การใช้ยูเอเอสบีบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อกรดแบบไร้ออกซิเจน

นาย ทวีชัย ธีระเศรษฐนันท์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2540

ISBN 974-639-008-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I17972607

APPLICATION OF UASB FOR TREATMENT OF EFFLUENT FROM AN ANAEROBIC ACID POND

Mr. Thaweechai Terasethanunt

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Environmental Engineering
Department of Environmental Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic year 1997

ISBN 974-639-008-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้ยูเอเอสบีบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อกรดแบบไร้ออกซิเจน
โดย	นาย ทวีชัย ธีระเศรษฐนันท์
ภาควิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์สุรี ขาวเธียร)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ พรประภา)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุทธิรักษ์ สุจริตตานนท์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทวีชัย ธีระเศรษฐนันท์ : การใช้ยูเอเอสบีบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อกรดแบบไร้ออกซิเจน (APPLICATION OF UASB FOR TREATMENT OF EFFLUENT FROM AN ANAEROBIC ACID POND) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร. มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ ; 193 หน้า. ISBN 974-639-008-2.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาสมรรถนะของระบบยูเอเอสบีในการบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อกรดแบบไร้ออกซิเจน โดยการวิจัยแบ่งเป็น 2 ส่วน การทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด) ใช้แต่ถังยูเอเอสบี 2 ถังที่เหมือนกัน ทดลองบำบัดน้ำเสียที่เตรียมจากน้ำทิ้งจากบ่อกรดแบบไร้ออกซิเจนผสมกับน้ำสับปะรดเข้มข้น โดยเตรียมน้ำเสียให้มีความเข้มข้นของซีโอดีประมาณ 5000 มก./ล. และทำการทดลองที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 8 และ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน การทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด) ใช้ระบบยูเอเอสบีแบบมีถังกรดทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมจากน้ำสับปะรดเข้มข้นเจือจางด้วยน้ำประปา โดยเตรียมน้ำเสียให้มีความเข้มข้นซีโอดีประมาณ 3300 , 5000 , 6700 และ 8300 มก./ล. และทำการทดลองที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 , 15 , 20 และ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ใช้โซเดียมคาร์บอเนตเป็นสารบัฟเฟอร์ในทุกๆการทดลอง

ผลการทดลองส่วนที่ 1 เมื่อใช้ถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 และ 2 ทดลองบำบัดน้ำเสียที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 8 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และมีเวลากักน้ำ 15 ชั่วโมง พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 93 และ 92 % และอัตราการผลิตก๊าซมีเทน เท่ากับ 0.37 และ 0.32 ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด ตามลำดับ เมื่อใช้ถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 ทดลองบำบัดน้ำเสียที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และมีเวลากักน้ำ 12 ชั่วโมง พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 94 % และอัตราการผลิตก๊าซมีเทนเท่ากับ 0.37 ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด ส่วนถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 ได้เสียสมดุลย์การทำงานก่อนถึงสภาวะคงที่ ส่วนผลการทดลองส่วนที่ 2 ซึ่งใช้ระบบยูเอเอสบีแบบมีถังกรดทดลองบำบัดน้ำเสียที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 , 15 , 20 และ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และมีเวลากักน้ำของถังกรดและถังยูเอเอสบีนาน 12 และ 8 ชั่วโมง ตามลำดับ พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี เท่ากับ 93 , 91 , 90 และ 85 % และอัตราการผลิตก๊าซมีเทน เท่ากับ 0.31 , 0.37 , 0.33 และ 0.35 ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด ตามลำดับ เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของโซดาแอชที่เติมให้แก่ระบบในการทดลองส่วนที่ 1 พบว่า มีค่าเท่ากับ 1.50 และ 3.0 ก./ล. ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 8 และ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ส่วนการทดลองส่วนที่ 2 มีการใช้โซเดียมคาร์บอเนตเข้มข้นเท่ากับ 1.98 , 3.00 , 4.02 และ 4.98 ก./ล. ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 , 15 , 20 และ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า ระบบยูเอเอสบีสามารถบำบัดน้ำทิ้งจากบ่อกรดแบบไร้ออกซิเจนได้อย่างมีประสิทธิภาพ และปริมาณด่างที่เติมให้ระบบน่าจะมีค่าสูงเกินไป ทำให้ค่าบำบัดน้ำเสียมีค่าสูงมาก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2540 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

C718064 MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING
# #
KEY WORD: ANAEROBIC ACID POND/GRANULATION /UASB

THAWEECHAI TERASETHANUNT : APPLICATION OF UASB FOR TREATMENT OF EFFLUENT FROM AN ANAEROBIC ACID POND. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. MUSIN TUNTOOLAVEST , Ph.D. 193 pp. ISBN 974-639-008-2.

This purpose of this study was to investigate the efficiency of UASB in treating and effluent from an anaerobic acid pond. This research consisted of 2 parts. The first part (without acid tank) , two identical UASB reactors were operated without acid tank at the organic loading rates of 8 and 10 kg. COD/cu.m.-day. The wastewater was made from the effluent from an anaerobic acid pond mixed with a concentrated prineapple juice to obtain the COD concentration of 5000 mg./l. The second part (with acid tank) , two UASB reactors were operated with acid tanks at the organic loading rates of 10 , 15 , 20 and 25 kg.COD/cu.m.-day. The synthetic wastewater was made from the concentrated pineapple juice diluted in tap water to obtain the COD concentration of 3300 , 5000 , 6700 and 8300 mg./l. In all experiments , Sodium carbonate were used as a buffering chemical.

In the first part , the UASB reactor #1 and #2 were operated at the organic loading rate of 8 kg.COD/cu.m.-day. The retention time of reactors were 15 hours. The COD removal efficiencies were 93 and 92 %. The methane yield were 0.37 and 0.32 l./g.COD removed , respectively. At the organic loading rate of 10 kg.COD/cu.m.-day , the retention time of reactors were 12 hours. The COD removal efficiency of UASB was 91 % and the methane yield was 0.37 l/g.COD removed. The second part , UASB reactors were operated with acid tank. The retention time of acid tank and UASB reactors were 12 and 8 hours , respectively. At the organic loading rates of 10 , 15 , 20 and 25 kg.COD/cu.m.-day , the COD removal efficiencies were 93 , 91 ,90 and 85 %. The methane yield were 0.31 , 0.37 , 0.33 and 0.35 l./g. COD removed , respectively. During the first part of the experiments , the concentration of Sodium carbonate added in the influent were 1.5 and 3.0 g./l. at the organic loading rates of 8 and 10 kg.COD/cu.m.-day , respectively. While during the second part experiments , the concentration of Sodium carbonate at added were 1.98 , 3.00 , 4.02 and 4.98 g./l. at the organic loading rates 10 , 15 , 20 and 25 kg.COD/cu.m.-day , respectively.

In conclusion , the UASB was able to treat the effluent from an anaerobic acid pond. The excess of soda-ash as the buffer agent can be reduced.

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2540 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูงที่ท่านได้กรุณาให้คำแนะนำ และแนะแนวทางต่างๆ ในการทำวิจัยครั้งนี้ ตลอดจนการอบรมสั่งสอนในการดำรงตน

ขอขอบคุณ บริษัท แซนอี 68 คอนซัลแตนท์ จำกัด ที่อนุเคราะห์เชื้อจุลินทรีย์และน้ำสัปปะรดเข้มข้นที่ใช้ในการวิจัย

ขอขอบคุณ คุณวัชรินทร์ ปิยะรัตน์ กรรมการหัวหน้าส่วนวิศวกรรม และเจ้าหน้าที่ผู้เกี่ยวข้อง บริษัท สยามอุตสาหกรรมอาหาร จำกัด ที่ให้ความร่วมมือในการเก็บน้ำเสียของโรงงาน

ขอขอบคุณ คุณโกมล เอี่ยมเสมอ และ คุณธเรศ พงษ์สาระนันทกุล ที่มีส่วนช่วยพิมพ์งานวิจัยฉบับนี้

ขอขอบคุณ คุณวิภาดา ลิปปานนท์ ที่มีส่วนช่วยเหลือในการนำน้ำเสียจากโรงงานมาทำการวิจัย ตลอดจนความปรารถนาดีที่มีให้ตลอดมา

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่สนับสนุนส่วนหนึ่งของทุนวิจัย

ท้ายสุดนี้ คุณความดีอันพึงเกิดจากการวิจัยนี้ ขอมอบแด่ บิดา มารดา ผู้ให้กำลังใจ และสนับสนุนการศึกษาของบุตรตลอดมา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฐ
สารบัญรูป ..... ด
การเทียบศัพท์ ..... ธ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมา 1
1.2 วัตถุประสงค์ 3
1.3 ขอบเขตการวิจัย 3
บทที่ 2 ทฤษฎีและแนวความคิด 5
2.1 จุลชีววิทยา และชีวเคมีของกระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน 5
2.1.1 ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) 6
2.1.2 การสร้างกรด (Acidogenesis) 7
2.1.3 การสร้างอะซิเตท (Acetogenesis) 9
2.1.4 การสร้างมีเทน (Methanogenesis) 9
2.2 ตัวอย่างวิถีชีวเคมีที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการสร้างกรดไขมันระเหย 12
2.3 บทบาทของไฮโดรเจนที่มีต่อกระบวนการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน 15
2.3.1 ผลกระทบต่อการสร้างกรดไขมันระเหย 15
2.3.2 ผลกระทบต่อการสร้างกรดอะซิติก 16
2.4 ระบบยูเอเอสบี (Upflow anaerobic sludege blanket) 17
2.4.1 ข้อดีและข้อเสียของระบบยูเอเอสบี 18
2.4.2 ลักษณะและการทำงานของระบบยูเอเอสบี 19

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.3 กลไกการเกิดเม็ดหรือเกล็ดตะกอนจุลินทรีย์ (Pelletization) 21
2.4.4 ผลของตะกอนแขวนลอยต่อเม็ดตะกอน 24
2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบยูเอเอสบี 26
2.5.1 อุณหภูมิ 26
2.5.2 พีเอช สภาพความเป็นด่าง และกรดไขมันระเหย 26
2.5.3 สารอาหารเสริม 27
2.5.4 สารพิษ 28
2.5.5 ผลของซัลเฟตต่อระบบยูเอเอสบี 31
2.6 เกณฑ์การออกแบบ 33
2.6.1 เกณฑ์การออกแบบถังสร้างกรด 33
2.6.1.1 อุณหภูมิและพีเอช 33
2.6.1.2 ระยะเวลากักน้ำ 33
2.6.2 เกณฑ์การออกแบบถังยูเอเอสบี 34
2.6.2.1 อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 34
2.6.2.2 ส่วนประกอบต่างๆ ของถัง 37
2.7 การศึกษาที่ผ่านมา 41
บทที่ 3 แผนงานและการดำเนินการวิจัย 43
3.1 แผนการทดลอง 43
3.2 การเตรียมน้ำเสีย 45
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ 46
3.4 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ 53
3.5 การวัดและการวิเคราะห์ก๊าซ 53
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิจารณ์ 55
4.1 ลักษณะของน้ำเสีย 55
4.2 ลักษณะของเชื้อจุลินทรีย์และการเริ่มเลี้ยง 55

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3 ขั้นตอนการเดินระบบ 57
4.4 สรุปผลการทดลองของการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด) 62
4.4.1 พีเอช สภาพด่างทั้งหมด และกรดไขมันระเหย 68
4.4.2 ซีโอดีและ ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี 78
4.4.3 อัตราการผลิตก๊าซมีเทน 81
4.4.4 การตกค้างของตะกอนแขวนลอย 81
4.4.5 สาเหตุของการเสียสมดุลย์ของระบบยูเอเอสบี 86
4.5 สรุปผลการทดลองของการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด) 88
4.5.1 พีเอช สภาพด่างทั้งหมด และกรดไขมันระเหย 96
4.5.2 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและตะกอนแขวนลอย 107
4.5.3 อัตราการผลิตก๊าซมีเทน 111
4.6 การเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรตามความสูงของถังยูเอเอสบี 114
4.6.1 ค่าพีเอช 114
4.6.2 ค่าโออาร์พี 115
4.6.3 ตะกอนแขวนลอย 116
4.6.4 สภาพด่างทั้งหมด 117
4.6.5 ปริมาณกรดไขมันระเหย 118
4.6.6 อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด 119
4.6.7 ซีโอดี 120
4.7 วิจารณ์ผลการทดลอง 121
4.7.1 การเปรียบเทียบอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของถังกรด และถังยูเอเอสบีที่เกิดจริงกับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่คิดจากค่าซีโอดีเริ่มต้น และเวลากักน้ำของถังยูเอเอสบีในการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด) 121

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.7.2 อิทธิพลของอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่อระบบยูเอเอสบี 122
4.7.2.1 อิทธิพลของอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่อค่าพีเอช สภาพด่างทั้งหมด และปริมาณกรดไขมันระเหย 122
4.7.2.2 อิทธิพลของอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี 132
4.7.2.3 อิทธิพลของอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ ต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ 136
4.7.2.4 การประเมินความต้องการสภาพด่างของระบบ 141
4.7.2.5 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายสารเคมีและผลตอบแทนจากก๊าซมีเทน 146
4.7.2.6 ลักษณะเม็ดตะกอนและจุลินทรีย์ภายในเม็ดตะกอน 150
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 155
5.1 สรุปผลการทดลอง 155
5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยเพิ่ม 156
รายการอ้างอิง 157
ภาคผนวก ก. 163
ภาคผนวก ข. 188
ประวัติผู้เขียน 193

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 จำนวนโรงบำบัดน้ำเสียที่ใช้ระบบยูเอเอสบีก่อนเดือนกันยายน 1990 2
2.1 สารรับอิเลคตรอนต่างๆที่ใช้ในการหายใจ 6
2.2 ตัวอย่างแบคทีเรียสร้างมีเทนและสารอาหารที่ใช้ 11
2.3 ความเข้มข้นที่กระตุ้นและยับยั้งอิออนบวก 28
2.4 ความเข้มข้นของโลหะหนักที่มีผลยับยั้ง 50% ของแบคทีเรียสร้างมีเทน 29
2.5 ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยที่มีผลยับยั้ง 50% ของแบคทีเรียสร้างมีเทน 30
2.6 ความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนที่มีต่อระบบไร้ออกซิเจน 31
2.7 สมการรีดิวซ์ชัลเฟตและการผลิตมีเทน 32
2.8 ตัวอย่างค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ออกแบบถังสร้างกรดจากการศึกษาที่ผ่านมา สำหรับน้ำเสียประเภทต่างๆในระบบบำบัดไร้ออกซิเจน 35
2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์กับอุณหภูมิสำหรับการเดินระบบยูเอเอสบี 36
2.10 เวลากักน้ำสำหรับน้ำเสียชุมชนที่ค่าอุณหภูมิต่างๆ 37
2.11 จำนวนจุดป้อนน้ำเข้าที่ต้องการในถังยูเอเอสบี 39
3.1 รายละเอียดแต่ละชุดการทดลอง 44
3.2 สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมน้ำเสีย 45
3.3 ลักษณะเฉพาะของถังยูเอเอสบีที่ใช้ในการทดลอง 46
3.4 แผนการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำและก๊าซ 54
4.1 ลักษณะน้ำเสียในแต่ละชุดการทดลอง 56
4.2 ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด 59
4.3 สรุปค่าเฉลี่ยตัวแปรต่างๆที่สภาวะคงที่ ของผลการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด) ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 8 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน 63
4.4 สรุปค่าเฉลี่ยตัวแปรต่างๆที่สภาวะคงที่ ของผลการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด) ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน 64

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.5 ค่าเฉลี่ยพีเอช สภาพด่างทั้งหมด ปริมาณกรดไขมันระเหย และอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด ที่สภาวะคงที่ของการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด) 71
4.6 ค่าเฉลี่ยโออาร์พีของน้ำทิ้งที่สภาวะคงที่ของการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด) 77
4.7 ค่าเฉลี่ยซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่สภาวะคงที่ของทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด) 79
4.8 ค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซทั้งหมด เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทน อัตราผลิตก๊าซมีเทน และปริมาณก๊าซมีเทนที่สภาวะคงที่ของการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด) 82
4.9 ค่าเฉลี่ยตะกอนแขวนลอยที่สภาวะคงที่ของการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด) 83
4.10 สรุปค่าเฉลี่ยตัวแปรต่างๆของผลการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด) ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน 90
4.11 สรุปค่าเฉลี่ยตัวแปรต่างๆของผลการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด) ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 15 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน 91
4.12 สรุปค่าเฉลี่ยตัวแปรต่างๆของผลการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด) ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 20 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน 92
4.13 สรุปค่าเฉลี่ยตัวแปรต่างๆของผลการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด) ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน 93
4.14 ค่าเฉลี่ยพีเอช สภาพด่างทั้งหมด ปริมาณกรดไขมันระเหย และอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดที่สภาวะคงที่ในการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด) 106
4.15 ค่าเฉลี่ยซีโอดี เปอร์เซนต์การกำจัดซีโอดี และตะกอนแขวนลอยของระบบยูเอเอสบีในการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด) 107
4.16 ค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซทั้งหมด เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทน และอัตราการผลิตก๊าซมีเทนที่สภาวะคงที่ของระบบยูเอเอสบีในการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด) 112
4.17 การเปรียบเทียบค่าอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ใช้อ้างอิงกับที่เกิดจริงของการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด) 122

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.18 ค่าเฉลี่ยพีเอช สภาพด่างทั้งหมด กรดไขมันระเหย อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมด ที่สภาวะคงที่ของการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด) 124
4.19 การเปรียบเทียบค่าตัวแปรต่างๆของถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 ณ วันเสียสมดุลย์กับวันที่ระบบทำงานปกติในการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด) 125
4.20 ค่าเฉลี่ยพีเอช สภาพด่างทั้งหมด ปริมาณกรดไขมันระเหย และอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดที่สภาวะคงที่ ของการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด) 129
4.21 ค่าเฉลี่ยซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่สภาวะคงที่ ของการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด) 135
4.22 ค่าเฉลี่ยซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่สภาวะคงที่ ของการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด) 136
4.23 ค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซทั้งหมด เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทน และอัตราการผลิตก๊าซมีเทนที่สภาวะคงที่ของการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด) 139
4.24 ค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซทั้งหมด เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทน และอัตราการผลิตก๊าซมีเทนที่สภาวะคงที่ของการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด) 142
4.25 ข้อมูลค่าพีเอช สภาพด่างทั้งหมด และกรดไขมันระเหยตลอดการทดลอง 144
4.26 การประเมินความต้องการสภาพด่างของระบบ 145
4.27 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายสารเคมีที่เติมจริง และผลตอบแทนจากก๊าซมีเทนในการบำบัดน้ำเสีย 1000 ลบ.ม.ต่อวัน 147
4.28 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายสารเคมีจากการประเมิน และผลตอบแทนจากก๊าซมีเทนในการบำบัดน้ำเสีย 1000 ลบ.ม.ต่อวัน 151

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยกระบวนการไร้ออกซิเจน 7
2.2 การย่อยสลายของแป้งภายใต้สภาวะความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าต่ำและสูง 8
2.3 ปฏิกิริยาการย่อยสลายกลูโคสภายใต้สภาวะความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าต่ำโดยวิถีทาง EMP 16
2.4 ปฏิกิริยาการย่อยสลายกลูโคสภายใต้สภาวะความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าสูงโดยวิถีทาง EMP 17
2.5 ลักษณะทั่วไปของถังปฏิกิริยายูเอเอสบี 20
2.6 การเพิ่มขึ้นของปริมาณตะกอนจุลินทรีย์และภาระบรรทุกสารอินทรีย์ระหว่างขั้นตอนการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในถังยูเอเอสบี (2B) 21
2.7 ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ตามความสูงของถัง UASB (2B) 23
2.8 ปัจจัยที่มีผลบังคับในการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในกระบวนการไร้ออกซิเจน 25
2.9 ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนที่มีผลต่อระบบ 31
3.1 ลักษณะเฉพาะของถังยูเอเอสบีและอุปกรณ์แยกสามสถานะ 47
3.2 ลักษณะเฉพาะของถังสร้างกรด 49
3.3 อุปกรณ์วัดปริมาตรก๊าซ 50
3.4 รายละเอียดการติดตั้งอุปกรณ์ถังยูเอเอสบีในการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด) 51
3.5 รายละเอียดการติดตั้งอุปกรณ์ระบบยูเอเอสบีในการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด) 52
4.1 การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลองจริงของระบบยูเอเอสบีในการทดลองส่วนที่ 1 60
4.2 การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลองจริงของระบบยูเอเอสบีในการทดลองส่วนที่ 2 61
4.3 การเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรต่างๆของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 ตลอดการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด) 69
4.4 การเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรต่างๆของถังยูเอเอสบีชุดที่2 ตลอดการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด) 70
4.5 ค่ากรดไขมันระเหยของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 ตลอดการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด) 72

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.6 ค่ากรดไขมันระเหยของถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 ตลอดการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด) 72
4.7 ค่าพีเอชของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 ตลอดการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด) 74
4.8 ค่าพีเอชของถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 ตลอดการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด) 74
4.9 ค่าสภาพด่างทั้งหมด ของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 ตลอดการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด) .. 75
4.10 ค่าสภาพด่างทั้งหมด ของถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 ตลอดการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด) .. 76
4.11 ค่าโออาร์พีของถังยูเอเอสบีชุดที่1 ตลอดการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด) 77
4.12 ค่าโออาร์ พีของถังยูเอเอสบีชุดที่2 ตลอดการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด) 78
4.13 ค่าซีโอดี และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ของถังยูเอเอสบีชุดที่1 ตลอดการทดลอง ส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด) 80
4.14 ค่าซีโอดี และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ของถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 ตลอดการทดลอง ส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด) 80
4.15 ปริมาณก๊าซทั้งหมดของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 ตลอดการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด) 82
4.16 ปริมาณก๊าซทั้งหมดของถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 ตลอดการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด) 83
4.17 ตะกอนแขวนลอยของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 ตลอดการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด) 85
4.18 ตะกอนแขวนลอยของถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 ตลอดการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด) 85
4.19 การเปรียบเทียบค่าตัวแปรต่างๆของถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 ตลอดการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด) 87
4.20 การเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรต่างๆ ของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1 ตลอดการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด) 97
4.21 การเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรต่างๆ ของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2 ตลอดการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด) 98
4.22 ค่าพีเอชของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1 ตลอดการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด) 99
4.23 ค่าพีเอชของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2 ตลอดการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด) 99
4.24 ปริมาณกรดไขมันระเหยของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 ตลอดการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด) 101
4.25 ปริมาณกรดไขมันระเหยของถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 ตลอดการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด) 101

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.26 สภาพด่างทั้งหมดของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1 ตลอดการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด) 102
4.27 สภาพด่างทั้งหมดของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2 ตลอดการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด) 102
4.28 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช ปริมาณกรดไขมันระเหย และสภาพด่างทั้งหมด ของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1 ตลอดการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด) 104
4.29 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช ปริมาณกรดไขมันระเหย และสภาพด่างทั้งหมด ของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2 ตลอดการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด) 105
4.30 ค่าซีโอดี เปอร์เซนต์การกำจัดซีโอดี และตะกอนแขวนลอยของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1 ตลอดการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด) 109
4.31 ค่าซีโอดี เปอร์เซนต์การกำจัดซีโอดี และตะกอนแขวนลอยของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2 ตลอดการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด) 110
4.32 ปริมาณก๊าซทั้งหมดของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1 ตลอดการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด) .. 113
4.33 ปริมาณก๊าซทั้งหมดของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2 ตลอดการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด) .. 113
4.34 ค่าพีเอชตามความสูง ของถังยูเอเอสบีแบบมีถังกรด ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10, 15, 20 และ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน 114
4.35 ค่าโออาร์พีตามความสูง ของถังยูเอเอสบีแบบมีถังกรด ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10, 15, 20 และ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน 115
4.36 ค่าตะกอนแขวนลอยตามความสูง ของถังยูเอเอสบีแบบมีถังกรด ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10, 15, 20 และ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน 116
4.37 ค่าสภาพด่างทั้งหมดตามความสูง ของถังยูเอเอสบีแบบมีถังกรด ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10, 15, 20 และ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน 117
4.38 ปริมาณกรดไขมันระเหยตามความสูง ของถังยูเอเอสบีแบบมีถังกรด ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10, 15, 20 และ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน 118
4.39 อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดตามความสูง ของ ถังยูเอเอสบี แบบมีถังกรด ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10, 15, 20 และ 25 กก.ซีโอดี/ ลบ.ม.-วัน 119

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.40 ค่าซีโอดีตามความสูง ของถังยูเอเอสบีแบบมีถังกรด ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10, 15, 20 และ 25 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน 120
4.41 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช สภาพด่างทั้งหมด และปริมาณกรดไขมันระเหย ของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 ตลอดการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด) 126
4.42 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช สภาพด่างทั้งหมด และปริมาณกรดไขมันระเหย ของถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 ตลอดการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด) 127
4.43 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช สภาพด่างทั้งหมด และปริมาณกรดไขมันระเหย ของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1 ตลอดการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด) 130
4.44 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช สภาพด่างทั้งหมด และปริมาณกรดไขมันระเหย ของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2 ตลอดการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด) 131
4.45 การเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดี และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ของถังยูเอเอสบีชุดที่1 ตลอดการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด) 133
4.46 การเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดี และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ของถังยูเอเอสบีชุดที่2 ตลอดการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด) 134
4.47 การเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดี และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1 ตลอดการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด) 137
4.48 การเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดี และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2 ตลอดการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด) 138
4.49 ปริมาณก๊าซทั้งหมด ของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 ตลอดการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด) .. 140
4.50 ปริมาณก๊าซทั้งหมด ของถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 ตลอดการทดลองส่วนที่ 1 (ไม่มีถังกรด) .. 140
4.51 ปริมาณก๊าซทั้งหมด ของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1 ตลอดการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด) . 143
4.52 ปริมาณก๊าซทั้งหมด ของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 2 ตลอดการทดลองส่วนที่ 2 (มีถังกรด) . 143
4.53 ลักษณะทั่วไปของชั้นตะกอนนอนภายในถังยูเอเอสบี 152
4.54 ลักษณะแบคทีเรียภายในเม็ดตะกอนที่ถ่ายโดยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอน 154

การเทียบศัพท์

ภาษาไทย	ภาษาอังกฤษ
บ่อกรดแบบไร้ออกซิเจน	Anaerobic acid pond
ปฏิกิริยาการสร้างกรด	Acidogenesis
ปฏิกิริยาการสร้างมีเทน	Methanogenesis
ปฏิกิริยาการสร้างอะซิเตท	Acetogenesis
ปฏิกิริยาการไฮโดรไลซิส	Hydrolysis
กระบวนการหมัก	Fermentation
ความดันพาร์เชียลไฮโดรเจน	Hydrogen partial pressure
แบคทีเรียสร้างมีเทนจากกรดอะซิติก	Obligate acetoclasic methanogen
แบคทีเรียสร้างมีเทนจากไฮโดรเจน	Obligate hydrogenotrophic methanogen
แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต	Sulfate Reducing Bacteria
เม็ดหรือเกล็ดตะกอน	Granular or pellet
อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์	Organic loading rate
แบคทีเรียสร้างกรดชนิดแขวนลอย	Suspended acidogenic bacteria
ความเร็วไหลขึ้น	Superficial velocity
อุปกรณ์แยกสามสถานะ	GSS device
ฟล้อค	Floc
ยูเอเอสบี	UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)
โอ อาร์ พี	ORP (Oxidation Reduction Potential)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย