

ผลของอายุตะกอนต่อการกำจัดซีโอต์ของน้ำเสียโรงงานผลิตเบียร์
โดยกระบวนการแอนแอโรบิค-ออกซิค แอกติเวเตตสลัดจ์

นายสุกษม สุขสถาน



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2539

ISBN 974-635-698-4

สงวนลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**EFFECTS OF SLUDGE AGE ON COD REMOVAL
OF BREWERY WASTEWATER BY ANAEROBIC - OXIC ACTIVATED SLUDGE**

Mr. Sukasom Suksathan

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for

The Degree of Master of Engineering

Department of Environmental Engineering

Graduate School Chulalongkorn University

Academic Year 1996

ISBN 974-635-698-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลของอายุตะกอนต่อการกำจัดซีโอดีของน้ำเสีย โรงงานผลิตเบียร์

โดยกระบวนการแอนแอมโรบิค-ออกซิค แอกติเวตเตดสลัดจ์

โดย

นายสุกษม สุขสถาน

ภาควิชา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระ เกรอต

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการ
ศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชูติวงศ์)

คณะกรรมการวิทยานิพนธ์

.....ประธานคณะกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สุรี ขาวเขียว)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระ เกรอต)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพล สายพานิช)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ศิริมา ปัญญาเมธีกุล)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว



สุขุม สุขสถาน : ผลของอายุตะกอนต่อการกำจัดซีโอดีของน้ำเสียโรงงานผลิตเบียร์ โดยกระบวนการ
แอนแอโรบิก-ออกซิก แอกติเวตเตดสลัดจ์ (EFFECTS OF SLUDGE AGE ON COD
REMOVAL OF BREWERY WASTEWATER BY ANAEROBIC-OXIC ACTIVATED
SLUDGE PROLESS)

อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.ธีระ เกรอด 184 หน้า ISBN 974-635-698-4

การใช้กระบวนการการแอนแอโรบิก-ออกซิก แอกติเวตเตดสลัดจ์ กำจัดซีโอดีของน้ำเสียโรงงานผลิตเบียร์ ทำ
ในแบบทดลองที่มีเวลากักรวม 28.8 ชม. มีสัดส่วนปริมาตรของถังแอนแอโรบิกต่อปริมาตรทั้งหมดเท่ากับ 1:6 ค่าอายุ
ตะกอนแปรจาก 3 ถึง 15 วัน อัตราส่วนเวียนกลับเท่ากับ 100 % น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองมีค่าซีโอดีทั้งหมด 1000 ก./ลบ.ม
และมีอัตราส่วนค่า COD:N:P ที่ 150:5:1

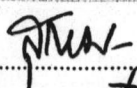
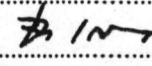
เมื่ออายุตะกอนเท่ากับ 3, 7, 11 และ 15 วัน ค่าอัตราส่วนสารอาหารต่อจุลินทรีย์ในถังแอนแอโรบิก เท่ากับ
7.27, 4.11, 3.41 และ 3.24 กก.ซีโอดี ต่อกก.ตะกอนจุลินทรีย์ต่อวัน และค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ของระบบเท่ากับ
1.41, 0.73, 0.52 และ 0.50 กก.ซีโอดีต่อกก.ตะกอนจุลินทรีย์ตามลำดับ

ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีในช่วงแอนแอโรบิกแปรตามค่าอายุตะกอน และแปรผกผันกับค่าอัตรา ค่า
อัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ เมื่อค่าอายุตะกอนเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในช่วงแอนแอโรบิกจะเพิ่มตามไป ด้วย

ในช่วงอายุตะกอนเท่ากับ 3 ถึง 15 วัน ค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ และค่าอายุตะกอนไม่ได้ส่งผลกระทบต่อ
ต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีรวมของระบบอย่างมีนัยสำคัญ โดยจะมีค่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีรวมของระบบอยู่
ในช่วง 94-96%

ที่อุณหภูมิ 20°ซ อัตราการสลายตัวจำเพาะ (b) = 0.002 ชม.⁻¹ , ค่ายิลด์ที่แท้จริง (Y_p) = 0.367 ก.-เซลล์/ ก.
ซีโอดี , ค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด (μ_m) = 0.015 ชม.⁻¹ และค่าคงที่ความเร็วครึ่งหนึ่ง (K_s) = 16.44 ก.ซีโอดี/ลบ.ม.

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
สาขาวิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล
ปีการศึกษา 2539

ลายมือชื่อนิสิต 
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

พิมพ์ต้นฉบับบทความวิจัยวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

C617625 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEY WORD: ANAEROBIC-OXIC / KINETIC PARAMETER / PHOSPHORUS REMOVAL

SUKASOM SUKSATHAN : EFFECTS OF SLUDGE AGE ON COD REMOVAL OF BREWERY WASTEWATER BY ANAEROBIC-OXIC ACTIVATED SLUDGE PROCESS, THESIS ADVISOR: ASSO. PROF. THREERA KAROT, Ph.D
184 PP. ISBN 974-635-698-4

Treatment of brewery wastewater using anaerobic-oxic activated sludge was done in an experimental model. The total HRT was 28.8 hrs and the volume fraction of anaerobic tank was 1:6. The sludge ages were varied from 3 to 15 days with sludge return rate of 100%. The wastewater in this experiment had total COD of 1000 g./m³ and the COD:N:P ratio was 150:5:1.

When the sludge ages were 3, 7, 11 and 15 days, the F/M ratio in the anaerobic tank were 7.27, 4.11, 3.41 and 3.24 kg.COD/kg.MLSS-day and the system F/M ratios were 1.41, 1.73, 0.52 and 0.50 kg-COD/kg.MLSS-day respectively.

The COD removal efficiency in the anaerobic tank varied with the sludge ages and varied inversely with the F/M ratio. When the sludge ages increased, the COD removal efficiency in the anaerobic tank was also increased.

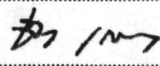
Within the range of sludge ages of 3 to 15 days, the F/M ratio and the sludge age did not significantly affect the system total COD removal efficiency. The COD removal efficiency of the system was in the range of 94-96%.

At 20° C, the specific decay rate constant (b) = 0.002 hrs.⁻¹, the true growth yield (Y_g) = 0.367 g.cell/g.COD, the maximum specific growth rate constant (μ_m) = 0.015 hrs.⁻¹ and the half velocity constant (K_s) = 16.44 g.COD/m³.

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ลายมือชื่อนิสิต 

สาขาวิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 

ปีการศึกษา 2539

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระ เกรอต ที่ได้พยายามอบรมสั่งสอน และแนะนำให้แก่วิจัยในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.สุรพล สายพานิช รองศาสตราจารย์สุรี ชาวเอียร และอาจารย์ศิริมา ปัญญาเมธิกุล ที่ช่วยกรุณาตรวจสอบวิทยานิพนธ์ อีกทั้งให้คำแนะนำในด้านวิชาการ แก่วิจัย รวมถึงคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ประสิทธิประสาทความรู้ให้แก่วิจัย

ขอขอบพระคุณบริษัท บุญรอดบริวเวอรี่ จำกัด ที่ได้เอื้อเฟื้อน้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิต เบียร์และน้ำตะกอนจุลินทรีย์ เพื่อให้วิจัยใช้ในการทดลองจนเป็นผลสำเร็จ

วิจัยขอขอบพระคุณผู้มีพระคุณทุกท่านที่ได้ช่วยเหลือให้ข้าพเจ้าจัดทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนสำเร็จ

สุดท้ายวิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดา ของข้าพเจ้า ที่พยายามเคี่ยวเข็ญให้ข้าพเจ้าร่ำเรียนให้สำเร็จ อีกทั้งกำลังใจที่ข้าพเจ้าได้รับจากคุณรุ่งนภา ศรีวิเศษศักดิ์ และ ต.ญ.ศุภาพิชญ์ สุขสถาน

สุขสม สุขสถาน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูปภาพ	ซ

บทที่

1	บทนำ.....	1
	1.1 ความเป็นมา.....	1
	1.2 มูลเหตุของการวิจัย.....	2
2	วัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัย.....	3
	2.1 วัตถุประสงค์.....	3
	2.2 ขอบเขตการวิจัย.....	3
3	กระบวนการแยกติเวตเตตสลัดจ์.....	5
	3.1 แนะนำกระบวนการ.....	5
	3.2 กลไกการทำงาน.....	6
	3.3 การเกิดแยกติเวตเตตสลัดจ์.....	8
	3.4 จุลชีววิทยาของแยกติเวตเตตสลัดจ์.....	9

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบ.....	10
3.5.1 ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย.....	10
3.5.2 อาหารเสริม.....	10
3.5.3 ออกซิเจนละลายน้ำ.....	11
3.5.4 ระยะเวลาในการบำบัด.....	11
3.5.5 ค่าพีเอช.....	11
3.5.6 สารเป็นพิษ.....	12
3.5.7 อุณหภูมิ.....	12
3.5.8 การกวน.....	12
3.5.9 อัตราการไหลของเสีย.....	13
3.6 จลนศาสตร์ของแอกติเวตเตดสลัดจ์.....	13
3.6.1 การเจริญเติบโตของเซลล์และการใช้สารอาหาร.....	13
3.6.2 การสลายตัวของจุลชีพ.....	15
3.6.3 การตาย.....	16
3.6.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง θ_c กับ μ และ S	16
3.6.5 ยี่ลัดจากการสังเกต.....	17
4 กระบวนการแอกติเวตเตดสลัดจ์แบบแอนแอโรบิก-ออกซิด.....	18
4.1 ความเป็นมาของกระบวนการ.....	18
4.2 หลักการทำงานของกระบวนการแอนแอโรบิก-ออกซิด แอกติเวตเตดสลัดจ์.....	19
4.3 เมธาบอลิซึมของกระบวนการแอนแอโรบิก-ออกซิด แอกติเวตเตดสลัดจ์.....	25
4.4 จุลชีววิทยาในกระบวนการแอนแอโรบิก-ออกซิด แอกติเวตเตดสลัดจ์	30

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.5 อัตราส่วนซีโอดีต่อฟอสฟอรัสของน้ำเสียเข้าในถังแอนแอโรบิค.....	31
4.6 ตัวแปรที่ผลต่อการเก็บสะสมสารอาหารภายในเซลล์ในช่วงแอนแอโรบิค	32
4.7 ข้อพิจารณาในการออกแบบแอนแอโรบิค - ออกซิค	
แอกติเวตเตดสลัดจ์	34
4.8 พารามิเตอร์ที่มีผลต่อการปลดปล่อยฟอสฟอรัส	36
4.9 ความสามารถในการบำบัดของกระบวนการแอนแอโรบิค-ออกซิค	37
4.9.1 ความสามารถในการควบคุมตะกอนอัด.....	37
4.9.2 การประหยัดพลังงานในการดำเนินการ.....	38
4.9.3 ความลงตัวในระบบ.....	39
4.9.4 คุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ตะกอน.....	40
4.9.5 ความสามารถในการกำจัดสารอาหารจำเป็น	
โดยไม่ต้องใช้สารเคมี	40
4.9.6 การประหยัดค่าก่อสร้าง.....	40
4.10 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสของกระบวนการ...	41
4.10.1 ความเข้มข้นซีโอดีที่เข้าระบบ.....	41
4.10.2 ภาระบรรทุกบีโอดี.....	41
4.10.3 ระยะเวลาพักเก็บตะกอน.....	42
4.10.4 ระยะเวลาเติมอากาศ.....	42
4.10.5 ค่าออกซิเจนละลายน้ำในช่วงแอนแอโรบิค.....	42
4.10.6 ค่าอุณหภูมิ.....	42
4.10.7 การออกแบบถังตกตะกอนและความสามารถในการตก	
ตะกอนของสลัดจ์.....	43
4.10.8 ระยะเวลาพักเก็บ.....	43

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการแอนแอโรบิก-ออกซิด.....	44
5.1 สมมติฐานในการสร้างโมเดลของระบบ.....	44
5.2 สมการที่สภาวะคงตัว (Steady state equations).....	44
5.2.1 การปลดปล่อยฟอสฟอรัสในช่วงแอนแอโรบิก และการดูดซับ สารอาหารเข้าในเซลล์.....	46
5.2.2 การใช้ PHB และการดูดซับฟอสฟอรัสในช่วงแอนโรบิก.....	46
5.2.2.1 การสังเคราะห์เซลล์ (ชนิดโพลีพี).....	46
5.2.2.2 การสลายตัวของจุลินทรีย์ (ชนิดโพลีพี).....	47
5.2.2.3 การตาย.....	48
5.2.2.4 มวลของเซลล์ที่มีชีวิต.....	48
5.2.2.5 มวลของเซลล์ที่ตาย.....	49
5.2.2.6 มวลของสลัดจ์ทั้งหมดในระบบ.....	49
5.2.2.7 ค่ายิลด์ปรากฏ (Observed Yield).....	50
5.2.2.8 มวลของสลัดจ์ที่เททิ้งต่อวัน.....	50
5.2.2.9 มวลของฟอสฟอรัสที่ถูกถ่ายออกต่อวัน.....	50
5.3 ระบบจุลินทรีย์ผสม (Mixed culture).....	53
5.3.1 จลนศาสตร์ของการเปลี่ยนสารอาหารที่ย่อยสลายได้ง่าย.....	53
5.3.2 สมการที่สภาวะคงตัวของ การเปลี่ยน RBCOD เป็น SCVFA.....	55
5.4 ผลของอุณหภูมิต่อค่าพารามิเตอร์จลน.....	58

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
6 แผนการทดลองและการดำเนินการวิจัย.....	60
6.1 แผนการทดลอง.....	60
6.2 การเตรียมน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง.....	61
6.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	61
6.3.1 การติดตั้งเครื่องมือและหลักการทำงาน	62
6.3.2 ถังเก็บน้ำเสีย และถังเก็บน้ำใสจากการบำบัด.....	64
6.3.3 เครื่องสูบน้ำเสียเข้าระบบและเครื่องสูบน้ำเวียนตะกอนกลับ.....	64
6.3.4 ถังแอนแอโรบิค.....	64
6.3.5 ถังแอโรบิค.....	65
6.3.6 ถังตกตะกอน.....	66
6.3.7 ท่อน้ำเข้าและท่อน้ำออก.....	66
6.4 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์.....	67
6.4.1 การเก็บตัวอย่างน้ำ.....	67
6.4.2 วิธีวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ.....	68
6.5 การควบคุมการทดลอง.....	68
7 ผลการทดลองและการวิจารณ์.....	71
7.1 การเริ่มต้นเลี้ยงจุลินทรีย์.....	71
7.2 การเข้าสู่สภาวะคงตัว.....	72

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
7.3 ค่าพีเอช.....	85
7.4 ออกซิเจนละลายน้ำ.....	85
7.5 ค่าอุณหภูมิ.....	86
7.6 ค่าตะกอนแขวนลอย (MLSS).....	86
7.7 ค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์.....	88
7.7.1 อัตราส่วนสารอาหารเข้าต่อปริมาณจุลินทรีย์ในถังแวนแอโรบิค	88
7.6.2 อัตราส่วนสารอาหารเข้าต่อปริมาณจุลินทรีย์ในระบบ.....	90
7.8 ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกอนแขวนลอย (MLSS).....	91
7.9 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี.....	92
7.9.1 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีละลายในถังแวนแอโรบิค.....	93
7.9.2 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีทั้งหมดในระบบ.....	98
7.10 ความสามารถในการจมตัวของตะกอนในถังแอโรบิค.....	100
7.11 การตรวจสอบทางจุลชีววิทยาในถังแอโรบิค.....	107
7.12 การหาค่าพารามิเตอร์จลน์รวมทั้งระบบที่อุณหภูมิทดลอง 28°ซ.....	114
7.12.1 การหาค่า COD ที่ไม่ย่อยสลายทางชีวะ (C_p).....	115
7.12.2 การหาค่า Y_g และ b	117
7.12.3 การหาค่า μ_m และ K_s	119
7.12.4 การปรับแก้ค่าพารามิเตอร์จลน์เนื่องจากผลของอุณหภูมิ.....	121
7.13 การหาค่าคงที่อันดับหนึ่งในถังแวนแอโรบิคที่อุณหภูมิทดลอง 28°ซ	121

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
7.14 การใช้ค่าพารามิเตอร์จลน์จากการทดลองในการทำนายผล.....	123
8 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	128
8.1 สรุปผลการวิจัย.....	128
8.2 ข้อเสนอแนะ.....	129
9 ความสำคัญของงานวิจัยในงานวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....	130
รายการอ้างอิง.....	132
ภาคผนวก ก วิธีการหาค่าพารามิเตอร์จลน์.....	137
ภาคผนวก ข ข้อมูลจากการทดลอง.....	147
ภาคผนวก ค การหาค่า f และ f'	179
ภาคผนวก ง น้ำเสียโรงงานผลิตเบียร์.....	182
ประวัติผู้เขียน.....	184

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 4.1	สรุปกระบวนการที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงของการดำเนินงาน.....	30
ตารางที่ 4.2	ค่าตัวอย่างที่ใช้ในการออกแบบและพารามิเตอร์ที่ใช้ใน กระบวนการ A/O สำหรับกำจัดฟอสฟอรัส.....	35
ตารางที่ 4.3	เปรียบเทียบการใช้พลังงานต่อปริมาณน้ำเสีย ที่เข้าสู่ระบบ แอนแอโรบิก-ออกซิก และระบบแอกติเวตเตดสลัดจ์ แบบธรรมดาที่ Seibu Sewer Work ประเทศญี่ปุ่น.....	39
ตารางที่ 5.1	ค่าสัดส่วนฟอสฟอรัสของจุลินทรีย์ชนิดโพลีพีในเซลล์ที่มีชีวิต($f_{XBG,P}$)....	52
ตารางที่ 6.1	แผนการทดลอง.....	61
ตารางที่ 6.2	พารามิเตอร์ที่วัดและความถี่ในการวิเคราะห์.....	67
ตารางที่ 6.3	วิธีวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ	68
ตารางที่ 6.4	ปริมาณน้ำตะกอนที่ต้องระบายทิ้งของการทดลองทั้ง 4 ชุด.....	70
ตารางที่ 7.1	ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในช่วงสภาวะคงที่ (Steady State) ของพารามิเตอร์ที่ทำการวัดในแต่ละตำแหน่งของการทดลองชุดที่ 1 ($\theta_c = 3$ วัน).....	81
ตารางที่ 7.2	ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในช่วงสภาวะคงที่ (Steady State) ของพารามิเตอร์ที่ทำการวัดในแต่ละตำแหน่งของการทดลองชุดที่ 2 ($\theta_c = 7$ วัน).....	82
ตารางที่ 7.3	ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในช่วงสภาวะคงที่ (Steady State) ของพารามิเตอร์ที่ทำการวัดในแต่ละตำแหน่งของการทดลองชุดที่ 3 ($\theta_c = 11$ วัน).....	83
ตารางที่ 7.4	ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในช่วงสภาวะคงที่ (Steady State) ของพารามิเตอร์ที่ทำการวัดในแต่ละตำแหน่งของการทดลองชุดที่ 4 ($\theta_c = 15$ วัน).....	84

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 7.6	ค่าอายุตะกอนในระบบ θ_c และค่า F/M ในถังแอนแอโรบิกของ การทดลอง 4 ชุด..... 89
ตารางที่ 7.7	ค่าอายุตะกอนในระบบ θ_c และค่า F/M ในระบบรวมทั้งหมด..... 90
ตารางที่ 7.8	ค่าตะกอนแขวนลอย (MLSS) ในการทดลองชุดที่ 1, 2, 3 และ 4..... 91
ตารางที่ 7.9	ค่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีละลายของการทดลอง..... 93
ตารางที่ 7.10	ผลของการสมดุลมวลของซีโอดีในการทดลอง..... 95
ตารางที่ 7.11	ค่า V_{30} และ ค่า SVI ในถังเติมอากาศของชุดการทดลอง ที่ 1, 2, 3 และ 4..... 101
ตารางที่ 7.12	ค่า SVI และค่า q_{re} ของการทดลองทั้ง 4 ชุด..... 106
ตารางที่ 7.13	พารามิเตอร์ต่าง ๆ ในการคำนวณหาค่า q 116
ตารางที่ 7.14	ค่าจากการคำนวณเพื่อหาค่า Y_g และ b 118
ตารางที่ 7.15	ค่าจากการคำนวณเพื่อหาค่า K_s และ μ_m 119
ตารางที่ 7.16	การคำนวณเพื่อหาค่าคงที่อันดับแรกในถังแอนแอโรบิก 122
ตารางที่ 7.17	การคำนวณหาค่าเซลล์ทั้งหมดจากการใช้ค่าพารามิเตอร์จลน์ 124
ตารางที่ 7.18	การคำนวณหาค่าสารอาหารละลายในถังแอนแอโรบิกโดยการใช้ค่า $K=0.027 \text{ วัน}^{-1}$ 124

สารบัญรูปภาพ

		หน้า
รูปภาพที่ 3.1	หลักการทํางานของกระบวนการแยกติเวตเตดสลัดจ์	5
รูปภาพที่ 3.2	ปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการบำบัดทางชีววิทยาแบบไม่ต่อเนื่อง (Batch-process).....	6
รูปภาพที่ 3.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (μ) กับปริมาณสารอาหารที่จำกัดการเจริญเติบโต (S).....	15
รูปภาพที่ 4.1	กระบวนการต่าง ๆ ที่ใช้กำจัดสารอาหารจำเป็น (Nutrient).....	20
รูปภาพที่ 4.2	กระบวนการแอนแอโรบิก-ออกซิก แยกติเวตเตดสลัดจ์.....	22
รูปภาพที่ 4.3	ปฏิกิริยาภายในเซลล์ของกระบวนการกรองแอโรบิก-ออกซิก.....	23
รูปภาพที่ 4.4	การเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นบีโอดีและฟอสฟอรัส.....	23
รูปภาพที่ 4.5	ระบบแอนแอโรบิก-ออกซิกแยกติเวตเตดสลัดจ์ สำหรับกำจัดบีโอดีและฟอสฟอรัสในกรณีที่ต้องการให้ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันเกิดขึ้น	25
รูปภาพที่ 4.6	แผนภาพการทำงานทางชีวเคมีของระบบแอนแอโรบิก-ออกซิก.....	26
รูปภาพที่ 4.7	รูปแบบของกลไกเมธาบอลิซึม ในสภาพแอนแอโรบิกของแบคทีเรียชนิดสะสมโพลีฟอสเฟต.....	28
รูปภาพที่ 4.8	รูปแบบของกลไกเมธาบอลิซึม ในสภาพแอโรบิกของแบคทีเรียชนิดสะสมโพลีฟอสเฟต.....	29
รูปภาพที่ 5.1	แสดงโมเดลสมดุลย์มวลของกระบวนการแอนแอโรบิก-ออกซิก แยกติเวตเตดสลัดจ์.....	45
รูปภาพที่ 5.2	แสดงโมเดลสมดุลย์มวลของ S_0 ในถังแอนแอโรบิก.....	56
รูปภาพที่ 6.1	การติดตั้งเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองจริงในห้องปฏิบัติการ	62
รูปภาพที่ 6.2	การติดตั้งเครื่องมือและหลักการทํางานของกระบวนการแยกติเวตเตดสลัดจ์ แบบแอนแอโรบิก-ออกซิก.....	63
รูปภาพที่ 6.3	ถังแอนแอโรบิก (Anaerobic Tank) ที่ใช้การทดลอง.....	64
รูปภาพที่ 6.4	ถังแอโรบิก (Aerobic Tank) ที่ใช้ในการทดลอง.....	65
รูปภาพที่ 6.5	ถังตกตะกอน (Sedimentation Tank) ที่ใช้ในการทดลอง.....	66

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

หน้า

รูปภาพที่ 7.1	แนวโน้มของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของการทดลองชุดที่ 1 ค่าอายุตะกอน (sludge Age = 3 วัน).....	73
รูปภาพที่ 7.2	แนวโน้มของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของการทดลองชุดที่ 2 ค่าอายุตะกอน (sludge Age = 7 วัน).....	75
รูปภาพที่ 7.3	แนวโน้มของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของการทดลองชุดที่ 3 ค่าอายุตะกอน (sludge Age = 11 วัน).....	77
รูปภาพที่ 7.4	แนวโน้มของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของการทดลองชุดที่ 4 ค่าอายุตะกอน (sludge Age = 15 วัน).....	79
รูปภาพที่ 7.5	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอายุตะกอน θ_c กับค่า MLSS ในถังแอนแอโรบิก (MLSS _{AN})และค่า MLSS ในถังแอนโรบิก (MLSS _{AB}).....	87
รูปภาพที่ 7.6	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ใน ถังแอนแอโรบิก ,F/M(วัน ⁻¹)และค่าอายุตะกอนของระบบ, θ_c (วัน).....	89
รูปภาพที่ 7.7	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ของระบบทั้งหมดกับ ค่าอายุตะกอน, θ_c	91
รูปภาพที่ 7.8	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอายุตะกอนของระบบกับประสิทธิภาพในการกำจัด ตะกอนแขวนลอยของระบบ.....	92
รูปภาพที่ 7.9	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดซีโอติละลายกับ ค่าอายุตะกอนของระบบ θ_c	94
รูปภาพที่ 7.10	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอายุตะกอน (θ_c) กับค่าประสิทธิภาพในการกำจัด ซีโอติกับค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ในถังแอนแอโรบิก.....	94
รูปภาพที่ 7.11	การดุลมวล (Mass Balance) รอบถังแอนแอโรบิกของซีโอติ.....	95
รูปภาพที่ 7.12	ความสัมพันธ์ระหว่างการกำจัดซีโอติ ในถังแอนแอโรบิกกับ ค่าอายุตะกอน, θ_c	96
รูปภาพที่ 7.13	ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกำจัดซีโอติรวมของระบบกับ ค่าอายุตะกอน, θ_c	99

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

	หน้า
รูปภาพที่ 7.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอายุตะกอน θ_c และค่า V_{30} ในถังเติมอากาศ.....	104
รูปภาพที่ 7.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า SVI กับอายุตะกอน จากการทดลองของ Rodrigo,1996.....	105
รูปภาพที่ 7.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า SVI และ q_{rc}	107
รูปภาพที่ 7.17 จุลชีพในถังออกซิด ในช่วง 7 วันแรกของการทดลองที่ค่าอายุตะกอน เท่ากับ 3 วัน.....	109
รูปภาพที่ 7.18 จุลชีพในถังออกซิด ในช่วง 7 วันแรกของการทดลองที่ค่าอายุตะกอน เท่ากับ 7 วัน.....	109
รูปภาพที่ 7.19 จุลชีพในถังออกซิด ในช่วง 7 วันแรกของการทดลองที่ค่าอายุตะกอน เท่ากับ 11 วัน.....	110
รูปภาพที่ 7.20 จุลชีพในถังออกซิด ในช่วง 7 วันแรกของการทดลองที่ค่าอายุตะกอน เท่ากับ 15 วัน.....	110
รูปภาพที่ 7.21 จุลชีพในถังออกซิด ในช่วงวันที่ 45 ของการทดลองที่ค่าอายุตะกอน เท่ากับ 3 วัน.....	112
รูปภาพที่ 7.22 จุลชีพในถังออกซิด ในช่วงวันที่ 45 ของการทดลองที่ค่าอายุตะกอน เท่ากับ 7 วัน.....	112
รูปภาพที่ 7.23 จุลชีพในถังออกซิด ในช่วงวันที่ 45 ของการทดลองที่ค่าอายุตะกอน เท่ากับ 11 วัน.....	113
รูปภาพที่ 7.24 จุลชีพในถังออกซิด ในช่วงวันที่ 45 ของการทดสอบที่ค่าอายุตะกอน เท่ากับ 15 วัน.....	113
รูปภาพที่ 7.25 สมมติฐานในการหาพารามิเตอร์จลน์ของระบบแอกติเวตเตดสลัดจ์ แบบแอนแอโรบิค-ออกซิด.....	114
รูปภาพที่ 7.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง q และ C เพื่อหาค่า C_T	117
รูปภาพที่ 7.27 ความสัมพันธ์ระหว่าง $1/\theta_c$ และค่า $(S_0 - S)/X'T$	118
รูปภาพที่ 7.28 ความสัมพันธ์ระหว่าง $S/(1/\theta_c)+b+\gamma$ และ S	120

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

	หน้า	
รูปภาพที่ 7.29	ค่า MLSS ที่ได้จากการทดลองและที่คำนวณจากการใช้ค่าพารามิเตอร์ ในการทำนาย.....	126
รูปภาพที่ 7.30	ค่าสารอาหารละลายในถังแอนแอโรบิคที่ได้จากการทดลองและที่คำนวณ จากการใช้ค่าพารามิเตอร์จลนในการทำนาย.....	127
รูปภาพที่ ผ.1	การหาค่า C_r จากข้อมูลของถังปฏิกรณ์.....	141
รูปภาพที่ ผ.2	ความสัมพันธ์ระหว่าง $1/\theta_c$ และ $(S_0 - S)/X$ ในถังปฏิกรณ์ ที่การหมุนเวียนเซลล์กลับ.....	143
รูปภาพที่ ผ.3	กราฟการหาค่า γ	144
รูปภาพที่ ผ.4	กราฟการหาค่า μ_m และค่า K_s	145
รูปภาพที่ ผ.5	กราฟการหาค่า μ_m และค่า K_s (โดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด).....	145