การประยุกต์กระบวนการยูเอเอสบี - อีจีเอสบี ในการบำบัดน้ำเสียจากศูนย์การค้า

นายทัศนะ ศิริเตียวศรี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-6464-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

APPLICATION OF UASB - EGSB PROCESS FOR DEPARTMENT STORE WASTEWATER TREATMENT

Mr. Thassana Siritiewsri

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 974-17-6464-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์กระบวนการยูเอเอสบี - อีจีเอสบี ในการบำบัดน้ำเสียจากศูนย์การค้า
โดย	นายทัศนะ ศิริเตียวศรี
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุธา ขาวเธียร)

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

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. พิชญ รัชฎาวงศ์)

ทัศนะ ศิริเตียวศรี : การประยุกต์กระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี ในการบำบัดน้ำเสียจากศูนย์การค้า. (APPLICATION OF UASB – EGSB PROCESS FOR DEPARTMENT STORE WASTEWATER TREATMENT) อ. ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล, 159 หน้า.
ISBN 974-17-6464-2.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการประยุกต์กระบวนการยูเอเอสบี-อีจีเอสบี สำหรับบำบัดน้ำเสียจากศูนย์การค้าที่มีปริมาณของแข็งแขวนลอยค่อนข้างสูง แบ่งการทดลองเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 ศึกษาความเหมาะสมในการใช้ระบบยูเอเอสบีเป็นระบบบำบัดขั้นต้นในกระบวนการยูเอเอสบี-อีจีเอสบี โดยจะเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี บีโอดี ของแข็งแขวนลอย ของกระบวนการอีจีเอสบีกับกระบวนการยูเอเอสบี-อีจีเอสบี ควบคุมให้ระบบยูเอเอสบีและระบบอีจีเอสบีมีความเร็วไหลขึ้น 0.8 และ 4 ม./ชม. คงที่ตลอดการทดลอง ช่วงที่ 2 ศึกษาผลของความเร็วไหลขึ้นในระบบอีจีเอสบีต่อประสิทธิภาพของกระบวนการยูเอเอสบี-อีจีเอสบี โดยจะเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี บีโอดี ของแข็งแขวนลอย ของกระบวนการยูเอเอสบี-อีจีเอสบี ที่มีความเร็วไหลขึ้นในระบบอีจีเอสบีเป็น 4, 6 และ 8 ม./ชม. ควบคุมให้ระบบยูเอเอสบีมีความเร็วไหลขึ้น 0.8 ม./ชม. คงที่ตลอดการทดลอง

น้ำเสียที่ใช้ในงานวิจัยเป็นน้ำเสียจริงจากกลุ่มอาคารศูนย์การค้ามาบุญครอง มีค่าซีโอดีอยู่ในช่วง 400–700 มก./ล. อัตราการป้อนน้ำเสียเข้าสู่กระบวนการเท่ากับ 46 ล./วัน คิดเป็นภาระบรรทุกสารอินทรีย์ในระบบยูเอเอสบีและระบบอีจีเอสบี เท่ากับ 5 และ 2 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ (คิดเป็นเวลากักน้ำเสียในระบบยูเอเอสบีและระบบอีจีเอสบี เท่ากับ 3 และ 2 ชม. ตามลำดับ)

ผลการทดลองช่วงที่ 1 พบว่า กระบวนการยูเอเอสบี-อีจีเอสบี มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี บีโอดี และของแข็งแขวนลอยสูงกว่ากระบวนการอีจีเอสบี กล่าวคือ ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี บีโอดี และของแข็งแขวนลอยของกระบวนการยูเอเอสบี-อีจีเอสบี เท่ากับ 90.5, 90.7 และ 92.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่าซีโอดี บีโอดี และของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้ง เท่ากับ 53, 31 และ 17 มก./ล. ตามลำดับ ขณะที่ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี บีโอดี และของแข็งแขวนลอยของกระบวนการอีจีเอสบี เท่ากับ 78.5, 79.4 และ 65.9 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่าซีโอดี บีโอดี และของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้ง เท่ากับ 119, 68 และ 77 มก./ล. ตามลำดับ

