

ผลของเม็ดตะกอนหัวเชื้อจุลินทรีย์จากแหล่งต่างกันต่อการเดินระบบ อีจีเอสบีในการบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นต่ำ



นายปรีชา ทดนาที

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-6466-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 219.414 B2

28 08 2549

EFFECT OF DIFFERENT TYPE OF SEED GRANULAR SLUDGE ON OPERATION
OF EGSB SYSTEM IN TREATING LOW STRENGTH WASTEWATER.

Mr.Preecha Todnatee

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 2004

ISBN 974-17-6466-9


หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของเม็ดตะกอนหัวเชื้อจุลินทรีย์จากแหล่งต่างกันต่อการเดินระบบอีจีเอสบีในการบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นต่ำ

โดย นายปรีชา ทดนาที


สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม


อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ขวลิต รัตนธรรมสกุล

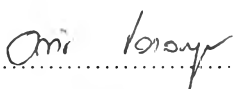
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต



..... คณะบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวันยศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุธา ชาวเขียว)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ขวลิต รัตนธรรมสกุล)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ อรทัย ขวาลภาฤทธิ์)


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

ปริษา ทดนาที่ : ผลของเม็ดตะกอนหัวเชื้อจุลินทรีย์จากแหล่งต่างกันต่อการเดินระบบอีจีเอสบี
ในการบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นต่ำ(EFFECT OF DIFFERENT TYPE OF SEED GRANULAR
SLUDGE ON OPERATION OF EGSB SYSTEM IN TREATING LOW STRENGTH
WASTEWATER) อ. ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล, 181 หน้า.

ISBN 974-17-6466-9.

งานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของระบบอีจีเอสบีร่วมกับเม็ดตะกอนหัวเชื้อจุลินทรีย์จากแหล่ง
ต่างกันในการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีความเข้มข้นต่ำ แบ่งการทดลองเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงแรกเป็นการศึกษาช่วงเริ่มต้น
ระบบ โดยศึกษาผลของการใช้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์จากน้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรตและเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จาก
น้ำเสียประเภทโปรตีนต่อประสิทธิภาพของระบบอีจีเอสบี ช่วงที่สองเป็นการศึกษาผลของความเร็วไหลขึ้นต่อประสิทธิ
ภาพการกำจัดสารอินทรีย์และการเปลี่ยนแปลงของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ กำหนดความเร็วไหลขึ้นเท่ากับ 3.5,5.7 และ
10ม./ชม. และศึกษาผลการเติมโคบอลต์และแคลเซียมต่อประสิทธิภาพของระบบอีจีเอสบี รวมไปถึงการเปลี่ยนแปลง
ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ โดยกำหนดอัตราส่วนซีโอติน้ำเข้าต่อแคลเซียมต่อโคบอลต์ที่เดิมประมาณ 100:0.3:0.008

ผลการศึกษาช่วงแรก พบว่า ระบบอีจีเอสบีที่ใช้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์จากแหล่งน้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรต
และโปรตีน สามารถปรับตัวเข้าสู่สภาวะคงตัว ประมาณ 30 วันหลังจากเริ่มต้นระบบ ส่วนประสิทธิภาพการกำจัดซีโอ
ตินในช่วงสภาวะคงตัวมีค่าเท่ากับร้อยละ 72 และร้อยละ 74 สำหรับระบบอีจีเอสบีที่ใช้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์จากแหล่ง
น้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรตและโปรตีน ตามลำดับ ที่ความเร็วไหลขึ้นคงที่ 7 ม./ชม.ซึ่งเป็นความเร็วไหลขึ้นที่มี
ประสิทธิภาพสูงสุด จากผลการทดลอง พบว่าระบบอีจีเอสบีที่ใช้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์จากแหล่งน้ำเสียประเภท
คาร์โบไฮเดรตและโปรตีนมีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ใกล้เคียงกัน

ผลการศึกษาช่วงที่สอง พบว่า ระบบอีจีเอสบีที่ใช้ร่วมกับเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จากแหล่งน้ำเสียประเภท
คาร์โบไฮเดรตที่ความเร็วไหลขึ้น 3.5,5.7 และ 10 ม./ชม. มีค่าบีโอดีในน้ำออกเท่ากับ 33,28,27 และ 30 มก./ล.
ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีร้อยละ 61, 65, 66และ 63 ตามลำดับ และระบบอีจีเอสบีที่ใช้ร่วมกับ
เม็ดตะกอนจุลินทรีย์จากแหล่งน้ำเสียประเภทโปรตีน ที่ความเร็วไหลขึ้น 3.5,5.7 และ10 ม./ชม. ชม. มีค่าบีโอดีในน้ำ
ออกเท่ากับ 31,27,26 และ29 มก./ล. ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีร้อยละ 62,67,68 และ 65
ตามลำดับ จากผลการทดลอง พบว่าค่าความเร็วไหลขึ้นที่ 7 ม./ชม. ทำให้ระบบอีจีเอสบีมีประสิทธิภาพกำจัด
สารอินทรีย์สูงสุดคือสามารถลดค่าบีโอดีในน้ำออกให้เหลือเพียง 26-27 มก./ล. ซึ่งมีค่าใกล้เคียงค่าบีโอดี 20 มก./ล.
ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคารจึงแนะนำความเร็วไหลขึ้นที่ 7ม./ชม.เป็นค่าที่เหมาะสมต่อการเดินระบบอีจีเอสบี

ขณะที่ภายหลังการเติมโคบอลต์และแคลเซียมเป็นเวลา 60 วัน ทำให้ระบบอีจีเอสบีมีประสิทธิภาพกำจัด
โอดีเพิ่มขึ้นร้อยละ 3-9 ประสิทธิภาพกำจัดบีโอดีเพิ่มขึ้นร้อยละ 7-11 และค่าความสามารถจำเพาะเพิ่มขึ้นร้อยละ
13- 57 ส่งผลให้ค่าบีโอดีน้ำออกเหลือเพียง 21-25 มก./ล. ซึ่งมีค่าใกล้เคียงค่าบีโอดี 20 มก./ล. ซึ่งเป็นมาตรฐานน้ำทิ้ง

ดังนั้น การใช้กระบวนการอีจีเอสบีร่วมกับเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จากน้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรตและโปรตีน
ต่างก็มีความเหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีความเข้มข้นต่ำ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ภาควิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา.....2547.....

4570414221 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEY WORD: EGSB / GRANULAR SLUDGE / LOW STRENGTH WASTEWATER

PREECHA TODNATEE : EFFECT OF DIFFERENT TYPE OF SEED GRANULAR SLUDGE ON OPERATION OF EGSB SYSTEM IN TREATING LOW STRENGTH WASTEWATER. THESIS ADVISOR :ASST.PROF CHAVALIT RATANATAMSKUL, Ph.D., 181 pp. ISBN 974-17-6466-9.

This research was to study the efficiencies of applying Expanded Granular Sludge Bed (EGSB) system in association with different type of seed granular sludge in treating low strength wastewater. The study was divided into 2 experimental periods. The first period studied the start up of the system to investigate effect of seed granular sludge on operation of EGSB system. The second period studied effects of upflow velocity on efficiencies of EGSB system for organic removal and changing of seed granular sludge at upflow velocity 3.5,5,7 and 10 m/hr. In addition, the study was also to know the effect of addition of Co,Ca on efficiency of EGSB system at influent COD:calcium:cobalt ratio equal to 100:0.3:0.008.

From the results obtained from the first period, it was found that EGSB system with seed granular sludge from carbohydrate and protein wastewater could adjust to steady state within 30 days after start up period. COD removal efficiencies at steady state were 72 % and 74% for the EGSB system with seed granular sludge from carbohydrate and protein wastewater, respectively. Therefore, it was obvious that the EGSB system with seed granular sludge from carbohydrate and protein wastewater have similar high efficiency for organic removal.

From the results obtained from the second d 10 m./hr. had effluent BOD equaled to 33,28,27 and 30 mg/l that can calculate BOD removal efficiencies at steady state were 61,65,66 and 63 %, respectively. It was also found that EGSB system with seed granular sludge from protein wastewater at upflow velocity 3.5,5,7 and 10 m./hr. had effluent BOD equaled to 31,27,26 and 29 mg/l that can calculate BOD removal efficiencies at steady state were 62,67,68 and 65 %, respectively. From the results, it was also found that with upflow velocity of 7 m/hr, highest organic removal efficiency could be achieved. The treated effluent's BOD was 26-27 mg/l, which was closed to the building effluent standard of 20 mg/l. Therefore, the recommended upflow velocity of the system should be 7 m/hr

After addition of Co, Ca in EGSB system about 60 days that could increase of COD removal efficiency, BOD removal efficiency and SMA at 3-9 % , 7-11% and 13-57 %, respectively.

In summary, the EGSB system with seed granular sludge from carbohydrate and protein wastewater can be an appropriate technology for treatment of low strength wastewater.

Department.....Environmental Engineering.....Student's Signature.....
Field of study....Environmental Engineering.....Advisor's Signature.....
Academic year..2004.....

Preecha Todnatee
Chavalit Ratanatamskul

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เนื่องจากบุคคลสำคัญ คือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ขวลิต รัตนธรรมสกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้ความรู้ คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ ต่องานวิจัย ตลอดจนให้การสนับสนุน และช่วยเหลือในการจัดหาทุนในการวิจัยให้แก่ผู้วิจัยตลอดมา ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่งไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเขียว รองศาสตราจารย์ อรทัย ขวาลภาฤทธิ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริมา ปัญญาเมธีกุล ที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจทานวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์

ขอขอบคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมที่ได้ให้ความรู้แก่ผู้วิจัย และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการและเจ้าหน้าที่ธุรการ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งให้การสนับสนุนงานวิจัยครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณพี่วรินทร์ สินทะเกิด ที่ช่วยประสานงานรวมไปถึงโรงงานเส้นไหมี่ช.เอง และโรงงานแปซิฟิคมารีนฟู้ด ที่ให้ความอนุเคราะห์เมล็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้ในงานวิจัย

ขอขอบคุณพี่ๆเพื่อนๆน้องๆ ทุกคนในภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมที่ช่วยเหลือในขณะทำงานวิจัยตลอดมา

ขอขอบคุณพี่เอ็กซ์ พี่แชร พี่มิน โอิต ท็อป โก้ ที่ให้สละเวลาให้ความช่วยเหลือและช่วยออกแรงเตรียมงานวิจัย ตลอดจนเป็นเพื่อนที่ดี และให้กำลังใจผู้เขียนตลอดการทำงานวิจัยครั้งนี้

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนร่วมจากโครงการศูนย์วิจัยแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบุคคลที่สำคัญที่สุดในชีวิตคือ คุณพ่อ คุณแม่ ป้าป๊า माम้า พี่ๆ น้องๆที่บ้านที่ให้ความอบอุ่นและให้กำลังใจตลอดเวลาที่ผ่านมา จนกระทั่งการศึกษาครั้งนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

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 ขอบเขตการวิจัย.....	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 น้ำทิ้งชุมชน.....	3
2.1.1 องค์ประกอบน้ำทิ้งจากแหล่งชุมชน.....	3
2.1.2 ลักษณะสมบัติของน้ำทิ้งชุมชน.....	4
2.1.3 ปริมาณน้ำทิ้งชุมชน.....	5
2.1.4 การเก็บตัวอย่างน้ำและการวิเคราะห์น้ำเสีย.....	5
2.1.5 มาตรฐานที่ผ่านการบำบัดแล้ว.....	7
2.2 การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์แบบตะกอนเร่ง.....	9
2.3 กระบวนการไร้ออกซิเจน.....	10
2.4 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบี.....	14
2.4.1 กลไกการทำงานของระบบยูเอเอสบี.....	14
2.4.2 ข้อดีข้อเสียของระบบยูเอเอสบี.....	14
2.4.3 ลักษณะและหลักการทำงานของระบบยูเอเอสบี.....	15
2.4.4 ประเภทของ Granular Sludge ในระบบยูเอเอสบี.....	18
2.5 โครงสร้างของแบคทีเรียในเม็ดจุลชีพ.....	19
2.5.1 กระบวนการรวมตัวเป็นเม็ดจุลชีพ.....	21
2.5.2 กลไกการเกิดเม็ดตะกอนจุลชีพ.....	22
2.6 ปัจจัยที่มีผลการทำงานของระบบ ยูเอเอสบี.....	23

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6.1 อุณหภูมิ (Temperature).....	23
2.6.2 พีเอช (pH).....	23
2.6.3 ความเข้มข้นกรดอินทรีย์.....	24
2.6.4 ระดับสภาพต่างในรูปไบคาร์บอเนต	24
2.6.5 โออาร์พี (ORP).....	24
2.6.6 ประเภทสารอาหารในน้ำเสีย (Substrate).....	25
2.6.7 สารอาหารที่จำเป็น (Nutrients).....	25
2.6.8 สารพิษ (Toxic).....	25
2.7 ระบบอีจีเอสบี (Expanded Granular Sludge Bed, EGSB).....	27
2.8 การศึกษาที่ผ่านมา.....	31
2.8.1 การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการยูเอเอสบี.....	31
2.8.2 การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับระบบอีจีเอสบี.....	34
2.8.3 การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์.....	35
2.8.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเติมสารอาหาร.....	37
บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์ สารเคมี และวิธีดำเนินการวิจัย.....	39
3.1 แผนการทดลอง.....	39
3.2 การเตรียมน้ำเสีย.....	43
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	44
3.3.1 ถังพักน้ำเสีย.....	44
3.3.2 เครื่องสูบน้ำ.....	44
3.3.3 ถังปฏิกรณ์อีจีเอสบี.....	44
3.3.4 อุปกรณ์วัดก๊าซแบบแทนทีน้ำ.....	45
3.4 การติดตั้งเครื่องมือและหลักการทำงาน.....	45
3.5 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์.....	49

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง และการวิจารณ์.....	51
4.1 การดำเนินการทดลอง.....	51
4.2 การศึกษาความเหมาะสมของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จากแหล่งต่างกันในการบำบัด น้ำเสียชุมชนด้วยระบบอีจีเอสบี.....	52
4.2.1 ลักษณะเม็ดตะกอนจุลินทรีย์.....	52
4.2.2 ผลการเดินระบบในช่วงเริ่มต้นระบบ.....	55
4.2.3 วิจารณ์ผลการเดินระบบในช่วงเริ่มต้นระบบ.....	61
4.3 การศึกษาผลของความเร็วไหลขึ้นต่อประสิทธิภาพของระบบอีจีเอสบี.....	62
4.3.1 ผลของความเร็วไหลขึ้นที่มีต่อระบบอีจีเอสบี.....	63
4.3.2 วิจารณ์ผลของความเร็วไหลขึ้นที่มีต่อระบบอีจีเอสบี.....	79
4.4 การศึกษาผลการเติมโคบอลต์และแคลเซียมที่มีต่อประสิทธิภาพของระบบอีจีเอสบี.....	96
4.4.1 ผลการทดลองเติมโคบอลต์ และแคลเซียมต่อระบบอีจีเอสบี.....	96
4.4.2 วิจารณ์ผลการเติมโคบอลต์ และแคลเซียมที่มีต่อระบบอีจีเอสบี.....	116
4.5 วิเคราะห์ก๊าซชีวภาพ.....	125
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ.....	131
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	131
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	132
รายการอ้างอิง.....	133
ภาคผนวก.....	137
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	181

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ลักษณะน้ำทิ้งจากอาคารประเภทต่างๆของชุมชนในประเทศไทย.....4

ตารางที่ 2.2 อัตราน้ำเสีย และปริมาณบีโอดีจากอาคารในประเทศไทย.....6

ตารางที่ 2.3 ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรมและจากอาคารสูง.....16

ตารางที่ 2.4 การแบ่งประเภทและขนาดของสิ่งก่อสร้างที่อ้างอิงในตารางที่ 3.3.....8

ตารางที่ 2.5 แสดงวัตถุประสงค์ในการติดตั้งอุปกรณ์แยกสามสถานะ
 สำหรับระบบยูเอเอสบี.....18

ตารางที่ 3.1 ลักษณะของจุลินทรีย์.....41

ตารางที่ 3.2 ลักษณะตะกอนจุลินทรีย์จากน้ำเสียต่างชนิดกัน41

ตารางที่ 3.3 แผนการทดลองช่วงเริ่มต้นระบบ.....42

ตารางที่ 3.4 แผนการทดลองที่ 1.....43

ตารางที่ 3.5 แผนการทดลองที่ 2.....43

ตารางที่ 3.6 คุณสมบัติของน้ำเสียชุมชนจากอาคารเรียนที่ใช้ในการวิจัย.....45

ตารางที่ 3.7 พารามิเตอร์ที่วัด และความถี่ในการวิเคราะห์.....50

ตารางที่ 3.8 พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์และวิธีการที่ใช้วิเคราะห์.....51

ตารางที่ 4.1 ลำดับการทดลอง.....52

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงคุณสมบัติของตะกอนจุลินทรีย์.....53

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ หลังระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว (วันที่ 31-60) ...58

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองการทดลองที่ 1 ตะกอนชนิด A.....78

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองการทดลองที่ 1 ตะกอนชนิด B.....79

ตารางที่ 4.6 ผลของความเร็วไหลขึ้นต่อประสิทธิภาพของระบบอีจีเอสบี.....80

ตารางที่ 4.7 การขยายตัวของชั้นเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ความเร็วไหลขึ้นค่าต่างๆ.....82

ตารางที่ 4.8 ปริมาณของตะกอนจุลินทรีย์ตามความสูงของถังปฏิกรณ์.....94

ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองการทดลองที่ 2 (ตะกอนชนิด A).....108

ตารางที่ 4.10 ผลการทดลองการทดลองที่ 2 (ตะกอนชนิด B).....109

ตารางที่ 4.11 ค่าความสามารถจำเพาะในการสร้างมีเทนของเม็ดตะกอน (SMA)110

ตารางที่ 4.12 ผลของการเติมสารอาหารต่อประสิทธิภาพของระบบอีจีเอสบี.....116

ตารางที่ 4.13 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นเทียบกับค่าซีโอดีที่ถูกกำจัด.....129

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 การเจริญเติบโตของจุลชีพในถังปฏิกรณ์แบบแบดซ์.....	9
รูปที่ 2.2 ปฏิกริยารีดอกซ์ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์น้ำเสีย.....	10
รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยกระบวนการไร้ออกซิเจน.....	12
รูปที่ 2.4 ชนิดของสารตั้งต้น และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากขั้นตอน hydrolysis และเอนไซม์ที่ใช้.....	13
รูปที่ 2.5 ระบบแบบไร้อากาศที่พัฒนาขึ้นสำหรับรับภาระบรรทุกสูงประเภทต่างๆ.....	16
รูปที่ 2.6 ตัวอย่างของตัวแยกสามสถานะ ที่ใช้ในระบบยูเอเอสบีสำหรับบำบัด น้ำเสียชุมชน.....	17
รูปที่ 2.7 โครงสร้างของเม็ดจุลชีพในระบบยูเอเอสบีที่บำบัดน้ำเสียกลูโคส.....	19
รูปที่ 2.8 โครงสร้าง และความหนาแน่นของแบคทีเรียในน้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรต.....	21
รูปที่ 2.9 กลไกการเคลื่อนไหวต่างๆ ที่มีผลต่อการรวมตัวของเซลล์แบคทีเรีย.....	21
รูปที่ 2.10 กลไกการรวมตัวระหว่างแบคทีเรีย 2 เซลล์โดยอาศัย ECP จนกลายเป็นเม็ดจุลชีพ.....	22
รูปที่ 2.11 แผนผังส่วนประกอบของระบบ ยูเอเอสบี และอีจีเอสบี.....	28
รูปที่ 3.1 ลักษณะของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่นำมาทำการวิจัย.....	42
รูปที่ 3.2 รูปแผนการทดลองของงานวิจัย.....	44
รูปที่ 3.3 ส่วนประกอบของถังอีพีปฏิกรณ์อีจีเอสบี.....	47
รูปที่ 3.4 แผนผังการไหลของระบบอีจีเอสบี.....	48
รูปที่ 3.5 ชุดอุปกรณ์และการติดตั้งของระบบอีจีเอสบี.....	49
รูปที่ 3.6 อุปกรณ์วัดก๊าซแบบแทนที่น้ำ.....	49
รูปที่ 4.1 ภาพถ่าย SEM ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ช่วงก่อนเริ่มต้นระบบ.....	55
รูปที่ 4.2 พารามิเตอร์ที่ใช้พิจารณาสภาวะคงตัวของระบบในช่วงเริ่มต้นระบบ.....	57
รูปที่ 4.3 ซีไอดี และประสิทธิภาพการกำจัด (ช่วงเริ่มต้นระบบ).....	59
รูปที่ 4.4 ของแข็งแขวนลอย และประสิทธิภาพการกำจัด (ช่วงเริ่มต้นระบบ).....	61
รูปที่ 4.5 พีเอช (ช่วงเริ่มต้นระบบ).....	61
รูปที่ 4.6 กรดไขมันระเหย (ช่วงเริ่มต้นระบบ).....	62
รูปที่ 4.7 สภาพต่างทั้งหมด (ช่วงเริ่มต้นระบบ).....	62
รูปที่ 4.8 ซีไอดี และประสิทธิภาพการกำจัด.....	65
รูปที่ 4.9 บีไอดี 5 วัน และประสิทธิภาพการกำจัด.....	67

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.10 ของแข็งแขวนลอย และประสิทธิภาพการกำจัด.....	69
รูปที่ 4.11 อุณหภูมิ.....	70
รูปที่ 4.12 สภาพต่างทั้งหมด.....	71
รูปที่ 4.13 กรดไขมันระเหย.....	73
รูปที่ 4.14 กรดไขมันระเหยต่อสภาพต่าง.....	75
รูปที่ 4.15 พีเอช.....	75
รูปที่ 4.16 ไออาร์พี.....	76
รูปที่ 4.17 ทีเคเอ็น และประสิทธิภาพการกำจัด.....	77
รูปที่ 4.18 เปรียบเทียบค่าซีไอดี และประสิทธิภาพการกำจัดที่ความเร็วไหลขึ้นค่าต่าง ๆ.....	81
รูปที่ 4.19 เปรียบเทียบค่าบีไอดี 5 วัน และประสิทธิภาพการกำจัดที่ความเร็วไหลขึ้นค่าต่าง ๆ.....	81
รูปที่ 4.20 ค่าของแข็งแขวนลอย และประสิทธิภาพการกำจัดที่ความเร็วไหลขึ้นค่าต่าง ๆ.....	82
รูปที่ 4.21 การขยายตัวของชั้นเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ความเร็วไหลขึ้นค่าต่าง ๆ.....	83
รูปที่ 4.22 ประสิทธิภาพของระบบอีจีเอสบีที่ระดับการขยายตัวของชั้นตะกอนค่าต่าง ๆ.....	84
รูปที่ 4.23 การกระจายขนาดเม็ดตะกอนที่ความเร็วไหลขึ้นค่าต่าง ๆ (ถึงปฏิกรณ์ที่ 1).....	84
รูปที่ 4.24 - 4.31 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน.....	86
รูปที่ 4.32 ปริมาณของตะกอนจุลินทรีย์ตามความสูงของถังปฏิกรณ์.....	95
รูปที่ 4.33 ซีไอดี และประสิทธิภาพการกำจัด (การทดลองที่ 2).....	97
รูปที่ 4.34 บีไอดี 5 วัน และประสิทธิภาพการกำจัด (การทดลองที่ 2).....	98
รูปที่ 4.35 ของแข็งแขวนลอย และประสิทธิภาพการกำจัด (การทดลองที่ 2).....	100
รูปที่ 4.36 อุณหภูมิ (การทดลองที่ 2).....	101
รูปที่ 4.37 ค่าสภาพต่างทั้งหมด (การทดลองที่ 2).....	102
รูปที่ 4.38 กรดไขมันระเหย (การทดลองที่ 2).....	103
รูปที่ 4.39 กรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด (การทดลองที่ 2).....	104
รูปที่ 4.40 พีเอช.....	105
รูปที่ 4.41 ไออาร์พี (การทดลองที่ 2).....	106
รูปที่ 4.42 ค่าทีเคเอ็น (การทดลองที่ 2).....	107
รูปที่ 4.43 ค่าความสามารถจำเพาะในการสร้างมีเทน(SMA).....	109

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.44 ค่าของแข็งแขวนลอยระเหย (ช่วงเริ่มต้นระบบถึงสิ้นสุดการทดลอง).....	112
รูปที่ 4.46 – 4.48 การเปลี่ยนแปลงขนาดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์.....	114
รูปที่ 4.49 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบอีจีเอสบีก่อน-หลังเติมสารอาหาร.....	117
รูปที่ 4.50 เปรียบเทียบการกระจายขนาดเม็ดตะกอน ก่อน-หลังเติมสารอาหาร.....	119
รูปที่ 4.51-4.54 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน.....	121
รูปที่ 4.55 ความสัมพันธ์ระหว่างซีไอดีที่ถูกกำจัด และปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น.....	130