

การศึกษาพารามิเตอร์จลนในกระบวนการตะกอนเร่งแบบหลายขั้นตอน



นายพิษณุ บุญยภักดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

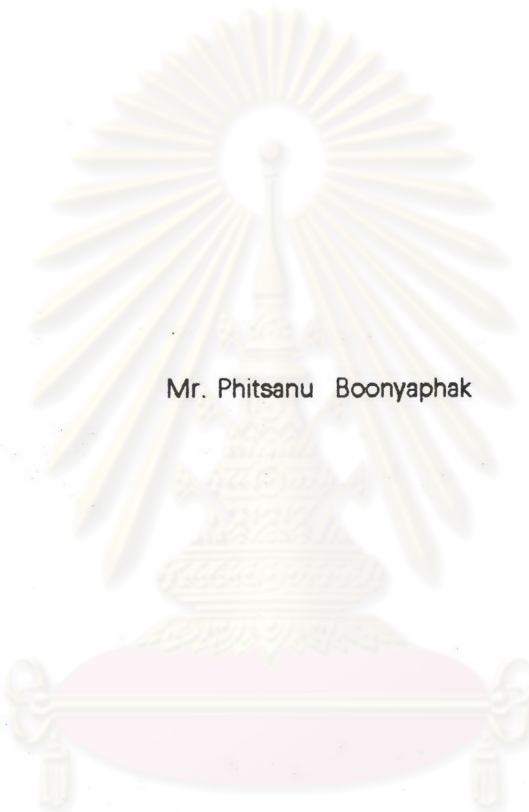
ปีการศึกษา 2539

ISBN 974 - 635 - 606 - 2

สงวนลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I17138504

A STUDY OF KINETIC PARAMETERS IN THE MULTI-STAGE ACTIVATED SLUDGE PROCESS.



Mr. Phitsanu Boonyaphak

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Environmental Engineering

Graduate School

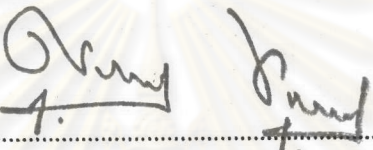
Chulalongkorn University

Academic Year 1996

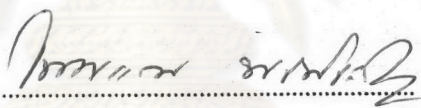
ISBN 974 - 635 - 606 - 2

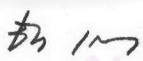
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาพารามิเตอร์จลนในกระบวนการตะกอนเร่งแบบหลายขั้นตอน
โดย นายพิษณุ บุญยภักดิ์
ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. ชีระ เกรอด

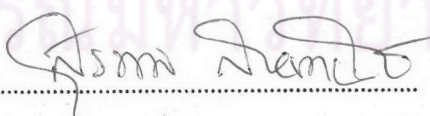
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต


..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชูติวงศ์)

คณะกรรมการวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ พรประภา)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. ชีระ เกรอด)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุพล สายพานิช)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุทธิรักษ์ สุจริตदानนท์)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว



พินิจ บุญยภักดิ์ : การศึกษาพารามิเตอร์จลน์ในกระบวนการตะกอนเร่งแบบหลายขั้นตอน (A STUDY OF KINETIC PARAMETERS IN THE MULTI-STAGE ACTIVATED SLUDGE PROCESS.)

อาจารย์ที่ปรึกษา : รศ. ดร. ชีระ เกรอต, 177 หน้า, ISBN 974-635-606-2

การวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ ในการใช้ค่าพารามิเตอร์จลน์ที่ได้จากการทดลองบำบัดน้ำเสียจากหอพัก โดยใช้แบบทดลองของถังปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องที่มีการกวนและเวียนเซลล์กลับแบบดั้งเดิม (CSTRWR) ในการคำนวณเพื่อทำนายผลการทำงานของกระบวนการตะกอนเร่งแบบหลายขั้นตอน โดยเปรียบเทียบผลระหว่างค่าที่ทำนายจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับผลที่ได้จากการทดลองบำบัดน้ำเสียจริง

ผลการบำบัดน้ำเสียจริงจากหอพัก โดยใช้แบบทดลองของถังปฏิกรณ์แบบต่อเนื่องที่มีการกวนและเวียนเซลล์กลับแบบดั้งเดิมพบว่า ค่าพารามิเตอร์จลน์สำหรับน้ำเสียจากหอพักมีค่า $K_s = 12.3916$ มก./ล. , $\mu_m = 0.0582$ ชม.⁻¹ , $Y_g = 0.2940$ และ $b = 0.0027$ ชม.⁻¹

เมื่อนำค่าพารามิเตอร์จลน์ที่ได้ไปใช้ในการทำนายผลการทำงานของกระบวนการแบบที่มีถังเดิมอากาศ 4 ใบเรียงต่อกันแบบอนุกรม โดยมีรูปแบบการป้อนน้ำเสียที่แตกต่างกัน 3 ลักษณะคือแบบ Plug Flow, แบบ Step Feed และแบบ Contact-Stabilization พบว่าสามารถใช้ทำนายผลของปริมาณซีโอดีกรอง และปริมาณความเข้มข้นของน้ำตะกอน ในถังเดิมอากาศแต่ละใบของทุกระบบได้ โดยมีผลของความแตกต่างระหว่างค่าที่ทำนายกับผลเฉลี่ยในช่วงสถานะคงที่ของการทดลองบำบัดน้ำเสียจริงโดยเฉลี่ยจากทุกถังของทุกระบบประมาณ 15 %

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....
สาขาวิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล.....
ปีการศึกษา 2539.....

ลายมือชื่อนิสิต *พินิจ บุญยภักดิ์*.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา *ชีระ เกรอต*.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

C617540: MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEY WORD: KINETIC PARAMETERS / ACTIVATED SLUDGE PROCESS

PHITSANU BOONYAPHAK : A STUDY OF KINETIC PARAMETERS IN THE MULTI-STAGE ACTIVATED SLUDGE PROCESS.

THESIS ADVISOR: ASSO. PROF. THEERA KAROT, Ph.D. 177pp.

ISBN 974-635-606-2.

The propose of this research is to study the possibility of using kinetic parameters of dormitory wastewater obtaining from a bench-scale model of single continuous stirred tank reactors with cell recycle (CSTRWR) to predict the performance of multi-stage activated sludge process. By comparison between the prediction values from the mathematical model and the experimental results.

By using a single CSTRWR bench-scale model to treat raw dormitory wastewater, it was found that kinetic parameters $K_s = 12.3916 \text{ mg./l.}$, $\mu_m = 0.0582 \text{ hr.}^{-1}$, $Y_g = 0.2940$ and $b = 0.0027 \text{ hr.}^{-1}$.

Using these kinetic parameters to predict the performance of the 4-stage activated sludge process for 3 difference wastewater feeding methods, namely plug flow, step feed and contact-stabilized, it was found that the prediction of filtrate COD and MLSS in each tank for all type of the process are almost the same as the experimental results, with the mean of difference between the prediction value and the mean from steady state of experimental results about 15%

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ลายมือชื่อนิสิต *Phy. SMC*

สาขาวิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา *ทศ. 1/๗*

ปีการศึกษา 2539

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม -

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. อีระ เกรอด อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ท่านได้กรุณาอบรม สั่งสอน ให้คำแนะนำ ชี้แนะแนวทางต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างสูง ตลอดเวลาที่ทำการวิจัย รวมทั้งตรวจและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ที่ช่วยกรุณาตรวจสอบวิทยานิพนธ์ และให้คำปรึกษาทางด้านวิชาการ รวมถึงคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้แก่ผู้วิจัย

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย ที่ได้มอบทุน สนับสนุนการวิจัยนี้ ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้การวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวก ตลอดช่วงระยะเวลาที่เข้ารับการศึกษ และระหว่างช่วงเวลาที่ทำการทดลอง รวมไปถึง พี่ๆ และเพื่อนทุกคน ที่ให้กำลังใจ และให้ความช่วยเหลือตลอดระยะเวลาที่ทำการวิจัย

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของหอพักวิทยนิเวศน์ทุกท่าน ที่ได้อำนวยความสะดวก และให้ความอนุเคราะห์สถานที่เพื่อเก็บตัวอย่างน้ำเสีย และเก็บอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บตัวอย่างน้ำ ตลอดช่วงระยะเวลาที่ทำการวิจัย

สำคัญที่สุด ต้องขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ของผู้วิจัย ที่ช่วยเหลือ สนับสนุนทางการเงิน และด้านกำลังใจ ตลอดระยะเวลาที่เข้ารับการศึกษ ความดีจากประโยชน์ที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขอมอบให้แก่ บิดา มารดา ซึ่งมีพระคุณสูงสุด

พิษณุ บุญยภักดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญเรื่อง	ช
สารบัญตาราง	ฅ
สารบัญรูป	ฐ
บทที่	
1 บทนำ	1
2 วัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัย	5
3 ทฤษฎีและแนวคิดในการวิจัย	
3.1 จลนพลศาสตร์ของระบบชีวเคมี	7
3.2 แบบจำลองของกระบวนการตะกอนเร่งแบบธรรมดา	14
3.3 สมการที่ได้จากแบบจำลอง	21
3.4 วิธีประเมินหาค่าพารามิเตอร์จลน์	26
3.5 การศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำค่าพารามิเตอร์จลน์ ชุดเดียวกันกับที่หาได้จากแบบทดลองที่มีถังเติมอากาศใบ เดียวมาใช้ในการศึกษาแบบจำลองของระบบแบบที่มีถัง เติมอากาศหลายใบ	33
3.6 แนวทางในการศึกษาของระบบที่มีถังเติมอากาศหลายใบ	38
4 การดำเนินการวิจัย	44

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล	
5.1 การเริ่มต้นเลี้ยงจุลชีพ	55
5.2 ปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อระบบ	58
5.3 การหาค่า f และ f'	70
5.4 การประเมินค่าพารามิเตอร์จลน์	71
5.5 การเปรียบเทียบระหว่างผลที่ทำนายจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยใช้พารามิเตอร์จลน์ที่หาได้จากการทดลองชุดที่ 1 กับผลจากการ ทดลองเดินระบบจริงที่ภายใต้สภาวะเดียวกันของกระบวนการตะกอน เร่งแบบที่มีถังเติมอากาศ 4 ใบเรียงต่อกันแบบอนุกรม	88
6 สรุปผลการทดลอง	111
รายการอ้างอิง	113
ภาคผนวก ก. ตารางแสดงผลข้อมูลดิบจากการวิเคราะห์น้ำตัวอย่าง	120
ภาคผนวก ข. สมการของแบบจำลองและผลการทำนายของแบบจำลอง	140
ภาคผนวก ค. ตัวอย่างการคำนวณ	162
ภาคผนวก ง. การประเมินเลือกใช้ค่า γ ที่เหมาะสมกับข้อมูลที่ได้จากการทดลอง	167
ภาคผนวก จ. ผลของปัจจัยทางด้านอุณหภูมิที่มีต่อค่าพารามิเตอร์จลน์	173
ประวัติผู้วิจัย	177

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 3.1	ข้อมูลที่ต้องการและวิธีการที่ใช้ในการประเมินหาค่าพารามิเตอร์จลน์	27
ตารางที่ 4.1	อัตราการทิ้งน้ำตะกอนโดยประมาณของการทดลองในชุดที่ 1	45
ตารางที่ 4.2	แผนการเก็บตัวอย่างน้ำของการทดลองชุดที่ 1	53
ตารางที่ 4.3	แผนการเก็บตัวอย่างน้ำของการทดลองชุดที่ 2	53
ตารางที่ 4.4	วิธีที่ใช้วิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ	54
ตารางที่ 5.1	ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูลในช่วงสภาวะคงที่ เปรียบเทียบ กับค่าอายุตะกอนของระบบ ในการทดลองชุดที่ 1	56
ตารางที่ 5.2	ระยะเวลาที่ใช้ในการเก็บข้อมูลในช่วงสภาวะคงที่ เปรียบเทียบ กับค่าอายุตะกอนของระบบ ในการทดลองชุดที่ 2	58
ตารางที่ 5.3	ค่าพีเอชเฉลี่ยของน้ำในถังเติมอากาศ ในการทดลองชุดที่ 1	60
ตารางที่ 5.4	ค่าพีเอชเฉลี่ยของน้ำเสียและน้ำในถังเติมอากาศ ในการทดลองชุดที่ 2	61
ตารางที่ 5.5	ผลสรุปข้อมูลเฉลี่ยของน้ำเสียที่ใช้ในการวิจัยและของน้ำในถังเติมอากาศ ในช่วงสภาวะคงที่ของการทดลองชุดที่ 1	71
ตารางที่ 5.6	ผลการคำนวณหาค่าอายุตะกอนที่แท้จริงของระบบ ในการทดลองชุดที่ 1	72
ตารางที่ 5.7	ผลการคำนวณหาค่าความเข้มข้นประสิทธิผลของเซลล์ (X') ในถังเติมอากาศ ที่ค่าอายุตะกอนต่างๆ ของการทดลองชุดที่ 1	73
ตารางที่ 5.8	ผลการคำนวณหาค่าอัตราการใช้สารอาหารจำเพาะของการทดลองชุดที่ 1	73
ตารางที่ 5.9	ผลการประเมินหาค่าซีโอดีเฉพาะส่วนที่เป็นสารอาหารละลาย	75
ตารางที่ 5.10	ผลการคำนวณเพื่อใช้ในการลงจุดในกราฟเพื่อการประเมินหา Y_g และ b	76
ตารางที่ 5.11	ผลการคำนวณเพื่อใช้ในการลงจุดในกราฟเพื่อการประเมินหา μ_m และ K_s	77
ตารางที่ 5.12	ผลการประเมินแยกส่วนระหว่างส่วนที่เป็นอนุภาคเชื่อมกับส่วนที่สามารถ ย่อยสลายได้ของน้ำตะกอนในถังเติมอากาศ จากการทดลองชุดที่ 1	83
ตารางที่ 5.13	ผลการจำแนกปริมาณซีโอดีของน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองชุดที่ 1	86
ตารางที่ 5.14	สัดส่วนระหว่างปริมาณซีโอดีส่วนที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพกับส่วน ที่เป็นสารอาหารละลายที่เหลืออยู่ในถังเติมอากาศที่ค่าอายุตะกอนต่างๆ	87
ตารางที่ 5.15	ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอาหารละลายของระบบในการทดลองชุดที่ 1	88

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 5.16	ผลการจำแนกของปริมาณซีไอดีและของแข็งแขวนลอย เพื่อการประเมินหาส่วนที่เป็น S_o และ Z_{10} เพื่อใช้ในการแทนค่า ในสมการของแบบจำลอง	89
ตารางที่ 5.17	สรุปข้อมูลเฉลี่ยของปริมาณซีไอดีกรองในถังเติมอากาศแต่ละใบ ในช่วงสภาวะคงที่ของการทดลองชุดที่ 2	90
ตารางที่ 5.18	ผลสรุปข้อมูลเฉลี่ยของปริมาณของแข็งแขวนลอยในถังเติมอากาศ แต่ละใบ ในช่วงสภาวะคงที่ของการทดลองชุดที่ 2	93
ตารางที่ 5.19	ผลของการทำนายจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของกระบวนการตะกอนเร่งแบบที่ถังเติมอากาศ 4 ใบเรียงต่อกัน แบบอนุกรม ทั้ง 3 ลักษณะ	96
ตารางที่ 5.20	การเปรียบเทียบระหว่างผลที่ได้จากการทำนายหลังจากที่ได้ คำนวณปรับค่าแล้ว กับผลเฉลี่ยในช่วงสภาวะคงที่ ที่ได้จากการทดลอง	98
ตารางที่ 5.21	ผลความแตกต่างคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ ของปริมาณซีไอดีกรอง ระหว่างค่าที่ได้จากการทำนายกับผลเฉลี่ยในช่วงสภาวะคงที่ ที่ได้จากการทดลอง	99
ตารางที่ 5.22	ผลความแตกต่างคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ ของปริมาณของแข็งแขวนลอย ระหว่างค่าที่ได้จากการทำนายกับผลเฉลี่ยในช่วงสภาวะคงที่ ที่ได้จากการทดลอง	104
ตารางที่ 5.23	ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ละลายของระบบแบบที่มีถังเติมอากาศ 4 ใบเรียงต่อกันแบบอนุกรมทั้ง 3 ลักษณะ	109

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 3.1	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า μ และ S จากการทดลองของ Monod	10
รูปที่ 3.2	แบบจำลองของกระบวนการตะกอนเร่งแบบธรรมดา	21
รูปที่ 3.3	วิธีการประเมินหาค่า COD ที่ไม่ย่อยสลายทางชีวะโดยวิธีกราฟ	30
รูปที่ 3.4	วิธีการประเมินหาค่า Y_0 และ b โดยวิธีกราฟ	31
รูปที่ 3.5	วิธีการประเมินหาค่า μ_m และ K_s โดยวิธีกราฟ	32
รูปที่ 3.6	แบบจำลองของกระบวนการตะกอนเร่งแบบที่มีถังเติมอากาศหลายใบ	35
รูปที่ 4.1	FLOW DIAGRAM ของการทดลองชุดที่ 1	47
รูปที่ 4.2 ก.	FLOW DIAGRAM ของการทดลองชุดที่ 2 ครั้งที่ 1	48
รูปที่ 4.2 ข.	FLOW DIAGRAM ของการทดลองชุดที่ 2 ครั้งที่ 2	48
รูปที่ 4.2 ค.	FLOW DIAGRAM ของการทดลองชุดที่ 2 ครั้งที่ 3	48
รูปที่ 4.3	การติดตั้งของแบบทดลองที่ใช้ในการทดลองชุดที่ 1	51
รูปที่ 4.4	การติดตั้งของแบบทดลองที่ใช้ในการทดลองชุดที่ 2	52
รูปที่ 5.1	การเปลี่ยนแปลงระดับพีเอชของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบ และระดับ พีเอชในถังเติมอากาศในช่วงสภาวะคงที่ ของการทดลองชุดที่ 1	59
รูปที่ 5.2	ระดับค่าพีเอชเฉลี่ยในถังเติมอากาศที่ค่าอายุตะกอนต่างๆ ของการทดลองชุดที่ 1	61
รูปที่ 5.3	การเปลี่ยนแปลงระดับพีเอชของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบ และระดับ พีเอชในถังเติมอากาศแต่ละใบ ในช่วงสภาวะคงที่ ของการทดลองชุดที่ 2	62
รูปที่ 5.4	ระดับค่าพีเอชเฉลี่ยในถังเติมอากาศแต่ละใบ ของการทดลองชุดที่ 2	64
รูปที่ 5.5	ระดับค่าดีไอในถังเติมอากาศ ในช่วงสภาวะคงที่ของการทดลองชุดที่ 1	66
รูปที่ 5.6	ระดับปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในถังเติมอากาศแต่ละใบในช่วงสภาวะคงที่ ของการทดลองชุดที่ 2	67
รูปที่ 5.7	ระดับอุณหภูมิของน้ำในถังเติมอากาศในช่วงสภาวะคงที่ ของการทดลองชุดที่ 1	69
รูปที่ 5.8	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ในการทดลอง แบบแบทช์ระยะยาว เพื่อการประเมินหาค่า f ของน้ำเสียที่ใช้ในการวิจัย	70

สารบัญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 5.9	การเปลี่ยนแปลงของปริมาณซีโอดีทั้งหมด ในการทดลองแบบแบทช์ ระยะยาว เพื่อการประเมินหาค่า f' ของน้ำเสียที่ใช้ในการวิจัย	71
รูปที่ 5.10	ผลการประเมินหาค่า C_t โดยวิธีกราฟจากผลของการทดลองชุดที่ 1	74
รูปที่ 5.11	ผลการประเมินหาค่า Y_g และ b โดยวิธีกราฟจากผลการทดลองชุดที่ 1	76
รูปที่ 5.12	ผลการประเมินหาค่า μ_m และ K_s โดยวิธีกราฟจากผลการทดลองชุดที่ 1	78
รูปที่ 5.13	ระดับค่าความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยในน้ำเสีย และระดับ ความเข้มข้นของน้ำตะกอนในถังเติมอากาศในช่วงสภาวะคงที่ ของการทดลองชุดที่ 1	79
รูปที่ 5.14 ก.	ส่วนที่เป็นอนุภาคของแข็งแขวนลอยที่มีในน้ำเสีย ที่เห็นเป็นลักษณะ จุดสีดำทึบ และถูกกำจัดโดยการกักไว้ในฟล็อก	82
รูปที่ 5.14 ข.	ส่วนที่เป็นอนุภาคของแข็งแขวนลอยที่มีในน้ำเสีย ที่เห็นเป็นลักษณะ จุดสีดำทึบ และถูกกำจัดโดยการกักไว้ในฟล็อก	82
รูปที่ 5.15	ระดับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณซีโอดีในน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง และระดับปริมาณซีโอดีกรองในถังเติมอากาศในช่วงสภาวะคงที่ ของการทดลองชุดที่ 1	85
รูปที่ 5.16	ระดับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณซีโอดีและของแข็งแขวนลอย ของน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองชุดที่ 2	90
รูปที่ 5.17	ระดับปริมาณซีโอดีกรองเฉลี่ยในถังเติมอากาศแต่ละใบ ในช่วงสภาวะคงที่ ของการทดลองชุดที่ 2 เมื่อทำการบ่อน้ำเสียและเวียนตะกอน กลับทั้งหมดลงสู่ถังเติมอากาศใบที่ 1 (แบบ Plug Flow).....	91
รูปที่ 5.18	ระดับปริมาณซีโอดีกรองเฉลี่ยในถังเติมอากาศแต่ละใบ ในช่วง สภาวะคงที่ของการทดลองชุดที่ 2 เมื่อทำการบ่อน้ำเสียแบบกระจาย สม่ำเสมอทั้ง 4 ถังและเวียนตะกอนกลับทั้งหมดเข้าสู่ถังเติมอากาศ ใบที่ 1 (แบบ Step Feed)	92

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 5.19	ระดับปริมาณซีไอดีกรองเฉลี่ยในถังเติมอากาศแต่ละใบในช่วงสภาวะคงที่ของการทดลองชุดที่ 2 เมื่อทำการป้อนน้ำเสียทั้งหมดลงสู่ถังเติมอากาศใบที่ 3 และเวียนตะกอนกลับทั้งหมดเข้าสู่ถังเติมอากาศใบที่ 1 (แบบ Contact Stabilized)	92
รูปที่ 5.20	ระดับปริมาณความเข้มข้นของน้ำตะกอนเฉลี่ย ในถังเติมอากาศแต่ละใบในช่วงสภาวะคงที่ ของการทดลองชุดที่ 2 เมื่อทำการป้อนน้ำเสีย และเวียนตะกอนกลับทั้งหมดลงสู่ถังเติมอากาศใบที่ 1 (แบบ Plug Flow)	94
รูปที่ 5.21	ระดับปริมาณความเข้มข้นของน้ำตะกอนเฉลี่ยในถังเติมอากาศแต่ละใบในช่วงสภาวะคงที่ ของการทดลองชุดที่ 2 เมื่อทำการป้อนน้ำเสียแบบกระจายสม่ำเสมอทั้ง 4 ถัง และเวียนตะกอนกลับทั้งหมดเข้าสู่ถังเติมอากาศใบที่ 1 (แบบ Step Feed)	94
รูปที่ 5.22	ระดับปริมาณความเข้มข้นของน้ำตะกอนเฉลี่ยในถังเติมอากาศแต่ละใบในช่วงสภาวะคงที่ ของการทดลองชุดที่ 2 เมื่อทำการป้อนน้ำเสียทั้งหมดลงสู่ถังเติมอากาศใบที่ 3 และเวียนตะกอนกลับทั้งหมดเข้าสู่ถังเติมอากาศใบที่ 1 (แบบ Contact Stabilized)	95
รูปที่ 5.23	ระดับปริมาณซีไอดีกรองในถังเติมอากาศแต่ละใบในช่วงสภาวะคงที่เปรียบเทียบกับค่าที่ทำนายจากแบบจำลอง เมื่อทำการป้อนน้ำเสียและเวียนตะกอนกลับทั้งหมดลงสู่ถังเติมอากาศใบที่ 1 (แบบ Plug Flow)	100
รูปที่ 5.24	ระดับปริมาณซีไอดีกรองในถังเติมอากาศแต่ละใบในช่วงสภาวะคงที่เปรียบเทียบกับค่าที่ทำนายจากแบบจำลอง เมื่อทำการป้อนน้ำเสียแบบกระจายสม่ำเสมอทั้ง 4 ถัง และเวียนตะกอนกลับทั้งหมดเข้าสู่ถังเติมอากาศใบที่ 1 (แบบ Step Feed)	101
รูปที่ 5.25	ระดับปริมาณซีไอดีกรองในถังเติมอากาศแต่ละใบในช่วงสภาวะคงที่เปรียบเทียบกับค่าที่ทำนายจากแบบจำลอง เมื่อทำการป้อนน้ำเสียทั้งหมดลงสู่ถังเติมอากาศใบที่ 3 และเวียนตะกอนกลับทั้งหมดเข้าสู่ถังเติมอากาศใบที่ 1 (แบบ Contact Stabilized)	102

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 5.26	ระดับความเข้มข้นของน้ำตะกอนในถังเติมอากาศแต่ละใบ ในช่วงสภาวะคงที่เปรียบเทียบกับค่าที่ทำนายจากแบบจำลอง เมื่อทำการป้อนน้ำเสียและเวียนตะกอนกลับทั้งหมดลงสู่ ถังเติมอากาศใบที่ 1 (แบบ Plug Flow)	106
รูปที่ 5.27	ระดับความเข้มข้นของน้ำตะกอนในถังเติมอากาศแต่ละใบ ในช่วงสภาวะคงที่เปรียบเทียบกับค่าที่ทำนายจากแบบจำลอง เมื่อทำการป้อนน้ำเสียแบบกระจายสม่ำเสมอทั้ง 4 ถังและเวียนตะกอน กลับทั้งหมดเข้าสู่ถังเติมอากาศใบที่ 1 (แบบ Step Feed)	107
รูปที่ 5.28	ระดับความเข้มข้นของน้ำตะกอนในถังเติมอากาศแต่ละใบ ในช่วงสภาวะคงที่เปรียบเทียบกับค่าที่ทำนายจากแบบจำลอง เมื่อทำการป้อนน้ำเสียทั้งหมดลงสู่ถังเติมอากาศใบที่ 3 และเวียนตะกอน กลับทั้งหมดเข้าสู่ถังเติมอากาศใบที่ 1 (แบบ Contact Stabilized)	108

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย