การใช้กระบวนการยูเอเอสบี - แอน็อกซิก - แอโรบิก ในการบำบัดน้ำเสียที่มีความเค็มและไนโตรเจนสูงจากน้ำเสียสะพานปลา

นางสาวภูคำ พิมจักร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-173-651-7

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

12 มี.ค. 2549

I21235880

APPLICATION OF THE UASB - ANOXIC - AEROBIC PROCESS IN TREATING SALINE AND HIGH NITROGENEOUS WASTEWATER FROM FISH PIERS

Miss Pookhum Pimmajuk

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 -173 - 651 - 7

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้กระบวนการยูเอเอสบี - แอน็อกซิก - แอโรบิก ในการบำบัดน้ำเสียที่มีความเค็มและไนโตรเจนสูงจากน้ำเสียสะพานปลา
โดย	นางสาวภูคำ พิมจักร
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริรัตน์ เร่งพิพัฒน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพล สายพานิช)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริรัตน์ เร่งพิพัฒน์)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.พิชญ รัชฎาวงศ์)

ภูคำ พิมจักร : การใช้กระบวนการยูเอเอสบี-แอน็อกซิก-แอโรบิกในการบำบัดน้ำเสียที่มีความเค็มและไนโตรเจนสูงจากน้ำเสียสะพานปลา (APPLICATION OF THE UASB - ANOXIC - AEROBIC PROCESS IN TREATING SALINE AND HIGH NITROGENEOUS WASTEWATER FROM FISH PIERS) อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล, อ.ที่ปรึกษาร่วม อ.ที่ปรึกษาร่วม : รศ.ดร.ศิริรัตน์ เร่งพิพัฒน์, 184 หน้า. ISBN 974-173-651-7

งานวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาถึงประสิทธิภาพของกระบวนการยูเอเอสบี - แอน็อกซิก - แอโรบิก ในการบำบัดน้ำเสียสะพานปลาที่มีความเค็มและไนโตรเจนสูง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์และไนโตรเจน

ในงานวิจัยนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงแรกศึกษาระบบยูเอเอสบีอย่างเดียว เป็นการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเทคนิคการคัดสายพันธุ์แบคทีเรียมาใช้ร่วมกับเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ทั่วไป เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบโดยกำหนดความเร็วไหลขึ้นที่ 1 ม./ชม. และศึกษาผลของความเร็วไหลขึ้นต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบ กำหนดความเร็วไหลขึ้นที่ 1 และ 3 ม./ชม. ช่วงที่สองเป็นการศึกษากระบวนการยูเอเอสบี - แอน็อกซิก - แอโรบิก เป็นการทดลองในระดับต้นแบบสาธิตนำร่อง ติดตั้งชุดอุปกรณ์การทดลองและใช้น้ำเสียจริงจาก องค์การสะพานปลา จังหวัดสมุทรสาคร โดยส่วนยูเอเอสบีเลือกสภาวะการเดินระบบจากสภาวะที่เหมาะสมในช่วงแรกมาเดินระบบต่อเนื่องเพื่อศึกษาประสิทธิภาพในระยะยาว และส่วนแอน็อกซิก - แอโรบิกศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนที่มีการหมุนเวียนน้ำตะกอนจากแอโรบิกไปแอน็อกซิกที่ 200 % และ 400 % และได้มีการแบ่งน้ำเสียเข้าส่วนยูเอเอสบีต่อส่วนแอน็อกซิก เท่ากับ 75 % ต่อ 25 % เพื่อช่วยเพิ่มแหล่งคาร์บอนให้กับส่วนแอน็อกซิก-แอโรบิก

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียจริงที่มีการแปรเปลี่ยนในแต่ละวัน โดยแบ่งเป็นช่วงค่าได้ดังนี้ ช่วงแรกค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์อยู่ในช่วง 6.0 - 9.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน และช่วงที่สอง อยู่ในช่วง 8.6 - 15.1 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

ผลการศึกษาช่วงแรก พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ในช่วงสภาวะคงตัว (P50) เท่ากับ 77.2 % และ 84.2 % สำหรับยูเอเอสบีที่ไม่เติมเชื้อและยูเอเอสบีที่เติมเชื้อตามลำดับ จากผลการทดลอง พบว่า ยูเอเอสบีที่เติมเชื้อมีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์และไขมันที่ดีกว่า ส่วนการศึกษาความเร็วไหลขึ้นพบว่าที่ 3 ม./ชม. ประสิทธิภาพของระบบยูเอเอสบีในการกำจัดสารอินทรีย์สูงขึ้น เท่ากับ 90.5 % สำหรับยูเอเอสบีที่เติมเชื้อ แต่พบปัญหาว่ามีการลอยตัวออกจากระบบของแบคทีเรีย จึงเลือกค่าความเร็วไหลขึ้นที่ 2 ม./ชม. ใช้ในช่วงที่สองเพื่อป้องกันปัญหาการลอยตัวออกจากระบบ

ผลการศึกษาช่วงที่สอง พบว่า ส่วนยูเอเอสบีมีประสิทธิภาพลดลงจากเดิมเล็กน้อยทั้งนี้เพราะค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เข้าระบบเพิ่มสูงขึ้น แต่ระบบยังมีประสิทธิภาพสูงอยู่ในช่วง 75.4 - 80.9 % และส่วนแอน็อกซิก - แอโรบิก พบว่า อัตราการหมุนเวียนน้ำตะกอนที่ 200 % เพียงพอต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น ในช่วงสภาวะคงตัว(P50) เท่ากับ 80.0 %

สรุปผลการทดลองการใช้กระบวนการยูเอเอสบี - แอน็อกซิก - แอโรบิก โดยการนำเทคนิคการคัดสายพันธุ์แบคทีเรียมาเติมสามารถบำบัดน้ำเสียสะพานปลาที่มีความเค็มและไนโตรเจนสูง สามารถนำไปใช้งานจริงได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีค่าน้ำทิ้งจากระบบต่ำกว่าค่ากำหนดร่างมาตรฐานสะพานปลา

ภาควิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม..... ลายมือชื่อนิสิต.....ภูคำ พิมจักร.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา.....2546..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4470458821 : MAJOR : ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEY WORD : UASB-ANOXIC-AEROBIC / NITRIFICATION-DENITRIFICATION / HALOPHILIC BACTERIA / SALINE

POOKHUM PIMMAJUK : APPLICATION OF THE UASB - ANOXIC - AEROBIC PROCESS IN TREATING SALINE AND HIGH NITROGENEOUS WASTEWATER FROM FISH PIERS.

THESIS ADVISOR : ASSIST.PROF.CHAVLIT RATANATAMSKUL, Ph.D.

COADVISOR : ASSOC.PROF.SIRIRAT RENGPIPAT, Ph.D., 184 pp. ISBN 974 - 17 - 651 -7

This research is to study the efficiencies of the UASB-Anoxic-Aerobic process in treating fish pier's wastewater which has high salinity and nitrogen content. The objective of this research is to know system performance for organics and nitrogen removal.

The study was divided into 2 experimental periods. The first period was a study of UASB system alone in a laboratory scale to know the feasibility on addition of prepared selective bacteria for enhancement of treatment efficiency at upflow velocity 1 m/hr for UASB system and also to know effect of upflow velocity of the UASB system at 1 and 3 m/hr on organic removal. The second period was a study of the UASB-Anoxic-Aerobic process in a pilot - scale as a demonstration on -site treatment plant. The UASB system employed the optimum upflow velocity obtained from the first period together with the addition of prepared selective bacteria. For Anoxic-Aerobic part, the study on nitrogen removal efficiencies was done by varying the return sludge rate at 200% and 400%. The feed flow rate was divided to the UASB part and Anoxic-Aerobic part at the ratio of 75% : 25 % in order to add more carbon source for the latter part.

Wastewater used in this research was raw wastewater from fish pier activity which was fluctuated in organic loading. The organic loading were 6.0 - 9.5 kg COD / m^3-d and 8.6 - 15.1 kg COD / m^3-d for the first and second period, respectively.

From the results obtained from the first period, it was found that COD removal efficiencies(P50) at steady state were 66.8 % and 77.6 %, respective for the UASB system with and without inoculation of prepared selective bacteria. Therefore, it was obvious that the UASB system with bacteria inoculation could enhance organic removal efficiency. When the upflow velocity was increased to 3 m/hr, the organic removal efficiency for the UASB system with bacteria inoculation could increase to 88.0%. However, the problem of bacteria wash-out from the system was found with high upflow velocity of 3 m/hr. Then the compromised upflow velocity of 2 m/hr was selected to solve the problem of bacteria wash-out.

For the results obtained from the second period, it was found that the pilot-scale UASB system had a little bit lower treatment efficiency than in the laboratory scale due to higher organic loading in the pilot-scale system. Therefore, the performance will focus on the Anoxic-Aerobic part. It was found that the return sludge rate at 200% was sufficient to achieve TKN removal efficiency(P50) at steady state as high as 80.0 % .

In summary, the UASB-Anoxic-Aerobic process with bacteria inoculation is a promising technology for treatment of fish pier's wastewater with high salinity and nitrogen content for application use.

Department of ..Environmental Engineering.. Student' s signature.....Pookhum Pimmajuk

Field of study in .Environmental Engineering. Advisor' s signature... Chavalit Ratt

Academic year .....2003..... CoAdvisor' s signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เนื่องจากบุคคลสำคัญ คือ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล และรองศาสตราจารย์ ดร.ศิริรัตน์ เร่งพิพัฒน์ ซึ่งได้ให้ความกรุณาเสนอแนะหัวข้อวิทยานิพนธ์เรื่องนี้ นอกจากนี้ยังได้ให้ข้อคิดเห็น คำแนะนำ ตลอดจนสนับสนุนให้เกิดความก้าวหน้าอย่างยิ่งในเชิงวิชาการและการดำเนินงานวิจัย รวมถึงการจัดหาทุนในการวิจัยให้แก่ผู้วิจัยตลอดมาตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งสิ้นสุด ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพล สายพานิช รองศาสตราจารย์ ดร.เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ และอาจารย์ ดร.พิชญ รัชฎาวงศ์ ที่ได้เสนอข้อแนะนำและตรวจทานวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์

ขอขอบคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมที่ได้ให้ความรู้อันมีค่ายิ่งแก่ผู้วิจัยและขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการและเจ้าหน้าที่ธุรการ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือสนับสนุนด้วยดีตลอด

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) กองทุนชิน โสภณพานิช และบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งเห็นคุณค่าและสนับสนุนทุนในการวิจัยครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมที่ให้ความกรุณา อนุเคราะห์ชุดอุปกรณ์การทดลองระดับต้นแบบสาธิตนำร่องและข้อมูลการวิจัย

ขอขอบคุณองค์การสะพานปลา จังหวัดสมุทรสาคร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ติดตั้งชุดอุปกรณ์ทดลองและค่าไฟฟ้าตลอดการวิจัย

ขอขอบคุณคุณจิราภรณ์ และคุณทัศนีย์ ภาควิชาจุลชีววิทยา ที่ให้การช่วยเหลือแนะนำ และสอนเทคนิคการวิเคราะห์ทางด้านจุลชีววิทยา

ขอขอบคุณวรินทร์ และคุณอัจฉรีย์ สินทะเกิด ผู้ดูแลระบบหน้างานที่กรุณาให้ความช่วยเหลือ อำนวยความสะดวก และเสียสละเวลาในการดูแลระบบบำบัดให้สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องตลอดการดำเนินงานวิจัย

ขอขอบคุณอัมภวรรณและบริษัทอาร์เคมีก้าค์ ที่ให้การอนุเคราะห์อุปกรณ์และสารเคมีในการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ไนเทรตและไนไทรต์ เพื่อความสมบูรณ์ในด้านข้อมูลงานวิจัย

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบุคคลสำคัญในชีวิต คือ คุณพ่อ คุณแม่ พี่ๆ น้องๆ เพื่อนๆ ผู้ให้กำลังใจและช่วยเหลือตลอดเวลา จนกระทั่งการเรียนครั้งนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนร่วมจากโครงการศูนย์วิจัยแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ
กิตติกรรมประกาศ.....ฉ
สารบัญ.....ช
สารบัญตาราง.....ญ
สารบัญรูป.....ฎ

บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 บทนำ.....1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....2

บทที่ 2 ทบทวนเอกสาร.....3
2.1 น้ำเสียจากกิจกรรมสะพานปลา.....3
2.1.1 คุณลักษณะน้ำเสียจากกิจกรรมสะพานปลา.....3
2.1.2 คุณสมบัติและองค์ประกอบของปลา.....3
2.1.3 จุลชีววิทยาของปลาและเกลือ.....5
2.2 การเจริญของจุลินทรีย์แบบตะกอนเร่ง.....6
2.3 กระบวนการไร้ออกซิเจน.....7
2.3.1 กลไกการย่อยสลายสารอินทรีย์ของกระบวนการไร้ออกซิเจน.....7
2.3.2 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบี.....12
2.4 ระบบบำบัดน้ำเสียในการกำจัดสารไนโตรเจน.....21
2.4.1 สารประกอบไนโตรเจนในน้ำเสีย.....20
2.4.2 กลไกการกำจัดไนโตรเจน.....20
2.4.3 การสร้างสภาพด่างในน้ำเสียโปรตีน.....28
2.4.4 ระบบบำบัดน้ำเสียในการกำจัดสารไนโตรเจน.....30
2.5 ความสำคัญของความเค็มในน้ำเสีย.....31
2.6 การศึกษาที่ผ่านมา.....32
2.6.1 การศึกษาที่ผ่านมาของกระบวนการยูเอเอสบี.....32

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.6.2 การศึกษาที่ผ่านมาของสารไนโตรเจน.....32
2.6.3 การศึกษาที่ผ่านมาของความเค็ม.....33
2.6.4 การศึกษาที่ผ่านมาของการคัดพันธุ์.....36

บทที่ 3 แผนการทดลองและการดำเนินการวิจัย.....37
3.1 แผนการทดลอง.....37
3.1.1 การทดลองระดับห้องปฏิบัติการ.....37
3.1.2 การทดลองระดับต้นแบบสาธิตนำร่อง.....38
3.2 ชุดอุปกรณ์การทดลอง.....39
3.2.1 ชุดอุปกรณ์สำหรับการทดลองระดับห้องปฏิบัติการ.....39
3.2.2 ชุดอุปกรณ์สำหรับการทดลองระดับต้นแบบสาธิตนำร่อง.....39
3.3 จุดการเก็บตัวอย่าง.....46
3.4 การวิเคราะห์ตัวอย่าง.....47

บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล.....48
4.1 ลักษณะน้ำเสีย.....48
4.2 ผลการทดลอง.....48
4.2.1 ผลการของการเติมแบคทีเรียที่คัดสายพันธุ์
ต่อประสิทธิภาพของระบบ.....49
4.2.2 ผลของความเร็วไหลขึ้นต่อประสิทธิภาพของระบบ.....64
4.2.3 ผลการเดินระบบต้นแบบสาธิตนำร่อง.....83
4.3 ค่าจำเพาะของระบบ.....106
4.3.1 อัตราการผลิตก๊าซมีเทน.....106
4.3.2 อัตราจำเพาะของระบบ.....107
4.3 สมดุลในระบบ.....107

บทที่ 5 ความสำคัญของงานวิจัยในทางวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....113
5.1 ร่างมาตรฐานน้ำทิ้งสะพานปลา.....113
5.2 เกณฑ์ในการออกแบบ.....114

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ....116
6.1 สรุปผลการทดลอง....116
6.1.1 สรุปการทดลองระดับห้องปฏิบัติการ....116
6.1.2 สรุปผลการทดลองระดับต้นแบบสาธิตนำร่อง....117
6.2 ข้อเสนอแนะ....118

รายการอ้างอิง....119

ภาคผนวก....123
ภาคผนวก ก ข้อมูลพารามิเตอร์ในงานวิจัย....124
ภาคผนวก ข การคัดสายพันธุ์แบคทีเรีย....160
ภาคผนวก ค ลักษณะน้ำเสียสะพานปลา สมุทรสาคร....171
ภาคผนวก ง การหาอัตราจำเพาะของปฏิกิริยา....174

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์....184

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2-1 พารามิเตอร์ที่ใช้ออกแบบถังสร้างกรดจากการศึกษาที่ผ่านมาสำหรับ
น้ำเสียประเภทต่างๆในการออกแบบระบบบำบัดไร้ออกซิเจน.....15
ตารางที่ 2-2 ผลของแอมโมเนียไนโตรเจนต่อระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน.....16
ตารางที่ 2-3 ความเข้มข้นและผลของโลหะหนักชนิดต่างๆที่มีต่อไนตริไฟเออร์.....26
ตารางที่ 2-4 ผลของความเค็มต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียต่างๆ 34
ตารางที่ 3-1 ลักษณะจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองแต่ละชุดการทดลองช่วงที่ 1.....37
ตารางที่ 3-2 แผนการทดลองช่วงที่ 1.....38
ตารางที่ 3-3 ลักษณะจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองแต่ละถังช่วงที่ 1.....38
ตารางที่ 3-4 แผนการทดลองช่วงที่ 2.....39
ตารางที่ 3.5 จุดเก็บตัวอย่างน้ำและความถี่ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ.....46
ตารางที่ 3-6 วิธีการวิเคราะห์พารามิเตอร์.....47
ตารางที่ 4-1 ลักษณะน้ำเสียในแต่ละช่วงการทดลอง.....48
ตารางที่ 4-2 ผลของการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ช่วงที่ 1 ของการทดลองที่ 1.....51
ตารางที่ 4-3 ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น อัตราการผลิตก๊าซ และเปอร์เซ็นต์ก๊าซในช่วงที่ 1
การทดลองที่ 1.....58
ตารางที่ 4-4 ผลของการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆของน้ำออกจากชุดที่ 2
ในการทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2 66
ตารางที่ 4-5 ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น อัตราการผลิตก๊าซ และเปอร์เซ็นต์ก๊าซ
ในช่วงที่ 1 ของชุดที่ 2.....69
ตารางที่ 4-6 ค่าทีเคเอ็นไนโตรเจนและประสิทธิภาพการกำจัดของทุกชุดการทดลอง
ในช่วงที่ 1.....74
ตารางที่ 4-7 สภาพด่างที่เกิดขึ้นของการทดลองในช่วงที่ 1.....75
ตารางที่ 4-8 ค่าอุณหภูมิและโออาร์พีตลอดการทดลองช่วงที่ 1.....78
ตารางที่ 4-9 อัตราการผลิตก๊าซมีเทนของทุกชุดการทดลอง.....106
ตารางที่ 4-10 ค่าอัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะ อัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน
จำเพาะและอัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันจำเพาะ.....107
ตารางที่ 5-1 เกณฑ์การออกแบบ กระบวนการยูเอเอสบี - แอน็อกซิก - แอโรบิก.....114

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2-1 การเจริบเติบโตของจุลชีพในถังปฏิกิริยาแบบแบตช์.....7
รูปที่ 2-2 ปฏิกิริยารีดักชันในน้ำเสีย.....8
รูปที่ 2-3 ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยกระบวนการไร้ออกซิเจน.....9
รูปที่ 2-4 ชนิดของสารตั้งต้นและผลิตผลที่ได้จากขั้นตอน hydrolysis และเอนไซม์ที่ใช้.....11
รูปที่ 2-5 โครงสร้างของจุลชีพในระบบยูเอเอสบีบำบัดน้ำเสียกลูโคส.....19
รูปที่ 2-6 โครงสร้างและความหนาแน่นของแบคทีเรียในน้ำเสียประเภทคาร์โบไฮเดรต.....20
รูปที่ 2-7 ขั้นตอนการกำจัดไนโตรเจน.....22
รูปที่ 2-8 ผลของพีเอชต่อปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน.....25
รูปที่ 2-9 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน.....25
รูปที่ 2-10 การสร้างสภาพด่างในน้ำเสียโปรตีน 29
รูปที่ 2-11 ระบบสลัดจ์เดี่ยวที่มีการเวียนตะกอนกลับ.....30
รูปที่ 2-12 ระบบสลัดจ์เดี่ยวที่มีการเวียนตะกอนกลับแบบคลองวนเวียน.....30
รูปที่ 2-13 ระบบสลัดจ์คู่.....30
รูปที่ 3-1 ชุดอุปกรณ์การทดลองช่วงที่ 1.....40
รูปที่ 3-2 ถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี ระดับห้องปฏิบัติการ.....41
รูปที่ 3-3 ถังปฏิกรณ์ยูเอเอสบี ระดับต้นแบบสาธิตนำร่อง.....42
รูปที่ 3-4 ถังปฏิกรณ์แอโรบิก ระดับต้นแบบสาธิตนำร่อง.....43
รูปที่ 3-5 ถังปฏิกรณ์แอน็อกซิก ระดับต้นแบบสาธิตนำร่อง.....44
รูปที่ 3-6 ผังการทำงานของการทดลองช่วงที่ 2.....45
รูปที่ 4-1 พารามิเตอร์ที่ใช้พิจารณาสภาวะคงตัวของระบบในช่วงที่ 1 ของการทดลองที่ 1 50
รูปที่ 4-2 ค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดช่วงที่ 1 ของการทดลองที่ 1.....53
รูปที่ 4-3 เปรียบเทียบสภาวะการทำงานของระบบชุดที่ 1 และชุดที่ 2 ในรูปซีโอดี
ในช่วงที่1 ของการทดลองที่ 1 54
รูปที่ 4-4 ทำงานของระบบชุดที่ 1 และชุดที่ 2 ในรูปบีโอดี ในช่วงที่ 1 ของการทดลองที่ 1.....56
รูปที่ 4-5 ทำงานของระบบชุดที่ 1 และชุดที่ 2 ในรูปของแข็งแขวนลอย
ในช่วงที่ 1 ของ การทดลองที่1 57
รูปที่ 4-6-1 ปริมาณก๊าซรวมที่เกิดขึ้นต่อภาระบรรทุกสารอินทรีย์ตลอดการทดลอง
ในช่วงที่1 ของการทดลองที่ 1.....56

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

น้ำออกจากส่วนแอโรบิก.....101
รูปที่ 4-37 ค่าMLSS/MLVSS ของระบบแอน็อกซิกและแอโรบิก.....103
รูปที่ 4-38 ค่าSV30 และ SVIของระบบแอน็อกซิกและแอโรบิก.....104
รูปที่ 4-39 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนฟล๊อคในระบบเอเอส.....105
รูปที่ 4-40 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนฟล๊อคในระบบแอน็อกซิก.....105
รูปที่ 4-41 สมดุลในระบบยูเอเอสบี-แอน็อกซิก-แอโรบิก.....109
รูปที่ 5-1 ร่างมาตรฐานสะพานปลา.....113

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4-6-2 ปริมาณก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัดในสภาวะคงตัวช่วงที่ 1 การทดลองที่ 1.....57
รูปที่ 4-7 ผลของความเค็มต่อประสิทธิภาพการกำจัดของระบบตลอดการทดลอง
ในช่วงที่ 1 การทดลองที่ 1.....62
รูปที่ 4-8 ประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดซีโอดี บีโอดี$_5$ ของแข็งแขวนลอย
ทีเคเอ็น และไขมัน เปรียบเทียบชุดที่ 1 และชุดที่ 2 ในสภาวะคงตัว
ที่เปอร์เซ็นต์ 50ในช่วงที่ 1 การทดลองที่ 1 63
รูปที่ 4-9 ค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดตลอดการทดลองของชุดที่ 2 ในช่วงที่ 1.....65
รูปที่ 4-10 ค่าซีโอดีและภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เข้าระบบต่อประสิทธิภาพการ
กำจัดซีโอดีของชุดที่ 2 ในสภาวะคงตัวของการทดลอง.....65
รูปที่ 4-11 ค่าบีโอดี$_5$ และประสิทธิภาพการกำจัดในช่วงสภาวะคงตัวของการทดลองชุดที่ 2.....67
รูปที่ 4-12 ค่าของแข็งแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดตลอดการทดลองชุดที่ 2.....68
รูปที่ 4-13-1 ปริมาณก๊าซรวมที่เกิดขึ้นต่อภาระบรรทุกสารอินทรีย์ตลอดการทดลอง
ในช่วงที่ 1 ของชุดที่ 2.....70
รูปที่ 4-13-2 ปริมาณก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัดในสภาวะคงตัวช่วงที่ 1 ของชุดที่ 2.....0
รูปที่ 4-14-1 การกระจายตัวของขนาดเม็ดตะกอนที่ความเร็วต่างกันของชุดที่ 1 และชุดที่ 2 71
รูปที่ 4-14-2 การขยายของชั้นตะกอนและระยะกระทบจาก GSS ของชุดที่ 2
ที่ความเร็วไหลขึ้นที่ 1 2 และ 3 ม./ชม.....71
รูปที่ 4-15 ประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดซีโอดี บีโอดี$_5$ ของแข็งแขวนลอย
ทีเคเอ็น และไขมัน เปรียบเทียบชุดที่ 2 ในการทดลองที่ 1 และที่ 2
ในสภาวะคงตัวที่เปอร์เซ็นต์ 50.....74
รูปที่ 4-16 ประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดซีโอดี บีโอดี$_5$ ของแข็งแขวนลอย
ทีเคเอ็น และไขมัน เปรียบเทียบชุดที่ 2 และที่ 3 ในสภาวะคงตัวที่เปอร์เซ็นต์ 50.....74
รูปที่ 4-17 ความสัมพันธ์ของค่าสภาพด่าง กรดไขมันระเหย และพีเอชในสภาวะคงตัว.....76
รูปที่ 4-18 ค่าอุณหภูมิของทุกชุดการทดลองช่วงที่ 1.....77
รูปที่ 4-19 ค่าโออาร์พีของทุกชุดการทดลองช่วงที่ 1.....74
รูปที่ 4-20 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ชุดที่ 1.....80
รูปที่ 4-21 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ชุดที่ 2.....81
รูปที่ 4-22 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเลคตรอนของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ชุดที่ 3.....82

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4-23-1 ประสิทธิภาพของระบบในการกำจัดซีโอดี บีโอดี$_5$ ของแข็งแขวนลอย ทีเคเอ็น และไขมัน เปรียบเทียบชุดที่ 2 การทดลองที่ 1 และต้นแบบสาธิตนำร่อง....84
รูปที่ 4-23-2 ค่าซีโอดีและภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เข้าระบบต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของต้นแบบสาธิตนำร่อง....84
รูปที่ 4-24-1 ปริมาณก๊าซรวมที่เกิดขึ้นต่อภาระบรรทุกสารอินทรีย์ตลอดการทดลองของชุดต้นแบบสาธิตนำร่อง....85
รูปที่ 4-24-2 ปริมาณก๊าซมีเทนต่อซีโอดีที่ถูกกำจัดในสภาวะคงตัวของชุดต้นแบบสาธิตนำร่อง....86
รูปที่ 4-25 ค่าซีโอดีตลอดการทดลองและประสิทธิภาพการกำจัดในสภาวะคงตัวที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50....87
รูปที่ 4-26 ค่าบีโอดีตลอดการทดลองและประสิทธิภาพการกำจัดในสภาวะคงตัวที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50....88
รูปที่ 4-27 ของแข็งแขวนลอยตลอดการทดลองและประสิทธิภาพการกำจัดในสภาวะคงตัวที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50....90
รูปที่ 4-28-1 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดของระบบยูเอเอสบี-แอน็อกซิก-แอโรบิก....91
รูปที่ 4-28-2 ทีเคเอ็นไนโตรเจนของระบบยูเอเอสบี-แอน็อกซิก-แอโรบิก....91
รูปที่ 4-29 ประสิทธิภาพการกำจัดที่เปอร์เซ็นต์ไทล์ 50ในสภาวะคงตัวโดยเทียบค่าที่เข้าระบบแต่ละส่วนทั้งในรูปไนโตรเจนทั้งหมดและทีเคเอ็นไนโตรเจน....92
รูปที่ 4-30 ประสิทธิภาพปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันของการทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2....94
รูปที่ 4-31 ประสิทธิภาพปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันของการทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2....95
รูปที่ 4-32 อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนในน้ำเสียเทียบอัตราคาร์บอนต่อไนโตรเจนก๊าซของการทดลองที่ 1 และการทดลองที่ 2....96
รูปที่ 4-34 ปริมาณออกซิเจนละลายของระบบยูเอเอสบี-แอน็อกซิก-แอโรบิก....99
รูปที่ 4-34 อุณหภูมิของระบบยูเอเอสบี-แอน็อกซิก-แอโรบิก....99
รูปที่ 4-35 สภาพด่างไบคาร์บอเนตและพีเอชของน้ำเสียที่เข้าและน้ำออกจากส่วนแอน็อกซิก....100
รูปที่ 4-36 สภาพด่างไบคาร์บอเนตและพีเอชของน้ำเสียที่เข้าและ