5/5/4 26

การใช้ยูเอเอสบีบำบัดน้ำเสียจาก
โรงงานอาหารทะเลแช่แข็ง

นาย กิตติศักดิ์ ต้นชนะชัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2539

ISBN 974-635-006-4

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 17120883

Application of UASB for Wastewater Treatment from Sea-Food Industries

Mr. Kittisak Tonchanachai

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement
for the Degree of Master of Engineering
Department of Environmental Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 1996
ISBN 974-635-006-4

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

กิตติศักดิ์ ต้นชนะชัย : การใช้ยูเอเอสบีบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอาหารทะเลแช่แข็ง (APPLICATION OF UASB FOR WASTEWATER TREATMENT FROM SEA-FOOD INDUSTRIES) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 156 หน้า. ISBN 974-635-006-4

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาสมรรถนะการทำงานของยูเอเอสบีในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอาหารทะเลแช่แข็ง โดยใช้ถังยูเอเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกก๊าซ-ตะกอนแตกต่างกัน 4 แบบ น้ำเสียที่ใช้มาจากโรงงานแห่งหนึ่งในจังหวัดสมุทรสาครนำมาปรับสภาพโดยการเติมโซดาแอช 1 กรัม/ลิตร การวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ช่วง ช่วงแรกทดลองที่โรงงานและใช้ถังยูเอเอสบีที่มีอุปกรณ์แยกก๊าซ-ตะกอนแบบที่ 1 และ 2 ทดลองที่เวลากักน้ำ 12 ชั่วโมงพร้อมถังสร้างกรด อุปกรณ์แยกก๊าซ-ตะกอนทั้ง 2 แบบสามารถแยกก๊าซและตะกอนได้ดีและมีอัตราน้ำล้นผิวเท่ากันคือ 0.18 ม./ชม. ปริมาตรของอุปกรณ์แยกก๊าซ-ตะกอนของถังยูเอเอสบีแบบที่ 1 และ 2 เท่ากับ 14.5 และ 60 ลิตร ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าที่ออร์แกนิกโหลดดิ้ง 3.73 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน ถังยูเอเอสบีแบบที่ 2 มีสมรรถนะดีกว่าแบบที่ 1 เล็กน้อย ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 55.1% และ 46.2% ตามลำดับ อัตราผลิตก๊าซมีเทนเท่ากันคือ 0.15 ลิตรต่อกรัมซีโอดีที่กำจัด และมีเปอร์เซนต์ก๊าซมีเทนเท่ากับ 36% และ 38% ตามลำดับ เมื่อทดลองเป็นเวลานานๆ จะเกิดการลอยตัวและหลุดออกของสลัดจ์ทั้งชั้น

