

ประสิทธิภาพของถังปฏิกรณ์อีจีเอสบีในการบำบัดน้ำเสียโรงงานแป้งมันสำปะหลัง



นางสาวสุวรรณา ขจรไพศาล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-53-2645-3

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# EFFICIENCY OF EGSB IN TREATING TAPIOCA-STARCH WASTEWATER

Miss. Suwanna Kajonpisal

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
For the Degree of Master of Engineering Program in Environmental Engineering

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2548

ISBN 974-53-2645-3

**481866**

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ประสิทธิภาพของถังปฏิกรณ์อีจีเอสบีในการบำบัดน้ำเสียโรงงานแป้งมัน  
สำปะหลัง

โดย

นางสาวสุวรรณา ขจรไพศาล


สาขาวิชา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

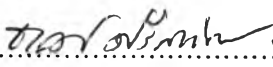
อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล

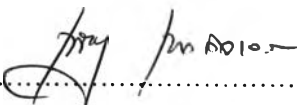
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


  
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ชเรศ ศรีสถิตย์)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล)

  
..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ)

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริมา ปัญญาเมธีกุล)

สุวรรณภา ขจรไพศาล : ประสิทธิภาพของดั่งปฏิกรณ์อีจีเอสบีในการบำบัดน้ำเสียโรงงานแป้ง  
มันสำปะหลัง. (EFFICIENCY OF EGSB IN TREATING TAPIOCA-STARCH  
WASTEWATER) อ. ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล, 305 หน้า. ISBN 974-53-2645-3

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงประสิทธิภาพของดั่งปฏิกรณ์อีจีเอสบี ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานแป้งมัน  
สำปะหลังที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์สูง โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 ศึกษาประสิทธิภาพของระบบ  
อีจีเอสบีที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ต่างกัน คือที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 10 20 และ 40 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ใช้  
ความเร็วไหลขึ้นเท่ากันคือ 3 ม./ชม. ในช่วงที่ 2 ทำการศึกษาประสิทธิภาพของระบบอีจีเอสบีความเร็วไหลขึ้นต่างกัน  
เปรียบเทียบที่ความเร็วไหลขึ้น 3 5 และ 7 ม./ชม. ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 20 และ 40 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.- วัน

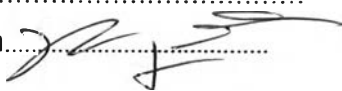
ในการศึกษานี้ใช้น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองคือน้ำเสียโรงงานแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งมีค่าซีโอดีประมาณ 18,000  
มก./ล. เจือจางให้มีความเข้มข้นของซีโอดีเพื่อใช้ในการทดลองคือ 3,000 มก./ล. ปรับค่าพีเอชให้เท่ากับ 7 เพื่อใช้ในการ  
ทดลอง

ผลการทดลองช่วงที่ 1 พบว่า ระบบอีจีเอสบีในการบำบัดน้ำเสียแป้งมันสำปะหลัง มีประสิทธิภาพการกำจัด  
ซีโอดีสูงกว่า 92 เปอร์เซ็นต์ ในการบำบัดน้ำเสียที่รับภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ถึง 20 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน เมื่อเพิ่ม  
ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ที่ 40 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีน้อยกว่า 90 เปอร์เซ็นต์เล็กน้อย  
ปริมาณก๊าซชีวภาพภาวะบรรทุกสารอินทรีย์10 20 และ 40 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเท่ากับ 14.6 29.4 และ 39.6 ล./วัน  
ตามลำดับ และความสามารถจำเพาะในการสร้างมีเทนของเม็ดตะกอนมีค่าในช่วง 0.20-0.35 0.20-0.50 และ 0.28-0.42  
ก.ซีโอดี-มีเทน/ก.วีเอสเอส-วัน ตามลำดับ

ผลการทดลองช่วงที่ 2 พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 20 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-  
วัน ความเร็วไหลขึ้น 3 5 และ 7 ม./ชม. ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี เท่ากับ 93.48 95.29 และ 94.35 เปอร์เซ็นต์  
ตามลำดับ ปริมาณก๊าซชีวภาพ เท่ากับ 29.42 39.65 และ 45.77 ล./วัน ความสามารถจำเพาะในการสร้างมีเทนของเม็ด  
ตะกอนมีค่าในช่วง 0.21-0.50 0.23-0.45 และ 0.21-0.47 ก.ซีโอดี-มีเทน/ก.วีเอสเอส-วัน ตามลำดับ เพิ่มภาวะบรรทุก  
สารอินทรีย์ที่ 40 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน พบว่า ความเร็วไหลขึ้น 7 ม./ชม. มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี และปริมาณ  
ก๊าซชีวภาพ ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับความเร็วไหลขึ้น 3 และ 5 ม./ชม. ความเร็วไหลขึ้นและภาวะบรรทุกสารอินทรีย์  
สูงทำให้เม็ดตะกอนหลุดออกจากกระบะได้ นอกจากนี้ยังมีผลต่อความสามารถจำเพาะในการสร้างมีเทนของเม็ด  
ตะกอนที่ลดลงด้วย

จากผลการศึกษางานวิจัยนี้ จะได้ว่าระบบอีจีเอสบีเป็นทางเลือกใช้ในการบำบัดน้ำเสียแป้งมันสำปะหลังที่  
ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์สูงถึง 40 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน โดยใช้ความเร็วไหลขึ้น 3-5 ม./ชม. ได้อย่างเหมาะสม

ภาควิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....ลายมือชื่อนิสิต.....  
สาขาวิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....  
ปีการศึกษา.....2548.....

ชวลิต รัตนธรรมสกุล  


## 4670742121 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEY WORD : EGSB / ANAEROBIC TREATMENT / TAPIOCA-STARCH WASTEWATER

SUWANNA KAJONPISAL : EFFICIENCY OF EGSB IN TREATING TAPIOCA-STARCH WASTEWATER. THESIS ADVISOR : ASST.PROF CHAVALIT RATANATAMSKUL, Ph.D., 305 pp. ISBN : 974-53-2645-3.

This research aims to study efficiency of EGSB in treating tapioca-starch wastewater, which contains high organic content. The research was divided into two experiments. The first experiment was done to investigate effect of organic loading rates at 10 20 and 40 kgCOD/m<sup>3</sup>-day with keeping upflow velocity at 3 m/hr. The second experiment was performed to investigate effect of upflow velocity on EGSB system performance. The upflow velocity were varied to 3 5 and 7 m/hr, while two organic loading rates at 20 and 40 kgCOD/m<sup>3</sup>-day were observed.

The wastewater employed in this research was from a tapioca-starch industry having COD of 18,400 mg/l. The influent to the EGSB system was prepared by dilution of raw wastewater to have COD concentration at 3,000 mg/l, while influent pH was approximately 7.

From the first experiment, it was found that COD removal efficiencies could be achieved higher than 92 percent even with organic loading rate upto 20 kgCOD/m<sup>3</sup>-day. When organic loading rate increased upto 40 kgCOD/m<sup>3</sup>-day, COD removal efficiency was slightly less than 90 percent. The biogas production was found to be 14.6 29.4 and 39.6 l/d at organic loading rates at 10 20 and 40 kgCOD/m<sup>3</sup>-day, respectively. Specific methanogenic activities of granular sludge were also in the ranges of 0.20-0.35 0.21-0.5 and 0.28-0.43 gCOD-methane/gVSS-d, respectively.

From the second experiment, it was found that COD removal efficiencies at COD loading rate of 20 kgCOD/m<sup>3</sup>-day were 93.5 95.3 and 94.4 percents with upflow velocities at 3 5 and 7 m/hr, respectively. The biogas production were 29.42 39.64 and 45.77 l/d, respectively. Specific methanogenic activities of sludge bed were in the range of 0.21-0.50 0.23-0.45 and 0.21-0.47gCOD-methane/gVSS-d, respectively. When COD loading rate was increased upto 40 kgCOD/m<sup>3</sup>-day, It was found that both COD removal and biogas production efficiencies were decreased at upflow velocity 7 m/hr, when compared to those of upflow velocity at 3 and 5 m/hr The reason was that higher upflow velocity and organic loading rate caused significant wash out of granular sludge from the system. Moreover, Specific methanogenic activities were also slightly decreased.

From overall results obtained in this study, EGSB system can be alternative wastewater treatment system for tapioca-starch wastewater since it can accept a very high organic loading upto 40 kgCOD/m<sup>3</sup>-day at upflow velocity of 3-5 m/hr.

Department.....Environmental Engineering.....Student's Signature.....*Suwanna*  
Field of study....Environmental Engineering.....Advisor's Signature.....*Chavalit Rattanatskul*  
Academic year..2005.....

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณพ่อและคุณแม่ที่ให้กำเนิด อบรมเลี้ยงดูมาทำให้มีชีวิตอย่างสมบูรณ์แบบ และด้วยความรักที่ยิ่งใหญ่นี้เป็นการช่วยเหลือในด้านต่างๆ เป็นกำลังใจที่ดีที่สุดเสมอมา ในโอกาสนี้คุณงามความดีที่ได้จากการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขอมอบให้ท่านทั้งสอง

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะไม่สำเร็จล่วงได้ถ้าปราศจากบุคคลสำคัญ คือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้ความกรุณาเสนอแนะหัวข้อวิทยานิพนธ์เรื่องนี้ นอกจากนี้ยังได้ให้ข้อคิดเห็น คำแนะนำ ตลอดจนสนับสนุนให้เกิดความก้าวหน้าอย่างยิ่งในเชิงวิชาการและการดำเนินการวิจัย ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. ฐเรศ ศรีสถิตย์ รองศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เขาวกิจเจริญ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริมา ปัญญาเมธีกุล ที่กรุณาให้คำแนะนำต่าง ๆ และช่วยแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ในภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ได้ให้ความรู้อันมีค่า ยิ่งแก่ผู้วิจัย และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการและเจ้าหน้าที่ธุรการ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือสนับสนุนด้วยดีตลอดมา

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งเห็นคุณค่าและสนับสนุนทุนในการวิจัยครั้งนี้จนกระทั่งสำเร็จล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณโรงงานแป้งมันบ้านโป่ง จ.ราชบุรี และห้างหุ้นส่วน สหมิตรแป้งมัน จำกัด จ.ชลบุรี ที่เอื้อเฟื้อน้ำเสียจากแป้งมันสำปะหลังมาใช้ในงานวิจัย และให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการเก็บน้ำเสีย

ขอขอบคุณโรงงานเส้นหมี่ชอเฮง ที่ให้ความอนุเคราะห์นำเม็ดตะกอนจุลินทรีย์เพื่อใช้ในงานวิจัย และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของโรงงานทุกท่านที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการเก็บเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

ขอขอบคุณครูปอง และ เพื่อน ๆ ที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ และเป็นกำลังใจให้มาตลอด

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 คำนำ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ความเป็นมาของอุตสาหกรรมการผลิตแอมโมเนีย.....	4
2.2 กระบวนการผลิตแอมโมเนีย.....	5
2.3 การบำบัดชีวภาพแบบไร้อากาศ.....	12
2.3.1 ชีวเคมีและจุลชีววิทยาของกระบวนการบำบัดน้ำเสีย แบบไร้อากาศ.....	13
2.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ.....	16
2.4 ก๊าซชีวภาพที่เกิดจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ.....	21
2.5 ระบบยูเอเอสบี.....	22
2.5.1 หลักการทำงานของระบบยูเอเอสบี.....	22
2.5.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบยูเอเอสบี.....	23
2.5.3 ข้อดีและข้อเสียของระบบยูเอเอสบี.....	24
2.6 ประเภทของเม็คตะกอนในถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี.....	25
2.6.1 โครงสร้างของแบคทีเรียในเม็คจุลชีพ.....	26
2.6.2 กระบวนการเกิดตะกอนเม็ค.....	29
2.6.3 เม็คตะกอนจุลินทรีย์ของน้ำเสียประเภทแป้ง.....	30
2.7 ความสำคัญของความเร็วไหลขึ้นต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย.....	31
2.8 ระบบอีจีเอสบี (Expanded Granular Sludge Bed).....	34
2.8.1 ความเป็นมาของระบบอีจีเอสบี.....	34

2.8.2 ลักษณะและการทำงานของระบบอีจีเอสบี.....	35
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	38
2.9.1 งานวิจัยที่เกี่ยวกับแป้งมันสำปะหลัง.....	38
2.9.2 งานวิจัยที่เกี่ยวกับยูเอเอสบี.....	40
2.9.3 งานวิจัยที่เกี่ยวกับอีจีเอสบี.....	42
บทที่ 3 การวางแผนการวิจัย.....	45
3.1 ข้อมูลแผนงานวิจัย.....	45
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	45
3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	45
3.2.2 การติดตั้งเครื่องมือและหลักการทำงานของระบบ.....	50
3.3 แผนทดลองงานวิจัย.....	50
3.4 การเตรียมน้ำเสีย.....	52
3.4.1 ส่วนประกอบน้ำเสีย.....	52
3.4.2 วิธีการเตรียมน้ำเสีย.....	53
3.5 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์.....	53
บทที่ 4 ผลการทดลอง และการวิจารณ์.....	56
4.1 การดำเนินการทดลอง.....	56
4.2 การศึกษาพารามิเตอร์ที่ใช้ติดตามการทำงานในช่วงเริ่มต้นเดินระบบ (Start up).....	56
4.3 การศึกษาประสิทธิภาพของระบบอีจีเอสบีที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างกัน (การทดลองช่วงที่ 1).....	60
4.3.1 การกระจายตัวของจุลินทรีย์ตามความสูงของถังปฏิกรณ์ (การทดลองช่วงที่ 1).....	87
4.3.2 การขยายตัวของชั้นตะกอน (การทดลองช่วงที่ 1).....	88
4.3.3 ความเร็วการตกตะกอน (การทดลองช่วงที่ 1).....	90
4.3.4 ความสามารถจำเพาะในการสร้างมีเทน (การทดลองช่วงที่ 1).....	93
4.3.5 ลักษณะของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (การทดลองช่วงที่ 1).....	98
4.3.5.1 ขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (การทดลองช่วงที่ 1).....	98
4.3.5.2 ผลของภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะ ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (การทดลองช่วงที่ 1).....	101
4.3.5.3 โครงสร้างของแบคทีเรียในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (การทดลองช่วงที่ 1).....	103



4.4 การศึกษาประสิทธิภาพของระบบอีจีเอสบีที่ความเร็วไหลขึ้นต่างกัน (การทดลองช่วงที่ 2).....	105
4.4.1 การกระจายตัวของจุลินทรีย์ตามความสูงของถังปฏิกรณ์ (การทดลองช่วงที่ 2).....	140
4.4.2 การขยายตัวของชั้นตะกอน (การทดลองช่วงที่ 2) .....	142
4.4.3 ความเร็วการตกตะกอน (การทดลองช่วงที่ 2) .....	146
4.4.4 ความสามารถจำเพาะในการสร้างมีเทน (การทดลองช่วงที่ 2).....	150
4.4.5 ลักษณะของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (การทดลองช่วงที่ 1).....	155
4.4.5.1 ขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (การทดลองช่วงที่ 1).....	155
4.4.5.2 ผลของภาวะบรรทุksารอินทรีย์ต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะ ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (การทดลองช่วงที่ 1).....	161
4.4.5.3 โครงสร้างของแบคทีเรียในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (การทดลองช่วงที่ 1).....	164
4.5 การวิเคราะห์ปริมาณก๊าซชีวภาพโดยเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์....	167
4.6 การวิเคราะห์พีเอชและสภาพค่างทั้งหมด.....	172
4.7 โครงสร้างทางเคมีการรวมตัวกันของเม็ดตะกอนในระบบอีจีเอสบี.....	175
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	178
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	178
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	179
รายการอ้างอิง.....	180
ภาคผนวก.....	186
ภาคผนวก ก ข้อมูลพารามิเตอร์ในงานวิจัย.....	187
ภาคผนวก ข การหาค่าความสามารถจำเพาะในการสร้างมีเทน (SMA).....	222
ภาคผนวก ค ข้อมูลการคำนวณสภาพค่างและพีเอช.....	245
ภาคผนวก ง การวิเคราะห์ขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์.....	249
ภาคผนวก จ ข้อมูลการกระจายตัวของจุลินทรีย์ตามความสูงของถังปฏิกรณ์.....	285
ภาคผนวก ฉ เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน.....	292
ภาคผนวก ช Energy Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometer.....	300
ภาคผนวก ซ ความสัมพันธ์ของ Stokes' law.....	302
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	305

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 คำนวณวัดผลงานด้านการปฏิบัติการของอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลัง..... 10

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของก๊าซมีเทน..... 21

ตารางที่ 2.3 ข้อดีและข้อเสียของระบบยูเอเอสบี..... 25

ตารางที่ 3.1 ความแตกต่างระหว่างงานวิจัยของผู้วิจัยและของพัชรินทร์ นันทิวาวัฒน์ (2546)..... 45

ตารางที่ 3.2 แผนการทดลองที่ใช้ในงานวิจัยช่วงที่ 1..... 52

ตารางที่ 3.3 แผนการทดลองที่ใช้ในงานวิจัยช่วงที่ 2..... 52

ตารางที่ 3.4 ข้อมูลเบื้องต้นของน้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง..... 53

ตารางที่ 3.5 ตัวอย่างและพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์..... 54

ตารางที่ 3.6 พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์และวิธีวิเคราะห์..... 55

ตารางที่ 4.1 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและบีโอดี (การทดลองช่วงที่ 1)..... 65

ตารางที่ 4.2 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยและของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย  
(การทดลองช่วงที่ 1)..... 70

ตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็น (การทดลองช่วงที่ 1)..... 73

ตารางที่ 4.4 สภาพต่างทั้งหมด กรดไขมันระเหย และกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด  
(การทดลองช่วงที่ 1)..... 77

ตารางที่ 4.5 พีเอช อุณหภูมิ และโออาร์พี (การทดลองช่วงที่ 1)..... 80

ตารางที่ 4.6 ปริมาณก๊าซชีวภาพ (การทดลองช่วงที่ 1)..... 82

ตารางที่ 4.7 เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน (การทดลองช่วงที่ 1)..... 82

ตารางที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์ประสิทธิภาพระบบจากผลการทดลอง  
ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 10 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ความเร็วไหลขึ้น 3ม./ชม..... 85

ตารางที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์ประสิทธิภาพระบบจากผลการทดลอง  
ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม..... 86

ตารางที่ 4.10 การขยายตัวของชั้นตะกอนจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบี  
ที่ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม..... 89

ตารางที่ 4.11 ความเร็วการตกตะกอน (การทดลองช่วงที่ 1)..... 91

ตารางที่ 4.12 ความสามารถจำเพาะในการสร้างมีเทน (การทดลองช่วงที่ 1)..... 95

ตารางที่ 4.13 ขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (การทดลองช่วงที่ 1)..... 99

ตารางที่ 4.14 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (การทดลองช่วงที่ 2)..... 107

ตารางที่ 4.15 ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดี (การทดลองช่วงที่ 2)..... 111

ตารางที่ 4.16 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย (การทดลองช่วงที่ 2)..... 114

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 แผนผังขั้นตอนการผลิตแอมโมเนียสำหรับผลิตแอมโมเนียมไนเตรตที่ไม่มีนํ้ากลับมาใช้ใหม่..... 8

รูปที่ 2.2 แผนผังขั้นตอนการผลิตแอมโมเนียสำหรับผลิตแอมโมเนียมไนเตรตที่มีนํ้ากลับมาใช้ใหม่..... 9

รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ..... 12

รูปที่ 2.4 การย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์พวกสร้างกรด..... 14

รูปที่ 2.5 อิทธิพลของอุณหภูมิต่ออัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ..... 17

รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอช ปริมาณความเข้มข้นของค่างไบคาร์บอเนต และความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์..... 18

รูปที่ 2.7 โครงสร้างของเม็ดจุลชีพในระบบยูเอเอสบี บำบัดน้ำเสียกลูโคส..... 26

รูปที่ 2.8 บทบาทของประจุไฟฟ้าและ อีซีพี ที่ส่งผลต่อการรวมตัวของแบคทีเรีย..... 28

รูปที่ 2.9 แผนผังส่วนประกอบของระบบยูเอเอสบี และ อีจีเอสบี โดยที่ พี คือ เครื่องสูบน้ำหมุนเวียน..... 35

รูปที่ 3.1 แบบจำลองถึงปฏิกรณ์อีจีเอสบี..... 47

รูปที่ 3.2 แผนผังการทำงานของกระบวนการอีจีเอสบี..... 48

รูปที่ 3.3 อุปกรณ์วัดก๊าซชีวภาพ..... 49

รูปที่ 3.4 การติดตั้งกระบวนการอีจีเอสบี..... 49

รูปที่ 3.5 แผนการทดลองงานวิจัยถึงปฏิกริยาที่ 1..... 51

รูปที่ 3.6 แผนการทดลองงานวิจัยถึงปฏิกริยาที่ 2..... 51

รูปที่ 4.1 ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เข้าระบบ..... 57

รูปที่ 4.2 การกำจัดซีโอดีของระบบ (เริ่มต้นเดินระบบ)..... 58

รูปที่ 4.3 ค่าสภาพค่าง (เริ่มต้นเดินระบบ)..... 59

รูปที่ 4.4 การกำจัดกรดไขมันระเหย (เริ่มต้นเดินระบบ)..... 59

รูปที่ 4.5 กรดไขมันระเหยต่อสภาพค่าง (เริ่มต้นเดินระบบ)..... 59

รูปที่ 4.6 พีเอชของระบบ (เริ่มต้นเดินระบบ)..... 60

รูปที่ 4.7 อุณหภูมิของระบบ (เริ่มต้นเดินระบบ)..... 60

รูปที่ 4.8 การกำจัดซีโอดี (การทดลองที่ 1)..... 62

รูปที่ 4.9 การกำจัดบีโอดี (การทดลองที่ 1)..... 64

รูปที่ 4.10 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและบีโอดี (การทดลองที่ 1)..... 65

รูปที่ 4.11 การกำจัดของแข็งแขวนลอย (การทดลองที่ 1).....	67
รูปที่ 4.12 การกำจัดของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย (การทดลองที่ 1).....	69
รูปที่ 4.13 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยและของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย (การทดลองที่ 1).....	70
รูปที่ 4.14 การกำจัดทีเคเอ็น (การทดลองที่ 1).....	72
รูปที่ 4.15 ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็น (การทดลองที่ 1).....	73
รูปที่ 4.16 สภาพค่าง (การทดลองที่ 1).....	74
รูปที่ 4.17 การกำจัดกรดไขมันระเหย (การทดลองที่ 1).....	75
รูปที่ 4.18 กรดไขมันระเหยต่อสภาพค่าง (การทดลองที่ 1).....	76
รูปที่ 4.19 ค่าพีเอช (การทดลองที่ 1).....	78
รูปที่ 4.20 ค่าอุณหภูมิ (การทดลองที่ 1).....	79
รูปที่ 4.21 ค่าไออาร์พี (การทดลองที่ 1).....	80
รูปที่ 4.22 ก๊าซชีวภาพ (การทดลองที่ 1).....	81
รูปที่ 4.23 ปริมาณก๊าซชีวภาพ (การทดลองที่ 1).....	82
รูปที่ 4.24 อัตราการผลิตก๊าซเฉลี่ย (การทดลองช่วงที่ 1).....	83
รูปที่ 4.25 ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบบิโอจีเอสบี (การทดลองที่ 1).....	88
รูปที่ 4.26 เปรอร์เซ็นต์การขยายตัวของชั้นตะกอนที่ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.....	89
รูปที่ 4.27 ผลของการขยายตัวของชั้นตะกอนจุลินทรีย์ที่มีต่อประสิทธิภาพของระบบ (การทดลองที่ 1).....	90
รูปที่ 4.28 ความเร็วการตกตะกอนของระบบ (การทดลองที่ 1).....	92
รูปที่ 4.29 ความเร็วการตกตะกอนสิ้นการทดลอง (การทดลองที่ 1).....	93
รูปที่ 4.30 ค่าเอสเอ็มเอ (สิ้นสุดการทดลอง).....	95
รูปที่ 4.31 ความสัมพันธ์ของค่าเอสเอ็มเอกับความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระบบบิโอจีเอสบี (การทดลองที่ 1).....	97
รูปที่ 4.32 ขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (การทดลองที่ 1).....	100
รูปที่ 4.33 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscopy, SEM) บริเวณผิวภายนอกและภายในของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (การทดลองที่ 1).....	102
รูปที่ 4.34 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscopy, SEM) โครงสร้างแบคทีเรียผิวภายนอกและภายในของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (การทดลองที่ 1).....	104
รูปที่ 4.35 การกำจัดซีโอดีของกระบวนการบิโอจีเอสบีที่ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.....	106



รูปที่ 4.63 อุณหภูมิของกระบวนการอีจีเอสบีที่ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.....	128
รูปที่ 4.64 อุณหภูมิของกระบวนการอีจีเอสบีที่ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.....	128
รูปที่ 4.65 อุณหภูมิของกระบวนการอีจีเอสบีที่ความเร็วไหลขึ้น 7 ม./ชม.....	128
รูปที่ 4.66 โออาร์พีของกระบวนการอีจีเอสบีที่ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.....	129
รูปที่ 4.67 โออาร์พีของกระบวนการอีจีเอสบีที่ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.....	129
รูปที่ 4.68 โออาร์พีของกระบวนการอีจีเอสบีที่ความเร็วไหลขึ้น 7 ม./ชม.....	129
รูปที่ 4.69 การกำจัดที่เคเอ็นของกระบวนการอีจีเอสบีที่ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.....	131
รูปที่ 4.70 การกำจัดที่เคเอ็นของกระบวนการอีจีเอสบีที่ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.....	132
รูปที่ 4.71 การกำจัดที่เคเอ็นของกระบวนการอีจีเอสบีที่ความเร็วไหลขึ้น 7 ม./ชม.....	132
รูปที่ 4.72 ประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นต่อความเร็วไหลขึ้น. (การทดลองที่ 2).....	133
รูปที่ 4.73 ก๊าซชีวภาพของกระบวนการอีจีเอสบีที่ความเร็วไหลขึ้น 3 ม./ชม.....	134
รูปที่ 4.74 ก๊าซชีวภาพของกระบวนการอีจีเอสบีที่ความเร็วไหลขึ้น 5 ม./ชม.....	134
รูปที่ 4.75 ก๊าซชีวภาพของกระบวนการอีจีเอสบีที่ความเร็วไหลขึ้น 7 ม./ชม.....	134
รูปที่ 4.76 ปริมาณก๊าซชีวภาพต่อความเร็วไหลขึ้น (การทดลองที่ 2).....	135
รูปที่ 4.77 อัตราการผลิตก๊าซเฉลี่ยต่อความเร็วไหลขึ้น (การทดลองช่วงที่ 2).....	136
รูปที่ 4.78 ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบี (การะบรทุกสารอินทรีย์ 20 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน).....	140
รูปที่ 4.79 ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบี (การะบรทุกสารอินทรีย์ 40 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน).....	142
รูปที่ 4.80 การขยายตัวของชั้นตะกอนต่อความเร็วไหลขึ้น (การทดลองที่ 2).....	143
รูปที่ 4.81 ผลของการขยายตัวของชั้นตะกอนจุลินทรีย์ที่มีต่อประสิทธิภาพของระบบ.....	145
รูปที่ 4.82 ความเร็วการตกตะกอน (การทดลองที่ 2).....	148
รูปที่ 4.83 ความสัมพันธ์ของความเร็วการตกตะกอนและความเร็วไหลขึ้น (เฉพาะจบการทดลอง).....	149
รูปที่ 4.84 ความสัมพันธ์ค่าเอสเอ็มเอกับความเร็วไหลขึ้น.....	152
รูปที่ 4.85 ค่าเอสเอ็มเอของการทดลอง (การทดลองที่ 2).....	153
รูปที่ 4.86 ความสัมพันธ์ของค่าเอสเอ็มเอกับความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบี (การทดลองที่ 2).....	154
รูปที่ 4.87 ขนาดของเม็ดตะกอน (การทดลองที่ 2).....	158
รูปที่ 4.88 ขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (การทดลองช่วงที่ 2).....	160

รูปที่ 4.89 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscopy, SEM) ลักษณะของผิวภายนอกและภายในของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่รับภาระบรรทุก สารอินทรีย์ 20 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน.....	162
รูปที่ 4.90 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscopy, SEM) ลักษณะของผิวภายนอกและภายในของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่รับภาระบรรทุก สารอินทรีย์ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน.....	163
รูปที่ 4.91 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscopy, SEM) โครงสร้างแบบคทีเรียผิวภายนอกและภายในของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ภาระบรรทุก สารอินทรีย์ 20 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน.....	165
รูปที่ 4.92 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscopy, SEM) โครงสร้างแบบคทีเรียผิวภายนอกและภายในของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ภาระบรรทุก สารอินทรีย์ 40 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน.....	166