93
ง.1	แสดงผลการวิเคราะห์ตะกอนด้วยเครื่องมือ XRF (1)	99
ง.2	แสดงผลการวิเคราะห์ตะกอนด้วยเครื่องมือ XRF (2)	99
ง.3	แสดงผลการวิเคราะห์ตะกอนด้วยเครื่องมือ XRF (3)	100
ง.4	แสดงผลการวิเคราะห์ตะกอนด้วยเครื่องมือ XRF (4)	100
ง.5	แสดงผลการวิเคราะห์ตะกอนด้วยเครื่องมือ XRF (5)	101
ง.6	แสดงผลการวิเคราะห์ตะกอนด้วยเครื่องมือ XRF (6)	101
ง.7	แสดงผลการวิเคราะห์น้ำเสียด้วยเครื่องมือ XRF (1)	102
ง.8	แสดงผลการวิเคราะห์น้ำเสียด้วยเครื่องมือ XRF (2)	103
ง.9	แสดงผลการวิเคราะห์น้ำเสียด้วยเครื่องมือ XRF (3)	104

หน้า

ง.10	แสดงผลการวิเคราะห์น้ำเสียด้วยเครื่องมือ XRF (4)	105
ง.11	แสดงผลการวิเคราะห์น้ำเสียด้วยเครื่องมือ XRF (5)	106
ง.12	แสดงผลการวิเคราะห์น้ำเสียด้วยเครื่องมือ XRF (6)	107
ง.13	แสดงผลการวิเคราะห์น้ำเสียด้วยเครื่องมือ XRF (7)	108
ง.14	แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ ICPs (1)	112
ง.15	แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ ICPs (2)	113
ง.16	แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ ICPs (3)	114
ง.17	แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ ICPs (4)	115
ง.18	แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ ICPs (5)	116
ง.19	แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ ICPs (6)	117
ง.20	แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ ICPs (7)	118
ง.21	แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ ICPs (8)	119
ง.22	แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ ICPs (9)	120
ง.23	แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ ICPs (10)	121
ง.24	แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ ICPs (11)	122
ง.25	แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ ICPs (12)	123
ง.26	แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ ICPs (13)	124
จ.1	กราฟ Standard Curve ของ Sulfate	129
จ.2	กราฟ Standard Curve ของ Nitrate	130
จ.3	กราฟ Standard Curve ของ Phosphate	131
จ.4	กราฟ Standard Curve ของ Bromide	133
จ.5	กราฟ Standard Curve ของ Chloride	134
จ.6	กราฟ Standard Curve ของ fluoride	135
จ.7	กราฟ Standard Curve ของ Sodium	136
จ.8	กราฟ Standard Curve ของ Ammonium	138
จ.9	กราฟ Standard Curve ของ Potassium	139
จ.10	กราฟ Standard Curve ของ Calcium	140