การกำจัดน้ำเสียที่มีบีโอดีต่ำด้วยบ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน

นางสาวลัดดา สาครมณีรัตน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2532

ISBN 974-576-247-4

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

015786
i 10304502

TWO PHASE ANAEROBIC POND TREATMENT OF LOW PH WASTES

Miss Ladda Sakornmaneerat

A Thesis Submitted in Partial Fullfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Environmental Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1989

ISBN 974-576-247-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การกำจัดน้ำเสียที่มีพีเอชต่ำด้วยบ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบลองขั้นตอน
โดย	นางสาวลัดดา สาครมณีรัตน์
ภาควิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตร์จารย์ ดร.มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ ดร.ภาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย พรรณสวัสดิ์)

.....กรรมการ อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ สุดใจ จำปา)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระ เกรอต)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

ลัดดา สาครมณีรัตน์ : การกำจัดน้ำเสียที่มีพีเอชต่ำด้วยบ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน
(TWO PHASE ANAEROBIC POND TREATMENT OF LOW PH WASTES)
อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร. มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 125 หน้า.

การศึกษาวิจัยนี้ ได้ทำการเปรียบเทียบการทำงานของบ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอนกับแบบธรรมดาในการกำจัดน้ำเสียที่มีพีเอชต่ำ ระดับออร์แกนิคโหลดดิงที่ใช้ในการวิจัยมี 3 ระดับ คือ 0.3 0.6 และ 0.9 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน น้ำเสียที่ใช้ป้อนเข้าสู่ระบบที่ระดับออร์แกนิคโหลดดิง 0.3 และ 0.6 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน เป็นน้ำเสียสังเคราะห์ ซึ่งเตรียมจากน้ำสับปะรดผสมกับน้ำตาล แล้วทำการเจือจางเพื่อให้ได้ความเข้มข้นของซีโอดี 3,000 และ 6,000 มก./ล.และน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบที่ระดับออร์แกนิคโหลดดิง 0.9 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน เป็นน้ำเสียจริงจากโรงงานผลิตผลไม้อบแห้ง ซึ่งมีความเข้มข้นของซีโอดีประมาณ 25,000 มก./ล. และที่ระดับออร์แกนิคโหลดดิง 0.9 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน นี้ได้ทำการเปรียบเทียบการทำงานของบ่อหมักไร้ออกซิเจนที่เติมสารอาหารเสริม N และ P กับบ่อหมักไร้ออกซิเจนที่ไม่เติมสารอาหารเสริม N และ P ด้วย

จากผลการศึกษาวิจัย พบว่า บ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอนมีเสถียรภาพในการทำงานสูงกว่าบ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบธรรมดา กล่าวคือ บ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอนสามารถรับออร์แกนิคโหลดดิงได้ถึง 0.9 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน และมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี 96% ในขณะที่บ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบธรรมดาสามารถรับออร์แกนิคโหลดดิงได้เพียง 0.6 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน และจากการเปรียบเทียบการทำงานของบ่อหมักไร้ออกซิเจนที่เติมสารอาหาร N และ P กับบ่อหมักไร้ออกซิเจนที่ไม่เติมสารอาหารเสริม N และ P พบว่าสมรรถนะการทำงานของบ่อหมักไร้ออกซิเจนที่เติมสารอาหารเสริม N และ P ดีกว่าบ่อหมักไร้ออกซิเจนที่ไม่เติมสารอาหารเสริม N และ P กล่าวคือที่ระดับออร์แกนิคโหลดดิงเดียวกันคือ 0.9 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน บ่อหมักไร้ออกซิเจนที่เติมสารอาหารเสริม N และ P สามารถทำงานได้และมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี 98% ในขณะที่บ่อหมักไร้ออกซิเจนที่ไม่เติมสารอาหารเสริม N และ P มีการทำงานล้มเหลว

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2532 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

LADDA SAKORNMANEERAT : TWO PHASE ANAEROBIC POND TREATMENT OF LOW PH WASTES. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. MUNSIN TUNTOOLAVEST, Ph. D. 125 pp.

Performances of single phase and two phase anaerobic pond systems were compared in the treatment of low pH wastewater.Three levels of volumetric organic loading under study were 0.3, 0.6 and 0.9 kg.COD/m^3-d. Synthetic wastewater which was blended by diluting high concentrated pine-apple juice with tap water to obtain COD concentrations of 3,000 and 6,000 mg/1 were fed to the systems at organic loadings of 0.3 and 0.6 kg.COD/m^3-d respectively. However, at organic loading of 0.9 kg.COD/m^3-d, wastewater from dehydrated fruit factory having the COD concentration of about 25,000 mg/1 was used instead as feed. Performances of anaerobic pond being operated with and without addition of N and P were compared at this 0.9 kg.COD/m^3-d loading.

From the result, the two-phase anaerobic pond was far more stable than the single phase anaerobic pond. The two phase anaerobic pond could be loaded up to 0.9 kg.COD/m^3-d with 96% COD removal efficiency. On the other hand, the single phase anaerobic pond could be loaded to only 0.6 kg.COD/m^3-d to obtain the same performance. From the comparison of performance between anaerobic pond with and without adding N and P. It was found that the pond added with N and P had more ability than that without adding N and P. In the other word; at the organic loading of 0.9 kg.COD/m^3-d, pond added with N and P had COD removal efficiency of 98% while the pond without adding N and P was failed.

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2532 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ อาจารย์ที่ปรึกษาเป็นอย่างสูงซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆต่อผู้วิจัยมาโดยตลอดจนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้

ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน และคณาจารย์ในภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล ที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ให้แก่ผู้วิจัย

ค่าใช้จ่ายในการวิจัยนี้ ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญทำให้การวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ จึงขอแสดงความขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

สุดท้ายนี้ ความดีและประโยชน์ทั้งหลายของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขออุทิศแด่บุพการี ซึ่งเป็นผู้มีพระคุณสูงสุด

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญเรื่อง ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญรูป ..... ฎ

บทที่

1. บทนำ 1

2. วัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย 3

3. ทฤษฎีและแนวความคิด 4

3.1 ชีวเคมีและจุลชีพวิทยาของกระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจน 4

3.1.1 ขั้นตอนการย่อยสลายที่ทำให้เกิดกรด 4

3.1.2 ขั้นตอนการย่อยสลายที่ทำให้เกิดก๊าซมีเทน 11

3.2 สภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการทำงานของกระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจน 13

3.2.1 อุณหภูมิ 13

3.2.2 พีเอช กรดโวลาไทล์ และสภาพความเป็นด่าง 14

3.2.3 ความต้องการสารอาหารที่จำเป็น 15

3.2.4 สารพิษ 17

3.2.4.1 พิษของกรดโวลาไทล์ 17

3.2.4.2 พิษของโลหะเบาหรือเกลืออินทรีย์ 17

3.2.4.3 พิษของโลหะหนัก 19

3.2.4.4 พิษของแอมโมเนีย 19

3.2.4.5 พิษของซัลไฟด์ 21

3.2.5 ศักยภาพการให้และรับอิเล็คตรอน 22

หน้า

3.3 ประเภทของบ่อกำจัดน้ำเสีย..... 25
3.3.1 บ่อแอโรบิค..... 25
3.3.2 บ่อกึ่งแอโรบิค..... 25
3.3.3 บ่อหมักไร้ออกซิเจน..... 26
3.4 การกำจัดน้ำเสียด้วยบ่อหมักไร้ออกซิเจน..... 26
3.4.1 ลักษณะทั่วไปและการทำงานของบ่อหมักไร้ออกซิเจน..... 26
3.4.2 แฟคเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของบ่อหมัก ไร้ออกซิเจน..... 27
3.4.2.1 ออร์แกนิคโหลดดิง..... 27
3.4.2.2 เวลากักน้ำ..... 30
3.4.2.3 อุณหภูมิ..... 32
3.4.3 ข้อดีและข้อเสียของบ่อหมักไร้ออกซิเจน..... 32
3.5 ลักษณะการทำงานของบ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน..... 33
3.6 การศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 34

4. การวางแผนการทดลองและวิจัย..... 37
4.1 แผนการทดลอง..... 37
4.2 น้ำเสียที่ใช้ทดลอง..... 38
4.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง..... 41
4.3.1 ถังพักน้ำเสีย..... 41
4.3.2 เครื่องสูบน้ำเสีย..... 41
4.3.3 บ่อกรด..... 41
4.3.4 บ่อมิเทน และบ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบธรรมดา..... 41
4.4 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์..... 44
4.4.1 การเก็บตัวอย่างน้ำ..... 44
4.4.2 เทคนิคการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ..... 44

5. ผลการวิจัยและการวิจารณ์ผล..... 46
5.1 การเริ่มเลี้ยงจุลชีพ..... 46

หน้า

5.2 ผลการวิจัยบ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอนและแบบธรรมดา..... 52
5.2.1 พีเอช..... 52
5.2.2 กรดโวลาไทล์..... 55
5.2.3 สภาพความเป็นด่าง..... 59
5.2.4 โออาร์พี..... 62
5.2.5 ตะกอนแขวนลอย..... 66
5.2.6 ซีโอดีและประสิทธิภาพการทำงานในการกำจัด..... 69
5.3 วิจารณ์และเปรียบเทียบผลการทดลองบ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน
และแบบธรรมดา..... 75
5.3.1 อิทธิพลของออร์แกนิคโหลดดิงต่อพีเอช กรดโวลาไทล์ สภาพ
ความเป็นด่าง และโออาร์พี..... 75
5.3.2 อิทธิพลของออร์แกนิคโหลดดิงต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี. 78
5.4 วิจารณ์และเปรียบเทียบผลการทดลองของระบบบ่อหมักไร้ออกซิเจน
ที่เติมและไม่เติมสารอาหารเสริม N,P..... 80
5.4.1 บ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน..... 80
5.4.2 บ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบธรรมดา..... 82
5.5 สมรรถนะการทำงานของบ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน..... 84
5.5.1 สมรรถนะการทำงานของบ่อกรด..... 84
5.5.2 สมรรถนะการทำงานของบ่อมีเทน..... 85
5.6 ความล้มเหลวของการทำงานของบ่อหมักไร้ออกซิเจน..... 86

6. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ..... 88
6.1 สรุปผลการทดลอง..... 88
6.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยที่ควรศึกษาต่อไป..... 89

บรรณานุกรม..... 90
ภาคผนวก..... 97
ประวัติผู้วิจัย..... 114

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 3.1	ชนิดของแบคทีเรียในขั้นตอนการย่อยสลายที่ทำให้เกิดกรด.....	10
ตารางที่ 3.2	การจัดหมู่ของแบคทีเรียที่สร้างมีเทนที่เป็นเชื้อบริสุทธิ์ โดย Balch และคณะ.....	12
ตารางที่ 3.3	ปริมาณอิออนบวกที่มีผลต่อการทำงานของจุลชีพในกระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจน.....	19
ตารางที่ 3.4	ผลของแอมโมเนียไนโตรเจนต่อกระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจน...	21
ตารางที่ 3.5	ผลงานวิจัยเกี่ยวกับค่าโออาร์พีที่วัดได้ในสภาพไร้ออกซิเจน.....	24
ตารางที่ 3.6	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานระหว่างระบบหมักไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน กับระบบหมักไร้ออกซิเจนแบบขั้นตอนเดียว จากผลการทดลองในห้องปฏิบัติการ.....	35
ตารางที่ 3.7	เปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานระหว่างระบบหมักแบบสองขั้นตอนกับระบบหมักแบบขั้นตอนเดียว.....	36
ตารางที่ 4.1	แผนการทดลองของบ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน.....	39
ตารางที่ 4.2	แผนการทดลองของบ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน.....	40
ตารางที่ 4.3	ตัวแปรตามและความถี่ในการวิเคราะห์.....	45
ตารางที่ 5.1	ลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง.....	46
ตารางที่ 5.2	ค่าเฉลี่ยของพีเอช.....	52
ตารางที่ 5.3	ค่าเฉลี่ยของกรดโวลาไทล์.....	56
ตารางที่ 5.4	ค่าเฉลี่ยของสภาพความเป็นด่าง.....	59
ตารางที่ 5.5	ค่าเฉลี่ยของโออาร์พี.....	65
ตารางที่ 5.6	ค่าเฉลี่ยของตะกอนแขวนลอย.....	66
ตารางที่ 5.7	ค่าเฉลี่ยของซีโอดี.....	73
ตารางที่ 5.8	ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี.....	73

สารบัญรูป

			หน้า
รูปที่	3.1	กระบวนการเมตาบอลิซึมของกระบวนหมักแบบไร้ออกซิเจน.....	5
รูปที่	3.2	การย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจนขั้นตอน Hydrolysis และ Acidogenesis.....	7
รูปที่	3.3	การย่อยสลายกลูโคส โดยผ่านกระบวนการไกลคอลิซิส.....	9
รูปที่	3.4	การย่อยสลายกรดไขมัน โดยผ่านกระบวนการเบตาออกซิเดชัน.....	9
รูปที่	3.5	ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชกับปริมาณความเข้มข้นของ Bicarbonate Alkalinity ที่อุณหภูมิ 95° F.....	16
รูปที่	3.6	อิทธิพลของเกลือต่อปฏิกิริยาการทำงานของจุลชีพชนิดที่ไม่ใช้ออกซิเจน.	18
รูปที่	3.7	ปฏิกิริยาการทำลายพิษของโลหะหนักโดยซัลไฟด์ในสภาวะไร้ออกซิเจนอิสระ.....	20
รูปที่	3.8	ความสัมพันธ์ระหว่างโออาร์พีกับระยะเวลาในการวัด.....	23
รูปที่	3.9	ผลการทำงานของบ่อหมักจากแหล่งข่าวสารต่างๆ.....	28
รูปที่	3.10	ผลการทำงานของบ่อหมักที่ทำการทดลองในประเทศไทย.....	29
รูปที่	3.11	อิทธิพลของเวลากักน้ำที่มีต่อการทำงานของบ่อหมัก.....	31
รูปที่	4.1	แผนผังระบบการทดลอง.....	37
รูปที่	4.2	ระบบบ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน.....	42
รูปที่	4.3	ระบบบ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบธรรมดา.....	42
รูปที่	4.4	ขนาดและรูปร่างของบ่อกรด.....	43
รูปที่	5.1	กราฟแสดงออร์แกนิคโหลดดิง กรดโวลาไทล์ พีเอช และสภาพความเป็นด่างรวมในช่วงการเริ่มเลี้ยงจุลชีพ สำหรับการทดลองชุดที่ 1....	48
รูปที่	5.2	กราฟแสดงออร์แกนิคโหลดดิง กรดโวลาไทล์ พีเอช และสภาพความเป็นด่างรวมในช่วงการเริ่มเลี้ยงจุลชีพ สำหรับการทดลองชุดที่ 2....	49
รูปที่	5.3	กราฟแสดงออร์แกนิคโหลดดิง กรดโวลาไทล์ พีเอช โออาร์พี และสภาพความเป็นด่างรวม ในช่วงการเริ่มเลี้ยงจุลชีพ สำหรับการทดลองชุดที่ 3.....	50

หน้า

รูปที่ 5.4 กราฟแสดงออร์แกนิคโหลดดิง กรดโวลาไทล์ พีเอช โออาร์พี และสภาพความเป็นด่างรวม ในช่วงการเริ่มเลี้ยงจุลชีพ สำหรับการทดลองชุดที่ 4 51

รูปที่ 5.5 กราฟแสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของระบบบ่อหมักทั้งสองที่ระดับออร์แกนิคโหลดดิง 0.3 และ 0.6 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน..... 53

รูปที่ 5.6 กราฟแสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของระบบบ่อหมักทั้งสองที่ระดับออร์แกนิคโหลดดิง 0.9 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน ที่เติมและไม่เติม N,P..... 54

รูปที่ 5.7 กราฟแสดงกรดโวลาไทล์ของน้ำทิ้งที่ออกจากระบบบ่อหมักทั้งสองที่ระดับออร์แกนิคโหลดดิง 0.3 และ 0.6 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน..... 57

รูปที่ 5.8 กราฟแสดงกรดโวลาไทล์ของน้ำเสียและน้ำทิ้งที่ออกจากระบบบ่อหมักทั้งสองที่ระดับออร์แกนิคโหลดดิง 0.9 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน ที่เติมและไม่เติม N,P..... 58

รูปที่ 5.9 กราฟแสดงสภาพความเป็นด่างรวมของน้ำทิ้งที่ออกจากระบบบ่อหมักทั้งสองที่ระดับออร์แกนิคโหลดดิง 0.3 และ 0.6 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน.. 60

รูปที่ 5.10 กราฟแสดงสภาพความเป็นด่างรวมของน้ำทิ้งที่ออกจากระบบบ่อหมักทั้งสองที่ระดับออร์แกนิคโหลดดิง 0.9 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน ที่เติมและไม่เติม N,P..... 61

รูปที่ 5.11 กราฟแสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าโออาร์พีของระบบบ่อหมักทั้งสองที่ระดับออร์แกนิคโหลดดิง 0.3 และ 0.6 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน..... 63

รูปที่ 5.12 กราฟแสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าโออาร์พีของระบบบ่อหมักทั้งสองที่ระดับออร์แกนิคโหลดดิง 0.9 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน ที่เติมและไม่เติม N,P..... 64

รูปที่ 5.13 กราฟแสดงตะกอนแขวนลอยของน้ำทิ้งที่ออกจากระบบบ่อหมักทั้งสองที่ระดับออร์แกนิคโหลดดิง 0.3 และ 0.6 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน..... 67

รูปที่ 5.14 กราฟแสดงตะกอนแขวนลอยของน้ำทิ้งที่ออกจากระบบบ่อหมักทั้งสองที่ระดับออร์แกนิคโหลดดิง 0.9 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน ที่เติมและไม่เติม N,P..... 68

หน้า

รูปที่ 5.15 กราฟแสดงซีโอดีของน้ำทิ้งที่ออกจากระบบบ่อหมักทั้งสองที่ระดับออร์แกนิคโหลดดิง 0.3 และ 0.6 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน..... 70

รูปที่ 5.16 กราฟแสดงซีโอดีของน้ำเสียและน้ำทิ้งที่ออกจากระบบบ่อหมักทั้งสองที่ระดับออร์แกนิคโหลดดิง 0.9 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน ที่เติมและไม่เติม N,P..... 71

รูปที่ 5.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี กับออร์แกนิคโหลดดิง..... 74

รูปที่ 5.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกรดโวลาไทล์ และ พีเอชกับออร์แกนิคโหลดดิง..... 76

รูปที่ 5.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพความเป็นด่างรวม และโออาร์พีกับออร์แกนิคโหลดดิง..... 77

รูปที่ 5.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี กับออร์แกนิคโหลดดิง..... 79

รูปที่ 5.21 กราฟแสดงกรดโวลาไทล์ พีเอช โออาร์พี และสภาพความ-เป็นด่างรวมของบ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอนของการทดลองชุดที่ 3 และ 4..... 81

รูปที่ 5.22 กราฟแสดงกรดโวลาไทล์ พีเอช โออาร์พี และสภาพความ-เป็นด่างรวมของบ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบธรรมดา ของการทดลองชุดที่ 3 และ 4..... 83

รูปที่ 5.23 กราฟแสดง พีเอช โออาร์พี และกรดโวลาไทล์ของบ่อหมักไร้ออกซิเจนที่มีการทำงานล้มเหลว..... 87