การเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องกรองไร้ออกซิเจนที่มีตัวกลางเต็มถังและครึ่งถัง

นาย เรืองชัย เลียกภาพร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2528

ISBN 974-564-903-1

013440
ม 17139940

PERFORMANCE COMPARISON OF A FILLED-UP AND A HALF-FILLED ANAEROBIC FILTERS

Mr. Ruengchai Jearkpaporn

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Sanitary Engineering

Graduate School

Chualongkorn University

1985

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องกรองไร้ออกซิเจนที่มีตัวกลางเต็มถังและครึ่งถัง

โดย นาย เรืองชัย เจียกภาพร

ภาควิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดี บัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุประดิษฐ์ บุนนาค)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ วีรวรรณ ปัทมาภิรัต)

.....กรรมการอาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร. มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ พรประภา)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุทธิรักษ์ สุจริตตานนท์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องกรองไร้ออกซิเจนที่มีตัวกลางเต็มถังและครึ่งถัง
ชื่อ	นาย เรืองชัย เลียกภาพร
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์
ภาควิชา	วิศวกรรมสุขาภิบาล
ปีการศึกษา	2528

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

ความมุ่งหมายในการศึกษางานวิจัยนี้ คือ เพื่อที่จะเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานระหว่างเครื่องกรองที่มีการวางตัวยันตัวกลางต่างกัน 2 ลักษณะ คือ การวางยันตัวกลางในลักษณะเต็มถัง และการวางยันตัวกลางแบบครึ่งถังลอย โดยทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นซีโอดีในช่วง 2,000-10,000 มก./ล. ภายใต้ออร์แกนิคโหลดดิ้ง 3 ระดับ คือ 1,3 และ 5 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน และกำหนดค่า HRT ประมาณ 48 ชม. จากงานวิจัยแสดงให้เห็นว่าเครื่องกรองที่มียันตัวกลางครึ่งถังลอยมีความเป็นไปได้ในการที่จะนำมาใช้กำจัดน้ำเสียประเภทนี้ นอกจากนี้ยังพบว่าพฤติกรรมและสมรรถนะในการทำงานของเครื่องกรองที่มียันตัวกลางครึ่งถังลอยเหนือกว่าเครื่องกรองที่มียันตัวกลางเต็มถัง แต่อย่างไรก็ตามภายใต้การทำงานที่ระดับออร์แกนิค-โหลดดิ้งไม่สูงนัก เช่น 1 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน สมรรถนะในการทำงานของเครื่องกรองทั้งสองจะคล้ายคลึงกัน

จากผลการทดลองพบว่า เครื่องกรองทั้งสองมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์ได้ 60-89% ที่ระดับออร์แกนิคโหลดดิ้ง 1-5 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูงสุดจะเกิดที่ระดับออร์แกนิคโหลดดิ้ง 1 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน ซึ่งจะผลิตก๊าซมีเทนได้ 0.33 ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด

Thesis Title	PERFORMANCE COMPARISON OF A FILLED-UP AND A HALF-FILLED ANAEROBIC FILTERS
Name	Mr. Ruengchai Jearkpaporn
Thesis Advisor	Associate Professor Munsin Tuntoolavaste, Ph.D.
Department	Sanitary Engineering
Academic Year	1985

ABSTRACT

The purpose of this study was to compare the performances between the two anaerobic filters which had different packed-up media, : ie the filled-up media and the half-filled suspended media. The experiments were applied to treat synthetic waste which had COD concentration in the range of 2,000-10,000 mg/l and treated under 3 organic loadings, ie 1,3,5 kg.COD/cum-day respectively under fixed HRT about 48 hours. From this research, it revealed that the anaerobic filter which had a half-filled suspended media was possible to treat this waste. Furthermore this experiment showed that the behavior and performances of the half-filled filter were over than the filled-up one. However, under the organic loadings at 1 and 3 kg.COD/cum-day on the same controlled conditions, the performances of these two filters were more or less the same.

Results of the investigations showed that COD removal efficiencies of these filters were in ranges between 60-89% at organic loading from 1 to 5 kg.COD/cum-day. The maximum efficiency of COD removal was 89% and the methane production was 0.33 L/gm.COD removed at organic loading of 1 kg.COD/cum-day.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้ทดลองขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. มั่นสิน ตัณฑุลเวคิน์ อาจารย์ผู้ควบคุมการวิจัยเป็นอย่างสูง ซึ่งในการทดลองนี้ท่านได้กรุณาให้คำแนะนำเกี่ยวกับแนวทางในการทดลอง และให้ความช่วยเหลือด้านอุปกรณ์การทดลองต่าง ๆ ซึ่งทำให้การทดลองครั้งนี้สำเร็จออกมา

ขอบคุณคณะอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล ที่ได้ให้ความรู้แก่ผู้ทดลองในด้านการศึกษาแขนงสาขาวิศวกรรมสุขาภิบาล และให้การสนับสนุนในการทดลองครั้งนี้

ขอบคุณ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล ที่ได้ช่วยอำนวยความสะดวกในการทดลองครั้งนี้

ขอบคุณเพื่อน ๆ ที่ได้ช่วยเหลือด้านการทดลอง และการจัดเครื่องมือทดลองต่าง ๆ ตลอดจนการจัดทำวิทยานิพนธ์เป็นรูปเล่มออกมาได้ด้วยดี

อนึ่ง ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ ผู้ทดลองได้รับทุนอุดหนุนจากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นรูปเล่มออกมาได้ ผู้ทดลองจึงขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ไว้ ณ ที่นี้

คุณความดีของวิทยานิพนธ์ ขอมอบให้ บุพการี ซึ่งส่งเสริมการศึกษาของผู้ทดลองตลอดมา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญเรื่อง ..... ช

สารบัญรูปประกอบ ..... ฎ

สารบัญตาราง ..... ฒ

บทที่ 1. บทนำ 1

1.1 คำนำ 1

1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัย 2

2. ทฤษฎีและแนวความคิด 3

2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับระบบน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน 3

2.1.1 หลักการทำงานของระบบปฏิบัติการไร้ออกซิเจนทั่วไป 3

2.1.2 สภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน 4

2.1.2.1 พีเอช 4

2.1.2.2 ปริมาณความเป็นด่างทั้งหมด, ความเป็นด่างไบคาร์บอเนตและอัตราส่วนความเข้มข้นของกรดโวลาไทล์ต่อระดับความเป็นด่างไบคาร์บอเนต 4

2.1.2.3 กรดโวลาไทล์ (Volatile Acid) 6

2.1.2.4 สภาพไร้ออกซิเจน 7

2.1.2.5 อุณหภูมิ 7

2.1.2.6 อาหารเสริม 7

2.1.2.7 ปริมาณอิออนและโลหะหนัก 7

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.1.2.8 ศักยการให้และรับอีเล็คตรอน OR-P 10

2.1.2.9 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์..... 13

2.2 ประเภทของระบบปฏิบัติการไร้ออกซิเจน..... 14

2.2.1 ระบบบ่อหมักไร้ออกซิเจน (Anaerobic Lagoons) 14

2.2.2 ระบบถังหมักแบบธรรมดา (Conventional Anaerobic Digestion)..... 14

2.2.3 ระบบถังหมักแบบคอนแท็คท์(Anaerobic Contact) 15

2.2.4 ระบบ Fluidized and Expanded Bed (Fluidized and Expanded Bed)..... 17

2.2.5 ระบบเครื่องกรองไร้ออกซิเจน (Anaerobic Filter) 18

2.2.6 ระบบ Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)..... 19

2.3 การกำจัดน้ำเสียโดยเครื่องกรองไร้ออกซิเจน (Anaerobic Filter)..... 20

2.3.1 ลักษณะทั่วไปของเครื่องกรองไร้ออกซิเจน..... 20

2.3.2 แฟคเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องกรองไร้ออกซิเจน..... 20

2.3.2.1 ระยะเวลากักตะกอนในเครื่องกรองไร้ออกซิเจน (SRT)..... 20

2.3.2.2 ระยะเวลากักน้ำ (HRT)..... 22

2.3.2.3 คุณลักษณะของน้ำเสีย..... 22

2.3.2.4 ชนิดและคุณสมบัติของตัวกลางในเครื่องกรอง..... 23

2.3.2.5 ลักษณะการวางชั้นตัวกลาง..... 24

2.3.2.6 ความสูงของถังกรอง..... 24

2.3.3 ข้อดีข้อเสียของเครื่องกรองไร้ออกซิเจน..... 25

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	2.3.4 การวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเครื่องกรองไร้ออกซิเจนในอดีต	26
3.	การวางแผนการทดลองและวิจัย	30
	3.1 แผนการทดลอง	30
	3.2 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์และการป้อนน้ำเสียสังเคราะห์	32
	3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง	34
	3.4 การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์น้ำทิ้งและก๊าซ	39
	3.4.1 การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีของน้ำ	39
	3.4.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ	39
	3.4.3 การวัดปริมาตรก๊าซและเปอร์เซ็นต์มีเทนในก๊าซชีวภาพ	39
4.	การเสนอผลการวิจัยและวิจารณ์	42
	4.1 การเริ่มเลี้ยงจุลินทรีย์ (START UP)	43
	4.2 ผลการวิจัยและวิจารณ์	43
	4.2.1 พีเอช	44
	4.2.2 สภาพความเป็นด่างทั้งหมด สภาพความเป็นด่างในรูปไบคาร์บอเนต กรดโวลาไทล์	44
	4.2.3 อัตราส่วนของกรดโวลาไทล์ต่อสภาพความเป็นด่างในรูปไบคาร์บอเนต	50
	4.2.4 โออาร์พี (OR-P)	52
	4.2.5 ซีโอดี (COD)	52
	4.2.6 ปริมาตรก๊าซและเปอร์เซ็นต์มีเทน	59
	4.2.7 ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส	63
	4.2.8 ตะกอนแขวนลอย	64
	4.3 การเปรียบเทียบสมรรถนะของเครื่องกรองทั้งสองแบบภายใต้สภาวะการทำงานทรงตัว (Steay-State)	71

สารบัญ (ต่อ)

บทที่		หน้า
	4.3.1 สมรรถนะของเครื่องกรองในการกำจัดซีโอดี...	71
	4.3.2 สมรรถนะของเครื่องกรองในการผลิตก๊าซชีวภาพ	74
	4.4 การสร้างสะสมเซลล์แบคทีเรียและลักษณะความเป็นอยู่ของเซลล์แบคทีเรียในเครื่องกรอง.....	75
	4.4.1 เครื่องกรองตัวที่ 1 (บรรจุตัวกลางเต็มถัง)...	75
	4.4.2 เครื่องกรองตัวที่ 2 (บรรจุตัวกลางครึ่งถังลอย)	79
	4.5 ความเปลี่ยนแปลงที่ระดับความสูงต่าง ๆ ของเครื่องกรอง	79
	4.5.1 เครื่องกรองตัวที่ 1 (บรรจุตัวกลางเต็มถัง)...	82
	4.5.2 เครื่องกรองตัวที่ 2 (บรรจุตัวกลางครึ่งถังลอย)	83
	4.6 การตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงออร์แกนิคโหลดดิ้ง.....	92
	4.7 อิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่มีผลต่อการทำงานของเครื่องกรองไร้ออกซิเจน.....	96
5.	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	102
	5.1 บทสรุป.....	102
	5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยที่จะทำต่อไป.....	103
บรรณานุกรม.....		104
ภาคผนวก.....		109
ประวัติผู้เขียน.....		173

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ปฏิกริยายิวเคมีแบบไร้ออกซิเจน	3
2.2	ความสัมพันธ์ทางทฤษฎีระหว่าง CO_2, pH และ HCO_3^-	5
2.3	ปฏิกริยาการทำลายพิษโลหะหนักโดยซัลไฟด์	9
2.4	ค่า ORP ที่ระยะเวลาการวัดต่าง ๆ กัน	12
2.5	ระบบถังหมักแบบธรรมดา	14
2.6 ก.	ระบบถังหมักแบบคอนแท็คท์	16
2.6 ข.	ระบบถังหมักแบบแยกประเภท	16
2.7	ระบบ Fluidized and Expanded Bed	17
2.8	ระบบเครื่องกรองไร้ออกซิเจน	18
2.9	ระบบ Upflow Anaerobic Sludge Blanket	19
2.10	ลักษณะทั่วไปของเครื่องกรองไร้ออกซิเจน	20
2.11	ความสัมพันธ์ระหว่าง SRT และประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของเครื่องกรอง	21
2.12	ผล HRT ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของเครื่องกรองไร้ออกซิเจน	21
3.1	ลักษณะตำแหน่งของชั้นตัวกลางที่บรรจุในเครื่องกรอง	30
3.2	สูตรผสมน้ำเสียสังเคราะห์	33
3.3	ส่วนประกอบของถังกรองและระบบแยกก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้ง	34
3.4	เครื่องวัดก๊าซ	36
3.5	ส่วนประกอบของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	37
3.6	ภาพแสดงแบบจำลองของเครื่องกรองที่ใช้ในการทดลอง	38
4.1	กราฟแสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่า pH ของเครื่องกรองทั้งสองที่ระดับออร์แกนิคโหลดดิ้ง 1,3,5 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน	45
4.2	สภาพความเป็นด่างทั้งหมด กรดโวลาไทล์ สภาพความเป็นด่างไบคาร์บอเนตของน้ำทิ้งที่ออกจากเครื่องกรองทั้งสองภายใต้ออร์แกนิคโหลดดิ้ง 1 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน	46

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.3	ลักษณะความเป็นด่างทั้งหมด, กรดโวลาไทล์ ลักษณะความเป็นด่างไบคาร์บอเนตของน้ำทิ้งที่ออกจากเครื่องกรองทั้งล่อง ภายใต้ออแกนิคโหลดดิ้ง 3 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน	47
4.4	ลักษณะความเป็นด่างทั้งหมด กรดโวลาไทล์ ลักษณะความเป็นด่างไบคาร์บอเนตของน้ำทิ้งที่ออกจากเครื่องกรองทั้งล่อง ภายใต้ออร์แกนิคโหลดดิ้ง 5 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน	48
4.5	กราฟแสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่า VFA/HCO_3 ของเครื่องกรองทั้งล่องที่ระดับออร์แกนิคโหลดดิ้ง 1,3 และ 5 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน	51
4.6	กราฟแสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่า ORP ของเครื่องกรองทั้งล่องที่ระดับออร์แกนิคโหลดดิ้ง 1,3 และ 5 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน	54
4.7	ซีโอดีน้ำเสียสังเคราะห์ ซีโอดีน้ำทิ้งในเครื่องกรองทั้งล่อง ภายใต้ระดับออร์แกนิคโหลดดิ้ง 1 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน	56
4.8	ซีโอดีน้ำเสียสังเคราะห์ ซีโอดีน้ำทิ้งในเครื่องกรองทั้งล่อง ภายใต้ระดับออร์แกนิคโหลดดิ้ง 3 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน	57
4.9	ซีโอดีน้ำเสียสังเคราะห์ ซีโอดีน้ำทิ้งในเครื่องกรองทั้งล่อง ภายใต้ระดับออร์แกนิคโหลดดิ้ง 5 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน	58
4.10	ก๊าซทั้งหมด ก๊าซมีเทน % มีเทน ของเครื่องกรองทั้งล่อง ภายใต้ระดับออร์แกนิคโหลดดิ้ง 1 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน	60
4.11	ก๊าซทั้งหมด ก๊าซมีเทน % มีเทนของเครื่องกรองทั้งล่อง ภายใต้ออร์แกนิคโหลดดิ้ง 3 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน	61
4.12	ก๊าซทั้งหมด ก๊าซมีเทน %มีเทนของเครื่องกรองทั้งล่อง ภายใต้ออร์แกนิคโหลดดิ้ง 5 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน	62
4.13	ตะกอนแขวนลอยในเครื่องกรองทั้งล่อง ภายใต้ระดับออร์แกนิคโหลดดิ้ง 1 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน	65
4.14	ตะกอนโวลาไทล์ในเครื่องกรองทั้งล่อง ภายใต้ระดับออร์แกนิคโหลดดิ้ง 1 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน	66

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.15	ตะกอนแขวนลอยในเครื่องกรองทั้งล่อง ภายใต้ระดับออร์แกนิคโหลดดิ้ง 3 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน.....	67
4.16	ตะกอนโวลาไทล์ในเครื่องกรองทั้งล่อง ภายใต้ระดับออร์แกนิคโหลดดิ้ง 3 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน.....	68
4.17	ตะกอนแขวนลอย ในเครื่องกรองทั้งล่อง ภายใต้ระดับออร์แกนิคโหลดดิ้ง 5 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน.....	69
4.18	ตะกอนโวลาไทล์ในเครื่องกรองทั้งล่อง ภายใต้ระดับออร์แกนิคโหลดดิ้ง 5 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน.....	70
4.19	กราฟแสดงความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยที่ระดับความสูงต่าง ๆ ภายในเครื่องกรองตัวที่ 1 ในการทดลองชุดที่ 1,2,3.....	76
4.20	ลักษณะของเซลล์แบคทีเรียที่พบในเครื่องกรองไร้ออกซิเจน.....	78
4.21	กราฟแสดงความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยที่ระดับความสูงต่าง ๆ ภายในเครื่องกรองตัวที่ 2 ในการทดลองชุดที่ 1,2,3.....	80
4.22	กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าสภาพความเป็นด่างทั้งหมด, VFA ที่ระดับความสูงต่าง ๆ ของเครื่องกรองทั้งล่องในการทดลองชุดที่ 1,2,3	87
4.23	กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าสภาพความเป็นด่างไบคาร์บอเนต ที่ระดับความสูงต่าง ๆ ของเครื่องกรองทั้งล่อง ในการทดลองชุดที่ 1,2,3..	88
4.24	กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่า ORP., pH ที่ระดับความสูงต่าง ๆ ของเครื่องกรองทั้งล่อง ในการทดลองชุดที่ 1,2,3.....	89
4.25	กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่า SS., VFA/HCO_3^{-1} ที่ระดับความสูงต่าง ๆ ของเครื่องกรองทั้งล่อง ในการทดลองชุดที่ 1,2,3.....	90
4.26	กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่า %COD REMOVE, COD ที่ระดับความสูงต่าง ๆ ของเครื่องกรองทั้งล่อง ในการทดลองชุดที่ 1,2,3.....	91
4.27	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวแปรต่าง ๆ กับออร์แกนิคโหลดดิ้งของเครื่องกรองทั้งล่อง.....	93
4.28	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวแปรต่าง ๆ กับออร์แกนิคโหลดดิ้งของเครื่องกรองทั้งล่อง.....	94

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.29	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวแปรต่าง ๆ กับออร์แกนิคโหลดดิ้ง ของเครื่องกรองทั้งสอง (ต่อ).....	95
4.30	กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้องทดลองในการ ทดลองชุดที่ 1,2,3.....	98
4.31	กราฟแสดงค่าตัวแปรต่าง ๆ ในช่วงที่อุณหภูมิลดลง.....	100
4.32	กราฟแสดงค่าตัวแปรต่าง ๆ ในช่วงที่อุณหภูมิลดลง (ต่อ).....	101

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ความเข้มข้นของอิออนและโลหะหนักที่เกิดเป็นพิษต่อระบบโดยตรง...	8
2.2	ผลการวิจัยเกี่ยวกับการวัดค่าโออาร์พีในอดีตที่ผ่านมา.....	11
3.1	ตัวแปรอิสระที่ใช้ในการวิจัย.....	31
3.2	การเปลี่ยนแปลงออร์แกนิคโหลดดิ้งโดยการเปลี่ยนความเข้มข้นซีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์.....	31
3.3	ส่วนประกอบของน้ำเสียสังเคราะห์.....	32
3.4	ตัวแปรตามที่จะวิเคราะห์และความถี่ในการวิเคราะห์.....	41
4.1	ค่าเฉลี่ยของ pH จากการทดลองทั้ง 3 ชุด.....	44
4.2	ค่าเฉลี่ยของตัวแปรทางเคมีที่ระดับออร์แกนิคโหลดดิ้ง 5 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน.....	50
4.3	สรุปผลการวิจัยค่าตัวแปรต่าง ๆ จากการทดลองทั้ง 3 ชุด.....	53
4.4	สรุปค่าไนโตรเจน และฟอสฟอรัส.....	63
4.5	ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี และปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้.....	73
4.6	ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีที่ระดับความลึกต่าง ๆ.....	73
4.7	การคำนวณค่า SRT โดยประมาณของเครื่องกรองที่มีชั้นตัวกลางเต็มถังและเครื่องกรองที่มีชั้นตัวกลางครึ่งถังแบบลอยตัว.....	81
4.8	ค่าตัวแปรเฉลี่ยที่ระดับความลึกต่าง ๆ ภายในเครื่องกรองทั้งสองของการทดลองชุดที่ 1,2,3.....	84
4.9	ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยในห้องทดลอง.....	97

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย