การใช้ยูเอเอสบีแบบมีถังสร้างกรดในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีแป้งมันสำปะหลัง

นางสาว เนตรนภา ศรุตวราพงศ์

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2539

ISBN 974-636-213-5

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

i 17341905

USE OF UASB WITH ACIDIFICATION TANK FOR TREATING SYNTHETIC TAPIOCA WASTEWATER

Miss Netnapa Sarutavarapong

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Environmental Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 1996

ISBN 974-636-213-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้ยูเอเอสบีแบบมีถังสร้างกรดในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีแป้งมันสำปะหลัง
โดย	เนตรนภา ศรุตวราพงศ์
ภาควิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สุรี ขาวเธียร)

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

.....กรรมการ
(อาจารย์ บุญยง โล่ห้วงศ์วัฒน)

.....กรรมการ
(อาจารย์ วิบูลย์ลักษณ์ วิสุทธิศักดิ์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

ทอรมดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เนตรนภา ศรุตวราพงศ์ : การใช้ยูเอเอสบีแบบมีถังสร้างกรดในการบำบัดน้ำเสียน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีแป้งมันสำปะหลัง (Use of UASB with Acidification Tank for Treating Synthetic Tapioca Wastewater) อ.ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร. มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 140 หน้า, ISBN 974-636-213-5

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังด้วยระบบยูเอเอสบีแบบมีถังสร้างกรดก่อนเข้าระบบ และศึกษาผลของการหมุนเวียนน้ำกลับที่มีต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบยูเอเอสบี

การทดลองประกอบด้วยถังยูเอเอสบี 3 ชุด ทำการทดลองเปรียบเทียบกัน ถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 ไม่มีถังสร้างกรด แต่มีการหมุนเวียนน้ำกลับ ถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 มีถังสร้างกรดและมีการหมุนเวียนน้ำกลับ ถังยูเอเอสบีชุดที่ 3 มีถังสร้างกรดแต่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำกลับ โดยถังสร้างกรดมีระยะเวลากักน้ำนาน 12 ชั่วโมง และอัตราส่วนการเวียนกลับเท่ากับ 5:1 การทดลองกระทำที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 5 และ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ โดยเตรียมแป้งมันสำปะหลังละลายในน้ำร้อนให้มีความเข้มข้นซีโอดีเท่ากับ 2500 และ 5000 มก./ล.ตามลำดับ อัตราสูบน้ำเข้าระบบเท่ากับ 4 ลิตร/วัน คงที่ตลอดการทดลอง

จากการทดลองพบว่า เมื่อปราศจากถังสร้างกรด ถังยูเอเอสบีชุดที่1 สูญเสียสภาพการทำงานของระบบยูเอเอสบี เนื่องจากเม็ดตะกอนจุลินทรีย์หลุดออกจากระบบเกือบทั้งหมด ขณะที่ถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 และ 3 ซึ่งมีถังสร้างกรด ยังคงรักษาเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ไว้ในระบบได้ ผลการทดลองที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 , 2 และ 3 พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 81 , 89 และ 84% ปริมาณกรดไขมันระเหยเท่ากับ 127 , 45 และ 45 มก./ล.(กรดอะซิติก) อัตราการผลิตก๊าซเท่ากับ 0.9 , 2.4 และ 2.9 ลิตร/วัน อัตราการผลิตก๊าซมีเทนเท่ากับ 0.09, 0.28 และ 0.31 ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด ตามลำดับ ผลการทดลองที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 , 2 และ 3 พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 73 , 85 และ 81% ปริมาณกรดไขมันระเหยเท่ากับ 710 , 85 และ 91 มก./ล.(กรดอะซิติก) อัตราการผลิตก๊าซเท่ากับ 2.2, 4.4 และ 4.9 ลิตร/วัน อัตราการผลิตก๊าซมีเทนเท่ากับ 0.12, 0.32 และ 0.33 ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด ตามลำดับ ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของถังสร้างกรดที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 5 และ10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน เท่ากับ 15% และ 26% ตามลำดับ

จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า การใช้ระบบยูเอเอสบีแบบมีถังสร้างกรดสามารถแก้ปัญหาที่เกิดกับระบบยูเอเอสบีแบบไม่มีถังสร้างกรดในการบำบัดน้ำเสียแป้งมันสำปะหลัง กล่าวคือ ช่วยป้องกันการหลุดออกของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์และการสะสมของกรดไขมันระเหย ทำให้ระบบยูเอเอสบีแบบมีถังสร้างกรดมีประสิทธิภาพการทำงานสูงกว่าระบบยูเอเอสบี ที่ไม่มีถังสร้างกรด ขณะที่ผลของการหมุนเวียนน้ำกลับที่มีต่อระบบยูเอเอสบีไม่ชัดเจน กล่าวคือ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต เนตรนภา ศรุตวราพงศ์

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2539 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

C717920 : MAJOR SANITARY ENGINEERING
KEY WORD: UASB / ACIDIFICATION TANK / RECIRCULATION / TAPIOCA STARCH
NETNAPA SARUTAVARAPONG : USE OF UASB WITH ACIDIFICATION TANK FOR TREATING SYNTHETIC TAPIOCA WASTEWATER. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. MUNSIN TUNTOOLAVEST, Ph.D. 140pp. ISBN 974-636-213-5

The purpose of this study was to investigate the treatability of synthetic tapioca wastewater by using the UASB reactor with an acidification tank and the effect of recirculation on the performance of the UASB reactor.

Three UASB reactors were compared. The first (UASB 1) was operated with recirculation but did not have the acidification tank, the second (UASB 2) had both recirculation and the acidification tank, and the last(UASB 3)was operated without recirculation but had the acidification tank. The retention time of the acidification tank was 12 hours and the recycle ratio was 5:1. This study was operated at the organic loading rate of 5 and 10 kgCOD/m^3-day. The synthetic wastewater was made from tapioca starch diluted in hot water to obtain the COD concentration of 2500 and 5000 mg/l., respectively. While the flowrate was kept constant at 4 l/d throughout all experiments.

From the experiment, UASB 1,operating without the acidification tank, lost the characteristic of the UASB system by losing all granules in the reactor. While UASB 2 and UASB 3,operating with the acidification tank, still maintained the granules in the reactors. At 5 kgCOD/m^3-day, the COD removal efficiencies were 81, 89 and 84%. The effluent VFA were 127, 45 and 45 mg/l (as CH_3COOH). The gas production rates were 0.9, 2.4 and 2.9 l/d with the methane yield of 0.09, 0.28 and 0.31 l/g COD removed, respectively. At 10 kgCOD/m^3-day, the COD removal efficiencies were 73, 85 and 81%. The effluent VFA were 710, 85 and 91 mg/l (as CH_3COOH). The gas production rates were 2.2, 4.4 and 4.9 l/d with the methane yield of 0.12, 0.32 and 0.33 l/g COD removed, respectively. The COD removal efficiency of the acidification tank were 15% and 22% at 5 and 10 kgCOD/m^3-day, respectively.

In conclusion, *the UASB reactor with the acidification tank* was comparatively more efficient in its ability to retain granules and prevent the VFA accumulation than *the UASB reactor without the acidification tank*. On the other hand, recirculation caused only slight increase of its treatment efficiency.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2539 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูงที่ท่านได้กรุณาให้แนวทางและคำแนะนำต่างๆในการทำวิจัยครั้งนี้ ตลอดจนฝึกให้รู้จักการทำงาน การค้นคว้าหาข้อมูล และให้คำแนะนำในการเขียนงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ บริษัท แซนอี 68 คอนซัลแตนท์ จำกัด ที่อนุเคราะห์ถังยูเอเอสบีจำนวน 3 ชุด และเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการวิจัย

ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน และคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ให้

ขอขอบคุณ คุณ จุลพงษ์ ทวีศรี ที่ให้คำแนะนำและให้หนังสือที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัยที่ใช้อ้างอิงในการเขียนงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ คุณ วิชัย สนธิลาวัฒน์ ที่มีส่วนช่วยในการติดตั้งอุปกรณ์ทดลอง แลช่วยซ่อมเครื่องมือวัดเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน คือ เครื่องออร์แสท จนสามารถใช้งานได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณ รุ่งทิวา ดุษฎีรังสีกุล ที่มีส่วนช่วยพิมพ์งานวิจัยฉบับนี้

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่สนับสนุนส่วนหนึ่งของทุนวิจัย

