การนำเครื่องกรองไร้อากาศแบบที่มีตัวกลางเต็มถังและครึ่งถังมาประยุกต์ใช้กับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำ

นายพิพัฒน์ ชื่นชมชาติ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2529

ISBN 974-566-377-8

013504

I16886269

Application of a Filled-Up and a Half-Filled Anaerobic Filters for Low Strength Wastewater

Mr. Pipat Chuenchomchat

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering

Department of Sanitary Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University

1986

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การนำเครื่องกรองไร้ออกซิเจนที่มีตัวกลางเต็มถัง และครึ่งถังมาประยุกต์ใช้กับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำ
โดย	นายพิพัฒน์ ชื่นชมชาติ
ภาควิชา	วิศวกรรมสุขาภิบาล
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.สรชัย พิศาลบุตร)

รักษาการในตำแหน่งรองคณบดีฝ่ายวิชาการ

ปฏิบัติราชการแทนรักษาการในตำแหน่งคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ สวัสดิ์ ธรรมิกรักษ์)

.....กรรมการ อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ วีรวรรณ ปัทมาภิรัต)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ พรประภา)

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การนำเครื่องกรองไร้ออกซิเจนที่มีตัวกลางเต็มถังและครึ่งถังมาประยุกต์ใช้กับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำ

ชื่อนิสิต นายพิพัฒน์ ชื่นชมชาติ

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์

ภาควิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล

ปีการศึกษา 2528

บทคัดย่อ

ความมุ่งหมายในการศึกษางานวิจัยนี้เพื่อ นำเอาระบบเครื่องกรองแบบไร้ออกซิเจนมาใช้กับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำ ในลักษณะที่มีการเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานระหว่างเครื่องกรองที่มีการวางชั้นตัวกลางเต็มถัง กับเครื่องกรองที่มีการวางชั้นตัวกลางครึ่งถังลอย - โดยทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นซีโอดีคงที่ที่ 300 มก./ล. ภายใต้ระยะเวลากักเก็บน้ำ 4 ระดับ คือ 3, 6, 9 และ 12 ชม. ซึ่งจะมีค่าออร์แกนิคโหลดดิง 1.85, 0.62 0.93 และ 0.46 กก.ซีโอดี/ม.^{3}-วัน ตามลำดับ จากงานวิจัยแสดงให้เห็นว่า มีความเป็นไปได้ที่จะนำเอาเครื่องกรองไร้ออกซิเจนมาใช้บำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำ โดยที่เครื่องกรองที่มีตัวกลางครึ่งถังลอยมีสมรรถนะเหนือกว่าเครื่องกรองที่มีตัวกลางเต็มถังเล็กน้อย

จากผลการทดลองพอสรุปได้ว่า เครื่องกรองทั้งสองมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์ได้ 50-92% ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 3-12 ชม. โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูงสุดที่ระยะเวลากักเก็บน้ำ 12 ชม. ซึ่งมีอัตราการผลิตก๊าซมีเทนได้ 0.068 ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด ก๊าซชีวภาพจะประกอบด้วยก๊าซไนโตรเจน 45% ก๊าซมีเทน 47% ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 8%

Thesis Title Application of a Filled-Up and a Half-Filled Anaerobic Filters for Low Strength Wastewater.

Name Mr. Pipat Chuenchomchat

Thesis Advisor Associate Professor Munsin Tuntoolavest, Ph.D.

Department Sanitary Engineering

Academic Year 1985

ABSTRACT

The aim of this study was to apply anaerobic filter to treat low strength wastewater, by comparing the performances of filled-up media anaerobic filter to half-filled suspended media one. The experiments were applied to treat synthetic waste which had fixed COD concentration to 300 mg/l and treated under four hydraulic retention times, ie. 3, 6, 9 and 12 hours at organic loadings of 1.85, 0.62, 0.93 and 0.46 kg COD/m^3-day respectively. From this research, it revealed that the anaerobic filter was a promising candidate for treatment of low strength wastewater. Furthermore this experiment showed that the performances of the half-filled filter were over than the filled-up one.

It could be concluded from the experimental results that the COD removal efficiencies were around 50-92% at retention times of 3 to 12 hours. The maximum efficiency of COD removed was at 12 hours hydraulic retention time and the methane production was 0.096 l/gm COD removed. Gas composition are averaged of 45% nitrogen, 47%methane and 8% carbon dioxide.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ท่านกรุณาให้คำชี้แนะแนวทางในการวิจัย อีกทั้งอบรมสั่งสอนให้เกิดวิจารณญาณในเชิงวิชาการ และความใฝ่รู้ อันเป็นผลให้งานวิจัยนี้ดุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาลทุกท่านที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์แก่ผู้วิจัย รวมทั้งการประสิทธิ์ประสาทวิทยาการต่าง ๆ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล ที่กรุณาอำนวยความสะดวกในการวิจัยทุกท่าน

ขอขอบคุณกัลยาณมิตรทุกท่านที่เป็นทั้งเพื่อน และผู้ให้กำลังใจด้วยดีเสมอมา

อนึ่ง งานวิจัยนี้ ได้รับทุนอุดหนุนจากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อันเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นรูปเล่มออกมาได้ ผู้วิจัยจึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

คุณความดีอันพึงมีจากงานวิจัยครั้งนี้ ขอมอบเป็นเครื่องบูชาแด่บุพการีทั้งสองผู้ซึ่งสนับสนุนทางด้านการศึกษาของบุตรเสมอมา อีกทั้งญาติพี่น้องผู้ให้ซึ่งความรัก ความห่วงใย และช่วยเสริมสร้างความเชื่อมั่น ความพากเพียร ระลึกรู้ สมาธิ ปัญญา แก่ผู้วิจัยตลอดมา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญเรื่อง

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญเรื่อง ..... ช

สารบัญภาพ ..... ฎ

สารบัญตาราง ..... ฑ

บทที่ 1. บทนำ 1

1.1 คำนำ 1

1.2 ชนิดของระบบกำจัดสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจน 1

1.2.1 บ่อเกรอะ (Septic Tank) 2

1.2.2 บ่อหมัก (Anaerobic Lagoons) 2

1.2.3 ถังหมักธรรมดา (Conventional Anaerobic Digestion) 2

1.2.4 ระบบถังหมักแบบสัมผัส (Anaerobic Contact) 4

1.2.5 ระบบถังหมักแบบสองเฟส (Two-Phase Anaerobic-Digestion) 4

1.2.6 ระบบเครื่องกรองไร้ออกซิเจน (Anaerobic Filter) 4

1.2.7 ระบบ Anaerobic Fluidized Bed (AFB) และระบบ Anaerobic Attached Film Expanded Bed - (AAFEB) 6

1.2.8 ระบบ Upflow Anaerobic Sludge Blanket(UASB) 6

1.2.9 ระบบจานชีวะหมุนแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic Rotating Biological Contactor) 8

1.2.10 ระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน(Anaerobic Baffled Reactor) 8

2. วัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย 10

สารบัญเรื่อง (ต่อ)

หน้า

2.1 วัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย 10
3. ทฤษฎีและรายงานการวิจัยที่เกี่ยวข้อง 11
3.1 จุลชีวะและชีวเคมีของขบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจน 11
3.1.1 ขั้นตอนการย่อยสลายที่ทำให้เกิดกรด 13
3.1.2 ขั้นตอนการย่อยสลายที่ทำให้เกิดก๊าซมีเทน 16
3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อขบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจน 16
3.2.1 อุณหภูมิ 16
3.2.2 พีเอช กรดไวลาไทล์ และสภาพความเป็นด่าง 18
3.2.3 ศักยภาพการให้และรับอิเล็คตรอน 20
3.2.4 ความต้องการสารอาหารที่จำเป็น 27
3.2.5 สารพิษ 27
3.2.5.1 พิษของกรดไวลาไทล์ 27
3.2.5.2 พิษของอิออนหรือโลหะหนัก 27
3.2.5.3 พิษของก๊าซบางชนิด 30
3.2.5.4 พิษของสารอินทรีย์ 31
3.3 การใช้ระบบหมักแบบเครื่องกรองไร้ออกซิเจน 31
3.3.1 ลักษณะการทำงานของเครื่องกรองไร้ออกซิเจน 31
3.3.2 การทดลองระบบย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนกับน้ำเสียความเข้มข้นต่ำที่ผ่านมา 32
3.3.3 ข้อได้เปรียบและข้อจำกัดของเครื่องกรองไร้ออกซิเจน . 34
4. แผนงานและการดำเนินการวิจัย 35
4.1 แผนงานการทดลอง 35
4.2 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ 36
4.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง 36
4.3.1 ตัวเครื่องกรองไร้ออกซิเจน 36
4.3.2 เครื่องสูบชนิดรีดสาย (Peristaltic Pump) 38

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญเรื่อง (ต่อ)

หน้า

4.3.3 ตัวกลางพลาสติค 39
4.3.4 ขวดตักก๊าซ 39
4.3.5 เครื่องวัดปริมาณก๊าซ 39
4.4 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ 42
4.4.1 การเก็บตัวอย่างน้ำ 42
4.4.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ 42
4.5 การวัดและวิเคราะห์ก๊าซ 43
5. ผลการวิจัยและการวิจารณ์ผล 45
5.1 การเริ่มเลี้ยงจุลชีพ (Start Up) 45
5.2 ผลการวิจัยของเครื่องกรองไร้ออกซิเจนที่มีตัวกลางเต็มถังและครึ่งถัง 46
5.2.1 ค่าพีเอช 46
5.2.2 กรดไวลาไทล์ สภาพความเป็นด่างรวม สภาพความเป็นไบคาร์บอเนต 50
5.2.3 ไออาร์พี 66
5.2.4 ตะกอนแขวนลอยและตะกอนแขวนลอยไวลาไทล์ 66
5.2.5 ซีโอดีและประสิทธิภาพในการกำจัด 72
5.2.6 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ 81
5.2.7 ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส 83
5.3 วิจารณ์และเปรียบเทียบผลการทดลองเครื่องกรองไร้ออกซิเจนที่มีตัวกลางเต็มถังและครึ่งถัง 85
5.3.1 อิทธิพลของระยะเวลากักเก็บน้ำที่มีต่อเครื่องกรองไร้ออกซิเจน 85
5.3.1.1 อิทธิพลของระยะเวลากักเก็บน้ำที่มีต่อพีเอช-กรดไวลาไทล์ และสภาพความเป็นด่าง ... 85
5.3.1.2 อิทธิพลของระยะเวลากักเก็บน้ำต่อไออาร์พี. 87

สารบัญเรื่อง (ต่อ)

หน้า

5.3.1.3 อิทธิพลของระยะเวลากักเก็บน้ำต่อตะกอนแขวนลอย 88
5.3.1.4 อิทธิพลของระยะเวลากักเก็บน้ำต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี 88
5.3.1.5 อิทธิพลของระยะเวลากักเก็บน้ำต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ 89
5.3.1.6 สมดุลย์ของสารอินทรีย์คาร์บอนในระบบ ...100
5.3.2 ความเป็นอยู่และชนิดของตะกอนจุลชีพภายในเครื่องกรอง102
5.3.3 การสูญเสียแรงดันหัวน้ำภายในเครื่องกรอง 102
6. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 104
6.1 บทสรุป 104
6.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยที่น่าศึกษาต่อไป 105
7. ความสำคัญทางด้านวิศวกรรม 106

เอกสารอ้างอิง 107

ภาคผนวก 119

ประวัติ 133

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	บ่อหมัก	3
1.2	ถังหมักชนิดอัตราการจัดช้า	3
1.3	ถังหมักชนิดอัตราการจัดเร็ว	3
1.4	ระบบถังหมักแบบสัมผัส	5
1.5	ระบบถังหมักแบบสองเฟส	5
1.6	ระบบเครื่องกรองไร้ออกซิเจน	7
1.7	ระบบ AFB และ AAFEB	7
1.8	ระบบ UASB	7
1.9	ระบบ Anaerobic Rotating Biological Reactor	9
1.10	ระบบ Anaerobic Baffled Reactor	9
3.1	ขบวนการเมตาบอลิซึมของขบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจน	12
3.2	การย่อยสลายกลูโคสโดยผ่านขบวนการไกลคอลิซิส	15
3.3	การย่อยสลายกรดไขมันโดยผ่านขบวนการเบตาออกซิเดชัน	15
3.4	แสดงความสัมพันธ์ในทางทฤษฎีระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์ พีเอช และสภาพความเป็นด่างไบคาร์บอเนตของถังหมักไร้ออกซิเจน	19
3.5	พิสัยของไออาร์พีในระบบใช้ออกซิเจนและระบบไร้ออกซิเจน	23
3.6	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างไออาร์พีกับระยะเวลาในการวัด	25
3.7	ปฏิกิริยาการทำลายพิษของโลหะหนักโดยซัลไฟด์ในสภาวะไร้ออกซิเจน	28
4.1	แสดงเครื่องกรองไร้ออกซิเจนที่มีตัวกลางเต็มถังและครึ่งถัง	37
4.2	เครื่องวัดปริมาณก๊าซ	40
4.3	ส่วนประกอบของอุปกรณ์ที่ใช้ติดตั้งในการวิจัย	41
5.1	กราฟแสดงพีเอชของน้ำทิ้งที่ออกจากเครื่องกรอง	47
5.2	กราฟแสดงพีเอชภายในเครื่องกรองที่ระดับ 1.05 เมตร	48
5.3	กราฟแสดงพีเอชที่ระดับความสูงต่าง ๆ ภายในเครื่องกรอง	49
5.4	กราฟแสดงกรดไวลาไทล์ของน้ำทิ้งที่ออกจากเครื่องกรอง	51

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

5.5 กราฟแสดงกรดไวลาไทล์ภายในเครื่องกรองที่ระดับ 1.05 เมตร 52
5.6 กราฟแสดงกรดไวลาไทล์ที่ระดับความสูงต่าง ๆ ภายในเครื่องกรอง 53
5.7 กราฟแสดงความเป็นด่างรวมของน้ำทิ้งที่ออกจากเครื่องกรอง 55
5.8 กราฟแสดงความเป็นด่างรวมภายในเครื่องกรองที่ระดับ 1.05 เมตร 56
5.9 กราฟแสดงความเป็นด่างรวมที่ระดับความสูงต่าง ๆ ภายในเครื่องกรอง 57
5.10 กราฟแสดงความเป็นด่างไบคาร์บอเนตของน้ำทิ้งที่ออกจากเครื่องกรอง 59
5.11 กราฟแสดงความเป็นด่างไบคาร์บอเนตภายในเครื่องกรองที่ระดับ 1.05 เมตร . 60
5.12 กราฟแสดงความเป็นด่างไบคาร์บอเนตที่ระดับความสูงต่าง ๆ ภายในเครื่องกรอง 61
5.13 กราฟแสดงอัตราส่วนกรดไวลาไทล์ต่อสภาพความเป็นด่างรวมของน้ำทิ้งที่ออกจากเครื่องกรอง 63
5.14 กราฟแสดงอัตราส่วนกรดไวลาไทล์ต่อสภาพความเป็นด่างรวมภายในเครื่องกรองที่ระดับ 1.05 เมตร 64
5.15 กราฟแสดงกรดไวลาไทล์ต่อสภาพความเป็นด่างรวมที่ระดับความสูงต่าง ๆ ภายในเครื่องกรอง 65
5.16 กราฟแสดงไออาร์พีของน้ำทิ้งที่ออกจากเครื่องกรอง 67
5.17 กราฟแสดงไออาร์พีภายในเครื่องกรองที่ระดับ 1.05 เมตร 68
5.18 กราฟแสดงไออาร์พีที่ระดับความสูงต่าง ๆ ภายในเครื่องกรอง 69
5.19 กราฟแสดงตะกอนแขวนลอยของน้ำทิ้งที่ออกจากเครื่องกรอง 70
5.20 กราฟแสดงตะกอนแขวนลอยไวลาไทล์ของน้ำทิ้งที่ออกจากเครื่องกรอง 71
5.21 กราฟแสดงตะกอนแขวนลอยภายในเครื่องกรองที่ระดับความสูงต่าง ๆ 73
5.22 กราฟแสดงตะกอนแขวนลอยไวลาไทล์ภายในเครื่องกรองที่ระดับความสูงต่าง ๆ . 74
5.23 กราฟแสดงซีโอดีของน้ำทิ้งที่ออกจากเครื่องกรอง 75
5.24 กราฟแสดงซีโอดีภายในเครื่องกรองที่ระดับ 1.05 เมตร 76
5.25 กราฟแสดงซีโอดีและประสิทธิภาพในการกำจัดที่ระยะเวลากักเก็บน้ำและออร์แกนิคโหลดดิงต่าง ๆ กัน 78
5.26 กราฟแสดงซีโอดีที่ระดับความสูงต่าง ๆ ภายในเครื่องกรอง 79
5.27 กราฟแสดงประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่ระดับความสูงต่าง ๆ ภายในเครื่องกรอง. 80

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

5.28 กราฟแสดงปริมาณก๊าซรวมที่ได้รับจากเครื่องกรอง 82

5.29 กราฟแสดงเปอร์เซนต์ก๊าซไนโตรเจนที่เวลากัก เก็บน้ำและออร์แกนิคโหลดดิงต่างๆ 92

5.30 กราฟแสดงความสามารถในการละลายของไนโตรเจนและปริมาณก๊าซไนโตรเจน 93

5.31 กราฟแสดงเปอร์เซนต์มีเทนที่เวลากัก เก็บน้ำและออร์แกนิคโหลดดิงต่าง ๆ 95

5.32 กราฟแสดงมีเทนที่ละลายในน้ำที่เวลากัก เก็บน้ำและออร์แกนิคโหลดดิงต่าง ๆ ... 96

5.33 กราฟแสดงก๊าซมีเทน, มีเทนยีลด์ที่เวลากัก เก็บน้ำและออร์แกนิคโหลดดิงต่าง ๆ.. 98

6.1 ภาพแสดงระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจนที่ใส่ตัวกลางในช่องสุดท้าย 105

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

3.1 แสดงการจัดหมวดหมู่ของแบคทีเรียที่สร้างมีเทนที่เป็นเชื้อบริสุทธิ์โดย Balch และคณะ 17

3.2 ผลงานวิจัยเกี่ยวกับค่าโออาร์พีที่วัดได้ในสภาพไร้ออกซิเจน 26

3.3 ความเข้มข้นของอิออนและไลหะหนักที่เกิดเป็นพิษต่อระบบการหมักได้โดยตรง 29

3.4 ผลของแอมโมเนียไนโตรเจนต่อระบบกำจัดน้ำทิ้งแบบไม่ใช้ออกซิเจน 30

4.1 การเปลี่ยนแปลงระดับออร์แกนิคโหลดดิ้งเมื่อมีการแปรเปลี่ยนเวลากักเก็บน้ำ 36

4.2 ส่วนประกอบของน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นซีโอดี 300 มก./ล. 38

4.3 แผนการเก็บและการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ 43

5.1 ค่าเฉลี่ยของพีเอชที่ระยะเวลากักเก็บน้ำต่าง ๆ กัน ณ สภาวะคงตัว 50

5.2 ค่าเฉลี่ยของกรดไวลาไทล์ ณ สภาวะคงตัว 54

5.3 ค่าเฉลี่ยของสภาพความเป็นด่างรวม ณ สภาวะคงตัว 58

5.4 ค่าเฉลี่ยของสภาพความเป็นด่างไบคาร์บอเนต ณ สภาวะคงตัว 62

5.5 ค่าเฉลี่ยของกรดไวลาไทล์ต่อสภาพความเป็นด่างรวม ณ สภาวะคงตัว 62

5.6 ค่าเฉลี่ยของโออาร์พี ณ สภาวะคงตัว 66

5.7 ค่าเฉลี่ยของตะกอนแขวนลอยและตะกอนแขวนลอยไวลาไทล์ ณ สภาวะคงตัว 72

5.8 ค่าเฉลี่ยของซีโอดี ณ สภาวะคงตัว 81

5.9 ก๊าซชีวภาพรวมและองค์ประกอบ ณ สภาวะคงตัว 83

5.10 ปริมาณไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของน้ำเสียและน้ำทิ้ง 84

5.11 ปริมาณก๊าซไนโตรเจนที่เข้าและออกจากเครื่องกรองทั้งสอง 94

5.12 ปริมาณก๊าซมีเทนที่ผลิตได้จากเครื่องกรองทั้งสอง 99

5.13 ส่วนประกอบของก๊าซชีวภาพที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียจากบ้านเรือนที่เคยมีผู้ศึกษาไว้เปรียบเทียบกับของผู้วิจัย 100

5.14 สมดุลย์ของสารอินทรีย์คาร์บอนในเครื่องกรองครึ่งถัง 101

5.15 สมดุลย์ของสารอินทรีย์คาร์บอนในเครื่องกรองเต็มถัง 101