ผลการทดลองช่วงที่ 2 พบว่า เมื่อเพิ่มความเร็วไหลขึ้นในระบบอีจีเอสบี ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี บีโอดี ของกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบีจะเพิ่มขึ้น แต่ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยจะลดลง กล่าวคือ เมื่อความเร็วไหลขึ้นในระบบอีจีเอสบีเป็น 4, 6 และ 8 ม./ชม. กระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี จะมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี เท่ากับ 90.5, 91.6 และ 92.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่าซีโอดีในน้ำทิ้ง เท่ากับ 53, 48 และ 45 มก./ล. ตามลำดับ ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดี เท่ากับ 90.7, 91.8 และ 92.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่าบีโอดีในน้ำทิ้ง เท่ากับ 31, 27 และ 25 มก./ล. ตามลำดับ ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย เท่ากับ 92.2, 91.4 และ 89.7 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้งเท่ากับ 17, 20 และ 24 มก./ล. ตามลำดับ

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

4570334721 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEY WORD: UASB / EGSB / ANAEROBIC TREATMENT / DEPARTMENT STORE WASTEWATER

THASSANA SIRITIEWSRI : APPLICATION OF UASB – EGSB PROCESS FOR DEPARTMENT STORE WASTEWATER TREATMENT. THESIS ADVISOR : ASST.PROF CHAVALIT RATANATAMSKUL, Ph.D., 159 pp. ISBN 974-17-6464-2.

This research was done to know the feasibility to apply UASB-EGSB process for treatment of department store wastewater that had high SS. The research was divided into two experiments. The first experiment investigated the appropriateness of employing UASB as pre-treatment system in UASB-EGSB process. Efficiencies of EGSB system alone in terms of COD, BOD and SS removal was compared to those of UASB-EGSB process. The upflow velocity of UASB and EGSB system were kept at 0.8 and 4 m/hr, respectively. The second experiment was carried out to know the effect of variation of upflow velocity to 4, 6 and 8 m/hr in EGSB system on the performance of UASB-EGSB process in terms of COD, BOD and SS removal.

The wastewater used in this research was wastewater from the MBK building having COD of 400-700 mg/l. The average feed flow rate for UASB-EGSB process was 46 l/day. The applied organic loading rate to the process were 5 and 2 kg.COD/m^3-day for UASB and EGSB system, respectively. (HRTs for UASB and EGSB systems were 3 and 2 hours, respectively.)

The results from the first experiment indicated that the efficiencies of UASB-EGSB process were higher than those of EGSB process in terms of COD, BOD and SS removal. The efficiencies of UASB-EGSB process for removal COD, BOD and SS were 90.5, 90.7 and 92.2 %, respectively. And the effluent had 53 mg.COD/l, 31 mg.BOD/l and 17 mg.SS/l. The efficiencies of EGSB process for removal COD, BOD and SS were 78.5, 79.4 and 65.9 %, respectively. And the effluent had 119 mg.COD/l, 68 mg.BOD/l and 77 mg.SS/l.

The results from the second experiment indicated that the increasing upflow velocity in EGSB system increase COD and BOD removal efficiencies. But decrease the SS removal efficiency. The upflow velocity of EGSB system at 4, 6 and 8 m/hr gave removal efficiencies in terms of COD to be 90.5, 91.6 and 92.2%, respectively; in terms of BOD to be 90.7, 91.8 and 92.5%, respectively; in terms of SS to be 92.2, 91.4 and 89.7%, respectively. The effluent COD were 53, 48 and 45 mg/l, respectively. The effluent BOD were 31, 27 and 25 mg/l, respectively. The effluent SS were 17, 20 and 24 mg/l, respectively.

Department.....Environmental Engineering.....Student's Signature Thassana Siritiewsri

Field of study....Environmental Engineering.....Advisor's Signature Chavalit Rtttl

Academic year..2004.....

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณพ่อและแม่ ที่ให้กำเนิด อบรมเลี้ยงดู สร้างชีวิตของผู้วิจัยให้สมบูรณ์แบบ และให้ความรักที่ยิ่งใหญ่ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ เป็นกำลังใจที่ดีที่สุด สำคัญที่สุด คุณงามความดีที่ได้จากการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขอมอบให้ท่านทั้งสอง

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะไม่สำเร็จลุล่วงได้ถ้าปราศจากบุคคลสำคัญ คือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล ผู้ที่เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้ความกรุณาเสนอแนะหัวข้อวิทยานิพนธ์เรื่องนี้ นอกจากนี้ยังได้ให้ข้อคิดเห็น คำแนะนำ ตลอดจนสนับสนุนให้เกิดความก้าวหน้าอย่างยิ่งในเชิงวิชาการและการดำเนินการวิจัย รวมถึงการจัดหาทุนในการวิจัยให้แก่ผู้วิจัยตลอดมาตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งสิ้นสุดงานวิจัย ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุธา ขาวเธียร รองศาสตราจารย์ อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ และอาจารย์ ดร. พิชญ รัชฎาวงศ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำต่างๆ และช่วยแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ในภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ได้ให้ความรู้อันมีค่ายิ่งแก่ผู้วิจัย และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการและเจ้าหน้าที่ธุรการ ภาคภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือสนับสนุนด้วยดีตลอดมา

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งเห็นคุณค่าและสนับสนุนทุนในการวิจัยครั้งนี้จนกระทั่งสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณบุคลากรในแผนกสุขาภิบาลและดับเพลิง ฝ่ายวิศวกรรมอาคารมาบุญครองเซ็นเตอร์ทุกท่าน ที่ให้ความอนุเคราะห์นำน้ำเสียมาใช้ในงานวิจัย และให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการเก็บน้ำเสีย

ขอขอบคุณโรงงานเส้นหมี่ซอเฮง ที่ให้ความอนุเคราะห์นำเม็ดตะกอนจุลินทรีย์เพื่อใช้ในงานวิจัย และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของโรงงานทุกท่านที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการเก็บเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

ขอขอบคุณครูปองที่กรุณาให้คำแนะนำ และให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการทำการทดลองตลอดงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณเพื่อนๆที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ และเป็นกำลังใจให้มาตลอด โดยเฉพาะอย่างยิ่งคณะทุกคนไม่ว่าจะเป็น เฮียแชร์ เฮียเอ็กซ์ พี่มินต์ เอ๋ ซุปเปอร์ท็อป ซิโก้ ชายแดน และก๊ก ที่ร่วมทุกข์ร่วมสุขกันมาตลอด

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ
กิตติกรรมประกาศ.....ฉ
สารบัญ.....ช
สารบัญตาราง.....ญ
สารบัญรูป.....ฏ
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 น้ำเสียชุมชน.....4
2.1.1 องค์ประกอบของน้ำเสียชุมชน.....4
2.1.2 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียชุมชน.....5
2.1.3 ปริมาณน้ำเสียชุมชน.....6
2.2 กระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ.....7
2.3 ระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket, UASB).....12
2.3.1 ความเป็นมาของระบบยูเอเอสบี.....12
2.3.2 ลักษณะและการทำงานของระบบยูเอเอสบี.....12
2.3.3 ข้อดีข้อเสียของระบบยูเอเอสบี.....14
2.3.4 ประเภทของ Granular Sludge ในถังยูเอเอสบี.....15
2.3.5 โครงสร้างของแบคทีเรียในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์.....15
2.3.6 ความสำคัญของ Extracellular Polymers (ECP)
ต่อการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์.....18

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3.7 กระบวนการรวมตัวเป็นเม็ดตะกอนจุลินทรีย์.....19
2.3.8 กลไกการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์.....21
2.3.9 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบยูเอเอสบี.....21
2.4 ระบบอีจีเอสบี (Expanded Granular Sludge Bed, EGSB).....26
2.4.1 ความเป็นมาของระบบอีจีเอสบี.....26
2.4.2 ลักษณะและการทำงานของระบบอีจีเอสบี.....26
2.4.3 คุณสมบัติของระบบอีจีเอสบี.....27
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....30
2.5.1 การบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำและน้ำเสียชุมชน
ด้วยระบบยูเอเอสบี.....30
2.5.2 การบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำและน้ำเสียชุมชน
ด้วยระบบอีจีเอสบี.....33
2.5.3 การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบำบัดแบบ 2 ขั้นตอน.....34
บทที่ 3 แผนการทดลองและการดำเนินการวิจัย.....36
3.1 แผนการทดลอง.....36
3.2 การเตรียมน้ำเสีย.....37
3.2.1 ลักษณะของน้ำเสีย.....37
3.2.2 วิธีการเตรียมน้ำเสีย.....38
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....38
3.4 การติดตั้งเครื่องมือและหลักการทำงาน.....39
3.5 จุดเก็บตัวอย่างน้ำ.....44
3.6 การวิเคราะห์ตัวอย่าง.....45
3.7 การควบคุมการทดลอง.....46
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิจารณ์.....47
4.1 การดำเนินการทดลอง.....47

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2 ศึกษาความเหมาะสมในการใช้ระบบยูเอเอสบีเป็นระบบบำบัดขั้นต้น
ในกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี (การทดลองช่วงที่ 1).....48
4.3 การวิเคราะห์ความเหมาะสมในการใช้ระบบยูเอเอสบีเป็นระบบบำบัดขั้นต้น
ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี.....57
4.4 ผลของความเร็วไหลขึ้นในระบบอีจีเอสบีต่อประสิทธิภาพของ
กระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี (การทดลองช่วงที่ 2).....61
4.5 การขยายตัวของชั้นตะกอนจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบี.....72
4.6 พารามิเตอร์ที่ใช้ติดตามการทำงานของระบบ.....75
4.7 การวิเคราะห์ปริมาณก๊าซชีวภาพโดยเปรียบเทียบกับ
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์.....86
4.8 ความสามารถจำเพาะในการสร้างมีเทน
(Specific Methanogenic Activity, SMA).....98
4.9 ผลของความเร็วไหลขึ้นต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์.....103
4.10 การกระจายตัวของจุลินทรีย์ตามความสูงของถังปฏิกรณ์.....116
4.11 โครงสร้างของแบคทีเรียในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์.....117
4.12 ความเป็นไปได้ในการใช้กระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี
ในการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่มีปริมาณของแข็งแขวนลอยค่อนข้างสูง.....119
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....121
5.1 สรุปผลการทดลอง.....121
5.2 ข้อเสนอแนะ.....123
รายการอ้างอิง.....124
ภาคผนวก.....128
ภาคผนวก ก ข้อมูลพารามิเตอร์ในงานวิจัย.....129
ภาคผนวก ข การหาค่าความสามารถจำเพาะในการสร้างมีเทน (SMA).....152
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....159

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ลักษณะน้ำเสียจากอาคารประเภทต่างๆของชุมชนในประเทศไทย.....5
ตารางที่ 2.2 อัตราน้ำเสียและปริมาณบีโอดีจากอาคารในประเทศไทย.....6
ตารางที่ 3.1 แผนการทดลองในช่วงที่ 1.....36
ตารางที่ 3.2 แผนการทดลองในช่วงที่ 2.....37
ตารางที่ 3.3 ลักษณะน้ำเสียจากกลุ่มอาคารศูนย์การค้ามาบุญครอง.....37
ตารางที่ 3.4 จุดเก็บตัวอย่างน้ำ และความถี่ในการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ.....44
ตารางที่ 3.5 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์ตลอดการทดลอง.....45
ตารางที่ 4.1 ขั้นตอนการวิจัย.....47
ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์ประสิทธิภาพระบบ
จากผลการทดลอง ช่วงที่ 1.....55
ตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี บีโอดี และของแข็งแขวนลอย
ของกระบวนการอีจีเอสบี และกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี.....56
ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย
ของกระบวนการอีจีเอสบีกับกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี.....57
ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของกระบวนการอีจีเอสบี
กับกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี.....59
ตารางที่ 4.6 ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของกระบวนการอีจีเอสบี
กับกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี.....59
ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์ประสิทธิภาพระบบ
จากผลการทดลอง ช่วงที่ 2.....69
ตารางที่ 4.8 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี บีโอดี และของแข็งแขวนลอยของระบบอีจีเอสบี
ที่มีความเร็วไหลขึ้นค่าต่างๆ.....70
ตารางที่ 4.9 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี บีโอดีและของแข็งแขวนลอยของกระบวนการ
ยูเอเอสบี-อีจีเอสบี ที่ความเร็วไหลขึ้นของระบบอีจีเอสบีมีค่าต่างๆ.....71
ตารางที่ 4.10 การขยายตัวของชั้นตะกอนจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบี.....72

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ที่ใช้ติดตามการทำงานของระบบ
ในการทดลองช่วงที่ 1.....85
ตารางที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ที่ใช้ติดตามการทำงานของระบบ
ในการทดลองช่วงที่ 1.....85
ตารางที่ 4.13 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นเทียบกับซีโอดีที่ถูกกำจัด.....91
ตารางที่ 4.14 ปริมาณก๊าซและอัตราการผลิตก๊าซในการทดลองช่วงที่ 1.....95
ตารางที่ 4.15 ปริมาณก๊าซและอัตราการผลิตก๊าซในการทดลองช่วงที่ 2.....96
ตารางที่ 4.16 การเปลี่ยนแปลงค่า D_{10} D_{50} และ D_{90} ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์
ในระบบยูเอเอสบี.....108
ตารางที่ 4.17 การเปลี่ยนแปลงค่า D_{10} D_{50} และ D_{90} ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์
ในระบบอีจีเอสบีที่เปลี่ยนความเร็วไหลขึ้นจาก 4 เป็น 6 ม./ชม.....109
ตารางที่ 4.18 การเปลี่ยนแปลงค่า D_{10} D_{50} และ D_{90} ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์
ในระบบอีจีเอสบีที่เปลี่ยนความเร็วไหลขึ้นจาก 4 เป็น 8 ม./ชม.....109
ตารางที่ 4.19 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบีกับกระบวนการ
อีจีเอสบีและกระบวนการยูเอเอสบี ในการบำบัดน้ำเสียจากศูนย์การค้า.....119
ตารางที่ 4.20 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี บีโอดี และของแข็งแขวนลอยกระบวนการ
ยูเอเอสบี – อีจีเอสบี.....120

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ปฏิกิริยารีดอกซ์ในการบำบัดน้ำเสีย.....7
รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยกระบวนการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ.....9
รูปที่ 2.3 ชนิดของสารตั้งต้น และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากขั้นตอน hydrolysis และเอนไซม์ที่ใช้.....11
รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบของระบบยูเอเอสบี.....13
รูปที่ 2.5 โครงสร้างของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ UASB ที่บำบัดน้ำเสียกลูโคส.....16
รูปที่ 2.6 โครงสร้างและความหนาแน่นของแบคทีเรียในน้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรต.....17
รูปที่ 2.7 บทบาทของประจุไฟฟ้าและ ECP ที่ส่งผลต่อการรวมตัวของเซลแบคทีเรีย.....19
รูปที่ 2.8 กลไกการเคลื่อนไหวต่างๆที่มีผลต่อการรวมตัวของเซลแบคทีเรีย.....19
รูปที่ 2.9 กลไกของการรวมตัวระหว่างแบคทีเรีย 2 เซลโดยอาศัย ECP จนกลายเป็นเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ (Schmidt และ Ahring, 1995).....20
รูปที่ 2.10 แผนผังส่วนประกอบของระบบยูเอเอสบีและอีจีเอสบี.....27
รูปที่ 3.1 แบบจำลองถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี.....40
รูปที่ 3.2 แบบจำลองถังปฏิกรณ์อีจีเอสบี.....41
รูปที่ 3.3 อุปกรณ์วัดก๊าซแบบแทนที่น้ำ.....42
รูปที่ 3.4 การติดตั้งกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี.....42
รูปที่ 3.5 แผนผังการทำงานของกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี.....43
รูปที่ 4.1 การกำจัดซีโอดีในการทดลองช่วงที่ 1.....49
รูปที่ 4.2 การกำจัดบีโอดีในการทดลองช่วงที่ 1.....51
รูปที่ 4.3 การกำจัดของแข็งแขวนลอยในการทดลองช่วงที่ 1.....53
รูปที่ 4.4 การกำจัดทีเคเอ็นในการทดลองช่วงที่ 1.....54
รูปที่ 4.5 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี บีโอดี และของแข็งแขวนลอยของกระบวนการอีจีเอสบีและกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี.....56
รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยของกระบวนการอีจีเอสบีกับกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี.....58

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของกระบวนการอีจีเอสบี
กับกระบวนการยูเอเอสบี – อีจีเอสบี....60
รูปที่ 4.8 การกำจัดซีโอดีในการทดลองช่วงที่ 2....63
รูปที่ 4.9 การกำจัดบีโอดีในการทดลองช่วงที่ 2....64
รูปที่ 4.10 การกำจัดของแข็งแขวนลอยในการทดลองช่วงที่ 2....66
รูปที่ 4.11 การกำจัดทีเคเอ็นในการทดลองช่วงที่ 2....68
รูปที่ 4.12 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี บีโอดี และของแข็งแขวนลอยของระบบอีจีเอสบี
ที่ความเร็วไหลขึ้นค่าต่างๆ....70
รูปที่ 4.13 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี บีโอดี และของแข็งแขวนลอยของกระบวนการ
ยูเอเอสบี - อีจีเอสบี ที่ความเร็วไหลขึ้นของระบบอีจีเอสบีมีค่าต่างๆ....72
รูปที่ 4.14 ความสูงของการขยายตัวของชั้นตะกอนที่ความเร็วไหลขึ้นค่าต่างๆ....73
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การขยายตัวของชั้นตะกอนจุลินทรีย์
กับความเร็วไหลขึ้น....73
รูปที่ 4.16 ผลของการขยายตัวของชั้นตะกอนจุลินทรีย์ ที่มีต่อประสิทธิภาพของระบบ....74
รูปที่ 4.17 ค่าอุณหภูมิภายในระบบในการทดลองช่วงที่ 1....76
รูปที่ 4.18 ค่าอุณหภูมิภายในระบบในการทดลองช่วงที่ 2....76
รูปที่ 4.19 ค่าสภาพด่างทั้งหมดในการทดลองช่วงที่ 1....77
รูปที่ 4.20 ค่าสภาพด่างทั้งหมดในการทดลองช่วงที่ 2....77
รูปที่ 4.21 ค่ากรดไขมันระเหยในการทดลองช่วงที่ 1....79
รูปที่ 4.22 ค่ากรดไขมันระเหยในการทดลองช่วงที่ 2....79
รูปที่ 4.23 ค่ากรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดในการทดลองช่วงที่ 1....81
รูปที่ 4.24 ค่ากรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดในการทดลองช่วงที่ 2....81
รูปที่ 4.25 ค่าพีเอชในการทดลองช่วงที่ 1....82
รูปที่ 4.26 ค่าพีเอชในการทดลองช่วงที่ 2....82
รูปที่ 4.27 ค่าโออาร์พีภายในระบบในการทดลองช่วงที่ 1....84
รูปที่ 4.28 ค่าโออาร์พีภายในระบบในการทดลองช่วงที่ 2....84

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างซีโอดีที่ถูกกำจัด และปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น.....90
รูปที่ 4.30 ปริมาณก๊าซชีวภาพในการทดลองช่วงที่ 1.....92
รูปที่ 4.31 อัตราการผลิตก๊าซในการทดลองช่วงที่ 1.....93
รูปที่ 4.32 ปริมาณก๊าซชีวภาพในการทดลองช่วงที่ 2.....94
รูปที่ 4.33 อัตราการผลิตก๊าซในการทดลองช่วงที่ 2.....95
รูปที่ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซชีวภาพที่วัดได้กับปริมาณซีโอดีที่ถูกกำจัด.....96
รูปที่ 4.35 ค่า SMA ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบี.....98
รูปที่ 4.36 ค่า SMA ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบีที่เปลี่ยนความเร็วไหลขึ้น
จาก 4 เป็น 6 ม./ชม.....99
รูปที่ 4.37 ค่า SMA ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบีที่เปลี่ยนความเร็วไหลขึ้น
จาก 4 เป็น 8 ม./ชม.....99
รูปที่ 4.38 ความสัมพันธ์ของค่า SMA กับความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบี.....100
รูปที่ 4.39 ความสัมพันธ์ของค่า SMA กับความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบี
ที่เปลี่ยนความเร็วไหลขึ้นจาก 4 เป็น 6 ม./ชม.....101
รูปที่ 4.40 ความสัมพันธ์ของค่า SMA กับความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบี
ที่เปลี่ยนความเร็วไหลขึ้นจาก 4 เป็น 8 ม./ชม.....101
รูปที่ 4.41 การเปรียบเทียบค่า SMA ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบี
กับระบบอีจีเอสบี.....102
รูปที่ 4.42 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscopy, SEM)
บริเวณผิวนอกและภายในของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ก่อนเริ่มต้นเดินระบบ.....103
รูปที่ 4.43 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscopy, SEM)
บริเวณผิวนอกและภายในของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบี.....104
รูปที่ 4.44 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscopy, SEM)
บริเวณผิวนอกและภายในของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบี
(ความเร็วไหลขึ้นจาก 4 เป็น 6 ม./ชม.).....105

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.45 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscopy, SEM) บริเวณผิวนอกและภายในของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบี (ความเร็วไหลขึ้นจาก 4 เป็น 8 ม./ชม.).....106
รูปที่ 4.46 การเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบี.....110
รูปที่ 4.47 การเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบี ที่เปลี่ยนความเร็วไหลขึ้นจาก 4 เป็น 6 ม./ชม.....110
รูปที่ 4.48 การเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบี ที่เปลี่ยนความเร็วไหลขึ้นจาก 4 เป็น 8 ม./ชม.....111
รูปที่ 4.49 การเปลี่ยนแปลงขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบี.....112
รูปที่ 4.50 ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระบบยูเอเอสบี.....113
รูปที่ 4.51 ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบีที่เปลี่ยนความเร็วไหลขึ้น จาก 4 เป็น 6 ม./ชม.....113
รูปที่ 4.52 ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระบบอีจีเอสบีที่เปลี่ยนความเร็วไหลขึ้น จาก 4 เป็น 8 ม./ชม.....114
รูปที่ 4.53 ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ตามความลึกของถังปฏิกรณ์ในระบบยูเอเอสบี และอีจีเอสบี.....116
รูปที่ 4.54 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscopy, SEM) ของโครงสร้างแบคทีเรียบริเวณผิวนอกและภายในของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์.....118