ท้ายที่สุดนี้ คุณความดีอันพึงมีจากการวิจัยนี้ ขอมอบแด่ บิดา มารดา ผู้ให้กำลังใจและสนับสนุนการศึกษาของบุตรตลอดมา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ
กิตติกรรมประกาศ.....ฉ
สารบัญ.....ช
สารบัญตาราง.....ญ
สารบัญรูป.....ด
การเทียบศัพท์.....ถ
บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 ความเป็นมา.....1
1.2 วัตถุประสงค์.....4
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....4
บทที่ 2 ทบทวนเอกสาร.....5
2.1 การบำบัดน้ำเสียประเภทแป้งด้วยกระบวนการไร้ออกซิเจน.....5
2.1.1 กลไกการย่อยสลาย และแบคทีเรียที่เกี่ยวข้อง.....5
2.1.1.1 ไฮโดรไลซีส.....5
2.1.1.2 การสร้างกรด.....5
2.1.1.3 การสร้างอะเซเตด.....6
2.1.1.4 การสร้างมีเทน.....6
2.1.2 แบคทีเรียอื่นๆที่อาจพบในระบบไร้ออกซิเจน.....8
2.1.2.1 แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต (Sulfate Reducing Bacteria, SRB).....8
2.1.2.3 แบคทีเรียซัลเฟอร์สีม่วง (Purple Sulfur Bacteria) 11
2.1.2.3 แบคทีเรียสีม่วงชนิดไม่ใช้ซัลเฟอร์ (Purple Nonsulfur Bacteria).....12
2.1.3 ลักษณะโครงสร้างของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ.....14
2.2 ระบบยูเอเอสบีแบบมีถังสร้างกรด.....16
2.2.1 ข้อดีและความจำเป็นในการมีถังสร้างกรด.....17
2.2.2 ความสำคัญของถังสร้างกรดในการบำบัดน้ำเสียประเภทแป้ง.....19
2.2.3 เกณฑ์การออกแบบถังสร้างกรด.....22
2.3 ความสำคัญของการหมุนเวียนน้ำกลับในระบบยูเอเอสบี.....24

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 3 แผนงานและการดำเนินงานวิจัย.....26
3.1 แผนการทดลอง.....26
3.2 การเตรียมน้ำเสีย.....31
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์.....33
3.4 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์.....40
3.5 การดูแลรักษาระบบ.....41
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์.....42
4.1 ปัญหาที่เกิดขึ้นในการบำบัดน้ำเสียแป้งมันสำปะหลังด้วยระบบยูเอเอสบีแบบไม่มีถังสร้างกรด..... 52
4.1.1 การหลุดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์..... 52
4.1.2 การสะสมของกรดไขมันระเหย..... 54
4.1.3 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี.....62
4.1.4 อัตราผลิตก๊าซมีเทนมี..... 65
4.2 การใช้ระบบยูเอเอสบีแบบมีถังสร้างกรดในการบำบัดน้ำเสียแป้งมันสำปะหลัง.....68
4.2.1 ลักษณะทางกายภาพในถังสร้างกรด.....68
4.2.2 ความสามารถในการรักษาเม็ดตะกอนจุลินทรีย์.....70
4.2.3 ความสามารถในการกำจัดกรดไขมันระเหย..... 72
4.2.4 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี.....79
4.2.5 อัตราผลิตก๊าซมีเทน.....82
4.2.6 สมดุลย์ซีโอดีในระบบยูเอเอสบี..... 84
4.2.7 ค่าโออาร์พี..... 85
4.3 การเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบยูเอเอสบีแบบมีถังสร้างกรด ด้วยการหมุนเวียนน้ำกลับ.....87
4.3.1 ลักษณะตะกอนจุลินทรีย์.....87
4.3.2 ค่าพีเอช.....89
4.3.3 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี.....94
4.3.4 เซ็นต์ก๊าซมีเทน.....98
4.3.5 สมดุลย์ซีโอดีในระบบยูเอเอสบี..... 100

สารบัญ (ต่อ)

4.4 ผลของแบคทีเรียสีม่วง (Purple Bacteria) ในถังสร้างกรดที่มีต่อระบบยูเอเอสบี....101

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ..... 102

5.1 สรุปผลการทดลอง.....102

5.2 ข้อแนะนำสำหรับการทำวิจัยเพิ่มเติม.....103

รายการอ้างอิง.....104

ภาคผนวก.....109

ประวัติผู้เขียน.....125

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง 1.1 จำนวนโรงบำบัดน้ำเสียที่ใช้ระบบไร้ออกซิเจน ก่อนเดือน กันยายน ค.ศ.1990.....2

ตาราง 2.1 ปฏิกิริยาในขั้นตอนการสร้างกรด..... 6

ตาราง 2.2 ปฏิกิริยาในขั้นตอนการสร้างอะซิเตด..... 6

ตาราง 2.3 ชนิดของแบคทีเรียสร้างมีเทน และ สารอาหารที่ใช้ 7

ตาราง 2.4 ปฏิกิริยาที่สำคัญในขั้นตอนการสร้างมีเทน 7

ตาราง 2.5 ค่าทางเทอร์โมไดนามิค และค่าทางจลศาสตร์ของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต และแบคทีเรียสร้างมีเทน ในการออกซิไดซ์ไฮโดรเจนและกรดอะซิติก.....10

ตาราง 2.6 ปฏิกิริยาออกซิไดซ์ไฮโดรเจนซัลไฟด์ 11

ตาราง 2.7 แหล่งคาร์บอนและแหล่งให้อิเลคตรอนของแบคทีเรียซัลเฟอร์สีม่วง และแบคทีเรียสีม่วงชนิดไม่ใช้ซัลเฟอร์..... 12

ตาราง 2.8 ชนิดของแบคทีเรียซัลเฟอร์สีม่วง และแบคทีเรียสีม่วงชนิดไม่ใช้ซัลเฟอร์.....13

ตาราง 2.9 ค่าจลศาสตร์ต่างๆของแบคทีเรีย.....16

ตาราง 2.10 ตัวอย่างการบำบัดน้ำเสียประเภทแป้งด้วยระบบไร้ออกซิเจน.....21

ตาราง 2.11 ตัวอย่างค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ออกแบบถังสร้างกรดจากการศึกษาที่ผ่านมาสำหรับน้ำเสียประเภทต่างๆ ในระบบบำบัดไร้ออกซิเจน 23

ตาราง 3.1 แผนการทดลอง.....27

ตาราง 3.2 สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์.....31

ตาราง 3.3 อุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการทดลอง.....34

ตาราง 3.4 แผนการเก็บตัวอย่างและวิธีวิเคราะห์.....40

ตาราง 4.1 ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด..... 44

ตาราง 4.2 สรุปค่าเฉลี่ยตัวแปรต่างๆ ของผลการทดลองที่ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน.....47

ตาราง 4.3 สรุปค่าเฉลี่ยตัวแปรต่างๆ ของผลการทดลองที่ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน.....48

ตาราง 4.4 ค่าเฉลี่ยปริมาณกรดไขมันระเหย เปรียบเทียบที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 5 และ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ของระบบยูเอเอสบีชุดที่ 1 (ไม่มีถังสร้างกรด).....55

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง 4.5 ปริมาณกรดไขมันระเหย (มก./ล.กรดอะซิติก) จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี ก๊าซโครมาโตกราฟฟี ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 5 และ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ของน้ำออกจากถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 (ไม่มีถังสร้างกรด).....56

ตาราง 4.6 ค่าเฉลี่ย พีเอช สภาพด่างทั้งหมด ปริมาณกรดไขมันระเหย และอัตราส่วนกรดไขมันระเหย ต่อ สภาพด่างทั้งหมด เปรียบเทียบที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 5 และ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 (ไม่มีถังสร้างกรด).....58

ตาราง 4.7 ค่าเฉลี่ยโออาร์พี เปรียบเทียบที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 5 และ 10 กก.ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน ของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 (ไม่มีถังสร้างกรด)..... 60

ตาราง 4.8 ค่าเฉลี่ย ซีโอดี ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี และค่าตะกอนแขวนลอย เปรียบเทียบที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 5 และ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 (ไม่มีถังสร้างกรด).....62

ตาราง 4.9 ค่าเฉลี่ย ปริมาณก๊าซทั้งหมด เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน และ อัตราการผลิตก๊าซมีเทน เปรียบเทียบที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 5 และ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 (ไม่มีถังสร้างกรด).....65

ตาราง 4.10 สมดุลย์ของซีโอดีในระบบยูเอเอสบีของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 (ไม่มีถังสร้างกรด.....66

ตาราง 4.11 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณกรดไขมัน ของระบบยูเอเอสบีที่มีถังสร้างกรด (ถังยูเอเอสบีชุดที่ 3) กับ ระบบยูเอเอสบีที่ไม่มีถังสร้างกรด (ถังยูเอเอสบีชุดที่ 1) ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 5 และ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน..... 73

ตาราง 4.12 ปริมาณกรดไขมันระเหย (มก./ล.กรดอะซิติก) จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีก๊าซโครมาโตกราฟฟี ที่ภารบรรทุกสารอินทรีย์ 5 และ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ของน้ำในถังสร้างกรด..... 74

ตาราง 4.13 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยพีเอช สภาพด่างทั้งหมด ปริมาณกรดไขมันระเหย และอัตราส่วนกรดไขมันระเหย ต่อ สภาพด่างทั้งหมด ของระบบยูเอเอสบีที่มีถังสร้างกรด (ถังยูเอเอสบีชุดที่ 3) กับ ระบบยูเอเอสบีที่ไม่มีถังสร้างกรด (ถังยูเอเอสบีชุดที่ 1) ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 5 และ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน..... 76

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง 4.14 การเปรียบเทียบค่า ซีโอดี เปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดี และตะกอนแขวนลอยของระบบยูเอเอสบีที่มีถังสร้างกรด (ถังยูเอเอสบีชุดที่ 3) กับ ระบบยูเอเอสบีที่ไม่มีถังสร้างกรด (ถังยูเอเอสบีชุดที่ 1) ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 5 และ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน.....79

ตาราง 4.15 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ปริมาณก๊าซทั้งหมด เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน และอัตราการผลิตก๊าซมีเทน ของระบบยูเอเอสบีที่มีถังสร้างกรด (ถังยูเอเอสบีชุดที่ 3) กับระบบยูเอเอสบีที่ไม่มีถังสร้างกรด (ถังยูเอเอสบีชุดที่ 1) ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 5 และ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน..... 82

ตาราง 4.16 การเปรียบเทียบสมดุลย์ของซีโอดีในระบบยูเอเอสบีของถังยูเอเอสบีชุดที่ 3 (มีถังสร้างกรด) กับ ระบบยูเอเอสบีที่ไม่มีถังสร้างกรด (ถังยูเอเอสบีชุดที่ 1) ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 5 และ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน..... 84

ตาราง 4.17 การเปรียบเทียบค่า โออาร์พี ของระบบยูเอเอสบีที่มีถังสร้างกรด (ถังยูเอเอสบีชุดที่ 3) กับระบบยูเอเอสบีที่ไม่มีถังสร้างกรด (ถังยูเอเอสบีชุดที่ 1) ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 5 และ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน..... 85

ตาราง 4.18 การเปรียบเทียบค่า พีเอช สภาพความเป็นด่าง ปริมาณกรดไขมันระเหย และอัตราส่วนปริมาณกรดไขมันระเหย ต่อ สภาพความเป็นด่างทั้งหมด ของระบบยูเอเอสบีที่มีการหมุนเวียนน้ำกลับ (ถังยูเอเอสบีชุดที่ 2) กับ ระบบยูเอเอสบีที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำกลับ(ถังยูเอเอสบีชุดที่ 3) ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 5 และ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน.....89

ตาราง 4.19 การเปรียบเทียบค่า โออาร์พี ของระบบยูเอเอสบีที่มีการหมุนเวียนน้ำกลับ (ถังยูเอเอสบีชุดที่ 2) กับ ระบบยูเอเอสบีที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำกลับ (ถังยูเอเอสบีชุดที่ 3) ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 5 และ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน.....90

ตาราง 4.20 การเปรียบเทียบค่าซีโอดี เปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดี และตะกอนแขวนลอยของระบบยูเอเอสบีที่มีการหมุนเวียนน้ำกลับ (ถังยูเอเอสบีชุดที่ 2) กับระบบยูเอเอสบีที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำกลับ(ถังยูเอเอสบีชุดที่ 3) ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 5 และ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน.....94

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง 4.21 ค่าซีโอดี เปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดี และตะกอนแขวนลอย ของระบบยูเอเอสบีที่มีการหมุนเวียนน้ำกลับ (ถังยูเอเอสบีชุดที่ 2) กับระบบยูเอเอสบีที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำกลับ(ถังยูเอเอสบีชุดที่ 3) ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน เมื่อมีการหมุนเวียนน้ำกลับ และ เมื่อไม่การหมุนเวียนน้ำกลับ.....95

ตาราง 4.22 การเปรียบเทียบค่า ปริมาณก๊าซทั้งหมด เปอร์เซ็นต์มีเทน และ อัตราการผลิตก๊าซมีเทน ของระบบยูเอเอสบีที่มีการหมุนเวียนน้ำกลับ (ถังยูเอเอสบีชุดที่ 2) กับ ระบบยูเอเอสบีที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำกลับ(ถังยูเอเอสบีชุดที่ 3) ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 5 และ 10 กก.ซีโอดี /ลบ.ม.-วัน.....98

ตาราง 4.23 การเปรียบเทียบสมดุลย์ของซีโอดีในระบบยูเอเอสบีของถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 (มีการหมุนเวียนน้ำกลับ) กับ ถังยูเอเอสบีชุดที่ 3 (ไม่มีการหมุนเวียนน้ำกลับ) ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 5 และ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน..... 100

ตาราง 4.24 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี เมื่อมีแบคทีเรียสีม่วงในถังสร้างกรด และ เมื่อไม่มีแบคทีเรียสีม่วงในถังสร้างกรด ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี / ลบ.ม.-วัน.....101

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูป 2.1 ขั้นตอนการย่อยสลายแป้งแบบไร้ออกซิเจน..... 9

รูป 2.2 โครงสร้างและลักษณะของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มี ความซับซ้อน และอัตราการย่อยสลายแตกต่างกัน..... 14

รูป 2.3 โครงสร้างและชนิดแบคทีเรียที่เป็นองค์ประกอบของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จากน้ำเสียคาร์โบไฮเดรท.....15

รูป 3.1 รายละเอียดการเดินระบบของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 (ไม่มีถังสร้างกรด แต่ มีการหมุนเวียนน้ำกลับ).....27

รูป 3.2 รายละเอียดการเดินระบบของถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 (มีถังสร้างกรด และ มีการหมุนเวียนน้ำกลับ).....28

รูป 3.3 รายละเอียดการเดินระบบของถังยูเอเอสบีชุดที่ 3 (มีถังสร้างกรด แต่ ไม่มีการหมุนเวียนน้ำกลับ).....29

รูป 3.4 รายละเอียดการเดินระบบของถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 และ 3 เมื่อใช้ถังสร้างกรดร่วมกัน....30

รูป 3.5 โครงสร้างโมเลกุลแป้ง..... 32

รูป 3.6 ถังยูเอเอสบีและอุปกรณ์แยกสามสถานะที่ใช้ในการทดลอง.....35

รูป 3.7 ถังสร้างกรด I ที่ใช้ในการทดลอง.....36

รูป 3.8 ถังสร้างกรด II ที่ใช้ในการทดลอง.....37

รูป 3.9 ถังพักน้ำสูงสำหรับถังยูเอเอสบีชุดที่ 1.....38

รูป 3.10 ถังพักน้ำออกที่ใช้ในการทดลอง..... 38

รูป 3.11 เครื่องวัดปริมาณก๊าซตามแบบ ศักดิ์ชัย โอภาสวัตชัย 39

รูป 4.1 การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดลองจริงของระบบที่ใช้ถังสร้างกรดแยกกัน.....43

รูป 4.2 ระบบที่ใช้ถังสร้างกรดร่วมกันในการวิจัย 46

รูป 4.3 ลักษณะตะกอนจุลินทรีย์ภายในถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 (ไม่มีถังสร้างกรด) 53

รูป 4.4 ค่าปริมาณกรดไขมันระเหย ตลอดการทดลองของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 (ไม่มีถังสร้างกรด).....54

รูป 4.5 เปอร์เซ็นต์กรดไขมันระเหยจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีก๊าซโครมาโตกราฟฟี ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 5 และ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ของน้ำออกจากถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 (ไม่มีถังสร้างกรด).....57

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป 4.6 ค่า พีเอช สภาพด่างทั้งหมด และปริมาณกรดไขมันระเหย ตลอดการทดลองของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 (ไม่มีถังสร้างกรด)..... 59

รูป 4.7 ค่าโออาร์พี ตลอดการทดลองของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 (ไม่มีถังสร้างกรด).....61

รูป 4.8 ค่า ซีโอดี ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี และค่าตะกอนแขวนลอย ตลอดการทดลองของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 (ไม่มีถังสร้างกรด).....64

รูป 4.9 ค่าปริมาณก๊าซทั้งหมด ตลอดการทดลองของถังยูเอเอสบีชุดที่ 1 (ไม่มีถังสร้างกรด)... 67

รูป 4.10 ลักษณะทางกายภาพของถังสร้างกรด..... 69

รูป 4.11 ลักษณะตะกอนจุลินทรีย์ภายในถังยูเอเอสบีชุดที่ 3 (มีถังสร้างกรด).....70

รูป 4.12 ค่าปริมาณกรดไขมันระเหย ตลอดการทดลองชุดที่ 3 (มีถังสร้างกรด).....72

รูป 4.13 เปอร์เซ็นต์กรดไขมันระเหยจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีก๊าซโครมาโตกราฟฟี ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 5 และ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ของน้ำในถังสร้างกรด..... 75

รูป 4.14 ค่า พีเอช สภาพด่างทั้งหมด และปริมาณกรดไขมันระเหย ตลอดการทดลองชุดที่ 3 (มีถังสร้างกรด).....78

รูป 4.15 ค่าซีโอดี เปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดี และตะกอนแขวนลอย ตลอดการทดลองชุดที่ 3 (มีถังสร้างกรด).....81

รูป 4.16 ค่าปริมาณก๊าซทั้งหมด ตลอดการทดลองชุดที่ 3 (มีถังสร้างกรด)..... 83

รูป 4.17 ค่าโออาร์พี ตลอดการทดลองชุดที่ 3 (มีถังสร้างกรด).....86

รูป 4.18 ลักษณะชั้นตะกอนจุลินทรีย์ภายในถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 (มีถังสร้างกรด และ มีการหมุนเวียนน้ำกลับ).....88

รูป 4.19 ค่าโออาร์พี พีเอช สภาพความเป็นด่าง ปริมาณกรดไขมันระเหย และอัตราส่วนปริมาณกรดไขมันระเหย ต่อ สภาพความเป็นด่างทั้งหมด ตลอดการทดลองของถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 (มีถังสร้างกรด และ มีการหมุนเวียนน้ำกลับ)..... 92

รูป 4.20 ค่าซีโอดี เปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดี และตะกอนแขวนลอย ตลอดการทดลองของถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 (มีถังสร้างกรด และ มีการหมุนเวียนน้ำกลับ)..... 97

รูป 4.21 ค่าปริมาณก๊าซทั้งหมด ตลอดการทดลองของถังยูเอเอสบีชุดที่ 2 (มีถังสร้างกรด และ มีการหมุนเวียนน้ำกลับ)..... 99

การเทียบศัพท์

ภาษาไทย	ภาษาอังกฤษ
กรดบิวทิริก	Butyric Acid
กรดโพรพิออนิค	Propionic Acid
กรดอะเซติก	Acetic Acid
กลุ่มแบคทีเรียที่ดำรงชีพแบบพึ่งพาอาศัยกัน	Syntrophic Microcolonies
การไล่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากน้ำ	Decarbonation
ความดันพาร์เชียลไฮโดรเจน	Hydrogen Partial Pressure
ถังกรองไร้ออกซิเจน	Anaerobic Filter Tank
ถังสร้างกรด	Acidification Tank
ถังสัมผัสไร้ออกซิเจน	Contact Anaerobic Tank
แบคทีเรียชนิดกึ่งไร้ออกซิเจน	Obligate Anaerobe
แบคทีเรียซัลเฟอร์ม่วง	Purple Sulfur Bacteria
แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต	Sulfate Reducing Bacteria
แบคทีเรียไร้ออกซิเจนชนิดเด็ดขาด	Strictly Anaerobe
แบคทีเรียสร้างกรด	Acidogenic Bacteria
แบคทีเรียสีม่วงชนิดไม่ใช้ซัลเฟอร์	Purple Nonsulfur Bacteria
ปฏิกิริยาการสร้างกรด	Acidogenesis
ปฏิกิริยาการสร้างมีเทน	Methanogenesis
ปฏิกิริยาการสร้างอะเซเตด	Acetogenesis
ปฏิกิริยาการไฮโดรไลซีส	Hydrolysis
ฟล้อค	Floc
ยูเอเอสบี	UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket)
โออาร์พี	ORP (Oxidation Reduction Potential)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย