การใช้ระบบแอนแอโรบิกสับเมอร์จดรัมในการกำจัดน้ำเสีย

นาย อรรถพร ศิวะวรรณพงศ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2531
ISBN 974-569-619-6
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

015849
I17618819

Anaerobic Submerged Drum System for Treating Wastewaters

MR. ATAPORN SIWAWANPONG

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirments

for the Degree of Master of Engineering

Department of Environmental Engineering

Graduate school

Chulalongkorn University

1988

ISBN 974-569-619-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้ระบบแอนแอโรบิกสับเมอร์จดรัมในการกำจัดน้ำเสีย
โดย	นาย อรรถพร ศิวะวรรณพงศ์
ภาควิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.มั่นสิน ตัณฑุลเวคม์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ.
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย พรรณสวัสดิ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา.
(รองศาสตราจารย์ ดร.มั่นสิน ตัณฑุลเวคม์)

.....กรรมการ.
(ดร.สมมาต อิชโรจน์)

.....กรรมการ.
(รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ พรประภา)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อรรถพร ศิวะวรรณพงศ์ : การใช้ระบบแอนแอโรบิกสับเมอร์จดรัมในการกำจัดน้ำเสีย (ANAEROBIC SUBMERGED DRUM SYSTEM FOR TREATING WASTEWATERS) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 130 หน้า

ลักษณะของถังปฏิกิริยาแบบนี้จะคล้ายถังปฏิกิริยาแอโรบิคแบบแผ่นจาน แต่จะแตกต่างกันตรงที่ ถังปฏิกิริยาแบบนี้จะมีฝาปิดเพื่อป้องกันไม่ให้อากาศเข้าได้ ภายในถังจะมีผนังกั้นเพื่อแบ่งถังออกเป็นตอน ๆ ให้มีปริมาตรเท่ากันจำนวน 4 ตอน และ ในแต่ละตอนจะมีฝาจุกพลาสติกทำหน้าที่เป็นตัวกลางบรรจุอยู่ ในระหว่างทดลอง ไบโอดรัมจะจมตัว 70% ของพื้นที่หน้าตัด และหมุนด้วยความเร็วขอบ 18 ม/นาที ในขณะที่พื้นที่ผิวรวมของตัวกลางทั้งระบบมีค่า 6.305 $ม^2$, คิดเป็นพื้นที่ผิวจำเพาะของตัวกลาง = 338 $ม^2/ม^3$ น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้จะเตรียมจากน้ำตาลผสมกับน้ำประปาพร้อมสารอาหารอื่นๆ ที่จำเป็นเพื่อให้ได้ค่าความเข้มข้นซีโอดี 500, 1000, 2000 และ 3000 มก./ล. ป้อนเข้าสู่ระบบโดยมีเวลากักน้ำรวม 24 ชม. ทำให้ได้ค่าออร์แกนิคโหลดดิงเชิงปริมาตรของระบบมีค่า 0.50, 1.00, 2.00 และ 3.00 กก.ซีโอดี/$ม^3$ - วัน. ตามลำดับ จากผลการทดลอง พบว่า ระบบมีความสามารถในการกำจัดซีโอดีได้เป็นอย่างดี กล่าวคือ ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบมีค่า 91.5% , 95.5% , 97.8% และ 97.3% ตามลำดับ การกำจัดซีโอดีไม่น้อยกว่า 83.0% ของทุกการทดลองเกิดขึ้นในตอนที่หนึ่ง ในขณะที่ตอนที่สอง,สาม และสี่ ไม่ช่วยให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเพิ่มขึ้นจากตอนที่หนึ่งมากนัก นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำทิ้งอยู่ในช่วง 50-250 มก./ล. และภายหลังเสร็จการทดลองได้ทำการเปิดฝาถังปฏิกิริยา พบว่า แบคทีเรียส่วนใหญ่จะเกาะติดผิวพลาสติกแทนที่จะแขวนลอยอยู่ในน้ำ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต อรรถพร ศิวะวรรณพงศ์

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2531 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

MR. ATAPORN SIWAWANPONG : ANAEROBIC SUBMERGED DRUM SYSTEM FOR TREATING WASTEWATERS. THESIS ADVISOR : ASSO. PRO. MUNSIN TUNTOOLAVEST, Ph.D. 130 pp.

Configuration of reactor was similar to that of the aerobic biodrum reactor but it had a cover to protect the air into reactor. Inside the reactor, there were four baffles to seperate it into four stages which each stage was nearly equal in the volume and filled with small plastic bottle caps. During experimentations, the biodrums rotated at a rim speed of 18 m/min were 70% submerged and serving as a media. Total surface area of plastic media was 6.305 sq.m., specific surface area 338 m^2/m^3. Synthetic wastewater was blended by sugar and tap water together with nutrient to obtain COD concentrations of 500, 1000, 2000 and 3000 mg/l and fed into the system which had 24 hours detention time. Corresponding organic loading were 0.50, 1.00, 2.00 and 3.00 KgCOD/cu.m.-day respectively. From the results, system had a good capability in COD removal with efficiencies of 91.5%, 95.5, 97.8% and 97.3% respectively. More than 83.0% of COD removal occured in the first stage whereas the second, the third and the last stage could not contribute to enhance much more efficiency. In addition, suspended solids in effluent was found to be in the range of 50-250 mg/l. It was observed, after removing the cover, that most of the bacterial cells were attached to the media rather than suspending in the bulk liquid.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2531 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ท่านกรุณาให้คำชี้แนะ และ อบรมสั่งสอนต่าง ๆ อย่างไม่เห็นแก่ความเหน็ดเหนื่อยเพื่อให้ผู้วิจัยเกิดแนวความคิดในการแก้ปัญหาต่าง ๆ ตามหลักวิชาการ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งแก่ผู้วิจัย

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาลทุกท่านและดร.สมมาต อิชโรจน์ ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์ในทุก ๆ ด้านแก่ผู้วิจัย

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล และ เพื่อนทุกท่านที่ให้กำลังใจและความช่วยเหลือด้วยดีตลอดมา

ขอขอบคุณ คณะกรรมการของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย , คุณ กนก ขอดทอง และคุณ พรพิมล สุชารมณ์ ที่กรุณาอนุมัติให้ผู้วิจัยได้มีโอกาสลาศึกษาต่อ รวมทั้งขอขอบคุณผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่มีส่วนช่วยให้ผู้วิจัยได้รับอนุมัติเพื่อลาศึกษาต่อ

อนึ่งงานวิจัยนี้ ได้รับทุนอุดหนุนจากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยอันเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นรูปเล่มออกมาได้ ผู้วิจัยจึงขอขอบคุณมา ณ ที่นี้

คุณความดีหรือประโยชน์ทั้งหลายของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่บิดามารดา ซึ่งเป็นผู้มีพระคุณสูงสุด อีกทั้งพี่น้องที่ให้ความช่วยเหลือด้วยดีตลอดมา

บัณฑิตวิทยาลัย
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญเรื่อง

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ
กิตติกรรมประกาศ..... ฉ
สารบัญเรื่อง..... ช
สารบัญรูป..... ฎ
สารบัญตาราง..... ฐ
บทที่.

1 บทนำ..... 1
1.1 คำนำ..... 1
1.2 ประเภทของระบบกำจัดสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน..... 2
1.2.1 ถังหมักแบบธรรมดา..... 2
1.2.2 ระบบ Anaerobic contact (AC)..... 5
1.2.3 ระบบ Anaerobic filter (AF)..... 5
1.2.4 ระบบ Anaerobic fluidized Bed (AFB)..... 7
1.2.5 ระบบ Upflow anaerobic sludge blanket (UASB)..... 7
1.2.6 ระบบ Anaerobic Rotating Biological Contactor(AnRBC)..... 9
1.2.7 ระบบ Anaerobic Baffled Reactor (ABR)..... 9
1.2.8 ระบบ Anaerobic Pond (AP)..... 9

2 วัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย..... 12
2.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 12
2.2 ขอบเขตของการวิจัย..... 12

3 ทฤษฎีและแนวความคิด..... 13
3.1 จุลชีวะและชีวเคมีของกระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน..... 13
3.1.1 ขั้นตอนการย่อยสลายที่ทำให้เกิดกรด

(Acid Formation หรือ Non-Methanogenic Phase)..... 13
3.1.2 ขั้นตอนการย่อยสลายทำให้เกิดก๊าซมีเทน (Methane Formation หรือ Methanogenic Phase)..... 17
3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน..... 20
3.2.1 อุณหภูมิ..... 20
3.2.2 พีเอช กรดโวลาไทล์ และ สภาพความเป็นด่าง..... 20
3.2.3 ความต้องการสารอาหารที่จำเป็น..... 30
3.2.4 ศักยภาพการให้และการรับอิเล็กตรอน..... 30
3.2.5 สารพิษ..... 30
3.2.5.1 พิษของกรดโวลาไทล์..... 36
3.2.5.2 พิษของโลหะเบา..... 36
3.2.5.3 พิษของโลหะหนัก..... 37
3.2.5.4 พิษของซัลไฟด์..... 37
3.2.5.5 พิษของแอมโมเนีย..... 39
3.2.5.6 พิษของสารอินทรีย์..... 40
3.3 การใช้ระบบแอนแอโรบิคสับเมอร์จดรัมในการกำจัดน้ำเสีย..... 40
3.3.1 ลักษณะการทำงานของระบบแอนแอโรบิคสับเมอร์จดรัม.... 40
3.3.2 การศึกษาที่ผ่านมา..... 41

4 การดำเนินการวิจัย..... 46
4.1 แผนการวิจัย..... 46
4.2 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์..... 49
4.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง..... 50
4.3.1 ถังปฏิกิริยาระบบแอนแอโรบิคสับเมอร์จดรัม..... 50
4.3.2 ตัวกลางพลาสติก..... 50
4.3.3 ถังพักน้ำเสีย..... 53
4.3.4 เครื่องสูบน้ำชนิดสายรีด..... 53
4.3.5 ขวดดักก๊าซ..... 53
4.3.6 เครื่องวัดปริมาณก๊าซ..... 53
4.3.7 orsat gas analyzer..... 53
4.4 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำและก๊าซ..... 55

4.4.1 การเก็บตัวอย่างน้ำ..... 55
4.4.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ..... 55
4.4.3 การวัดและวิเคราะห์ก๊าซ..... 57

5 ผลการวิจัยและการวิจารณ์ผล..... 58
5.1 การเริ่มต้นเลี้ยงเชื้อ..... 58
5.2 ผลการวิจัยของระบบแอนแอโรบิคสับเมอร์จดรัม..... 59
5.2.1 พีเอช..... 59
5.2.2 กรดโวลาไทล์..... 62
5.2.3 สภาพความเป็นด่างรวม 65
5.2.4 ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด..... 68
5.2.5 โออาร์พี..... 71
5.2.6 ตะกอนแขวนลอยและตะกอนแขวนลอยโวลาไทล์..... 74
5.2.7 ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส..... 76
5.2.8 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ..... 77
5.2.8.1 ปริมาณก๊าซชีวภาพ..... 77
5.2.8.2 ส่วนประกอบของก๊าซชีวภาพ..... 81
5.3 วิจารณ์ผลการทดลองของระบบแอนแอโรบิคสับเมอร์จดรัม..... 83
5.3.1 อิทธิพลของออร์แกนิคโหลดดิงที่มีผลต่อระบบแอนแอโรบิคสับเมอร์จดรัม..... 83
5.3.1.1 อิทธิพลของออร์แกนิคโหลดดิงที่มีผลต่อพีเอช..... 83
5.3.1.2 อิทธิพลของออร์แกนิคโหลดดิงที่มีผลต่อกรดโวลาไทล์..... 84
5.3.1.3 อิทธิพลของออร์แกนิคโหลดดิงที่ผลต่อค่าความเป็นด่าง..... 85
5.3.1.4 อิทธิพลของออร์แกนิคโหลดดิงที่มีผลต่อซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัด..... 86
5.3.1.5 อิทธิพลของออร์แกนิคโหลดดิงที่มีผลต่อโออาร์พี..... 87
5.3.1.6 อิทธิพลของออร์แกนิคโหลดดิงที่มีผลต่อตะกอนแขวนลอยและตะกอนแขวนลอยโวลาไทล์..... 88

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.3.1.7 อิทธิพลของออร์แกนิคโหลดดิ้งที่มีผลต่อ
ก๊าซชีวภาพ..... 88
5.3.2 สมดุลย์ของสารอินทรีย์คาร์บอนในระบบ (organic
carbon balance)..... 91
5.3.3 ลักษณะการเป็นอยู่ของจุลชีพในถังปฏิกิริยา..... 93
5.3.4 ข้อเปรียบเทียบระหว่างระบบแอนแอโรบิค
สับเมอร์จดรัมกับระบบอื่นๆ..... 93
5.3.5 ข้อดีและข้อจำกัดของระบบแอนแอโรบิคสับเมอร์จดรัม..... 95

6 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ..... 97
6.1 บทสรุป..... 97
6.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยที่น่าศึกษาต่อไป..... 98

หนังสืออ้างอิง..... 99
ภาคผนวก ก วิธีการคำนวนคุณสมบัติต่างๆของตัวกลาง..... 103
ภาคผนวก ข ข้อมูลดิบของตัวแปรต่างๆ..... 106
ประวัติผู้วิจัย..... 120

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	ถังหมักชนิดอัตราก้าจัดช้า	3
1.2	ถังหมักแบบอัตราก้าจัดสูง	3
1.3	ถังหมักแบบอัตราก้าจัดสูงที่มีการแยกตะกอน	4
1.4	ระบบถังหมักคอนแท็คท์	6
1.5	ระบบถังหมักแบบสองเฟส	6
1.6	ระบบ anaerobic fllter	8
1.7	ระบบ anaerobic fluidized bed	8
1.8	ระบบ upflow anaerobic sludge blanket	8
1.9	ระบบ Anaerobic Rotating Biological contactor	10
1.10	ระบบ Annaerobic Baffled Reactor	10
3.1	ลักษณะขั้นตอนที่เกี่ยวข้องในการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน	14
3.2	อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อ activity ของแบคทีเรีย	21
3.3	อิทธิพลของพีเอชที่มีผลต่อการผลิตก้าซชีวภาพและก้าซมีเทน	22
3.4	ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอช,ปริมาณไบคาร์บอเนตที่เหมาะสม และเปอร์เซ็นต์คาร์บอนไดออกไซด์ภายในถังหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน	24
3.5	ความสัมพันธ์ในทางทฤษฎีระหว่าง CO_2 , pH และสภาพความเป็นด่าง ของถังหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน	25
3.6	แผนผังการทำงานของระบบหมักแบบไม่ใช้อากาศโดยดึงก้าซผ่าน Scrubber	27
3.7	ผลของการเติมปูนขาวเพื่อปรับพีเอชในระบบถังหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน	29
3.8	ค่า ORP.ที่ระยะเวลาการวัดต่าง ๆ กัน	33
3.9	อิทธิพลของความเข้มข้นของสารใด ๆ ที่มีต่ออัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ	35
3.10	ถังปฏิกิริยาระบบแอนแอโรบิคแบบแผ่นจาน	42
3.11	การทดลองที่ 1 ,1F-1H	43
3.12	การทดลองที่ 6 ,2F-2H	44
3.13	การทดลองที่ 4 ,1F-8H	44
4.1	การติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบแอนแอโรบิคสับเมอร์จดรัม	47
4.2	รายละเอียดของถังปฏิกิริยาที่ใช้ในการวิจัย	51
4.3	รายละเอียดของสับเมอร์จดรัมที่ใช้ในงานวิจัย	52
4.4	รายละเอียดของตัวกลางพลาสติก	52

4.5 เครื่องวัดปริมาณก๊าซ..... 54
5.1 ค่าพีเอชที่ตำแหน่งต่างๆ..... 60
5.2 อิทธิพลของค่าออร์แกนิคโหลดดิงที่มีผลต่อค่าพีเอช..... 61
5.3 อิทธิพลของเวลากักน้ำที่มีผลต่อค่าพีเอช..... 61
5.4 ค่าปริมาณกรดโวลาไทล์ที่ตำแหน่งต่างๆ..... 63
5.5 อิทธิพลของค่าออร์แกนิคโหลดดิงที่มีผลต่อปริมาณกรดโวลาไทล์..... 64
5.6 อิทธิพลของเวลากักน้ำที่มีผลต่อปริมาณกรดโวลาไทล์..... 64
5.7 ค่าความเป็นด่างรวมที่ตำแหน่งต่างๆ..... 66
5.8 อิทธิพลของค่าออร์แกนิคโหลดดิงที่มีผลต่อค่าความเป็นด่างรวม..... 67
5.9 อิทธิพลของเวลากักน้ำที่มีผลต่อค่าความเป็นด่างรวม..... 67
5.10 ค่าซีโอดีที่ตำแหน่งต่างๆ..... 69
5.11 อิทธิพลของค่าออร์แกนิคโหลดดิงที่มีผลต่อค่าซีโอดี และ ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบ..... 70
5.12 อิทธิพลของเวลากักน้ำที่มีผลต่อค่าซีโอดี..... 70
5.13 ค่าโออาร์พีที่ตำแหน่งต่างๆ..... 72
5.14 อิทธิพลของค่าออร์แกนิคโหลดดิงที่มีผลต่อค่าโออาร์พี..... 73
5.15 อิทธิพลของเวลากักน้ำที่มีต่อค่าโออาร์พี..... 73
5.16 ค่าตะกอนแขวนลอยในน้ำทิ้ง..... 75
5.17 อิทธิพลของค่าออร์แกนิคโหลดดิงที่มีผลต่อค่าตะกอนแขวนลอย..... 75
5.18 ค่าปริมาณก๊าซชีวภาพที่วัดได้..... 78
5.19 ค่าปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ยของการทดลองที่ 1,4..... 80
5.20 ส่วนประกอบของก๊าซชีวภาพของการทดลองที่ 1,4..... 82
5.21 ความหนาแน่นของประชากรจุลชีพที่เกาะติดผิวในแต่ละตอน..... 94

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	non-methanogenic bacteria ที่พบในถังหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน	16
3.2	ผลงานวิจัยเกี่ยวกับค่าโออาร์พีที่วัดได้ในสภาพไม่ใช้ออกซิเจน	34
3.3	อิทธิพลของโลหะเบา	37
3.4	ความเข้มข้นของสารละลายโลหะหนักที่ให้การยับยั้ง 50% ต่อการทำงานของถังหมัก	38
3.5	ผลของแอมโมเนียไนโตรเจนต่อระบบกำจัดน้ำทิ้งแบบไม่ใช้ออกซิเจน	39
3.6	ขอบเขตของการวิจัย AnRBC โดย TAIT AND FRIEDMAN	43
4.1	การเปลี่ยนแปลงระดับออร์แกนิคโหลดดิงที่ใช้ในการวิจัย	48
4.2	ส่วนประกอบของน้ำเสียสังเคราะห์	49
4.3	แผนการเก็บและการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ	56
5.1	ค่าพีเอชภายใต้ระดับออร์แกนิคโหลดดิงต่างๆ	62
5.2	ค่าปริมาณกรดโวลาไทล์ภายใต้ระดับออร์แกนิคโหลดดิงต่างๆ	65
5.3	ค่าสภาพความเป็นด่างรวมภายใต้ระดับออร์แกนิคโหลดดิงต่างๆ	68
5.4	ค่าซีโอดีของน้ำเสียภายใต้ระดับออร์แกนิคโหลดดิงต่างๆและประสิทธิภาพการกำจัด	71
5.5	ค่าโออาร์พีของน้ำเสียภายใต้ระดับออร์แกนิคโหลดดิงต่างๆ	74
5.6	ค่าตะกอนแขวนลอยและตะกอนแขวนลอยโวลาไทล์ของน้ำทิ้ง	76
5.7	ค่าไนโตรเจน,ฟอสฟอรัสและอัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนต่อฟอสฟอรัส	77
5.8	ส่วนประกอบของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทน	83
5.9	ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดจากการกำจัดน้ำเสียในระบบ	90
5.10	สมดุลย์ของสารอินทรีย์คาร์บอนของระบบ	92