การศึกษาเปรียบเทียบถังคัดพันธุ์แบบแอนนอกซิกและแบบออกซิก
ในการป้องกันสลัดจ์ไม่จมตัวในระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์

นาย ต่อลาภ ชัยวัฒน์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ. 2539

ISBN 974-634-083-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

→ 1112 2 1 1 5 2

Comparative Study of Anoxic and Oxic Selectors for Prevention of Sludge Bulking in an Activated Sludge

Mr. Torlap Chaiyawat

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Environmental Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University
1996

ISBN 974-634-083-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาเปรียบเทียบถังคัดพันธุ์แบบแอนนอกซิกและแบบออกซิก ในการป้องกันสลัดจ์ไม่จมตัวในระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์
โดย	นาย ต่อลาภ ชัยวัฒน์
ภาควิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ ถุงสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ พรประภา)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระ เกรอต)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประแสง มงคลศิริ)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

ต่อลาภ ชัยวัฒน์ : การศึกษาเปรียบเทียบถังคัดพันธุ์แบบแอนนอกซิกและแบบออกซิกในการป้องกันสลัดจ์ไม่จมตัวใน ระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ (COMPARATIVE STUDY OF ANOXIC AND OXIC SELECTORS FOR PREVENTION OF SLUDGE BULKING IN AN ACTIVATED SLUDGE) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ , 177 หน้า , ISBN 974-634-083-2

งานทดลองวิจัยนี้ เป็นการศึกษาการใช้ถังคัดพันธุ์แบบแอนนอกซิกและแบบออกซิกเพื่อป้องกันสลัดจ์ไม่จมตัวในระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ โดยจะเปรียบเทียบกับระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ที่ไม่มีถังคัดพันธุ์

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียสังเคราะห์ซึ่งเตรียมจากน้ำตาล มีค่าซีโอดีประมาณ 1000 มก./ล. และมีสารอาหารทุกอย่างครบถ้วน

จากการทดลองพบว่า การใช้ถังคัดพันธุ์แบบแอนนอกซิกที่มีค่าเวลากักน้ำเท่ากับ 1 , 2 และ 4 ชั่วโมง และมีค่า F/M เท่ากับ 10.8 , 7.0 และ 3.3 วัน$^{-1}$ จะมีค่า V_{30} ของสลัดจ์ในถังเติมอากาศเท่ากับ 62 , 82 และ 131 มล./ล. และ SVI ของสลัดจ์ในถังเติมอากาศเท่ากับ 40 , 86 และ 93 มล./ก. ตามลำดับ โดยมีจุลินทรีย์แบบสร้างฟล็อกเป็นจุลินทรีย์หลักในระบบ แสดงได้ว่าการใช้ถังคัดพันธุ์แบบแอนนอกซิกสามารถป้องกันสลัดจ์ไม่จมตัวได้ในทุกการทดลอง และในถังคัดพันธุ์จะมีการใช้สารอาหารและไนเตรตในอัตราส่วน COD:NO_3^- ประมาณ 100:15

การใช้ถังคัดพันธุ์แบบออกซิกที่มีค่าเวลากักน้ำเท่ากับ 1 , 2 และ 4 ชั่วโมง และมีค่า F/M เท่ากับ 7.6 , 3.6 และ 2.0 วัน$^{-1}$ จะมีค่า V_{30} ของสลัดจ์ในถังเติมอากาศเท่ากับ 327 , 692 และ 606 มล./ล. และ SVI ของสลัดจ์ในถังเติมอากาศเท่ากับ 236 , 462 และ 374 มล./ก. ตามลำดับ โดยพบจุลินทรีย์แบบเส้นใยจำนวนมาก แต่จะมีลักษณะการรวมกลุ่มกันเป็นก้อนใหญ่ มีการอัดตัวกันแน่น สลัดจ์ในระบบจึงมีความสามารถในการจมตัวดี และไม่เกิดปัญหาสลัดจ์ไม่จมตัว ส่วนระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ที่ไม่มีถังคัดพันธุ์จะมีค่า V_{30} เท่ากับ 985 มล./ล. และ SVI เท่ากับ 580 มล./ก. และเกิดปัญหาสลัดจ์ไม่จมตัวส่งผลทำให้สลัดจ์ล้นออกจากถังตกตะกอน

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า การใช้ถังคัดพันธุ์ทั้ง 2 ประเภทสามารถป้องกันการเกิดสลัดจ์ไม่จมตัวในระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังเป็นที่ประจักษ์อย่างชัดเจนว่า ถังคัดพันธุ์แบบแอนนอกซิกสามารถป้องกันปัญหาสลัดจ์ไม่จมตัวได้ดีกว่าถังคัดพันธุ์แบบออกซิก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2538 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

C718089 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING
KEY WORD: ANOXIC SELECTOR / OXIC SELECTOR / SLUDGE BULKING
TORLAP CHAIYAWAT : COMPARATIVE STUDY OF ANOXIC AND OXIC SELECTORS FOR PREVENTION OF SLUDGE BULKING IN AN ACTIVATED SLUDGE THESIS ADVISOR : ASSO.PROF.MUNSIN TUNTOOLLAVEST , Ph.D.,177 pp. ISBN 974-634-083-2

The purpose of this study was to investigate the effects of anoxic and oxic selectors, upon preventing sludge bulking in the AS as compared to the AS without selector.

The feed wastewater was synthesized from sugar and other mineral salts to obtian a completely biodegraded wastewater having COD concentration of about 1000 mg/l.

This study indicated that the anoxic selector in the AS can compleletely prevent the sludge bulking problem. At the hydraulic detention time of 1 , 2 and 4 hours, resulting in F/M of selector of 10.8 , 7.0 , 3.3 d^{-1}, respectively, the average V_{30} of mixed liquor in the aeration tank was found to be 62 , 82 and 131 ml/l; and SVI of 40 , 86 and 93 ml/g, respectively, were obtained. Dominated by floc forming bacteria, anoxic selector was identified undoubtedly as the sludge bulking preventing unit. The average nitrate requirement in the anoxic tank was found to be approximately 15 mg as N for COD removal of 100 mg.

In case of the oxic selector, at the hydraulic detention time of 1 , 2 and 4 hours, F/M in selector of 7.6 , 3.6 , 2.0 d^{-1}, respectively, the average V_{30} of mixed liquor in the aeration tank was found to be 327 , 692 and 608 ml/l; and SVI of 236 , 462 and 374 ml/g, respectively, were obtianed. Even though a large number of filamentous bacteria was observed, the sludge still settled fairly well. This came from the sludge's densed congregation proprety. On the other hand, the AS without selector gave V_{30} = 985 ml/l and SVI = 580 ml/g and had the sludge bulking problem resulting in loss of sludge from the system by carrying over with the overflow of the clarifier.

In conclusion, this study was confirmed that the AS with either type of selector can prevent sludge bulking effectively. It was also clearly shown that the anoxic selector can prevent the sludge bulking problem better than the oxic selector.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2538 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตรจารย์ ดร.มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ เป็นอย่างสูงที่ท่านได้กรุณาให้คำแนะนำและอบรมสั่งสอน ทั้งด้านทฤษฎีและปฏิบัติและให้ข้อคิดต่างๆแก่ผู้วิจัยมาตลอด อย่างไม่เห็นแก่เหนื่อยยาก จนทำให้การวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้

ขอขอบพระคุณ บริษัท แซนอี 68 คอนซัลแตนท์ จำกัด ที่อนุเคราะห์อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน และคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิประสาทความรู้ให้แก่ผู้วิจัย

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ชัยพร ภู่ประเสริฐ ที่ให้คำแนะนำในขั้นตอนต่าง ๆ ในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ พี่ เพื่อนและน้องทุกท่านที่ให้กำลังใจและให้ความช่วยเหลือด้วยดีมาตลอด

ค่าใช้จ่ายในการวิจัยครั้งนี้ ส่วนหนึ่งได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จึงแสดงความขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

สุดท้ายนี้ ความดีและประโยชน์ทั้งปวงของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบแด่บุพการีซึ่งเป็นผู้มีพระคุณสูงสุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ
กิตติกรรมประกาศ.....ฉ
สารบัญ.....ช
สารบัญตาราง.....ฌ
สารบัญรูป.....ฐ
บทที่ 1. บทนำ.....1
1.1 ความเป็นมา.....1
1.2 ปัญหาการไม่จมตัวของสลัดจ์.....2
1.3 วัตถุประสงค์.....2
1.4 ขอบเขตการวิจัย.....3
บทที่ 2. ทบทวนเอกสาร.....4
2.1 หลักการทำงานของแอกทิเวเต็ดสลัดจ์.....4
2.1.1 ปฏิกิริยาในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์.....4
2.1.2 การเกิดแอกทิเวเต็ดสลัดจ์.....5
2.1.3 จุลินทรีย์วิทยาของระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์.....6
2.1.4 ลักษณะตะกอนจุลินทรีย์ในระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์.....7
2.1.5 ชนิดของจุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยที่พบอยู่ในระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์.....12
2.1.6 การวัดความสามารถในการจมตัวของสลัดจ์.....20
2.2 สาเหตุการไม่จมตัวของสลัดจ์.....21
2.3 แนวคิดในการใช้ถังคัดพันธุ์ในการควบคุมการไม่จมตัวของสลัดจ์.....27
2.3.1 ประเภทของถังคัดพันธุ์.....29
2.3.2 การใช้ถังคัดพันธุ์แอนนอกซิกในการควบคุมสลัดจ์ไม่จมตัว.....30
2.4 การศึกษาที่ผ่านมา.....32

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 3. แผนงานและการดำเนินการวิจัย....43
3.1 แผนการทดลอง....43
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์....45
3.3 ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง....46
3.4 น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลอง....52
3.5 การเก็บตัวอย่างน้ำและการวิเคราะห์....52
3.6 การดูแลรักษาและควบคุมระบบ....55
บทที่ 4. ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล....57
4.1 ปัญหาสลัดจ์ไม่จมตัวในระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์....57
4.2 ผลของการใช้ถังคัดพันธุ์แบบแอนนอกซิก....63
4.2.1 ลักษณะจุลินทรีย์ในระบบ....75
4.2.2 สภาพของถังคัดพันธุ์....75
4.2.3 ความสามารถในการป้องกันการเกิดสลัดจ์ไม่จมตัว....87
4.2.4 ความแตกต่างของระดับตะกอนแขวนลอยในถังคัดพันธุ์และถังเติมอากาศ...96
4.3 ผลของการใช้ถังคัดพันธุ์แบบออกซิก....97
4.3.1 ลักษณะจุลินทรีย์ในระบบ....106
4.3.2 ความสามารถในการป้องกันการเกิดสลัดจ์ไม่จมตัว....108
4.3.3 ความแตกต่างของระดับตะกอนแขวนลอยในถังคัดพันธุ์และถังเติมอากาศ.115
4.4 การเปรียบเทียบถังคัดพันธุ์แบบแอนนอกซิกและออกซิก....116
4.4.1 ลักษณะจุลินทรีย์ในระบบ....116
4.4.2 ความสามารถในการป้องกันการเกิดสลัดจ์ไม่จมตัว....116
บทที่ 5. ความสำคัญของงานวิจัยในทางวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม....124
บทที่ 6. สรุปผลการทดลอง....126
บทที่ 7. ข้อแนะนำสำหรับการวิจัยเพิ่มเติม....128
รายการอ้างอิง....129
ภาคผนวก....132
ประวัติผู้เขียน....164

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 ข้อกำหนดจำเพาะของถังคัดพันธุ์.....39
ตารางที่ 2.2 ผลการวิจัยการควบคุมการไม่จมตัวของสลัดจ์.....40
ตารางที่ 2.3 ผลการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย.....41
ตารางที่ 3.1 รายละเอียดการทดลอง.....44
ตารางที่ 3.2 อุปกรณ์ในการวิจัย.....45
ตารางที่ 3.3 วิธีวิเคราะห์.....53
ตารางที่ 3.4 แผนการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ.....54
ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ที่ทำการวัด ในแต่ละตำแหน่งของการทดลองแอกทิเวเต็ดสลัดจ์.....60
ตารางที่ 4.2 ค่าพารามิเตอร์ในการทดลองถังคัดพันธุ์แบบแอนนอกซิก.....71
ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในช่วง steady state ของพารามิเตอร์ ที่ทำการวัดในแต่ละตำแหน่งของการทดลองชุดที่ 1.....72
ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในช่วง steady state ของพารามิเตอร์ ที่ทำการวัดในแต่ละตำแหน่งของการทดลองชุดที่ 2.....73
ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในช่วง steady state ของพารามิเตอร์ ที่ทำการวัดในแต่ละตำแหน่งของการทดลองชุดที่ 3.....74
ตารางที่ 4.6 ค่าความเป็นด่างในการทดลองถังคัดพันธุ์แบบแอนนอกซิก.....77
ตารางที่ 4.7 ผลการสมดุลมวลรอบถังคัดพันธุ์ของซีโอดีและความเป็นด่าง.....79
ตารางที่ 4.8 ปริมาณไนเตรตในการทดลองถังคัดพันธุ์แอนนอกซิก.....81
ตารางที่ 4.9 ผลการสมดุลมวลรอบถังคัดพันธุ์ของซีโอดีและไนเตรต.....83
ตารางที่ 4.10 ค่าความเป็นด่างที่เพิ่มขึ้นต่อไนเตรตที่ลดลงในถังคัดพันธุ์.....85
ตารางที่ 4.11 ค่าความเป็นด่างที่ลดลงต่อไนเตรตที่เพิ่มขึ้นในถังคัดพันธุ์.....86
ตารางที่ 4.12 ค่าซีโอดีในการทดลองถังคัดพันธุ์แอนนอกซิก.....87
ตารางที่ 4.13 ผลการสมดุลมวลรอบถังคัดพันธุ์ของซีโอดี และอุณหภูมิในการทดลอง.....90
ตารางที่ 4.14 ค่า V_{30} และ SVIในถังเติมอากาศของการทดลองถังคัดพันธุ์แอนนอกซิก.....91
ตารางที่ 4.15 ค่า F/M ในถังคัดพันธุ์และ V_{30} ในถังเติมอากาศของการทดลอง ถังคัดพันธุ์แอนนอกซิก.....95

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ 4.16 ระดับตะกอนแขวนลอยในถังคัดพันธุ์และถังเติมอากาศ ของการทดลองถังคัดพันธุ์แอนนอกซิก.....96

ตารางที่ 4.17 ค่าพารามิเตอร์ในการทดลองถังคัดพันธุ์แบบออกซิก.....98

ตารางที่ 4.18 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในช่วง steady state ของพารามิเตอร์ ที่ทำการวัดในแต่ละตำแหน่งของการทดลองชุดที่ 4.....105

ตารางที่ 4.19 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในช่วง steady state ของพารามิเตอร์ ที่ทำการวัดในแต่ละตำแหน่งของการทดลองชุดที่ 5.....105

ตารางที่ 4.20 ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในช่วง steady state ของพารามิเตอร์ ที่ทำการวัดในแต่ละตำแหน่งของการทดลองชุดที่ 6.....106

ตารางที่ 4.21 ค่าซีโอดีในการทดลองถังคัดพันธุ์ออกซิก.....109

ตารางที่ 4.22 ผลการสมดุลมวลรอบถังคัดพันธุ์ของซีโอดี 109

ตารางที่ 4.23 ค่า V_{30} และ SVIในถังเติมอากาศของการทดลองถังคัดพันธุ์ออกซิก.....111

ตารางที่ 4.24 ค่า F/M ในถังคัดพันธุ์และ V_{30} ในถังเติมอากาศของการทดลอง ถังคัดพันธุ์ออกซิก.....114

ตารางที่ 4.25 ระดับตะกอนแขวนลอยในถังคัดพันธุ์และถังเติมอากาศ ของการทดลองถังคัดพันธุ์ออกซิก.....115

ตารางที่ 4.26 ระดับซีโอดีในถังคัดพันธุ์.....120

ตารางที่ 4.27 ค่า V_{30} และ SVI ในถังเติมอากาศ.....121

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่ 2.1 ลักษณะตะกอนจุลินทรีย์....9
รูปที่ 2.2 ลักษณะตะกอนจุลินทรีย์....10
รูปที่ 2.3 ผลของจุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยในกลุ่มฟล็อก....11
รูปที่ 2.4 จุลินทรีย์แบบเป็นเส้นใยกลุ่มที่ 1....13
รูปที่ 2.5 จุลินทรีย์แบบเป็นเส้นใยกลุ่มที่ 2....14
รูปที่ 2.6 จุลินทรีย์แบบเป็นเส้นใยกลุ่มที่ 3....15
รูปที่ 2.7 จุลินทรีย์แบบเป็นเส้นใยกลุ่มที่ 4....16
รูปที่ 2.8 จุลินทรีย์แบบเป็นเส้นใยกลุ่มที่ 5....17
รูปที่ 2.9 จุลินทรีย์แบบเป็นเส้นใยกลุ่มที่ 6....18
รูปที่ 2.10 จุลินทรีย์แบบเป็นเส้นใยกลุ่มที่ 7....19
รูปที่ 2.11 ปริมาณจุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยในกลุ่มฟล็อก....22
รูปที่ 2.12 ความสัมพันธ์ระหว่างออกซิเจนละลายน้ำกับค่า F/M ที่มีผลต่อการเกิดสลัดจ์ไม่จมตัว....23
รูปที่ 2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนกลับของ Dispersion กับ SVI....27
รูปที่ 2.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะกับความเข้มข้นของสารอาหาร....29
รูปที่ 2.15 กลไกการทำงานของถังคัดพันธุ์แบบออกซิก....30
รูปที่ 2.16 กลไกการทำงานของถังคัดพันธุ์แบบแอนนอกซิก....31
รูปที่ 2.17 กลไกการทำงานของถังคัดพันธุ์แบบแอนแอโรบิค....31
รูปที่ 2.18 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะกับความเข้มข้นของสารอาหาร....34
รูปที่ 2.19 ความสัมพันธ์ระหว่างการกำจัดสารอาหารสูงสุดกับความเข้มข้นของสารอาหาร....34
รูปที่ 3.1 เวลาในการทำการทดลอง....46
รูปที่ 3.2 รายละเอียดการเดินระบบถังคัดพันธุ์แบบแอนนอกซิก....47
รูปที่ 3.3 รายละเอียดการเดินระบบถังคัดพันธุ์แบบออกซิก....47
รูปที่ 3.4 รายละเอียดถังคัดพันธุ์....48
รูปที่ 3.5 รายละเอียดถังเติมอากาศ....49

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 3.6 รายละเอียดถังตกตะกอน....50
รูปที่ 3.7 ระบบถังคัดพันธุ์ที่ใช้ในการวิจัย....51
รูปที่ 4.1 กราฟค่าพารามิเตอร์ต่างๆในการทดลองระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์....58
รูปที่ 4.2 ชั้นของสลัดจ์ในถังตกตะกอนของระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์....62
รูปที่ 4.3 ชั้นของสลัดจ์ในถังตกตะกอนของระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ที่มีถังคัดพันธุ์....62
รูปที่ 4.4 การวัดค่า V_{30} ในถังคัดพันธุ์....64
รูปที่ 4.5 ผลการทำงานของถังคัดพันธุ์แอนนอกซิกที่มีเวลากักน้ำเท่ากับ 1 ชั่วโมง....65
รูปที่ 4.6 ผลการทำงานของถังคัดพันธุ์แอนนอกซิกที่มีเวลากักน้ำเท่ากับ 2 ชั่วโมง....67
รูปที่ 4.7 ผลการทำงานของถังคัดพันธุ์แอนนอกซิกที่มีเวลากักน้ำเท่ากับ 4 ชั่วโมง....69
รูปที่ 4.8 จุลินทรีย์ในระบบถังคัดพันธุ์แอนนอกซิก....76
รูปที่ 4.9 การสมดุลมวลรอบถังคัดพันธุ์ของซีโอดีและความเป็นด่าง....78
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเป็นด่างที่เพิ่มขึ้นต่อซีโอดีที่ลดลง
กับเวลากักน้ำในถังคัดพันธุ์....80
รูปที่ 4.11 การสมดุลมวลรอบถังคัดพันธุ์ของซีโอดีและไนเตรต....82
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่าง COD:N กับเวลากักน้ำในถังคัดพันธุ์....83
รูปที่ 4.13 การสมดุลมวลรอบถังคัดพันธุ์ของซีโอดี....89
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างการกำจัดซีโอดีในถังคัดพันธุ์
กับเวลากักน้ำในถังคัดพันธุ์แบบแอนนอกซิก....90
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่าง V_{30} ในถังเติมอากาศ
กับเวลากักน้ำในถังคัดพันธุ์แบบแอนนอกซิก....92
รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่าง SVI ในถังเติมอากาศ
กับเวลากักน้ำในถังคัดพันธุ์แบบแอนนอกซิก....92
รูปที่ 4.17 ค่า V_{30} , SVI และอุณหภูมิของการทดลองชุดที่ 3....94
รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า F/M ในถังคัดพันธุ์
กับ V_{30} ในถังเติมอากาศของการทดลองถังคัดพันธุ์แอนนอกซิก....95
รูปที่ 4.19 ผลการทำงานของถังคัดพันธุ์ออกซิกที่มีเวลากักน้ำเท่ากับ 1 ชั่วโมง....99
รูปที่ 4.20 ผลการทำงานของถังคัดพันธุ์ออกซิกที่มีเวลากักน้ำเท่ากับ 2 ชั่วโมง....101
รูปที่ 4.21 ผลการทำงานของถังคัดพันธุ์ออกซิกที่มีเวลากักน้ำเท่ากับ 4 ชั่วโมง....103

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 4.22 จุลินทรีย์ในระบบถังคัดพันธุ์ออกซิก.....107
รูปที่ 4.23 จุลินทรีย์แบบเส้นใยในระบบถังคัดพันธุ์ออกซิก.....108
รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างการกำจัดซีโอดีในถังคัดพันธุ์
กับเวลากักน้ำในถังคัดพันธุ์แบบออกซิก.....110
รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่าง V_{30} ในถังเติมอากาศ
กับเวลากักน้ำในถังคัดพันธุ์แบบออกซิก.....111
รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่าง SVI ในถังเติมอากาศ
กับเวลากักน้ำในถังคัดพันธุ์แบบออกซิก.....112
รูปที่ 4.27 กลุ่มจุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยในถังคัดพันธุ์แบบออกซิก.....113
รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า F/M ในถังคัดพันธุ์
กับ V_{30} ในถังเติมอากาศของการทดลองถังคัดพันธุ์ออกซิก.....114
รูปที่ 4.29 จุลินทรีย์ในระบบถังคัดพันธุ์ที่มีเวลากักน้ำเท่ากับ 1 ชั่วโมง.....117
รูปที่ 4.30 จุลินทรีย์ในระบบถังคัดพันธุ์ที่มีเวลากักน้ำเท่ากับ 2 ชั่วโมง.....118
รูปที่ 4.31 จุลินทรีย์ในระบบถังคัดพันธุ์ที่มีเวลากักน้ำเท่ากับ 4 ชั่วโมง.....119
รูปที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างซีโอดีในถังคัดพันธุ์กับ F/M ในถังคัดพันธุ์.....120
รูปที่ 4.33 ความสัมพันธ์ระหว่าง F/M ในถังคัดพันธุ์กับ V_{30} ในถังเติมอากาศ.....122
รูปที่ 4.34 ความสัมพันธ์ระหว่าง F/M ในถังคัดพันธุ์กับ SVI ในถังเติมอากาศ.....122

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย