

การพัฒนาระบบอีซีไอเอสปี - ถังกรองชีวภาพสำหรับการบำบัดน้ำเสียสะพานปลา



นางสาวกัลยาณี เกษเมธีการุณ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-4659-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF EGSB - BIOFILTER SYSTEM FOR
TREATMENT OF FISH PIER WASTEWATER

Miss Kanlayanee Ketmeteekaroon

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

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2003

ISBN 974-17-4659-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การพัฒนาระบบอีจีเอสพี-ถังกรองชีวภาพสำหรับการบำบัดน้ำเสีย
สะพานปลา

โดย

นางสาวกัลยาณี เกษเมธีการุณ

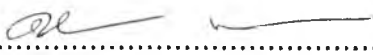
สาขาวิชา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

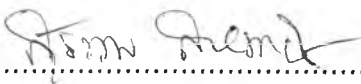
อาจารย์ที่ปรึกษา


ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล

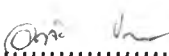
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพล สายพานิช)


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


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ อรทัย ขวาลภาฤทธิ์)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.เขมรัฐ ไอสถาพันธุ์)

กัลยาณี เกษเมธีกาญจน์ : การพัฒนาระบบอีจีเอสบี - ถังกรองชีวภาพสำหรับการบำบัดน้ำเสีย
 สะพานปลา (DEVELOPMENT OF EGSB - BIOFILTER SYSTEM FOR TREATMENT OF
 FISH PIER WASTEWATER) อ.ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล ,
 167 หน้า. ISBN 974-17-4659-8.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงความเป็นไปได้ของการใช้ระบบอีจีเอสบีร่วมกับถังกรองชีวภาพสำหรับบำบัดน้ำ
 เสียสะพานปลาที่มีค่าซีโอดีและไนโตรเจนที่สูง รวมทั้งมีความเค็ม โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 ช่วง คือช่วงแรกจะ
 ทำการศึกษาประสิทธิภาพของระบบอีจีเอสบี เมื่อมีการเปลี่ยนค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์เป็น 6, 9 และ 12 กก.ซีโอดี/
 ลบ.ม.-วัน โดยกำหนดความเร็วไหลขึ้นในถังปฏิกรณ์ 3 ค่า คือ 3, 5 และ 7 ม./ชม. และในช่วงที่ 2 ทำการศึกษาระบบ
 ถังกรองชีวภาพที่มีการเปลี่ยนอัตราส่วนช่วงแอนนออกซิกต่อออกซิกเท่ากับ 1 : 1 และ 2 : 1 เมื่อต่อเข้ากับระบบ
 อีจีเอสบีที่เลือกค่าที่เหมาะสมจากช่วงแรก

น้ำเสียที่ใช้ในงานวิจัยเป็นน้ำเสียจริงจากสะพานปลา จ.สมุทรสาคร โดยควบคุมค่าซีโอดีของน้ำเสียที่
 ป้อนเข้าระบบประมาณ 3000 มก./ล. มีอัตราการป้อนน้ำเสียเข้าเท่ากับ 4, 6 และ 8 ล./วัน ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์
 6, 9 และ 12 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ

ผลการทดลองช่วงแรก พบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเฉลี่ยของระบบอีจีเอสบีอยู่ในช่วง 80 - 95 %
 ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีเฉลี่ย 84 - 95 % และประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ย 53 - 63 % โดยที่
 ประสิทธิภาพของระบบอีจีเอสบีจะแปรตามความเร็วไหลขึ้นในถังปฏิกรณ์ แต่ที่ค่าความเร็วไหลขึ้นที่สูงส่งผลต่อการ
 ขยายตัวของชั้นตะกอนในถังปฏิกรณ์ ซึ่งทำให้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีโอกาสหลุดออกจากระบบได้ง่าย เมื่อพิจารณา
 แล้วจึงเลือกใช้ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 12 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และความเร็วไหลขึ้นที่ 3 ม./ชม.สำหรับการทดลอง
 ช่วงที่ 2

ผลการทดลองช่วงที่ 2 พบว่า ระบบถังกรองชีวภาพจะรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.9 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน
 เวลาพัก 16 ชม. โดยกำหนดอัตราส่วนการเวียนน้ำสำหรับถังกรองชีวภาพเท่ากับ 200 % ที่อัตราส่วนช่วงแอนนออกซิก
 ต่อออกซิกเท่ากับ 1 : 1 และ 2 : 1 ระบบถังกรองชีวภาพมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี และบีโอดีเท่ากับ คือ 86 %
 และ 93 % ตามลำดับ ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยอยู่ในช่วง 72 - 75 % ที่อัตราส่วนช่วงแอนนออกซิกต่อ
 ออกซิกเท่ากับ 1 : 1 มีประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนรวม 37 % และที่อัตราส่วนช่วงแอนนออกซิกต่อออกซิกเท่ากับ
 2 : 1 มีประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนรวม 45 %

ดังนั้นระบบอีจีเอสบี - ถังกรองชีวภาพ จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการบำบัดน้ำเสียสะพานปลา โดยมี
 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีรวมสูงถึง 97 % ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีรวม 99 % ประสิทธิภาพการกำจัด
 ของแข็งแขวนลอยรวม 88 % และประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนรวม 48 %

ภาควิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....ลายมือชื่อนิสิต.....กัลยาณี เกษเมธีกาญจน์.....
 สาขาวิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
 ปีการศึกษา.....2546.....

4470682021 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEY WORD : EGSB / BIOFILTER / FISH PIER WASTEWATER / UASB

KANLAYANEE KETMETEEKAROON : DEVELOPMENT OF EGSB - BIOFILTER SYSTEM FOR TREATMENT OF FISH PIER WASTEWATER. THESIS ADVISOR : ASST.PROF.CHAVALIT RATANATAMSKUL, Ph.D.,167 pp. ISBN 974-17-4659-8.

This research was studied for the feasibility to use EGSB - Biofilter for the treatment system, COD, and high concentrate nitrogen with salinity of Fish Pier wastewater. There was consisted of two experiments. The first experiment studied of EGSB efficiency for removal of COD, BOD and suspended solid by the comparison of organic loading at 6, 9 and 12 kg.COD/m³-day at the condition of upflow velocity to 3, 5 and 7 m./hr. The second experiment studied of the ratio of anoxic : oxic was 1 : 1 and 2 : 1 of Biofilter when connected to the appropriated value from the first experiment of EGSB.

This Fish Pier wastewater was from the Fish Pier wastewater in Samutrsakorn Province that had COD control with frow rate about 3000 mg./l. The average of feed flow rate was 4, 6 and 8 l./day at organic loading 6, 9 and 12 kg.COD/m³-day, respectively.

The first experiment indicated of the EGSB system efficiency of COD removal about 80 - 95 %, BOD removal about 84 - 85 % and suspended solid removal about 53 - 63 %. The efficiency of EGSB was dependened on the upflow velocity. However the high upflow velocity bring to extension of sludge bed and wash out of granule sludge. This research used the organic loading at 12 kg.COD/m³-day and upflow velocity was 3 m./hr. in the second experiment.

The second experiment indicated the organic loading at 0.9 kg.COD/m³-day and retention times at 16 hr. for the Biofilter system, set recirculate at 200 % for the ratio of anoxic : oxic was 1 : 1 and 2 : 1. The efficiency of COD and BOD removal was 86 % and 93 %, respectively, efficiency of suspended solid removal was 72 - 75 %. Total nitrogen removal was 37 % at the ratio of anoxic : oxic was 1 : 1, while the ratio of anoxic : oxic was 2 : 1 had efficiency of total nitrogen removal was 45 %

Therefore, EGSB - Biofilter system was the good choice of Fish Pier wastewater treatment with performance in over all terms of COD removal at 97 %, BOD removal at 99 %, suspended solid removal was 88 % and total nitrogen removal 48 %.

Department...Environmental Engineering.....

Field of Study ... Environmental Engineering...

Academic year...2003.....

Student's signature...*Kanlayanee K.*
Advisor's signature...*Chavalit Rattll*

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งได้มอบความรู้ และคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย ตลอดจนให้การสนับสนุน และช่วยเหลือในด้านต่างๆ

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพล สายพานิช รองศาสตราจารย์อรทัย ขวาลภาฤทธิ์ และอาจารย์ ดร.เขมรัฐ โอสถาพันธุ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำต่างๆ และช่วยแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดความรู้ซึ่งเป็นประโยชน์แก่ผู้ทำวิจัย และทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้

ขอขอบคุณองค์การสะพานปลา จังหวัดสมุทรสาคร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ที่อนุญาตให้นำน้ำเสียมาใช้ในการทำวิจัย และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกในการเก็บน้ำเสีย

ขอขอบคุณโรงงานแปซิฟิก มาร์ริน ซีฟู้ด จำกัด ที่ให้เมล็ดตะกอนจุลินทรีย์เพื่อใช้ในการวิจัย

ขอขอบคุณคุณวรินทร์ และคุณอัจฉริย สินทะเกิด ที่ให้ความช่วยเหลือในการขนเมล็ดตะกอนจุลินทรีย์ และน้ำเสียที่ใช้ในการวิจัยอย่างต่อเนื่อง พร้อมทั้งคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อผู้วิจัยเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณคุณอัมภวรรณ และบริษัทอาร์เคมีก้าค ที่ให้การอนุเคราะห์อุปกรณ์และสารเคมีในการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ไนโตรเจนในเตรท และไนเตรท เพื่อความสมบูรณ์ของข้อมูลในงานวิจัย

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการและเจ้าหน้าที่ธุรการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ได้ช่วยเหลือสนับสนุนด้วยดีตลอดงานวิจัย

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ทุนสนับสนุนเพื่อใช้ในการงานวิจัย

ขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ นิสิตปริญญาโททุกคนที่ให้คำแนะนำ ถ่ายทอดประสบการณ์แนวทางการทำงานวิจัย คอยช่วยเหลือ และให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ด้วยดีตลอดมา อันทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อและคุณแม่ รวมถึงญาติพี่น้องของผู้วิจัยที่เป็นกำลังใจสำคัญ และให้ความรักความช่วยเหลือในทุกด้าน ประโยชน์อันใดที่ได้จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขอมอบให้ท่านซึ่งดูแลเลี้ยงดูและคอยตักเตือนจนผู้วิจัยสามารถผ่านพ้นอุปสรรคต่างๆ มาได้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและแนวความคิด	3
2.1 กลไกการย่อยสลายสารอินทรีย์ของกระบวนการไร้อากาศ	3
2.2 ระบบยูเอเอสบี (Upflow anaerobic sludge blanket, UASB)	9
2.2.1 ลักษณะและการทำงานของระบบยูเอเอสบี	10
2.2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบยูเอเอสบี	13
2.2.3 กลไกการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์	19
2.2.4 โครงสร้างของแบคทีเรียในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์	21
2.2.5 ความสำคัญของการหมุนเวียนน้ำกลับในระบบยูเอเอสบี	23
2.3 ระบบอีจีเอสบี (Expanded Granular Sludge Bed, EGSB)	25
2.4 การกำจัดไนโตรเจน	28
2.4.1 กระบวนการไนตริฟิเคชัน	29
2.4.2 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการไนตริฟิเคชัน	30
2.4.3 กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน	32
2.4.4 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน	34
2.5 กระบวนการบำบัดด้วยกระบวนการฟิล์มชีวภาพ (Biofilm)	36
2.5.1 กลไกการถ่ายเทมวลและการกำจัดสารอินทรีย์	37
2.5.2 ลักษณะของตัวกลางและฟิล์มชีวภาพ	38
2.6 ลักษณะและปริมาณของน้ำเสียจากสะพานปลา	39

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7 การศึกษาที่ผ่านมา	40
2.7.1 การศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับระบบยูเอเอสบี	40
2.7.2 การศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับระบบอีจีเอสบี	41
2.7.3 การศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับกระบวนการฟิล์มชีวภาพ	42
2.7.4 การศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับผลกระทบของความเค็มในน้ำเสีย	44
บทที่ 3 การวางแผนการวิจัย	46
3.1 แผนการทดลอง	46
3.1.1 ทดลองเดินระบบอีจีเอสบี	46
3.1.2 ทดลองเดินระบบอีจีเอสบี - ถังกรองชีวภาพ	47
3.2 การเตรียมน้ำเสีย	48
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	48
3.4 การติดตั้งเครื่องมือและหลักการทำงาน	52
3.5 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์	54
3.6 การควบคุมการทดลอง	55
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	56
4.1 การเริ่มดำเนินการวิจัย	56
4.2 ผลการทดลองการศึกษาประสิทธิภาพของระบบอีจีเอสบี	57
4.2.1 ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 6 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน	57
4.2.1 ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 9 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน	64
4.2.3 ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ 12 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน	70
4.3 วิจารณ์ผลการทดลองของระบบอีจีเอสบี	76
4.4 ผลของความเร็วไหลขึ้นต่อประสิทธิภาพของระบบอีจีเอสบี	88
4.5 การขยายตัวของชั้นเม็ดตะกอนจุลินทรีย์	90
4.6 ก๊าซชีวภาพ	91
4.7 ผลของค่าภาวะบรรทุกสารอินทรีย์และความเร็วไหลขึ้นต่อปริมาณก๊าซมีเทน	96
4.8 เม็ดตะกอนจุลินทรีย์	98
4.8.1 ลักษณะของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์	98
4.8.2 ขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์	101

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.9 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลองการศึกษาประสิทธิภาพของระบบ อีจีเอสบี - ถังกรองชีวภาพ	103
4.10 มวลจุลินทรีย์ที่เกาะตัวกลาง	123
4.11 ลักษณะของจุลินทรีย์ที่พบในระบบ	124
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	129
5.1 สรุปผลการทดลอง	129
5.2 ข้อเสนอแนะ	130
รายการอ้างอิง	131
ภาคผนวก.....	136
ภาคผนวก ก ข้อมูลพารามิเตอร์ในการวิจัย	137
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ปริมาณมวลจุลินทรีย์ที่เกาะผิวตัวกลาง	163
ภาคผนวก ค มาตรฐานน้ำทิ้งสะพานปลา	165
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	167

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ข้อดีข้อเสียของระบบยูเอเอสบี	10
2.2 วัตถุประสงค์ในการติดตั้ง GSS device สำหรับระบบยูเอเอสบี	12
2.3 ความเข้มข้นที่กระตุ้นและยับยั้งอีออนบวก	16
2.4 แสดงความเข้มข้นของโลหะหนักที่มีผลต่อระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนในการยับยั้ง ประสิทธิภาพ 50 %	16
2.5 ผลของแอมโมเนียไนโตรเจนที่มีต่อระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน	17
2.6 ข้อมูลปริมาณน้ำเสียของตัวแทนท่าเทียบเรือ/สะพานปลาที่สำรวจ	40
3.1 รายละเอียดการทดลองที่ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ	46
3.2 แสดงอัตราการสูบน้ำกลับที่แปรตามความเร็วในการไหลขึ้นในถังปฏิกรณ์และ ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ	47
3.3 แสดงอัตราส่วนช่วงแอนอกซิก : ออกซิก ของระบบถังกรองชีวภาพ	47
3.4 พารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำเสียสะพานปลาสมุทรสาคร	48
3.5 การเก็บตัวอย่างและพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์	54
3.6 วิธีการวิเคราะห์	55
4.1 ผลการทดลองของระบบอีจีเอสบีที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 6 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน	59
4.2 ผลการทดลองของระบบอีจีเอสบีที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 9 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน	65
4.3 ผลการทดลองของระบบอีจีเอสบีที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 12 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน	71
4.4 สรุปค่าเฉลี่ยของซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบอีจีเอสบี	77
4.5 สรุปค่าเฉลี่ยของบีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีของระบบอีจีเอสบี	78
4.6 สรุปค่าเฉลี่ยของของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย ของระบบอีจีเอสบี	79
4.7 สรุปค่าเฉลี่ยของปริมาณก๊าซและอัตราการผลิตก๊าซของระบบอีจีเอสบี	81
4.8 สรุปค่าเฉลี่ยของทีเคเอ็นและประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นของระบบอีจีเอสบี	82
4.9 สรุปค่าเฉลี่ยของกรดไขมันระเหย สภาพต่าง และอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อ สภาพต่างของระบบอีจีเอสบี	83
4.10 สรุปค่าเฉลี่ยของพีเอชและไออาร์พีของระบบอีจีเอสบี	85
4.11 สรุปค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิของระบบอีจีเอสบี	86
4.12 สรุปค่าเฉลี่ยของความเค็มของระบบอีจีเอสบี	87

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.13 ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจากการแปรค่าซีโอดีที่ถูกกำจัดต่างๆ โดยน้ำเสียโปรตีน	95
4.14 สรุปผลของส่วนประกอบของก๊าซและปริมาณก๊าซมีเทน	97
4.15 ผลการวัดขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ D10, D50 และD90	102
4.16 ผลการทดลองของระบบอีจีเอสบีร่วมกับถังกรองชีวภาพ	104
4.17 สรุปค่าเฉลี่ยของซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบอีจีเอสบี - ถังกรองชีวภาพ	106
4.18 สรุปค่าเฉลี่ยของบีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีของระบบอีจีเอสบี - ถังกรองชีวภาพ	108
4.19 สรุปค่าเฉลี่ยของของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย ของระบบอีจีเอสบี - ถังกรองชีวภาพ	109
4.20 สรุปค่าทีเคเอ็น แอมโมเนีย และอินทรีย์ไนโตรเจนของระบบอีจีเอสบี - ถังกรองชีวภาพ ...	111
4.21 สรุปค่าเฉลี่ยของทีเคเอ็นและประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นของระบบอีจีเอสบี - ถังกรองชีวภาพ	112
4.22 สรุปค่าเฉลี่ยของไนโตรเจนรวมและประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนรวมของระบบ อีจีเอสบี - ถังกรองชีวภาพ	114
4.23 สรุปค่าเฉลี่ยของกรดไขมันระเหยของระบบอีจีเอสบี - ถังกรองชีวภาพ	116
4.24 สรุปค่าเฉลี่ยของสภาพต่างของระบบอีจีเอสบี - ถังกรองชีวภาพ	118
4.25 สรุปค่าเฉลี่ยของพีเอชของระบบอีจีเอสบี - ถังกรองชีวภาพ	119
4.26 สรุปค่าเฉลี่ยของไออาร์พีของระบบอีจีเอสบี - ถังกรองชีวภาพ	119
4.27 สรุปค่าเฉลี่ยของค่าออกซิเจนละลายของระบบอีจีเอสบี - ถังกรองชีวภาพ	120
4.28 สรุปค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิของระบบอีจีเอสบี - ถังกรองชีวภาพ	121
4.29 สรุปค่าเฉลี่ยของความเค็มของระบบอีจีเอสบี - ถังกรองชีวภาพ	123
4.30 สรุปค่ามวลจุลินทรีย์ที่เกาะผิวตัวกลางในถังกรองชีวภาพ	124
4.31 สรุปค่าการกำจัดไนโตรเจนรวมของถังกรองชีวภาพ	124

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ปฏิกริยารีดอกซีในการบำบัดน้ำเสีย	3
2.2 ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยกระบวนการไร้ออกซิเจน	4
2.3 ชนิดของสารตั้งต้น และผลิตภัณฑ์ได้จากขั้นตอน hydrolysis และเอนไซม์ที่ใช้	6
2.4 แสดงการย่อยสลายของแป้งภายใต้สภาวะ Low และ High hydrogen partial pressure ...	7
2.5 แสดงลักษณะทั่วไปของถังปฏิกรณ์แบบยูเอเอสบี	11
2.6 แสดงการเพิ่มขึ้นของปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ และภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ระหว่าง ขั้นตอนการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในถังยูเอเอสบี	20
2.7 แสดงปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ตามความสูงของถังยูเอเอสบี	20
2.8 แสดงโครงสร้างของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบีบำบัดน้ำเสียกลูโคส	21
2.9 แสดงโครงสร้างและความหนาแน่นของแบคทีเรียในน้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรต.....	23
2.10 ระบบไร้อากาศที่รับภาระบรรทุกลสูงประเภทต่างๆ รวมทั้งระบบที่ได้พัฒนาขึ้นมาใหม่	25
2.11 แผนผังส่วนประกอบของระบบยูเอเอสบีและอีจีเอสบี	26
2.12 กระบวนการเปลี่ยนแปลงรูปของไนโตรเจนทางชีวภาพ	28
2.13 ผลกระทบของค่าความเป็นด่างต่อกระบวนการไนตริฟิเคชัน	31
2.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราดีไนตริฟิเคชันกับอุณหภูมิ	34
2.15 กระบวนการเคลื่อนย้ายภายในผิวชั้นฟิล์มชีวภาพแบบหลายพันธ์	36
2.16 แสดงการถ่ายเทมวลที่เกิดขึ้นในฟิล์มชีวภาพ	37
2.17 กิจกรรมและการเกิดน้ำเสียจากกิจกรรมภายในพื้นที่ทำเทียบเรือประมง, สะพานปลา และแพปลา	39
3.1 แบบจำลองถังปฏิกรณ์อีจีเอสบี.....	50
3.2 แบบจำลองถังกรองชีวภาพ	51
3.3 ลักษณะของตัวกลางที่ใช้ในการทดลอง	52
3.4 การติดตั้งถังปฏิกรณ์อีจีเอสบี	52
3.5 การติดตั้งถังกรองชีวภาพ	53
4.1 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 6 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน	60
4.2 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 9 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน	66
4.3 ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ภาวะบรรทุกลสารอินทรีย์ 12 กก.ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน	72
4.4 ค่าซีไอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีเฉลี่ยในช่วงสภาวะคงตัวของระบบอีจีเอสบี	77

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5 ค่าบีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีเฉลี่ยในช่วงสภาวะคงตัวของระบบอีจีเอสบี	78
4.6 ค่าของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยในช่วงสภาวะคงตัวของระบบอีจีเอสบี	80
4.7 ปริมาณก๊าซทั้งหมดและอัตราการผลิตก๊าซเฉลี่ยในช่วงสภาวะคงตัวของระบบอีจีเอสบี	81
4.8 ค่าที่เคเอ็นและประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นเฉลี่ยในช่วงสภาวะคงตัวของระบบอีจีเอสบี	82
4.9 ค่ากรดไขมันระเหย สภาพต่าง และอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างเฉลี่ยในช่วงสภาวะคงตัวของระบบอีจีเอสบี	84
4.10 ค่าพีเอชและไออาร์พีเฉลี่ยในช่วงสภาวะคงตัวของระบบอีจีเอสบี	85
4.11 ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยในช่วงสภาวะคงตัวของระบบอีจีเอสบี	86
4.12 ค่าความเค็มเฉลี่ยในช่วงสภาวะคงตัวของระบบอีจีเอสบี	88
4.13 ความสัมพันธ์ของความเร็วไหลขึ้นต่อประสิทธิภาพของระบบอีจีเอสบี	89
4.14 ความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์การขยายตัวของชั้นตะกอนกับความเร็วไหลขึ้น	90
4.15 แสดงความสูงของการขยายตัวของชั้นตะกอนภายในถังปฏิกรณ์.....	90
4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างซีโอดีที่ถูกกำจัดและปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจากการใช้น้ำเสียโปรตีน ..	96
4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์และความเร็วไหลขึ้นกับปริมาณก๊าซมีเทน	97
4.18 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ก่อนทำการทดลอง	99
4.19 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์หลังทำการทดลอง	100
4.20 กราฟผลการวัดขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์	101
4.21 กราฟการกระจายขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบี	102
4.22 ค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบอีจีเอสบี - ถังกรองชีวภาพ	106
4.23 ค่าบีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีของระบบอีจีเอสบี - ถังกรองชีวภาพ	107
4.24 ค่าของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยของระบบอีจีเอสบี - ถังกรองชีวภาพ	109
4.25 ค่าที่เคเอ็นและประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นของระบบอีจีเอสบี - ถังกรองชีวภาพ	112
4.26 ค่าไนโตรเจนและไนเตรทของระบบอีจีเอสบี - ถังกรองชีวภาพ	113

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.27 ค่าไนโตรเจนรวมและประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนรวมของระบบ อีจีเอสบี - ถังกรองชีวภาพ	115
4.28 ค่ากรดไขมันระเหยของระบบอีจีเอสบี - ถังกรองชีวภาพ	116
4.29 ค่าสภาพต่างของระบบอีจีเอสบี - ถังกรองชีวภาพ	117
4.30 ค่าพีเอชของระบบอีจีเอสบี - ถังกรองชีวภาพ	118
4.31 ค่าไออาร์พีของระบบอีจีเอสบี - ถังกรองชีวภาพ	120
4.32 ค่าออกซิเจนละลายของระบบอีจีเอสบี - ถังกรองชีวภาพ	121
4.33 ค่าอุณหภูมิของระบบอีจีเอสบี - ถังกรองชีวภาพ	122
4.34 ค่าความเค็มของระบบอีจีเอสบี - ถังกรองชีวภาพ	123
4.35 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะตัวกลางก่อนทำการทดลอง	125
4.36 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะจุลินทรีย์ที่เกาะผิวตัวกลางในถังกรองชีวภาพ หลังทำการทดลองในช่วงที่ไม่มีการเติมอากาศ	126
4.37 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะจุลินทรีย์ที่เกาะผิวตัวกลางในถังกรองชีวภาพ หลังทำการทดลองในช่วงที่มีการเติมอากาศ	127
4.38 ภาพถ่าย SEM แสดงลักษณะจุลินทรีย์ที่แขวนลอยในถังกรองชีวภาพ	128