ส่วนช่วงที่สองทดลองในห้องปฏิบัติการ และใช้ถังยูเอเอสบีแบบที่ 3 และ 4 ที่มีความสามารถในการแยกก๊าซ-ตะกอนต่างกัน อุปกรณ์แยกก๊าซ-ตะกอนแบบที่ 3 ยอมให้มีการหลุดออกของก๊าซและตะกอนได้บางส่วนในขณะที่อุปกรณ์แยกก๊าซ-ตะกอนแบบที่ 4 สามารถดักก๊าซและตะกอนได้ดีกว่า การวิจัยในช่วงที่สองนี้ทดลองโดยไม่มีถังสร้างกรดด้วยเวลากักน้ำในการทดลองที่ไม่มีถังสร้างกรดเท่ากับ 18 ชั่วโมง ส่วนการทดลองที่มีถังสร้างกรดเวลากักน้ำเท่ากับ 12, 24 และ 36 ชั่วโมง (ไม่นับรวมเวลากักน้ำในถังสร้างกรด) จากผลการทดลองพบว่า ถังยูเอเอสบีแบบที่ 3 มีสมรรถนะสูงกว่าแบบที่ 4 เล็กน้อย ระบบที่ไม่มีถังสร้างกรดมีประสิทธิภาพต่ำโดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 17.0% และ 11.2% ที่ออร์แกนิกโหลดดิ้ง 1.77 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน อัตราผลิตก๊าซมีเทนเท่ากับ 0.09 และ 0.32 ลิตรต่อกรัมซีโอดีที่กำจัด และมีเปอร์เซนต์ก๊าซมีเทน 35% และ 45% ตามลำดับ นอกจากนี้ยังเกิดการลอยตัวของชั้นสลัดจ์นอนตลอดการทดลอง อย่างไรก็ตามเมื่อมีถังสร้างกรดประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเพิ่มขึ้นเป็น 43.9% และ 36.0% ที่เวลากักน้ำ 12 ชั่วโมงและออร์แกนิกโหลดดิ้ง 2.57 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน การลอยตัวของชั้นสลัดจ์นอนหายไป อัตราผลิตก๊าซมีเทนเท่ากับ 0.11 และ 0.24 ลิตรต่อกรัมซีโอดีที่กำจัด และมีเปอร์เซนต์ก๊าซมีเทน 51.5% และ 50.5% แสดงว่าถังสร้างกรดช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ ประสิทธิภาพที่แตกต่างกันน่าจะเนื่องจากการใช้อุปกรณ์แยกก๊าซ-ตะกอนที่แตกต่างกัน การหลุดออกของตะกอนในการใช้อุปกรณ์แยกก๊าซ-ตะกอนแบบที่ 3 ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าที่เวลากักน้ำ 24 และ 36 ชั่วโมง ออร์แกนิกโหลดดิ้งลดลงเป็น 1.29 และ 0.86 กก.ซีโอดี/ม^3-วัน ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเพิ่มขึ้นเป็น 58.8% และ 70.7% ตามลำดับ อัตราผลิตก๊าซมีเทนในการทดลองนี้ต่ำกว่าค่าทางทฤษฎี (0.35 ลิตรต่อกรัมซีโอดีที่กำจัด)

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอาหารทะเลแช่แข็งต้องมีถังสร้างกรด เวลากักน้ำและออร์แกนิกโหลดดิ้งมีผลกระทบโดยตรงต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี อุปกรณ์แยกก๊าซ-ตะกอนแบบที่ 1 และ 2 ไม่สามารถแก้ไขปัญหาการลอยตัวและหลุดออกของสลัดจ์ทั้งชั้นได้ อุปกรณ์แยกก๊าซ-ตะกอนแบบที่ 3 มีความเหมาะสมกว่าแบบที่ 4

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

สาขาวิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล

ปีการศึกษา 2539

ลายมือชื่อนิสิต กิตติศักดิ์ ต้นชนะชัย

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ....

C617472 : MAJOR SANITARY ENGINEERING
KEY WORD: UASB / SEA-FOOD INDUSTRIES / PROTEIN / FLOTATION

KITTISAK TONCHANACHAI : APPLICATION OF UASB FOR WASTEWATER TREATMENT FROM SEA-FOOD INDUSTRIES. THESIS ADVISOR : ASSO.PROF. MUNSIN TUNTOOLAVEST, Ph.D. 156 pp. ISBN 974-635-006-4

The objective of this research was to study the performance of UASB in treating sea-food wastewater by using four UASB reactors (UASBR) with different gas-solid separators (GSS). Wastewater was obtained from a factory in Samutsakhon and neutralized by adding soda ash 1 g/l. The research consisted of 2 parts. The first part was conducted at the factory using UASBR with GSS #1 and #2 at hydraulic retention time (HRT) of 12 hours and with the acidified tank. Both types of GSS had good separation of gas and solids and had the same surface loading rate of 0.18 m./hr. The volume of GSS for UASBR type #1 and #2 were 14.5 and 60 litres respectively. The experimental result showed that UASBR #2 performed slightly better than #1 at the organic loading of 3.73 kg.COD/m^3-day. The COD removal efficiency was 55.1% and 46.2% respectively, with the same methane yield of 0.15 l./g.COD removed. The methane contents were 36% and 38% respectively. When the experiment was conducted for a long period of time, the flotation and wash-out of all sludge occurred.

The second part was conducted in the laboratory using UASBR with GSS #3 and #4 which were different in their gas-solids separation capability. The GSS #3 allowed escape of some gas and solids while the GSS #4 could trap the gas and solids better. The research in the second part was conducted also without the acidified tank. The HRT used for the experiments without the acidified tank was 18 hours while in the experiments with acidified tank, the HRT were 12, 24 and 36 hours (excluding the retention time within the acidified tank). The experimental result showed that UASBR #3 performed better than #4. The system without acidified tank had low efficiency and having the COD removal efficiency of 17.0% and 11.2% at the organic loading of 1.77 kg.COD/m^3-day. Methane yield were 0.09 and 0.32 l./g.COD removed and the methane contents were 35% and 45% respectively. Furthermore, the flotation of sludge bed occurred throughout experiments. However, when the acidified tank was applied, the COD removal efficiency was increased to 43.9% and 36.0% at the organic loading of 2.57 kg.COD/m^3-day and the flotation of sludge bed disappeared. Methane yield were 0.11 and 0.24 l./g.COD removed and the methane contents of 51.5% and 50.5%. These results indicated that the acidified tank did improve the system performance. The difference in the efficiency might be due to the use of different type of GSS. The escape of solids in using GSS #3 made the system worked more effectively. Furthermore, it was found that at the HRT of 24 and 36 hours the organic loading was decreased to 1.29 and 0.86 kg.COD/m^3-day and the COD removal was increased to 58.8% and 70.7% respectively. The methane yield in this experiment was lower than the theoretical value (0.35 l./g.COD removed).

From the experimental results it can be concluded that sea-food wastewater treatment required the acidified tank. The HRT and organic loading had direct effect on the COD removal efficiency. The GSS #1 and #2 were unable to solve the flotation and wash-out problem of sludge and The GSS #3 was more suitable than GSS #4.

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต ....

สาขาวิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ....

ปีการศึกษา 2539 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม —

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้ยูเอเอสบีบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอาหารทะเลแช่แข็ง
โดย	นายกิตติศักดิ์ ต้นชนะชัย
ภาควิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ ถุงสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ สุรี ขาวเธียร)

....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์)

....กรรมการ

(อาจารย์ บุญยง โล่ห์วงศ์วัฒน)

....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประแสง มงคลศิริ)

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ เป็นอย่างสูงที่ได้กรุณาอบรมสั่งสอน รวมทั้งให้คำปรึกษาและแนะนำในเรื่องต่าง ๆ เพื่อให้ผู้วิจัยสามารถทำการทดลองวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีและถูกต้องโดยไม่เห็นแก่ความเหน็ดเหนื่อย พร้อมให้แง่คิดทั้งในเชิงวิชาการ และการดำเนินชีวิตที่มีประโยชน์ต่อผู้วิจัยอย่างสูงสุด

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ สุรี ขาวเธียร, อาจารย์ บุญยง โล่ห์วงศ์วัฒน, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประแสง มงคลศิริ และ รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ พรประภา ที่ช่วยกรุณาตรวจสอบวิทยานิพนธ์ และให้คำปรึกษาทางด้านวิชาการแก่ผู้วิจัย รวมทั้งคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ได้มอบความรู้ต่าง ๆ ให้แก่ผู้วิจัย

ขอขอบคุณบริษัท แซน.อี. 68 คอนซัลติ้ง เอ็นจิเนียร์ จำกัด ที่ได้เอื้อเฟื้อเชื้อจุลินทรีย์, ถังยูเอเอสบีที่ใช้ในการทดลอง, ทุนสนับสนุนการวิจัย และอื่น ๆ อีกมากมาย จนทำให้การวิจัยสำเร็จด้วยดี

ขอขอบคุณ คุณสุวัฒน์ จันทะยาสาคร, คุณวิรัช จันทะยาสาคร, คุณธวัช ลิ้มสกุล และพี่ ๆ ที่โรงงาน ส.ชัยวารี ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการทดลองโดยตลอด

ขอขอบคุณโรงงาน ส.ชัยวารี และบริษัท ชัยวารีมารีนโปรดักส์ จำกัด ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่และสิ่งอำนวยความสะดวกจนการทดลองสำเร็จลุล่วง

ขอขอบคุณ บริษัท โปรเกรสเทคโนโลยีคอนซัลแท็นส์ จำกัด ที่ได้เอื้อเฟื้อสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ

ขอขอบคุณ คุณจุลพงษ์ ทวีศรี ที่ให้ความเอื้อเฟื้อเอกสารงานวิจัยต่าง ๆ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม และสมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทยทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกตลอดมา

ขอขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ทุกคนที่ช่วยเหลือทั้งในด้านกำลังใจและกำลังกาย

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่มอบทุนสนับสนุนงานวิจัยบางส่วน จนทำให้สามารถทำการวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ท้ายที่สุดต้องขอขอบคุณครอบครัวของผู้วิจัย ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในทุกด้าน และกำลังใจแก่ผู้วิจัยตลอดมา หากวิทยานิพนธ์นี้พอมีคุณประโยชน์อยู่บ้าง ก็ขอมอบความดีนั้นกลับไปให้ครอบครัวของผู้วิจัยได้รับไว้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ....จ
กิตติกรรมประกาศ....ฉ
สารบัญ....ช
สารบัญตาราง....ฎ
สารบัญรูป....ฐ
บทที่ 1 วัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัย....1
1.1 บทนำ....1
1.2 วัตถุประสงค์....1
1.3 ขอบเขตการวิจัย....2
บทที่ 2 ทบทวนเอกสาร....3
2.1 กลไกการย่อยสลายสารอินทรีย์ของกระบวนการไร้ออกซิเจน....3
2.2 ระบบยูเอเอสบี....13
2.2.1 ความเป็นมาของระบบ....13
2.2.2 ข้อดีข้อเสียของระบบ UASB....15
2.2.3 ลักษณะและการทำงานของระบบ UASB....16
2.2.4 กลไกการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์....19
2.2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์....23
2.2.5.1 อัตราภาระบรรทุกคัดพันธุ์....23
2.2.5.2 ซีโอดีของน้ำเสียเข้า....24
2.2.5.3 ส่วนประกอบของน้ำเสีย....26

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3 ปัจจัยแวดล้อมที่มีผลต่อระบบ UASB....27
2.3.1 อุณหภูมิ....27
2.3.2 พีเอช....27
2.3.3 สารอาหาร....27
2.3.4 สารอาหารเสริม....28
2.3.5 สารพิษ....28
2.3.6 ซัลเฟต....32
2.4 ปัจจัยที่ใช้ในการควบคุมระบบยูเอเอสบี....33
2.4.1 พีเอช, สภาพความเป็นด่าง, กรดไขมันระเหย....33
2.4.2 การรักษาปริมาณจุลินทรีย์ในระบบ....34
2.4.3 อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์....34
2.4.4 การกระจายน้ำเสียเข้าสู่ถังปฏิกิริยา....34
2.4.5 ศักยภาพในการให้และรับอิเลคตรอน....34
2.5 การศึกษาที่ผ่านมา....37
2.5.1 การบำบัดน้ำเสียชนิดต่างๆ....37
2.5.2 การบำบัดน้ำเสียประเภทโปรตีนโดยระบบยูเอเอสบี....40
2.5.2.1 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี....40
2.5.2.2 ปัญหาการเกิดการลอยตัว....41
บทที่ 3 แผนงานและการดำเนินงานวิจัย....43
3.1 แผนการทดลอง....43
3.2 การเตรียมน้ำเสีย....44
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง....44
3.3.1 ถังยูเอเอสบี....44
3.3.2 เครื่องสูบน้ำเสียเข้าสู่ถังยูเอเอสบี....50
3.3.3 เครื่องวัดปริมาณก๊าซ....50
3.3.4 การติดตั้งชุดอุปกรณ์การทดลอง....50

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4 แผนการเก็บและวิเคราะห์น้ำตัวอย่างและก๊าซ....55
3.4.1 การเก็บตัวอย่างน้ำ....55
3.4.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ....55
3.4.3 การวัดและวิเคราะห์ก๊าซ....55
บทที่ 4 ผลการวิจัย....57
4.1 ลักษณะของน้ำเสีย....57
4.2 ลักษณะของเชื้อจุลินทรีย์....57
4.3 การเริ่มเลี้ยงจุลินทรีย์....58
4.3.1 ที่โรงงานฯ....58
4.3.2 ที่ห้องปฏิบัติการฯ....59
4.4 ผลของการบำบัดน้ำเสียที่โรงงานฯ....60
4.4.1 ลักษณะทั่วไป....60
4.4.2 ซีโอดี....64
4.4.3 พีเอชและโออาร์พี....65
4.4.4 กรดไขมันระเหย สภาพด่างทั้งหมด....69
4.4.5 อัตราผลิตก๊าซชีวภาพ....70
4.5 ผลของการบำบัดน้ำเสียที่ห้องปฏิบัติการฯ....72
4.5.1 ลักษณะทั่วไป....72
4.5.2 ซีโอดี....75
4.5.3 พีเอชและโออาร์พี....77
4.5.4 กรดไขมันระเหย, สภาพด่างทั้งหมด....80
4.5.5 ตะกอนแขวนลอย....82
4.5.6 ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นและอัตราผลิตก๊าซชีวภาพ....83
4.5.7 ลักษณะจุลินทรีย์....86

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 การวิจารณ์ผล....89
5.1 ความจำเป็นของถังสร้างกรดในการบำบัดน้ำเสีย....90
5.2 ผลของเวลากักน้ำและออร์กานิกโหลดดิ้งต่อประสิทธิภาพของระบบ....92
5.3 เปรียบเทียบอุปกรณ์แยก 3 สถานะกับความสามารถในการแยกก๊าซตะกอน....95
5.3.1 ลักษณะสำคัญของอุปกรณ์แยก 3 สถานะ ทั้ง 2 แบบ....97
5.3.2 เปรียบเทียบผลการทดลองโดยใช้อุปกรณ์แยก 3 สถานะ ทั้ง 2 แบบ....98
5.4 ปัญหาการลอยตัวของตะกอนสลัดจ์ในระบบ และแนวทางแก้ไข....99
5.4.1 ปัญหาการลอยตัวของตะกอนสลัดจ์ในระบบ....99
5.4.2 สาเหตุของการลอยตัวของตะกอนสลัดจ์....101
5.4.3 แนวทางแก้ไข....102
5.5 ความเหมาะสมของระบบ UASB ในการบำบัดน้ำเสีย
จากโรงงานอาหารทะเลแช่แข็ง....103
บทที่ 6 ความสำคัญของงานวิจัยในทางวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม....105
บทที่ 7 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ....107
7.1 สรุปผลการทดลอง....107
7.2 ข้อเสนอแนะ....108
รายการอ้างอิง....109
ภาคผนวก....115
ประวัติผู้เขียน....156

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 การแบ่งประเภทของแบคทีเรียที่ผลิตมีเทน....10
ตารางที่ 2.2 จำนวนของโรงบำบัดน้ำเสียที่ใช้ระบบ UASB ก่อนเดือนกันยายน 1990....15
ตารางที่ 2.3 ข้อดีข้อเสียของระบบ UASB....16
ตารางที่ 2.4 วัตถุประสงค์ในการติดตั้งอุปกรณ์แยก 3 สถานะ....18
ตารางที่ 2.5 ค่า K_S และ μ_{max} ของ Methanothrix และ Methanosarcina....21
ตารางที่ 2.6 รายละเอียดของเม็ดตะกอนแต่ละชนิดในระบบยูเอเอสบี....22
ตารางที่ 2.7 ความเข้มข้นที่กระตุ้น และยับยั้งของอิออนบวก....28
ตารางที่ 2.8 ความเข้มข้นของโลหะหนักที่มีผลยับยั้งประสิทธิภาพ 50% ต่อระบบไร้ออกซิเจน....28
ตารางที่ 2.9 ผลของแอมโมเนียไนโตรเจนที่มีต่อระบบแบบไร้ออกซิเจน....31
ตารางที่ 2.10 ค่า $\Delta G'$ ในการรีดิวซ์ซัลเฟต และสร้างมีเทน....31
ตารางที่ 2.11 ผลงานวิจัยเกี่ยวกับค่าโออาร์พีที่วัดได้ในสภาพไร้ออกซิเจน....35
ตารางที่ 2.12 ค่าโออาร์พีของถังปฏิกิริยาในระบบบำบัดน้ำเสียแบบอื่นๆ....36
ตารางที่ 3.1 รายละเอียดของแต่ละชุดการทดลอง....43
ตารางที่ 3.2 ลักษณะเฉพาะของแต่ละถังยูเอเอสบีที่ใช้ในการทดลอง....44
ตารางที่ 3.3 รายละเอียดของเครื่องสูบน้ำที่ใช้ในแต่ละชุดการทดลอง....50
ตารางที่ 3.4 แผนการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำและก๊าซ....56
ตารางที่ 4.1 ลักษณะของน้ำเสียในแต่ละชุดการทดลอง....57
ตารางที่ 4.2 รายละเอียดเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในแต่ละชุดการทดลอง....58
ตารางที่ 4.3 รายละเอียดการเริ่มเลี้ยงจุลินทรีย์และการวิจัยที่โรงงานฯ....59
ตารางที่ 4.4 รายละเอียดของการทดลองที่ห้องปฏิบัติการฯ....60
ตารางที่ 4.5 สรุปผลของการบำบัดน้ำเสียที่โรงงานฯ....62
ตารางที่ 4.6 ซีโอดีและประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีในการทดลองที่โรงงานฯ....64
ตารางที่ 4.7 ค่าพีเอชและโออาร์พีในการทดลองที่โรงงานฯ....67

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.8 ปริมาณกรดไขมันระเหย, สภาพด่างทั้งหมด และอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดในการทดลองที่โรงงานฯ....69
ตารางที่ 4.9 อัตราผลิตก๊าซชีวภาพและส่วนประกอบของก๊าซในการทดลองที่โรงงานฯ........70
ตารางที่ 4.10 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีในการทดลองที่ห้องปฏิบัติการฯ....73
ตารางที่ 4.11 ซีโอดีและประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีในการทดลองที่ห้องปฏิบัติการฯ......75
ตารางที่ 4.12 แสดงค่าพีเอชและโออาร์พีในการทดลองที่ห้องปฏิบัติการฯ....77
ตารางที่ 4.13 ปริมาณกรดไขมันระเหยและสภาพด่างทั้งหมดในการทดลองที่ห้องปฏิบัติการฯ....80
ตารางที่ 4.14 ปริมาณตะกอนแขวนลอยและลักษณะของถังยูเอเอสบีที่ใช้ในการทดลองที่ห้องปฏิบัติการฯ....82
ตารางที่ 4.15 อัตราผลิตก๊าซชีวภาพและส่วนประกอบของก๊าซในการทดลองที่ห้องปฏิบัติการฯ....83
ตารางที่ 5.1 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของระบบที่ไม่มีและมีถังสร้างกรด....91
ตารางที่ 5.2 เปรียบเทียบผลของเวลากักน้ำและออร์กานิกโหลดดิ้งต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี....93
ตารางที่ 5.3 เปรียบเทียบลักษณะสำคัญของอุปกรณ์แยก 3 สถานะแบบที่ 3 และ 4....97
ตารางที่ 5.4 ผลการทดลองจากการใช้อุปกรณ์แยก 3 สถานะทั้ง 2 แบบ....98

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ปฏิกิริยารีด็อกซ์ในการบำบัดน้ำเสีย....................3
รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยขบวนการไร้ออกซิเจน....................4
รูปที่ 2.3 ชนิดของสารตั้งต้นและผลิตผลที่ได้จากขั้นตอน hydrolysis และเอนไซม์ที่ใช้.........6
รูปที่ 2.4 การย่อยสลายของแป้งภายใต้สภาวะ Low และ High hydrogen partial pressure.....8
รูปที่ 2.5 ลักษณะของระบบต่าง ๆ ในการบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน....................14
รูปที่ 2.6 ลักษณะทั่วไปของถังปฏิกิริยาแบบ UASB....................17
รูปที่ 2.7 การเพิ่มขึ้นของปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ และอัตรารับสารอินทรีย์ระหว่างขั้นตอนการเกิดเม็ดจุลินทรีย์ในถังยูเอเอสบี....................20
รูปที่ 2.8 ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ตามความสูงของถังยูเอเอสบี....................20
รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของอะซิเตทและอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (μ) ของ Methanosarcina barkeri และ Methanothrix Sochgenii..............23
รูปที่ 2.10 ปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะของเม็ดตะกอนในระบบยูเอเอสบี....................25
รูปที่ 2.11 โครงสร้างของเม็ดตะกอนที่ทดลองกับน้ำเสียประเภทน้ำตาล (ซูโครส)....................26
รูปที่ 2.12 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชและรูปอิออนของแอมโมเนีย....................31
รูปที่ 3.1 ลักษณะของถังยูเอเอสบีแบบที่ 1....................45
รูปที่ 3.2 ลักษณะของถังยูเอเอสบีแบบที่ 2....................46
รูปที่ 3.3 ลักษณะของถังยูเอเอสบีแบบที่ 3....................47
รูปที่ 3.4 ลักษณะของถังยูเอเอสบีแบบที่ 4....................48
รูปที่ 3.5 ลักษณะของถังยูเอเอสบีแบบที่ 5....................49
รูปที่ 3.6 เครื่องมือวัดปริมาณก๊าซ....................51
รูปที่ 3.7 การติดตั้งชุดเครื่องมือทดลองแบบที่ 1 (ไม่มีถังสร้างกรด)....................52
รูปที่ 3.8 การติดตั้งชุดเครื่องมือทดลองแบบที่ 2 (มีถังสร้างกรด)....................53
รูปที่ 3.9 การติดตั้งชุดเครื่องมือทดลองแบบที่ 3 (มีถังสร้างกรดและมี 2 stage)....................54
รูปที่ 4.1 แสดงผลการทดลองในชุดที่ 1 และ 2 ที่โรงงานฯ....................63

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.2 แสดงซีโอดีตลอดการทดลองที่โรงงานฯ.....66
รูปที่ 4.3 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีตลอดการทดลองที่โรงงานฯ.....66
รูปที่ 4.4 แสดงพีเอชตลอดการทดลองที่โรงงานฯ.....68
รูปที่ 4.5 แสดงโออาร์พีตลอดการทดลองที่โรงงานฯ.....68
รูปที่ 4.6 แสดงผลการทดลองที่ห้องปฏิบัติการฯ.....74
รูปที่ 4.7 แสดงซีโอดีของการทดลองที่ห้องปฏิบัติการฯ.....76
รูปที่ 4.8 แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของการทดลองที่ห้องปฏิบัติการฯ.....76
รูปที่ 4.9 แสดงพีเอชของการทดลองที่ห้องปฏิบัติการฯ.....79
รูปที่ 4.10 แสดงโออาร์พีของการทดลองที่ห้องปฏิบัติการ.....79
รูปที่ 4.11 แสดงสภาพด่างทั้งหมดของการทดลองที่ห้องปฏิบัติการฯ.....81
รูปที่ 4.12 แสดงปริมาณกรดไขมันระเหยของการทดลองที่ห้องปฏิบัติการฯ.....81
รูปที่ 4.13 แสดงการลอยตัวและการหลุดออกของตะกอนในชุดการทดลองที่ 3 และ 4.....85
รูปที่ 4.14 แสดงลักษณะของจุลินทรีย์ในชุดการทดลองที่ 5.....87
รูปที่ 4.15 แสดงลักษณะของจุลินทรีย์ในชุดการทดลองที่ 6.....87
รูปที่ 4.16 แสดงลักษณะของจุลินทรีย์ในชุดการทดลองที่ 7 และ 8 (ใน stage ที่ 2).....88
รูปที่ 5.1 ผลของเวลากักน้ำต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของระบบ.....94
รูปที่ 5.2 เปรียบเทียบลักษณะการไหลของน้ำเสียและก๊าซผ่านอุปกรณ์แยก 3 สถานะ
แบบที่ 3 และ 4.....96
รูปที่ 5.3 ลักษณะการลอยตัวของชั้นตะกอนในการทดลองที่ห้องปฏิบัติการฯ.....100