207

ระบบแยกก๊าซ-ตะกอนแขวนลอยที่เหมาะสมสำหรับถังปฏิกิริยายูเอเอสบีที่บำบัดน้ำเสียเข้มข้นปานกลาง

นายสมคะเน จริตงาม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ.2538

ISBN 974-632-894-8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I16838920

AN APPROPRIATE GAS-SOLIDS SEPARATOR OF UPFLOW ANAEROBIC SLUDGE BLANKET REACTOR FOR TREATING MEDIUM CONCENTRATION WASTEWATER

Mr.Somkanay Charitngam

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Environmental Engineering

Graduate school

Chulalongkorn University

1995

ISBN 974-632-894-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ระบบแยกก๊าซ-ตะกอนแขวนลอยที่เหมาะสมสำหรับถังปฏิกิริยายูเอเอสบี ที่บำบัดน้ำเสียเข้มข้นปานกลาง
โดย	นายสมคะเน จริตงาม
ภาควิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ ถุงสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ชีระ เกรอต)

..... กรรมการ อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุทธิรักษ์ สุจริตตานนท์)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

สมคะเน จริตงาม : ระบบแยกก๊าซ-ตะกอนแขวนลอยที่เหมาะสมสำหรับถังปฏิกิริยายูเอเอสบีที่บำบัดน้ำเสียเข้มข้นปานกลาง (AN APPROPRIATE GAS-SOLIDS SEPARATOR OF UPFLOW ANAEROBIC SLUDGE BLANKET REACTOR FOR TREATING MEDIUM CONCENTRATION WASTEWATER) อ.ที่ปรึกษา:รศ.ดร.มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์,171 หน้า.ISBN 974-632-894-8

ความมุ่งหมายของการศึกษางานวิจัยนี้เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงาน ระหว่างถังยูเอเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกก๊าซ-ตะกอนแขวนลอยที่แตกต่างกันสามรูปแบบ โดยทำการทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้น้ำสับปะรดเข้มข้นนำมาทำให้เจือจางมีความเข้มข้นซีโอดีคงที่ประมาณ 3000 มก./ล.การทดลองถังยูเอเอสบีกระทำภายใต้ระยะเวลากักเก็บน้ำ 2 ระดับคือ 12 และ 6 ชั่วโมง และมีค่าออร์กานิคโหลดดิง 6 และ 12 กก.ซีโอดี/ลบ.ม-วัน ตามลำดับ อุปกรณ์แยกก๊าซ-ตะกอนแขวนลอย แบบที่หนึ่ง สอง และสาม มีอัตราน้ำล้นผิวเท่ากับ 0.05,0.17 และ 0.11 เมตร/ชั่วโมงตามลำดับ ที่เวลากักเก็บน้ำ 12 ชั่วโมง และมีอัตราน้ำล้นผิวเท่ากับ 0.11,0.34 และ 0.22 เมตร/ชั่วโมง ตามลำดับ ที่เวลากักเก็บน้ำ 6 ชั่วโมง ปริมาตรของอุปกรณ์แยกก๊าซ-ตะกอนแขวนลอยแบบที่หนึ่ง สอง และสาม เท่ากับ 7.50,2.25 และ 1.50 ลิตร ตามลำดับ อุปกรณ์แยกก๊าซ-ตะกอนแขวนลอยแบบที่หนึ่ง และสาม สามารถแยกก๊าซและตะกอนแขวนลอยได้ดี ส่วนแบบที่สองยอมให้ก๊าซและตะกอนแขวนลอยบางส่วนหลุดออกไปจากระบบ

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า ที่ออร์กานิคโหลดดิง 6 กก.ซีโอดี/ลบ.ม-วัน ถังยูเอเอสบีทั้งสามแบบมีสมรรถนะสูง โดยถังยูเอเอสบีแบบที่หนึ่ง และสาม มีสมรรถนะสูงกว่าแบบที่สองเล็กน้อย กล่าวคือถังยูเอเอสบีแบบที่หนึ่ง มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี 95.0% และ 95.3% ส่วนถังยูเอเอสบีแบบที่สองมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี 90% นอกจากนี้ภายในถังยูเอเอสบีแบบที่หนึ่งและสามปรากฏทั้งชั้นตะกอนนอน และชั้นตะกอนลอย ส่วนถังยูเอเอสบีแบบที่สองปรากฏเฉพาะชั้นตะกอนนอนเท่านั้น ข้อควรสังเกตุอีกประการหนึ่งคือเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในถังยูเอเอสบีแบบที่สองมีขนาดใหญ่กว่าในถังยูเอเอสบีแบบที่หนึ่งและสาม เมื่อควบคุมระบบให้มีออร์กานิคโหลดดิง 6 กก.ซีโอดี/ลบ.ม-วัน ถังยูเอเอสบีแบบที่หนึ่ง สอง และสาม มีค่ามีเทนยีลด์ 0.31,0.25 และ 0.35 ลบ.ม/กก.ซีโอดีที่ถูกกำจัดตามลำดับ เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพเท่ากับ 68,69 และ 68% ตามลำดับ แต่เมื่อทดลองที่ออร์กานิคโหลดดิง 12 กก.ซีโอดี/ลบ.ม/วัน ปรากฏว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของถังยูเอเอสบีทั้งสามแบบลดลงอย่างมาก มีค่าเท่ากับ 29.5,50.0 และ35.9% ตามลำดับ ค่ามีเทนยีลด์เท่ากับ 0.35,0.32 และ0.29 ลบ.ม/กก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด และมีเปอร์เซนต์ก๊าซมีเทน เท่ากับ 50,61 และ 52% ตามลำดับ จากผลการทดลองทำให้เชื่อได้ว่าการทำงานของแบคทีเรียที่สร้างมีเทนถูกยับยั้งเมื่อระบบทำงานที่ออร์กานิคโหลดดิงสูง เมื่อพิจารณาจากประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี สรุปได้ว่าระบบแยกก๊าซ-ตะกอนแขวนลอย แบบที่สามและแบบที่หนึ่ง น่าจะมีความเหมาะสมที่ออร์กานิคโหลดดิง 6 กก.ซีโอดี/ลบ.ม-วัน ส่วนที่ออร์กานิคโหลดดิง 12 กก.ซีโอดี/ลบ.ม-วัน แบบที่สองมีความเหมาะสมที่สุด

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2538 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

C517632 : MAJOR SANITARY ENGINEERING
KEY WORD: UPFLOW ANAEROBIC SLUDGE BLANKET / ANAEROBIC PROCESS / GRANULATION / PELLETISATION
SOMKANAY CHARITNGAM : AN APPROPRIATE GAS-SOLIDS SEPARATOR OF UPFLOW ANAEROBIC SLUDGE BLANKET REACTOR FOR TREATING MEDIUM CONCENTRATION WASTEWATER. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. MUNSIN TUNTOOLAVEST, Ph.D. 171 pp. ISBN 974-632-894-8

The aim of this study was to compare the performance of three UASB reactors having different gas-solids separator (GSS) to treat medium strength synthetic wastewater. The synthetic wastewater was made from a pineapple juice concentrate by dilution with tap water to obtian COD concentration of approximate 3000 mg/l. The UASB reactor were operated at hydraulic retention time of 12 and 6 hours, resulting in organic loading of 6 and 12 kg. COD/m^3-day respectively. Three GSS devices had the surface loading rate 0.05 , 0.17 and 0.11 m/hr respectively at 12 hours retention time, and had 0.11 , 0.34 and 0.22 m/hr respectively at 6 hours retention time. The GSS volume were 7.50 , 2.25 and 1.50 liters respectively. It should be noted that GSS # 1 and GSS # 3 had good separation of solids and gas but some portions of SS and gas were allowed to escape from GSS of UASB # 2

Experimental results at organic loading of 6 kg.COD/m^3-day showed high performances obtained from all three UASB reactors. However UASB # 1 and # 3 seemed to have slightly higher COD removal efficiency (95.0% and 95.3%) than UASB #2 (90%). Both sludge bed and sludge blanket were markedly observed in UASB #1 and #3 but only sludge bed was found in UASB #2. Sludge granular or pellet found in UASB #2 was slightly bigger than in other UASB reactors. The methane yield were 0.31,0.25 and 0.35 m^3/kg.COD removed respectively , and the percentages of methane in biogas were 68 ,69 and 68 respectively. When operated at 12 kg.COD/m^3-day , COD removal efficiencies were dropped drastically to 29.5 , 50.0 and 35.9% respectively , the methane yield were 0.35 ,0.32 and 0.29 m^3/kg.COD removed respectively and the percentages of methane in biogas were 50,61 and 52 respectively. It was believed that methane forming activity was inhibited at higher organic loading. According to the experimental results ,it could be concluded that the GSS # 3 and # 1 were more suitable at organic loading 6 kg.COD/m^3-day. While at organic loading 12 kg.COD/m^3-day the GSS # 2 seemed to be better than the other two GSS

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2536 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ท่านกรุณาให้คำชี้แนะแนวทางในการวิจัย อีกทั้งยังอบรม แนะนำ สั่งสอนให้เกิดวิจารณญาณในเชิงวิชาการ และความมุ่งมั่นในการทำงานวิจัย ทำให้ข้าพเจ้ามีความมุ่งมั่นในการทำงานวิจัยนี้ อันเป็นผลให้งานวิจัยสามารถเสร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ บริษัท SAN.E 68 consulting ซึ่งได้กรุณาอนุเคราะห์เชื้อจุลินทรีย์ และอุปกรณ์ต้นแบบถังยูเอเอสบีทั้งสามแบบ สำหรับใช้ในการวิจัยนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ที่ได้กรุณาอำนวยความสะดวกในการวิจัยทุกท่าน

ท้ายที่สุดนี้ คุณความดีอันพึงมีจากงานวิจัยครั้งนี้ ขอมอบแก่บิดา มารดา ผู้ให้การสนับสนุนทางการศึกษาของบุตรตลอดมา

สารบัญเรื่อง

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญเรื่อง ..... ช

สารบัญภาพ ..... ฎ

สารบัญตาราง ..... ฒ

บทที่

1 บทนำ..... 1

1.1 คำนำ..... 1

2 วัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย..... 3

2.1 วัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย..... 3

3 ทฤษฎีและแนวความคิด..... 4

3.1 จุลชีวะและชีวเคมีของกระบวนการไร้ออกซิเจน..... 4

3.1.1 ขั้นตอนที่ 1 : Solubilisation (or Hydrolysis)..... 6

3.1.2 ขั้นตอนที่ 2 : Acidogenesis..... 6

3.1.3 ขั้นตอนที่ 3 : Acetogenesis from Short-chain fatty acid 7

3.1.4 ขั้นตอนที่ 4 : Methanogenesis..... 10

3.2 ตัวอย่างวิถีชีวเคมีที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการสร้างกรด (Acidogenesis) 11

3.3 บทบาทของไฮโดรเจนที่มีต่อกระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน 14

3.3.1 ผลกระทบต่อการสร้างกรดไขมันระเหย..... 15

3.3.2 ผลกระทบต่อการสร้างกรดอะซิติก..... 15

3.4 ระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket,

UASB Precess)..... 17

สารบัญเรื่อง(ต่อ)

หน้า

3.4.1 ลักษณะและการทำงานของระบบยูเอเอสบี..... 19

3.4.2 กลไกการเกิดเม็ด หรือเกล็ดตะกอนจุลินทรีย์ 25

3.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบยูเอเอสบี..... 28

3.5.1 ปัจจัยที่เกี่ยวกับสภาวะแวดล้อมและความต้องการของจุลินทรีย์..... 28

3.5.1.1 อุณหภูมิ..... 28

3.5.1.2 พีเอช กรดไขมันระเหย และสภาพด่าง..... 28

3.5.1.3 ศักยภาพการให้และรับอีเลคตรอน..... 30

3.5.1.4 ความต้องการสารอาหารที่จำเป็น..... 35

3.5.1.5 สารพิษ..... 35

3.5.2 ปัจจัยที่ใช้ควบคุมการทำงานของระบบ..... 38

3.5.2.1 การรักษาปริมาณจุลินทรีย์ในระบบ..... 39

3.5.2.2 การกระจายน้ำเสียเข้าสู่ระบบอย่างทั่วถึง..... 39

3.5.2.3 อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์..... 39

3.6 การศึกษาที่ผ่านมา..... 40

4. แผนงานและการดำเนินการวิจัย..... 43

4.1 แผนงานการทดลอง..... 43

4.2 การเตรียมน้ำเสีย..... 44

4.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง..... 45

4.3.1 ถังยูเอเอสบี..... 45

4.3.2 เครื่องสูบน้ำชนิดรีดสาย..... 49

4.3.3 เครื่องวัดปริมาณก๊าซ..... 50

4.4 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์..... 53

4.4.1 การเก็บตัวอย่างน้ำ..... 53

สารบัญเรื่อง(ต่อ)

หน้า

4.4.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ..... 56
4.5 การวัดและวิเคราะห์ก๊าซ..... 56
5. ผลการวิจัยและการวิจารณ์ผล..... 58
5.1 การเริ่มเลี้ยงจุลินทรีย์ (Start up)..... 58
5.2 ผลการวิจัยของถังยูเอเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกก๊าซ-ตะกอนแขวนลอย 3 แบบ..... 59
5.2.1 พีเอช..... 59
5.2.2 กรดไขมันระเหยและสภาพด่างรวม..... 62
5.2.3 โออาร์พี..... 73
5.2.4 ตะกอนแขวนลอย..... 76
5.2.5 ค่าความขุ่น..... 81
5.2.6 ซีโอดี และประสิทธิภาพในการกำจัด..... 85
5.2.7 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ..... 91
5.2.8 ค่า V_{30} และโซลิกฟลิกซ์ (Solid Flux)..... 93
5.3 วิจารณ์และเปรียบเทียบผลการวิจัยของถังยูเอเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกก๊าซ-ตะกอนแขวนลอย 3 แบบ..... 98
5.3.1 อิทธิพลของระยะเวลากักเก็บน้ำและออร์กานิคโหลดดิงที่มีต่อถังยูเอเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกก๊าซ-ตะกอนแขวนลอย 3 แบบ..... 98
5.3.1.1 อิทธิพลของระยะเวลากักเก็บน้ำและออร์กานิคโหลดดิงต่อพีเอช กรดไขมันระเหย และสภาพด่างรวม..... 98
5.3.1.2 อิทธิพลของระยะเวลากักเก็บน้ำและออร์กานิคโหลดดิงต่อโออาร์พี..... 99
5.3.1.3 อิทธิพลของระยะเวลากักเก็บน้ำและออร์กานิคโหลดดิงต่อชั้นตะกอนนอน(Sludge bed) ชั้นตะกอนลอย(Sludge

สารบัญเรื่อง(ต่อ)

หน้า

blanket) ตะกอนแขวนลอยและค่าความขุ่น.....100
5.3.1.4 อิทธิพลของระยะเวลากักเก็บน้ำและออร์กานิคโหลดดิงต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี.....103
5.3.1.5 อิทธิพลของระยะเวลากักเก็บน้ำและออร์กานิคโหลดดิงต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ.....107
5.3.2 ลักษณะความเป็นอยู่และชนิดของจุลินทรีย์ภายในถังยูเอเอสบีทั้ง 3แบบ.109
5.3.3 ผลการวิจัยเปรียบเทียบกับลักษณะเฉพาะของอุปกรณ์แยกก๊าซ-ตะกอนแขวนลอย 3 แบบ.....111
5.3.4 ความสัมพันธ์ของเวลากักเก็บน้ำและออร์กานิคโหลดดิงต่อพารามิเตอร์ต่างๆของถังยูเอเอสบีทั้งสามถัง.....116
6. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....121
6.1 สรุป.....121
6.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยที่น่าศึกษาต่อไป.....122
7. ความสำคัญทางด้านวิศวกรรม.....124

รายการอ้างอิง.....125
ภาคผนวก.....128
ประวัติผู้เขียน.....171

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
3.1	ปฏิกิริยารีดักซ์ในการบำบัดน้ำเสีย	5
3.2	ขั้นตอนการทำงานของกระบวนการสลายแบบไร้ออกซิเจน และกลุ่มจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้อง	8
3.3	ขั้นตอนการย่อยสลายแป้ง ภายใต้สภาวะ high และ low hydrogen partial pressure	8
3.4	ปฏิกิริยาการย่อยสลายกลูโคส ภายใต้สภาวะ Low H_2 partial pressure โดยวิถีทาง EMP	9
3.5	ปฏิกิริยาการย่อยสลายกลูโคส ภายใต้สภาวะ High H_2 partial pressure โดยวิถีทาง EMP	9
3.6	ลักษณะของระบบต่างๆ ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน	18
3.7	ลักษณะทั่วไปของถัง UASB	21
3.8	ลักษณะการลอยขึ้นของตะกอนจุลินทรีย์ โดยก๊าซที่เกิดขึ้นในชั้นตะกอนนอน	21
3.9	ลักษณะรูปแบบต่างๆ ของอุปกรณ์แยกก๊าซ-ตะกอนแขวนลอย(Gss Device) และอุปกรณ์อื่นๆในระบบ UASB	23
3.10	แสดงการเพิ่มขึ้นของปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ และภาระบรรทุกสารอินทรีย์ระหว่างขั้นตอนการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในถัง UASB (2B)	26
3.11	แสดงปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ตามความสูงของถัง UASB (2B)	26
4.1	แสดงส่วนประกอบถัง UASB ถังที่ 1	46
4.2	แสดงส่วนประกอบถัง UASB ถังที่ 2	47
4.3	แสดงส่วนประกอบถัง UASB ถังที่ 3	48
4.4	แสดงถังยูเอเอสบีทั้งสามแบบ	52
4.5	แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ในการวิจัย	54
4.6	แสดงอุปกรณ์เครื่องเก็บก๊าซ	55
5.1	กราฟแสดงพีเอชของน้ำเสียภายในถังยูเอเอสบี(ระดับ 0.50 ม.จากก้นถัง) และ	

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่		หน้า
	พีเอชของน้ำทิ้งของถังยูเอเอสบีถังที่หนึ่ง ถังที่สอง และถังที่สามตามลำดับ	60
5.2	กราฟแสดงพีเอชของน้ำเสียภายในถังที่ระดับบนสุด ของถังยูเอเอสบีถังที่หนึ่ง ถังที่สอง และถังที่สามตามลำดับ	61
5.3	กราฟแสดงค่าพีเอชที่ระดับความสูงต่างๆภายในถังยูเอเอสบี	63
5.4	กราฟแสดงกรดไขมันระเหยและสภาพด่างรวมภายในถังยูเอเอสบี(ระดับ 0.50 ม. จากก้นถัง) และ กรดไขมันระเหยและสภาพด่างรวมของน้ำทิ้งของถังยูเอเอสบีถังที่หนึ่ง	64
5.5	กราฟแสดงกรดไขมันระเหยและสภาพด่างรวมภายในถังยูเอเอสบี(ระดับ 0.50 ม. จากก้นถัง) และ กรดไขมันระเหยและสภาพด่างรวมของน้ำทิ้งของถังยูเอเอสบีถังที่สอง	65
5.6	กราฟแสดงกรดไขมันระเหยและสภาพด่างรวมภายในถังยูเอเอสบี(ระดับ 0.50 ม. จากก้นถัง) และ กรดไขมันระเหยและสภาพด่างรวมของน้ำทิ้งของถังยูเอเอสบีถังที่สาม	66
5.7	กราฟแสดงกรดไขมันระเหยที่ระดับความสูงต่างๆภายในถังยูเอเอสบี	68
5.8	กราฟแสดงสภาพด่างรวมที่ระดับความสูงต่างๆภายในถังยูเอเอสบี	71
5.9	กราฟแสดงอัตรากรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างรวมของน้ำเสียภายในถังยูเอเอสบี (ระดับ 0.50 ม. จากก้นถัง) และของน้ำทิ้ง ของถังยูเอเอสบีถังที่หนึ่ง ถังที่สอง และถังที่สามตามลำดับ	72
5.10	กราฟแสดงอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างรวมที่ระดับความสูงต่างๆภายในถังยูเอเอสบี	74
5.11	กราฟแสดงโออาร์พีของน้ำเสียภายในถังยูเอเอสบี(ระดับ 0.50 ม. จากก้นถัง) และโออาร์พีของน้ำเสียที่ระดับบนสุดของถังยูเอเอสบี ของถังยูเอเอสบีถังที่หนึ่ง ถังที่สอง และถังที่สามตามลำดับ	75
5.12	กราฟแสดงค่าโออาร์พีที่ระดับความสูงต่างๆภายในถังยูเอเอสบี	77

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่		หน้า
5.13	กราฟแสดงตะกอนแขวนลอยของน้ำทิ้ง ของถังยูเอเอสบีถังที่หนึ่ง ถังที่สอง และถังที่สามตามลำดับ	78
5.14	กราฟแสดงตะกอนแขวนลอยภายในถังยูเอเอสบี ในชั้นตะกอนลอย(Sludge Blanket) ของถังยูเอเอสบีถังที่หนึ่ง และถังที่สาม	79
5.15	กราฟแสดงตะกอนแขวนลอยภายในถังยูเอเอสบีถังที่สอง ในบริเวณด้านบนของชั้นตะกอนนอน(Sludge Bed)	80
5.16	กราฟแสดงตะกอนแขวนลอยที่ระดับความสูงต่างๆภายในถังยูเอเอสบี	82
5.17	กราฟแสดงค่าความขุ่นของน้ำทิ้ง ของถังยูเอเอสบีถังที่หนึ่ง ถังที่สอง และถังที่สามตามลำดับ	83
5.18	กราฟแสดงค่าซีโอดีของน้ำทิ้ง ของถังยูเอเอสบีถังที่หนึ่ง ถังที่สอง และถังที่สามตามลำดับ	86
5.19	กราฟแสดงประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีที่ระยะเวลากักเก็บน้ำและออร์กานิคโหลดดิงต่างกัน	87
5.20	กราฟแสดงค่าซีโอดีที่ระดับความสูงต่างๆภายในถังยูเอเอสบี	88
5.21	กราฟแสดงประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีที่ระดับความสูงต่างๆภายในถังยูเอเอสบี	89
5.22	กราฟแสดงปริมาณก๊าซชีวภาพจากถังยูเอเอสบีถังที่หนึ่ง ถังที่สอง และถังที่สามตามลำดับ	92
5.23	แสดงลักษณะการแบ่งชั้นของน้ำตะกอนจุลินทรีย์ของชั้นตะกอนลอย(Sludge Blanket) จากถังยูเอเอสบี ในกระบอกตวงขนาด 250 มล.	95
5.24	กราฟแสดงค่า V_{30} ของน้ำตะกอนจากชั้นตะกอนลอย ของถังยูเอเอสบีถังที่หนึ่งและถังที่สาม	96
5.25	แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองหาค่าโซลิกฟลักซ์	98
5.26	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความขุ่นของน้ำทิ้งกับปริมาณตะกอนแขวนลอยในน้ำทิ้งจากถังยูเอเอสบีทั้งสามถัง	102

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่ หน้า

5.27 แสดงชั้นตะกอนนอนของถังยูเอเอสบีถังที่หนึ่ง ที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อทำการทดลองที่ออร์กานิคโหลดดิง 12 กก. ซีโอดี/ลบ.ม-วัน 110

5.28 แสดงภาพจุลินทรีย์ในชั้นตะกอนนอน 112

5.29 แสดงภาพการสะสมของตะกอนแขวนลอยที่มีปริมาณมากและเข้าไปในส่วนอุปกรณ์แยกก๊าซ-ตะกอนแขวนลอยแบบที่หนึ่ง ของถังยูเอเอสบีถังที่หนึ่ง 115

5.30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของระยะเวลากักเก็บน้ำและออร์กานิคโหลดดิง กับ พีเอช สภาพด่างรวม กรดไขมันระเหย โออาร์พี ของน้ำเสียภายในถังยูเอเอสบี(ที่ระดับ 0.50 ม.จากก้นถัง) ตะกอนแขวนลอย ค่าความขุ่น ซีโอดี ของน้ำทิ้ง และปริมาณก๊าซชีวภาพ จากถังยูเอเอสบีถังที่หนึ่ง 117

5.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของระยะเวลากักเก็บน้ำและออร์กานิคโหลดดิง กับ พีเอช สภาพด่างรวม กรดไขมันระเหย โออาร์พี ของน้ำเสียภายในถังยูเอเอสบี(ที่ระดับ 0.50 ม.จากก้นถัง) ตะกอนแขวนลอย ค่าความขุ่น ซีโอดี ของน้ำทิ้ง และปริมาณก๊าซชีวภาพ จากถังยูเอเอสบีถังที่สอง 118

5.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของระยะเวลากักเก็บน้ำและออร์กานิคโหลดดิง กับ พีเอช สภาพด่างรวม กรดไขมันระเหย โออาร์พี ของน้ำเสียภายในถังยูเอเอสบี(ที่ระดับ 0.50 ม.จากก้นถัง) ตะกอนแขวนลอย ค่าความขุ่น ซีโอดี ของน้ำทิ้ง และปริมาณก๊าซชีวภาพ จากถังยูเอเอสบีถังที่สาม 119

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	แสดงจำนวนโรงบำบัดน้ำเสียที่ใช้ระบบยูเอเอสบี ก่อนเดือนกันยายน ค.ศ 1990	20
3.2	วัตถุประสงค์ในการติดตั้งอุปกรณ์แยกก๊าซ-ตกอนแขวนลอย(GSS Device) สำหรับระบบยูเอเอสบี	22
3.3	สรุปแนวทางและข้อแนะนำในการออกแบบอุปกรณ์แยกก๊าซ-ตะกอนแขวนลอย (GSS Device)	22
3.4	ผลงานวิจัยเกี่ยวกับค่าโออาร์พีที่วัดได้ในสภาพไร้ออกซิเจน	34
3.5	ผลของแอมโมเนียไนโตรเจนต่อระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน	37
4.1	การเปลี่ยนแปลงระดับภาระบรรทุกสารอินทรีย์เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงระยะเวลากักเก็บน้ำ	44
4.2	ส่วนประกอบของสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย	45
4.3	สรุปลักษณะเฉพาะของถังยูเอเอสบี	50
4.4	สรุปลักษณะเฉพาะของอุปกรณ์แยกก๊าซ-ตะกอนแขวนลอยทั้งสามแบบ	51
4.5	แสดงการเปรียบเทียบลักษณะคุณสมบัติบางประการของอุปกรณ์แยกก๊าซ-ตะกอนแขวนลอยทั้งสามแบบ	53
4.6	แผนการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ	57
5.1	ค่าเฉลี่ยของพีเอชที่ระยะเวลากักเก็บน้ำต่างๆกัน ณ สภาวะคงตัว	62
5.2	ค่าเฉลี่ยของกรดไขมันระเหย ที่สภาวะคงตัว	69
5.3	ค่าเฉลี่ยของสภาพด่างรวม ที่สภาวะคงตัว	70
5.4	ค่าเฉลี่ยของกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างรวม ที่สภาวะคงตัว	73
5.5	ค่าเฉลี่ยของโออาร์พี ภายใต้ระยะเวลากักเก็บน้ำต่างๆกัน	76
5.6	ค่าเฉลี่ยของตะกอนแขวนลอยของน้ำทิ้ง ที่สภาวะคงตัว	84
5.7	ค่าเฉลี่ยค่าความขุ่นของน้ำทิ้ง ที่สภาวะคงตัว	84
5.8	ค่าเฉลี่ยของซีโอดีของน้ำทิ้งที่ออกจากถังยูเอเอสบี และน้ำเสียสังเคราะห์ ภายใต้ระยะเวลากักเก็บน้ำต่างๆกัน	90

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่		หน้า
5.9	ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ภายใต้ระยะเวลากักเก็บน้ำต่างๆกัน	90
5.10	ค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซชีวภาพและองค์ประกอบ ที่สภาวะคงตัว	93
5.11	ค่าเฉลี่ยค่าความขุ่น และตะกอนแขวนลอยของน้ำทิ้ง ที่สภาวะคงตัว	103
5.12	ค่าเฉลี่ยปริมาณกรดไขมันระเหย และสภาพด่างรวมภายในถังยูเอเอสบี(ที่ระดับ 0.50 ม. จากก้นถัง) เปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี	105
5.13	ค่าเฉลี่ยปริมาณตะกอนแขวนลอย และค่าความขุ่นของน้ำทิ้ง เปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี	106
5.14	ค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซชีวภาพ ก๊าซมีเทน และอัตราการเกิดก๊าซมีเทน ที่สภาวะคงตัว	108