ระยะเวลาการเติมอากาศที่เหมาะสมที่จัดการสถัดจ์ส่วนเกินได้ดีที่สุด ในกระบวนการแอนแอโรบิก/แอโรบิก

นางสาวนภาพร ทองคำมาก

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-334-314-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I19282722

THE OPTIMUM AERATION TIME TO BEST MANAGE THE EXCESS SLUDGE IN THE ANAEROBIC/AEROBIC PROCESS

Miss Napaporn Tongkhammak

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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 1999

ISBN 974-334-314-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ระยะเวลาการเติมอากาศที่เหมาะสมที่จัดการสถัดจ์ส่วนเกินได้ดีที่สุดในกระบวนการแอนแอโรบิก/แอโรบิก
โดย	นางสาวนภาพร ทองคำมาก
ภาควิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ดร.ชงชัย พรรณสวัสดิ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

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

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ดร.ชงชัย พรรณสวัสดิ์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์)

.....กรรมการ
(อาจารย์วิบูลย์ลักษณ์ พึ่งรัศมี)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นกาพร ทองคำมาก : ระยะเวลาการเติมอากาศที่เหมาะสมที่จัดการสลัดจ์ส่วนเกินได้ดีที่สุดในกระบวนการแอนแอโรบิก/แอโรบิก (The Optimum Aeration Time to Best Manage the Excess Sludge in the Anaerobic/Aerobic Process) อ.ที่ปรึกษา : ศ.ดร. ธงชัย พรรณสวัสดิ์ ; 151 หน้า. ISBN 974-334-314-8

การวิจัยครั้งนี้มุ่งเน้นศึกษาถึงการยืดระยะเวลาการเติมอากาศในช่วงแอโรบิกของกระบวนการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพแบบแอนแอโรบิก/แอโรบิก เพื่อให้สลัดจ์ถูกย่อยสลายและมีปริมาณลดลงรวมทั้งมีสมบัติในการรีดน้ำที่ดี แต่ในขณะเดียวกันยังคงมีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสสูง สัดส่วนที่สูงขึ้นของฟอสฟอรัสในสลัดจ์ส่วนเกินทำให้สลัดจ์มีสมบัติเหมาะที่จะนำไปทำเป็นปุ๋ยหรือสารปรับสภาพดิน ในการทดลองใช้ถังปฏิกิริยาแบบกวนสมบูรณ์ขนาดโต๊ะทดลองซึ่งประกอบด้วยถังแอนแอโรบิก ถังแอโรบิก และถังตกตะกอน น้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบทดลองมีอัตราน้ำไหลเข้า 36 ลิตร/วัน มีระยะเวลากักพักน้ำภายใต้สภาวะแอนแอโรบิกและแอโรบิก 2 และ 4 ชั่วโมงตามลำดับ น้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียสังเคราะห์มีอัตราส่วนบีโอดีต่อฟอสฟอรัสเท่ากับ 45:1 (CE) , 20:1 (OK) และ 5:1 (CL) พบว่าการทำงานของระบบไม่สามารถทำให้เกิดการกำจัดฟอสฟอรัสได้ดีที่อุณหภูมิห้องและเอสอาร์ที 5 วัน แต่ที่เอสอาร์ที 10 วัน พบว่าระบบสามารถกำจัดฟอสฟอรัสได้โดยมีประสิทธิภาพเท่ากับร้อยละ 70, 61 และ 35 แต่เมื่อพิจารณาถึงปริมาณฟอสฟอรัสในสลัดจ์แล้ว พบว่าการทดลอง ด้วยน้ำเสีย CL มีค่าสูงสุดคือเท่ากับร้อยละ 17.5 ในขณะที่การทดลองด้วยน้ำเสีย OK และ CE มีค่าร้อยละ 9.48 และ 4.61 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าการยืดระยะเวลาการเติมอากาศทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสและปริมาณฟอสฟอรัสในสลัดจ์สูงขึ้น โดยมีค่าที่เหมาะสมที่สุดในการยืดระยะเวลาการเติมอากาศอีก 5, 1 และ 2.5 ชั่วโมง รวมระยะเวลาการเติมอากาศเป็น 9, 5 และ 6.5 ชั่วโมง สำหรับระบบ CE, OK และ CL ตามลำดับ อย่างไรก็ดีพบว่าถ้ายืดระยะเวลาออกไปอีกจะทำให้มีการปลดปล่อยฟอสฟอรัสแบบขั้นสองกลับคืนออกมา ทำให้น้ำที่ผ่านการบำบัดมีความเข้มข้นของฟอสฟอรัสสูงขึ้น

นอกจากนี้การยืดระยะเวลาการเติมอากาศสามารถลดปริมาณสลัดจ์ลงตามระยะเวลาที่ยืดออกไปและทำให้สลัดจ์ที่ได้มีความสามารถในการรีดน้ำที่อาศัยแรงโน้มถ่วงโลก(เช่นการใช้ลานตากตะกอน) ดีขึ้น เพราะมีค่าซีเอสที (capillary suction time)ลดลง โดยระยะเวลาเติมอากาศที่ยืดออกไปที่เหมาะสมที่สุดของการทดลองด้วยน้ำเสีย CE, OK และ CL คือ 1, 3.5 และ 4 ชั่วโมงตามลำดับ ทำให้ได้ค่าซีเอสทีเท่ากับ 23.66, 19.61 และ 23.05 วินาที และหากทำการยืดเวลาการเติมอากาศต่อไปอีกจะทำให้ความสามารถในการรีดน้ำของทุกระบบลดลง ส่วนความสามารถในการรีดน้ำด้วยแรงทางกลศาสตร์(เช่นการใช้เครื่องรีดน้ำแบบอัดกรองใต้ความดัน) การยืดเวลาการเติมอากาศไม่ทำให้เกิดผลดีต่อสลัดจ์ เพราะทำให้รีดน้ำได้ยากขึ้น ซึ่งดูได้จากค่าความต้านทานจำเพาะ (specific resistance) ที่เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเติมอากาศที่เพิ่มขึ้น

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต _____

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

ปีการศึกษา 2542 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม _____

3970751821 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORD: BPR / PAOs / ANAEROBIC - AEROBIC PROCESS / SLUDGE

NAPAPORN TONGKHAMMAK : THE OPTIMUM AERATION TIME TO BEST MANAGE THE EXCESS SLUDGE IN THE ANAEROBIC/AEROBIC PROCESS. THESIS ADVISOR : PROF.THONGCHAI PANSWAD, Ph.D. 151 pp.

ISBN 974-334-314-8

The effects of extending the aeration period on biological phosphorus removal and sludge characteristics in anaerobic/aerobic process were studied by both continuous flow and batch experiments. In the continuous flow experiments, six systems with different sludge retention time (SRT) and C:P ratio of wastewater were operated. It was observed that a good phosphorus removal at 5 days SRT was not possible at room temperature but at 10 days SRT, the efficiencies of phosphorus removal at SRT 10 days were 76, 61 and 35% for the case of C:P ratio of 45:1(CE), 20:1(OK) and 5:1 (CL) , respectively. Total phosphorus content in sludge was 4.61, 9.48 and 17.50%, respectively.

In the batch experiments, the effect of extending the aeration time on phosphorus removal was investigated. The optimum aeration time of the CE, OK and CL system at 10 days SRT was 9, 5 and 6.5 hours, respectively . Moreover, if the aeration time is more prolonged, it made the system decrease in the efficiency of phosphorus removal, and there was even secondary phosphorus release, resulting in worse-quality effluent.

The results of prolonging the aeration time indicated that both MLSS and MLVSS were decreased. The property of sludge on natural dewatering was be better if the system has long aeration time. The optimum aeration time for natural dewatering of each experiments was 5, 7.5 and 8 hours of system CE, OK and CL, respectively. They showed 23.66, 19.61 and 23.05 sec. of CST (capillary suction time) parameter. In contrast, the aeration time that was over 4 hours of every experiments made the property of sludge on dewatering by pressure worse. They showed increasing trend of specific resistance parameter with the aeration time.

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต _____

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

ปีการศึกษา 2542 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ศาสตราจารย์ ดร. ธงชัย พรรณสวัสดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ซึ่งให้โอกาสอันดีในการทำงานวิจัยครั้งนี้ และได้ให้คำแนะนำต่างๆ ทั้งความรู้ทางด้านวิชาการและการดำเนินชีวิตด้วยดีตลอดมา ขอขอบพระคุณที่ท่านได้เสียสละแรงกาย แรงใจ และเวลาอันมีค่าอย่างไม่เห็นแก่ความเหน็ดเหนื่อยมาโดยตลอด

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) โดยทุนเมธีวิจัยอาวุโส ศาสตราจารย์ ดร. ธงชัย พรรณสวัสดิ์ที่ได้ให้การสนับสนุนงานวิจัยนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณอาจารย์เฉลิมราช วันทวิน และอาจารย์จินต์ อโณทัย อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ได้ให้คำแนะนำและเป็นที่ปรึกษาทางด้านวิชาการ อาจารย์ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์ อาจารย์ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้คำแนะนำและการช่วยเหลือต่างๆ คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ เจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในด้านต่างๆ เจ้าหน้าที่ประจำศูนย์เครื่องมือฯ ที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือมาโดยตลอด และทีมงานเมธีวิจัยที่ให้คำแนะนำ ความรู้ใหม่ๆ และความร่วมมือในการแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้น

ขอขอบคุณคุณบุษกรและคุณอรที่ร่วมกันแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างทำการทดลอง คุณกาญจนาและคุณอภิรดีที่เสียสละเวลามาช่วยทำการทดลองในช่วงตอนกลางคืน คุณรัตนาที่ช่วยแปลเอกสาร และคุณคมสันต์ที่เสียสละเวลาในการทำสไลด์เพื่อใช้ในการสอบวิทยานิพนธ์และช่วยแก้ไขปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นกับเครื่องคอมพิวเตอร์

ขอขอบคุณกำลังใจและความห่วงใยจากเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ทุกคนที่มีให้ตลอดเวลา

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบคุณพระคุณบิดามารดาและญาติพี่น้องทุกคนที่ได้ให้การสนับสนุนทุกๆ ด้านจนสำเร็จเป็นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ
กิตติกรรมประกาศ..... ฉ
สารบัญ..... ช
สารบัญตาราง..... ญ
สารบัญรูป..... ฏ
บทที่ 1 บทนำ..... 1
1.1 ความเป็นมา..... 1
1.2 วัตถุประสงค์ 2
1.3 ขอบเขตการศึกษา 2
บทที่ 2 ทบทวนเอกสาร..... 4
2.1 บทนำ..... 4
2.2 การกำจัดฟอสฟอรัส..... 4
2.3 หลักการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพ..... 5
2.4 ระบบกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพ..... 8
2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพ..... 9
2.6 สลัดจ์..... 13
2.6.1 สลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสีย..... 14
2.6.2 ลักษณะจากระบบบำบัดน้ำเสีย..... 14
2.6.3 สลัดจ์จากกระบวนการกำจัดชาตุอาหารทางชีวภาพ..... 14
2.6.4 การควบคุมตะกอนอีดในกระบวนการกำจัดชาตุอาหารทางชีวภาพ..... 17
2.7 การรีดน้ำสลัดจ์..... 18
2.7.1 การรีดน้ำแบบเครื่องกล..... 19
2.7.2 การรีดน้ำแบบธรรมชาติ..... 19
2.8 งานวิจัยที่ผ่านมา..... 19
บทที่ 3 แผนการทดลองและการดำเนินการวิจัย..... 34
3.1 แผนการทดลอง..... 34

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.1.1 ตัวแปรกำหนด..... 34
3.1.2 ตัวแปรอิสระ..... 35
3.1.3 ตัวแปรตาม..... 37
3.2 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์..... 37
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง..... 39
3.4 การควบคุมการทำงาน..... 44
3.5 การเก็บตัวอย่างน้ำ ตัวอย่างสลัดจ์ และการวิเคราะห์ตัวอย่าง..... 45
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์..... 49
4.1 ผลของการเติมเอทียูต่อการกำจัดซีโอดีและการยับยั้งไนตริฟิเคชัน..... 62
4.2 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล..... 63
4.2.1 อุณหภูมิ..... 63
4.2.2 ออกซิเจนละลายน้ำ..... 63
4.2.3 โออาร์พี..... 63
4.2.4 พีเอช..... 63
4.2.5 สภาพด่าง..... 64
4.2.6 ทีเคเอ็น..... 64
4.2.7 ไนเทรตและไนไทรต์..... 65
4.2.8 กรดไขระเหยง่าย..... 65
4.2.9 ซีโอดี..... 66
4.2.10 พีเอชเอ..... 67
4.2.11 ฟอสฟอรัส..... 68
4.2.12 ปริมาณฟอสฟอรัสในสลัดจ์..... 71
4.2.13 เอ็มแอลเอสเอส เอ็มแอลวีเอสเอสและอัตราส่วนเอ็มแอลวีเอสเอสต่อเอ็มแอลเอสเอส..... 72
4.2.14 ค่าของแข็งแขวนลอย ค่าเอสวี 30 และค่าเอสวีไอ..... 74
4.2.15 อัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจำเพาะและอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะ..... 75
4.3 ผลการทดลองแบบแบตช์และวิเคราะห์ผล..... 76
4.3.1 ฟอสฟอรัสและปริมาณฟอสฟอรัสในเซลล์..... 76

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3.2 เอ็มแอลเอสเอสและเอ็มแอลวีเอสเอส..... 86
4.3.3 ซีเอสที..... 88
4.3.4 ความต้านทานจำเพาะ..... 90
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ..... 92
5.1 สรุปผลการทดลอง..... 92
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 94
รายการอ้างอิง..... 96
ภาคผนวก..... 101
ภาคผนวก ก. การหาอัตราส่วนบีโอดีต่อซีโอดี..... 102
ภาคผนวก ข. การคำนวณหาปริมาณสารที่ใช้ในการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์..... 104
ภาคผนวก ค. การหาผลของการเติมเอทีอูต่อการกำจัดซีโอดี และการเกิดไนตริฟิเคชันของจุลชีพ..... 107
ภาคผนวก ง. การเพาะเชื้อพีเอโอ..... 108
ภาคผนวก จ. บันทึกการทดลอง..... 109
ภาคผนวก ฉ. การวัดซีเอสที..... 113
ภาคผนวก ช. การวัดค่าความต้านทานจำเพาะ..... 114
ภาคผนวก ซ. การวัดพีเอชเอ..... 115
ภาคผนวก ฌ. ข้อมูลผลการทดลองรายวัน..... 116
ภาคผนวก ญ. การหาสัดส่วนต่างๆ ที่สถานะคงตัว..... 139
ภาคผนวก ฎ. การดูดมวลฟอสฟอรัส..... 141
ภาคผนวก ฏ. อัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจำเพาะและอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะ. 143
ภาคผนวก ฐ. ข้อมูลผลการทดลองแบบแบตช์..... 146
ประวัติผู้เขียน..... 152

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ปริมาณฟอสฟอรัสจากแหล่งกำเนิดต่างๆในสหรัฐอเมริกา..... 5

ตารางที่ 2.2 ฟอสฟอรัสในน้ำเสียจากแหล่งชุมชน..... 5

ตารางที่ 2.3 แหล่งที่มาของของแข็งและสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสีย..... 15

ตารางที่ 2.4 ลักษณะของของแข็งและสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสีย..... 15

ตารางที่ 2.5 ปริมาณฟอสฟอรัสในสลัดจ์สูงสุดในระบบกำจัดทางชีวภาพ..... 16

ตารางที่ 2.6 สภาวะการทำงานของการทดลองเฟสต่างๆ..... 20

ตารางที่ 3.1 สมบัติของน้ำเสียสังเคราะห์เริ่มต้นที่ใช้ในการทดลอง..... 35

ตารางที่ 3.2 การดำเนินการของแต่ละชุดการทดลอง..... 36

ตารางที่ 3.3 สรุปแนวคิดการเปรียบเทียบงานที่จะศึกษาในแต่ละชุดทดลอง..... 37

ตารางที่ 3.4 ส่วนประกอบของน้ำเสียสังเคราะห์..... 38

ตารางที่ 3.5 พารามิเตอร์และความถี่ที่จะวิเคราะห์ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง..... 47

ตารางที่ 3.6 วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์..... 48

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองที่สถานะคงตัวของการทดลอง W/CE10..... 61

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองที่สถานะคงตัวของการทดลอง W/OK10..... 61

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองที่สถานะคงตัวของการทดลอง W/CL10..... 61

ตารางที่ 4.4 ซีโอดีเฉลี่ยและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีกรองที่สถานะคงตัวของแต่ละการทดลอง..... 66

ตารางที่ 4.5 ฟอสฟอรัสและประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสที่สถานะคงตัว..... 68

ตารางที่ 4.6 สัดส่วนต่างๆ ที่สถานะคงตัวของแต่ละการทดลอง..... 70

ตารางที่ 4.7 เอ็มแอลเอสเอส เอ็มแอลวีเอสเอส และอัตราส่วนเอ็มแอลวีเอสเอสต่อเอ็มแอลเอสเอสเฉลี่ยที่สถานะคงตัว..... 74

ตารางที่ 4.8 ค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ย ค่าเอสวี 30 เฉลี่ย และค่าเอสวีไอเฉลี่ยที่สถานะคงตัว... 75

ตารางที่ 4.9 อัตราการปลดปล่อยฟอสฟอรัสจำเพาะและอัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะเริ่มต้น..... 75

ตารางที่ 4.10 ผลของการยืดเวลาการเติมอากาศต่อปริมาณฟอสฟอรัสและปริมาณฟอสฟอรัสในเซลล์ ในช่วง 19 ชั่วโมงแรกของการเติมอากาศ..... 76

ตารางที่ 4.11 ผลของการยืดเวลาการเติมอากาศต่อปริมาณเอ็มแอลเอสเอส, เอ็มแอลวีเอสเอส, เอ็มแอลวีเอสเอสต่อเอ็มแอลเอสเอส และเปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสในสลัดจ์..... 88

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลงบีโอดีละลายและฟอสฟอรัสที่เกิดขึ้นในระบบกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพ..... 8

รูปที่ 2.2 กระบวนการแอนแอโรบิก-ออกซิก..... 9

รูปที่ 2.3 กระบวนการโฟสทริป..... 9

รูปที่ 2.4 การกำจัดซีโอดีในแต่ละการทดลอง..... 22

รูปที่ 2.5 การกำจัดฟอสฟอรัสในแต่ละการทดลอง..... 22

รูปที่ 2.6 การเปลี่ยนแปลงของคาร์โบไฮเดรตในสลัดจ์ที่ช่วงแอนแอโรบิกและแอโรบิกของแต่ละการทดลอง..... 23

รูปที่ 2.7 ค่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสทั้งหมด และฟอสฟอรัสละลายระหว่างการย่อยสลายแบบแอนแอโรบิกของสลัดจ์ส่วนเกินจากกระบวนการแอนแอโรบิก/แอโรบิก และสลัดจ์ผสมระหว่างสลัดจ์ส่วนเกินจากกระบวนการแอนแอโรบิก/แอโรบิกกับสลัดจ์จากการบำบัดเบื้องต้น..... 24

รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มขึ้นของปริมาณของแข็งที่ไม่ระเหยกับปริมาณฟอสฟอรัสในเซลล์..... 25

รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนฟอสฟอรัสต่อคาร์บอนในน้ำเสียเข้าและปริมาณฟอสฟอรัสในเซลล์ที่เกิดขึ้นในระหว่างการทดลองของถังที่ 1-3..... 27

รูปที่ 2.10 สัดส่วนโมลของการปลดปล่อยฟอสฟอรัสต่อการจับใช้อะซิเทตที่พบในสลัดจ์ที่มีปริมาณฟอสฟอรัสในเซลล์ต่างกัน..... 28

รูปที่ 2.11 ส่วนประกอบของพีเอชเอจากการจับใช้อะซิเทตของสลัดจ์ที่มีฟอสฟอรัสในเซลล์ต่างๆ กัน..... 28

รูปที่ 2.12 ความเข้มข้นของพารามิเตอร์ต่างๆในการทดลอง a) วัฏจักร 6 ชั่วโมง(I)(ก่อนการยืดเวลาเติมอากาศ) b) วัฏจักร 30 ชั่วโมง(ยืดเวลาการเติมอากาศ) c) วัฏจักร 6 ชั่วโมง (II)(หลังการยืดเวลาเติมอากาศ)..... 30

รูปที่ 2.13 โพรไฟล์ของฟอสฟอรัสเมื่อยืดระยะเวลาช่วงแอนแอโรบิก..... 31

รูปที่ 2.14 โพรไฟล์ของฟอสฟอรัสเมื่อยืดระยะเวลาช่วงแอโรบิกต่อด้วยวัฏจักรปกติ..... 31

รูปที่ 2.15 โพรไฟล์ของฟอสฟอรัสเมื่อยืดระยะเวลาช่วงแอโรบิกต่อ 2 วัฏจักร..... 32

รูปที่ 2.16 โพรไฟล์ของฟอสฟอรัสเมื่อลดปริมาณซีโอดีในน้ำเข้า..... 32

รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย..... 36

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.2 กราฟแสดงการหาสัดส่วนของบีโอดีต่อซีโอดี..... 38
รูปที่ 3.3 การติดตั้งเครื่องมือในแต่ละชุดการทดลอง..... 40
รูปที่ 3.4 การติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง..... 40
รูปที่ 3.5 ถังปฏิกิริยา..... 41
รูปที่ 3.6 ถังตกตะกอน..... 41
รูปที่ 3.7 ลักษณะของชุดกรวยบุคเนอร์..... 43
รูปที่ 3.7 capillary suction apparatus..... 44
รูปที่ 4.1 ข้อมูลรายวันของอุณหภูมิของน้ำในถังปฏิกิริยา..... 50
รูปที่ 4.2 ข้อมูลรายวันของค่าดีโอ..... 51
รูปที่ 4.3 ข้อมูลรายวันของค่าโออาร์พี..... 52
รูปที่ 4.4 ข้อมูลรายวันของค่าพีเอช..... 53
รูปที่ 4.5 ข้อมูลรายวันของสภาพด่าง..... 54
รูปที่ 4.6 ข้อมูลรายวันของทีเคเอ็น..... 55
รูปที่ 4.7 ข้อมูลรายวันของไนเทรต..... 56
รูปที่ 4.8 ข้อมูลรายวันของไนไทรต์..... 57
รูปที่ 4.9 ข้อมูลรายวันของซีโอดี..... 58
รูปที่ 4.10 ข้อมูลรายวันของฟอสฟอรัส..... 59
รูปที่ 4.11 ข้อมูลรายวันของเอ็มแอลเอสเอสและเอ็มแอลวีเอสเอส..... 60
รูปที่ 4.12 ผลของการเติมเอทียูและไม่เติมเอทียูต่อการกำจัดซีโอดีและการยับยั้งไนตริฟิเคชัน... 62
รูปที่ 4.13 ปริมาณกรดไขระเหยง่ายของแต่ละการทดลองที่สถานะคงตัว..... 65
รูปที่ 4.14 ปริมาณซีโอดีของแต่ละการทดลองที่สถานะคงตัว..... 66
รูปที่ 4.15 ปริมาณพีเอชเอในสลัดจ์ที่ถังแอนแอโรบิกและถังแอโรบิกของแต่ละการทดลอง..... 67
รูปที่ 4.16 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพและปริมาณเปอร์เซ็นต์ฟอสฟอรัสในเซลล์ที่ถังแอโรบิกที่สถานะคงตัว..... 71
รูปที่ 4.17 ฟอสฟอรัสในระบบของแต่ละการทดลอง..... 72
รูปที่ 4.18 เปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของสลัดจ์จากถังแอโรบิก..... 73
รูปที่ 4.19 เปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของสลัดจ์จากถังแอโรบิกหลังจากอบที่ 105 องศาเซลเซียส..... 73

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.20 โพรไฟล์ของฟอสฟอรัสและปริมาณฟอสฟอรัสในเซลล์เมื่อยืดเวลาการเติมอากาศ.... 78
รูปที่ 4.21 ผลของการเติมซีโอดีเพิ่ม ณ เวลาการเติมอากาศที่ดีที่สุดของการทดลอง W/OK10 ครั้งที่ 1..... 80
รูปที่ 4.22 ผลของการเติมซีโอดีเพิ่ม ณ เวลาการเติมอากาศที่ดีที่สุดของการทดลอง W/CL10 ครั้งที่ 1..... 80
รูปที่ 4.23 ผลของการเติมซีโอดีเพิ่ม ณ เวลาการเติมอากาศที่ดีที่สุดของการทดลอง W/OK10 ครั้งที่ 2..... 81
รูปที่ 4.24 ผลของการเติมซีโอดีเพิ่ม ณ เวลาการเติมอากาศที่ดีที่สุดของการทดลอง W/CL10 ครั้งที่ 2..... 82
รูปที่ 4.25 ผลของการเติมซีโอดีและไนโตรเจน ณ เวลาการเติมอากาศที่ดีที่สุดของการทดลอง W/OK10..... 83
รูปที่ 4.26 ผลของการเติมซีโอดีและไนโตรเจน ณ เวลาการเติมอากาศที่ดีที่สุดของการทดลอง W/CL10..... 84
รูปที่ 4.27 โพรไฟล์ของเอ็มแอลเอสเอสและเอ็มแอลวีเอสเอสเมื่อยืดเวลาการเติมอากาศ..... 87
รูปที่ 4.28 โพรไฟล์ของค่าซีเอสทีเมื่อยืดเวลาการเติมอากาศของทุกการทดลอง..... 89
รูปที่ 4.29 โพรไฟล์ของค่าความต้านทานจำเพาะเมื่อยืดเวลาการเติมอากาศของทุกการทดลอง... 90

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย