

การเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอนของสลัดจ์ในระบบเอเอสด้วยวัสดุช่วยตกตะกอน



นายเอกลักษณะน์ ไชยพันธุ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ENHANCEMENT OF SLUDGE SEDIMENTATION EFFICIENCY IN ACTIVATED SLUDGE PROCESS  
BY BALLASTING AGENT

Mr. Akeluk Chaipun

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering Program in Environmental Engineering

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2008

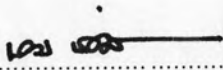
Copyright of Chulalongkorn University

510616

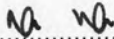
หัวข้อวิทยานิพนธ์      การเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอนของสัลไฟด์ในระบบเอเอสด้วยวัสดุช่วย  
ตกตะกอน  
โดย                              นายเอกลักษณะณ์ ไชยพันธ์  
สาขาวิชา                      วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
อาจารย์ที่ปรึกษา              อาจารย์ ดร.ชัยพร ภูประเสริฐ


---

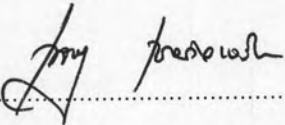
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

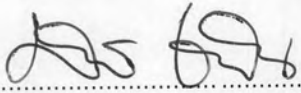
 ..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศนรินทร์วงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

 ..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเขียว)

 ..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(อาจารย์ ดร.ชัยพร ภูประเสริฐ)

 ..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.เพชรพร เชาวกิจเจริญ)

 ..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรินทร์ย์ เตชะเสน)

เอกลักษณ์ ไชยพันธุ์ : การเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอนของสลัดจ์ในระบบเอเอสด้วย  
 วัสดุช่วยตกตะกอน. (ENHANCEMENT OF SLUDGE SEDIMENTATION EFFICIENCY IN  
 ACTIVATED SLUDGE PROCESS BY BALLASTING AGENT) อ. ที่ปรึกษา : อ.ดร.ชัยพร  
 ภูประเสริฐ, 181 หน้า.

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของการตกตะกอนของสลัดจ์ในระบบเอเอส โดยการเติมวัสดุ  
 ช่วยตกตะกอน ด้วยวัสดุที่ต่างกัน 2 ชนิดคือ ทาล และ ถ่านกัมมันต์ชนิดผง เติมผสมลงไปในถังปฏิกริยาของระบบ  
 เอเอสแบบธรรมดาซึ่งทำการเดินระบบแบบต่อเนื่องโดยแปรเปลี่ยนปริมาณของวัสดุช่วยตกตะกอนใน 4 ถังปฏิกริยา  
 ด้วยปริมาณดังนี้คือ 0%, 20%, 50%, และ 80% น้ำหนักของวัสดุช่วยตกตะกอนต่อน้ำหนักของแบคทีเรีย เพื่อศึกษา  
 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของวัสดุช่วยตกตะกอนแต่ละชนิดและความเข้มข้นที่มีผลต่อความเร็วในการตกตะกอน  
 ด้วยการวัดค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน (Initial Settling Velocity) และศึกษาลักษณะของการเกาะตัว  
 ระหว่างวัสดุช่วยตกตะกอนทั้ง 2 ชนิดกับฟล็อกจุลชีพด้วยกล้องจุลทรรศน์ และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ตลอดจน  
 ศึกษาถึงความเข้ากันได้ของวัสดุช่วยตกตะกอนกับจุลชีพด้วยการตรวจวัดค่า ซีไอดี, เอ็มแอลเอสเอส, เอ็มแอลวีเอส  
 เอส, พีเอส, เอสวี30, และ เอสวีไอ เปรียบเทียบกับการเลี้ยงตะกอนจุลชีพแบบที่ไม่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอน โดย  
 นำข้อมูลจากการศึกษาไปใช้ในการปรับปรุงและออกแบบถังตกตะกอนที่ใช้ในระบบเอเอสที่เติมวัสดุช่วยตกตะกอน

ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่า การเติมวัสดุช่วยตกตะกอนทั้ง 2 ชนิดสามารถช่วยเพิ่มความเร็วเริ่มต้นของการ  
 ตกตะกอนให้สูงขึ้นได้ เมื่อเปรียบเทียบกับสลัดจ์ที่ไม่ทำการเติมวัสดุช่วยตกตะกอน โดยค่าความเร็วเริ่มต้นของการ  
 ตกตะกอนในถังปฏิกริยาที่มีการเติมทาลจะสูงกว่าถังที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงในทุกๆความเข้มข้น ซึ่งการเติม  
 วัสดุช่วยตกตะกอนที่ความเข้มข้น 80% น้ำหนักต่อน้ำหนัก ทำให้ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนมีค่าสูงที่สุดคือ  
 17.7 ม./ชม. โดยเมื่อพิจารณาค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่ไม่เติมวัสดุช่วยตกตะกอนมีค่าต่ำสุด  
 เพียง 4.0 ม./ชม. จากการทดลองวัสดุช่วยตกตะกอนและจุลชีพสามารถเข้ากันได้ดี โดยศึกษาได้จากค่าพารามิเตอร์  
 ต่างๆตลอดทั้งการทดลอง ซึ่งพบว่าปริมาณค่าพารามิเตอร์ในทุกถังปฏิกริยาใกล้เคียงกันกับถังปฏิกริยาที่ไม่มีการ  
 เติมวัสดุช่วยตกตะกอน และลักษณะของจุลชีพที่อาศัยอยู่ในระบบจากศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ ก็เป็นชนิดเดียวกัน  
 ในทุกๆถังปฏิกริยา ซึ่งล้วนเป็นจุลชีพในกลุ่มที่สำคัญต่อระบบเอเอส จากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน  
 พบการเกาะตัวของสลัดจ์กับวัสดุช่วยตกตะกอนในลักษณะที่ฟล็อกจะห่อหุ้ม และเคลือบผิววัสดุช่วยตกตะกอน และ  
 จากการศึกษาออกแบบถังตกตะกอนด้วยผลจากค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนในการทดลองได้ผลคือ ที่  
 ปริมาณวัสดุช่วยตกตะกอนเหมาะสม เช่น 20% (WW) สามารถคำนวณออกแบบขนาดของถังตกตะกอนให้มีขนาด  
 ลดลงได้ ด้วยการคำนวณจากวิธีไฮลิทฟลักซ์

ภาคิวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต.....  
 สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....  
 ปีการศึกษา2551

## 4870640021 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

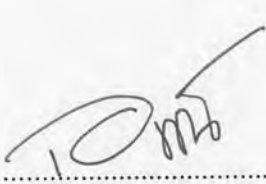
KEY WORD : ACTIVATED SLUDGE / SEDIMENTATION / INITIAL SETTLING VELOCITY / BALLASTING AGENT

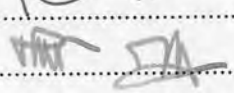
AKELUK CHAIPUN : ENHANCEMENT OF SLUDGE SEDIMENTATION EFFICIENCY IN ACTIVATED SLUDGE PROCESS BY BALLASTING AGENT

THESIS ADVISOR : CHAIYAPORN PUPRASERT, Ph.D., 181 pp.

This study was intended to enhance efficiency of sludge settling in activated sludge with two types of ballasting agent, purified fine talc and powder activated carbon (PAC). The settling efficiency was demonstrated by initial settling velocity. This experiment was performed in 4 reactors of conventional activated sludge (CAS). In each reactor, concentrations of ballasting agent are varied, i.e. 0%, 20%, 50%, and 80% (W/W). The affect of several parameters such as COD, MLSS, MLVSS, pH, SV30, and SVI were studied. Moreover, the floc formation between sludge and ballasting agent were studied by microscope and electron microscope. In addition, the ISV from this experiment can be use as a new way to design sedimentation tanks.

The results showed that both ballasting agent could improve settling efficiency, which indicated from high ISV, 17.7 m/h from the condition of 80% (W/W) talc concentration. However, talc was a better ballasting agent rather than PAC on every conditions. Also, this study illustrated the floc formation between sludge and the ballasting agents from electron microscope that ballasting agent was covered and enameled by sludge. Furthermore from the study with microscope and other parameters, Talc and PAC shown no interfere with bacterial activities. As a result, the ISV from this experiment can be used design sedimentation tank with decreased surface area on the appropriate condition.

Department Environmental Engineering Student's signature.....

Field of study Environmental Engineering Advisor's signature.....

Academic year 2008

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ชัยพร ภูประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้แนวทาง ให้คำแนะนำวิธีการและแนวคิดอย่างดียิ่ง ตลอดจนการสนับสนุนปัจจัยในการดำเนินการวิเคราะห์ผล ติดตามการดำเนินงาน การตรวจเล่มวิทยานิพนธ์ รวมทั้งการประสิทธิ์ประสาทวิชา อบรมดูแลสั่งสอนทั้งในด้านวิชาการและการดำเนินชีวิตตลอดมา

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเขียว รองศาสตราจารย์ ดร.ไพฑูริย์พร เชาวกิจเจริญ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรัณย์ เตชะเสน ที่ไม่เพียงเสียสละเวลาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์เท่านั้น ยังให้คำแนะนำที่มีประโยชน์ ทั้งให้ความช่วยเหลือตลอดระยะเวลาที่ทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิบูลลักษณ์ พึ่งรัศมี ที่ได้ช่วยดูแล ให้คำปรึกษาด้านจุลชีววิทยาในระบบตลอดทั้งงานวิจัย

ขอขอบคุณ สำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร และ บริษัท โกลบอล ยูทิลิตี้ เซอร์วิส จำกัด ที่เอื้อเพื่อหัวเชื้อสไลด์ จนกระทั่งงานวิจัยเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ คุณวิเชียร กิจไกลาศ ที่เอื้อเพื่อถ่านกัมมันต์ชนิดผงสำหรับใช้ในงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ ครูปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ครูจันทวรรณ ต้นเจริญ และครูอนันต์ วีระณรงค์ ที่เอื้อเพื่อวัสดุอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการตลอดระยะเวลาทำการทดลอง

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ประสบการณ์ มิตรภาพ และความรู้ ซึ่งเป็นมากกว่าแค่การมาเรียนหนังสือ ขอขอบคุณเพื่อนๆ นิสิตปริญญาโท รุ่นที่นิสิตปริญญาโทและปริญญาเอก รุ่นน้องนิสิตปริญญาโทและปริญญาตรี ทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และญาติพี่น้องทุกท่าน เป็นอย่างสูงที่ให้การสนับสนุน ให้คำปรึกษาในทุกๆ ด้าน ให้การดูแลอบรมสั่งสอน ให้กำลังใจ และให้ความรัก ซึ่งล้วนเป็นสิ่งสำคัญยิ่งแก่ผู้วิจัยตลอดชีวิตที่ผ่านมา จนผู้วิจัยฝ่าฟันปัญหาอุปสรรคต่างๆ ทั้งสิ้นได้

## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฐ
สารบัญรูป.....	ฌ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	บ

### บทที่ 1 บทนำ

1.1 ชื่อวิทยานิพนธ์.....	1
1.2 คำสำคัญ.....	1
1.3 บทนำ.....	1
1.4 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3

### บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส(Activated Sludge).....	5
2.1.1 บทนำ.....	5
2.1.2 กลไกการทำงาน.....	5
2.1.2.1 หลักการเบื้องต้นของกระบวนการเอเอส.....	5
2.1.2.2 การเกิดกระบวนการเอเอส.....	6
2.1.3 จุลินทรีย์ในระบบ.....	6
2.1.3.1 การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์.....	6
2.1.3.2 การจำแนกชนิดของจุลินทรีย์.....	8
2.1.4 ส่วนประกอบของระบบ.....	9
2.1.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบ.....	10

2.1.5.1 ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย.....	10
2.1.5.2 ธาตุอาหาร.....	11
2.1.5.3 ออกซิเจนละลาย.....	11
2.1.5.4 ระยะเวลาในการบำบัด.....	11
2.1.5.5 ค่าพีเอช.....	12
2.1.5.6 สารพิษ.....	12
2.1.5.7 อุณหภูมิ.....	12
2.1.5.8 การกวน.....	13
2.1.5.9 อัตราการไหลของน้ำเสีย.....	13
2.1.6 หลักการออกแบบและควบคุมระบบ.....	13
2.1.6.1 ปัจจัยในการดำเนินการ.....	13
2.1.6.2 หลักการออกแบบระบบเอเอส.....	15
2.1.6.3 การควบคุมการทำงานระบบบำบัดแบบเอเอส.....	17
2.1.7 ประเภทของระบบเอเอส.....	21
2.1.7.1 ระบบเอเอสแบบธรรมดา.....	21
2.1.7.2 ระบบเอเอสแบบที่มีการเติมอากาศแบบเร็ว.....	21
2.1.7.3 ระบบเอเอสแบบมีการเติมน้ำเสียเป็นชั้น.....	22
2.1.7.4 ระบบเอเอสแบบผสมอย่างสมบูรณ์.....	22
2.1.7.5 ระบบเอเอสแบบดัดแปลง.....	22
2.1.7.6 ระบบเอเอสแบบอัตราการบำบัดเร็ว.....	22
2.1.7.7 ระบบเอเอสแบบเติมอากาศยัดเวลา.....	23
2.1.7.8 ระบบเอเอสแบบเติมและถ่ายออก.....	23
2.1.7.9 ระบบเอเอสแบบคอนแทกต์สแตบิลไลเซชัน.....	23
2.1.7.10 ระบบเอเอสแบบเคราส์.....	24
2.1.7.11 ระบบเอเอสแบบใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์.....	24
2.2 กระบวนการตกตะกอน.....	29
2.2.1 ทฤษฎีในการตกตะกอน.....	30
2.2.2 การหาอัตราเร็วในการตกตะกอนในระบบเอเอส.....	34
2.2.3 หน้าที่ของถังตกตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส.....	38



2.2.4	หลักการออกแบบถังตกตะกอนในระบบเอเอส.....	38
2.2.4.1	การออกแบบถังตกตะกอนชั้นที่สอง ด้วยวิธีฟลักซ์ของแข็ง (Solids Flux).....	39
2.2.4.2	การออกแบบด้วยวิธีฟลักซ์ของแข็ง ประยุกต์ใช้ร่วมกับวิธีของโยซิโอะกะ.....	42
2.2.4.3	ค่ามาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบ ถังตกตะกอนชั้นที่สอง.....	43
2.3	งานวิจัยที่ผ่านมา.....	46

บทที่ 3 แผนการทดลองและการดำเนินการวิจัย

3.1	วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี.....	50
3.1.1	อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับการเลี้ยงตะกอนจุลินทรีย์.....	50
3.1.2	อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับการวิเคราะห์ลักษณะของน้ำเสีย.....	50
3.1.3	อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับเพิ่มประสิทธิภาพ ในการตกตะกอน.....	51
3.1.4	น้ำเสียสังเคราะห์.....	51
3.2	การดำเนินการทดลอง.....	52
3.3	ส่วนประกอบและการติดตั้งถังปฏิกรณ์.....	53
3.4	วิธีการทดลอง.....	56
3.4.1	การทดสอบการเพิ่มประสิทธิภาพของการตกตะกอนด้วยวัสดุ ช่วยตกตะกอนที่มีชนิดและความเข้มข้นที่แตกต่างกัน.....	56
3.4.1.1	ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง.....	56
3.4.1.2	รายละเอียดการทดลองตอนที่ 1.....	57
3.4.2	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการตกตะกอนด้วย วัสดุช่วยตกตะกอนในแง่ของการออกแบบ.....	57
3.4.2.1	ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง.....	58
3.4.2.2	รายละเอียดการทดลองตอนที่ 2.....	59

3.4.3 การเดินระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอสที่ใช้ในการทดลอง.....	59
3.4.3.1 การเริ่มเดินระบบ (Start up).....	59
3.4.3.2 การเริ่มเดินระบบแบบต่อเนื่อง.....	60
3.4.3.3 การดูแลรักษาและควบคุมระบบ.....	60
3.4.4 การวัดค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนในงานวิจัยชิ้นนี้.....	62

#### บทที่ 4 ผลการวิจัย

4.1 ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของการเลี้ยงตะกอนจุลชีพ ในระบบเอเอสจากงานวิจัย.....	63
4.2 ผลการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมทาล.....	74
4.2.1 การเปรียบเทียบความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ ที่มีการเติมทาลในปริมาณต่างๆ.....	74
4.2.2 การเปรียบเทียบความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ ที่มีการเติมทาล ในระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองแตกต่างกัน.....	78
4.3 ผลการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง.....	83
4.3.1 การเปรียบเทียบความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงในปริมาณต่างๆ.....	83
4.3.2 การเปรียบเทียบความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงในระยะเวลาที่ใช้ ในการทดลองแตกต่างกัน.....	86
4.4 ผลการศึกษาลักษณะของการเกาะตัวระหว่างวัสดุช่วยตกตะกอน กับฟล็อกของจุลชีพ.....	89
4.4.1 ผลการศึกษาลักษณะของการเกาะตัวระหว่าง ทาลกับฟล็อกของจุลชีพ.....	90
4.4.1.1 ผลการศึกษาลักษณะของการเกาะตัวระหว่าง ทาลกับฟล็อกของจุลชีพด้วยกล้องจุลทรรศน์.....	90
4.4.1.2 ผลการศึกษาลักษณะของการเกาะตัวระหว่างทาล กับฟล็อกของจุลชีพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน.....	93

4.4.2 ผลการศึกษาลักษณะของการเกาะตัวระหว่าง	
ถ่านกัมมันต์ชนิดผงกับฟล็อกของจุลชีพ.....	96
4.4.2.1 ผลการศึกษาลักษณะของการเกาะตัวระหว่าง	
ถ่านกัมมันต์ชนิดผงกับฟล็อกของจุลชีพ	
ด้วยกล้องจุลทรรศน์.....	96
4.4.2.2 ผลการศึกษาลักษณะของการเกาะตัวระหว่าง	
ถ่านกัมมันต์ชนิดผงกับฟล็อกของจุลชีพ	
ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน.....	99
4.5 ผลการเปรียบเทียบความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์	
ที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนสองชนิด.....	102
4.6 ผลการศึกษาเปรียบเทียบการคำนวณออกแบบถังตกตะกอน	
ในระบบเอเอสด้วยสลัดจ์ที่เติมวัสดุช่วยตกตะกอนทั้งสองชนิด.....	112
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	124
5.1.1 สรุปผลการศึกษาการตกตะกอนของสลัดจ์	
ที่มีการเติมทาลเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน.....	124
5.1.2 สรุปผลการศึกษาการตกตะกอนของสลัดจ์	
ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน.....	125
5.2 ผลการศึกษาเปรียบเทียบการตกตะกอนของสลัดจ์	
ที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนทั้งสองชนิด.....	125
5.3 สรุปผลการศึกษาเปรียบเทียบการคำนวณออกแบบถังตกตะกอน	
ในระบบเอเอสด้วยสลัดจ์ที่เติมวัสดุช่วยตกตะกอนทั้งสองชนิด.....	126
5.4 ข้อเสนอแนะ.....	126
รายการอ้างอิง.....	127
บรรณานุกรม.....	129

ภาคผนวก.....	130
ภาคผนวก ก. การคำนวณค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน	
จากการทดลอง.....	131
ภาคผนวก ข. ตารางบันทึกผลการเลี้ยงตะกอนจุลชีพในงานวิจัย.....	162
ภาคผนวก ค. การหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการตกตะกอน	
กับความเข้มข้นและการคำนวณโซลิตฟลักซ์ (Solid Flux)	
ในการออกแบบถังตกตะกอนสำหรับงานวิจัยนี้.....	171
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	181

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ค่าพารามิเตอร์ของระบบเอเอสแต่ละประเภท.....	27
ตารางที่ 2.2 ค่าอัตราน้ำล้างผิว, ภาวะบรรจุทุกของแข็งและความลึก ที่ใช้ในการออกแบบถังตกตะกอนชั้นที่สอง.....	44
ตารางที่ 2.3 ค่ามาตรฐานที่ใช้ในการเลือกขนาดถังตกตะกอนชั้นที่สอง.....	45
ตารางที่ 3.1 ส่วนประกอบของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	52
ตารางที่ 3.2 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองตอนที่ 1.....	56
ตารางที่ 4.1 ผลการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์เอ็มแอลวีเอสเอสต่อเอ็มแอลเอสเอสของสลัดจ์ ที่มีการเติมทาลในปริมาณต่างๆ ที่ระยะเวลาในการทดลองแตกต่างกัน.....	73
ตารางที่ 4.2 ผลการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์เอ็มแอลวีเอสเอสต่อเอ็มแอลเอสเอสของสลัดจ์ ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงในปริมาณต่างๆ ที่ระยะเวลาในการทดลองแตกต่างกัน.....	73
ตารางที่ 4.3 แสดงความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมทาล ในปริมาณต่างๆที่ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง 10, 20, และ 30 วัน.....	75
ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมทาล ที่ความเข้มข้น 0%, 20%, 50%, และ 80% (W/W) ในระยะเวลาที่ใช้ ในการทดลอง $1\theta_c$ , $2\theta_c$ , และ $3\theta_c$ .....	79
ตารางที่ 4.5 แสดงความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง ในปริมาณต่างๆที่ระยะเวลา ที่ใช้ในการทดลอง $1\theta_c$ , $2\theta_c$ , และ $3\theta_c$ .....	83
ตารางที่ 4.6 การเปรียบเทียบความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง ที่ความเข้มข้น 0%, 20%, 50%, 80% (W/W) ในระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง $1\theta_c$ , $2\theta_c$ , และ $3\theta_c$ .....	86
ตารางที่ 4.7 ผลการเปรียบเทียบความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ ที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนทั้งสองชนิด.....	104
ตารางที่ 4.8 ขนาดของพื้นที่ผิวของถังตกตะกอนจากการคำนวณด้วยโซลิตฟลักซ์.....	116
ตารางที่ 4.9 ขนาดของพื้นที่ผิวของถังตกตะกอนจากการคำนวณด้วยอัตราน้ำล้างผิว.....	118

ตารางที่ 4.10 อัตราภาระของแข็งจากการทดลอง.....	119
ตารางที่ 4.11 การเปรียบเทียบขนาดพื้นที่หน้าตัดของถังตกตะกอน ด้วยวิธีการคำนวณที่แตกต่างกัน.....	121
ตารางที่ ก.1 แสดงความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนที่มีการเติมทาลที่เวลาทดลอง $1\theta_c$ .....	136
ตารางที่ ก.2 แสดงความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนที่มีการเติมทาลที่เวลาทดลอง $2\theta_c$ .....	141
ตารางที่ ก.3 แสดงความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนที่มีการเติมทาลที่เวลาทดลอง $3\theta_c$ .....	146
ตารางที่ ก.4 แสดงความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง ที่เวลาทดลอง $1\theta_c$ .....	151
ตารางที่ ก.5 แสดงความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง ที่เวลาทดลอง $2\theta_c$ .....	156
ตารางที่ ก.6 แสดงความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง ที่เวลาทดลอง $3\theta_c$ .....	161
ตาราง ข.1 ตารางบันทึกผลการเลี้ยงตะกอนจุลชีพในถังปฏิกริยาที่มีการเติมทาล 0% (W/W)...	163
ตาราง ข.2 ตารางบันทึกผลการเลี้ยงตะกอนจุลชีพในถังปฏิกริยาที่มีการเติมทาล 20% (W/W).	164
ตาราง ข.3 ตารางบันทึกผลการเลี้ยงตะกอนจุลชีพในถังปฏิกริยาที่มีการเติมทาล 50% (W/W).	165
ตาราง ข.4 ตารางบันทึกผลการเลี้ยงตะกอนจุลชีพในถังปฏิกริยาที่มีการเติมทาล 80% (W/W).	166
ตาราง ข.5 ตารางบันทึกผลการเลี้ยงตะกอนจุลชีพในถังปฏิกริยา ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง 0 % (W/W).....	167
ตาราง ข.6 ตารางบันทึกผลการเลี้ยงตะกอนจุลชีพในถังปฏิกริยา ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง 20 % (W/W).....	168
ตาราง ข.7 ตารางบันทึกผลการเลี้ยงตะกอนจุลชีพในถังปฏิกริยา ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง 50 % (W/W).....	169
ตาราง ข.8 ตารางบันทึกผลการเลี้ยงตะกอนจุลชีพในถังปฏิกริยา ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง 80 % (W/W).....	170

## สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 กราฟการเจริญเติบโตของแบคทีเรียเทียบกับเวลา.....	7
รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของระบบเอเอส.....	9
รูปที่ 2.3 ชนิดของระบบเอเอส.....	25
รูปที่ 2.4 การวิเคราะห์ถังตกตะกอนแบบอุดมคติ.....	30
รูปที่ 2.5 การตกตะกอนแบบรวมกลุ่ม.....	31
รูปที่ 2.6 การตกตะกอนแบบแบ่งชั้น (มันสิน ตันกุลเวศม์, 2537).....	32
รูปที่ 2.7 วิเคราะห์กราฟของการตกตะกอนแบบแบ่งชั้น.....	33
รูปที่ 2.8 การเคลื่อนที่ของตะกอนสลัดจ์ในถังตกตะกอน.....	34
รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสลัดจ์ (C) และอัตราเร็วเริ่มต้น ในการตกตะกอนของชั้นสลัดจ์.....	36
รูปที่ 2.10 โพลีดิฟฟัซ $G_g$ และ $G_b$ ของถังตกตะกอนที่ระดับความเข้มข้น ของตะกอนแขวนลอย.....	36
รูปที่ 2.11 เส้นโค้ง Total flux และการหาค่า $G_L$ แบบธรรมดา.....	37
รูปที่ 2.12 การเคลื่อนที่ของตะกอนสลัดจ์ในถังตกตะกอน.....	39
รูปที่ 2.13 การหา Settling Flux.....	40
รูปที่ 2.14 กราฟ Solid flux.....	42
รูปที่ 2.15 กราฟการหาค่า $G_L$ โดยการลากเส้นตรงที่มีความชัน - $v_b$ ต่างๆ กัน.....	42
รูปที่ 3.1 ภาพการติดตั้งอุปกรณ์.....	54
รูปที่ 3.2 รายละเอียดของถังปฏิกริยา.....	54
รูปที่ 3.3 การวางถังปฏิกริยาในการทดลอง.....	55
รูปที่ 3.4 การวางเครื่องสูบน้ำเสีย และถังพักน้ำเสียเข้าระบบ.....	55
รูปที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ในถังปฏิกริยาที่มีการเติมทาล 0% (W/W).....	64
รูปที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ในถังปฏิกริยาที่มีการเติมทาล 20% (W/W).....	65
รูปที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ในถังปฏิกริยาที่มีการเติมทาล 50% (W/W).....	66
รูปที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ในถังปฏิกริยาที่มีการเติมทาล 80% (W/W).....	67
รูปที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ในถังปฏิกริยา ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง 0% (W/W).....	68

รูปที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ในถังปฏิกริยา ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง 20% (W/W).....	69
รูปที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ในถังปฏิกริยา ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง 50% (W/W).....	70
รูปที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ในถังปฏิกริยา ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง 80% (W/W).....	71
รูปที่ 4.9 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมทาล ในปริมาณต่างๆ ที่ระยะเวลาในการทดลอง $1\theta_c$ .....	76
รูปที่ 4.10 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมทาล ในปริมาณต่างๆ ที่ระยะเวลาในการทดลอง $2\theta_c$ .....	76
รูปที่ 4.11 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมทาล ในปริมาณต่างๆ ที่ระยะเวลาในการทดลอง $3\theta_c$ .....	77
รูปที่ 4.12 การเปรียบเทียบความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมทาล ที่ความเข้มข้น 0% (W/W) ในระยะเวลาในการทดลอง $1\theta_c$ , $2\theta_c$ , และ $3\theta_c$ .....	80
รูปที่ 4.13 การเปรียบเทียบความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมทาล ที่ความเข้มข้น 20% (W/W) ในระยะเวลาในการทดลอง $1\theta_c$ , $2\theta_c$ , และ $3\theta_c$ .....	80
รูปที่ 4.14 การเปรียบเทียบความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมทาล ที่ความเข้มข้น 50% (W/W) ในระยะเวลาในการทดลอง $1\theta_c$ , $2\theta_c$ , และ $3\theta_c$ .....	81
รูปที่ 4.15 การเปรียบเทียบความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมทาล ที่ความเข้มข้น 80% (W/W) ในระยะเวลาในการทดลอง $1\theta_c$ , $2\theta_c$ , และ $3\theta_c$ .....	81
รูปที่ 4.16 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง ในปริมาณต่างๆ ที่ระยะเวลาในการทดลอง $1\theta_c$ .....	84
รูปที่ 4.17 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง ในปริมาณต่างๆ ที่ระยะเวลาในการทดลอง $2\theta_c$ .....	84
รูปที่ 4.18 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง ในปริมาณต่างๆ ที่ระยะเวลาในการทดลอง $3\theta_c$ .....	85
รูปที่ 4.19 การเปรียบเทียบความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง ที่ความเข้มข้น 0% (W/W) ในระยะเวลา ในการทดลอง $1\theta_c$ , $2\theta_c$ , และ $3\theta_c$ .....	87



รูปที่ 4.20 การเปรียบเทียบความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง ที่ความเข้มข้น 20% (W/W) ในระยะเวลา ในการทดลอง $1\theta_c$ , $2\theta_c$ , และ $3\theta_c$ .....	87
รูปที่ 4.21 การเปรียบเทียบความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง ที่ความเข้มข้น 50% (W/W) ในระยะเวลา ในการทดลอง $1\theta_c$ , $2\theta_c$ , และ $3\theta_c$ .....	88
รูปที่ 4.22 การเปรียบเทียบความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง ที่ความเข้มข้น 80% (W/W) ในระยะเวลา ในการทดลอง $1\theta_c$ , $2\theta_c$ , และ $3\theta_c$ .....	88
รูปที่ 4.23 ฟล็อกของจุลชีพที่ความเข้มข้นทาล 0% (W/W) ที่กำลังขยาย 40 เท่า.....	90
รูปที่ 4.24 ฟล็อกของจุลชีพที่ความเข้มข้นทาล 0% (W/W) ที่กำลังขยาย 100 เท่า.....	90
รูปที่ 4.25 ฟล็อกของจุลชีพที่ความเข้มข้นทาล 20% (W/W) ที่กำลังขยาย 40 เท่า.....	91
รูปที่ 4.26 ฟล็อกของจุลชีพที่ความเข้มข้นทาล 20% (W/W) ที่กำลังขยาย 100 เท่า.....	91
รูปที่ 4.27 ฟล็อกของจุลชีพที่ความเข้มข้นทาล 50% (W/W) ที่กำลังขยาย 40 เท่า.....	91
รูปที่ 4.28 ฟล็อกของจุลชีพที่ความเข้มข้นทาล 50% (W/W) ที่กำลังขยาย 100 เท่า.....	91
รูปที่ 4.29 ฟล็อกของจุลชีพที่ความเข้มข้นทาล 80% (W/W) ที่กำลังขยาย 40 เท่า.....	92
รูปที่ 4.30 ฟล็อกของจุลชีพที่ความเข้มข้นทาล 80% (W/W) ที่กำลังขยาย 100 เท่า.....	92
รูปที่ 4.31 ทาลจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน.....	93
รูปที่ 4.32 ฟล็อกของจุลชีพจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน.....	94
รูปที่ 4.33 ฟล็อกของจุลชีพที่ความเข้มข้นทาล 20% (W/W).....	94

รูปที่ 4.34	ฟล็อกของจุลชีพที่ความเข้มข้นทาล 50% (W/W).....	95
รูปที่ 4.35	ฟล็อกของจุลชีพที่ความเข้มข้นทาล 80% (W/W).....	95
รูปที่ 4.36	ฟล็อกของจุลชีพที่ความเข้มข้นถ่านกัมมันต์ 0% (W/W) ที่ก้ำล้งขยาย 40 เท่า.....	97
รูปที่ 4.37	ฟล็อกของจุลชีพที่ความเข้มข้นถ่านกัมมันต์ 0% (W/W) ที่ก้ำล้งขยาย 100 เท่า.....	97
รูปที่ 4.38	ฟล็อกของจุลชีพที่ความเข้มข้นถ่านกัมมันต์ 20% (W/W) ที่ก้ำล้งขยาย 40 เท่า.....	97
รูปที่ 4.39	ฟล็อกของจุลชีพที่ความเข้มข้นถ่านกัมมันต์ 20% (W/W) ที่ก้ำล้งขยาย 100 เท่า.....	97
รูปที่ 4.40	ฟล็อกของจุลชีพที่ความเข้มข้นถ่านกัมมันต์ 50% (W/W) ที่ก้ำล้งขยาย 40 เท่า.....	98
รูปที่ 4.41	ฟล็อกของจุลชีพที่ความเข้มข้นถ่านกัมมันต์ 50% (W/W) ที่ก้ำล้งขยาย 100 เท่า.....	98
รูปที่ 4.42	ฟล็อกของจุลชีพที่ความเข้มข้นถ่านกัมมันต์ 80% (W/W) ที่ก้ำล้งขยาย 40 เท่า.....	98
รูปที่ 4.43	ฟล็อกของจุลชีพที่ความเข้มข้นถ่านกัมมันต์ 80% (W/W) ที่ก้ำล้งขยาย 400 เท่า.....	98
รูปที่ 4.44	ถ่านกัมมันต์ชนิดผงจากกล่องจุลทรรศน์อิเล็กทรอนิกส์.....	99
รูปที่ 4.45	ฟล็อกของจุลชีพจากกล่องจุลทรรศน์อิเล็กทรอนิกส์.....	100
รูปที่ 4.46	ฟล็อกของจุลชีพที่ความเข้มข้นถ่านกัมมันต์ 20% (W/W).....	100
รูปที่ 4.47	ฟล็อกของจุลชีพที่ความเข้มข้นถ่านกัมมันต์ 50% (W/W).....	101
รูปที่ 4.48	ฟล็อกของจุลชีพที่ความเข้มข้นถ่านกัมมันต์ 80% (W/W).....	101
รูปที่ 4.49	การเปรียบเทียบความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอนของสลัดจ์ ที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนปริมาณ 0% (W/W) ในเวลาการทดลอง $1\theta_c$ .....	105
รูปที่ 4.50	การเปรียบเทียบความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอนของสลัดจ์ ที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนปริมาณ 0% (W/W) ในเวลาการทดลอง $2\theta_c$ .....	105
รูปที่ 4.51	การเปรียบเทียบความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอนของสลัดจ์ ที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนปริมาณ 0% (W/W) ในเวลาการทดลอง $3\theta_c$ .....	106

รูปที่ 4.52 การเปรียบเทียบความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอนของสลัดจ์ ที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนปริมาณ 20% (W/W) ในเวลาการทดลอง $1\theta_c$ .....	106
รูปที่ 4.53 การเปรียบเทียบความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอนของสลัดจ์ ที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนปริมาณ 20% (W/W) ในเวลาการทดลอง $2\theta_c$ .....	107
รูปที่ 4.54 การเปรียบเทียบความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอนของสลัดจ์ ที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนปริมาณ 20% (W/W) ในเวลาการทดลอง $3\theta_c$ .....	107
รูปที่ 4.55 การเปรียบเทียบความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอนของสลัดจ์ ที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนปริมาณ 50% (W/W) ในเวลาการทดลอง $1\theta_c$ .....	108
รูปที่ 4.56 การเปรียบเทียบความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอนของสลัดจ์ ที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนปริมาณ 50% (W/W) ในเวลาการทดลอง $2\theta_c$ .....	108
รูปที่ 4.57 การเปรียบเทียบความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอนของสลัดจ์ ที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนปริมาณ 50% (W/W) ในเวลาการทดลอง $3\theta_c$ .....	109
รูปที่ 4.58 การเปรียบเทียบความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอนของสลัดจ์ ที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนปริมาณ 80% (W/W) ในเวลาการทดลอง $1\theta_c$ .....	109
รูปที่ 4.59 การเปรียบเทียบความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอนของสลัดจ์ ที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนปริมาณ 80% (W/W) ในเวลาการทดลอง $2\theta_c$ .....	110
รูปที่ 4.60 การเปรียบเทียบความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอนของสลัดจ์ ที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนปริมาณ 80% (W/W) ในเวลาการทดลอง $3\theta_c$ .....	110
รูปที่ 4.61 กระบวนการของระบบเอเอสในการคำนวณออกแบบถังตกตะกอน.....	113
รูปที่ 4.62 กราฟโซลิตฟลักซ์ของทาลในชุดควบคุม 0% (W/W).....	115
รูปที่ 4.63 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการตกตะกอน และความเข้มข้น ของสลัดจ์ที่ปริมาณทาลแตกต่างกัน.....	120
รูปที่ 4.64 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการตกตะกอน และความเข้มข้น ของสลัดจ์ที่ปริมาณผงถ่านกัมมันต์แตกต่างกัน.....	120
รูปที่ ก.1 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมทาล 0% (W/W) ที่เวลาทดลอง $1\theta_c$ .....	132
รูปที่ ก.2 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมทาล 20% (W/W) ที่เวลาทดลอง $1\theta_c$ .....	133



รูปที่ ก.17 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง 0% (W/W) ที่เวลาทดลอง $2\theta_c$ .....	152
รูปที่ ก.18 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง 20% (W/W) ที่เวลาทดลอง $2\theta_c$ .....	153
รูปที่ ก.19 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง 50% (W/W) ที่เวลาทดลอง $2\theta_c$ .....	154
รูปที่ ก.20 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง 80% (W/W) ที่เวลาทดลอง $2\theta_c$ .....	155
รูปที่ ก.21 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง 0% (W/W) ที่เวลาทดลอง $3\theta_c$ .....	157
รูปที่ ก.22 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง 20% (W/W) ที่เวลาทดลอง $3\theta_c$ .....	158
รูปที่ ก.23 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง 50% (W/W) ที่เวลาทดลอง $3\theta_c$ .....	159
รูปที่ ก.24 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง 80% (W/W) ที่เวลาทดลอง $3\theta_c$ .....	160
รูปที่ ค.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการตกตะกอน และความเข้มข้น ที่ปริมาณผงทาล 0% (W/W).....	173
รูปที่ ค.2 กราฟโซลิตฟลักซ์ของทาลที่ปริมาณ 0% (W/W).....	173
รูปที่ ค.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการตกตะกอน และความเข้มข้น ที่ปริมาณผงทาล 20% (W/W).....	174
รูปที่ ค.4 กราฟโซลิตฟลักซ์ของทาลที่ปริมาณ 20% (W/W).....	174
รูปที่ ค.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการตกตะกอน และความเข้มข้น ที่ปริมาณผงทาล 50% (W/W).....	175
รูปที่ ค.6 กราฟโซลิตฟลักซ์ของทาลที่ปริมาณ 50% (W/W).....	175
รูปที่ ค.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการตกตะกอน และความเข้มข้น ที่ปริมาณผงทาล 80% (W/W).....	176
รูปที่ ค.8 กราฟโซลิตฟลักซ์ของทาลที่ปริมาณ 80% (W/W).....	176

รูปที่ ค.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการตกตะกอน และความเข้มข้น ที่ปริมาณผงถ่านกัมมันต์ 0% (W/W).....	177
รูปที่ ค.10 กราฟโซลิตฟลักซ์ของถ่านกัมมันต์ชนิดผงที่ปริมาณ 0% (W/W).....	177
รูปที่ ค.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการตกตะกอน และความเข้มข้น ที่ปริมาณผงถ่านกัมมันต์ 20% (W/W).....	178
รูปที่ ค.12 กราฟโซลิตฟลักซ์ของถ่านกัมมันต์ชนิดผงที่ปริมาณ 20% (W/W).....	178
รูปที่ ค.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการตกตะกอน และความเข้มข้น ที่ปริมาณผงถ่านกัมมันต์ 50% (W/W).....	179
รูปที่ ค.14 กราฟโซลิตฟลักซ์ของถ่านกัมมันต์ชนิดผงที่ปริมาณ 50% (W/W).....	179
รูปที่ ค.15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการตกตะกอน และความเข้มข้น ที่ปริมาณผงถ่านกัมมันต์ 80% (W/W).....	180
รูปที่ ค.16 กราฟโซลิตฟลักซ์ของถ่านกัมมันต์ชนิดผงที่ปริมาณ 80% (W/W).....	180

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

$\theta_c$	อายุสลัดจ์ (วัน)
MLSS	น้ำหนักของแข็งแขวนลอยในถังปฏิกรณ์ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
MLSS <sub>out</sub>	น้ำหนักของแข็งแขวนลอยที่ออกจากระบบ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
HRT	เวลาเก็บกักน้ำ (วัน)
V	ปริมาตรของของเหลวในถังเติมอากาศ (ลูกบาศก์เมตร)
Q	อัตราการไหลของน้ำเสียสู่ถังเติมอากาศ เวลาเก็บกักน้ำ (ชั่วโมง)
F	น้ำหนักของสารอินทรีย์ที่เข้าระบบต่อวัน (กิโลกรัมต่อวัน)
M	น้ำหนักของจุลชีพในถังเติมอากาศ (กิโลกรัม)
SVI	ดัชนีปริมาตรตะกอนมีหน่วยเป็น (มิลลิกรัมต่อลิตร)
BOD	ปริมาณของออกซิเจนละลายที่ถูกใช้ในเวลา 5 วัน โดยกระบวนการทางชีวภาพ ในการทำลายสารอินทรีย์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
MLVSS	ของแข็งแขวนลอยระเหยได้ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
X	ความเข้มข้นของจุลชีพ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
Y	สัมประสิทธิ์ประมาณผลิต (Yield coefficient)
S <sub>0</sub>	ปริมาณอาหารเข้าสู่ระบบ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
S	ปริมาณอาหารในระบบ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
k <sub>d</sub>	ค่าสัมประสิทธิ์ในการลดลงของจุลชีพ (ต่อชั่วโมง)
E	ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย (เปอร์เซ็นต์)
OLR	อัตราการอินทรีย์ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร-วัน)
V	ความเร็วของการตกตะกอนในถังตกตะกอนตามแนวราบ (เมตรต่อชั่วโมง)
V <sub>0</sub>	ความเร็วของการตกตะกอนในถังตกตะกอนตามแนวตั้ง (เมตรต่อชั่วโมง)
A <sub>s</sub>	พื้นที่ผิวของถังตกตะกอน (ตารางเมตร)
h <sub>0</sub>	ความสูงของถังตกตะกอน (เมตร)
W	ความกว้างของถังตกตะกอน (เมตร)
t	เวลาที่ใช้ในการตกตะกอน(ชั่วโมง)
ISV	ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน (เมตรต่อชั่วโมง)
H <sub>t</sub>	ความสูงของสลัดจ์ที่เวลา t
H <sub>∞</sub>	ความสูงของสลัดจ์หลังเกิดการตกตะกอนในช่วงระยะเวลาหนึ่งโดยกำหนดให้เป็น 24 ชั่วโมง

$H_2$	ความสูงของสลัดจ์ที่เวลา $t_2$
$i$	ค่าคงที่ของการแขวนลอย
$C_i$	น้ำหนักของแข็งแขวนลอยในถังตกตะกอน (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
$v_i$	ความเร็วในการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ $C_i$
$v_b$	ความเร็วของสลัดจ์ที่เคลื่อนที่ลงเนื่องจากการระบายสลัดจ์ออกจากก้นถังตกตะกอน
$G$	โซลิดซ์ฟลัก (Solid Flux) (กิโลกรัมต่อชั่วโมง-ตารางเมตร)
$G_g$	Settling Flux (กิโลกรัมต่อชั่วโมง-ตารางเมตร)
$G_b$	Bulk Flux (กิโลกรัมต่อชั่วโมง-ตารางเมตร)
$G_L$	Limiting Flux (กิโลกรัมต่อชั่วโมง-ตารางเมตร)
$G_T$	โซลิดซ์ฟลักทั้งหมดของถังตกตะกอน (กิโลกรัมต่อชั่วโมง-ตารางเมตร)
$\alpha$	อัตราการหมุนเวียนสลัดจ์
$A$	พื้นที่หน้าตัดของถังตกตะกอน (ตารางเมตร)
$WW$	น้ำหนักของวัสดุช่วยตกตะกอนต่อน้ำหนักของแบคทีเรียในรูปของน้ำหนักของแข็งแขวนลอย (เปอร์เซ็นต์)

