

ผลของอายุสัจธรรมที่มีต่อประสิทธิภาพการตกตะกอนในระบบเอเอสที่ใช้วัสดุช่วยตกตะกอน



นางสาวธัญรัตน์ แสงสุวรรณ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT OF SLUDGE AGE ON SETTLING EFFICIENCY IN ACTIVATED SLUDGE
PROCESS USING BALLASTING AGENTS



Miss Tanyarat Sangsuwan

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

Department of Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลของอายุสัปดาห์ที่มีต่อประสิทธิภาพการตกตะกอนใน
ระบบเอเอสที่ใช้วัสดุช่วยตกตะกอน

โดย

นางสาวธัญรัตน์ แสงสุวรรณ

สาขาวิชา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

อาจารย์ ดร. ชัยพร ภูประเสริฐ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารบัณฑิต


..... คนบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศธีรณรงค์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุธา ชาวเชียร)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(อาจารย์ ดร.ชัยพร ภูประเสริฐ)


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

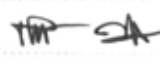

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.พิสุทธิ์ เพ็ชรมนกุล)

ธีบุญรัตน์ แสงสุวรรณ : ผลของอายุสลัดจ์ที่มีต่อประสิทธิภาพการตกตะกอนในระบบเอเอส
ที่ใช้วัสดุช่วยตกตะกอน. (EFFECT OF SLUDGE AGE ON SETTLING EFFICIENCY
IN ACTIVATED SLUDGE PROCESS USING BALLASTING AGENTS)

อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : อ.ดร.ชัยพร ภูประเสริฐ, 158 หน้า.

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของอายุสลัดจ์ที่มีต่อประสิทธิภาพการตกตะกอนในระบบเอเอสที่มี
การเติมวัสดุช่วยตกตะกอน 3 ชนิด คือ ทาล ถ่านกัมมันต์ชนิดผง และยางบดละเอียด ลงในถัง
ปฏิกริยาของระบบเอเอสที่ควบคุมให้มีอายุสลัดจ์ต่างกัน คือ 3, 10 และ 30 วัน เพื่อศึกษา
ประสิทธิภาพของวัสดุช่วยตกตะกอนทั้ง 3 ชนิด ที่มีผลต่อความเร็วในการตกตะกอนของสลัดจ์ใน
ระบบเอเอสที่มีอายุสลัดจ์ต่างๆ โดยการวัดค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน (ไอเอสวี) ศึกษา
ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี และการจับตัวระหว่างฟล็อกกับวัสดุช่วยตกตะกอน โดยนำข้อมูล
จากการศึกษานี้ไปใช้ในการปรับปรุงและออกแบบถังตกตะกอนในระบบเอเอสต่อไป

ผลการวิจัย พบว่า ค่าไอเอสวีของระบบที่เติมทาลสูงกว่าระบบที่เติมถ่านกัมมันต์และยาง
ในทุกๆ ค่าอายุสลัดจ์ โดยมีค่าไอเอสวีสูงสุด คือ 10.6 ม./ชม. ค่าไอเอสวีสูงสุดของระบบที่เติม
ถ่านกัมมันต์และยางมีค่า 7.2 และ 6.6 ม./ชม. ตามลำดับ โดยชุดควบคุมที่ไม่มีการเติมวัสดุช่วย
ตกตะกอนจะมีค่าไอเอสวีต่ำกว่า 5 ม./ชม. และมีค่าไอเอสวีต่ำกว่าในระบบที่เติมวัสดุช่วย
ตกตะกอนทั้ง 3 ชนิด ในแง่การกำจัดซีโอดีพบว่า ระบบที่เติมถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพการกำจัด
ซีโอดีได้สูงที่สุด ซึ่งสูงกว่า 97 เปอร์เซ็นต์ มากกว่าระบบที่เติมทาลและยาง และชุดควบคุมที่กำจัด
ซีโอดีได้ 95 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าอายุสลัดจ์ของระบบในช่วง 3-30 วัน ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพ
การกำจัดซีโอดีของระบบที่เติมวัสดุช่วยตกตะกอนอย่างชัดเจน เมื่อศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์
และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนจะเห็นฟล็อกจุลชีพห่อหุ้มวัสดุช่วยตกตะกอน ฟล็อกมีขนาดใหญ่
ขึ้นกว่าฟล็อกจุลชีพในชุดควบคุม และเห็นการเกาะติดของจุลชีพที่ผิววัสดุช่วยตกตะกอนได้อย่าง
ชัดเจน โดยมีลักษณะการเกาะตัวไม่ต่างกันในแต่ละอายุสลัดจ์ นอกจากนี้ ระบบเอเอสที่เติมวัสดุ
ช่วยตกตะกอนทุกชนิดยังสามารถช่วยทำให้ถังตกตะกอนมีขนาดเล็กลงได้ในทั้ง 3 อายุสลัดจ์ โดย
ในระบบที่เติมทาลเป็นวัสดุช่วยตกตะกอนมี Limiting Flux (G_L) สูงสุด 1,753 กก./ตร.ม.-วัน ซึ่ง
ส่งผลให้ถังตกตะกอนของระบบที่เติมทาลมีขนาดเล็กที่สุด

ภาควิชา..... วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม..... ลายมือชื่อนิสิต..... ธีบุญรัตน์ แสงสุวรรณ
สาขาวิชา..... วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม..... ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก..... 
ปีการศึกษา 2552

4870670821 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS : ACTIVATED SLUDGE / SEDIMENTATION / BALLASTING AGENT / SLUDGE AGE / CRUMB RUBBER

TANYARAT SANGSUWAN : EFFECT OF SLUDGE AGE ON SETTLING EFFICIENCY IN ACTIVATED SLUDGE PROCESS USING BALLASTING AGENTS. THESIS ADVISOR : CHAIYAPORN PUPRASERT, Ph.D., 158 pp.

This research studied the effect of sludge age on settling efficiency in AS process. Three types of ballasting agent; talc, powder activated carbon (PAC), and crumb rubber were added in the 3 lab-scale AS processes which controlled the sludge age as 3, 10 and 30 days. The initial settling velocity (ISV), COD removal and floc forming were studied in this research. The sedimentation tank can be design by using the ISV results.

The experiment found that the talc addition made the highest ISV of 10.6 m/h. The ISV of PAC addition and crumb rubber addition were 7.2 and 6.6 m/h, respectively. On the contrary, in control set, the ISV were lower than 5 m/h that indicated worse settling. However, all of ballasting agent in this experiment made higher ISV than the control without ballasting agent in every condition. Moreover, in the term of COD removal, the result indicated that the highest COD removal more than 97% was achieved in PAC added reactor. In the same way, talc and crumb rubber had COD removal more than 95% in every condition of sludge age. Also, the study of floc formation between ballasting agent and sludge from the microscope and Scanning Electron Microscope (SEM) revealed that 3 agents can agglomerate better floc and no interference with bacterial activities in every sludge age. Moreover, the study discovered the attach of microorganisms on the crust surface of ballasting agents. In the term of sedimentation tank design, the surface area of the tank in the enhance AS by using ballasting agent was decreased, especially in talc addition. As a result, the highest Limiting Flux (G_L) of talc, $1,753 \text{ kg/m}^3\text{-day}$ made the smallest surface area of the tank.

Department : Environmental Engineering Student's Signature Tanyarat Sangsuwan
Field of Study : Environmental Engineering Advisor's Signature [Signature]
Academic Year : 2009

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ชัยพร ภูประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่คอยให้คำแนะนำ ให้แนวทางเกี่ยวกับแนวคิดและให้คำปรึกษาในวิธีการดำเนินการวิจัย การวิเคราะห์ผล การตรวจเล่มวิทยานิพนธ์ รวมทั้งให้การอบรมสั่งสอนผู้วิจัย ทั้งในด้านวิชาการและด้านการใช้ชีวิตตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์ที่ผ่านมา

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเขียว ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรัณย์ เตชะเสน และ ดร. พิสุทธิ เพ็ชรมนกุล ที่สละเวลาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รวมทั้งให้คำแนะนำที่มีประโยชน์แก่งานวิจัยนี้อย่างยิ่ง

ขอขอบคุณสำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร บริษัทโกลบอล ยูทิลิตี้ เซอร์วิส จำกัด และเจ้าหน้าที่ของโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำดินแดงทุกท่าน ที่อำนวยความสะดวกและเอื้อเฟื้อหัวเชื้อสไลด์ที่ใช้ในงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ คุณวิเชียร กิจไกรลาส ที่เอื้อเฟื้อถ่านกัมมันต์ชนิดผง และขอบคุณบริษัท เทอร์ราเอ็นเตอร์ไพรซ์ จำกัด ที่เอื้อเฟื้อยางบดละเอียดที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ คุณเอกลักษณ์ ไชยพันธุ์ ที่ให้คำปรึกษาแนวทางในการทำการวิจัยและคอยให้ความช่วยเหลือตลอดการทำการวิจัยนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ เป็นอย่างสูงที่ให้การสนับสนุนทั้งในด้านปัจจัย รวมทั้งให้คำปรึกษาและให้กำลังใจตลอดมา จนกระทั่งทำการวิจัยนี้จนสำเร็จลุล่วงมาได้ด้วยดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	๗
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ป

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ชื่อวิทยานิพนธ์.....	1
1.2 คำสำคัญ.....	1
1.3 บทนำ.....	1
1.4 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตของการวิจัย.....	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส (Activated Sludge).....	6
2.1.1 บทนำ.....	6
2.1.2 กลไกการทำงาน.....	6
2.1.3 การเกิดแอ็คติเวตเต็ดจ์สลัดจ์.....	7
2.1.4 จุลินทรีย์ในระบบ.....	7
2.1.4.1 การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์.....	7
2.1.4.2 การแบ่งประเภทของจุลินทรีย์.....	9
2.1.5 ส่วนประกอบของระบบ.....	10
2.1.6 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบ.....	11

2.1.6.1 ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย.....	11
2.1.6.2 ธาตุอาหาร.....	12
2.1.6.3 ออกซิเจนละลาย.....	12
2.1.6.4 ระยะเวลาในการบำบัด.....	12
2.1.6.5 ค่าพีเอช.....	13
2.1.6.6 สารพิษ.....	13
2.1.6.7 อุณหภูมิ.....	13
2.1.6.8 การกวน.....	14
2.1.6.9 อัตราการไหลของน้ำเสีย.....	14
2.1.7 หลักการออกแบบระบบเอเอส.....	14
2.1.8 ประเภทของกระบวนการเอเอส.....	17
2.1.8.1 แบ่งตามลักษณะการบำบัดทุกสารอินทรีย์ของกระบวนการ...17	
2.1.8.2 แบ่งตามลักษณะทางกายภาพของการจัดรูปถังเติมอากาศ..19	
2.1.9 การควบคุมการทำงานระบบบำบัดแบบเอเอส.....	22
2.1.9.1 การควบคุมค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลชีพ (F/M).....	22
2.1.9.2 การควบคุมอายุสลัดจ์.....	23
2.1.9.3 การควบคุมการทิ้งสลัดจ์ส่วนเกิน.....	25
2.1.9.4 การควบคุมการสูบสลัดจ์กลับ.....	25
2.1.10 ผลของอายุสลัดจ์กับประสิทธิภาพในการตกตะกอนของระบบเอเอส ...25	
2.1.10.1 การตกตะกอนแบบปกติของสลัดจ์.....	26
2.1.10.2 การตกตะกอนของระบบที่มีอายุสลัดจ์น้อย.....	27
2.1.10.3 การตกตะกอนของระบบที่มีอายุสลัดจ์มาก.....	27
2.2 กระบวนการตกตะกอน.....	28
2.2.1 ทฤษฎีในการตกตะกอน.....	29
2.2.2 ประสิทธิภาพของการตกตะกอนในระบบเอเอส.....	32
2.2.3 การหาอัตราเร็วของการตกตะกอนในระบบเอเอส.....	33
2.2.3.1 ทฤษฎีโซลิดฟลักซ์ (Solids Flux Theory).....	33
2.2.3.2 การหาค่า G_L โดยวิธีโยชิโকা (Yoshioka).....	36

2.2.4	หน้าที่ของถังตกตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส	37
2.3	แนวคิดในการใช้วัสดุช่วยตกตะกอนในระบบเอเอส	38
2.4	งานวิจัยที่ผ่านมา	39
2.3.1	ทาล	39
2.3.2	ถ่านกัมมันต์ชนิดผง	41
2.3.3	ยางบดละเอียด	41

บทที่ 3 แผนการทดลองและการดำเนินการวิจัย

3.1	วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี	43
3.1.1	ระบบที่ใช้ในการทดลอง	43
3.1.2	น้ำเสียสังเคราะห์	46
3.1.3	วัสดุช่วยตกตะกอนที่ใช้ในงานวิจัย	46
3.1.4	จุลชีพในระบบ	47
3.1.5	อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย	47
3.1.5.1	อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับการเลี้ยงตะกอนจุลินทรีย์	47
3.1.5.2	อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับการวิเคราะห์ลักษณะของน้ำเสีย	48
3.2	แผนการดำเนินงานวิจัย	48
3.2.1	วิธีการทดลอง	49
3.2.2	การดำเนินการทดลอง	50
3.2.3	วิธีวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์	50
3.3	การเดินระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอสที่ใช้ในการทดลอง	52
3.3.1	การเริ่มต้นเดินระบบ	52
3.3.2	การดูแลรักษาระบบ	52
3.3.3	การควบคุมระบบโดยการควบคุมอายุสลัดจ์	53

บทที่ 4 ผลการวิจัย

4.1	ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของการเลี้ยงตะกอนจุลชีพในระบบเอเอส	55
4.2	ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีของระบบเมื่อทำการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนลงในระบบเอเอสที่ควบคุมอายุสลัดจ์ให้มีค่าต่างๆ	60

4.3 ผลการศึกษาลักษณะการเกาะตัวระหว่างวัสดุช่วยตกตะกอนกับฟล็อกจูลซีพี ในระบบเอเอสที่อายุสลัดจ์ต่างๆ.....	62
4.3.1 ผลการศึกษาลักษณะของฟล็อกจูลซีพีในระบบเอเอสที่อายุสลัดจ์ ต่างๆ ด้วยกล้องจุลทรรศน์.....	63
4.3.2 ผลการศึกษาลักษณะของวัสดุช่วยตกตะกอนด้วย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน.....	68
4.3.2.1 ลักษณะของฟล็อกจูลซีพีในระบบเอเอสที่เติมทาล เป็นวัสดุช่วยตกตะกอนในระบบเอเอสที่มีอายุสลัดจ์ต่างๆ.....	68
4.3.2.2 ลักษณะของฟล็อกจูลซีพีในระบบเอเอสที่เติมถ่านกัมมันต์ เป็นวัสดุช่วยตกตะกอนในระบบเอเอสที่มีอายุสลัดจ์ต่างๆ.....	70
4.3.2.3 ลักษณะของฟล็อกจูลซีพีในระบบเอเอสที่เติมยางบดละเอียด เป็นวัสดุช่วยตกตะกอนในระบบเอเอสที่มีอายุสลัดจ์ต่างๆ.....	72
4.4 ผลการวิเคราะห์ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน.....	75
4.4.1 การเปรียบเทียบความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ ที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนในระบบเอเอสที่คุมอายุสลัดจ์ 3 วัน.....	75
4.4.2 การเปรียบเทียบความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ ที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนในระบบเอเอสที่คุมอายุสลัดจ์ 10 วัน.....	79
4.4.3 การเปรียบเทียบความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ ที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนในระบบเอเอสที่คุมอายุสลัดจ์ 30 วัน.....	83
4.5 ผลของชนิดของวัสดุช่วยตกตะกอนและค่าอายุสลัดจ์ของระบบเอเอส ที่มีต่อความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน.....	86
4.6 ผลการศึกษาการคำนวณออกแบบขนาดถังตกตะกอนเมื่อทำการเติม วัสดุช่วยตกตะกอนในระบบเอเอสที่ควบคุมอายุสลัดจ์ต่างๆ.....	88
4.6.1 ขนาดพื้นที่หน้าตัดถังตกตะกอนของโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนดินแดง.....	88
4.6.2 การคำนวณเปรียบเทียบขนาดพื้นที่หน้าตัดของถังตกตะกอน ด้วยทฤษฎีไฮลิคฟลักซ์.....	89

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	93
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	94
รายการอ้างอิง.....	96
ภาคผนวก.....	99
ภาคผนวก ก. ตารางบันทึกผลการเลี้ยงตะกอนจุลชีพในระบบเอเอสที่ควบคุม ให้มีค่าอายุสลัดจ์ต่างๆ.....	100
ภาคผนวก ข. การคำนวณค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ ในระบบเอเอสที่คุมอายุสลัดจ์ต่างๆ.....	114
ภาคผนวก ค. การเปรียบเทียบค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนกับ ความเข้มข้นและโซลิดฟลักซ์ของระบบต่างๆ.....	138
ภาคผนวก ง. ตัวอย่างการหาค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน (ISV), โซลิดฟลักซ์และการคำนวณออกแบบถังตกตะกอน.....	152
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	158

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ในอัตราการทำบำบัดช่วงต่างๆ.....	18
ตารางที่ 3.1 ส่วนประกอบของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	46
ตารางที่ 3.2 ค่าพารามิเตอร์ที่วัด วิธีการที่ใช้วิเคราะห์และความถี่ในการวิเคราะห์.....	51
ตารางที่ 4.1 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอน ชนิดต่างๆ ในระบบเอเอสที่คุมอายุสลัดจ์ 3 วัน.....	76
ตารางที่ 4.2 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอน ชนิดต่างๆ ในระบบเอเอสที่คุมอายุสลัดจ์ 10 วัน.....	80
ตารางที่ 4.3 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอน ชนิดต่างๆ ในระบบเอเอสที่คุมอายุสลัดจ์ 30 วัน.....	83
ตารางที่ 4.4 ขนาดพื้นที่หน้าตัดของถังตกตะกอนจากการคำนวณด้วยทฤษฎีไฮลิตฟลักซ์.....	91
ตารางที่ ก.1 ตารางบันทึกผลการเลี้ยงตะกอนจุลชีพในระบบเอเอสที่ควบคุม ให้มีค่าอายุสลัดจ์ 3 วันและไม่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอน (ชุดควบคุม).....	101
ตารางที่ ก.2 ตารางบันทึกผลการเลี้ยงตะกอนจุลชีพในระบบเอเอสที่ควบคุม ให้มีค่าอายุสลัดจ์ 3 วันและเติมทาลเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน.....	102
ตารางที่ ก.3 ตารางบันทึกผลการเลี้ยงตะกอนจุลชีพในระบบเอเอสที่ควบคุม ให้มีค่าอายุสลัดจ์ 3 วันและเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน.....	103
ตารางที่ ก.4 ตารางบันทึกผลการเลี้ยงตะกอนจุลชีพในระบบเอเอสที่ควบคุม ให้มีค่าอายุสลัดจ์ 3 วันและเติมยางบดละเอียดเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน.....	104
ตารางที่ ก.5 ตารางบันทึกผลการเลี้ยงตะกอนจุลชีพในระบบเอเอสที่ควบคุม ให้มีค่าอายุสลัดจ์ 10 วันและไม่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอน (ชุดควบคุม).....	105
ตารางที่ ก.6 ตารางบันทึกผลการเลี้ยงตะกอนจุลชีพในระบบเอเอสที่ควบคุม ให้มีค่าอายุสลัดจ์ 10 วันและเติมทาลเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน.....	106
ตารางที่ ก.7 ตารางบันทึกผลการเลี้ยงตะกอนจุลชีพในระบบเอเอสที่ควบคุม ให้มีค่าอายุสลัดจ์ 10 วันและเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน.....	107

ตารางที่ ก.8 ตารางบันทึกผลการเลี้ยงตะกอนจุลชีพในระบบเอเอสที่ควบคุม	
ให้มีค่าอายุสลัดจ์ 10 วันและเติมยางบดละเอียดเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน.....	108
ตารางที่ ก.9 ตารางบันทึกผลการเลี้ยงตะกอนจุลชีพในระบบเอเอสที่ควบคุม	
ให้มีค่าอายุสลัดจ์ 30 วันและไม่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอน (ชุดควบคุม).....	109
ตารางที่ ก.10 ตารางบันทึกผลการเลี้ยงตะกอนจุลชีพในระบบเอเอสที่ควบคุม	
ให้มีค่าอายุสลัดจ์ 30 วันและเติมทาลเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน.....	110
ตารางที่ ก.11 ตารางบันทึกผลการเลี้ยงตะกอนจุลชีพในระบบเอเอสที่ควบคุม	
ให้มีค่าอายุสลัดจ์ 30 วันและเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน.....	111
ตารางที่ ก.12 ตารางบันทึกผลการเลี้ยงตะกอนจุลชีพในระบบเอเอสที่ควบคุม	
ให้มีค่าอายุสลัดจ์ 30 วันและเติมยางบดละเอียดเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน.....	112
ตาราง ข.1 ตารางแสดงค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ในวันที่ 20	
ของระบบเอเอสที่คุมอายุสลัดจ์ 3 วัน.....	117
ตาราง ข.2 ตารางแสดงค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ในวันที่ 30	
ของระบบเอเอสที่คุมอายุสลัดจ์ 3 วัน.....	120
ตาราง ข.3 ตารางแสดงค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ในวันที่ 40	
ของระบบเอเอสที่คุมอายุสลัดจ์ 3 วัน.....	122
ตาราง ข.4 ตารางแสดงค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ในวันที่ 20	
ของระบบเอเอสที่คุมอายุสลัดจ์ 10 วัน.....	125
ตาราง ข.5 ตารางแสดงค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ในวันที่ 30	
ของระบบเอเอสที่คุมอายุสลัดจ์ 10 วัน.....	127
ตาราง ข.6 ตารางแสดงค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ในวันที่ 40	
ของระบบเอเอสที่คุมอายุสลัดจ์ 10 วัน.....	130
ตาราง ข.7 ตารางแสดงค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ในวันที่ 20	
ของระบบเอเอสที่คุมอายุสลัดจ์ 30 วัน.....	132
ตาราง ข.8 ตารางแสดงค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ในวันที่ 30	
ของระบบเอเอสที่คุมอายุสลัดจ์ 30 วัน.....	135
ตาราง ข.9 ตารางแสดงค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ในวันที่ 40	
ของระบบเอเอสที่คุมอายุสลัดจ์ 30 วัน.....	137

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1	กราฟแสดงการเจริญเติบโตของแบคทีเรียเทียบกับเวลา.....	8
รูปที่ 2.2	ส่วนประกอบของระบบเอเอส.....	10
รูปที่ 2.3	ชนิดของระบบเอเอส.....	21
รูปที่ 2.4	โปรโตซัวที่พบในระบบเอเอส.....	26
รูปที่ 2.5	การวิเคราะห์ถังตกตะกอนแบบอุดมคติ.....	29
รูปที่ 2.6	การตกตะกอนแบบรวมกลุ่ม.....	30
รูปที่ 2.7	การตกตะกอนแบบแบ่งชั้น.....	31
รูปที่ 2.8	วิธีหากราฟของการตกตะกอนแบบแบ่งชั้น.....	32
รูปที่ 2.9	การเคลื่อนที่ของตะกอนสลัดจ์ในถังตกตะกอน.....	34
รูปที่ 2.10	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสลัดจ์ (C) และอัตราเร็วเริ่มต้น ในการตกตะกอนของชั้นสลัดจ์.....	35
รูปที่ 2.11	โซลิดฟลักซ์ G_g และ G_b ของถังตกตะกอน ที่ระดับความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย.....	35
รูปที่ 2.12	เส้นโค้ง Total flux และการหาค่า G_L แบบธรรมดา.....	36
รูปที่ 2.13	การหาค่า G_L โดยวิธีโยชิโอกา.....	37
รูปที่ 3.1	รายละเอียดถึงปฏิกิริยา.....	43
รูปที่ 3.2	ลักษณะถึงปฏิกิริยาที่ใช้ในการทดลอง.....	44
รูปที่ 3.3	แสดงการติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	45
รูปที่ 3.4	รายละเอียดการติดตั้งระบบที่ใช้ในการทดลอง.....	45
รูปที่ 4.1	ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ในระบบเอเอสคูมอายุสลัดจ์ 3 วัน.....	56
รูปที่ 4.2	ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ในระบบเอเอสคูมอายุสลัดจ์ 10 วัน.....	57
รูปที่ 4.3	ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ในระบบเอเอสคูมอายุสลัดจ์ 30 วัน.....	58
รูปที่ 4.4	ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเมื่อเติม วัสดุช่วยตกตะกอนในระบบเอเอสที่คูมอายุสลัดจ์ต่างๆ.....	60
รูปที่ 4.5	ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของระบบเมื่อเติม วัสดุช่วยตกตะกอนชนิดต่างๆ.....	61

รูปที่ 4.23 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอน ในระบบเอเอสที่คুমอายุสลัดจ์ 10 วัน ที่วันที่ 40 ของการทดลอง.....	82
รูปที่ 4.24 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอน ในระบบเอเอสที่คুমอายุสลัดจ์ 30 วัน ที่วันที่ 20 ของการทดลอง.....	84
รูปที่ 4.25 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอน ในระบบเอเอสที่คুমอายุสลัดจ์ 30 วัน ที่วันที่ 30 ของการทดลอง.....	84
รูปที่ 4.26 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอน ในระบบเอเอสที่คুমอายุสลัดจ์ 30 วัน ที่วันที่ 40 ของการทดลอง.....	85
รูปที่ 4.27 กระบวนการของระบบเอเอสในการคำนวณออกแบบถึงตกตะกอน	88
รูปที่ 4.28 กราฟแสดงโซลิดฟลักซ์ของระบบเอเอสที่คุมอายุสลัดจ์ 3 วัน และเติมทาลเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน.....	90
รูปที่ ข.1 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนในชุดควบคุมของระบบเอเอส ที่คุมอายุสลัดจ์ 3 วัน ในวันที่ 20 ของการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสลัดจ์ต่าง.....	115
รูปที่ ข.2 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนในระบบที่เติมทาลของระบบเอเอส ที่คุมอายุสลัดจ์ 3 วัน ในวันที่ 20 ของการทดลองที่ความเข้มข้นของสลัดจ์ต่างๆ.....	115
รูปที่ ข.3 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนในระบบที่เติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง ของระบบเอเอสที่คุมอายุสลัดจ์ 3 วัน ในวันที่ 20 ของการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสลัดจ์ต่างๆ.....	116
รูปที่ ข.4 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนในระบบที่เติมยางบดละเอียด ของระบบเอเอสที่คุมอายุสลัดจ์ 3 วัน ในวันที่ 20 ของการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสลัดจ์ต่างๆ.....	116
รูปที่ ข.5 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนในชุดควบคุมของระบบเอเอส ที่คุมอายุสลัดจ์ 3 วัน ในวันที่ 30 ของการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสลัดจ์ต่าง.....	118
รูปที่ ข.6 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนในระบบที่เติมทาลของระบบเอเอส ที่คุมอายุสลัดจ์ 3 วัน ในวันที่ 30 ของการทดลองที่ความเข้มข้นของสลัดจ์ต่างๆ.....	118
รูปที่ ข.7 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนในระบบที่เติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง ของระบบเอเอสที่คุมอายุสลัดจ์ 3 วัน ในวันที่ 30 ของการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสลัดจ์ต่างๆ.....	119

รูปที่ ข.30 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนในระบบที่เติมทาลของระบบเอเอสที่คุม อายุสไลด์จ์ 30 วัน ในวันที่ 30 ของการทดลองที่ความเข้มข้นของสไลด์จ์ต่างๆ.....	133
รูปที่ ข.31 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนในระบบที่เติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง ของระบบเอเอสที่คุมอายุสไลด์จ์ 30 วัน ในวันที่ 30 ของการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสไลด์จ์ต่างๆ.....	134
รูปที่ ข.32 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนในระบบที่เติมยางบดละเอียด ของระบบเอเอสที่คุมอายุสไลด์จ์ 30 วัน ในวันที่ 30 ของการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสไลด์จ์ต่างๆ.....	134
รูปที่ ข.33 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนในชุดควบคุมของระบบเอเอสที่คุมอายุสไลด์จ์ 30 วัน ในวันที่ 40 ของการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสไลด์จ์ต่างๆ.....	135
รูปที่ ข.34 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนในระบบที่เติมทาลของระบบเอเอสที่คุม อายุสไลด์จ์ 30 วัน ในวันที่ 40 ของการทดลองที่ความเข้มข้นของสไลด์จ์ต่างๆ.....	136
รูปที่ ข.35 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนในระบบที่เติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง ของระบบเอเอสที่คุมอายุสไลด์จ์ 30 วัน ในวันที่ 40 ของการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสไลด์จ์ต่างๆ.....	136
รูปที่ ข.36 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนในระบบที่เติมยางบดละเอียด ของระบบเอเอสที่คุมอายุสไลด์จ์ 30 วัน ในวันที่ 40 ของการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสไลด์จ์ต่างๆ.....	137
รูปที่ ค.1 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนที่ความเข้มข้นต่างๆ ในชุดควบคุมของระบบเอเอสที่มีค่าอายุสไลด์จ์ 3 วัน.....	139
รูปที่ ค.2 โซลิตฟลักซ์ของชุดควบคุมของระบบเอเอสที่มีค่าอายุสไลด์จ์ 3 วัน.....	140
รูปที่ ค.3 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนที่ความเข้มข้นต่างๆ ของระบบเอเอส ที่มีอายุสไลด์จ์ 3 วัน และเติมทาลเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน.....	141
รูปที่ ค.4 โซลิตฟลักซ์ของระบบเอเอสที่มีอายุสไลด์จ์ 3 วัน และเติมทาลเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน.....	141
รูปที่ ค.5 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนที่ความเข้มข้นต่างๆ ของระบบเอเอส ที่มีอายุสไลด์จ์ 3 วัน และเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน.....	142
รูปที่ ค.6 โซลิตฟลักซ์ของระบบเอเอสที่มีอายุสไลด์จ์ 3 วันและเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง เป็นวัสดุช่วยตกตะกอน.....	142

รูปที่ ค.7 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนที่ความเข้มข้นต่างๆ ของระบบเอเอส ที่มีอายุสัปดาห์ 3 วัน และเติมยางบดละเอียดเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน.....	143
รูปที่ ค.8 โซลิตฟลักซ์ของระบบเอเอสที่มีอายุสัปดาห์ 3 วัน และเติมยางบดละเอียดเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน.....	143
รูปที่ ค.9 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนที่ความเข้มข้นต่างๆ ในชุดควบคุมของระบบเอเอสที่มีค่าอายุสัปดาห์ 10 วัน.....	144
รูปที่ ค.10 โซลิตฟลักซ์ของชุดควบคุมของระบบเอเอสที่มีค่าอายุสัปดาห์ 10 วัน.....	144
รูปที่ ค.11 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนที่ความเข้มข้นต่างๆ ของระบบเอเอสที่มีอายุสัปดาห์ 10 วัน และเติมทาลเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน.....	145
รูปที่ ค.12 โซลิตฟลักซ์ของระบบเอเอสที่มีอายุสัปดาห์ 10 วัน และเติมทาลเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน.....	145
รูปที่ ค.13 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนที่ความเข้มข้นต่างๆของระบบเอเอส ที่มีอายุสัปดาห์ 10 วัน และเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน.....	146
รูปที่ ค.14 โซลิตฟลักซ์ของระบบเอเอสที่มีอายุสัปดาห์ 10 วัน และเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน.....	146
รูปที่ ค.15 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนที่ความเข้มข้นต่างๆ ของระบบเอเอส ที่มีอายุสัปดาห์ 10 วัน และเติมยางบดละเอียดเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน.....	147
รูปที่ ค.16 โซลิตฟลักซ์ของระบบเอเอสที่มีอายุสัปดาห์ 10 วัน และเติมยางบดละเอียดเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน.....	147
รูปที่ ค.17 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนที่ความเข้มข้นต่างๆ ในชุดควบคุมของระบบเอเอสที่มีค่าอายุสัปดาห์ 30 วัน.....	148
รูปที่ ค.18 โซลิตฟลักซ์ของชุดควบคุมของระบบเอเอสที่มีค่าอายุสัปดาห์ 30 วัน.....	148
รูปที่ ค.19 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนที่ความเข้มข้นต่างๆ ของระบบเอเอส ที่มีอายุสัปดาห์ 30 วัน และเติมทาลเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน.....	149
รูปที่ ค.20 โซลิตฟลักซ์ของระบบเอเอสที่มีอายุสัปดาห์ 30 วัน และเติมทาลเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน.....	149

รูปที่ ค.21 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนที่ความเข้มข้นต่างๆ ของระบบเอเอส ที่มีอายุสลัดจ์ 30 วัน และเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน.....	150
รูปที่ ค.22 โซลิตฟลักซ์ของระบบเอเอสที่มีอายุสลัดจ์ 30 วัน และเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน.....	150
รูปที่ ค.23 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนที่ความเข้มข้นต่างๆ ของระบบเอเอส ที่มีอายุสลัดจ์ 30 วัน และเติมยางบดละเอียดเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน.....	151
รูปที่ ค.24 โซลิตฟลักซ์ของระบบเอเอสที่มีอายุสลัดจ์ 30 วัน และเติมยางบดละเอียดเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน.....	151
รูปที่ ง.1 กราฟค่าความเร็วของการตกตะกอนของสลัดจ์เข้มข้น 5000 มก./ล. ในระบบเอเอส ที่ควบคุมให้มีอายุสลัดจ์ 3 วัน และเติมทาลเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน.....	153
รูปที่ ง.2 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนที่ความเข้มข้นต่างๆ ในระบบเอเอสที่ควบคุม ให้มีอายุสลัดจ์ 3 วัน และเติมทาลเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน.....	154
รูปที่ ง.3 กราฟ G_0 ของระบบเอเอสที่มีอายุสลัดจ์ 3 วัน และเติมทาลเป็นวัสดุช่วย ตกตะกอน.....	155
รูปที่ ง.4 โซลิตฟลักซ์ของระบบเอเอสที่มีอายุสลัดจ์ 3 วัน และเติมทาลเป็นวัสดุช่วย ตกตะกอน.....	156

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

θ_c	อายุสลัดจ์ (วัน)
MLSS	ความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยในถังปฏิกริยา (มิลลิกรัมต่อลิตร)
MLSS _{out}	ความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยที่ออกจากระบบ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
HRT	เวลาเก็บกักน้ำ (ชั่วโมง)
V	ปริมาตรของของเหลวในถังเติมอากาศ (ลูกบาศก์เมตร)
Q	อัตราการไหลของน้ำเสียสู่ถังเติมอากาศ เวลาเก็บกักน้ำ (ชั่วโมง)
F	น้ำหนักรวมของสารอินทรีย์ที่เข้าระบบต่อวัน (กิโลกรัมต่อวัน)
M	น้ำหนักรวมของจุลชีพในถังเติมอากาศ (กิโลกรัม)
SVI	ดัชนีปริมาตรตะกอน มีหน่วยเป็น มิลลิเมตรต่อกรัม
BOD	ปริมาณของออกซิเจนละลายที่ถูกใช้ในเวลา 5 วัน โดยกระบวนการทางชีวภาพในการทำลายสารอินทรีย์ ซึ่งก็คือ ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย (มิลลิกรัมต่อลิตร)
MLVSS	ความเข้มข้นของแข็งแขวนลอยระเหยได้ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
X	ความเข้มข้นของจุลชีพ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
Y	ยิลด์ (Yield) คือ ปริมาณของจุลชีพที่เกิดขึ้นต่อปริมาณของสารอาหารที่ใช้ไป
S ₀	ความเข้มข้นของสารอาหารเข้าสู่ระบบ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
S	ความเข้มข้นของอาหารในระบบ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
k _d	ค่าสัมประสิทธิ์ในการลดลงของจุลชีพ (ต่อชั่วโมง)
E	ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย (เปอร์เซ็นต์)
OLR	อัตราภาระอินทรีย์ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร-วัน)
V	ความเร็วของการตกตะกอนในถังตกตะกอนตามแนวราบ (เมตรต่อชั่วโมง)
V ₀	ความเร็วของการตกตะกอนในถังตกตะกอนตามแนวตั้ง (เมตรต่อชั่วโมง)
A _s	พื้นที่ผิวของถังตกตะกอน (ตารางเมตร)
h ₀	ความสูงของถังตกตะกอน (เมตร)
W	ความกว้างของถังตกตะกอน (เมตร)
t	เวลาที่ใช้ในการตกตะกอน (นาที)
ISV	ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน (เมตรต่อชั่วโมง)
H _t	ความสูงของสลัดจ์ที่เวลา t

H_{∞}	ความสูงของสลัดจ์หลังเกิด การตกตะกอนในช่วงระยะเวลาหนึ่งโดยกำหนดให้ เป็น 24 ชั่วโมง
H_2	ความสูงของสลัดจ์ที่เวลา t_2
i	ค่าคงที่ของการแขวนลอย
C_i	ความเข้มข้นของสลัดจ์ที่เคลื่อนที่ผ่านถึงตกตะกอน (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
v_i	ความเร็วในการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ C_i
v_b	ความเร็วของสลัดจ์ที่เคลื่อนที่ลงเนื่องจากการระบายสลัดจ์ออกจากก้นถึง ตกตะกอน (เมตรต่อชั่วโมง)
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)
α	อัตราการหมุนเวียนสลัดจ์
A	พื้นที่หน้าตัดของถังตกตะกอน (ตารางเมตร)

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ชื่อวิทยานิพนธ์

ภาษาไทย : ผลของอายุสลัดจ์ที่มีต่อประสิทธิภาพการตกตะกอนในระบบเอเอสที่ใช้วัสดุช่วยตกตะกอน

ภาษาอังกฤษ : Effect of Sludge Age on Settling Efficiency in Activated Sludge Process using Ballasting Agents.

1.2 คำสำคัญ (Key Word)

ระบบเอเอส (Activated Sludge)
การตกตะกอน (Sedimentation)
วัสดุช่วยตกตะกอน (Ballasting agent)
อายุสลัดจ์ (Sludge Age)
ยางบดละเอียด (Crumb rubber)

1.3 บทนำ

การบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาด้วยระบบเอเอส (Activated Sludge Process) เป็นระบบการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพที่ได้รับความนิยม ใช้อย่างมาก ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบเอเอสจะขึ้นกับความสามารถในการตกตะกอนของสลัดจ์ในระบบ โดยระบบที่มีการควบคุมอายุสลัดจ์ที่เหมาะสมจะสามารถตกตะกอนได้ดี ระบบเอเอสที่ดีควรจะสามารถตกตะกอนได้เร็ว และไม่ทิ้งตะกอนแขวนลอยไว้มากในส่วนที่เป็นน้ำใส หากในระบบเอเอสนั้นประสบปัญหาที่เกิดจากในส่วนของ การตกตะกอนแล้ว อาจทำให้เกิดตะกอนแขวนลอยหลุดออกไปกับน้ำทิ้ง ทำให้น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจาก ระบบ เอเอสนั้น ไม่ได้คุณภาพตามมาตรฐานน้ำทิ้งที่ต้องการ และเนื่องจากน้ำหนักของมวลจุลชีพและอายุสลัดจ์ที่อยู่ในระบบเอเอสนั้น ถือได้ว่าเป็นสิ่งสำคัญต่อผลของการตกตะกอนของระบบ ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงได้เกิดแนวคิดในการที่จะเพิ่มประสิทธิภาพให้กับการตกตะกอนในระบบเอเอส ด้วยการเติมวัสดุที่ช่วยในการตกตะกอนต่างชนิดลงในระบบ

เอเอสที่ควบคุมอายุสลัดจ์แตกต่างกัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการตกตะกอนใน ระบบเอเอสให้ดีขึ้น ช่วยเพิ่มความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ในระบบและช่วยลดปัญหาในเรื่องของการตกตะกอนโดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบเอเอสที่มีค่าอายุสลัดจ์ของระบบน้อย นอกจากนี้ การเติมวัสดุช่วยตกตะกอนยังเพื่อเป็นการเพิ่ม ปริมาณสลัดจ์ในระบบ เกิดการเกาะตัวกับวัสดุช่วยตกตะกอน ทำให้น้ำหนักมวลของจุลชีพสูงขึ้น ซึ่งนำไปสู่การเพิ่มความเร็วในการตกตะกอน และส่งผลให้ระบบสามารถบำบัดน้ำเสียได้ดีขึ้น

จากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าได้มีการใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติไม่ทำปฏิกิริยาใดๆกับน้ำเสีย และยังสามารถเข้ากันได้กับจุลชีพในระบบ วัสดุนี้รู้จักกันดีในชื่อของ วัสดุบัลลัส (Ballasting Agent) วัสดุดังกล่าวมักนำมาใช้เป็นวัสดุช่วยตกตะกอน เพื่อนำมาปรับปรุงลักษณะการตกตะกอนในระบบเอเอสให้ดีขึ้น วัสดุช่วยตกตะกอนที่ใช้ในงานวิจัยที่ผ่านมาคือ ผงทาล (Talc) เนื่องจากพบว่าทาลเป็นแร่ที่มีความกระด้างต่ำ ไม่ละลายน้ำ ไม่ทำปฏิกิริยาใดๆกับน้ำเสีย และเข้ากันได้กับจุลชีพ อีกทั้งยังสามารถช่วยในการก่ตัวของฟล็อกให้มีขนาดใหญ่ขึ้นได้ (Bidault A., 1997)

สำหรับวัสดุช่วยตกตะกอนชนิดที่ 2 นั้น เนื่องจากถ่านกัมมันต์มีคุณสมบัติที่เป็นตัวดูดซับที่ดี จึงได้มีงานวิจัยหลายงานนำเอาถ่านกัมมันต์ชนิดผงหรือ Powder Activated Carbon (PAC) มาใช้ในระบบเอเอส โดยนำ PAC มาใช้เป็นตัวดูดซับโครเมียม (VI) ในระบบบำบัดน้ำเสียเอเอส โดยใส่ในถังเติมอากาศ พบว่าสามารถกำจัดปริมาณซีโอไซด์และโครเมียม (VI) ในน้ำเสียได้มากกว่า 96% และ 41% ตามลำดับ และยังพบว่า การเติม PAC จะช่วยเพิ่มอัตราการเติบโตของจุลชีพด้วย นอกจากนี้ถ่านกัมมันต์ดังกล่าวยังอาจจัดเป็นวัสดุช่วยตกตะกอนทำให้การก่ตัวของฟล็อกดีขึ้นอีกด้วย (Lee Sang Eun., 1989)

สำหรับวัสดุช่วยตกตะกอนชนิดที่ 3 นั้น มีงานวิจัยที่ผ่านมา หลายงาน มีการนำเอายางรถยนต์เก่าบดละเอียดมาใช้ในงานบำบัดน้ำเสีย ทั้งที่เป็น ระบบแบบ แอโรบิกและแอนแอโรบิก (Park J., 2006) พบว่า ยางรถยนต์เก่าที่นำมาใช้ สามารถเข้ากันได้กับ จุลชีพในระบบ มีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอไซด์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังสามารถเป็นเป้าสัมผัสให้จุลชีพมาเกาะได้อีกด้วย ทั้งนี้ยังถือเป็นการนำเอาวัสดุเหลือใช้กลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้อีกด้วย

แม้ว่าจะยังไม่มียานวิจัยใดของถ่านกัมมันต์ชนิดผงและยางบดละเอียด ที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอนของระบบเอเอสก็ตาม แต่ด้วยคุณสมบัติที่ เข้ากันได้และไม่ทำปฏิกิริยาใดๆต่อจุลชีพ สามารถเป็นเป้าสัมผัสและมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอไซด์ในน้ำเสีย ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น วัสดุทั้งสองชนิดนี้จึงเป็นที่น่าสนใจในการที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุช่วยตกตะกอน

เนื่องจากประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดีในน้ำเสียและประสิทธิภาพในการตกตะกอนของระบบเอเอส นั้น ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยในแง่ของอายุสลัดจ์อีกด้วย คือ หากสลัดจ์ในระบบมีอายุน้อยเกินไป สารที่ย่อยยากๆ จะถูกย่อยได้ไม่ถึงขั้นสุดท้าย ทำให้มีค่าซีโอดีเหลืออยู่มากในน้ำที่บำบัด นอกจากนี้สลัดจ์ที่อายุน้อยจะไม่จับตัวเป็นฟล็อกและตกตะกอนไม่ดี ส่วนสลัดจ์ที่มีอายุมากจะสามารถกำจัดซีโอดีในน้ำเสียได้ดีกว่า แต่หากสลัดจ์มีอายุสูงเกินไปอาจทำให้น้ำที่ออกมาขุ่น มีตะกอนแขวนลอยอยู่มาก จึงต้องควบคุมอายุสลัดจ์ในระบบเอเอสให้เหมาะสม เพื่อให้ระบบเอเอสนั้นทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ จึงมุ่งเน้นในการ ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอน และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวัสดุช่วยตกตะกอน 3 ชนิด คือ ทาล ถ่านกัมมันต์ชนิดผงและยางบดละเอียด ที่ใช้กับระบบเอเอสที่ควบคุมให้มีอายุสลัดจ์ต่างกัน 3 ค่า คือ 3, 10 และ 30 วัน การประเมินประสิทธิภาพของการตกตะกอนจะใช้ความเร็ว เริ่มต้นของการตกตะกอน (Initial settling velocity, ISV) ส่วนการประเมินประสิทธิภาพในการบำบัดจะใช้ การลดลงของ ค่าซีโอดี ผลที่คาดหวัง คือ ค่า ISV และประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี น่าจะสูงขึ้นที่อายุสลัดจ์ที่มีค่าสูงๆ เมื่อเทียบกับระบบที่ไม่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอน นอกจากนี้จะทำการศึกษาความเข้ากันได้ระหว่างฟล็อกกับวัสดุช่วยตกตะกอน และศึกษา ลักษณะการจับตัวกันระหว่างฟล็อกกับวัสดุช่วยตกตะกอนทั้ง 3 ชนิด โดยจะทำการวิเคราะห์ลักษณะการจับตัวที่พื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

1.4 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.4.1 เพื่อศึกษา การเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอนของระบบเอเอส ที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอน โดยการวัดค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนและ เปรียบเทียบประสิทธิภาพ วัสดุช่วยตกตะกอนที่มีชนิดแตกต่างกัน 3 ชนิด คือ ทาล ถ่านกัมมันต์ชนิดผง และยางบดละเอียด ที่อายุสลัดจ์ของระบบเอเอสที่แตกต่างกัน

1.4.2 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพ ของระบบเอเอสที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอน ทั้ง 3 ชนิด ในแง่ของการกำจัดซีโอดี โดยควบคุมระบบที่อายุสลัดจ์แตกต่างกัน

1.4.3 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบลักษณะการจับตัวระหว่างฟล็อกชีวภาพที่อายุสลัดจ์ต่างๆ กับวัสดุช่วยตกตะกอนทั้ง 3 ชนิด

1.4.4 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ยางบดละเอียดเป็นวัสดุช่วยตกตะกอนในระบบเอเอส

1.5 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองโดยการใช้ถังปฏิกรณ์ เป็นแบบไหลต่อเนื่อง (Continuous flow reactor) ดำเนินการที่อุณหภูมิต่ำในห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การศึกษาวิจัยกำหนดขอบเขตการวิจัยไว้ดังนี้

1.5.1 น้ำเสียที่ใช้ในงานวิจัยเป็นน้ำเสียสังเคราะห์ (synthetic waste) โดยใช้น้ำตาลทราย เป็นแหล่งสารอินทรีย์คาร์บอน (Organic carbon) และธาตุอาหารต่างๆที่ต้องการจากสารเคมี

1.5.2 หัวเชื้อ (Seed) ที่ใช้ในการเดินระบบ นำมาจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนดินแดง ซึ่งเป็นโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้ระบบเอเอส โดยตำแหน่งที่เก็บหัวเชื้อจะเก็บจาก ก๊อกเก็บ ตัวอย่างที่ทอหมุนเวียนสลับตัวของโรงบำบัด และหัวเชื้อที่เก็บจะต้องไม่มีปัญหาในเรื่องของการตกตะกอน

1.5.3 วัสดุช่วยตกตะกอนที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้มี 3 ชนิดประกอบด้วย

- Talc ชนิด Purified Talc B.P. ของบริษัทวิทยาศาสตร์จำกัด
- Activated Carbon ชนิดผง ขนาด 325 mesh หรือประมาณ 44 μm ของบริษัท Carbokarn จำกัด
- ยางรถยนต์เก่าบดละเอียด ของบริษัท เทอร์รา เอ็นเทอร์ไพรส์

1.5.4 การศึกษาลักษณะการเกาะจับตัวระหว่างฟล็อกชีวภาพกับวัสดุช่วยในการตกตะกอนชนิดต่างๆ ที่อายุสลับแตกต่างกัน ทำโดยใช้การถ่ายภาพนิ่งผ่านกล้องจุลทรรศน์ และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ทราบถึงประสิทธิภาพในการตกตะกอนของสลับในระบบเอเอส เมื่อทำการเติมวัสดุช่วยในการตกตะกอนต่างชนิดลงในระบบเอเอสที่ควบคุมอายุสลับแตกต่างกัน

1.6.2 ทราบถึงประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย ของระบบเอเอสที่ใส่ วัสดุช่วยตกตะกอนแต่ละชนิด และควบคุมให้ระบบมีค่าอายุสลับแตกต่างกัน

1.6.3 ทราบถึงลักษณะการจับตัวระหว่างฟล็อกชีวภาพ ที่อายุสลับต่างๆ กับวัสดุช่วยในการตกตะกอนแต่ละชนิด

1.6.4 ทราบถึงความเป็นไปได้ในการใช้ยางบดละเอียด (Crumb rubber) เป็นวัสดุช่วยตกตะกอนในระบบเอเอส

1.6.5 ผลที่ได้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการออกแบบระบบเอเอส ที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนได้



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

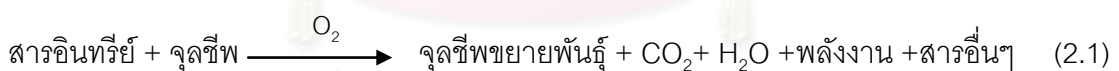
2.1 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส

2.1.1 บทนำ

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส (Activated Sludge Process) เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพประเภทเติมอากาศ โดยอาศัยสิ่งมีชีวิตจำพวกจุลินทรีย์ต่าง ๆ ที่มีการเจริญเติบโตในระบบแบบแขวนลอย (Suspended Growth) ในการกิน ทำลาย ย่อยสลาย ดูดซับหรือเปลี่ยนรูปของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ให้มีค่าความสกปรกลดน้อยลง โดยทั่วไปแล้วระบบนี้จะประกอบไปด้วย ถังปฏิกรณ์หรือถังเติมอากาศ ถังตกตะกอน และระบบหมุนเวียนตะกอน

2.1.2 กลไกในการทำงาน

ในกระบวนการเอเอส น้ำเสียจะประกอบไปด้วยจุลินทรีย์หลากหลายชนิด จุลชีพจำพวกแบคทีเรียจัดเป็นหลักสำคัญในปฏิกิริยาของการบำบัดน้ำเสียกระบวนการนี้ โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเขียนได้เป็น



สมการดังกล่าวสรุปได้ว่า จุลชีพจะนำสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียมาใช้เป็นอาหารเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ ในปฏิกิริยาจะเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พลังงาน และน้ำ โดยส่วนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะลอยขึ้นไปในอากาศ พลังงานจะถูกจุลินทรีย์นำไปใช้ในการดำเนินชีวิต ส่วนน้ำจะผสมออกไปกับน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วถูกปล่อยออกไปจากระบบได้ ในแง่ของมวลที่ได้จากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นก็คือสารอินทรีย์จะถูกเปลี่ยนให้กลายเป็นมวลจุลินทรีย์ที่มีปริมาณเพิ่มขึ้น ซึ่งจุลินทรีย์นั้นโดยปกติจะรวมตัวกันเป็นก้อนเรียกว่าฟล็อกและมีน้ำหนักมากกว่าน้ำ ดังนั้นจึงสามารถแยกจุลินทรีย์ออกจากน้ำได้ง่ายด้วยการตกตะกอนในถังตกตะกอนต่อไป

2.1.3 การเกิดแก็คตีเวดเต็ดจ์สลัดจ์

กลไกของแก็คตีเวดเต็ดจ์สลัดจ์ (Activated Sludge) เกิดต่อเนื่องกัน 3 ขั้นตอนในถังปฏิกริยา คือ

- (1) ขั้นส่งถ่าย (Transfer Step)
- (2) ขั้นเปลี่ยนรูป (Conversion Step)
- (3) ขั้นรวมตะกอน (Flocculation Step)

ในขั้นที่สาม ขั้นรวมตะกอน จุลชีพจะถูกกวนผสมรวมกันในถังปฏิกริยาโดยจับตัวกันจนมีขนาดใหญ่ขึ้นเรียกว่า ฟล็อก (Floc) หรือ Activated Sludge ซึ่งจะมีน้ำหนักมากกว่าเซลล์เดี่ยว สามารถตกตะกอนแยกออกจากน้ำเสียได้ง่าย และเมื่อฟล็อกไปสัมผัสกับสารแขวนลอย (Suspended Material) หรือสารคอลลอยด์ ก็จะจับมลสารเหล่านี้เอาไว้และทำการย่อยสลายเป็นอาหารต่อไป

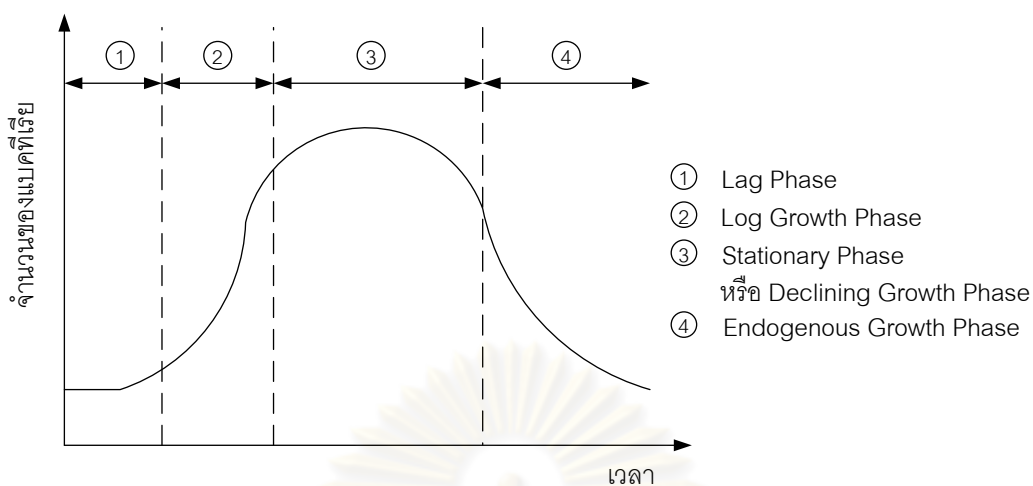
โดยในงานวิจัยนี้ คาดหวังว่าในขั้นรวมตะกอนนั้น วัสดุช่วยตกตะกอนที่ใส่เข้าไปในระบบ จะสามารถเป็นเป้าสัมผัสทำให้ฟล็อกจุลชีพมาเกาะและรวมตัวกับวัสดุช่วยตกตะกอนนั้น มีผลให้ฟล็อกมีน้ำหนักมากขึ้นและมีความสามารถในการย่อยสลายมลสารในน้ำเสียได้ดีขึ้นอีกด้วย

2.1.4 จุลินทรีย์ในระบบ

2.1.4.1 การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

การเจริญเติบโต (Growth) ในทางจุลชีววิทยา หมายถึง การเพิ่มจำนวนของแบคทีเรียซึ่งมีความหมายตรงกับการสืบพันธุ์ของแบคทีเรียมากกว่าที่จะหมายถึงการเพิ่มขนาดหรือมวลของแต่ละเซลล์ ทั้งนี้เพราะเป็นการยากที่จะวิเคราะห์ห่มวลแต่ละเซลล์ที่เพิ่มขึ้นเนื่องมาจากขนาดที่เล็กมากของแบคทีเรีนั่นเอง

จากการนำแบคทีเรียมา เลี้ยงในอาหารเหลวในที่จำกัด (Batch Culture) และนับจำนวนแบคทีเรียที่มีอยู่เป็นระยะตามเวลาที่ผ่านไป แล้วนำจำนวนของแบคทีเรียมาเขียนกราฟในกราฟ log จะได้เส้นโค้งที่เรียกว่า Population Growth Curve ซึ่งเส้นโค้งดังกล่าวจะใช้สำหรับแบ่งช่วงการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ซึ่งแบ่งได้ออกเป็น 4 ระยะ (Phase) ดังแสดงในรูป 2.1



รูปที่ 2.1 กราฟแสดงการเจริญเติบโตของแบคทีเรียเทียบกับเวลา (Qasim, 1999)

ช่วงที่ 1 Lag Growth Phase

เป็นช่วงที่มีอัตราการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ต่ำ เนื่องจากจุลินทรีย์ต้องใช้เวลาปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อม และเริ่มสร้างเอนไซม์ที่จำเป็นในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ช่วงเวลา lag phase จะสั้นยาวแตกต่างกันไปตามชนิดของแบคทีเรีย อาหารเพาะเลี้ยง และสภาพแวดล้อม ตลอดจนระยะเวลาการเจริญของแบคทีเรียที่นำมาเพาะเลี้ยง เช่น ถ้านำเอาแบคทีเรียที่เพาะเลี้ยงในอาหารชนิดหนึ่งไปเพาะเลี้ยงใหม่ในอาหารชนิดเดิม ช่วงระยะ lag phase จะสั้นลง เนื่องจากแบคทีเรียไม่จำเป็นต้องสร้างเอนไซม์อีกครั้ง เช่นเดียวกับในกระบวนการบำบัดน้ำเสียเอเอส ที่นำเอาแบคทีเรียที่ผ่านพ้นระยะ lag phase ไปแล้วกลับในถังปฏิกรณ์ใหม่ ทำให้แบคทีเรียสามารถย่อยสลายสารประกอบต่างๆ ในน้ำทิ้งได้ทันที แบคทีเรียในช่วงนี้จะมีอัตราการเกิด และการตายต่ำ

ช่วงที่ 2 Log Growth Phase

เป็นช่วงที่มีการเจริญเติบโตสูงสุด จุลินทรีย์เพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วในอัตราที่สม่ำเสมอ เนื่องจากมีอาหารเหลือเฟือ จุลินทรีย์จะเจริญเติบโตแบบเซลล์เดียวไม่รวมเป็นฟล็อก ถ้าระบบเอเอสทำงานอยู่ในช่วงนี้จะเป็นผลให้น้ำทิ้งที่ออกมาขุ่น เนื่องจากมีตะกอนจุลินทรีย์หลุดออกมา

ช่วงที่ 3 Stationary Phase หรือ Declining Growth Phase

ระยะนี้อัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จะช้าลง เนื่องจากสารอาหารถูกใช้จนเกือบหมด และสารพิษที่ขับออกมาจากจุลินทรีย์มีมากขึ้น ซึ่งช่วงนี้จะมีจำนวนประชากรค่อนข้างสมดุลกันคือ

การเกิดไคล์เคียงกับการตาย จุลินทรีย์จะรวมกันเป็นฟล็อกได้ดี ตกตะกอนง่าย ทำให้น้ำทิ้งที่ออกมามีคุณภาพดี ช่วงนี้จึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้บำบัดน้ำเสีย

ช่วงที่ 4 Endogenous Growth Phase

จุลินทรีย์จะขาดอาหารและตาย ช่วงนี้จะมีอาหารเหลืออยู่น้อย เมื่อจุลินทรีย์ใช้อาหารที่สะสมไว้ในเซลล์จนหมดก็จะตาย กลายเป็นอาหารของจุลินทรีย์ตัวอื่นที่ยังมีชีวิตอยู่ หากไม่มีอาหารเพิ่มขึ้นจำนวนจุลินทรีย์ก็จะลดลงจนหมด จุลินทรีย์ในช่วงนี้มีสารเฉื่อย (Inert Material) สูง และตกตะกอนเร็ว จนบางครั้งไม่สามารถจับอนุภาคขนาดเล็กให้จมลงมากับตะกอนส่วนใหญ่ได้ จึงทำให้น้ำออกขุ่นและมีตะกอนแขวนลอยปนอยู่มาก

2.1.4.2 การแบ่งประเภทของจุลินทรีย์

ประเภทของจุลินทรีย์ในการควบคุมการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียสามารถแบ่งได้ 4 แบบ คือ

1. แบ่งตามชนิด

จุลินทรีย์ที่สำคัญในระบบเอเอสมีอยู่ 2 ชนิด คือ ฟิชและสัตว์

- ฟิช ได้แก่ แบคทีเรีย สาหร่ายเซลล์เดียว และรา ซึ่งแบคทีเรียเป็นจุลินทรีย์ที่มีความสำคัญมากที่สุด โดยจะเป็นตัวกำจัดสารอินทรีย์ออกจากน้ำ
- สัตว์ ได้แก่ โปรโตซัว ครัสตาเซียนและโรติเฟอร์ ซึ่งจะกินจุลินทรีย์ที่ลอยอยู่ในน้ำ ทำให้น้ำออกใสและสามารถเป็นตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบโดยรวมได้อีกด้วย

2. แบ่งตามการใช้ออกซิเจน

- แอโรบิกแบคทีเรีย (Aerobic bacteria) เจริญเติบโตได้ดีในที่มีออกซิเจน ในการบำบัดน้ำเสียที่ใช้แบคทีเรียประเภทนี้ต้องทำให้มีออกซิเจนในระบบ อาจเติมออกซิเจนโดยการกวน การเป่าอากาศ เป็นต้น

- แอนแอโรบิกแบคทีเรีย (Anaerobic bacteria) เจริญเติบโตได้ดีในที่ไม่มีออกซิเจน

- แฟคัลเททีฟแบคทีเรีย (Facultative bacteria) สามารถเจริญได้ทั้งในที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน

3. แบ่งตามอายุ

หมายถึง ระยะเวลาที่จุลินทรีย์ทำงานอยู่ในระบบ จุลินทรีย์ที่มีอายุน้อยจะมีอัตรา

การเติบโตสูง ไม่จับตัวเป็นฟล็อก ตกตะกอนไม่ดีและทำให้น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดยังคงมีค่าซีโอดีสูง ส่วนจุลินทรีย์ในระบบที่มีอายุสูงก็จะมีตะกอนที่หนัก สามารถกำจัดซีโอดีในน้ำได้มากและสามารถตกตะกอนได้เร็ว หากมีอายุสูงเกินไปจะตกตะกอนเร็วแต่ไม่สามารถจับตะกอนเล็กๆได้หมด ทำให้น้ำทิ้งที่ออกมาขุ่นมีตะกอนแขวนลอยอยู่มาก ทั้งนี้ การตกตะกอนสลัดจ์ที่อายุสลัดจ์แตกต่างกัน จะได้กล่าวถึงรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

4. แบ่งตามการทำงานในระบบเอเอส สามารถจำแนกได้เป็น 4 ประเภท คือ

- จุลินทรีย์สร้างฟล็อก (Floc Forming Microorganisms) เป็นจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญมากในระบบเอเอส เพราะเป็นจุลินทรีย์ที่จับตัวรวมกันเป็นฟล็อกได้ดี ทำให้สามารถแยกตะกอนจุลินทรีย์ออกจากน้ำได้ดีด้วยวิธีตกตะกอน แบคทีเรียที่สร้างฟล็อก ได้แก่ Zooglea Ramiera นอกจากนี้จุลินทรีย์ เช่น โปรโตซัว และฟังไจ ก็ทำให้เกิดฟล็อกได้เช่นกัน การสร้างฟล็อกของแอคทีเวเต็ดสลัดจ์ (Activated Sludge) เรียกว่า Bioflocculation

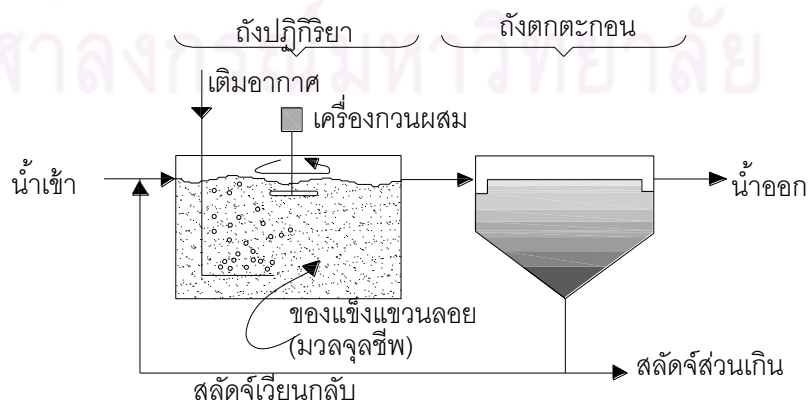
- แซฟโปรไฟท์ (Saprophytes) เป็นจุลินทรีย์พวกหลักที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียซึ่งอาจมีทั้งพวกสร้างและไม่สร้างฟล็อกก็ได้

- จุลินทรีย์ทำลาย (Predator) เป็นจุลินทรีย์ที่ทำลายจุลินทรีย์ด้วยกัน มักมีขนาดใหญ่กว่าพวกอื่น เช่น โปรโตซัวซึ่งจับแบคทีเรียกินเป็นอาหาร

- จุลินทรีย์ก่อความรำคาญ (Nuisance Microorganisms) ได้แก่ แบคทีเรียที่เป็นเส้นใยและราบางพวกซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาการจมไม่ลงของสลัดจ์ หรือที่เรียกว่า Bulking ได้

2.1.5 ส่วนประกอบของระบบ

ระบบการบำบัดน้ำเสียเอเอสมีส่วนประกอบสำคัญ 3 ส่วน คือ ถังปฏิกิริยา ถังตกตะกอน และส่วนหมุนเวียนตะกอน ส่วนประกอบต่างๆ ดังแสดงอยู่ในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของระบบเอเอส (มันสิน ตันฑุลเวศม์, 2525)

ส่วนที่หนึ่ง ดังปฏิกิริยา หรือโดยทั่วไปเรียกว่าถังเติมอากาศ มีด้วยกันหลายลักษณะ ตามแต่ละชนิดของระบบเอเอส หน้าที่สำคัญของถังปฏิกิริยาคือการเติมอากาศให้กับระบบเพื่อให้ออกซิเจนในน้ำเสียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย และทำหน้าที่กวนผสมให้ออกซิเจนในน้ำเสียได้มีโอกาสสัมผัสสารอินทรีย์เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาได้ทั่วถึง เพื่อทำการลดค่าสารอินทรีย์ด้วยการย่อยสลายให้อยู่ในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ และทำให้เกิดฟล็อกของจุลินทรีย์ขึ้นมาซึ่งมีน้ำหนักและตกตะกอนได้ง่าย

ส่วนที่สอง ดังตกตะกอน มีหน้าที่คือทำการแยกของแข็ง ซึ่งในที่นี้คือตะกอนจุลินทรีย์ออกจากของเหลวหรือน้ำด้วยแรงโน้มถ่วง ซึ่งฟล็อกที่เกิดขึ้นในถังปฏิกิริยาจะตกตะกอนได้ดีในถังตกตะกอน และน้ำที่แยกออกมาจะเป็นน้ำใสสามารถปล่อยออกทิ้งได้ ส่วนตะกอนจุลินทรีย์หรือที่เรียกว่าสลัดจ์ จะถูกปล่อยทิ้งออกจากกันถึงเพื่อนำไปบำบัดหรือเข้าสู่ระบบหมุนเวียนตะกอนกลับไปยังส่วนแรกต่อไป

ส่วนที่สาม ส่วนหมุนเวียนสลัดจ์ เป็นส่วนที่สำคัญ และเป็นส่วนที่บ่งบอกความเป็นระบบเอเอส การหมุนเวียนตะกอนเป็นสิ่งสำคัญที่สุดในการควบคุมระบบกล่าวคือ ในการควบคุมระบบให้ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระบบเกิดความสมดุลกับสารอินทรีย์เป็นสิ่งสำคัญมาก เช่น การควบคุมระบบเอเอสด้วยการควบคุมอายุสลัดจ์ อาจทำการปรับอัตราการทิ้งสลัดจ์ออกจากระบบโดยตรงจากถังเติมอากาศหรือจากกันถังตกตะกอน หากทิ้งสลัดจ์มากค่าอายุสลัดจ์ก็จะลดลงและหากทิ้งสลัดจ์น้อยค่าอายุสลัดจ์ก็จะเพิ่มมากขึ้น ถ้าในระบบมีจุลินทรีย์น้อยแต่มีสารอินทรีย์ในระบบมาก เกิดความไม่สมดุล ก็ต้องทำการเพิ่มตะกอน จุลินทรีย์ให้มากขึ้นเพื่อให้ระบบสมดุล เป็นต้น ดังนั้นถ้าไม่มีส่วนหมุนเวียนสลัดจ์การควบคุมระบบก็ต้องเปลี่ยนไปปรับส่วนอื่นๆแทนซึ่งทำให้เกิดความยุ่งยากกว่ามาก

2.1.6 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบ (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , คณะวิศวกรรมศาสตร์, 2538)

การทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียเอเอส ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆหลายชนิด เพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงต้องควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อระบบ ดังนี้

2.1.6.1 ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

ในระบบเอเอสจุลินทรีย์ใช้สารอินทรีย์ในน้ำเสียเป็นอาหาร ดังนั้นหากความเข้มข้นของสารอินทรีย์เปลี่ยนแปลงมากจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบ โดยอาจทำให้อัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์สูงคือมีอาหารมาก ทำให้จุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจะจัดกระจายไม่รวมกันเป็นฟล็อก ทำให้ตกตะกอนไม่ดี น้ำออกมีความขุ่นสูง และยังคงมีบีโอดีสูง หรือในทางตรงข้าม อัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ต่ำคือมีอาหารน้อย จุลินทรีย์มีการเติบโตน้อย ตกตะกอนได้เร็วแต่ไม่สามารถจับตะกอนเล็กๆลงมาได้หมด ทำให้น้ำทิ้งมีความขุ่น ดังนั้น จึงต้องควบคุมให้ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียมีความสมดุลพอเหมาะ จึงจะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพดีตามที่ต้องการ

2.1.6.2 ธาตุอาหาร

จุลินทรีย์ต้องการธาตุอาหาร (Nutrient) ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และเหล็ก โดยปกติแร่ธาตุเหล่านี้มีอยู่ครบในน้ำเสียชุมชน แต่อาจมีไม่พอในน้ำเสียอุตสาหกรรม การขาดธาตุอาหารทำให้จุลินทรีย์สร้างฟล็อก (Floc forming organisms) เติบโตได้ไม่ดี ทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานในระบบต่ำลงไป โดยปกติจะควบคุมอัตราส่วนบีโอดีต่อธาตุอาหารคือ BOD : N : P : Fe เท่ากับ 100 : 5 : 1 : 0.5 การเติมไนโตรเจนมักใส่ในรูปแอมโมเนีย หรือยูเรีย สำหรับฟอสฟอรัสมักจะใส่ในรูปกรดฟอสฟอริก ส่วนเหล็กมักใส่ในรูปของเฟอร์ริกคลอไรด์

2.1.6.3 ออกซิเจนละลาย

ในถังเติมอากาศต้องมีค่าออกซิเจนละลาย (DO) อยู่ในน้ำระหว่าง 1 ถึง 2 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อให้ระบบมีออกซิเจนเพียงพอต่อการนำไปใช้ของจุลินทรีย์ตลอดเวลา โดยทั่วไปการเติมออกซิเจนละลายจะใช้การเติมอากาศ (aeration) ด้วยเครื่องเติมอากาศ (aerator)

2.1.6.4 ระยะเวลาในการบำบัด

ระยะเวลาในการบำบัดน้ำเสียในถังปฏิกริยาจะต้องมีมากเพียงพอที่จุลินทรีย์จะใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ หากมีเวลาน้อยเกินไปสารที่ย่อยยากๆจะถูกลอยได้ไม่ถึงขั้นสุดท้ายทำให้มี

ค่าบีโอดีเหลืออยู่ในน้ำเสียมาก และในถังตกตะกอนก็เช่นกัน ถ้าเวลาในการตกตะกอนมีน้อยเกินไปจะทำให้สลัดจ์ตกไม่ได้ดี แต่ถ้ามีเวลามากเกินไปเกิดการสะสมของสลัดจ์ก็จะทำให้สลัดจ์ขาดออกซิเจนและเกิดการเน่าได้

2.1.6.5 ค่าพีเอช

จุลินทรีย์จะเจริญเติบโตได้ดีที่ค่าพีเอชที่อยู่ในช่วง 6.5-8.5 ดังนั้น จึงควรควบคุมระบบให้มีพีเอชอยู่ในช่วงดังกล่าว ถ้าพีเอชมีค่าต่ำกว่า 6.5 ว่าจะเจริญเติบโตได้ดีกว่า ทำให้ประสิทธิภาพของระบบจะลดลงและการตกตะกอนก็จะไม่ดี ถ้าพีเอชสูงกว่า 8.5 ฟอสฟอรัสจะแยกตัวออกมาจากน้ำ ทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ แต่ถ้าพีเอชในระบบมีค่าต่ำมากๆ หรือสูงมากๆ จุลินทรีย์ก็จะตายหมดไม่สามารถดำรงชีวิตได้

2.1.6.6 สารพิษ

สารพิษแบ่งเป็น 2 ชนิดคือ พิษเฉียบพลัน ซึ่งจุลินทรีย์จะตายกันหมดภายในเวลาไม่กี่ชั่วโมง และแบบพิษออกฤทธิ์ช้า ซึ่งจะใช้เวลาและค่อยๆ ตายลงไป สารพิษเฉียบพลันสังเกตง่ายเนื่องจากมีผลเกิดขึ้นเร็ว เช่น ไซยาไนด์ อาร์ซินิค เป็นต้น ส่วนพวกออกฤทธิ์ช้า เช่น โลหะหนักต่างๆ นอกจากนั้นสารพิษก็เกิดจากสารอินทรีย์เอง ได้แก่ แอมโมเนียที่มีความเข้มข้นสูงเกิน 500 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นต้น

2.1.6.7 อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญในการทำงานและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยทั่วไปการเพิ่มอุณหภูมิทุกๆ 10 องศาเซลเซียส จะทำให้จุลินทรีย์เติบโตเพิ่มขึ้นอีกเท่าตัว จนถึงอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส จากนั้นการเจริญเติบโตก็จะลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากอุณหภูมิสูงเกินไป แต่ในประเทศไทยอุณหภูมิในฤดูร้อนและฤดูหนาวไม่มีความแตกต่างกันมากนักทำให้ อุณหภูมิไม่มีผลกับระบบมาก นอกจากโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งมีน้ำเสียมีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงมาก นอกจากนี้ยังพบว่าอุณหภูมิมีผลต่อการตกตะกอนคือ ถ้าอุณหภูมิต่ำการตกตะกอนจะดีกว่าอุณหภูมิสูง แต่ถ้ามีความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิแตกต่างกันเกิน 2 องศาเซลเซียส จะทำให้เกิดการไหลวนของน้ำ

เนื่องจากความหนาแน่นที่แตกต่างกันได้ (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , คณะวิศวกรรมศาสตร์ , 2538)

2.1.6.8 การกวน

ภายในถังปฏิกริยาต้องมีการกวนอย่างทั่วถึงเพื่อป้องกันมิให้ตะกอนจุลินทรีย์ตกตะกอน และเพื่อให้ตะกอนจุลินทรีย์ได้สัมผัสกับสารอินทรีย์ในน้ำเสียจนกระทั่งจับตัวกันเป็นฟล็อกที่ดี การกวนที่ถูกต้องป้องกันน้ำเสียมิให้น้ำเสียไหลลัดวงจรและทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสูง ลักษณะการกวนนั้นต้องมีความพอดีไม่น้อยเกินไปจนจุลินทรีย์ไม่จับตัวกัน และไม่มากเกินไป จนทำให้ฟล็อกจุลินทรีย์แตกเสียหาย

2.1.6.9 อัตราการไหลของน้ำเสีย

การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำเสียที่ส่งเข้ามาในระบบ มีผลโดยตรงต่อการทำงานของกระบวนการทางชีววิทยาและกระบวนการตกตะกอน เช่น หากน้ำเสียมีอัตราการไหลมากขึ้น จะทำให้เวลาในการบำบัดน้อยลง จุลินทรีย์ก็ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียไม่ทัน ส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบลดลงไปด้วย ดังนั้นต้องมีการควบคุมให้มีอัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้ามาบำบัดมีความสม่ำเสมอในอัตราใกล้เคียงกับที่ทำการออกแบบไว้

2.1.7 หลักการออกแบบระบบเอเอส

หลักในการออกแบบและควบคุมระบบเอเอส แบ่งได้เป็น 2 วิธี คือ วิธีคำนวณอัตราส่วนอาหารต่อจุลชีพ (Food to Microorganism ratio, F/M) และวิธีทางจลนพลศาสตร์

1. การออกแบบระบบเอเอสโดยใช้อัตราส่วนอาหารต่อจุลชีพ (F/M)

ค่าอาหาร (F) คือปริมาณ (มวล) ของสารอินทรีย์ที่วัดได้ในรูปของบีโอดี (BOD) มีน้ำหนักเป็นกิโลกรัมต่อวัน ที่เข้าสู่ระบบ โดยคำนวณจาก

$$\begin{aligned} \text{ค่าอาหาร (F)} &= \text{น้ำหนักของสารอินทรีย์ (กก./วัน)} \\ &= \text{ค่าบีโอดีที่เข้าระบบ (กก./วัน)} \\ &= \text{บีโอดี (มก./ล.)} \times \text{อัตราการไหล (ลบ.ม./วัน)} \end{aligned}$$

ค่าน้ำหนักของจุลชีพ (M) คือปริมาณ (มวล) ของจุลชีพที่วัดอยู่ในรูป ของแข็งแขวนลอย ระเหยได้ในสไลด์จ์ (MLVSS) หรือของแข็งแขวนลอย (MLSS) ซึ่งเป็นตัวแทนของมวลของจุลชีพที่มี อยู่ในถังเติมอากาศ (V) มีหน่วยเป็นกิโลกรัม โดยคำนวณได้จาก

$$\begin{aligned} \text{ค่าน้ำหนักจุลชีพ(M)} &= \text{น้ำหนักของ MLVSS ในถังเติมอากาศ} \\ &= \text{MLVSS (มก./ล.)} \times V \text{ (ลบ.ม.)} \div 1000 \end{aligned}$$

ค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลชีพ คืออัตราส่วนของสารอินทรีย์ หรือ บีโอดี (F) ต่อน้ำหนักของ จุลชีพ (M) ในถังเติมอากาศ โดยปกติค่า F/M ของระบบเอเอสแบบธรรมดา ควรควบคุมเป็น 0.2-0.4 กก.BOD/กก.MLVSS-วัน ค่า F/M สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\frac{F}{M} = \frac{BOD \times Q}{MLVSS \times V} \quad (2.2)$$

- โดยที่ BOD คือ ค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์วัดอยู่ในรูปบีโอดี (มก./ล.)
 Q คือ อัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าระบบ (ลบ.ม./วัน)
 MLVSS คือ ของแข็งแขวนลอยระเหยได้ (มก./ล.)
 V คือ ปริมาตรถังเติมอากาศ (ลบ.ม.)

ในการออกแบบด้วยวิธีนี้ ค่า F/M จะถูกกำหนดจากการเลือกประเภทของระบบเอเอส เช่น ระบบเอเอสแบบธรรมดา (Conventional Activated Sludge, CAS) จะมีค่า F/M เท่ากับ 0.2-0.4 ในการเลือกประเภทของเอเอสควรเลือกใช้ให้เหมาะสมกับน้ำเสียที่ต้องการบำบัด ตลอดจนปัจจัย อื่นๆ เช่น ความยาก-ง่ายในการควบคุมระบบ พื้นที่ ในการก่อสร้าง เป็นต้น และนำข้อมูลที่ได้จาก ค่าบีโอดี อัตราการไหลเข้าของน้ำเสีย และค่า MLVSS จากถังปฏิบัติการที่ทำการตรวจวัดหรือจาก การประมาณการณโดยขึ้นอยู่กับชนิดของระบบเอเอส มาคำนวณในสมการ ก็จะสามารถประมาณ ขนาดของถังปฏิบัติการได้

จากการศึกษาพบว่า การออกแบบโดย ใช้อัตราส่วนอาหารต่อจุลชีพ (F/M) สามารถ คำนวณออกแบบได้ง่าย ใช้เวลาไม่นาน และมีความถูกต้องแม่นยำพอประมาณ เหมาะที่จะ นำมาใช้คำนวณออกแบบถังปฏิบัติการในงานวิจัยนี้

2. การออกแบบระบบเอเอสโดยใช้วิธีทางจลนพลศาสตร์

หลังจากทำการศึกษาทฤษฎีจลนพลศาสตร์แล้ว จะสามารถคำนวณออกแบบถึงปฏิกิริยาเอเอสได้ ซึ่งค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่สำคัญจะสามารถเปิดหาได้จากตารางโดยเป็นค่ามาตรฐานที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยมีวิธีการดังต่อไปนี้

$$\text{จากสมการ} \quad X = \frac{\theta_c Y (S_0 - S)}{\theta (1 + k_d \theta_c)} \quad (2.3)$$

เมื่อ	X	คือ	ความเข้มข้นของจุลชีพในระบบ (มก./ล.)
	θ_c	คือ	อายุสลัดจ์ (วัน)
	Y	คือ	ปริมาณจุลชีพที่เกิดขึ้นต่อปริมาณสารอาหารที่ใช้ไป
	S_0	คือ	ความเข้มข้นของสารอาหารที่เข้าสู่ระบบ (มก./ล.)
	S	คือ	ความเข้มข้นของสารอาหารในระบบ (มก./ล.)
	θ	คือ	เวลาเก็บกักน้ำ (ชั่วโมง)
	k_d	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของจุลชีพ

2.1) ทำการกำหนดเลือกค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจากตาราง เช่น Y จะอยู่ในช่วง 0.4-0.8 และ k_d จะอยู่ในช่วง 0.06-0.15 เป็นต้น

2.2) คำนวณค่า θ หรือเวลาเก็บกักน้ำ โดย $\theta = \frac{V}{Q}$ ซึ่งจะประมาณขนาดของถังปฏิกิริยา (V) ได้

2.3) คำนวณอัตราการใช้สารอาหารจำเพาะสุทธิ (U) ซึ่ง $U = E \left(\frac{F}{M} \right) = \left(\frac{S_0 - S}{\theta X} \right)$ โดยสมมติให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบเป็น 100% ($E = 1$)

2.4) คำนวณหาค่า θ_c จริงในระบบ จากสมการ $\frac{1}{\theta_c} = YU - k_d$ เพื่อใช้ในการควบคุมระบบต่อไป

จากการศึกษาพบว่า การออกแบบโดยใช้วิธีทางจลนพลศาสตร์ สามารถคำนวณออกแบบได้ยากกว่าวิธีใช้อัตราส่วนอาหารต่อจุลชีพ โดยควมถูกต้องนั้นขึ้นอยู่กับ การกำหนดค่าทางจลนพลศาสตร์ซึ่งกำหนดอยู่ในช่วงกว้าง ต้องอาศัยประสบการณ์จากผู้ออกแบบโดยตรงในการ

เลือกค่าพารามิเตอร์ การออกแบบด้วยวิธีนี้จึงควรคำนวณควบคู่กันไปกับวิธีการออกแบบโดยใช้ อัตราส่วนอาหารต่อจุลชีพ จึงจะได้ผลออกมาถูกต้องที่สุด

2.1.8 การแบ่งประเภทของกระบวนการเอเอส

ระบบเอเอสสามารถแบ่งตามลักษณะใหญ่ๆ ได้ 2 ลักษณะ (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, คณะวิศวกรรมศาสตร์, 2538) ดังนี้

1. แบ่งตามลักษณะภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของกระบวนการ (Process Organic Loading Range)
2. แบ่งตามลักษณะทางกายภาพของการจัดรูปถังเติมอากาศ (Physical Arrangement of Aeration Tank)

2.1.8.1 แบ่งตามลักษณะภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของกระบวนการ

หมายถึง การแบ่งช่วงการทำงานตามอัตราส่วนของน้ำหนักอาหารต่อน้ำหนัก จุลชีพ (F/M) หรือค่าอายุสลัดจ์ (Sludge Age หรือ Mean Cell Residence Time, MCRT) สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วง คือ

1. อัตราการบำบัดสูง (High Rate)
2. อัตราการบำบัดธรรมดา (Conventional Rate)
3. อัตราการบำบัดต่ำ (Low Rate or Extended Aeration Rate)

การควบคุมการทำงานของระบบควรจะควบคุมระบบให้ทำงานในช่วงที่ได้ กำหนดเอาไว้ โดยปกติระบบบำบัดน้ำเสียขนาดตั้งแต่ 4,000 ลบ.ม./วัน ขึ้นไป มักออกแบบให้ทำงานในช่วงอัตราการบำบัดธรรมดา สำหรับระบบที่เล็กมักใช้ช่วงอัตราการบำบัดต่ำ ส่วนอัตราการบำบัดสูงมักใช้เป็นเพียงการบำบัดขั้นแรก สำหรับน้ำเสียที่มีค่ามลสารไม่สูงและไม่ต้องการคุณภาพของน้ำทิ้งดีมากนัก (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, คณะวิศวกรรมศาสตร์, 2538)

ตารางที่ 2.1 ภาวะบรรทุกสารอินทรีย์ในอัตราการบำบัดช่วงต่างๆ (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , คณะวิศวกรรมศาสตร์, 2538)

อัตราการบำบัด	F/M (กก.BOD/กก. MLSS-วัน)	เวลากักน้ำของ ถังเติมอากาศ (ชั่วโมง)	อายุ สลัดจ์ (วัน)	ประสิทธิภาพ ในการลดค่า บีโอดี (%)	MLSS (กก./ล.)
อัตราการบำบัด สูง	0.5-1.5	1-3	ต่ำกว่า 3 วัน	60-70	4,000- 5,000
อัตราการบำบัด ธรรมดา	0.2-0.5	4-8	5-15	85-95	1,500- 3,000
อัตราการบำบัด ต่ำ	0.05-0.15	24	15-40	85-98	3,500- 6,000

ตารางที่ 2.1 แสดงให้เห็นว่า ในช่วงอัตรา การบำบัดสูง (High Rate) จะมีประสิทธิภาพใน การกำจัดบีโอดีต่ำ เนื่องจากอายุสลัดจ์ในระบบต่ำและเวลากักน้ำในถังเติมอากาศน้อย เป็นผลให้ จุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบไม่สามารถย่อยมลสารในน้ำเสียได้หมด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนที่เป็นมล สารที่ย่อยยาก นอกจากนี้ลักษณะของตะกอนจุลชี พจะจมตัวและแยกชั้นได้ไม่ดี ดังนั้นหากการ บำบัดต้องการคุณภาพของน้ำทิ้งสูงจึงไม่ควรใช้อัตราการบำบัดในช่วงนี้ แต่เหมาะที่จะเป็นระบบ บำบัดขั้นต้น (Pretreatment)

อัตราการบำบัดธรรมดา จะให้คุณภาพน้ำทิ้งจากระบบที่ดี ซึ่งกระบวนการบำบัดน้ำเสีย ส่วนใหญ่มักออกแบบให้ใช้อัตราการบำบัดในช่วงนี้

อัตราการบำบัดต่ำ จะมีอายุสลัดจ์สูงๆ สามารถเรียกได้อีกชื่อว่า แบบเติมอากาศยาวนาน (Extended Aeration) หรือแบบทำลายทั้งหมด (Total Oxidation) ในอัตราการบำบัดต่ำนี้ จะเกิด สลัดจ์ส่วนเกินน้อย แต่อาจเกิดปัญหาตะกอนลอยตัวจากการเกิดดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) และเกิดตะกอนเป็นเม็ดเล็กๆ (Pin Point Floc) หลุดออกมากับน้ำทิ้งได้

2.1.8.2 แบ่งตามลักษณะทางกายภาพของการจัดรูปถังเติมอากาศ

การจัดรูปแบบทางกายภาพของถังเติมอากาศของระบบเอเอส เพื่อความคล่องตัวในการควบคุมการทำงานของระบบ เพื่อปรับเปลี่ยน นกการทำงาน และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 5 แบบ คือ

1) แบบกวนสมบูรณ์ (Completely Mix Activated Sludge, CMAS)

ระบบ CMAS จะต้องมีถังเติมอากาศที่สามารถกวนน้ำและสลัดจ์ในถังให้ผสมเป็นเนื้อเดียวกันตลอดทั้งถังโดยออกแบบให้เป็นถังปฏิกริยา แบบ CSTR (Continuous Stirred Tank Reactor) ทั้งนี้ค่าออกซิเจนละลาย (DO) และ ค่าตะกอนแขวนลอย (MLSS) จะต้องมีค่าใกล้เคียงกันตลอดทั้งถัง ระบบบำบัดน้ำเสียแบบนี้สามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (Shock Load) ได้ดี แต่มีปัญหากการตกตะกอนของจุลชีพ คือ ตกตะกอนไม่ดีทำให้ค่าดัชนีปริมาณตะกอน (Sludge Volume Index, SVI) สูงกว่าแบบอื่นๆ เนื่องจากความเข้มข้นสารอินทรีย์มีค่าต่ำตลอดทั้งถัง ทำให้แบคทีเรียชนิดเส้นใยสามารถเติบโตได้ดีกว่าแบคทีเรียชนิดรวมตัวเป็นกลุ่มก้อน (Floc Former Bacteria) ก่อให้เกิดปัญหาตะกอนจมไม่ลง (Sludge Bulking) รูปแบบระบบ CMAS แสดงในรูปที่ 2.3 ก)

2) แบบไหลตามแนวยาว (Plug Flow Activated Sludge Process)

ถังเติมอากาศในระบบนี้จะถูกออกแบบให้เป็นถังปฏิกริยาแบบไหลตามยาว (Plug Flow Reactor) แต่เนื่องจากผลจากการเติมอากาศ จึงไม่สามารถเลี้ยง การผสมกันในแนวยาวได้อย่างสมบูรณ์ โดยทั่วไปจึงเติมอากาศให้น้ำไหลเป็นรูปเกลียวสว่าน หรือแบ่งถังเติมอากาศเป็นถังเล็กมากกว่า 3 ถังแล้วให้น้ำไหลผ่านแบบอนุกรม จุดอ่อนของระบบแบบนี้คือ ไม่สามารถรับ Shock Load ได้เนื่องจากน้ำเสียจะไหลลงที่หัวถังเพียงจุดเดียวซึ่งมีปริมาณจุลชีพน้อย และที่หัวถังจะมีความต้องการออกซิเจนสูงหากออกแบบระบบให้มีการจ่ายออกซิเจนเสมอทั่วทั้งถังก็อาจทำให้ขาดออกซิเจนที่หัวถังและจะมีค่าออกซิเจนมากที่ปลายถัง ดังนั้น จึงมีการออกแบบการเติมอากาศแบบลดการเติมอากาศตามความยาวถัง (Tapered Aeration) แสดงในรูปที่ 2.3 ข)

ระบบเอเอสแบบนี้จะมีประสิทธิภาพการทำงานสูงโดยเฉพาะกับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูงๆ และตะกอนจุลชีพสามารถตกตะกอนได้ดี ไม่ก่อให้เกิดปัญหาตะกอนจมไม่ลง

3) แบบไหลเป็นวงจร (Circuit Flow Activated Sludge Process)

ระบบแบบนี้จะประกอบด้วยถังเติมอากาศแบบวงกลมหรือวงรี ทำให้น้ำไหลวนตามแนวยาวของถัง การเติมอากาศและการกวน จะใช้เครื่องกลเติมอากาศซึ่งตีน้ำในแนวนอน การไหลของน้ำสามารถพิจารณาให้เป็นได้ทั้งแบบไหลตามแนวยาวและแบบกวนสมบูรณ์ ขึ้นอยู่กับช่วงเวลา

พิจารณา สามารถควบคุมให้เกิดสภาพต่างๆ เช่น แอน็อกซิก (Anoxic) และแอนแอโรบิก (Anaerobic) ได้ง่าย ทำให้สามารถบำบัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้

ระบบแบบไหลเป็นวงจรมีประสิทธิภาพสูง และตกตะกอนจุลชีพได้ดี ระบบเอเอสแบบไหลเป็นวงจร ได้แก่ ระบบคลองวนเวียน (Oxidation Ditch) แสดงในรูปที่ 2.3 ค)

4) แบบนำตะกอนกลับมาเติมอากาศใหม่ (Activated Sludge with Sludge Reaeration)

จะมีการนำตะกอนสลัดจ์ที่หมุนเวียนกลับมาเติมอากาศใหม่ เพื่อให้เกิดการย่อยสลาย (Stabilization) สารอินทรีย์ให้หมดเสียก่อน จึงส่งตะกอนจุลชีพไปสัมผัสกับน้ำเสียที่ใหม่ที่เข้าสู่ระบบเพื่อลดปริมาณสารอินทรีย์ ในน้ำเสียต่อไป ตัวอย่างระบบเอเอสแบบนี้ได้แก่ แบบสัมผัสและย่อยสลาย (Contact Stabilization) และแบบเติมน้ำเสียเป็นขั้น (Step Feed) แสดงในรูปที่ 2.3 ง) และ จ) ตามลำดับ

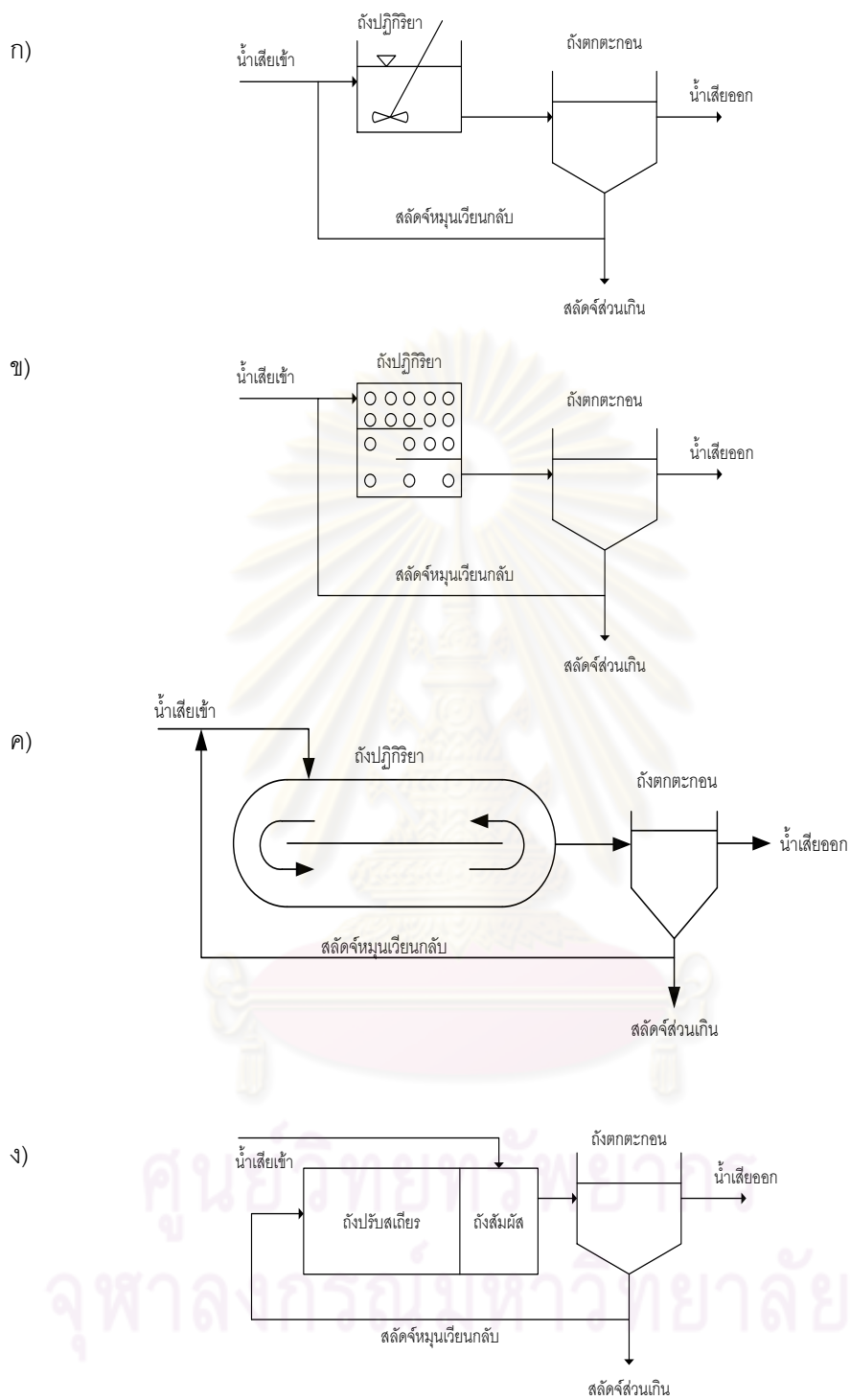
ระบบเอเอสแบบสัมผัสและย่อยสลาย จะแบ่งถังเติมอากาศออกเป็น 2 ถัง โดยสลัดจ์ที่สูบจากถังตกตะกอนขั้นที่สองจะนำมาเติมอากาศในถังย่อยสลาย (Stabilization Tank) ประมาณ 4-8 ชั่วโมง จากนั้นจะนำมาสัมผัสกับน้ำเสียในถังสัมผัส (Contact Tank) ประมาณ 0.5-1 ชั่วโมง เพื่อลดค่าสารอินทรีย์ น้ำที่บำบัดจะไปสู่ถังตกตะกอนขั้นที่สอง สลัดจ์ส่วนหนึ่งจะกลับเข้าสู่ถังย่อยสลายอีกครั้งหนึ่ง

ระบบเอเอสแบบเติมน้ำเสียเป็นขั้น มีถังเติมอากาศเพียงถังเดียว สลัดจ์ที่สูบมาจากถังตกตะกอนจะเข้าสู่หัวถังเติมอากาศ ซึ่งจะมีความเข้มข้นของสลัดจ์ (MLSS) สูง เมื่อไหลไปตามแนวยาวของถังจะถูกลำน้ำเสียเข้ามาผสมทำให้ความเข้มข้นลดลงตามลำดับ

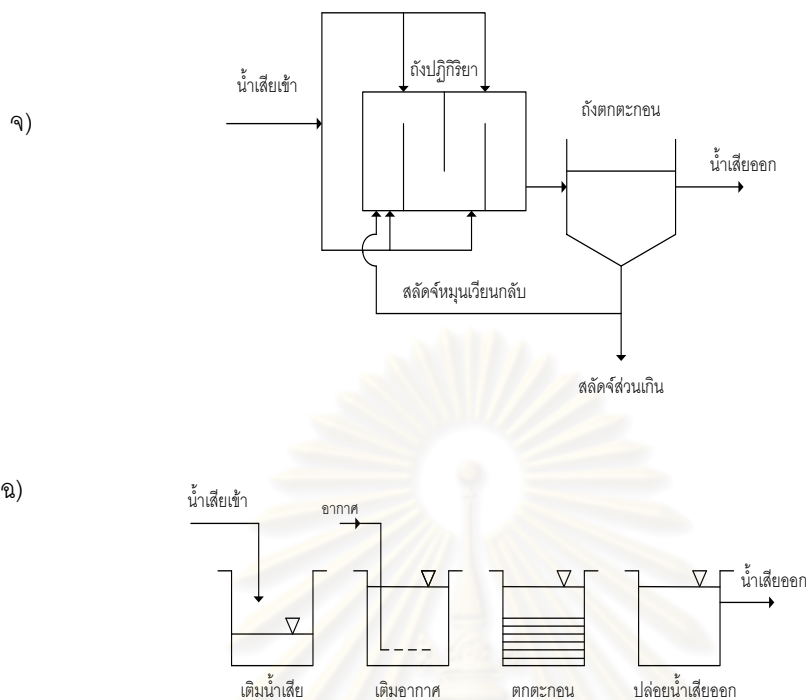
ระบบเอเอสแบบ นำตะกอนกลับมาเติมอากาศใหม่นี้จะสามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้สูง สามารถใช้กระบวนการแบบนี้แก้ไขระบบแบบกวนผสมหรือแบบไหลตามแนวยาวที่มีปัญหาไม่สามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นได้ โดยดัดแปลงท่อ ผนังกันน้ำหรือเปลี่ยนอุปกรณ์เติมอากาศเท่านั้น

5) แบบการเติมเข้า-ถ่ายออก (Fill and Draw Activated Sludge Process)

จะใช้ถังเติมอากาศเป็นทั้งถังปฏิกิริยาและถังตกตะกอน ถ้าเป็นระบบที่มีการใช้ถังหลายใบทำงานสลับหรือต่อเนื่องกัน ทำให้สามารถรับน้ำเสียได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่ต้องใช้ถังตกตะกอน จะเรียกระบบเอเอสแบบนี้ว่า เอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor Activated Sludge, SBRAS) แสดงในรูปที่ 2.3 ข)



รูปที่ 2.3 ชนิดของระบบเอเอส: ก) Completely Mix Activated Sludge, CMAS ข) Plug Flow Activated Sludge ชนิด Tapered Aeration ค) Oxidation Ditch ง) Contact-Stabilization (Qasim, 1999)



รูปที่ 2.3 (ต่อ) ชนิดของระบบเอเอส: ๑) Step-feed Aeration Activated Sludge, SAAS

๒) Sequencing Batch Reactor Activated Sludge, SBR AS (Qasim, 1999)

2.1.9 การควบคุมการทำงานของระบบบำบัดแบบเอเอส

เพื่อให้ระบบบำบัดน้ำเสียสามารถบำบัดน้ำเสียได้อย่างต่อเนื่อง และคุณภาพของน้ำที่บำบัดแล้วมีค่าไม่ถึงมาตรฐานน้ำทิ้งตามกฎหมาย จึงต้องมีการควบคุมการทำงานของระบบให้ทำงานได้มีประสิทธิภาพตามที่ได้ออกแบบไว้ โดยมีวิธีควบคุมการทำงานของระบบ ดังนี้

2.1.9.1 การควบคุมค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลชีพ (F/M)

ค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลชีพ (Food to Microorganism Ratio, F/M) เป็นค่าที่ใช้ในการออกแบบ ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมให้ค่า F/M คงที่ใกล้เคียงกับที่ออกแบบไว้ เพื่อให้ระบบทำงานได้ดี จากสมการที่ (2.2) ที่ผ่านมา พบว่าค่าอาหาร (F) หรือค่าบีโอดีในน้ำเข้านั้นเป็นค่าที่ปรับได้ยาก ดังนั้นในการควบคุมระบบ จึงทำการเปลี่ยนแปลงค่าน้ำหนักของจุลินทรีย์ (M) ซึ่งวัดในรูปของ MLSS หรือ MLVSS โดยการทิ้งตะกอนสลัดจ์ออกจากระบบ ถ้าทิ้งสลัดจ์มาก MLSS จะต่ำทำให้ค่า F/M สูงขึ้น ในทางกลับกัน ถ้าทิ้งสลัดจ์น้อย MLSS จะสูงทำให้ค่า F/M ต่ำลง

ในทางปฏิบัติไม่นิยมควบคุมระบบเอเอสด้วยวิธีนี้ เนื่องจากหากต้องการทราบค่า F/M จะต้องทำการวัดค่าบีโอดี ซึ่งจะใช้เวลาอย่างน้อย 5 วัน

2.1.9.2 การควบคุมอายุสลัดจ์

อายุสลัดจ์ (Sludge Age) คือ ระยะเวลาเฉลี่ยที่ตะกอนจุลินทรีย์หมุ่นเวียนอยู่ในระบบ (Mean Cell Residence Time, MCRT) เป็นค่าที่สำคัญในการออกแบบและควบคุมการทำงานของระบบเอเอส และมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่า F/M การควบคุมค่าอายุสลัดจ์ให้มีค่าคงที่ จะทำให้ค่า F/M หรือค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์มีค่าคงที่ตามไปด้วย ซึ่งค่าที่ควบคุมเหล่านี้จะเป็นตัวกำหนดของคุณภาพน้ำทิ้ง การหาค่าอายุสลัดจ์ที่เหมาะสม ทำโดยหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าอายุสลัดจ์กับคุณภาพน้ำทิ้ง เช่น บีโอดี ซีโอดี ตะกอนแขวนลอย แล้วเลือกค่าที่เห็นว่าดีที่สุด

$$\text{อายุสลัดจ์} = \frac{\text{น้ำหนักระบบตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ}}{\text{น้ำหนักระบบตะกอนจุลินทรีย์ที่ทิ้งออกจากระบบต่อวัน}} \quad (2.4)$$

วิธีการควบคุมระบบเอเอสด้วยการควบคุมอายุสลัดจ์ ถือเป็นวิธีการควบคุมค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ไปในตัว และสามารถคำนวณปริมาณสลัดจ์ที่นำไปทิ้งได้อย่างถูกต้อง นอกจากนี้วิธีการควบคุมก็ง่าย ไม่ต้องใช้การวิเคราะห์ที่ยุ่งยาก ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงได้เลือกใช้วิธีควบคุมระบบด้วยการควบคุมอายุสลัดจ์นี้

จากสมการที่ (2.4) จะเห็นได้ว่าหากนำตะกอนจุลินทรีย์ไปทิ้งมาก ค่าอายุสลัดจ์ก็จะลดลง และหากนำตะกอนจุลินทรีย์ไปทิ้งน้อย ค่าอายุสลัดจ์ก็จะเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้จากกล่าวได้ว่า ถ้าลดค่าอายุสลัดจ์จะทำให้มีน้ำหนักระบบตะกอนจุลินทรีย์ที่ต้องทิ้งออกจากระบบเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากจุลินทรีย์มีอัตราการเจริญเติบโตสูงขึ้น และจะให้ผลตรงข้ามหากทำการเพิ่มค่าอายุสลัดจ์

ในการปรับค่าอายุสลัดจ์ของระบบเอเอสในแต่ละครั้งนั้น จะต้องใช้เวลาประมาณ 1-3 เท่าของค่าอายุสลัดจ์เพื่อให้ระบบปรับตัวให้อยู่ในสภาวะคงที่ และจะต้องติดตามค่าน้ำหนักของ MLSS ที่ใช้บำบัดน้ำเสีย และปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ที่ต้องนำไปทิ้งทุกวัน จนกว่าค่าที่ได้จากการตรวจสอบจะไม่มีเปลี่ยนแปลงมากนัก (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , คณะวิศวกรรมศาสตร์ , 2538)

ในทางปฏิบัติสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไป มักจะทำการควบคุมอายุสลัดจ์โดยการปรับอัตราการทิ้งสลัดจ์ออกจากระบบทางก้นถังตกตะกอน ซึ่งเป็นวิธีการที่นิยมใช้กันมากที่สุด โดยการระบายสลัดจ์ทิ้งทางก้นถังตกตะกอน สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.5) ดังนี้

$$\theta_c = VX / \{Q_w X_r + (Q - Q_w) X_e\} \quad (2.5)$$

เมื่อ	θ_c	=	ค่าอายุสลัดจ์ (วัน)
	Q_w	=	อัตราการระบายสลัดจ์ทิ้ง (ลิตร/วัน)
	X_r	=	ความเข้มข้นของสลัดจ์ที่ถูกหมุนเวียนกลับมาที่ถังเติมอากาศ (มก./ล.)
	X_e	=	ความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในน้ำทิ้งที่ล้นออกจากถังตกตะกอน (มก./ล.)
	V	=	ปริมาตรถังเติมอากาศ (ลิตร)
	Q	=	อัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าถังเติมอากาศ (ลิตร/วัน)
	X	=	ความเข้มข้นของสลัดจ์ในถังเติมอากาศหรือ MLSS (มก./ล.)

ในกรณีระบบเอเอสทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ค่า X_e จะต่ำมาก ดังนั้นสมการที่ (2.5) จะสามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$\theta_c = VX / Q_w X_r \quad (2.6)$$

การควบคุมค่าอายุสลัดจ์อีกวิธีที่สามารถทำได้โดยการปรับอัตราการทิ้งสลัดจ์ออกจากระบบโดยการทิ้งตะกอนจุลินทรีย์โดยตรงจากถังเติมอากาศ ดังสมการที่ (2.7)

$$\theta_c = VX / \{Q_w X + (Q - Q_w) X_e\} \quad (2.7)$$

ในทำนองเดียวกัน เมื่อ X_e มีค่าน้อยมาก จะได้เป็น

$$Q_w = V / \theta_c \quad (2.8)$$

เมื่อเปรียบเทียบสมการที่ (2.6) กับ (2.8) จะเห็นได้ว่าการควบคุมระบบด้วยสมการที่ (2.8) นั้นสามารถทำได้ง่ายกว่าสมการที่ (2.6) เนื่องจาก V มีค่าคงที่ ดังนั้นการควบคุม θ_c จะขึ้นกับ Q_w เพียงค่าเดียวเท่านั้น

จะเห็นได้ว่า ในการควบคุมค่าอายุสลัดจ์นั้น สิ่งที่ต้องวัดมีเพียง MLSS ซึ่งเป็นค่าที่สามารถวัดได้ง่าย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการควบคุมอายุสลัดจ์โดยการทิ้งสลัดจ์โดยตรงจากถังเติมอากาศ เนื่องจากสามารถทำการควบคุมระบบได้ง่ายกว่าการทิ้งสลัดจ์จากกันถังตกตะกอน

2.1.9.3 การควบคุมการทิ้งสลัดจ์ส่วนเกิน

การนำตะกอนส่วนเกินไปทิ้ง ก็เพื่อรักษาค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ หรือค่าอายุสลัดจ์ให้มีค่าคงที่ และระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพตลอดเวลา ซึ่งก็คือการควบคุมค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ หรือการควบคุมค่าอายุสลัดจ์ ดัง ที่ได้กล่าวมาในหัวข้อที่ 2.1.9.1 และ 2.1.9.2 นั้นเอง

2.1.9.4 การควบคุมการสูบสลัดจ์กลับ

การสูบสลัดจ์ที่อยู่ส่วนล่างของถังตกตะกอนกลับมาเข้าถังเติมอากาศเพื่อนำมาใช้บำบัดน้ำเสียใหม่ และเพื่อรักษาความสูงของชั้นตะกอนในถังตกตะกอนไม่ให้สูงเกินไป อัตราการสูบตะกอนกลับจะมีค่าประมาณร้อยละ 20-200 เมื่อเทียบกับอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบ

อัตราการสูบสลัดจ์กลับขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบ ความเข้มข้นของบีโอดี อัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ อุณหภูมิ ค่าความเข้มข้นของ MLSS และความเข้มข้นของน้ำสลัดจ์ที่สูบกลับ

การคำนวณอัตราการสูบสลัดจ์กลับ ใช้หลักการสมดุลมวลจุลินทรีย์ โดยคำนวณจากการวัดค่า MLSS ในถังเติมอากาศ และในท่อสูบสลัดจ์กลับ แต่เนื่องจากระบบเอเอสในงานวิจัยนี้เป็นเพียงระดับห้องปฏิบัติการซึ่งมีขนาดเล็ก จึงไม่จำเป็นต้องทำการควบคุมระบบเอเอสด้วยวิธีการนี้

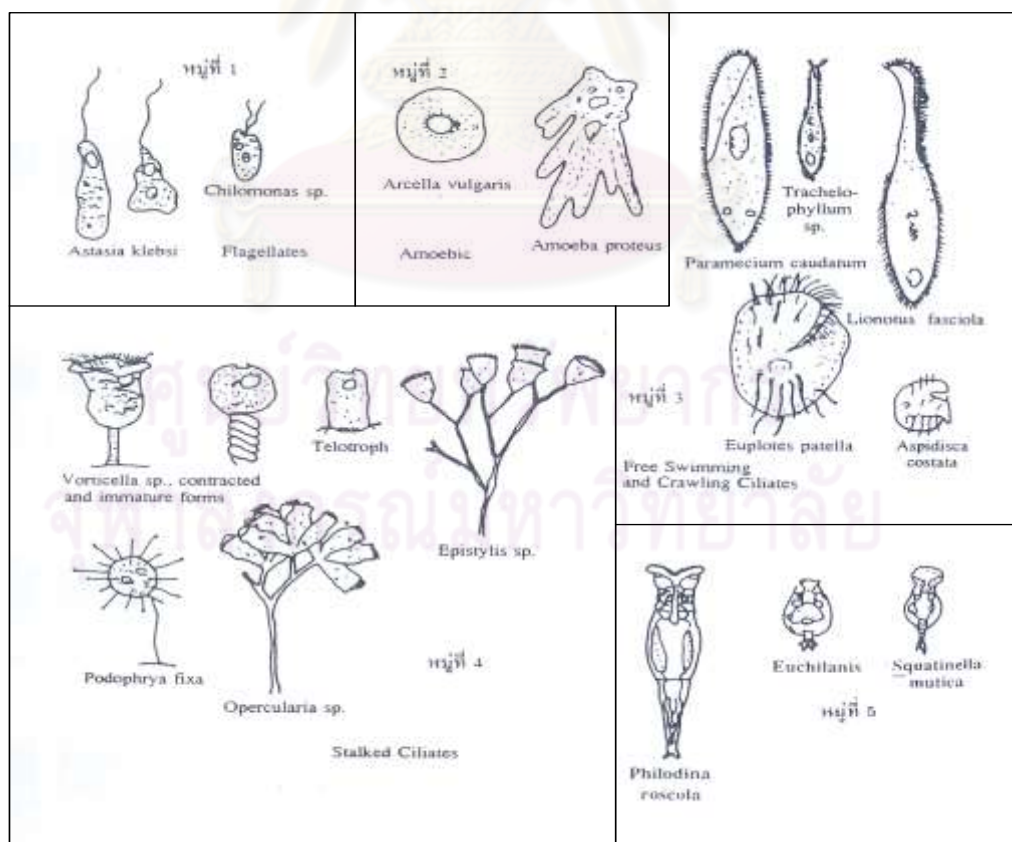
2.1.10 ผลของอายุสลัดจ์กับประสิทธิภาพในการตกตะกอนของระบบเอเอส

การวัดประสิทธิภาพของระบบเอเอสอาจทำได้โดยการวัดการกำจัดบีโอดีหรือซีโอดี แต่เนื่องจากระบบเอเอสที่ดีต้องสามารถแยกสลัดจ์ออกจากน้ำใสได้ดี ดังนั้นการตกตะกอนจึงเป็น

ปัจจัยสำคัญในกา รบอกถึงประสิทธิภาพของระบบเอเอส ระบบเอเอสที่ทำงานได้อย่างมี ประสิทธิภาพจะต้องมีสลัดจ์สีน้ำตาล จับตัวเป็นฟล็อกสามารถตกตะกอนได้เร็ว และไม่ทิ้งตะกอน แขนวนลอยไว้ในส่วนที่เป็นน้ำใส

2.1.10.1 การตกตะกอนแบบปกติของสลัดจ์

เมื่อนำตะกอนแขวนลอยในถังเติมอากาศมาตกตะกอน ในกระบอกตวงใส จะเห็นการแบ่ง ชั้นระหว่างสลัดจ์และน้ำอย่างชัดเจน ชั้นสลัดจ์จะตกตะกอนด้วยอัตราเดียวกันอย่างรวดเร็วและทิ้ง น้ำใสไว้ด้านบนของชั้นสลัดจ์ ซึ่งการตกตะกอนในระบบเอเอสจะเป็นการตกตะกอนแบบแบ่งชั้น (Zone Settling) เมื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ จะพบโปรโตซัว ชนิดต่างๆ จำนวนมาก หากมี โปรโตซัวในหมู่ 3 และ 4 ดังรูปที่ 2.4 อยู่เป็นจำนวนมากแสดงว่าการตกตะกอนจะเกิดขึ้นได้ดีมาก แต่ถ้ามีการระบายสลัดจ์ที่ออกจากระบบน้อยเกินไปจะทำให้สลัดจ์ในระบบมีอายุมาก เมื่อ ตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ก็จะพบจุลินทรีย์ขนาดใหญ่ในหมู่ 5 แต่ถ้าทิ้งสลัดจ์ออกจากระบบ มากเกินไป ทำให้อายุสลัดจ์น้อย และจะไม่ปรากฏจุลินทรีย์ในหมู่ 3 และ 4



รูปที่ 2.4 โปรโตซัวที่พบในระบบเอเอส (มันลิน ตันทูลเวศม์, 2542)

2.1.10.2 การตกตะกอนของระบบที่มีอายุสลัดจ์น้อย

แบคทีเรียที่มีอายุน้อยเกินไปจะไม่จับตัวเป็นฟล็อก ทำให้ แขนงลอยอยู่ในน้ำและตกตะกอนได้ยาก หรืออาจไม่สามารถตกตะกอนได้เลย ทำให้น้ำทิ้งที่ออกมีตะกอนแขวนลอยปะปนอยู่มากและมีความขุ่นสูง เมื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์จะไม่พบโปรโตซัว และไม่พบฟล็อกของแบคทีเรีย นอกจากนี้สลัดจ์ที่มีอายุน้อยยังส่งผลให้ประสิทธิภาพในการบำบัด น้ำเสียต่ำ เนื่องจากจุลินทรีย์ในระบบไม่สามารถย่อยสลายมลสารในน้ำเสียได้หมด เป็นผลให้น้ำทิ้งที่ออกมีค่าบีโอดีหรือซีโอดีสูง

2.1.10.3 การตกตะกอนของระบบที่มีอายุสลัดจ์มาก

สลัดจ์ที่มีอายุสูงๆ จะมีน้ำหนักมาก ตกตะกอนได้เร็ว สามารถกำจัดซีโอดีในน้ำได้มาก แต่หากสลัดจ์ในระบบมีอายุสูงเกินไปจะตกตะกอนเร็วแต่ไม่สามารถจับตะกอนเล็กๆ ได้หมด ทำให้น้ำทิ้งที่ออกมาขุ่นมีตะกอนแขวนลอยอยู่มาก และเกิดตะกอนเป็นเม็ดเล็กๆ (Pin Point Floc) หลุดออกมากับน้ำทิ้งได้ นอกจากนี้ยังอาจเกิดปัญหาตะกอนลอยตัวจากการเกิดดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) อีกด้วย ตัวอย่างของระบบเอเอสที่มีการควบคุมอายุสลัดจ์สูง เช่น เอเอสแบบยืดเวลา (Extended Aeration Activated sludge, EAAS) ที่มีการควบคุมอายุสลัดจ์ในระบบให้สูงกว่า 20 วัน เมื่อทำการตกตะกอนอาจพบว่า มีตะกอนแขวนลอยขนาดเล็ก ปะปนอยู่ในส่วนที่เป็นน้ำใสได้บ้าง แต่จะไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบเอเอสในแง่การกำจัดบีโอดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 กระบวนการตกตะกอน

การตกตะกอน เป็นวิธีแยกอนุภาคของแข็งออกจากของเหลวด้วยแรงดึงดูดของโลก ผลจากการตกตะกอน ทำให้ได้ส่วนประกอบ 2 ส่วนคือ น้ำใส และตะกอนหรือสลัดจ์ (Sludge) ถ้าจุดมุ่งหมายของการตกตะกอนเป็นไปเพื่อให้ได้น้ำใส การตกตะกอนจะเป็นแบบที่เรียกว่า การทำใส (Clarification) แต่ถ้าจุดมุ่งหมายเป็นไปเพื่อให้ได้สลัดจ์ที่มีความเข้มข้นมากที่สุด การตกตะกอนจะเป็นแบบที่เรียกว่า การทำข้น (Thickening) โดยทั่วไปแล้วในการบำบัดน้ำเสีย ถึงตกตะกอนมักจะมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้ได้น้ำใสมากกว่าเพื่อทำให้สลัดจ์เข้มข้น

การตกตะกอนอาจจำแนกได้เป็น 4 ประเภท ตามแต่ระดับความเข้มข้น และลักษณะของสมบัติของแข็งที่อยู่ในน้ำ ดังนี้

1. การตกตะกอนแบบโดด (Discrete Settling)
2. การตกตะกอนแบบรวมกลุ่ม (Flocculent Settling)
3. การตกตะกอนแบบแบ่งชั้น (Zone Settling)
4. การตกตะกอนแบบอัดตัว (Compression Settling)

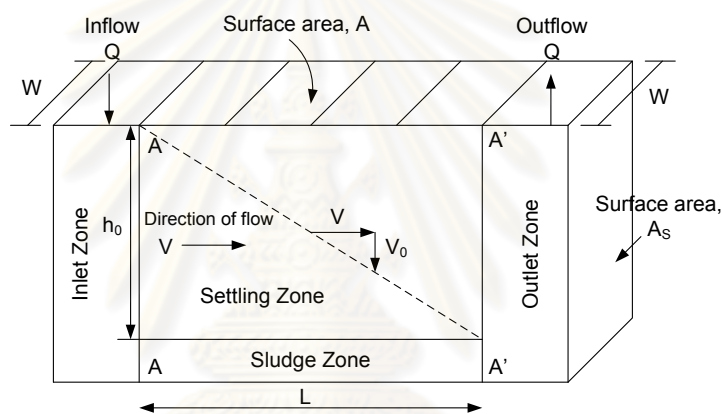
น้ำที่มีความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยต่ำ อาจตกตะกอนเป็นแบบโดด หรือ รวมกลุ่มก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะสมบัติของตะกอนหรืออนุภาค ถ้าตะกอนแขวนลอย ไม่สามารถจับตัวกันเป็นกลุ่ม การตกตะกอนจะเป็นแบบโดด ตัวอย่างของการตกตะกอนแบบนี้ได้แก่ การตกตะกอนของเม็ดกรวดหรือทรายขนาดต่างๆ ถ้าตะกอนแขวนลอยมีแนวโน้มในการจับกันเป็นกลุ่มหรือเป็นก้อน การตกตะกอนจะเป็นแบบรวมกลุ่ม ตัวอย่างได้แก่ การตกตะกอนของน้ำเสียหรือของฟล็อกสารส้ม หรือฟล็อกที่เกิดจากสารโคแอกกูแลนต์ (Coagulant) ชนิดอื่นๆ เป็นต้น น้ำที่มีตะกอนแขวนลอยอยู่ในระดับปานกลางหรือสูง (เช่น มีความเข้มข้นสูงกว่า 1,000–2,000 มก./ล.) มักมีการตกตะกอนแบบแบ่งชั้น ทั้งนี้เนื่องจากอนุภาคแต่ละอนุภาคอยู่ติดกัน และเคลื่อนที่ลง ด้วยอัตราเร็วเดียวกัน ทำให้เห็นเป็นชั้นแยกกันระหว่างน้ำใสและอนุภาค ซึ่งการตกตะกอนของระบบเอเอส (Activated sludge) เป็นตัวอย่างของการตกตะกอนที่เป็นชั้นที่เห็นได้ชัดกว่าตัวอย่างอื่น สำหรับการตกตะกอนแบบอัดตัว เกิดขึ้นเมื่อน้ำมีปริมาณตะกอนแขวนลอยอยู่ในระดับสูงมาก และมักเกิดขึ้นที่ก้นถังตกตะกอน การตกตะกอนแบบอัดตัวอาจถือได้ว่า เกิดขึ้นหลังจากที่การตกตะกอนแบบอื่นๆ ได้เกิดขึ้นแล้ว การอัดตัวเกิดขึ้นเนื่องจากอนุภาคต่างๆ วางซ้อนกันในลักษณะที่มีการถ่ายเทน้ำหนักให้กับอนุภาคที่อยู่ข้างล่าง

2.2.1 ทฤษฎีในการตกตะกอน

ทฤษฎีสำหรับอธิบายกลไกในการตกตะกอน ทั้ง 4 แบบ สามารถแสดงได้ดังนี้

1) ทฤษฎีสำหรับการตกตะกอนแบบโคต

รูปที่ 2.5 แสดงให้เห็นถึงการตกตะกอนแบบอุดมคติ กรณีของถังแบบอุดมคตินี้ ถือว่าแต่ละอนุภาคน้ำเคลื่อนที่เข้าสู่บริเวณตกตะกอนในลักษณะที่เป็นระนาบแนวตั้ง (ระนาบ A-A) โดยมีความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยขนาดต่างๆ คงที่ตลอดทั้งระนาบ อนุภาคน้ำเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ และสม่ำเสมอด้วยความเร็วเท่ากับ V และไปถึงระนาบ A'-A' โดยไม่เปลี่ยนรูปร่าง ซึ่งเท่ากับอัตราไหลของน้ำ (Q) หารด้วยพื้นที่หน้าตัด (A_s) ในแนวตั้งของถัง (มีค่าเท่ากับ $h_0 \times W$ เมื่อ h_0 และ W เป็นความลึกและความกว้างของถัง ตามลำดับ)



รูปที่ 2.5 การวิเคราะห์ถังตกตะกอนแบบอุดมคติ (มันลิน ตันทุลเวศม์, 2537)

จากรูป เมื่อ
$$V = \frac{Q}{A_s} = \frac{Q}{h_0 W} \quad (2.9)$$

สมมติว่าอนุภาคทั้งหมดตกตะกอนอย่างอิสระ และอนุภาคที่ตกถึงก้นถังถือว่าถูกกำจัดออกไป ระนาบในแนวเส้นประแสดงถึงวิถีทางเคลื่อนที่ของอนุภาคขนาดเล็กที่สุดที่สามารถถูกกำจัดออกไปทั้งหมด เมื่อพิจารณาการตกตะกอนบน เส้นประ ซึ่งอนุภาคน้ำเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ ในแนวราบ = V ความเร็วในการตกตะกอน = V_0 สม่่าเสมอ กำหนดให้ t เป็นเวลาที่ใช้ในการตกตะกอน และเมื่อเวลาเท่ากับระยะทางในการตกตะกอนหารด้วยความเร็วของการตกตะกอน

ดังนั้น
$$t = \frac{L}{V} = \frac{h_0}{V_0} \quad (2.10)$$

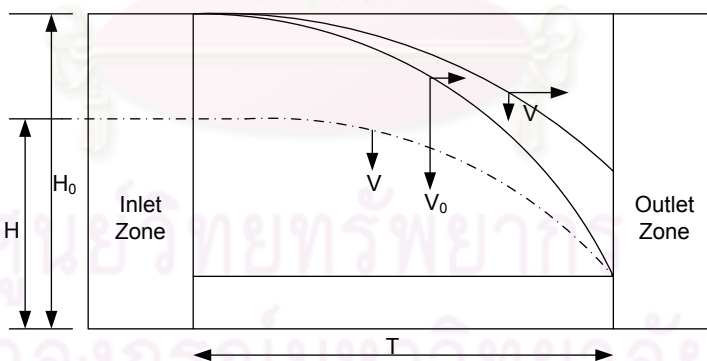
$$\text{เพราะฉะนั้น} \quad V_0 = \frac{h_0}{t} = \frac{h_0 V}{L} \quad (2.11)$$

$$\text{ดังนั้น} \quad V_0 = \frac{Q}{WL} = \frac{Q}{A} \quad (2.12)$$

โดยเทอม Q/A มีบทบาทสำคัญมากในการออกแบบ และควบคุมถังตก ตะกอน สำหรับถังตกตะกอนแบบอุดมคติที่มีขนาดพื้นที่ผิวหน้า เท่ากับ A และอัตราการไหลเข้าถัง เท่ากับ Q จะสามารถกำจัดอนุภาค (ด้วยวิธีตกตะกอน) ได้ทุกที่ตาม ที่ตกตะกอนด้วยความเร็วสูงกว่าหรือเท่ากับ Q/A ได้ทั้งหมด ซึ่งเทอม Q/A มีชื่อเรียกได้หลายอย่าง เช่น Surface Loading Rate, Surface Overflow Rate ฯลฯ หรือเรียกเป็นภาษาไทยว่า “อัตราน้ำล้นผิว”

2) ทฤษฎีสำหรับการตกตะกอนแบบรวมกลุ่ม

ในกรณีที่มีการตกตะกอนของอนุภาคต่างๆ มีโอกาสสามารถรวมกันเป็นกลุ่มก้อนที่มีขนาดใหญ่ และมีน้ำหนักมากขึ้น ความเร็วในการตกตะกอนจะเพิ่มขึ้น ทำให้วิถีของการตก ตะกอนเป็นเส้นโค้ง ดังแสดงในรูปที่ 2.6 การตกตะกอนของสารส้มหรือตะกอนที่เกิดจากกระบวนการโคแอกกูเลชันจัดว่าเป็นการตกตะกอนแบบรวมกลุ่ม แม้ว่าประสิทธิภาพในการตกตะกอนแบบโคแอกกูเลชันขึ้นอยู่กับ อัตราน้ำล้นผิวเพียงอย่างเดียว แต่ประสิทธิภาพในการตกตะกอนแบบรวมกลุ่มจะขึ้นอยู่กับ อัตราน้ำล้นผิวและเวลากักน้ำ

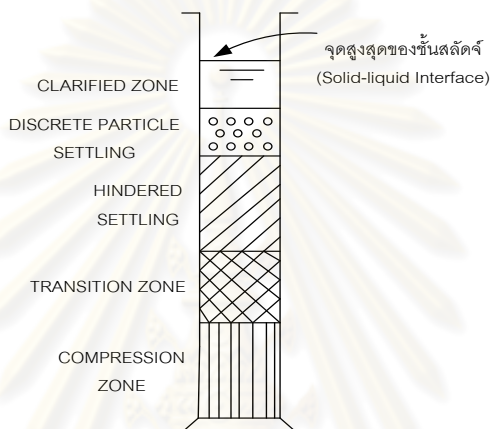


รูปที่ 2.6 การตกตะกอนแบบรวมกลุ่ม (มันสิน ตัณฑุลเวศม์, 2537)

เนื่องจากการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ ไม่อาจกระทำได้ในกรณีของการตกตะกอนแบบรวมกลุ่ม การหาพารามิเตอร์ที่จำเป็นต่างๆ จึงต้องกระทำโดยการวิเคราะห์ด้วยผลการทดลอง ตกตะกอนในถังทรงกระบอก

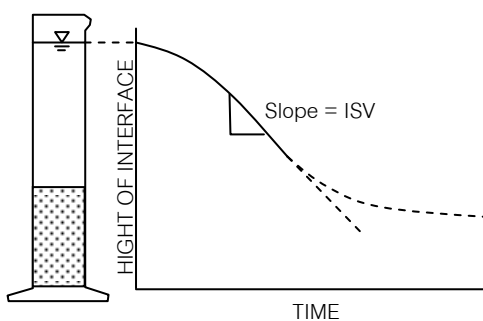
3) ทฤษฎีสำหรับการตกตะกอนแบบแบ่งชั้นหรือแบบมีอุปสรรค

การตกตะกอนแบบแบ่งชั้น เกิดขึ้นเมื่ออนุภาคต่างๆ จับตัวกันเป็นกลุ่มใหญ่จนเสมือนเป็นวัตถุก้อนเดียวที่ตกตะกอนด้วยอัตราเดียวกัน เมื่อมีการตกตะกอนแบบแบ่งชั้นจะเห็นการแยกตัวระหว่างชั้นสลัดจ์และน้ำอย่างเด่นชัด (ดังแสดงในรูปที่ 2.7) การตกตะกอนเช่นนี้เกิดขึ้นได้เฉพาะกับน้ำที่มีตะกอนแขวนลอยเข้มข้นสูง ตัวอย่างของการตกตะกอนแบบแบ่งชั้นได้แก่การตกตะกอนของระบบเอเอสในกระบอกตวง หรือการตกตะกอนของผลึกแคลเซียมและแมกนีเซียม



รูปที่ 2.7 การตกตะกอนแบบแบ่งชั้น (มันลีน ตันทูลเวศม์, 2537)

เมื่อปล่อยให้มีการตกตะกอนแบบแบ่งชั้นในกระบอกตวงหรือกระบอกไต่ และวัดระดับของจุดสูงสุดของชั้นสลัดจ์ (Solid-Liquid Interface) ที่ระยะเวลาต่างๆ เมื่อนำความสูงของชั้นสลัดจ์มาเขียนความสัมพันธ์เทียบกับเวลา จะได้กราฟที่มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.8 ชั้นสลัดจ์จะตกตะกอนด้วยอัตราคงที่และสูงสุดในระยะแรก จากนั้นจะตกตะกอนช้าลงเรื่อยๆ จนในที่สุดเกือบไม่มีการตกตะกอนเกิดขึ้นเลย การเปลี่ยนแปลงของอัตราเร็วในการตกตะกอนจะเกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของชั้นสลัดจ์เกิดขึ้น ระยะแรกอนุภาคต่างๆ แขนงลอยอยู่ในน้ำอย่างหลวม ดังนั้นถึงแม้ว่าการตกตะกอนจะเป็นแบบมีอุปสรรค (Hindered Settling) แต่ก็ยังมีช่องว่างในการตกตะกอนได้อีกบ้าง การตกตะกอนในช่วงแรกจะมีค่าคงที่ เรียกว่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน (Initial Settling Velocity หรือ ISV) ซึ่งความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนนี้จะใช้เป็นค่าที่แสดงถึงประสิทธิภาพในการตกตะกอนของสลัดจ์ โดยสลัดจ์ที่ตกตะกอนได้ดีจะมีค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนสูง โดยค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่ดีควรมีค่ามากกว่า 5 เมตรต่อชั่วโมง (Water Environment Federation, 2005)



รูปที่ 2.8 วิธีหากราฟของการตกตะกอนแบบแบ่งชั้น (มันลิน ตัณฑุลเวศม์, 2537)

4) ทฤษฎีสำหรับการตกตะกอนแบบอัดตัว

การตกตะกอนแบบอัดตัวเป็นลักษณะการตกตะกอนที่เกิดขึ้นจากการทับถมอัดตัวของชั้นสลัดจ์ บริเวณก้นถังตกตะกอน หลังจากที่เกิดการตกตะกอนในรูปแบบอื่นๆแล้วเป็นระยะเวลานาน โดยสามารถอธิบายความสูงของชั้นสลัดจ์ภายหลังการทับถมอัดตัว (Metcalf and Eddy, 2003) ด้วยสมการ

$$H_1 - H_\infty = (H_2 - H_\infty) e^{-i(t-t_2)} \quad (2.13)$$

เมื่อ	H_1	คือ ความสูงของสลัดจ์ที่เวลา t
	H_∞	คือ ความสูงของสลัดจ์หลังเกิดการตกตะกอนในช่วงระยะเวลาหนึ่งโดยกำหนดให้เป็น 24 ชั่วโมง
	H_2	คือ ความสูงของสลัดจ์ที่เวลา t_2
	i	คือ ค่าคงที่ของการแขวนลอย

2.2.2 ประสิทธิภาพของการตกตะกอนในระบบเอเอส

การตกตะกอนในระบบเอเอสจัดเป็นการตกตะกอนแบบแบ่งชั้น (Zone Settling) ดังนั้นการวัดประสิทธิภาพของการตกตะกอนในระบบเอเอสจึงสามารถวัดได้จาก ค่า Initial Settling Velocity หรือ ISV ซึ่งเป็นค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน โดยความเร็วเริ่มต้นซึ่งมีค่าคงที่นี้มีความหมายมาก และใช้เป็นดัชนีที่บ่งชี้ถึงความสามารถในการตกตะกอนของสลัดจ์ สลัดจ์ที่ตกตะกอนได้ดีย่อมมีค่า ISV สูง และสลัดจ์ที่ตกตะกอนได้เลวจะมีค่า ISV ต่ำ

การหาค่า ISV สามารถทำได้โดยการตกตะกอนแบบแบ่งชั้นในกระบอกตวงใสและวัดระดับของจุดสูงสุดของชั้นสลัดจ์ (Solid-Liquid Interface) ที่ระยะเวลาต่างๆ นำความสูงของชั้น

สลัดจ์มาเขียนความสัมพันธ์เทียบกับเวลา เช่นเดียวกับรูปที่ 2.8 จะสังเกตได้ว่าการตกตะกอนในช่วงแรกจะมีค่าความเร็วในการตกตะกอนคงที่สังเกตได้ว่า เส้นกราฟจะเป็นเส้นตรงและเรียกว่า Initial Settling Velocity หรือ ISV เมื่อการตกตะกอนผ่านไป ช่องว่างในน้ำจะเหลือน้อยลงเรื่อยๆ เมื่อถึงจุดหนึ่งความเร็วเริ่มต้น (ISV) จะมีค่าลดลง กล่าวได้ว่าสลัดจ์ได้เริ่มเข้าไปอยู่ในระยะเปลี่ยนแปลง (Transition Zone) ซึ่งเป็นระยะที่อนุภาคบางส่วน เคลื่อนที่เข้ามาใกล้จนสัมผัสกันพอดี อัตราการตกตะกอนจะลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งอนุภาคทั้งหมดสัมผัสกันพอดี ต่อจากนี้ สลัดจ์จะอยู่ในระยะอัดตัว (Compression Zone) ซึ่งมีการทับถม เพื่อบีบน้ำออกจากชั้นสลัดจ์ เป็นครั้งสุดท้าย ระยะอัดตัวนี้ชั้นสลัดจ์จะมีการเคลื่อนที่เข้ามา

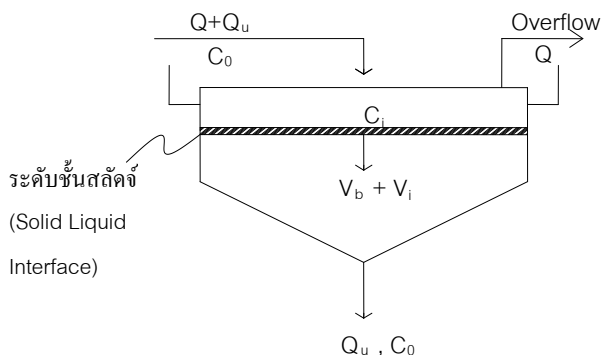
2.2.3 การหาอัตราเร็วของการตกตะกอนในระบบเอเอส

การตกตะกอนในระบบเอเอส เป็นการตกตะกอนแบบที่ 3 หรือ การตกตะกอนแบบแบ่งชั้น การวิเคราะห์ผลการตกตะกอนแบบแบ่งชั้น หรือแบบมีอุปสรรคทำได้โดยการวิเคราะห์การตกตะกอนโดยใช้ทฤษฎีฟลักซ์ของแข็ง (Solids Flux Theory) ทฤษฎีดังกล่าวมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.2.3.1 ทฤษฎีโซลิดฟลักซ์ (Solids Flux Theory)

เมื่อพิจารณาจากถังตกตะกอน ซึ่งได้รับน้ำที่มีตะกอนแขวนลอยเข้มข้น จนมีการตกตะกอนแบบแบ่งชั้นเกิดขึ้น ในกรณีเช่นนี้ จำเป็นต้องมีการระบายสลัดจ์ออกจากถังถึงตกตะกอน (รูปที่ 2.9) การเคลื่อนที่ของชั้นสลัดจ์ในถังจึงเกิดขึ้นเนื่องจากแรง 2 ชนิดคือ แรงดึงดูดของโลกและแรงที่เกิดจากการระบายสลัดจ์ออกจากถังตกตะกอน (จากการดูดสลัดจ์ออก)

ให้ v_i คือ ความเร็วในการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ C_i
 และ v_b คือ ความเร็วของสลัดจ์ที่เคลื่อนที่ลงเนื่องจากการระบายสลัดจ์ออกจากถังถึงตกตะกอน



รูปที่ 2.9 การเคลื่อนที่ของตะกอนสลัดจ์ในถังตกตะกอน
(Water Pollution Control Federation, 1985)

การเคลื่อนที่ของชั้นสลัดจ์ ผ่านถังตกตะกอน วัดในเทอมของมวลน้ำหนัที่ตกตะกอนต่อเวลาต่อพื้นที่ของถัง เรียกว่า ไชลิดฟลักซ์ (Solid Flux) หรือ G มีหน่วย กก./ชม.-ตร.ม.หรือ ปอนด์/ชม.-ตร.ฟุต สลัดจ์ที่มีความเข้มข้น C_i และ มีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว v_i จะมีไชลิดฟลักซ์ หรือ G ซึ่งคำนวณได้ดังสมการที่ (2.14)

$$G = C_i v_i \quad (2.14)$$

เนื่องจากความเร็วการเคลื่อนที่ของชั้นสลัดจ์ในถังตกตะกอน เกิดขึ้นด้วยสาเหตุ 2 อย่าง คือ ความเร็วของแรงโน้มถ่วงของโลก v_i และ ความเร็วของการดูดสลัดจ์ออก v_b ไชลิดฟลักซ์ทั้งหมดของถังตกตะกอน (G_T) จึงมีค่าดังนี้

$$G_T = G_b + G_g \quad (2.15)$$

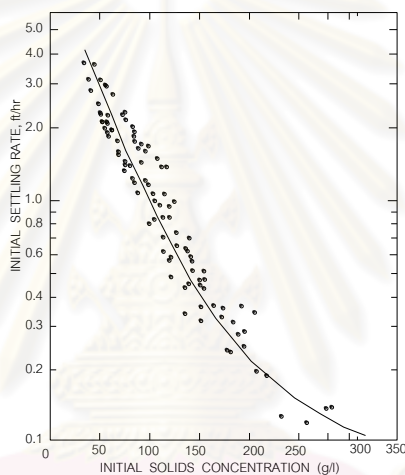
$$G_T = C_i v_b + C_i v_i \quad (2.16)$$

G_b และ G_g เรียกว่า Bulk Flux และ Settling Flux ตามลำดับ G_b เป็นฟลักซ์ที่เกิดจากการระบายสลัดจ์ออกจากถังตกตะกอนส่วน G_g เป็นฟลักซ์ที่เกิดจากการเคลื่อนที่ด้วยน้ำหนักตัวของชั้นสลัดจ์ (เนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก)

Settling Flux หรือ G_g สามารถหาได้ โดยการทดลองตกตะกอนสลัดจ์ที่มีความเข้มข้นต่างๆในกระบอกใส วัดความสูงของชั้นสลัดจ์ที่เวลาต่างๆ และนำมาเขียนกราฟ ระหว่างความสูงและเวลา (แสดงดังรูปที่ 2.8) ความชันของกราฟส่วนที่เป็นเส้นตรง จะเท่ากับความเร็วเริ่มต้นของ

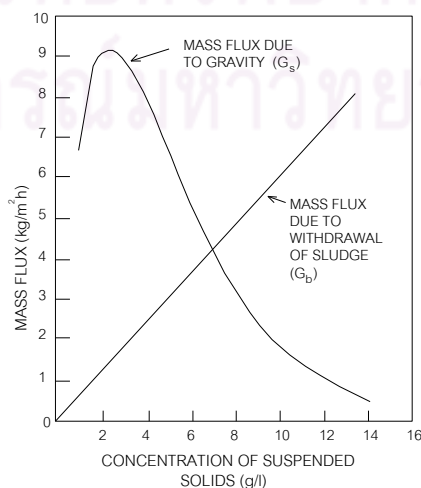
การตกตะกอน (Initial Settling Velocity, ISV) ของสลัดจ์ที่มีความเข้มข้นค่าใดค่าหนึ่ง สลัดจ์จากแหล่งเดียวกัน แต่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน จะมีความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอนไม่เท่ากัน

สลัดจ์ที่มีความเข้มข้นสูงจะตกตะกอนช้า ทั้งนี้เพราะความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยเป็นอุปสรรคต่อการตกตะกอน รูปที่ 2.10 เป็นตัวอย่างแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสลัดจ์ และอัตราเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอน แต่ละจุดของกราฟที่ได้เป็นผลซึ่งได้จากการทดลองตกตะกอนสลัดจ์ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นแตกต่างกันในกระบอกไซ การเปลี่ยนแปลงของ G_0 ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ อาจดูได้จากกราฟที่เขียนดังแสดงในรูปที่ 2.11 จะเห็นได้ว่า การเพิ่มความเข้มข้นในระยะแรกทำให้สลัดจ์เคลื่อนที่ผ่านถังตกตะกอนได้รวดเร็วขึ้น แต่เมื่อถึงความเข้มข้นระดับหนึ่งแล้ว การเพิ่มความเข้มข้นทำให้สลัดจ์เคลื่อนที่ช้าลง



รูปที่ 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสลัดจ์ (C)

และอัตราเร็วเริ่มต้น ในการตกตะกอนของชั้นสลัดจ์ (มันลีน ตันทูลเวตส์, 2537)

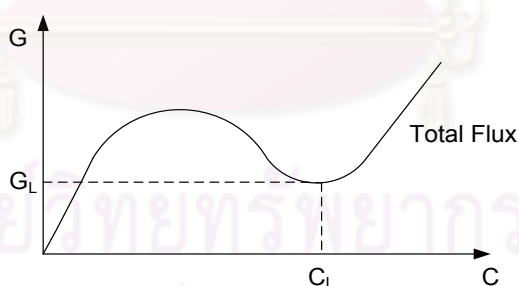


รูปที่ 2.11 โซลิตฟลักซ์ G_g และ G_b ของถังตกตะกอน

ที่ระดับความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย (มันลิน ตัณฑุลเวศม์, 2537)

Bulk Flux (G_b) สามารถหาได้ง่ายกว่า G_g เพราะไม่ต้องทำการทดลองใดๆ เลย G_b ที่ระดับความเข้มข้นใดๆ คำนวณได้โดยตรง จากผลคูณระหว่างความเข้มข้นนั้นๆ กับความเร็วของการไหลในการระบายสลัดจ์ (รูปที่ 2.11) การเปลี่ยนอัตราเร็วในการระบายสลัดจ์ออกจากถังตกตะกอน (v_b) ทำให้กราฟ G_b มีความแตกต่างกัน

กราฟของ Total Flux (G_T) ได้มาจากผลบวกระหว่าง G_g และ G_b และสามารถเขียนกราฟได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.12 ภาพนี้แสดงว่า สลัดจ์ที่มีความเข้มข้น C_L จะมีค่าฟลักซ์น้อยที่สุด (Limiting Flux หรือ G_L) หมายความว่าถังตกตะกอนแต่ละใบซึ่งมีอัตราการระบายสลัดจ์ออกจากถังตกตะกอนคงที่ (v_b) จะมีความสามารถจำกัดในการรับตะกอนแขวนลอย นั่นคือสลัดจ์จะเคลื่อนที่ผ่านถังตกตะกอนได้ไม่เกินค่า G_L ถ้าน้ำพาตะกอนแขวนลอยเข้าถังตกตะกอนในอัตราสูงกว่า G_L การระบายสลัดจ์ออกจากถังตกตะกอนด้วยอัตรา v_b ซึ่งใช้คำนวณ G_L จะไม่เพียงพอ ทำให้สลัดจ์สะสมในถังตกตะกอน การเพิ่ม v_b จะทำให้ G_L เพิ่มขึ้นด้วย แต่มีข้อเสียคือ ทำให้สลัดจ์ที่ระบายออกมีความเข้มข้นต่ำและมักทำให้ต้องเปลืองพลังงานในการสูบสลัดจ์เพิ่มขึ้น ดังนั้นการเพิ่ม v_b จึงมีขีดจำกัด เพื่อให้ได้ค่า G_L ที่เหมาะสมที่สุด



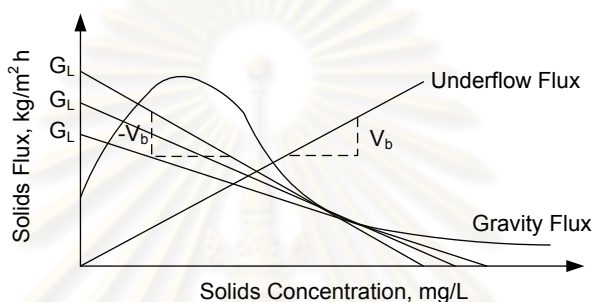
รูปที่ 2.12 เส้นโค้ง Total flux และการหาค่า G_L แบบธรรมดา (มันลิน ตัณฑุลเวศม์, 2537)

2.2.3.2 การหาค่า G_L โดยวิธีโยชิโอกา (Yoshioka)

การหาค่า G_L ดังแสดงในรูปที่ 2.12 นั้นเป็นวิธีที่ไม่สะดวก วิศวกรญี่ปุ่นชื่อ โยชิโอกา จึงได้คิดวิธีอย่างง่ายในการหาค่า G_L ของระดับ v_b ต่างๆ โดยต้องเพียงการกราฟ G_g เท่านั้น ทำให้สะดวกในการหาค่า G_L มากกว่า

วิธีของโยซิโอกาทำได้โดยการคำนวณและลากเส้นกราฟ G_u จากนั้นลากเส้นตรงที่มีความชัน $-v_b$ สัมผัสกับกราฟ G_u จุดตัดของเส้นตรงบนแกน G จะเท่ากับ G_L ส่วนจุดตัดบนแกน C ของกราฟเส้นตรงจะแทนค่า C_u ซึ่งเป็นความเข้มข้นของสลัดจ์ที่ระบายออกจากกันถึงตกตะกอนด้วยอัตราเร็ว v_b ดังแสดงในรูปที่ 2.13

ด้วยเหตุนี้ข้อดีก็คือ นอกจากจะหา G_L ได้แล้วยังสามารถหาค่า C_u หรือความเข้มข้นของสลัดจ์ที่กันถึงตกตะกอนที่เหมาะสมได้โดยการเปลี่ยนค่า V_b หรือความเร็วในการสูบสลัดจ์หมุนเวียนได้อีกด้วย



รูปที่ 2.13 การหาค่า G_L โดยวิธีโยซิโอกา (Water Pollution Control Federation, 1985)

เนื่องจากค่า G_L เป็นค่าที่ทำให้ทราบว่า สลัดจ์สามารถเคลื่อนที่ผ่านถึงตกตะกอนที่มีพื้นที่ 1 หน่วยได้ในอัตราไม่เกิน G_L หน่วยน้ำหนักต่อเวลา ดังนั้นถ้าทราบว่าสลัดจ์เข้าสู่ถึงตกตะกอนในอัตราเท่าใด ก็จะสามารถคำนวณหาพื้นที่ของถึงตกตะกอนที่ต้องการได้จาก

$$A = L_0 / G_L \quad (2.17)$$

โดยที่

$$A = \text{พื้นที่ผิวหน้าของถึงตกตะกอน}$$

$$L_0 = \text{มวลของสลัดจ์ที่เข้าสู่ถึงตกตะกอน/เวลา}$$

2.2.4 หน้าพื้นที่ของถึงตกตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส

ระบบบำบัดน้ำเสียเอเอส(Activated Sludge) ประกอบด้วยส่วนต่างๆดังที่กล่าวมาข้างต้น ส่วนของถึงตกตะกอนเป็นส่วนสำคัญไม่ใช่เป็นเพียงแต่มีหน้าที่แยกของแข็งออกจากของเหลวเท่านั้น ถึงตกตะกอนยังมีหน้าที่เป็นที่พักตะกอนสลัดจ์ชั่วคราว และยังมีหน้าที่ควบคุมอัตราการทิ้ง

และหมุนเวียนตะกอนกลับสู่ถังปฏิบัติการอีกด้วย ถังตกตะกอนจัดว่าเป็นส่วนสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำทิ้ง ซึ่งจะบ่งบอกได้ถึงประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้โดยตรง

2.3 แนวคิดในการใช้วัสดุช่วยตกตะกอนในระบบเอเอส

จากความแตกต่างในแง่ของอายุสลัดจ์ในระบบเอเอสที่ต่างกันนั้น ส่งผลให้ความสามารถในการตกตะกอนของระบบแตกต่างกันดังที่ได้กล่าวไว้ ในหัวข้อที่ 2.1.10 ที่ผ่านมา ทำให้เกิดแนวคิดในการที่จะเพิ่มประสิทธิภาพของการตกตะกอนในระบบเอเอส ทั้งในระบบเอเอสที่มีอายุสลัดจ์อยู่ในช่วงปกติ คือ 10 วัน และระบบเอเอสที่มีอายุสลัดจ์น้อยหรือสูงมาก เช่น 3 และ 30 วัน และไม่ว่าระบบเอเอสจะมีค่าอายุสลัดจ์น้อยหรือ สูง เมื่อมีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอน เช่น ทาลถ่านกัมมันต์ชนิดผง และยางบดละเอียดเข้าไปในระบบเอเอสแล้วทำให้สลัดจ์ในระบบตกตะกอนได้ดี จะช่วยให้สามารถนำระบบเอเอสไปใช้ได้กว้างขวางขึ้น โดยวัสดุช่วยตกตะกอนอาจเป็นไส้สัมผัสให้จุลินทรีย์เกาะติดเกิดเป็นฟล็อกที่มีขนาดใหญ่ และสามารถตกตะกอนได้ดีขึ้น ช่วยลดปัญหาในแง่ของการตกตะกอนของสลัดจ์ในระบบและช่วยลดตะกอนที่จะหลุดออกไปกับน้ำทิ้ง หลังจากการบำบัดโดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบเอเอสที่มีอายุสลัดจ์น้อย ทำให้น้ำทิ้งจากการบำบัดน้ำเสียดีขึ้นได้

การเติมวัสดุช่วยตกตะกอนเข้าไปในระบบเอเอสแล้ว สามารถช่วยให้การตกตะกอนของสลัดจ์ในระบบมีประสิทธิภาพดี เป็นผลให้ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน (Initial Settling Velocity, ISV) ของสลัดจ์ในระบบเอเอสนั้นมีค่าเพิ่มมากขึ้น และอาจช่วยปรับปรุงให้ถังตกตะกอนของระบบเอเอสมีขนาดเล็กลงได้

โดยในงานวิจัยนี้จะทำการเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอนของสลัดจ์ในระบบเอเอสด้วยการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนเข้าไปในระบบ เนื่องจากที่ผ่านมาได้มีงานวิจัย เช่น ในงานวิจัยของ Bidault (Bidault, 1997) ได้มีการนำผงทาลมาใช้เป็นวัสดุเพื่อนำมาปรับปรุงลักษณะการตกตะกอนในระบบเอเอสให้ดีขึ้น แต่ก็ยังไม่มีการวิจัยได้นำทาลมาเป็นวัสดุช่วยตกตะกอนเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอนของระบบเอเอสที่ควบคุมอายุสลัดจ์ต่างๆ กัน ส่วนของถ่านกัมมันต์ชนิดผงนั้น ในงานวิจัยต่างๆ ที่ผ่านมามีส่วนมากจะนำถ่านกัมมันต์มาใช้เป็นวัสดุที่ใส่ในระบบเอเอสเพื่อศึกษาในแง่การกำจัดซีโอดี ในน้ำเสียเท่านั้น และส่วนยางบดละเอียดที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ ก็เนื่องจากว่ามีการวิจัยที่ผ่านมาได้นำเอายางรถยนต์เก่าบดละเอียดมาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย อีกทั้งยังพบว่ายางไม่มีความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ในระบบ (Park J., 2006) จึงเป็นที่น่าสนใจว่า ถ่านกัมมันต์และยางนั้น ก็ อาจนำมาใช้เป็นวัสดุช่วยตกตะกอนในระบบเอเอสได้เช่นกัน

โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของการนำยางเก่ามาใช้ในงานด้านการบำบัดน้ำเสีย นั้น ถือเป็น การนำเอาวัสดุเหลือใช้กลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์อีกด้วย

โดยในการเลือกวัสดุช่วยตกตะกอนที่จะนำมาใช้ในงานวิจัยนั้น ยังต้องคำนึงถึง คุณลักษณะต่างๆ ของสารที่จะเติมเข้าไปในระบบ กล่าวคือ สิ่งที่จะใช้เป็นวัสดุช่วยตกตะกอนใน ระบบเอเอสจะต้องเป็นสารที่ไม่ทำปฏิกิริยาใดๆ กับทั้งจุลชีพในระบบและน้ำเสีย เป็นวัสดุที่สามารถหาได้ง่าย มีราคาถูก เป็นวัสดุที่ไม่แข็งจนอาจก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบบำบัด เป็นสารที่สามารถตกตะกอนได้ง่าย มีขนาดอนุภาคเล็กแต่น้ำหนัก แต่ต้องไม่หนักมากเกินไปจนอาจก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับส่วนของกรตเติมอากาศ

ส่วนในแง่ของกลไกการเกาะตัวกันระหว่างวัสดุช่วยตกตะกอนและฟล็อกจุลชีพนั้น ที่ผ่านมายังไม่มีงานวิจัยใดที่ทำการศึกษาในเรื่องนี้ แต่ในงานวิจัยนี้คาดว่าสารที่เติมวัสดุช่วยตกตะกอนเข้าไปในระบบเอเอสแล้วทำให้ประสิทธิภาพการตกตะกอนของระบบเพิ่มมากขึ้นนั้น อาจเกิดได้จาก การที่วัสดุช่วยตกตะกอนที่เติมเข้าไปในระบบสามารถที่จะเป็นเป้าสัมผัสให้กับจุลชีพที่มีอยู่ในระบบ เกิดเป็นกลไกการเกาะติดกันที่ ผิวนวาระหว่างวัสดุช่วยตกตะกอนกับจุลชีพ ทำให้เกิดฟล็อกที่มีขนาดใหญ่ขึ้น และฟล็อกที่ได้มีน้ำหนักมากขึ้น ส่งผลให้ความเร็วของการตกตะกอนของสลัดจ์ในระบบเอเอสนั้นสูงขึ้นด้วย

2.4 งานวิจัยที่ผ่านมา

2.4.1 ทาล (Talc)

จากการค้นคว้างานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า ทาล (Talc) ถูกใช้เป็นวัสดุช่วยตกตะกอนในระบบเอเอส โดยมีผลในด้านการเพิ่มประสิทธิภาพของการตกตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียเอเอส ซึ่งงานวิจัยดังกล่าวได้แก่

Cantet และคณะ (1996) ศึกษาการยกระดับความสามารถในการบำบัดของระบบเอเอสด้วยการเติมผงทาล (Upgrading performance of an activated sludge through addition of talqueous powder)

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบเอเอสด้วยการผสมผงทาลในถังเติมอากาศ ด้วยสมมุติฐาน คือ ปรับปรุงโครงสร้างของฟล็อก และช่วยในการเพิ่มความสามารถในการตกตะกอนโดยทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ และใช้น้ำเสียจริงจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชน

เมือง Toulouse ประเทศฝรั่งเศส โดยทำการเดินระบบเอเอสในห้องปฏิบัติการเป็นเวลาประมาณ 1 ปี เริ่มเติมผงทาลเมื่อระบบเข้าสู่สมดุล ซึ่งลักษณะของผงทาลจะมีขนาดไม่เกิน 300 ไมครอน มีความหนาแน่น 2.8 ความเข้มข้น 80 - 120 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร ผลที่ได้รับพบว่า การเติมผงทาลจะช่วยปรับปรุงความสามารถในการตกตะกอน และเพิ่มการเกิดไนตริฟิเคชันให้กับระบบ สลัดจ์ที่ได้มีลักษณะเป็นสลัดจ์ที่ดี ตลอดจนสลัดจ์สามารถรีดน้ำได้ดีขึ้น

Bidault และคณะ (1997) ศึกษาการจับตัวเป็นก้อน และโครงสร้างของฟล็อกชีวภาพด้วยการเติมสารทาล (Floc agglomeration and structuration by a specific talc mineral composition)

ในงานวิจัยนี้ ได้มีการศึกษาประสิทธิภาพในการสร้างฟล็อก โดยการเติมทาล ลงในถังเติมอากาศ เพื่อเป็นการปรับปรุงการรวมตัวกัน และเพิ่มความหนาแน่นของฟล็อกที่เกิดขึ้น ในระบบเอเอส แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ ขั้นแรกการทดลองในห้องปฏิบัติการด้วยการทำ jar-test วัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ตลอดจนสังเกตลักษณะฟล็อกจากกล้องจุลทรรศน์ และขั้นที่ 2 นำไปประยุกต์ใช้จริงในโรงบำบัดน้ำเสีย 2 แห่งในเมือง Brittany ประเทศฝรั่งเศส โดยการเติมทาลในการทดลองนี้จะเติมโดยเทียบกับความเข้มข้นของมวลจุลชีพ ที่ความเข้มข้นต่างกันคือ 0, 40, 60, 80, 100% (W/W) ขนาดของฟล็อกที่ได้จะเป็น 230, 260, 380, 420 และ 450 ไมครอน ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า ทาลสามารถช่วยในการก่อตัวของฟล็อกให้มีขนาดใหญ่ขึ้น ส่วนการนำไปใช้ในโรงบำบัดน้ำเสียจริงนั้นพบว่าน้ำเสียที่ใช้ทาล จะมี SVI ลดลงทั้ง 2 แห่ง จะเห็นได้ว่าการเติมทาล จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการตกตะกอนในระบบเอเอสจริงได้ โดยงานวิจัยชิ้นนี้ได้บอกถึงข้อดีของทาลไว้คือ เป็นสารที่ไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำเสีย กัดกร่อนได้ยาก เบา และที่มีความกระด้างต่ำที่สุดในโลก ไม่ละลายน้ำ เข้ากันได้ดีกับจุลชีพ

Piirtola และคณะ (1999) ศึกษาการควบคุมการเดินระบบเอเอสด้วยวัสดุช่วยตกตะกอน (Activated sludge Ballasting in pilot plant operation)

ศึกษาการใช้วัสดุช่วยตกตะกอน คือ CaCO_3 , Apatite และทาล ในการควบคุมการเดินระบบเอเอส ที่มีซีไอดี 300 มก./ล. โดยการวิเคราะห์ลักษณะผิวของสาร ความเร็วในการตกตะกอน และความสามารถในการกรอง ซึ่งความสามารถในการกรองในที่นี้บ่งบอกได้ถึงความแข็งแรงของฟล็อก โดยวัสดุที่ใช้ทั้งหมดนั้น ทาล มีความสามารถช่วยปรับปรุง ลักษณะการตกตะกอนในแง่ของการเพิ่มความเร็วในการตกตะกอน และความสามารถในการกรอง ส่วน CaCO_3 มีส่วนช่วยในการตกตะกอนเพียงอย่างเดียว และ Apatite ไม่มีส่วนช่วยเพิ่มทั้งความเร็วของการตกตะกอนในการ

ทดลอง และความสามารถในการกรองใดๆทั้งสิ้น การทดลองนี้ทำการใส่ทาลด้วยอัตราส่วน 120% (W/W) หลังจากเติม สามารถปรับปรุง SVI จาก 800 มก./ล. เป็น 200 มก./ล. ได้ทันที แต่ถ้าทำการเดินระบบเป็นเวลานาน การเติมทาลเพียง 10% (W/W) ก็เพียงพอที่จะช่วยเลี้ยงให้ตะกอนจุลชีพให้ SVI ต่ำๆได้

2.4.2 ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Powder Activated Carbon, PAC)

จากคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ชนิดผง ที่สามารถเป็นตัวดูดซับที่ดี งานวิจัยส่วนมากจึงเกี่ยวข้องกับความสามารถในการดูดซับมากกว่าการเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอนและการจับตัวของผงถ่านกับจุลชีพ โดยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผงในระบบเอเอส มีดังนี้

Lee และคณะ (1989) ศึกษาการใช้ ถ่านกัมมันต์แบบผง (PAC) ดูดซับโครเมียม (VI) ในน้ำเสียของกระบวนการบำบัดน้ำเสียเอเอส (Treatment of Cr(VI)-containing wastewater by addition of powdered activated carbon to the activate sludge process)

ผลจากการเติมถ่านกัมมันต์แบบผง (PAC) เพื่อกำจัด Cr(VI) ในระบบเอเอส ในงานวิจัยพบว่า อัตราการดูดซับของ PAC จะสูงกว่าการดูดซับ Cr(VI) ด้วยฟล็อกของจุลชีพในระบบ เมื่อแสดงผลของการเติม PAC จะสามารถกำจัดซีโอดี และ Cr(VI) ได้ถึง 96 และ 41%ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับระบบเอเอสแบบธรรมดาจะสามารถ กำจัดได้ 85 และ 9% ตามลำดับ และในงานวิจัยยังกล่าวว่าการเติม PAC จะช่วยในการเพิ่มอัตราการเติบโตของจุลชีพด้วย

2.4.3 ยางบดละเอียด (Crumb rubber)

จากปัญหาในการกำจัดยางรถยนต์เก่า และการนำกลับมาใช้ใหม่ยังคงเป็นส่วนที่น้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณยางรถยนต์ที่ ถูกทิ้งในแต่ละปี จึงได้มีการนำเอายางรถยนต์เก่านั้นกลับมาใช้ในงานที่เกี่ยวกับการบำบัดดิน (Azizian และคณะ (2003)) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่นำเอายางรถยนต์เก่านี้มาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งงานวิจัยดังกล่าว ได้แก่

Park และคณะ (2006) ศึกษาการนำเอาเศษยางรถยนต์ เก่ามาใช้เป็นสารกรองชีวภาพ (Evaluation of Tire derived rubber particles for biofiltration media)

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาความเหมาะสมในการใช้เศษยางรถยนต์เก่า (Tire Derived Rubber Particles: TDRP) มาใช้เป็นตัวกลาง โดยทำการทดลองทั้งในสภาพที่เป็นแอโรบิก แอนแอโรบิก ค และแอนนอกซิก ระบบที่ใช้ในการทดลองนี้ ได้แก่ Trickling filter, Denitrification filter และ Hybrid- static granular bed reactor (hybrid SGBR)

จากการทดลองพบว่า

- ระบบ trickling filter ที่ใช้เศษยางรถยนต์เก่านั้น สามารถกำจัด COD ได้ถึง 90%
- ระบบ hybrid SGBR นั้นหลังจากการใส่เศษยางรถยนต์เก่าแล้ว anaerobic granular sludge จะเกาะตัวที่เม็ดยางและมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD ได้มากกว่า 90%
- ระบบ Anoxic TDRP filter นั้นพบว่าสามารถกำจัด $\text{NO}_3\text{-N}$ ได้มากกว่า 97%

นอกจากนี้จากการทดลองยังพบว่า ยางรถยนต์เก่าที่ใช้เป็นตัวกลางนั้น ไม่มีความเป็นพิษต่อจุลชีพในระบบและยังให้พื้นที่ผิวที่ดีต่อการเกาะตัวของจุลชีพอีกด้วย

จากงานวิจัยที่ผ่านมา จะเห็นได้ว่า ทาล (Talc) เป็นสารที่ได้รับความนิยมในการใช้เป็นวัสดุช่วยตกตะกอน โดยผลจากการใช้ทาลเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน พบว่า สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการตกตะกอนในแง่ของความเร็วในการตกตะกอน และไม่ทำปฏิกิริยาใดๆกับน้ำเสีย อีกทั้งยังสามารถเข้ากันได้กับจุลชีพที่อยู่ในระบบ

แม้ว่าจะไม่มีงานวิจัยของถ่านกัมมันต์ชนิดผงและยางบดละเอียด ที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอนของระบบเอเอสส์ก็ตาม แต่ด้วย คุณสมบัติที่ไม่มีความเป็นพิษและไม่ทำปฏิกิริยาใดๆต่อจุลชีพ สามารถเป็นเป้าสัมผัสและมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีในน้ำเสีย ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น วัสดุทั้งสองชนิดนี้จึงเป็นที่น่าสนใจในการที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุช่วยตกตะกอนในงานวิจัยนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

แผนการทดลองและการดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

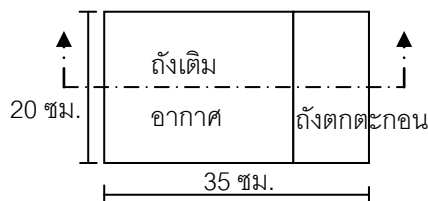
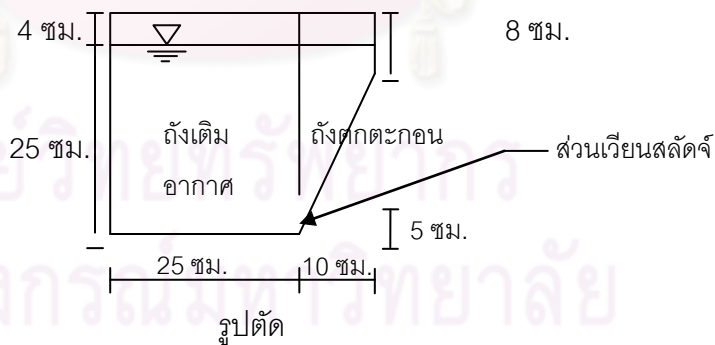
3.1.1 ระบบที่ใช้ในการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองระดับห้องปฏิบัติการ (Laboratory - scale) โดยระบบที่ใช้ในการทดลองคือ ระบบเอเอสแบบ กวนผสมบูรณ์ (Completely Mixed Activated Sludge) ถึงปฏิกิริยาที่ใช้เป็นแบบต่อเนื่องที่มีการเวียนสลับจกกลับ ซึ่งระบบจะประกอบด้วย

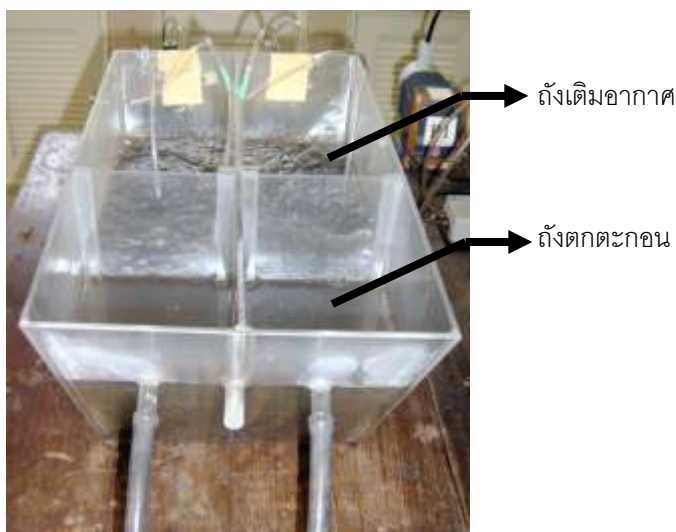
1. ถังปฏิกิริยา

ถังปฏิกิริยาที่ใช้เป็นพลาสติกใสมีขีดบอกริมาตร สำหรับการเลี้ยงตะกอนจุลชีพร่วมกับวัสดุช่วยตกตะกอน มีปริมาตร 10 ลิตร ภายในถังปฏิกิริยานั้นส่วนของถังเติมอากาศและถังตกตะกอนจะถูกแยกออกจากกัน ด้วยแผ่นกั้นพลาสติกที่มีระยะช่องว่างห่างจากกันถึงประมาณ 5 เซนติเมตร และให้ตะกอนไหลกลับเข้าถังเติมอากาศเองทั้งหมด

ภายในถังเติมอากาศนั้นจะทำการติดตั้งหัวเติมอากาศและทำการให้อากาศแก่ระบบด้วยปั๊มลม โดยถังปฏิกิริยาที่ใช้ในการทดลองมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.1 และ 3.2



รูปที่ 3.1 รายละเอียดถังปฏิกิริยา (scale 1:10)



รูปที่ 3.2 ลักษณะถังปฏิบัติการที่ใช้ในการทดลอง

2. เครื่องสูบน้ำเสีย

เครื่องสูบน้ำเสียเข้าสู่ระบบเป็นเครื่องสูบน้ำแบบไดอะแฟรม (Diaphragm Pump) ที่สามารถปรับเปลี่ยนอัตราการสูบได้ โดยในการทดลองนี้จะตั้งอัตราการสูบน้ำเสียเข้าสู่ระบบตามที่ออกแบบไว้ที่ 13.6 ลิตรต่อวัน

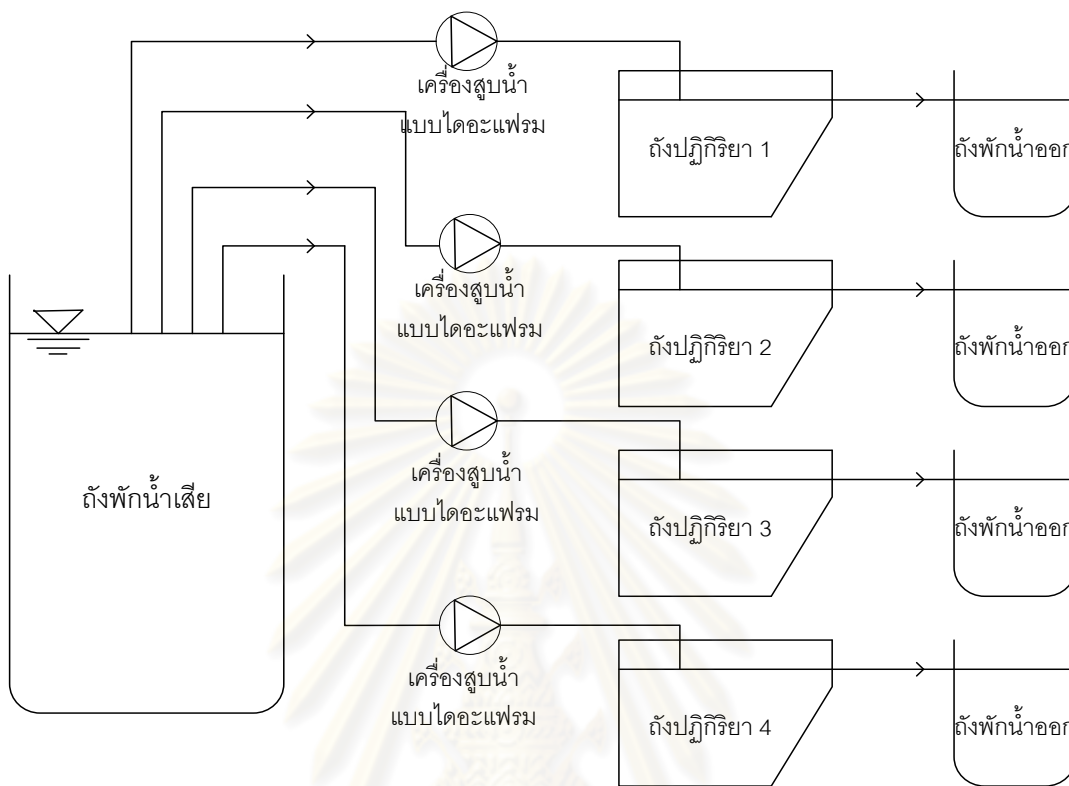
3. ถังพักน้ำเสียเข้าระบบ

เป็นถังพลาสติกมีปริมาตร 80 ลิตร สามารถเก็บน้ำเสียสำหรับจ่ายเข้าสู่ 4 ถังปฏิบัติการและเวลาปริมาตรในการกักเก็บน้ำเสียไว้ได้อย่างน้อย 1 วัน ภายในถังมีซีดบอกริมาตรน้ำทุกๆ 1 ลิตร เพื่อใช้ในการตรวจสอบอัตราการสูบน้ำเสียเข้าสู่ระบบ

4. ถังพักน้ำออก

เป็นถังพลาสติกมีปริมาตร 20 ลิตร 4 ถัง สามารถเก็บน้ำออกและเวลาปริมาตรในการกักเก็บน้ำเสียไว้ได้อย่างน้อย 1 วัน ภายในถังมีซีดบอกริมาตรน้ำทุกๆ 1 ลิตร เพื่อใช้ในการตรวจสอบอัตราการสูบน้ำเสียออก

รูปภาพแสดงการติดตั้งอุปกรณ์ในการดำเนินการทดลองแสดงในรูปที่ 3.3 – 3.4



รูปที่ 3.3 การติดตั้งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3.4 รายละเอียดการติดตั้งระบบที่ใช้ในการทดลอง

3.1.2 น้ำเสียสังเคราะห์

น้ำเสียสังเคราะห์ (Synthetic wastewater) ที่ใช้ในการทดลองนี้จะใช้น้ำตาลทรายเป็นแหล่งสารอินทรีย์คาร์บอน ใช้ยูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจน และมีธาตุอาหารต่างๆ ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบ มีส่วนประกอบแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ส่วนประกอบของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ (สุรชัย, 2526)

ส่วนประกอบของน้ำเสียสังเคราะห์	ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/ลิตร)
น้ำตาลทราย	500
ยูเรีย	75
NaHCO ₃	60
CaCl ₂ ·2H ₂ O	20
FeCl ₃ ·6H ₂ O	5
K ₂ HPO ₄	10
MgSO ₄ ·7H ₂ O	3

เมื่อนำน้ำเสียสังเคราะห์ไปวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ พบว่ามีค่าดังนี้

ซีโอดี (COD)	550	มิลลิกรัมต่อลิตร
ทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen, TKN)	35	มิลลิกรัมต่อลิตร
ฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total-P)	6	มิลลิกรัมต่อลิตร
พีเอช (pH)	7.3	
COD : N : P	100 : 6.36 : 1.09	

3.1.3 วัสดุช่วยตกตะกอนที่ใช้ในงานวิจัย

ในการทดลองนี้จะวัดการเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอนด้วยความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน หรือ Initial Settling Velocity (ISV) สารที่ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอนของการทดลองนี้จะต้องเป็นสารที่ไม่ทำปฏิกิริยาใดๆกับทั้งจุลินทรีย์และน้ำเสีย มีขนาดอนุภาคเล็ก

แต่น้ำหนัก สามารถที่จะตกตะกอนได้ง่ายและสามารถที่จะเป็นเป้าสัมผัสให้จุลชีพเกาะตัวได้ โดยในงานวิจัยนี้จะเรียกสารชนิดนี้ว่า วัสดุช่วยตกตะกอน (Ballasting agent)

วัสดุช่วยตกตะกอนที่เลือกใช้ในการทดลองนี้จะเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายตามท้องตลาด มีราคาถูก มีความนิยมใช้ในงานวิจัยด้านวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม และนอกจากนั้นในงานวิจัยนี้ยังได้มีการนำเอาวัสดุเหลือใช้ คือ ยางรถยนต์เก่า มาใช้เป็นวัสดุช่วยตกตะกอน ซึ่งถือเป็นการนำเอาวัสดุเหลือใช้กลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์อีกด้วย

วัสดุที่นำมาใช้เพื่อเป็นวัสดุช่วยตกตะกอนในการทดลองนี้ได้แก่

1. ทาล (Talc) ชนิด Purified Talc B.P. ขนาดประมาณ 18 μm ความถ่วงจำเพาะ 2.7 ของบริษัทวิทยาศาสตร์จำกัด
2. ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Powder Activated Carbon) ขนาด 325 mesh หรือประมาณ 44 μm ความถ่วงจำเพาะ 2.2 ของบริษัท Carbokarn จำกัด
3. ยางบดละเอียด (Crumb rubber) ขนาด ประมาณ 100 μm ความถ่วงจำเพาะ 1.06 ของบริษัท เทอร์รา เอ็นเทอร์ไพรส์

3.1.4 จุลชีพในระบบ

หัวเชื้อ (Seed) ที่ใช้ในการเริ่มต้นระบบมาจาก โรงบำบัดน้ำเสียชุมชนดินแดง ซึ่งเป็นโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนที่ใช้ระบบเอเอสในการบำบัด โดยตำแหน่งที่เก็บหัวเชื้อ คือ ก๊อกเก็บตัวอย่างที่ท่อหมุนเวียนสลัดจ์ของโรงบำบัด ซึ่งหัวเชื้อนั้นต้องเป็นหัวเชื้อที่มีคุณภาพดีและไม่มีปัญหาในเรื่องของการตกตะกอน

3.1.5 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

3.1.5.1 อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับการเลี้ยงตะกอนจุลินทรีย์

1. ถังปฏิกริยาพลาสติกใสขนาด 15 ลิตร
2. เครื่องเป่าอากาศและหัวกระจายอากาศ
3. น้ำเสียสังเคราะห์
4. สารละลาย Stock Urea ความเข้มข้น 100 g/L
5. สารละลาย Stock K_2HPO_4 ความเข้มข้น 100 g/L

6. ตะกอนจุลชีพที่สมบูรณ์และตกตะกอนได้ดี จากโรงบำบัดน้ำเสียดินแดง

3.1.5.2 อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับการวิเคราะห์ลักษณะของน้ำเสีย

1. เครื่องวัดพีเอช
2. เครื่องวัดดีโอ
3. โถทำแห้ง
4. ตู้อบที่ปรับอุณหภูมิได้ 103-105 องศาเซลเซียส
5. ตาชั่งละเอียด
6. กระดาษกรอง GF/C 0.45 ไมครอน เส้นผ่านศูนย์กลาง 4.7 ซม.
7. ชุดกรองใช้กรองแบบบุชเนอร์
8. ฟอยล์อลูมิเนียม
9. ปากคืบ
10. เตาเผาแบบอุณหภูมิสูงที่ปรับอุณหภูมิได้ 550 ± 50 องศาเซลเซียส
11. กรวยอิมฮอฟฟ์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร
12. หลอดย่อย
13. บิวเรต
14. ขวดรูปกรวยขนาด 125 มิลลิลิตร
15. สารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไดโครเมต 0.1 N
16. สารละลายกรดซัลฟูริก
17. สารละลายเฟอร์โรอินดิเคเตอร์
18. สารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไฮโดรเจนพธาลเตต
19. สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.1 N

3.2 แผนการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองโดยการใช้ถังปฏิบัติการแบบเดินระบบต่อเนื่อง ดำเนินการทดลองที่อุณหภูมิต้อง ณ ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยแบ่งการทดลองเป็นการทดลองย่อยได้ดังนี้

1. การทดสอบการเพิ่มประสิทธิภาพของ การตกตะกอนด้วยการใช้วัสดุช่วยตกตะกอนที่ต่างชนิดและควบคุมอายุสลัดจ์ของระบบเอเอสแตกต่างกัน แสดงผลด้วยการวัดความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน (ISV)

2. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียในแง่ของการกำจัดซีโอดี เมื่อใส่วัสดุช่วยตกตะกอนที่ต่างชนิดและอายุสลัดจ์ของระบบเอเอสที่แตกต่างกัน

3. ศึกษาการจับตัวกันของจุลชีพกับวัสดุช่วยตกตะกอน ด้วยภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ในแต่ละชุดการทดลอง

3.2.1 วิธีการทดลอง

ในขั้นตอนสำหรับการทดลอง มีตัวแปรสำคัญที่ทำการศึกษา 2 ตัว คือ

1. ชนิดของวัสดุตกตะกอน

ในการทดลองนี้จะใช้วัสดุช่วยตกตะกอนทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ ทาล ถ่านกัมมันต์ชนิดผง และยางบดละเอียด

2. อายุสลัดจ์

ในการทดลองนี้จะทำการควบคุมค่าอายุสลัดจ์แตกต่างกัน 3 ค่า คือ 3 10 และ 30 วัน ดังนั้น แผนการทดลองในงานวิจัยนี้จึงเป็นการเปลี่ยนอายุสลัดจ์ในขณะที่ทำการเลี้ยงตะกอนจุลชีพที่เติมวัสดุช่วยตกตะกอนที่ต่างชนิดกันในแต่ละถังปฏิบัติการ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุดการทดลอง

- การทดลองชุดที่ 1

เติม ทาล ถ่านกัมมันต์ชนิดผงและยางบดละเอียด ในแต่ละถังปฏิบัติการด้วยความเข้มข้นเท่ากัน คือ 100% (W/W) ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมซึ่งมีการใช้ในงานวิจัยอื่นๆ ที่ผ่านมา และถึงควบคุมเปรียบเทียบไม่ใส่วัสดุช่วยตกตะกอน (0% W/W) โดยทำการเดินระบบและควบคุมอายุสลัดจ์ให้คงที่และมีค่าเท่ากับ 3 วัน เมื่อระบบคงที่จึงทำการวัด ISV โดยจะทำการวัดซ้ำ 3 ครั้งในแต่ละตัวอย่าง

- การทดลองชุดที่ 2

เติม ทาล ถ่านกัมมันต์ชนิดผงและยางบดละเอียด ในแต่ละถังปฏิบัติการด้วยความเข้มข้นเท่ากัน คือ 100% (W/W) และถึงควบคุมเปรียบเทียบไม่ใส่วัสดุช่วยตกตะกอน (0% W/W) โดยทำการเดินระบบและควบคุมอายุสลัดจ์ให้คงที่และมีค่าเท่ากับ 10 วัน เมื่อระบบคงที่จึงทำการวัด ISV โดยจะทำการวัดซ้ำ 3 ครั้งในแต่ละตัวอย่าง

- การทดลองชุดที่ 3

เติม ทาล ถ่านกัมมันต์ชนิดผงและยางบดละเอียด ในแต่ละถังปฏิกิริยาด้วยความเข้มข้นเท่ากัน คือ 100% (W/W) และถังควบคุมเปรียบเทียบกับไม่ใส่วัสดุช่วยตกตะกอน (0% W/W) โดยทำการเดินระบบและควบคุมอายุสลัดจ์ให้คงที่และมีค่าเท่ากับ 30 วัน เมื่อระบบคงที่จึงทำการวัด ISV โดยจะทำการวัดซ้ำ 3 ครั้งในแต่ละตัวอย่าง

3.2.2 การดำเนินการทดลอง

1. เริ่มการเลี้ยงตะกอนจุลชีพจาก หัวเชื้อจากโรงบำบัดน้ำเสียดินแดง ซึ่งมีลักษณะที่คงตัวสามารถนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย ได้ เติมน้ำเสียสังเคราะห์ และทำการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนในชนิด และปริมาณตามชุดการทดลอง

2. เดินระบบโดยใช้ถังปฏิกิริยาทั้งหมด 4 ถัง คือ ใช้สำหรับการเติมปริมาณวัสดุช่วยตกตะกอนตามชุดการทดลอง 3 ถัง และถังสำหรับเปรียบเทียบซึ่งเป็นถังที่ไม่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอน แต่เติมน้ำเสียสังเคราะห์ เท่ากันกับทุกๆ ถัง เพื่อใช้ในการเทียบตะกอนจุลชีพ ลักษณะตะกอน และความเร็วในการตกตะกอน

3. ทำการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

3.2.3 วิธีการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์

ค่าพารามิเตอร์ที่ทำการวัด วิธีการวิเคราะห์และความถี่ในการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ แสดงได้ดังตารางที่ 3.2 ดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.2 ค่าพารามิเตอร์ที่วัด วิธีการที่ใช้วิเคราะห์และความถี่ในการวิเคราะห์

ค่าพารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์	ความถี่ในการวิเคราะห์
1. ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD)	- Dichromate Close Reflux Method (AWWA 508 A.)	วันเว้นวัน
2. ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Mixed Liquor Suspended Solids, MLSS)	- Total residual dried at 103 -105 C (AWWA 209 D.)	วันเว้นวัน
3. ของแข็งระเหยได้ (Mixed Liquor Volatile Suspended Solids, MLVSS)	- Total Volatile and Fixed residual at 500°C (AWWA 209 D.)	สัปดาห์ละครั้ง
4. พีเอช (pH)	- Electronic pH meter with glass electrode method (AWWA 423.)	ทุกวัน
5. ออกซิเจนละลาย (Dissolved Oxygen, DO)	- Membrane Electrode Method (AWWA 421 F.)	ทุกวัน
6. ปริมาตรตะกอนที่ 30 นาที (SV ₃₀)	- Settle Volume Method (AWWA 213B.)	ทุกวัน
7. ดัชนีปริมาตรตะกอน (SVI)	- Settle Volume Method (AWWA 213C.)	วันเว้นวัน
8. ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน (Initial Settling Velocity, ISV)	- Settling test	10 วันครั้ง
9. ลักษณะการเกาะตัวของจุลชีพกับวัสดุช่วยตกตะกอน	- กล้องจุลทรรศน์และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน	สัปดาห์ละครั้ง

วิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อวัตถุประสงค์สำคัญ คือ

- เพื่อพิสูจน์ความเข้ากันได้ของฟล็อกจุลชีพกับวัสดุช่วยตกตะกอน โดยการวัดค่า ซีโอ ดี ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ของแข็งระเหยได้ พีเอช ดีโอ ปริมาตรตะกอนที่ 30 นาที ดัชนีปริมาตรตะกอน และทำการส่องกล้องจุลทรรศน์ เพื่อสังเกตลักษณะการเกาะตัวกันของฟล็อกกับวัสดุช่วยตกตะกอน
- เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของการตกตะกอน โดยการวัดค่า ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ปริมาตรตะกอนที่ 30 นาที ดัชนีปริมาตรตะกอน และ ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน
- เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบเอเอสที่ควบคุมอายุสลัดจ์ ต่างกันและมีวัสดุช่วยตกตะกอนต่างชนิด โดยการวัดค่าซีโอดีเข้าและซีโอดีออก และแสดงผลออกมาในรูปอัตราการกำจัดซีโอดี (% COD removal)

3.3 การเดินระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอสที่ใช้ในการทดลอง

3.3.1 การเริ่มเดินระบบ (Start up)

ระบบเอเอสจะสามารถทำงานได้ดี มีประสิทธิภาพสูง จะต้องมีการเริ่มเดินระบบ (Start up) ที่ถูกต้อง การเริ่มต้นเดินระบบในงานวิจัยนี้ใช้หัวเชื้อ (Seed) ที่มาจาก โรงบำบัดน้ำเสียดินแดง ซึ่งเป็นโรงบำบัดที่ใช้ระบบบำบัดแบบเอเอส โดยตำแหน่งที่เก็บหัวเชื้อ (Seed) มาใช้คือ ก๊อกเก็บตัวอย่าง ที่ทอหมุนเวียนตะกอนของโรงบำบัด

การเริ่มเดินระบบมีขั้นตอนวิธีทำดังนี้

1. คัดเลือกหัวเชื้อที่จะนำมาใช้กับระบบให้มีลักษณะที่ดีที่สุดคือ อ มีลักษณะการตกตะกอนที่ดี ไม่มีจุลชีพแบบเส้นใย เป็นต้น
2. หาปริมาณของแข็งแขวนลอยระเหยได้ (MLVSS) ของหัวเชื้อที่เก็บมา
3. คำนวณหาปริมาณ ของแข็งแขวนลอยระเหยได้ (MLVSS) ที่ต้องการในระบบจากสมการที่ 3.1 ซึ่งจะได้ปริมาณ ตะกอนจุลชีพ โดยประมาณในระบบ แล้วใส่หัวเชื้อ อเข้าสู่ระบบตามปริมาณตะกอนแขวนลอยในระบบที่คำนวณได้ ทั้งนี้สมการที่ 3.1 มีดังนี้

$$\frac{F}{M} = \frac{S}{(X\tau)} \quad (3.1)$$

เมื่อ	F / M	คือ	ค่าอาหารต่อปริมาณจุลินทรีย์ในระบบ, ต่อวัน
	S	คือ	บีโอดีที่เข้าสู่ระบบ, มิลลิกรัมต่อลิตร
	X	คือ	ค่าของแข็งแขวนลอยระเหยได้ในระบบ, มิลลิกรัมต่อลิตร
	τ	คือ	เวลากักน้ำของระบบ, วัน

4. ใส่น้ำเสียที่เตรียมไว้เข้าสู่ระบบ แล้วเริ่มเดินระบบแบบต่อเนื่อง (Continuous)

3.3.2 การดูแลรักษาและควบคุมระบบ

การดูแลรักษาระบบนั้น ประกอบด้วยการดูแลรักษาความสะอาดของถังปฏิบัติการตลอดจนอุปกรณ์ต่างๆ ให้อยู่ในสภาพที่สะอาด เพื่อป้องกันมิให้เชื้อชนิดอื่นๆ เช่น เชื้อราเกิดขึ้นภายในระบบ เนื่องจากเชื้ออื่นๆ เหล่านี้ อาจขัดขวางการทำงานของเชื้อจุลินทรีย์ในระบบได้ นอกจากนี้ยังต้อง

รักษาความสะอาดในถังปฏิกริยาไม่ให้มีเมือกจุลินทรีย์ (Slime) เกาะติดอยู่ข้างถังปฏิกริยา ไบพัด หัวเติมอากาศ และภายในท่อตะกอนหมุนเวียน โดยใช้แปรงขัดที่บริเวณถังปฏิกริยา ไบพัด หัวเติมอากาศ 1-2 ครั้งทุกๆวัน

นอกจากในถังปฏิกริยาแล้ว ภายในถังพักน้ำเสียต้องล้างถังทุกๆครั้งที่มีการเติมน้ำเสียใหม่ เพื่อป้องกันการตกค้างของตะกอนขึ้นใหญ่ นอกจากนี้ท่อสูบน้ำเสียจะต้องเปลี่ยนทุกๆ 4-7 วัน (เมื่อสังเกตว่ามีเมือกเกาะภายในท่อ)

3.3.3 การควบคุมระบบโดยการควบคุมอายุสลัดจ์

การควบคุมอายุสลัดจ์ให้ได้ตามที่กำหนดไว้นั้น สำคัญต่อระบบ มาก วิธีควบคุมอายุสลัดจ์ทำได้โดยการระบายน้ำและตะกอนแขวนลอยออกจากระบบโดยตรง โดยจะระบายออกจากถังปฏิกริยาโดยตรง ปริมาณน้ำและตะกอนแขวนลอยที่ทิ้งในแต่ละวันสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3.2 นี้

$$Q_w = \frac{(VX / \theta_c) - Qx_e}{(X - X_e)} \quad (3.2)$$

เมื่อ	Q_w	=	ปริมาณของน้ำและตะกอนแขวนลอยที่ทิ้งออกจากระบบ, ลิตรต่อวัน
	Q	=	อัตราการสูบน้ำเสียเข้าสู่ระบบ, ลิตรต่อวัน
	θ_c	=	ค่าอายุสลัดจ์
	X	=	ความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในระบบ, มก./ล.
	X_e	=	ความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยที่หลุดไปกับน้ำออก, มก./ล.
	V	=	ปริมาตรรวมของถังปฏิกริยา, ลิตร

จากสมการที่ 3.2 เห็นได้ว่า ถ้าความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยที่หลุดไปกับน้ำออกมีค่าน้อยมากๆ เมื่อเทียบกับความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยในระบบ สมการ 3.2 จะสามารถลดรูปได้ดังนี้

$$Q_w = \frac{XV / \theta_c}{X}$$

$$Q_w = V / \theta_c \quad (3.3)$$

และโดยที่ V เท่ากับ 10 ลิตร และ θ_c ในแต่ละชุดการทดลองเท่ากับ 3, 10 และ 30 วัน ซึ่งจะคำนวณ Q_w จะได้เท่ากับ 3.3, 1.0 และ 0.3 ลิตรต่อวัน ดังนั้นการควบคุมอายุสัปดาห์ของระบบ จึงทำได้โดยการระบายน้ำออกจากถังปฏิริยาแต่ละถัง โดยตรงเท่ากับ 3.3, 1.0 และ 0.3 ลิตรต่อวันตามลำดับ



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

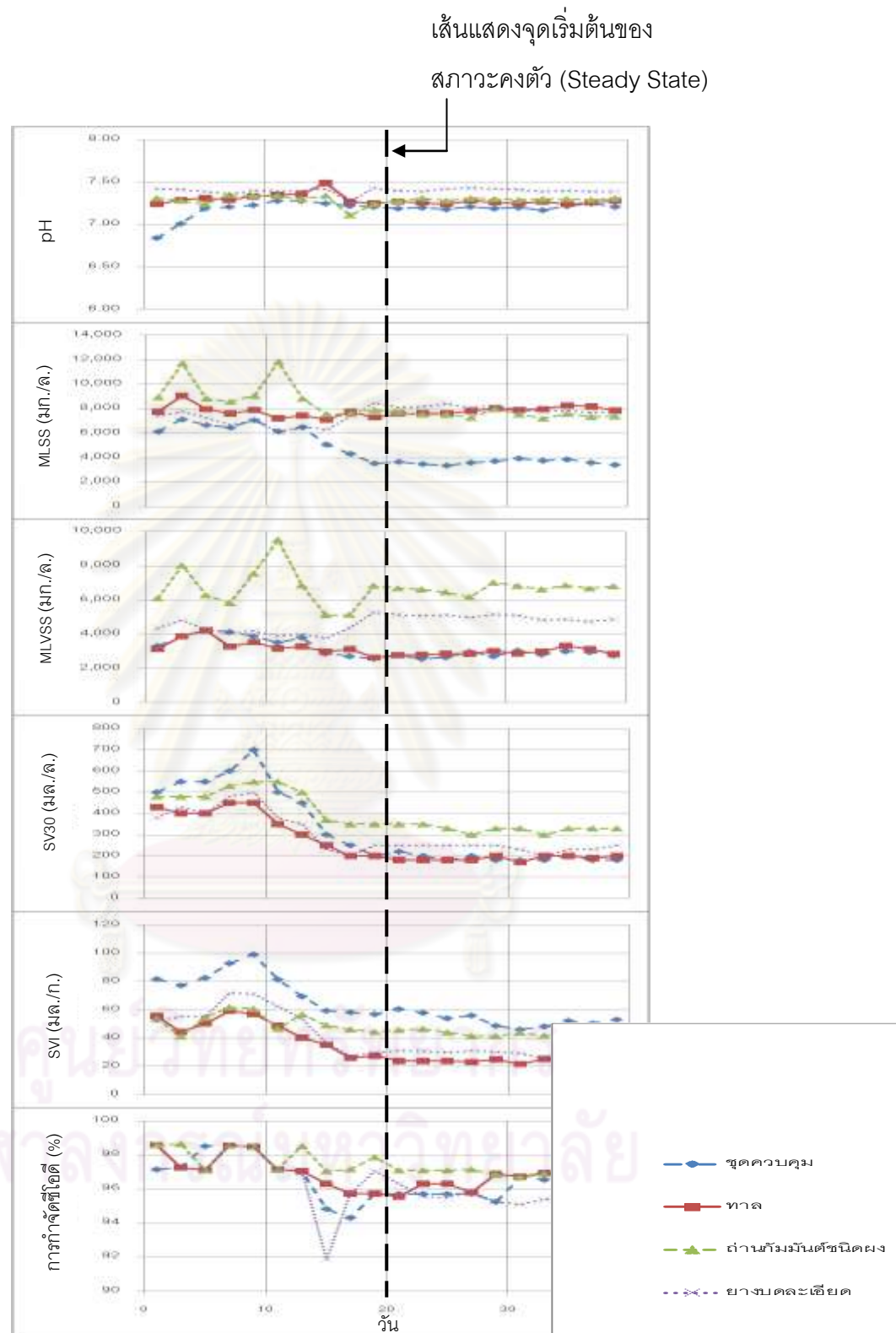
ผลการวิจัย

4.1 ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของการเลี้ยงตะกอนจุลชีพในระบบเอเอส

การทดสอบการเพิ่มประสิทธิภาพของการตกตะกอน ด้วยการใช้วัสดุช่วยตกตะกอนต่างชนิดในระบบเอเอสที่มีการควบคุมอายุสลัดจ์ต่างๆ ได้ทำการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของการเลี้ยงตะกอนจุลชีพ เพื่อใช้ในการควบคุมตรวจสอบความเปลี่ยนแปลงของระบบ ศึกษาถึงความเข้ากันได้ระหว่างวัสดุช่วยตกตะกอนกับจุลชีพในระบบ และเพื่อวิเคราะห์หาสภาวะคงที่ (Steady State) ของระบบ โดยทำการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ คือ ซีไอดี, พีเอช, เอ็มแอลเอส, เอ็มแอลวีเอสเอส และ เอสวีไอ ค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวได้แสดงไว้ดังตารางบันทึกผลการทดลองของแต่ละถึงปฏิกิริยาในภาคผนวก ก.

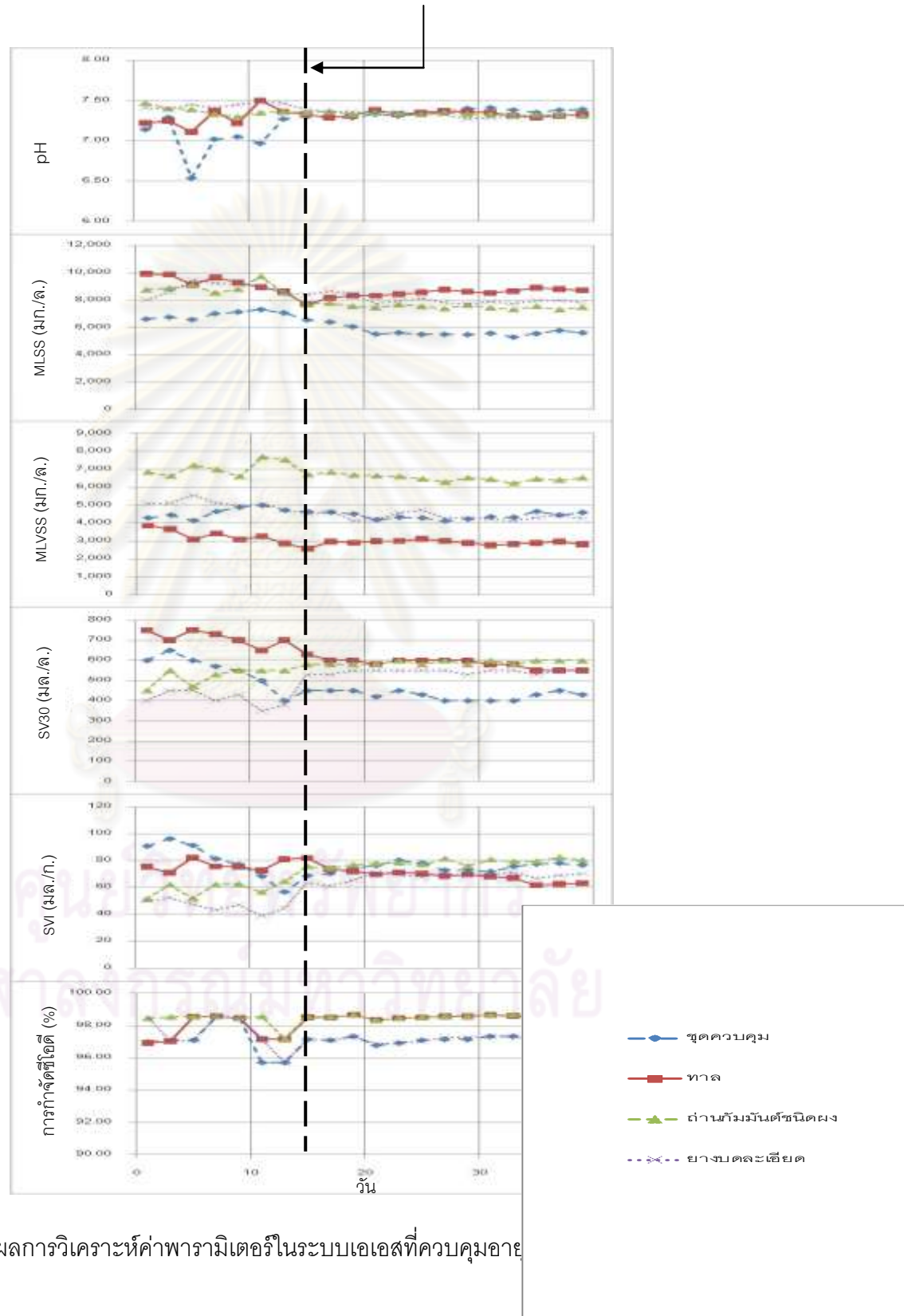
รายละเอียดในหัวนี้ได้แสดงผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของการเลี้ยงตะกอนจุลชีพในระบบเอเอสที่ไม่มี การเติมวัสดุช่วยตกตะกอน (ชุดควบคุม) และระบบเอเอสที่มีการเติมทาลถ่านกัมมันต์ชนิดผง และยางบดละเอียดเป็นวัสดุช่วยตกตะกอนลงในระบบเอเอสที่ควบคุมให้มีค่าอายุสลัดจ์ 3, 10 และ 30 วัน โดยแสดงผลด้วยกราฟเส้นที่มีแกนอนเป็นระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง (วัน) และในแต่ละรูปจะแสดงให้เห็นถึงเส้นของวันที่เริ่มเข้าสู่สภาวะคงที่ของระบบ โดยกราฟรูปที่ 4.1 จะแสดงผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของระบบเอเอสที่ควบคุมอายุสลัดจ์ 3 วัน รูปที่ 4.2 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของระบบเอเอสที่ควบคุมอายุสลัดจ์ 10 วัน และรูปที่ 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของระบบเอเอสที่ควบคุมอายุสลัดจ์ 30 วัน รูปดังกล่าวแสดงไว้ดังต่อไปนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



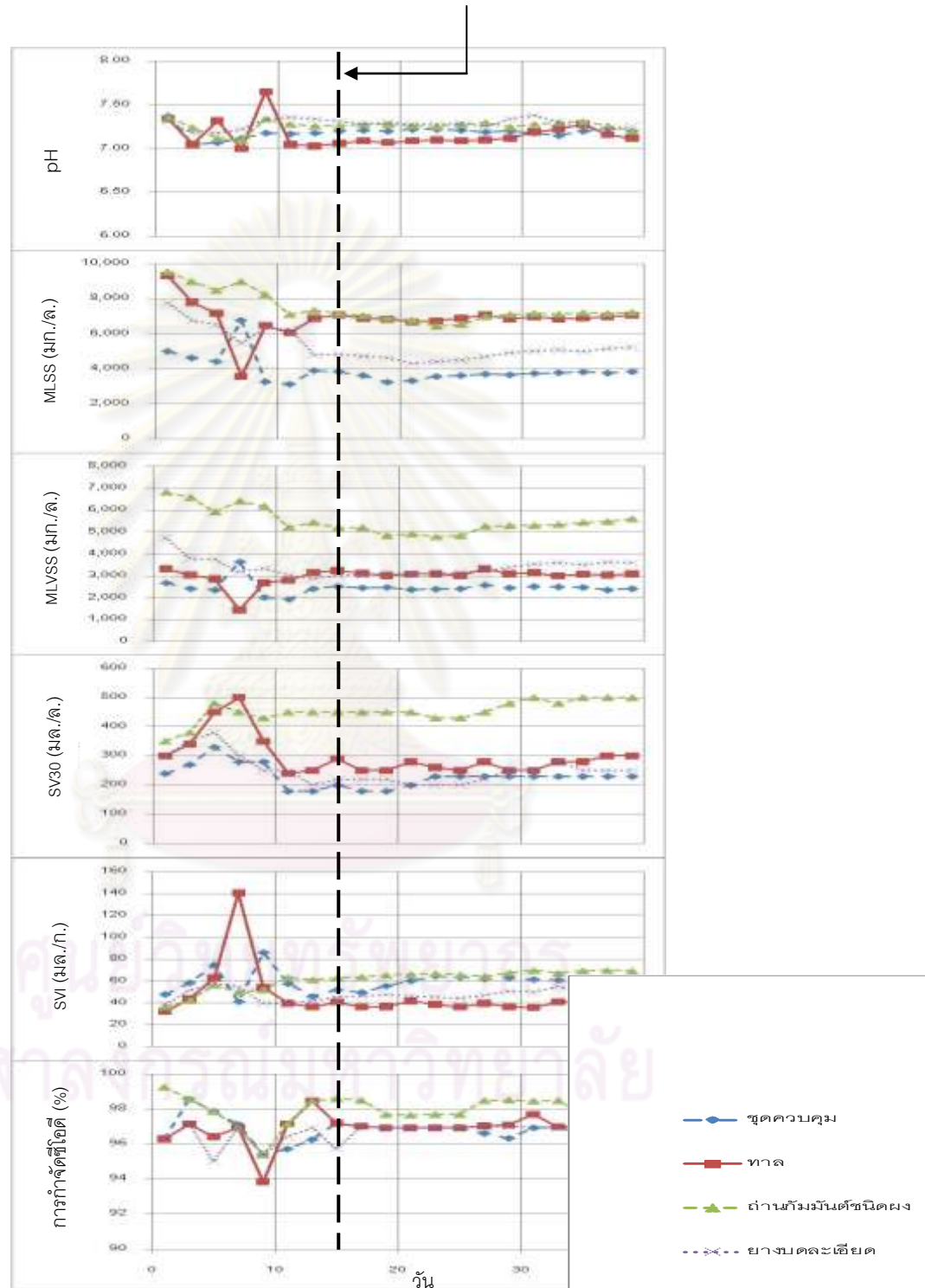
รูปที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ในระบบเอเอสที่ควบคุมอา

เส้นแสดงจุดเริ่มต้นของ
สภาวะคงตัว (Steady State)



รูปที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ในระบบเอสทีควบคุมอายุ

เส้นแสดงจุดเริ่มต้นของ
สภาวะคงตัว (Steady State)



รูปที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ในระบบเอสที่ควบคุมอายุ

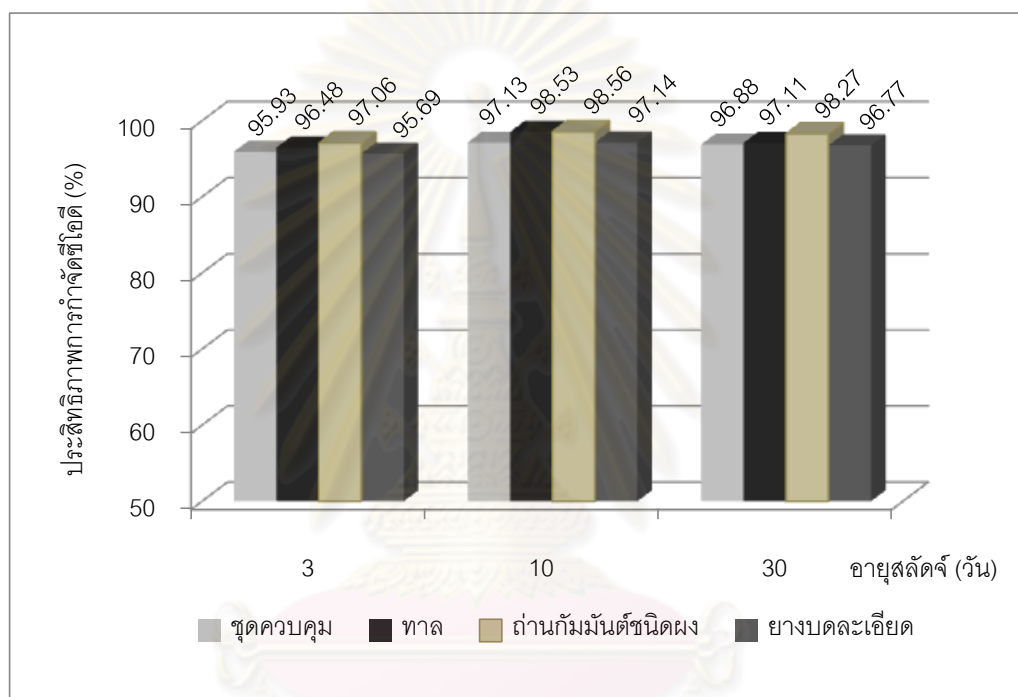
ผลจากการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จากการเลี้ยงจุลชีพในระบบเอเอสที่มีการเติม วัสดุช่วยตกตะกอน คือ ทาล ถ่านกัมมันต์ชนิดผง แล ะยางบดละเอียด ลงในระบบเอเอสที่ควบคุม อายุสัปดาห์ต่างๆ กันนั้น จะเห็นได้ชัดเจนว่า ค่าเอ็มแอลเอสเอสของระบบเอเอสที่มีการเติมวัสดุช่วย ตกตะกอนจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับชุดควบคุม โดยการที่ค่าเอ็มแอลเอสเอสมีค่าสูงขึ้นนั้น เนื่องจากเมื่อเติมวัสดุช่วยตกตะกอนเข้า ไปในระบบก็ถือเป็นการเพิ่มของแข็งแขวนลอยและเพิ่ม มวลให้แก่ระบบ ดังนั้นค่าเอ็มแอลเอสเอสในระบบเอเอสที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอน จึงมีค่า เพิ่มสูงมากขึ้น เมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอน และจากการทดลอง พบว่า เมื่อทำการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนทุก ชนิดเข้าไปในระบบเอเอสที่คุมอายุสัปดาห์ทั้ง 3 ค่า คือ 3, 10 และ 30 วันแล้ว จะทำให้ค่าพีเอชและค่าซีโอดีของระบบไม่เปลี่ยนแปลงไปมากนักเมื่อเทียบ กับชุดควบคุมในทุกๆ ค่าอายุสัปดาห์ ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่า การเติมวัสดุช่วยตกตะกอนทั้ง 3 ชนิด ดังกล่าวลงในระบบเอเอสที่มีการแปรเปลี่ยนค่าอายุสัปดาห์ต่างๆ นั้น จะไม่ก่อให้เกิดผลเสียใดๆ ต่อ จุลชีพที่มีอยู่ในระบบ

จากผลการเลี้ยงตะกอนจุลชีพในระบบต่างๆ เมื่อนำมาเขียนเป็นกราฟเปรียบเทียบดัง แสดงในรูปที่ 4.1 – 4.3 ข้างต้น จะเห็นได้ว่าในช่วงแรกของการเริ่มต้นเดินระบบ ค่าพารามิเตอร์ ต่างๆ จะมีค่าไม่คงที่ แต่เมื่อเวลาผ่านไประยะหนึ่งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จะมีค่าค่อนข้างคงที่ เรียก ช่วงเวลานี้ว่า สภาวะคงที่ (Steady State) โดยเมื่อระบบที่ทำการทดลองในแต่ละชุดการทดลอง เข้าสู่สภาวะคงที่แล้วทำให้สามารถนำตัวอย่างที่ได้จากการทดลองไปใช้วิเคราะห์หา ค่าพารามิเตอร์อื่นๆ ของระบบ เช่น ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน (ISV) ได้ ซึ่งแสดงเส้นที่ ระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ได้ดังรูปที่ 4.1 – 4.3 โดยในระบบเอเอสที่ควบคุมให้มีค่าอายุสัปดาห์ 10 วัน และ 30 วัน ในทุกๆ ถึงปฏิบัติการระบบจะเข้าสู่สภาวะคงที่ในประมาณวันที่ 15 ของการทดลอง ส่วนระบบเอเอสที่คุมให้มีค่าอายุสัปดาห์ 3 วันนั้น ระบบจะเข้าสู่สภาวะคงที่ภายในวันที่ 20 ของการทดลอง ซึ่งจัดได้ว่าทุกๆ ระบบสามารถเข้าสู่สภาวะคงที่ภายในระยะเวลาที่ไม่นานจนเกินไป แสดงให้เห็นว่าจุลชีพที่มีอยู่ในระบบยังสามารถเจริญเติบโต และมีความสามารถในการกำจัด สารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียได้อย่างเป็นปกติเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุม ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า วัสดุช่วยตกตะกอนทั้ง 3 ชนิดที่เติมลงในระบบ สามารถเข้ากันได้โดยไม่ก่อให้เกิดผลเสียใดๆ ต่อ จุลชีพที่มีอยู่ในระบบเอเอสในทุกๆ ค่าอายุสัปดาห์ของระบบเอเอส

จากการทดลองยังได้วิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์อื่นๆ เช่น ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี ของระบบ เพื่อตรวจสอบการบำบัดน้ำเสียของระบบ ตรวจสอบความเปลี่ยนแปลงของระบบเมื่อมี การเติมวัสดุช่วยตกตะกอนในระบบเอเอสที่มีค่าอายุสัปดาห์ต่างๆ โดยจะกล่าวไว้ในหัวข้อต่อไป

4.2 ประสิทธิภาพในการกำจัด ซีโอดีของระบบเมื่อทำการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนลงในระบบเอเอสที่ควบคุมอายุสลัดจ์ให้มีค่าต่างๆ

ผลการวิเคราะห์ค่าซีโอดีของน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบในการทดลอง และตัวอย่าง การหาประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก . รูปที่ 4.4 นี้เป็นการแสดง ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบต่างๆ ที่ทำการทดลอง

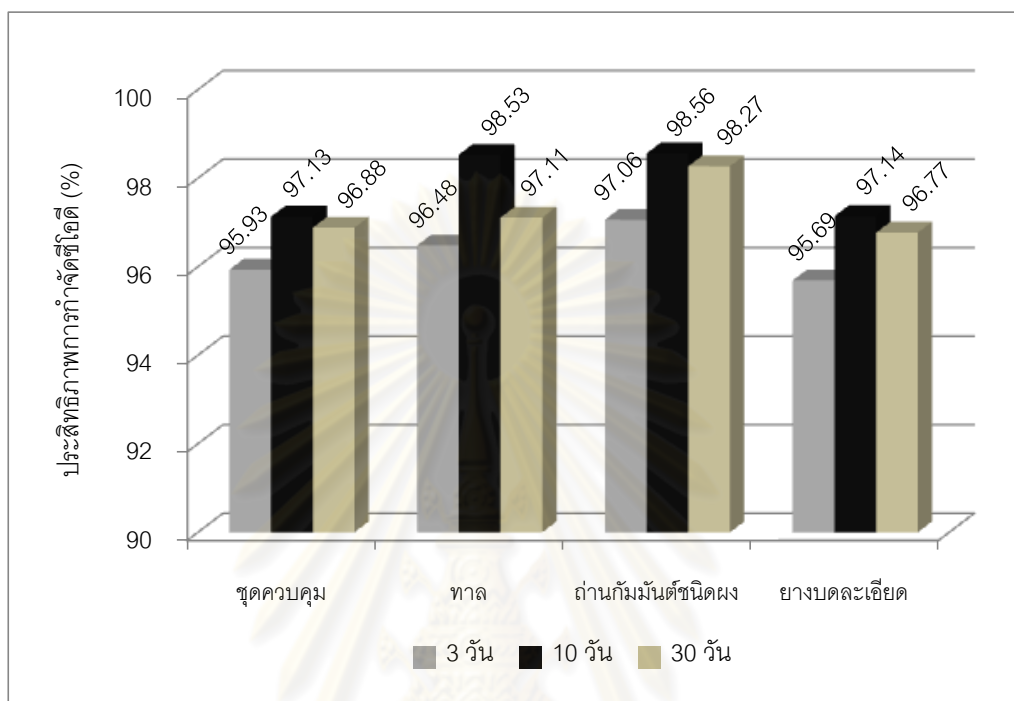


รูปที่ 4.4 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเมื่อเติมวัสดุช่วยตกตะกอน ในระบบเอเอสที่ควบคุมอายุสลัดจ์ต่างๆ

จากรูปที่ 4.4 เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของระบบในแง่ปัจจุ ยของค่า อายุสลัดจ์ พบว่า ระบบเอเอสที่ควบคุมให้มีค่าอายุสลัดจ์ทั้ง 3 ค่า นั้น จะมีประสิทธิภาพในการ กำจัดค่าซีโอดีไม่แตกต่างกันมากนัก โดยระบบเอเอสที่ควบคุมให้มีค่าอายุสลัดจ์ 10 วัน ระบบจะมี ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีได้สูงที่สุดเฉลี่ยประมาณ 97 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือระบบที่คุม อายุสลัดจ์ 30 วัน และระบบที่มีอายุสลัดจ์ 3 วัน จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีได้น้อยที่สุด แต่ก็ยังสามารถกำจัดซีโอดีได้มากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงอาจสรุปได้จากผลการทดลองว่า

การแปรเปลี่ยนค่าอายุสัจของระบบเอเอสที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนจะ
ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบแตกต่างกันมากนัก

กตะกอนจะไม่ทำให้



รูปที่ 4.5 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของระบบ
เมื่อเติมวัสดุช่วยตกตะกอนชนิดต่างๆ

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของระบบในแง่ปัจจัยของชนิดของวัสดุช่วยตกตะกอนที่เติมลงในระบบเอเอสที่คุมอายุสัจต่างๆ กัน ดังรูปที่ 4.5 พบว่า ทุกระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีใกล้เคียงกัน แต่ในระบบเอเอสที่เติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน มีแนวโน้มเห็นได้ว่า ระบบ มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีในน้ำเสียได้ สูงที่สุด คือมากกว่า 97 เปอร์เซ็นต์ ในทุกๆ ค่าอายุสัจ และสูงที่สุดคือ 98.56 เปอร์เซ็นต์ในระบบเอเอสที่คุมให้มีค่าอายุสัจ 10 วัน และระบบที่เติมทาลและยางกำจัดซีโอดีได้มากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ เหตุผลที่ระบบเอเอสที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงมีประสิทธิภาพ ในการกำจัดซีโอดีได้มากกว่าระบบที่มีการเติมทาลและยางบดละเอียดนั้น อาจเนื่องจากว่าถ่านเป็นวัสดุที่มีรูพรุนสูง จึงอาจเป็นผลให้จุลินทรีย์ที่มีอยู่ในระบบสามารถมาเกาะติดและเจริญเติบโตอยู่ที่ผิวของถ่านกัมมันต์ ได้ อาจส่งผลให้เกิดการเพิ่มจำนวนของจุลชีพในระบบซึ่งทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้ดีขึ้น และการที่ตัวของถ่านกัมมันต์เองนั้นมีความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสีย

ได้ดีกว่าทาลและยาง ทำให้ในระบบเอเอสที่เติมถ่านกัมมันต์ลงไปนั้นมีความสามารถในการกำจัดซีโอดีในน้ำเสียได้ดี

จากการทดลอง พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีในแต่ละระบบ ทั้งในระบบที่เติมวัสดุช่วยตกตะกอนและในชุดควบคุมจะมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก อาจมีสาเหตุเนื่องจากในงานวิจัยนี้ได้ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ซึ่งประกอบไปด้วยสารอาหารที่จุลชีพในระบบสามารถย่อยได้ง่าย จึงทำให้ผลของเปอร์เซ็นต์ในการ กำจัดซีโอดีในน้ำเสียของแต่ละชุดการทดลองมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก แต่หากเปลี่ยนไปทำการทดลองโดยใช้น้ำเสียจริงที่อาจมีองค์ประกอบของสารที่ย่อยยากอยู่ด้วย ผลที่ได้ออกมา น่าจะมีค่าแตกต่างกันมากกว่านี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบเอเอสที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ที่เป็นสารที่มีความสามารถในการดูดซับได้มากอยู่แล้ว ก็น่าจะมีผลของการบำบัดที่ดีกว่าระบบที่เติมวัสดุช่วยตกตะกอนชนิดอื่นอย่างเห็นได้ชัดเจน ซึ่งในอนาคตก็ควรมีการศึกษาโดยใช้น้ำเสียจริงต่อไป

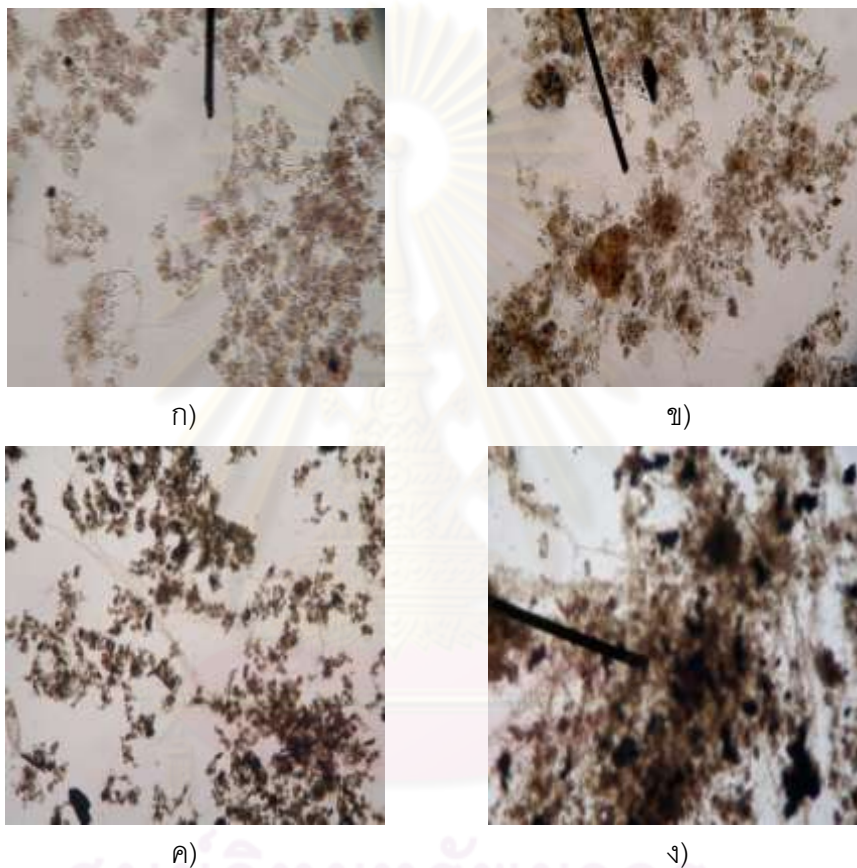
การทดลองเติมวัสดุช่วยตกตะกอนทั้ง 3 ชนิด ลงในระบบเอเอสที่ควบคุมอายุสลัดจ์ 3, 10 และ 30 วัน พบว่า เมื่อเติมวัสดุช่วยตกตะกอนลงในระบบเอเอสที่ควบคุมอายุสลัดจ์ต่างๆ แล้ว ระบบมีความสามารถในการกำจัดซีโอดีได้ดี และจากการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เบื้องต้น พบว่า สลัดจ์ในระบบมีการตกตะกอนดีขึ้นกว่าในระบบเอเอสที่ไม่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนในทุกๆ ค่าอายุสลัดจ์ แสดงให้เห็นว่าการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนในระบบเอเอสที่ควบคุมอายุสลัดจ์ต่างๆ นั้น สามารถช่วยปรับปรุงให้ระบบเอเอสมีประสิทธิภาพดีขึ้นได้ โดยอาจสามารถช่วยทำให้ถึงตกตะกอนของระบบมีขนาดเล็กลงได้ ซึ่งจะอธิบายในหัวข้อต่อไป

4.3 ผลการศึกษาลักษณะการเกาะตัวของฟล็อกจุลชีพในระบบเอเอสที่อายุสลัดจ์ต่างๆ

ในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาถึงลักษณะความเปลี่ยนแปลงและตรวจสอบถึงความแตกต่างของระบบเอเอสที่มีการแปรเปลี่ยนค่าอายุสลัดจ์และชนิดของวัสดุช่วยตกตะกอนที่เติมลงในระบบ โดยจะทำการศึกษาลักษณะการเกาะตัวของฟล็อกจุลชีพกับวัสดุช่วยตกตะกอนที่เติมเข้าไปในระบบเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ โดยการใช้กล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยาย 10 และ 40 เท่า เพื่อศึกษาลักษณะของฟล็อกจุลชีพในระบบโดยรวม ตรวจสอบชนิดและปริมาณจุลชีพในระบบที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนเปรียบเทียบกับ ชุดควบคุม เพื่อศึกษาถึงความเข้ากันได้ของวัสดุช่วยตกตะกอนและจุลชีพในระบบ นอกจากนี้ยังทำการศึกษาลักษณะการเกาะตัวของจุลชีพกับวัสดุช่วยตกตะกอนในระบบเอเอสที่อายุสลัดจ์ต่างๆ และศึกษาลักษณะพื้นผิวของวัสดุช่วยตกตะกอน

ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope, SEM) ที่กำลังขยาย 1,000 และ 10,000 เท่า โดยแสดงผลเป็นภาพถ่ายดังหัวข้อต่อไปนี้

4.3.1 ผลการศึกษาลักษณะของฟล็อกจุลชีพในระบบเอเอสที่อายุสัปดาห์ต่างๆ ด้วยกล้องจุลทรรศน์

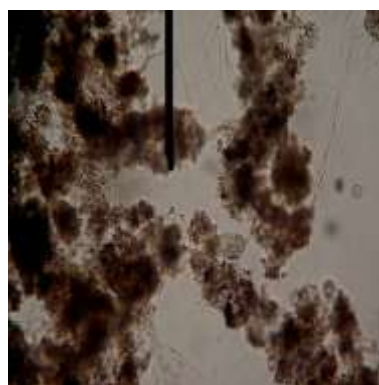


รูปที่ 4.6 การศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 10X ของระบบที่คุมอายุสัปดาห์ 3 วัน

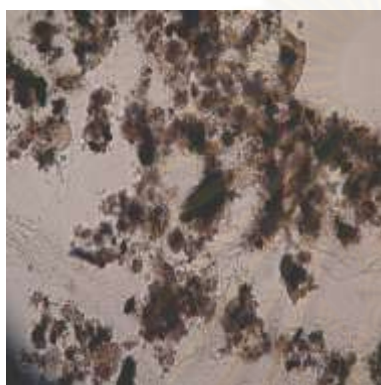
ก) ชูดควบคุม ข) ทาล ค) ถ่านกัมมันต์ชนิดผง ง) ยางบดละเอียด



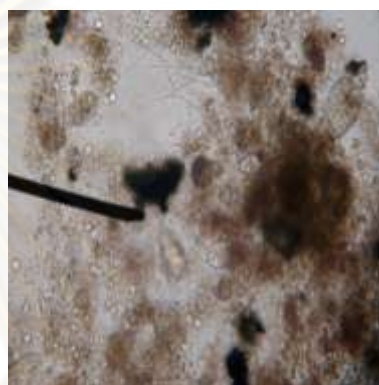
ก)



ข)



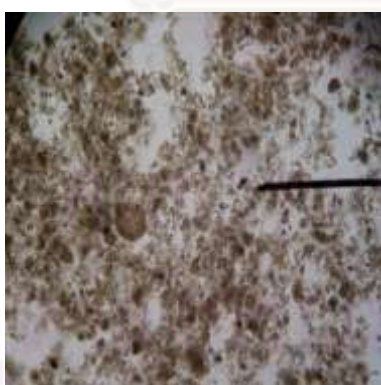
ค)



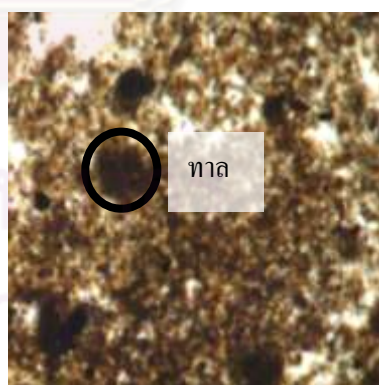
ง)

รูปที่ 4.7 การศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 40X ของระบบที่คุมอายุสัปดาห์ 3 วัน

ก) ชุดควบคุม ข) ทาล ค) ถ่านกัมมันต์ชนิดผง ง) ยางบดละเอียด



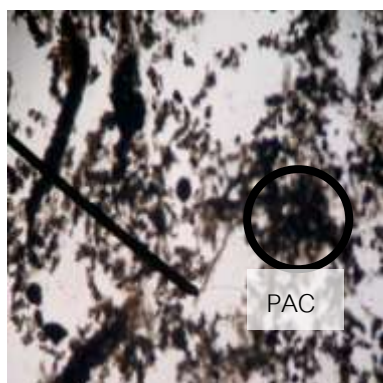
ก)



ข)

รูปที่ 4.8 การศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 10X ของระบบที่คุมอายุสัปดาห์ 10 วัน

ก) ชุดควบคุม ข) ทาล



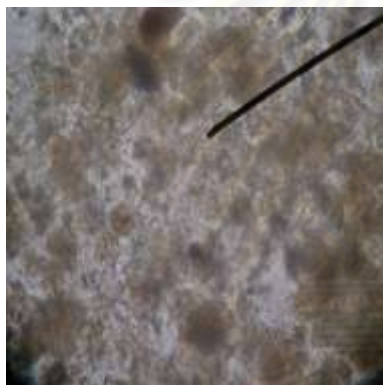
ค)



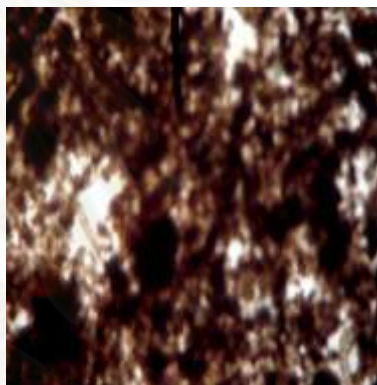
ง)

รูปที่ 4.8 การศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 10X ของระบบที่คুমอายุสัปดาห์ 10 วัน (ต่อ)

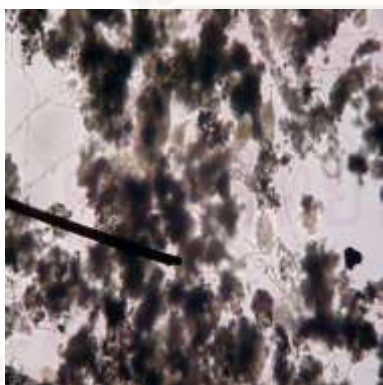
ค) ถ่านกัมมันต์ชนิดผง ง) ยางบดละเอียด



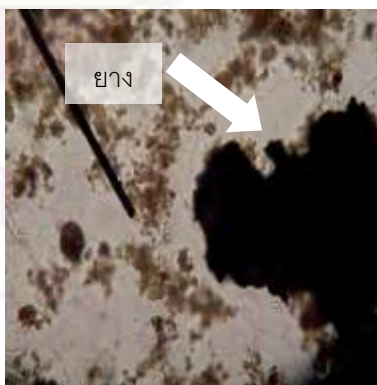
ก)



ข)



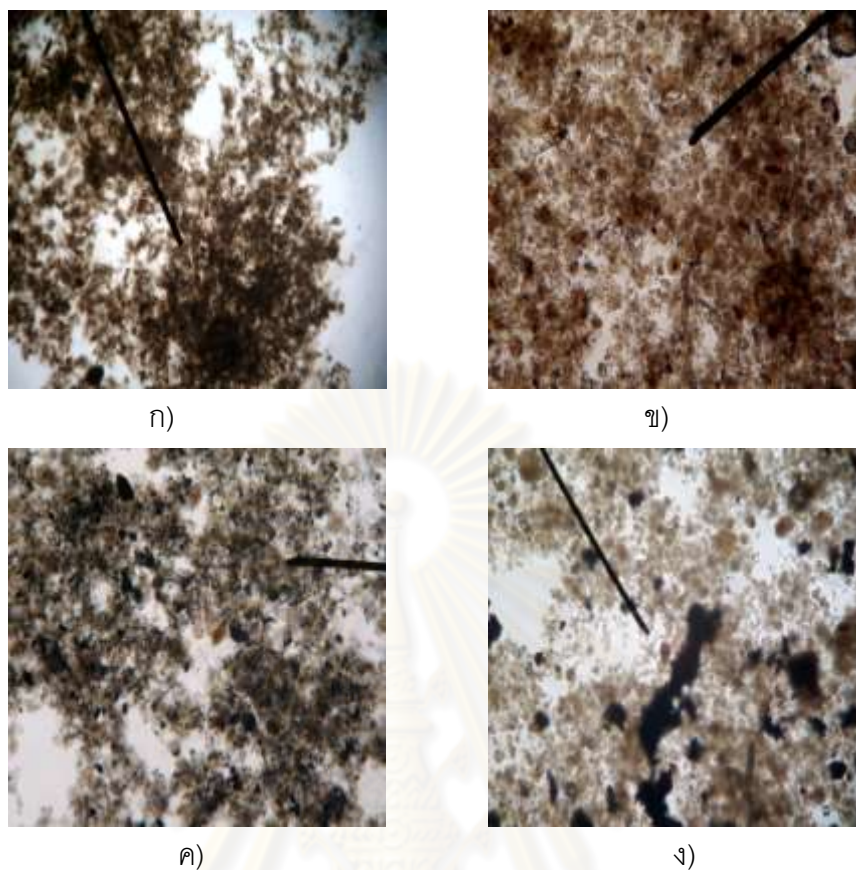
ค)



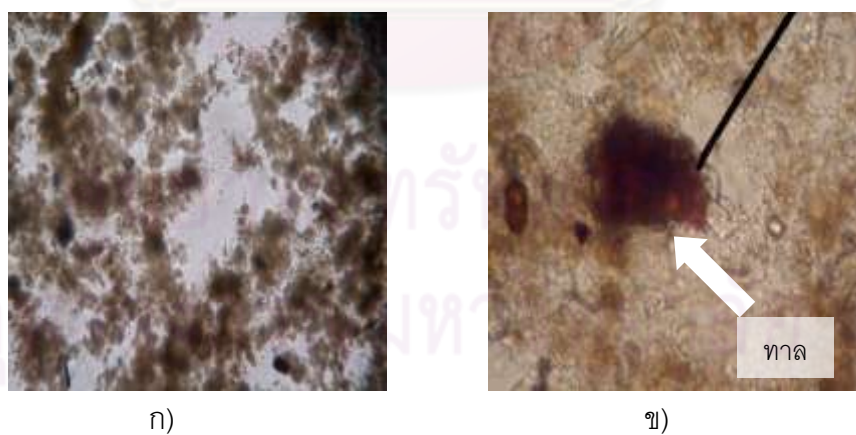
ง)

รูปที่ 4.9 การศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 40X ของระบบที่คুমอายุสัปดาห์ 10 วัน

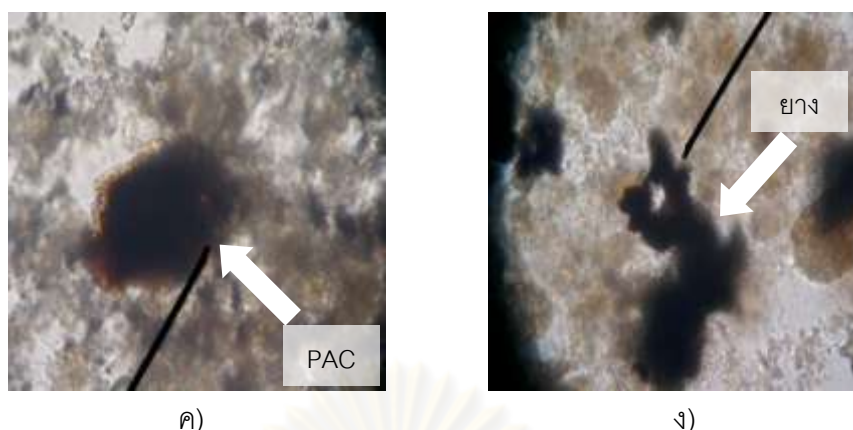
ก) ชูตควบคุม ข) ทาล ค) ถ่านกัมมันต์ชนิดผง ง) ยางบดละเอียด



รูปที่ 4.10 การศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 10X ของระบบที่คุมอายุสลดจ์ 30 วัน
 ก) ชุดควบคุม ข) ทาล ค) ถ่านกัมมันต์ชนิดผง ง) ยางบดละเอียด



รูปที่ 4.11 การศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 40X ของระบบที่คุมอายุสลดจ์ 30 วัน
 ก) ชุดควบคุม ข) ทาล



ค)

ง)

รูปที่ 4.11 การศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 40X ของระบบที่คุมอายุสัปดาห์ 30 วัน (ต่อ)

ค) ถ่านกัมมันต์ชนิดผง ง) ยางบดละเอียด

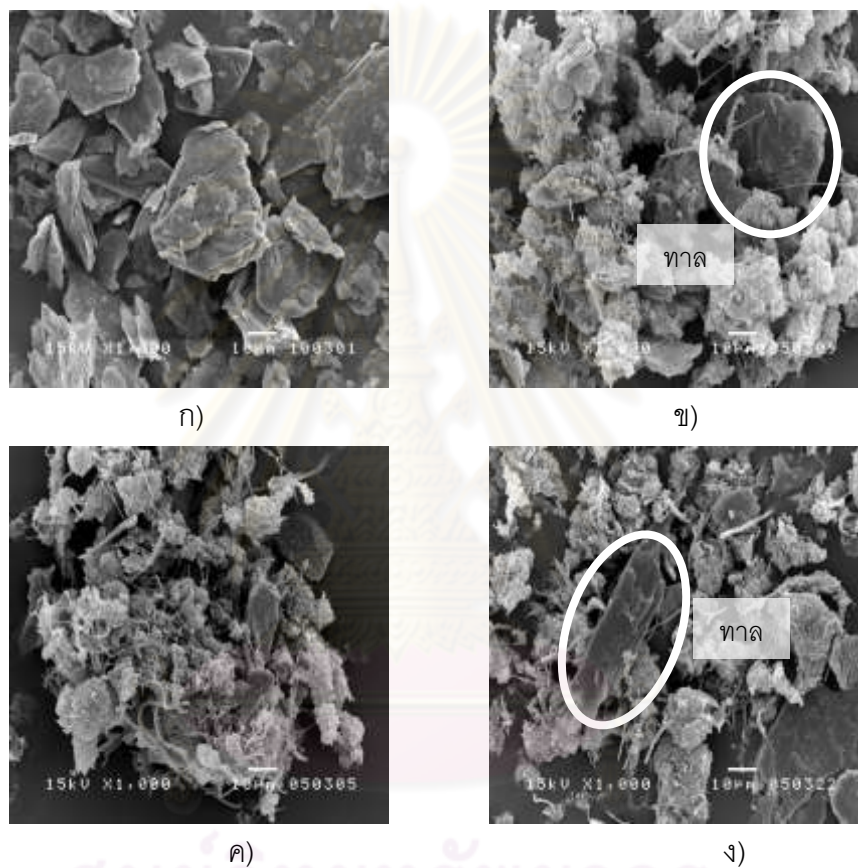
จากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่า เมื่อเติมทาลในระบบเอเอสที่ควบคุมอายุสัปดาห์ให้มีค่าต่างๆ จะเกิดมีกลุ่มของฟล็อกหนาแน่นมากขึ้น และจะเห็นปุยของฟล็อกที่มีขนาดใหญ่มากขึ้นกว่าในชุดควบคุม โดยลักษณะและขนาดของฟล็อกไม่แตกต่างกันในทุกๆ ค่าอายุสัปดาห์ของระบบเอเอส นอกจากนี้ยังตรวจพบกลุ่มจุลชีพที่มีในระบบได้เหมือนในระบบเอเอสที่เป็นชุดควบคุม แสดงว่าการเติมทาลเป็นวัสดุช่วยตกตะกอนในระบบเอเอส ไม่รบกวนการเจริญเติบโตของจุลชีพที่มีอยู่ในระบบเอเอสในทุกๆ ค่าอายุสัปดาห์ของระบบ

ส่วนในระบบที่เติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง พบว่ามีถ่านกัมมันต์กระจายอยู่ในระบบปะปนอยู่กับฟล็อกจุลชีพโดยทั่วไป และดูเหมือนว่าฟล็อกจุลชีพในระบบมีความหนาแน่นมากขึ้นเมื่อเทียบกับชุดควบคุม และยังตรวจพบกลุ่มจุลชีพเหมือนกับในชุดควบคุมคล้ายผลที่ได้จากระบบที่เติมทาล นอกจากนี้ในแง่ของอายุสัปดาห์ ผลที่ได้ก็ไม่แตกต่างกัน เช่นเดียวกับกรณีของการเติมทาล

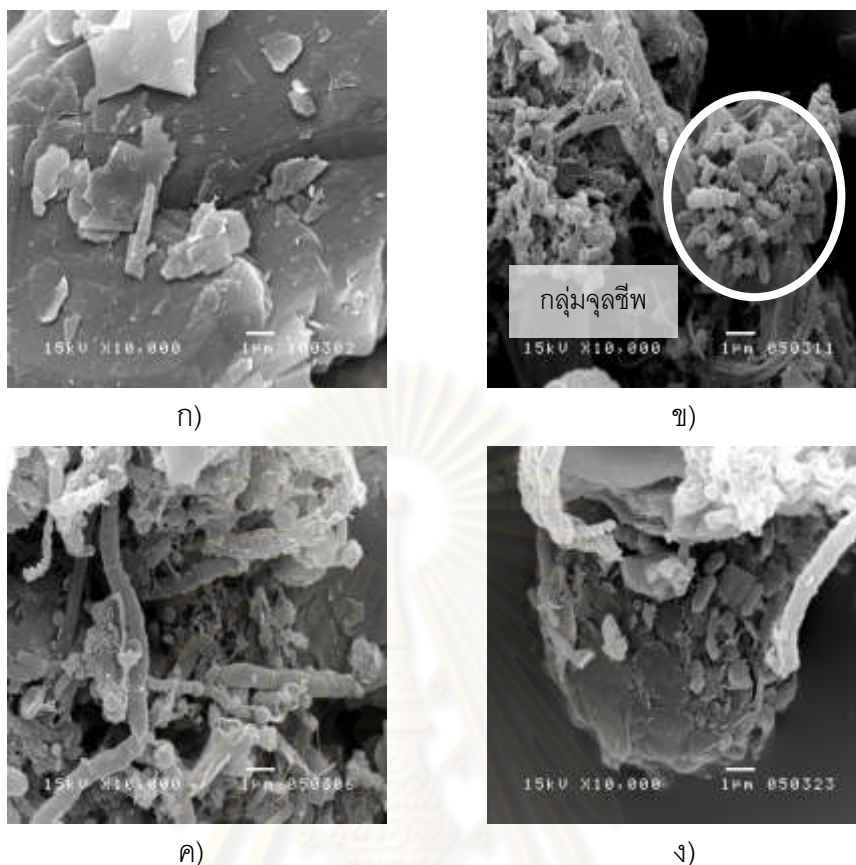
การศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ในระบบเอเอสที่เติมยางบดละเอียด พบว่าฟล็อกจะมีขนาดใหญ่และหนาแน่นมากกว่าในชุดควบคุม ซึ่งไม่แตกต่างจากผลของระบบที่เติมทาลและระบบที่เติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงแต่อย่างใด และสามารถตรวจพบกลุ่มจุลชีพที่มีอยู่ในระบบเอเอสแบบปกติ และให้ผลไม่แตกต่างกันในทุกๆ ค่าอายุสัปดาห์ของระบบ จึงเป็นข้อสนับสนุนสอดคล้องกับในหัวข้อที่ 4.1 ได้ว่า การเติมวัสดุช่วยตกตะกอนในระบบเอเอส จะไม่รบกวนจุลชีพที่มีอยู่ในระบบในทุกๆ ค่าอายุสัปดาห์ของระบบ

4.3.2 ผลการศึกษาลักษณะของฟล็อกจุลชีพในระบบเอเอสที่อายุสัปดาห์ต่างๆ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

4.3.2.1 ลักษณะของฟล็อกจุลชีพในระบบเอเอสที่เติมทาลเป็นวัสดุช่วยตกตะกอนในระบบเอเอสที่มีอายุสัปดาห์ต่างๆ



รูปที่ 4.12 การศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่กำลังขยาย 1000X ของระบบที่เติมทาล ในระบบเอเอสที่คุมอายุสัปดาห์ต่างๆ
 ก) ทาล ข) อายุสัปดาห์ 3 วัน ค) อายุสัปดาห์ 10 วัน ง) อายุสัปดาห์ 30 วัน



รูปที่ 4.13 การศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่กำลังขยาย 10000X ของระบบที่เติมทาล ในระบบเอเอสที่ควบคุมอายุสัปดาห์ต่างๆ

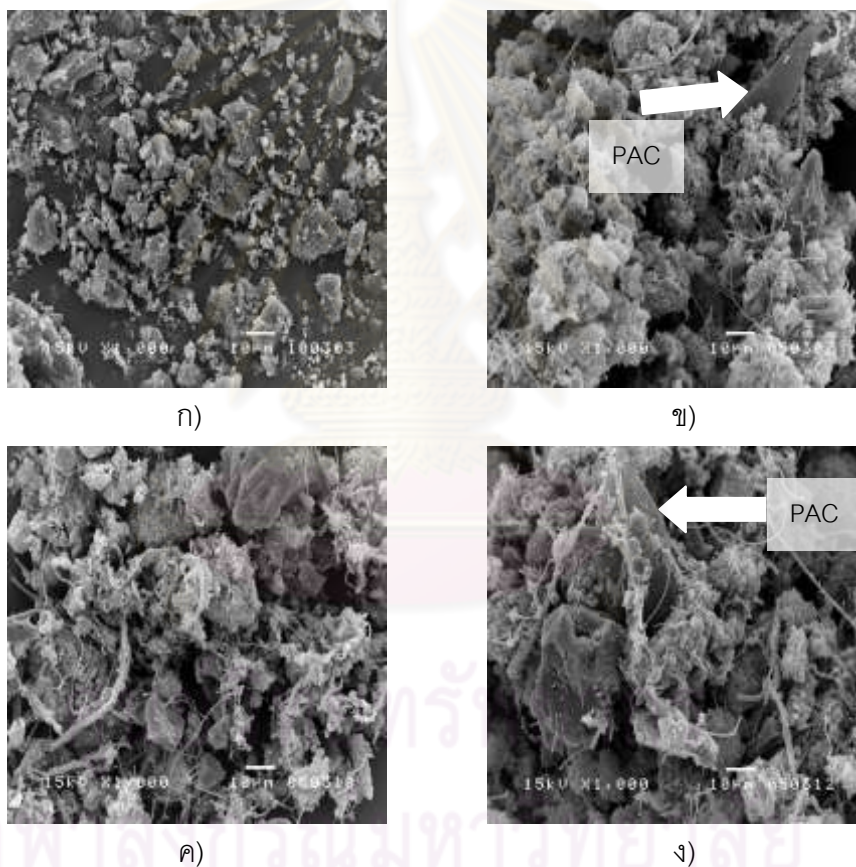
ก) ทาล ข) อายุสัปดาห์ 3 วัน ค) อายุสัปดาห์ 10 วัน ง) อายุสัปดาห์ 30 วัน

ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของระบบเอเอสที่ควบคุมอายุสัปดาห์ 3, 10 และ 30 วัน ที่มีการเติมทาล เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับรูปลักษณะพื้นผิวของทาล สังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนว่ามีจุลชีพเกาะติดอยู่ที่พื้นผิวของทาล โดยในรูปที่มีกำลังขยาย 1,000 เท่า พบลักษณะการเกาะตัวระหว่างทาลกับฟล็อกจุลชีพมีลักษณะเหมือนกับทาลถูกห่อหุ้มไว้ด้วยฟล็อกจุลชีพ มีการเชื่อมติดกันระหว่างชิ้นของทาลด้วยจุลชีพ เช่นในรูปที่ 4.12 ข) การเกาะตัวกันระหว่างทาลกับฟล็อกจุลชีพทำให้เกิดเป็นฟล็อกขนาดใหญ่และมีความหนาแน่นของฟล็อกมากกว่าฟล็อกจุลชีพในชุดควบคุมที่ไม่มีการเติมทาล

การตรวจสอบด้วยกำลังขยาย 10,000 เท่า จะเห็นการเกาะติดของจุลชีพขนาดเล็กที่พื้นผิวของทาล ตัวอย่างดังเช่นรูปที่ 4.13 ข) แสดงว่าทาลสามารถเป็น ตัวกลางที่จุลชีพสามารถมาเกาะติดและเจริญเติบโตบนผิวทาลได้ และจากการที่จุลชีพสามารถเกาะติดและห่อหุ้มที่ตัวทาลได้นั้น อาจเป็นผลทำให้ฟล็อกมีความหนาแน่นและมีน้ำหนักเพิ่มมากขึ้นกว่าของฟล็อกจุลชีพใน

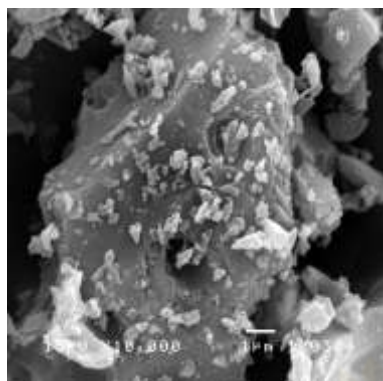
ระบบเอเอสธรรมดาที่ไม่มีการเติมทาล ส่งผลทำให้ฟล็อกมีน้ำหนักมาก สามารถตกตะกอนได้ดีขึ้น และมีความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ในระบบเอเอสที่เติมทาลเพิ่มสูงขึ้นกว่าในชุดควบคุม โดยผลการศึกษามีลักษณะคล้ายกันในทุกๆ ค่าอายุสลัดจ์ของระบบเอเอส จึงเป็นเหตุสนับสนุนได้ว่า ทาลสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุช่วยตกตะกอนในระบบเอเอสได้โดยไม่รบกวนต่อสภาวะการเจริญเติบโตและการทำงานของจุลชีพในระบบเอเอส

4.3.2.2 ลักษณะของฟล็อกจุลชีพในระบบเอเอสที่เติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงเป็นวัสดุช่วยตกตะกอนในระบบเอเอสที่มีอายุสลัดจ์ต่างๆ



รูปที่ 4.14 การศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่กำลังขยาย 1000X ของระบบที่เติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง ในระบบเอเอสที่คุมอายุสลัดจ์ต่างๆ

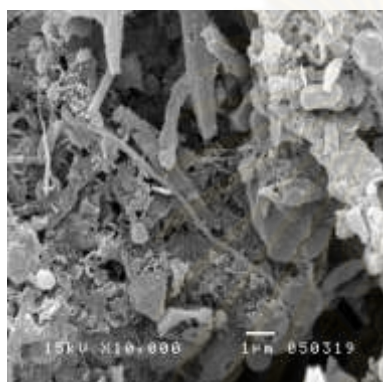
ก) ถ่านกัมมันต์ชนิดผง ข) อายุสลัดจ์ 3 วัน ค) อายุสลัดจ์ 10 วัน ง) อายุสลัดจ์ 30 วัน



ก)



ข)



ค)



ง)

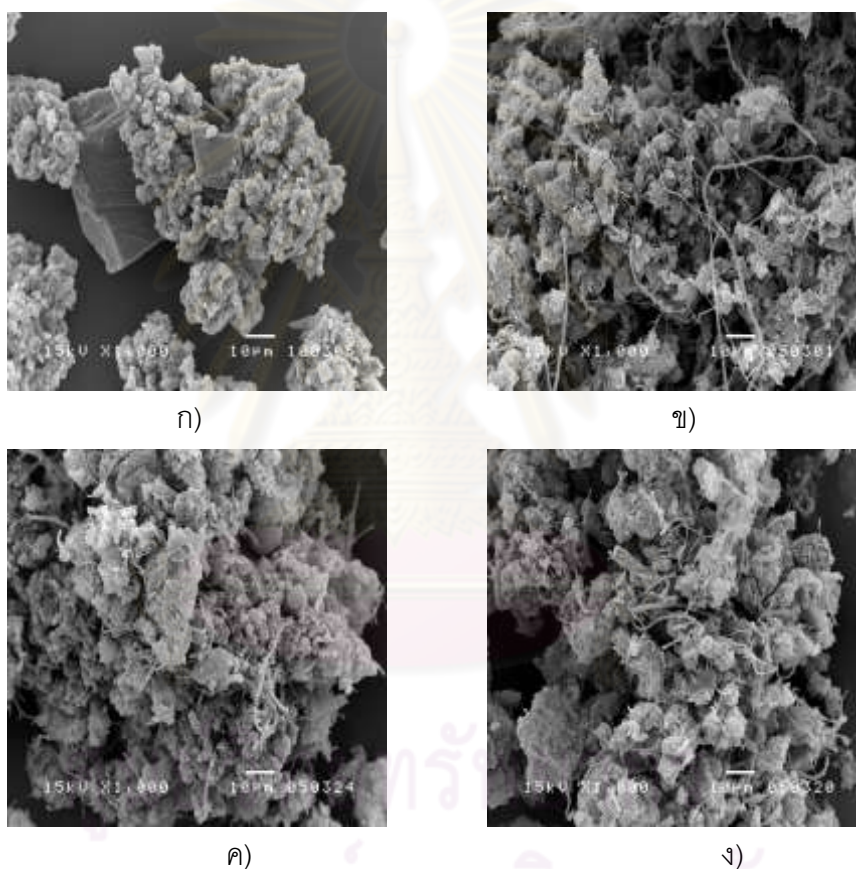
รูปที่ 4.15 การศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่กำลังขยาย 10000X ของระบบที่เติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง ในระบบเอเอสที่คุมอายุสัปดาห์ต่างๆ

ก) ถ่านกัมมันต์ชนิดผง ข) อายุสัปดาห์ 3 วัน ค) อายุสัปดาห์ 10 วัน ง) อายุสัปดาห์ 30 วัน

จากการศึกษาการเกาะตัวของถ่านกัมมันต์ชนิดผงกับฟล็อก จุลชีพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่กำลังขยาย 1,000 เท่า พบว่ามีฟล็อกจุลชีพห่อหุ้ม เชื่อมติดกับถ่านกัมมันต์คล้ายกับผลที่แสดงไว้ในระบบที่มีการเติมทาล ส่วนในรูปที่มีกำลังขยาย 10,000 เท่า เห็นได้อย่างชัดเจนว่ามีจุลชีพขนาดเล็กจำนวนมากมาเกาะติดที่บริเวณผิวของ ถ่านกัมมันต์ ดังในรูปที่ 4.15 ง) สาเหตุที่มีจุลชีพมาเกาะติดที่ผิวถ่านกัมมันต์เป็นจำนวนมาก อาจเนื่องจากถ่านกัมมันต์มีรูพรุนจำนวนมากทำให้มีจุลชีพมาเกาะติดมาก และถ่านกัมมันต์โดยทั่วไปนั้นจะมีรูพรุนขนาดประมาณ 20 ถึง 20,000 อังสตรอม หรือเท่ากับ 0.002 ถึง 2 ไมครอน (มันดิน ตัญฑุลเวชม์ , 2542) ส่วนขนาดของจุลชีพทั่วไปในระบบบำบัดน้ำเสียจะมีขนาดเฉลี่ยประมาณ 0.2 ถึง 100 ไมครอน (Metcalf and Eddy, 2003) จึงอาจเป็นไปได้ว่าจุลชีพบางส่วนจะสามารถเข้าไปเกาะติดภายในรูพรุนของถ่านกัมมันต์ได้ ส่งผลให้มีปริมาณจุลชีพในระบบเพิ่มมากขึ้นทำให้เกิดการบำบัดน้ำเสียได้ดีขึ้น และการที่จุลชีพเกาะตัวอยู่กับถ่านกัมมันต์อาจช่วยสร้างให้เกิดเป็นฟล็อกที่มีขนาดใหญ่ มี

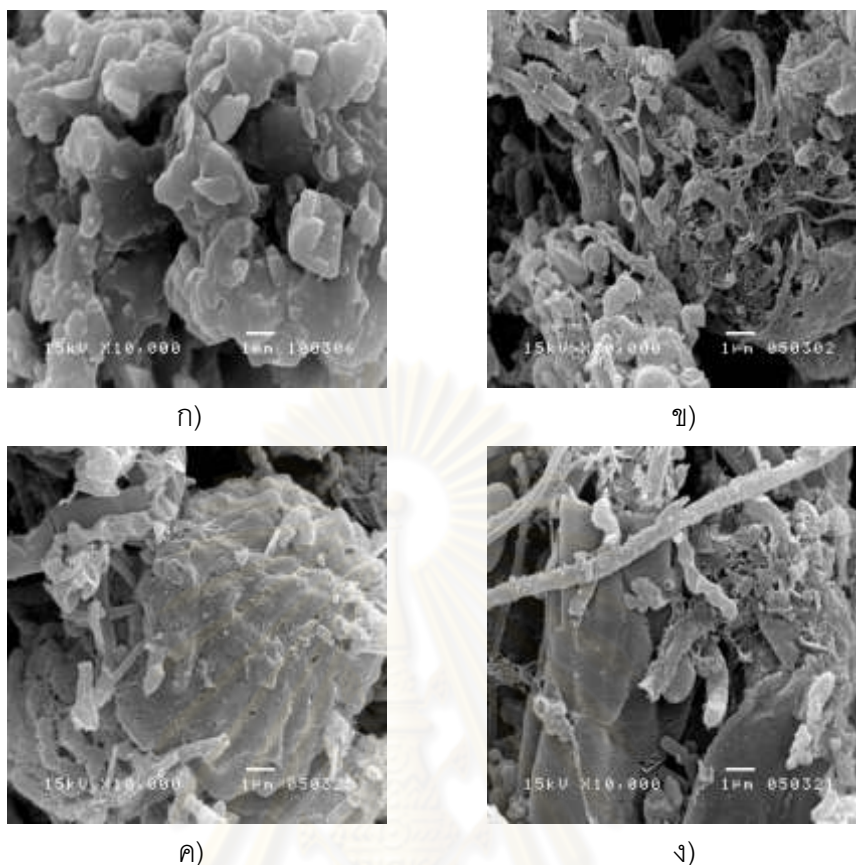
น้ำหนักมากขึ้นกว่าฟล็อกปกติ ส่งผลให้การตกตะกอนของระบบดีขึ้น และค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์มีค่าเพิ่มสูงขึ้นด้วย นอกจากนี้ ในแง่ของอายุสลัดจ์ของระบบยังพบอีกว่า ลักษณะการเกาะตัวระหว่างฟล็อกจุลชีพกับถ่านกัมมันต์ชนิดผง มีลักษณะไม่แตกต่างกันในทุกๆ ค่าอายุสลัดจ์ของระบบเอเอส

4.3.2.3 ลักษณะของฟล็อกจุลชีพในระบบเอเอสที่เติมยางบดละเอียดเป็นวัสดุช่วยตกตะกอนในระบบเอเอสที่มีอายุสลัดจ์ต่างๆ



รูปที่ 4.16 การศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่กำลังขยาย 1000X ของระบบที่เติมยางบดละเอียดในระบบเอเอสที่คุมอายุสลัดจ์ต่างๆ

ก) ยางบดละเอียด ข) อายุสลัดจ์ 3 วัน ค) อายุสลัดจ์ 10 วัน ง) อายุสลัดจ์ 30 วัน



รูปที่ 4.17 การศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่กำลังขยาย 10000X ของระบบที่เติมยางบดละเอียดในระบบเอเอสที่ควบคุมอายุสลัดจ์ต่างๆ

ก) ยางบดละเอียด ข) อายุสลัดจ์ 3 วัน ค) อายุสลัดจ์ 10 วัน ง) อายุสลัดจ์ 30 วัน

การศึกษาการเกาะตัวของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนระหว่างยางกับฟล็อกจุลชีพในระบบเอเอสที่ควบคุมให้มีค่าอายุสลัดจ์ต่างๆ ทั้ง 3 ค่า นั้น พบลักษณะการเกาะติดของจุลชีพที่พื้นผิวของยาง โดยผลไม่แตกต่างกันทั้ง 3 ค่าอายุสลัดจ์ ซึ่งมีลักษณะการเกาะติดระหว่างจุลชีพกับยางคล้าย กับผลการเกาะตัวในระบบที่เติมทาลและถ่านกัมมันต์

การศึกษาการเกาะตัวระหว่างฟล็อกจุลชีพกับวัสดุช่วยตกตะกอนในระบบเอเอสที่มีอายุสลัดจ์ต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมาในหัวข้อที่ 4.2 ทั้งหมดนั้น แสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการเติมวัสดุช่วยตกตะกอน คือ ทาล ถ่านกัมมันต์ชนิดผง และยาง บดละเอียด ลงในระบบเอเอสที่ควบคุมอายุสลัดจ์ทั้ง 3 ค่า คือ 3, 10 และ 30 วัน แล้วเมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์จะเห็นว่า ลักษณะของฟล็อกจะดูมีความหนาแน่นและฟล็อกบางส่วนจะมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่อายุสลัดจ์เดียวกัน ซึ่งก็สอดคล้องกับในผลการทดลองของ Bidault และคณะ (Bidault, 1997) ที่กล่าวว่าทาลสามารถช่วยในการก่อตัวของฟล็อกในระบบเอเอสให้มีขนาดใหญ่เพิ่มมากขึ้นได้ และทาล

ยังสามารถเข้ากันได้ดีกับจุลชีพที่มีอยู่ในระบบเอเอสอีกด้วย นอกจากนี้เมื่อตรวจสอบก็จะพบกลุ่มจุลชีพในระบบที่เติมวัสดุช่วยตกตะกอนได้ไม่แตกต่างกันกับในชุดควบคุม ซึ่งให้ผลคล้ายคลึงกันในทุกๆ ค่าอายุสไลด์จ์ของระบบเอเอส แต่ในช่วงวันท้ายๆ ของการทดลองคือตั้งแต่ประมาณวันที่ 30 ขึ้นไปในระบบเอเอสที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงและยางบดละเอียด มีแนวโน้มในการตรวจพบจุลชีพกลุ่มเส้นใยได้มากกว่าในระบบที่มีการเติมทาล

เมื่อทำการศึกษากาการเกาะตัวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่กำลังขยาย 10,000 เท่าพบว่าจุลชีพมีการเกาะติดที่ผิวของวัสดุช่วยตกตะกอนได้ในทุกๆ ชนิดของวัสดุช่วยตกตะกอน ในทุกๆ ค่าอายุสไลด์จ์ของระบบเอเอส จึงอาจเป็นเหตุผลว่าในระบบที่เติมทาล ถ่านกัมมันต์ชนิดผงและยางบดละเอียด สามารถช่วยเพิ่มความเร็วในการตกตะกอนของสไลด์จ์ในระบบเอเอสได้ โดยเฉพาะในระบบที่เติมถ่านกัมมันต์สังเกตพบจุลชีพเกาะติดอยู่ที่ผิวถ่านเป็นจำนวนมาก อาจเนื่องจากถ่านมีพื้นผิวให้จุลชีพเกาะได้มาก ซึ่งเป็นไปได้ว่าจะช่วยให้ปริมาณจุลชีพในระบบมีจำนวนมากขึ้น ส่งผลให้ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียดีขึ้น

นอกจากนี้การศึกษาดังกล่าวยังเป็นการยืนยันได้อีกทางหนึ่งว่า การเติมวัสดุเช่น ทาลและถ่านกัมมันต์ลงในระบบเอเอส จะไม่รบกวนสภาวะการเจริญเติบโตและการทำงานของจุลชีพในระบบเอเอสทั้ง 3 ค่าอายุสไลด์จ์ ส่วนในระบบเอเอสที่เติมยางบดละเอียดก็ยังสามารถตรวจสอบพบจุลชีพได้อย่างเป็นปกติ และระบบก็ยังสามารถบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพไม่ต่างจากระบบเอเอสที่เติมทาลและถ่านกัมมันต์ และไม่มี ความแตกต่างไปจากระบบเอเอสปกติ ซึ่งก็สอดคล้องกับงานวิจัยของ Park และคณะ (Park และคณะ, 2006) ว่าการใช้ยางรถยนต์เก่ามาใช้เป็นตัวกลางในระบบชีวภาพนั้นจะไม่เกิดการเป็นพิษต่อจุลชีพในระบบและยางยังให้พื้นที่ผิวที่ดีต่อการเกาะตัวของจุลชีพอีกด้วย

ในแง่ของการแปรเปลี่ยนค่าอายุสไลด์จ์ 3, 10 และ 30 วัน พบว่า ค่าอายุสไลด์จ์ทั้ง 3 ค่าไม่ส่งผลต่อการจับตัวระหว่าง วัสดุช่วยตกตะกอนกับฟล็อกชีวภาพ โดยการจับตัวเป็นลักษณะที่ฟล็อกห่อหุ้มรอบวัสดุช่วยตกตะกอนและมีการเกาะติดที่ผิวของวัสดุช่วยตกตะกอนได้เหมือนกันในทุกค่าอายุสไลด์จ์

จากการศึกษานี้เป็นไปได้ว่าวัสดุทั้ง 3 ชนิดสามารถเข้ากันได้กับจุลชีพในระบบ และอาจเป็นตัวกลางที่ทำให้ จุลชีพสามารถมาเกาะที่ผิวของวัสดุดังกล่าว ทำให้สามารถช่วยในการเพิ่มความเร็วในการตกตะกอนของสไลด์จ์ในระบบเอเอสได้ในทุกๆ ค่าอายุสไลด์จ์อีกด้วย ซึ่งจะได้ทำการศึกษาผลจากการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนที่มีต่อความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนไว้ในหัวข้อต่อไป

4.4 ผลการวิเคราะห์ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน (Initial Settling Velocity, ISV)

การทดลองในขั้นตอนนี้ เป็นการทดลองเพื่อเปรียบเทียบความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนในระบบเอเอสที่คูลอายุสลัดจ์ 3, 10 และ 30 วัน ที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอน คือ ทาล ถ่านกัมมันต์ชนิดผง และยางบ ดละเอียด และเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอน ทำการทดลองเมื่อทุกระบบได้เข้าสู่ช่วงสภาวะคงที่ (Steady State) เป็นที่เรียบร้อยแล้ว โดยทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้งในช่วงวันที่ 20, 30 และ 40 วันของการทดลอง เพื่อเปรียบเทียบถึงผลจากความแตกต่างระหว่างระยะเวลาที่ทำการทดลองต่อการเปลี่ยนแปลงไปของค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของระบบ และทำการทดลองโดยใช้ค่าความเข้มข้นของสลัดจ์ในถังปฏิกริยาในรูปของเอ็มแอลเอสเอสที่มีความเข้มข้นต่างกัน 4 ค่าความเข้มข้น คือ 2000, 3000, 4000 และ 5000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นค่าเอ็มแอลเอสเอสของระบบที่รวมน้ำหนักของวัสดุช่วยตกตะกอน และเป็นค่าโดยประมาณที่ได้จากการนำเอาสลัดจ์ในระบบมาเจือจาง เหตุผลที่ใช้ค่าความเข้มข้นของสลัดจ์ในการทดลองตั้งแต่ 2000-5000 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากค่าความเข้มข้นเหล่านี้ถือเป็นความเข้มข้นของสลัดจ์ในช่วงปกติของระบบเอเอส และจากการทำการทดลองพบว่าเมื่อความเข้มข้นของสลัดจ์ที่ต่ำกว่า 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตรจะทำให้มองเห็นการตกตะกอนของสลัดจ์ไม่ชัดเจน ตะกอนจะฟุ้งกระจาย ยากแก่การอ่านค่าระยะของการตกตะกอนให้ถูกต้องได้ ส่วนในการทดลองที่ความเข้มข้นของสลัดจ์สูงกว่า 5000 มิลลิกรัมต่อลิตรนั้น เวลาในการตกตะกอนของสลัดจ์จะช้ามากจนไม่สะดวกต่อการทำการทดลอง ดังนั้นจึงได้เลือกใช้ค่าความเข้มข้นของสลัดจ์ที่เหมาะสมที่จะทำให้สามารถวัดค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนได้ชัดเจน และได้กำหนดใช้ความเข้มข้นของสลัดจ์ตั้งแต่ 2000 – 5000 มิลลิกรัมต่อลิตร มาใช้เป็นความเข้มข้นในการทดลองหาค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ในทุกๆ ชุดการทดลอง โดยตารางแสดงค่าความเร็วในการตกตะกอน กราฟแสดงค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนที่ทำการวิเคราะห์ในการทดลอง และตัวอย่างในการคำนวณหาค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข.

4.4.1 การเปรียบเทียบความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนในระบบเอเอสที่คูลอายุสลัดจ์ 3 วัน

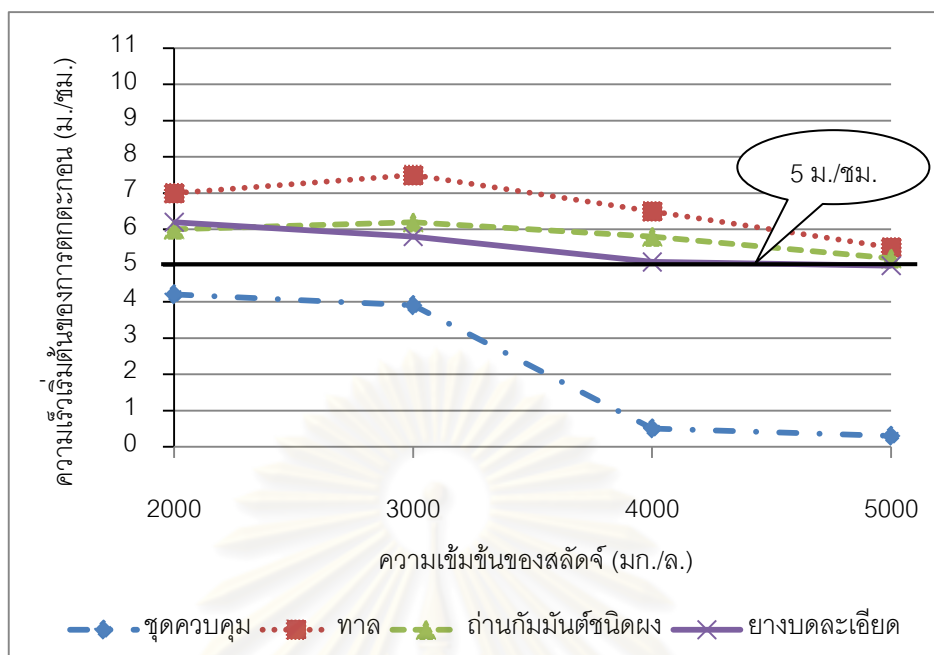
ในหัวข้อนี้ได้ทำการศึกษาหาค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ในระบบเอเอสที่เติมวัสดุช่วยตกตะกอน และควบคุมระบบเอเอสให้มีค่าอายุสลัดจ์เท่ากับ 3 วัน ซึ่งทำการหาค่า

ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่ระยะเวลาการทดลอง 20, 30 และ 40 วัน ด้วยความเข้มข้นของสลัดจ์ 2,000 ถึง 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนแสดงไว้ในตารางที่ 4.1 และกราฟความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนดังรูปที่ 4.17 ถึง 4.19 ดังต่อไปนี้

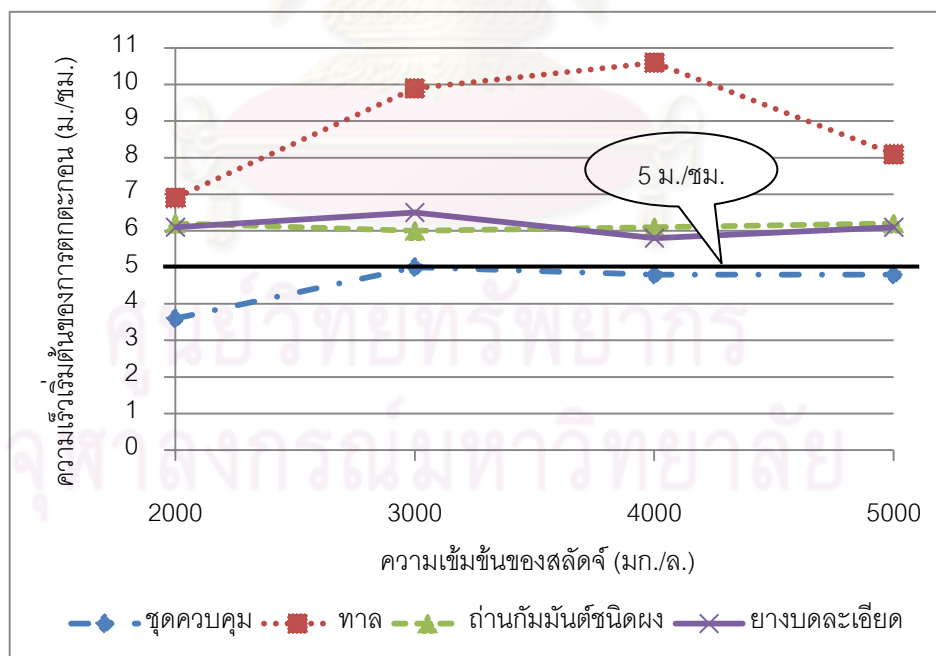
ตารางที่ 4.1 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนชนิดต่างๆ ในระบบเอเอสที่คัมอายุสลัดจ์ 3 วัน

วันที่ ทดลอง	ชุดการทดลอง	ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนที่ความเข้มข้นต่างๆ (ม./ชม.)			
		2000 มก./ล.	3000 มก./ล.	4000 มก./ล.	5000 มก./ล.
20	ชุดควบคุม	4.2	3.9	0.5	0.3
	ทาล	7.0	7.5	6.5	5.5
	ถ่านกัมมันต์ชนิดผง	6.0	6.2	5.8	5.2
	ยางบดละเอียด	6.2	5.8	5.1	5.0
30	ชุดควบคุม	3.6	5.0	4.8	4.8
	ทาล	6.9	9.9	10.6	8.1
	ถ่านกัมมันต์ชนิดผง	6.2	6.0	6.1	6.2
	ยางบดละเอียด	6.1	6.5	5.8	6.1
40	ชุดควบคุม	5.8	5.2	4.4	3.3
	ทาล	8.9	8.4	7.8	7.1
	ถ่านกัมมันต์ชนิดผง	6.4	6.1	5.8	5.2
	ยางบดละเอียด	6.1	5.8	5.3	5.0

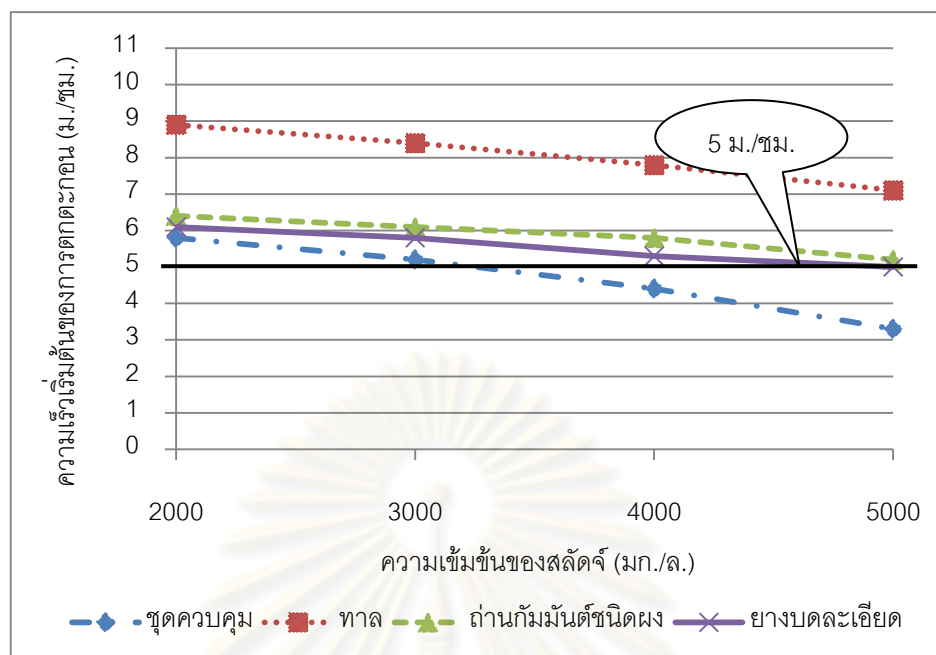
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.18 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสัลดีจที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนในระบบ
เอเอสที่คุมอายุสัลดีจ 3 วัน ที่วันที่ 20 ของการทดลอง



รูปที่ 4.19 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสัลดีจที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนในระบบ
เอเอสที่คุมอายุสัลดีจ 3 วัน ที่วันที่ 30 ของการทดลอง



รูปที่ 4.20 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนในระบบเอเอสทีคูมอายุสลัดจ์ 3 วัน ที่วันที่ 40 ของการทดลอง

จากการทดลองหาค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ในระบบเอเอสทีคูมให้มีความเข้มข้นสลัดจ์เท่ากับ 3 วัน พบว่าผลของค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนมีค่าสูงที่สุดในวันที่ 30 ของการทดลองคือ 10.6 เมตรต่อชั่วโมง ในระบบที่เติมทาลเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน ที่มีความเข้มข้นของสลัดจ์ในรูปเอ็มแอลเอสเอสเท่ากับ 4,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ระบบที่เติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงจะมีค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนสูงสุด 6.2 เมตรต่อชั่วโมง ส่วนในระบบที่เติมยางบดละเอียดจะมีค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนสูงสุด 6.5 เมตรต่อชั่วโมง ที่ความเข้มข้นสลัดจ์ 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันที่ 30 ของการทดลอง โดยที่ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของแต่ละระบบในแต่ละช่วงเวลาของการทดลองจะมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก อาจเป็นเพราะระบบเข้าสู่สภาวะคงที่หมดแล้วและระบบที่มีการเติมทาลจะสามารถทำให้ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนมีค่าสูงขึ้นมากกว่าในระบบที่เติมถ่านกัมมันต์และยางในทุกๆ ช่วงเวลาที่ทำการทดลอง และมีค่าสูงที่สุดในทุกๆ ค่าความเข้มข้นของสลัดจ์ที่ใช้ทำการทดลอง เหตุผลที่ทำให้ระบบที่เติมทาลมีค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนมีค่าสูงมากกว่าในระบบที่เติมถ่านกัมมันต์และยางนั้น ก็เนื่องจกทาลเป็นวัสดุที่มีค่าความถ่วงจำเพาะสูงถึง 2.7 ซึ่งมีค่ามากกว่าถ่านกัมมันต์และยางที่มีความถ่วงจำเพาะ 2.2 และ 1.06 ตามลำดับ จึงอาจส่งผลทำให้ความเร็วในการตกตะกอนของระบบที่เติมทาลมีค่าสูงมากกว่าในระบบที่เติมถ่านกัมมันต์และยาง

ส่วนระบบที่เติมถ่านกัมมันต์เป็นวัสดุช่วยตกตะกอนมีค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนสูงมากกว่าในระบบที่เติมยางบดละเอียด ซึ่งก็สอดคล้องกับผลของค่าความถ่วงจำเพาะของถ่านกัมมันต์ที่มีค่ามากกว่ายาง จึงทำให้ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนในระบบที่เติมถ่านกัมมันต์มีค่าสูงกว่าระบบที่เติมยาง ยกเว้นในวันที่ 30 ของการทดลองที่ความเข้มข้นสลัดจ์ 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ผลของค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของระบบที่เติมยางมีค่ามากกว่าระบบที่เติมถ่านกัมมันต์ แต่ผลของค่าความเร็วของการตกตะกอนโดยรวมของทั้ง 2 ระบบนี้จะไม่แตกต่างกันมากนัก

จากผลการทดลองดังกล่าวพบว่าค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ในระบบที่ไม่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอน หรือชุดควบคุมนั้น มีค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ต่ำกว่าในระบบที่มีการเติมวัสดุทั้ง 3 ชนิดอย่างมาก คือมีค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนสูงที่สุดเพียง 5.8 และ 5.2 เมตรต่อชั่วโมง ในวันที่ 40 ของการทดลองด้วยความเข้มข้นสลัดจ์ 2,000 และ 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนค่าความเร็วของการตกตะกอนในช่วงระยะเวลาอื่น และที่ความเข้มข้นของสลัดจ์อื่น ระบบที่ไม่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนจะมีค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนต่ำกว่า 5 เมตรต่อชั่วโมงทั้งหมด ซึ่งในทางทฤษฎีถือว่าเป็นการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีประสิทธิภาพไม่ดี (Water Environment Federation, 2005) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในวันที่ 20 ของการทดลอง ด้วยความเข้มข้นของสลัดจ์ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนเพียง 0.3 เมตรต่อชั่วโมงเท่านั้น ส่วนในระบบเอเอสที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนลงในระบบจะสามารถช่วยให้ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนสูงขึ้นมากกว่า 5 เมตรต่อชั่วโมงได้ในทุกๆ ระบบที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอน

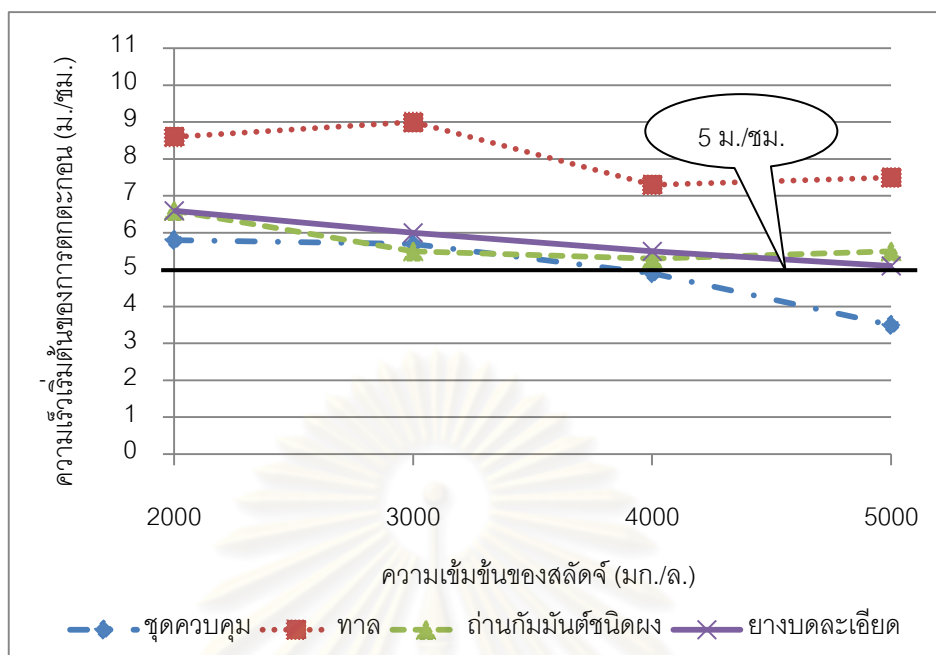
4.4.2 การเปรียบเทียบความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนในระบบเอเอสที่คุมอายุสลัดจ์ 10 วัน

การศึกษาในหัวข้อนี้ได้ทำการศึกษาค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ในระบบเอเอสที่เติมวัสดุช่วยตกตะกอน และควบคุมระบบเอเอสให้มีค่าอายุสลัดจ์เท่ากับ 10 วัน ซึ่งทำการหาค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่ระยะเวลาการทดลอง 20, 30 และ 40 วัน ด้วยความเข้มข้นของสลัดจ์ 2,000 ถึง 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนไว้ในตารางที่ 4.2 และกราฟความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนดังรูปที่ 4.20 ถึง 4.22 ดังต่อไปนี้

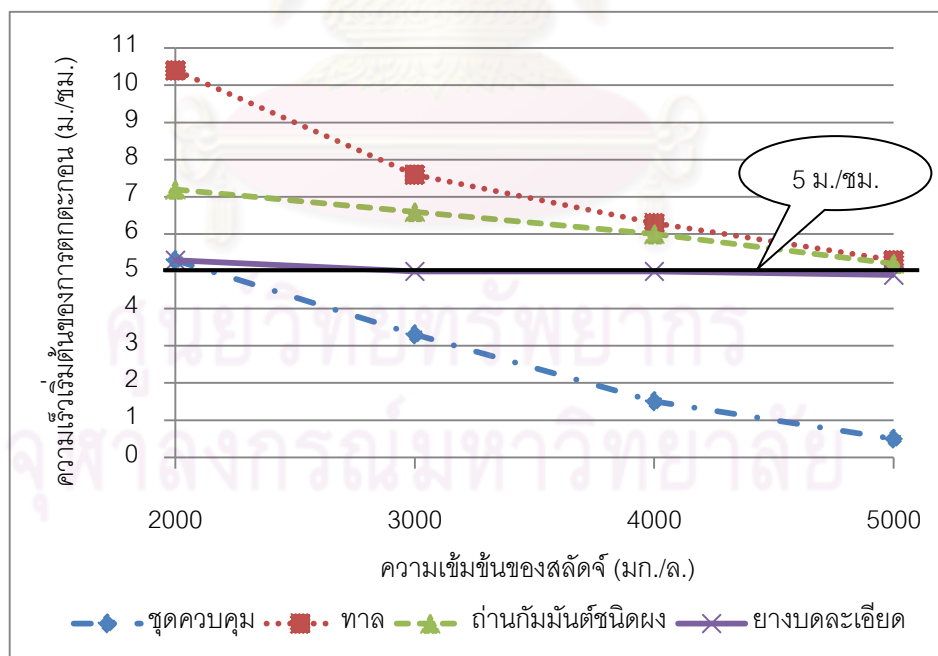
ตารางที่ 4.2 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนชนิดต่างๆ ในระบบเอเอสที่คูมอายุสลัดจ์ 10 วัน

วันที่ทดลอง	ชุดการทดลอง	ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนที่ความเข้มข้นต่างๆ (ม./ชม.)			
		2000 มก./ล.	3000 มก./ล.	4000 มก./ล.	5000 มก./ล.
20	ชุดควบคุม	5.8	5.7	4.9	3.5
	ทาล	8.6	9.0	7.3	7.5
	ถ่านกัมมันต์ชนิดผง	6.6	5.5	5.3	5.0
	ยางบดละเอียด	6.6	6.0	5.5	5.1
30	ชุดควบคุม	5.0	3.3	1.5	0.5
	ทาล	10.4	7.6	6.3	5.3
	ถ่านกัมมันต์ชนิดผง	7.2	6.6	6.0	5.2
	ยางบดละเอียด	5.3	5.0	5.0	4.9
40	ชุดควบคุม	3.3	2.4	1.7	1.4
	ทาล	6.0	6.8	5.5	5.2
	ถ่านกัมมันต์ชนิดผง	5.9	5.7	5.4	4.8
	ยางบดละเอียด	6.3	5.6	5.0	4.6

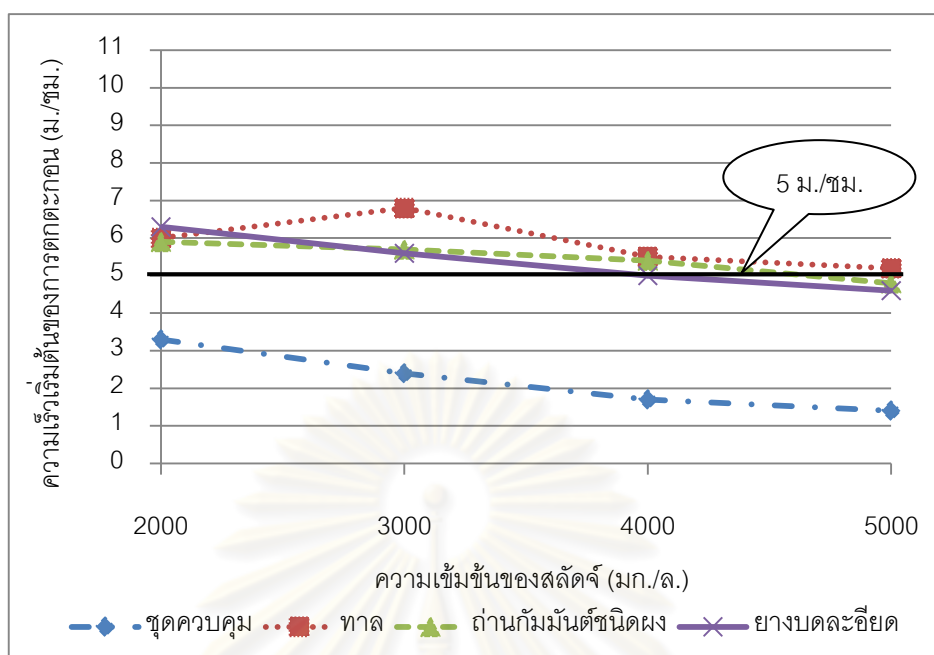
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.21 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลิคค์ที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนในระบบ
เอเอสที่คุ่มอายุสลิคค์ 10 วัน ที่วันที่ 20 ของการทดลอง



รูปที่ 4.22 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลิคค์ที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนในระบบ
เอเอสที่คุ่มอายุสลิคค์ 10 วัน ที่วันที่ 30 ของการทดลอง



รูปที่ 4.23 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนในระบบเอเอสที่คุมอายุสลัดจ์ 10 วัน ที่วันที่ 40 ของการทดลอง

ในระบบเอเอสที่คุมอายุสลัดจ์ให้มีค่า 10 วัน เมื่อทำการทดลองหาค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ในระบบที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอน พบว่า ระบบที่เติมทาลจะมีค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนสูงสุดที่ 10.4 เมตรต่อชั่วโมง ในวันที่ 30 ของการทดลองด้วยความเข้มข้นสลัดจ์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ระบบที่เติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงจะมีค่าสูงสุด 7.2 เมตรต่อชั่วโมง ในวันที่ 30 ของการทดลองด้วยความเข้มข้นสลัดจ์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และในระบบที่เติมยางจะมีค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนสูงสุด 6.6 เมตรต่อชั่วโมง ในวันที่ 20 ของการทดลองด้วยความเข้มข้นสลัดจ์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนในระบบที่เติมทาล ถ่านกัมมันต์ และยาง มากกว่าในชุดควบคุม ในทุกๆ ความเข้มข้นของสลัดจ์ และทุกๆ ช่วงเวลาของการทดลอง และมีค่ามากกว่า 5 เมตรต่อชั่วโมงซึ่งจัดว่าเป็นการตกตะกอนของสลัดจ์ที่ดี (Water Environment Federation, 2005) ยกเว้นที่ความเข้มข้นสลัดจ์ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ในระบบที่เติมถ่านกัมมันต์วันที่ 40 ของการทดลอง ระบบจะมีค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน 4.9 เมตรต่อชั่วโมง และในระบบที่เติมยางในวันที่ 30 และ 40 ของการทดลอง ระบบจะมีค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน เท่ากับ 4.9 และ 4.6 เมตรต่อชั่วโมงตามลำดับ ซึ่งก็มีค่าต่ำกว่า 5 เมตรต่อชั่วโมงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และเมื่อเทียบกับชุดควบคุม พบว่า ระบบที่เติมถ่านและยางนั้น ยังคงมีค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนสูงกว่าชุดควบคุมเกินกว่า 3 เท่า

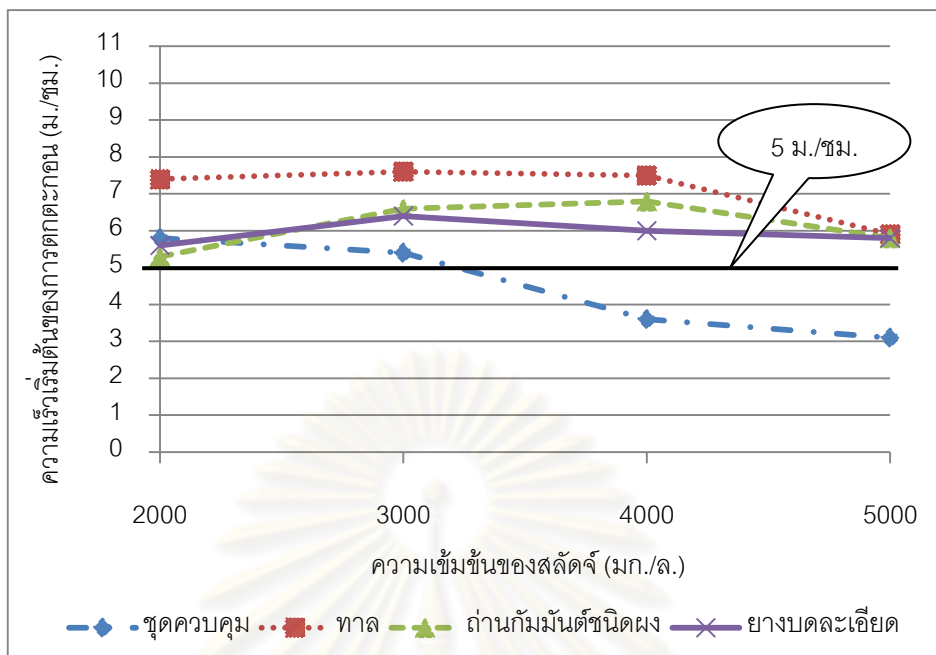
สังเกตได้ว่าในระบบที่มีการเติมทาลจะสามารช่วยให้ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนมีค่าสูงที่สุดในทุกๆ ช่วงเวลาของการทดลองและในทุกค่าความเข้มข้น ส่วนในระบบที่เติมถ่านและยางจะมีค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนใกล้เคียงกัน

4.4.3 การเปรียบเทียบความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนในระบบเอเอสที่คุมอายุสลัดจ์ 30 วัน

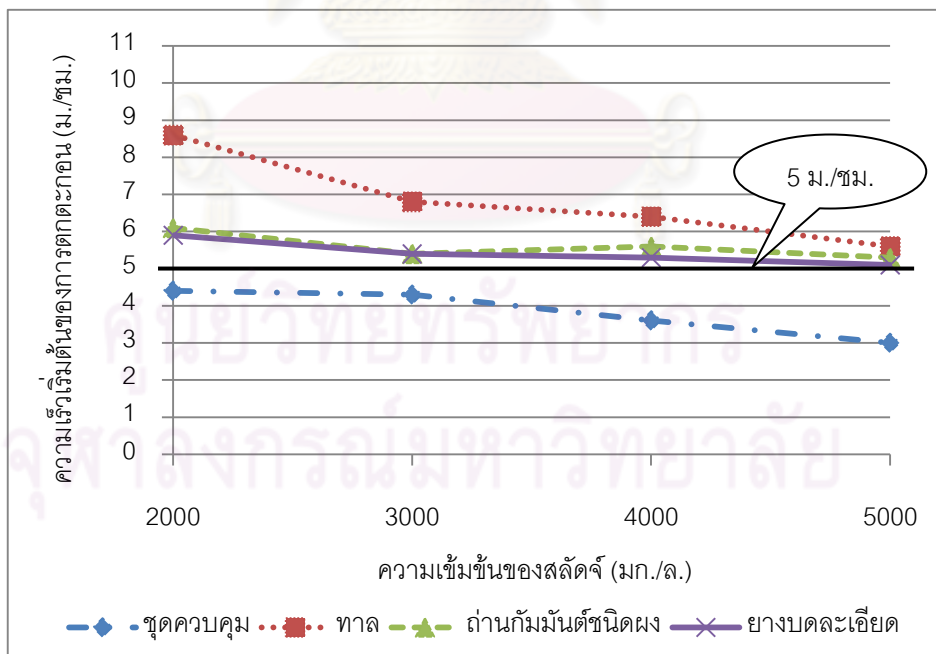
การศึกษาในหัวข้อนี้ได้ทำการศึกษาค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ในระบบเอเอสที่เติมวัสดุช่วยตกตะกอน และควบคุมระบบเอเอสให้มีค่าอายุสลัดจ์เท่ากับ 30 วัน ซึ่งทำการหาค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่ระยะเวลาการทดลอง 20, 30 และ 40 วัน ด้วยความเข้มข้นของสลัดจ์ 2,000 ถึง 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนไว้ในตารางที่ 4.3 และกราฟความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนดังรูปที่ 4.23 ถึง 4.25 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.3 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนชนิดต่างๆ ในระบบเอเอสที่คุมอายุสลัดจ์ 30 วัน

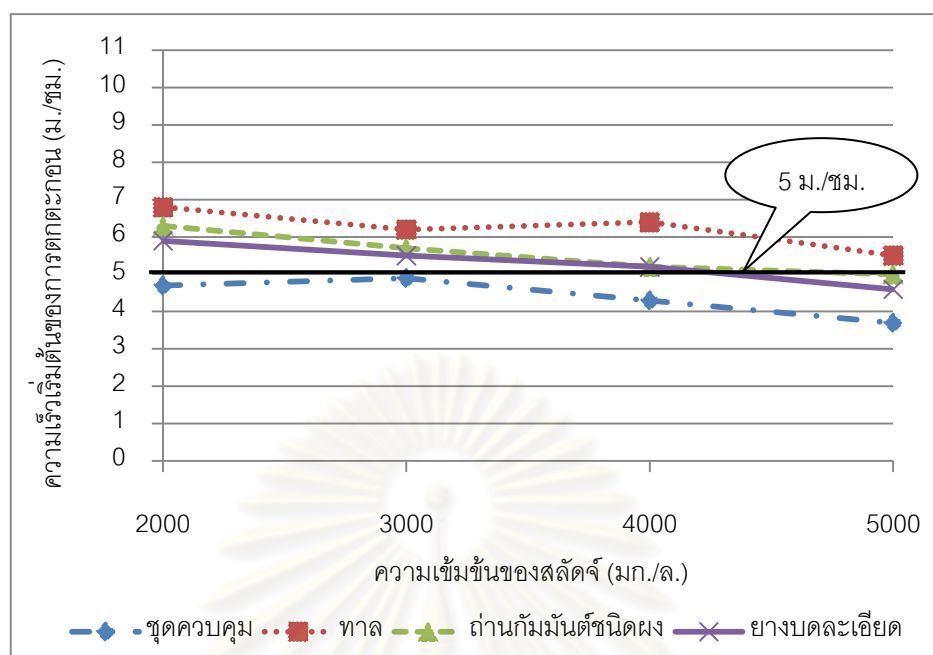
วันที่ทดลอง	ชุดการทดลอง	ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนที่ความเข้มข้นต่างๆ (ม./ชม.)			
		2000 มก./ล.	3000 มก./ล.	4000 มก./ล.	5000 มก./ล.
20	ชุดควบคุม	5.8	5.4	3.6	3.1
	ทาล	7.4	7.6	7.5	5.9
	ถ่านกัมมันต์ชนิดผง	5.3	6.6	6.8	5.8
	ยางบดละเอียด	5.6	6.4	6.0	5.8
30	ชุดควบคุม	4.4	4.3	3.6	3.0
	ทาล	8.6	6.8	6.4	5.6
	ถ่านกัมมันต์ชนิดผง	6.1	5.4	5.6	5.3
	ยางบดละเอียด	5.9	5.5	5.3	5.1
40	ชุดควบคุม	4.7	4.9	4.3	3.7
	ทาล	6.8	6.2	6.4	5.5
	ถ่านกัมมันต์ชนิดผง	6.3	5.7	5.2	5.0
	ยางบดละเอียด	5.9	5.5	5.2	4.6



รูปที่ 4.24 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลดจ์ที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนในระบบ
เอเอสที่คুমอายุสลดจ์ 30 วัน ที่วันที่ 20 ของการทดลอง



รูปที่ 4.25 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลดจ์ที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนในระบบ
เอเอสที่คุมอายุสลดจ์ 30 วัน ที่วันที่ 30 ของการทดลอง



รูปที่ 4.26 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนในระบบเอเอสที่คุมอายุสลัดจ์ 30 วัน ที่วันที่ 40 ของการทดลอง

ในระบบเอเอสที่คุมอายุสลัดจ์ 30 วัน ระบบที่เติมทาลจะมีค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนสูงสุด คือ 8.6 เมตรต่อชั่วโมง ในวันที่ 30 ของการตกตะกอนด้วยความเข้มข้นสลัดจ์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ระบบที่เติมถ่านกัมมันต์จะมีค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนสูงสุดที่ 6.8 เมตรต่อชั่วโมง ในวันที่ 20 ของการทดลองด้วยความเข้มข้น 4,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนระบบที่เติมยางจะมีค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนสูงสุดที่ 6.4 เมตรต่อชั่วโมง ในวันที่ 20 ของการทดลองด้วยความเข้มข้นสลัดจ์ 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งในระบบที่เติมวัสดุทั้ง 3 ชนิดนั้น จะสามารถทำให้ค่าความเร็วเริ่มต้นของสลัดจ์มีค่ามากกว่า 5 เมตรต่อชั่วโมงในทุกความเข้มข้นของสลัดจ์ ยกเว้นในระบบที่เติมยาง ในวันที่ 40 ของการทดลองที่ความเข้มข้นสลัดจ์ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จะมีค่าความเร็วเริ่มต้นการตกตะกอนเท่ากับ 4.6 เมตรต่อชั่วโมง จะเห็นว่ามีค่าต่ำกว่า 5 เมตรต่อชั่วโมงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และก็ยังมีความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนมากกว่าในชุดควบคุมอีกด้วย

4.5 ผลของชนิดของวัสดุช่วยตกตะกอนและค่าอายุสลัดจ์ของระบบเอเอสที่มีต่อความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน

จากการทดสอบหาค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ในระบบที่มีการเติมทาล ถ่านกัมมันต์ชนิดผงและยางบดละเอียดด้วยความเข้มข้น 100 % (W/W) ลงในระบบเอเอสที่ควบคุมให้มีค่าอายุสลัดจ์ 3, 10 และ 30 วันนั้น พบว่า ในระบบเอเอสที่เติมทาลนั้นจะทำให้ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์มีค่าสูงกว่าในระบบเอเอสที่เติมถ่านกัมมันต์และยาง โดยในระบบเอเอสที่เติมถ่านกัมมันต์และยางนั้นจะมีค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนใกล้เคียงกัน และยังสังเกตได้อีกว่าค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของทุกๆ ระบบที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนนั้นจะมีค่าแตกต่างกันไม่มากนักในแต่ละค่าอายุสลัดจ์ของระบบเอเอส จึงอาจกล่าวได้ว่าในระบบเอเอสที่ไม่่ว่า จะทำการควบคุมค่าอายุสลัดจ์ของระบบให้มีค่าเท่าใดก็ตาม เมื่อทำการเติมวัสดุช่วยตกตะกอน คือ ทาล ถ่านกัมมันต์ชนิดผง และยางบดละเอียดลงไปในระบบ จะสามารถช่วยทำให้ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน (ISV) มีค่าเพิ่มสูงขึ้นได้ โดยที่ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของระบบในแต่ละค่าอายุสลัดจ์ก็จะมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก หรืออาจกล่าวได้ว่าการแปรเปลี่ยนค่าอายุสลัดจ์ของระบบเอเอส ในช่วง 3, 10 และ 30 วันนั้นจะไม่มีผลต่อค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ในระบบเอเอสที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอน

ผลของค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของระบบเอเอสที่มีการเติมถ่านกัมมันต์และยางนั้น ถึงแม้ว่าจะไม่สามารถช่วยให้ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนมีค่าสูงเท่ากับในระบบเอเอสที่มีการเติมทาล ที่เป็นวัสดุที่มีค่าความถ่วงจำเพาะสูง แต่ก็ยังสามารถทำให้ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนมีค่าสูงมากกว่า 5 เมตรต่อชั่วโมงได้ และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับชุดควบคุมในระบบเอเอสที่มีค่าอายุสลัดจ์ต่างๆ นั้น จะเห็นได้ชัดเจนว่าค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนในระบบเอเอสที่มีการเติมถ่านกัมมันต์และยางนั้นจะมีค่าสูงกว่าค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ในชุดควบคุมมาก

จากผลการศึกษาดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่า ทาลเป็นวัสดุที่เมื่อเติมลงไปในระบบเอเอสแล้วจะสามารถช่วยเพิ่มค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ในระบบได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อการเจริญเติบโตและความสามารถในการบำบัดน้ำเสียของจุลชีพที่มีอยู่ในระบบเอเอส ในทุกๆ ค่าอายุสลัดจ์ของระบบที่ทำการทดลอง ซึ่งก็สอดคล้องกับผลการวิจัยที่ผ่านมาในหลายๆ งานวิจัย เช่น ในงานวิจัยของ Piirtola และคณะ (Piirtola และคณะ, 1999) ที่กล่าวว่า ทาลเป็นวัสดุที่มีความสามารถช่วยปรับปรุงลักษณะการตกตะกอนในแง่ของการเพิ่มความเร็วในการ

ตกตะกอนของระบบเอเอสได้ โดยเมื่อทำการใส่ทาลด้วยอัตราส่วน 120% (W/W) สามารถปรับปรุง SVI จาก 800 mg/l เป็น 200 mg/l ได้ในทันที และจากงานวิจัยของ Cantet และคณะ (Cantet และคณะ, 1996) ที่กล่าวว่า การเติมผงทาลในระบบเอเอสจะช่วยปรับปรุงความสามารถในการตกตะกอนได้ สลัดจ์ที่ได้มีลักษณะที่ดีตลอดจนสามารถรีดน้ำได้ดีขึ้น และด้วยการที่ทาลเป็นวัสดุที่มีค่าความถ่วงจำเพาะสูงถึง 2.7 ซึ่งมากกว่าถ่านกัมมันต์ชนิดผงและยางบดละเอียดที่มีความถ่วงจำเพาะ 2.2 และ 1.06 ตามลำดับ จึงอาจเป็นเหตุผลให้ความเร็วในการตกตะกอนของระบบที่มีการเติมทาลมีค่าสูงมากกว่าในระบบที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนอีก 2 ชนิด ส่วนระบบที่เติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงก็ให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกับ Chaipun, A.; และ Puprasert, C. (Chaipun, A.; และ Puprasert, C. 2009) ที่กล่าวว่า ถ่านกัมมันต์ชนิดผงสามารถใช้เป็นวัสดุช่วยตกตะกอน เพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอนได้ และระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองไม่ว่าจะเป็น 20, 30 หรือ 40 วัน ก็ไม่ส่งผลต่อความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน อาจเป็นเพราะระบบเข้าสู่สภาวะคงที่แล้ว

ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่า ทาลและถ่านกัมมันต์สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุช่วยตกตะกอนในระบบเอเอสที่ทำการควบ คุ่มค่าอายุสลัดจ์ 3, 10 และ 30 วันได้ ส่วนในระบบที่เติมยางบดละเอียดนั้น ถึงแม้ว่าจะยังไม่มีการวิจัยที่แสดงให้เห็นในแง่ของการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการตกตะกอนในระบบเอเอส แต่จากผลการวิจัยนี้จะเห็นได้ว่าระบบเอเอสที่เติมยางนั้นสามารถช่วยทำให้ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนมีค่าเพิ่มขึ้นได้ เมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมในระบบเอเอสที่มีค่าอายุสลัดจ์ทั้ง 3 ค่า และยังสามารถช่วยให้ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ในระบบมีค่าสูงมากกว่า 5 เมตรต่อชั่วโมงซึ่งถือเป็นการตกตะกอนที่ดี (Water Environment Federation, 2005) แสดงให้เห็นว่ายางบดละเอียดนั้นก็สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุช่วยตกตะกอนในระบบเอเอสได้โดยไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อจุลชีพที่มีอยู่ในระบบเช่นเดียวกันกับในระบบเอเอสที่เติมทาลและถ่านกัมมันต์เป็นวัสดุช่วยตกตะกอน ซึ่งถือเป็นการนำเอาวัสดุเหลือใช้กลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์อีกด้วย

จากผลของค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนในระบบที่เติมวัสดุช่วยตกตะกอนที่มีค่าเพิ่มขึ้นนี้ เมื่อนำไปใช้ในการคำนวณออกแบบถังตกตะกอนก็น่าจะสามารถช่วยให้ขนาดหน้าตัดของถังตกตะกอนมีขนาดเล็กลงได้ ซึ่งจะได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 4.6 ต่อไป

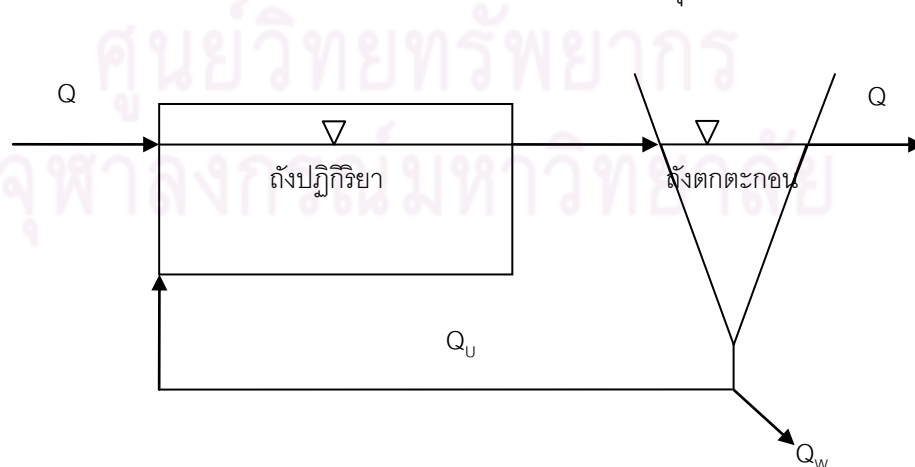
4.6 การคำนวณออกแบบขนาดถังตกตะกอนเมื่อทำการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนในระบบเอเอสที่ควบคุมอายุสลัดจ์ต่างๆ

จากการศึกษาค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ในหัวข้อที่ 4.5 ที่ผ่านมา เมื่อเติมวัสดุช่วยตกตะกอนทั้ง 3 ชนิดลงในระบบเอเอส พบว่าสามารถช่วยทำให้ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์เพิ่มสูงขึ้นได้ในทุกๆ ค่าอายุสลัดจ์ของระบบเอเอสที่ทำการทดลอง ดังนั้น เมื่อนำค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่ได้จากการทดลองในหัวข้อ 4.5 มาคำนวณออกแบบถังตกตะกอน ก็น่าจะสามารถทำให้ถังตกตะกอนที่ออกแบบมีขนาดเล็กลงได้เมื่อเทียบกับชุดควบคุมที่ไม่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอน

โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการคำนวณออกแบบถังตกตะกอนขั้นที่สอง (Secondary Clarifier) ในระบบเอเอสด้วยทฤษฎีโซลิดฟลักซ์ (Solid Flux) ซึ่งได้อธิบายทฤษฎีโซลิดฟลักซ์ไว้ในหัวข้อที่ 2.2.3 แล้วและทำการออกแบบขนาดพื้นที่หน้าตัดของถังตกตะกอนจากระบบที่มีการควบคุมอายุสลัดจ์ทั้ง 3 ค่า และมีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนทั้ง 3 ชนิด เปรียบเทียบกับระบบที่ไม่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนแล้วนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับข้อมูลจริงของโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนดินแดง

การคำนวณออกแบบในหัวข้อนี้ได้นำค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ในวันที่ 40 ของการทดลอง ซึ่งถือเป็นตัวแทนของระบบที่เข้าสู่สภาวะคงที่มาทำการคำนวณออกแบบขนาดพื้นที่หน้าตัดถังตกตะกอน โดยการคำนวณต่างๆ ได้แสดงไว้ดังต่อไปนี้ และตัวอย่างการคำนวณตั้งแต่การหาค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน โซลิดฟลักซ์ และการออกแบบถังตกตะกอนแสดงในภาคผนวก ง.

4.6.1 ขนาดพื้นที่หน้าตัดถังตกตะกอนของโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนดินแดง



รูปที่ 4.27 กระบวนการของระบบเอเอสในการคำนวณออกแบบถังตกตะกอน

(Water Environment Federation, 2005)

ข้อมูลจากการออกแบบของโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนดินแดง (Department of Drainage and Sewerage, 2007)

อัตราการไหล, Q	= 341,289	ลูกบาศก์เมตรต่อวัน
อัตราการสูบน้ำจากถังตกตะกอน, Q_u	= 289,043	ลูกบาศก์เมตรต่อวัน
	= 12,418.5	ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง
ความเข้มข้นของสลัดจ์, C_0	= 2,750	กรัมต่อลูกบาศก์เมตร
	= 2.75	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
ขนาดพื้นที่หน้าตัดของถังตกตะกอนรวม, A	= 11,322	ตารางเมตร

4.6.2 การคำนวณเปรียบเทียบขนาดพื้นที่หน้าตัดของถังตกตะกอนด้วยทฤษฎีโซลิดฟลักซ์

จากหัวข้อที่ 2.2.3 จะได้สมการคำนวณขนาดพื้นที่หน้าตัดของถังตกตะกอน ดังนี้

$$A = \frac{(Q + Q_u) \times C_0}{G_L \times 1000} \quad ; \text{ ตารางเมตร} \quad (4.1)$$

$$\text{ให้อัตราการหมุนเวียนสลัดจ์ } \frac{Q_u}{Q} = \alpha \quad \text{ดังนั้น}$$

$$\text{พื้นที่หน้าตัดของถังตกตะกอน, } A = \frac{(1 + \alpha)Q \times C_0}{G_L \times 1000} \quad ; \text{ ตารางเมตร}$$

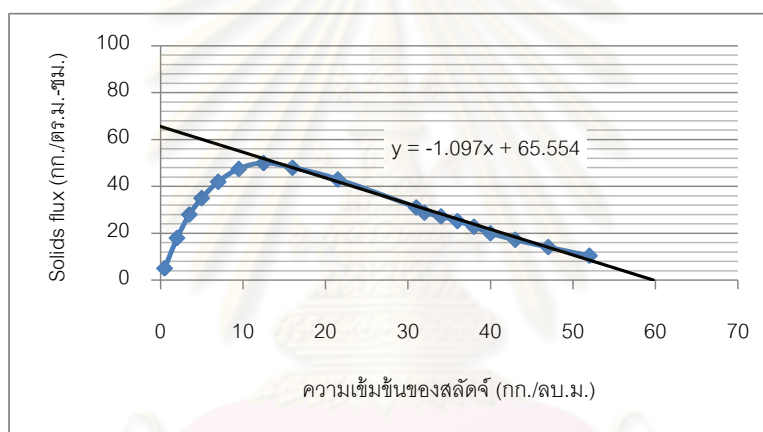
$$\text{โดยที่ } \alpha = \frac{Q_u}{Q} = \frac{298,043}{341,289} \frac{\text{ลูกบาศก์เมตรต่อวัน}}{\text{ลูกบาศก์เมตรต่อวัน}} \cong 0.85$$

ค่า G_L หรือ Limiting Flux นั้น คำนวณจากกราฟโซลิดฟลักซ์ ออกแบบด้วยวิธีโซลิดฟลักซ์ ประยุกต์ใช้ร่วมกับวิธีของโยชิโอกา (Yoshioka) ซึ่งได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 2.2.3.2 โดยเมื่อคำนวณและสร้างกราฟ G_y ได้แล้ว จะลากเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $-V_0$ สัมผัสกับกราฟ G_y ซึ่งจุดตัด

ของเส้นตรงบนแกน G จะเท่ากับ G_L โดยที่ V_b เป็นอัตราเร็วของสลัดจ์ที่ระบายออกจากก้นถังตกตะกอน คำนวณได้จาก

$$V_b = \frac{Q_U}{A} = \frac{12,418.5 \text{ ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง}}{11,322 \text{ ตารางเมตร}} = 1.097 \text{ เมตรต่อชั่วโมง}$$

เมื่อนำความชัน $-V_b$ ไปลากในกราฟโซลิดฟลักซ์ ดังในรูปที่ 4.27 ซึ่งเป็นการแสดงตัวอย่างกราฟโซลิดฟลักซ์ของระบบเอเอสที่คุ่มอายุสลัดจ์ให้มีค่า 3 วันและเติมทาลเป็นวัสดุช่วยตกตะกอนในระบบ ส่วนวิธีการหาโซลิดฟลักซ์และกราฟโซลิดฟลักซ์ของระบบอื่นๆ แสดงไว้ในภาคผนวก ค.



รูปที่ 4.28 กราฟแสดงโซลิดฟลักซ์ของระบบเอเอสที่คุ่มอายุสลัดจ์ 3 วัน และเติมทาลเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน

จากรูปที่ 4.39 จะได้จุดตัดของเส้นตรงบนแกนโซลิดฟลักซ์ซึ่งเท่ากับ G_L หรือ Limiting Flux ซึ่งมีค่าเท่ากับ 65.55 กก./ตร.ม.-ชม. หรือเท่ากับ 1,573.2 กก./ตร.ม.-วัน

เมื่อนำค่าต่างๆ มาคำนวณหาขนาดพื้นที่หน้าตัดของถังตกตะกอนตามสมการที่ 4.2 จะได้

$$\begin{aligned} A &= \frac{(1 + \alpha)Q \times C_0}{G_L \times 1000} & (4.2) \\ &= \frac{(1 + 0.85) \times 341289 \times 2750}{1573.2 \times 1000} \\ A &= 1,104 \text{ ตารางเมตร} \end{aligned}$$

ดังนั้น จะได้ขนาดพื้นที่หน้าตัดของถังตกตะกอนของระบบเอเอสที่คুমอายุสลัดจ์ 3 วันและเติมทาลเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน เท่ากับ 1,104 ตารางเมตร

เมื่อทำการคำนวณค่าขนาดพื้นที่หน้าตัดถังตกตะกอนของระบบอื่นๆ ด้วยวิธี การคำนวณในลักษณะเดียวกันนี้ ก็จะได้ขนาดพื้นที่หน้าตัดถังตกตะกอนของทุกระบบที่ทำการทดลองดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.4 นี้

ตารางที่ 4.4 ขนาดพื้นที่หน้าตัดของถังตกตะกอนจากการคำนวณด้วยทฤษฎีโซลิดฟลักซ์

อายุสลัดจ์ (วัน)	ชนิดของวัสดุช่วยตกตะกอน	Limiting Flux, G_L (กก. /ตร.ม. - วัน)	ขนาดพื้นที่หน้าตัดถังตกตะกอน (ตารางเมตร)
3	ชุดควบคุม	596.16	2,913
	ทาล	1,573.20	1,104
	ถ่านกัมมันต์ชนิดผง	1,423.44	1,220
	ยางบดละเอียด	1,438.08	1,207
10	ชุดควบคุม	317.52	5,468
	ทาล	1,588.80	1,093
	ถ่านกัมมันต์ชนิดผง	1,466.64	1,184
	ยางบดละเอียด	997.68	1,740
30	ชุดควบคุม	1,035.12	1,677
	ทาล	1,752.96	990
	ถ่านกัมมันต์ชนิดผง	1,274.64	1,362
	ยางบดละเอียด	1,293.84	1,342
โรงบำบัดน้ำเสียชุมชนดินแดง		82.84	20,960

จากการคำนวณออกแบบขนาดพื้นที่ถังตกตะกอนด้วยวิธีโซลิดฟลักซ์ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.4 พบว่า ระบบเอเอสที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนจะสามารถทำให้ขนาดของถังตกตะกอนเล็กลงได้ในทุกค่าอายุสลัดจ์ของระบบเอเอส โดยในระบบที่มีการเติมทาลในระบบเอเอสที่คุมอายุสลัดจ์ 30 วัน จะมีขนาดหน้าตัดของถังตกตะกอนเล็กที่สุด คือมีขนาด 990 ตารางเมตร ส่วนในระบบเอเอสที่คุมอายุสลัดจ์ 10 วัน และเติมยางบดละเอียดเป็นวัสดุช่วยตกตะกอนจะมีขนาดหน้าตัดถังตกตะกอนใหญ่ที่สุด คือ 1,740 ตารางเมตร แต่จากการคำนวณออกแบบจะเห็นได้ชัดเจนว่า

แนวโน้มของระบบที่มีการเติมทาลเป็นวัสดุช่วยตกตะกอนจะทำให้ขนาดถังตกตะกอนเล็กลงกว่าในระบบที่เติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงและยางบดละเอียดเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน และสามารถช่วยให้ขนาดพื้นที่หน้าตัดถังตกตะกอนเล็กลงได้ในทุกค่าอายุสลัดจ์ของระบบเอเอส สาเหตุที่ระบบที่เติมทาลสามารถทำให้ถังตกตะกอนของระบบมีขนาดเล็กกว่าในระบบที่เติมถ่านกัมมันต์และยางได้ก็เนื่องจากระบบเอเอส ที่เติมทาลจะมีค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนสูงมากกว่าในระบบที่เติมถ่านกัมมันต์และยาง และถึงแม้ว่าระบบที่เติมถ่านกัมมันต์และยางเป็นวัสดุช่วยตกตะกอนนั้นจะทำให้ขนาดถังตกตะกอนที่เติมทาลไม่ได้ แต่ก็ยังสามารถทำให้ถังตกตะกอนมีขนาดเล็กกว่าในระบบที่ไม่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนในทุกค่าอายุสลัดจ์ของระบบเอเอส

จากการคำนวณขนาดพื้นที่หน้าตัดถังตกตะกอนยังพบว่า ขนาดพื้นที่หน้าตัดถังตกตะกอนของแต่ละชนิดของวัสดุช่วยตกตะกอน จะมีขนาดหน้าตัดถังที่ไม่แตกต่างกันมากนักในทั้ง 3 ค่าอายุสลัดจ์ของระบบเอเอส ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่า เมื่อทำการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนทั้ง 3 ชนิด คือ ทาล ถ่านกัมมันต์ชนิดผง และยางบดละเอียดเป็นวัสดุช่วยตกตะกอนในระบบเอเอสที่ควบคุมอายุสลัดจ์ต่างๆ ทั้ง 3 ค่าแล้ว จะสามารถช่วยทำให้ขนาดพื้นที่หน้าตัดของถังตกตะกอนมีขนาดเล็กลงได้มากกว่าในระบบเอเอสที่ไม่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนโดยไม่ขึ้นกับค่าอายุสลัดจ์ของระบบเอเอส

ขนาดถังตกตะกอนที่คำนวณด้วยวิธีไฮดรอลิกส์ จากระบบเอเอสที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนนี้เป็นการคำนวณเพื่อเปรียบเทียบให้ทราบถึงขนาดถังตกตะกอนของระบบเอเอสที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนชนิดต่างๆ ว่ามีขนาดเล็ก ลงเมื่อเทียบกับขนาดถังตกตะกอนของระบบเอเอสที่ไม่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอน และเพื่อเป็นการสนับสนุนแนวคิดในการใช้วัสดุช่วยตกตะกอนในระบบเอเอส ส่วนในทางปฏิบัตินั้นการออกแบบถังตกตะกอนอาจไม่ใช้ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่ความเข้มข้นต่างๆ ดังที่ได้จากการทดลองไปใช้ในการคำนวณออกแบบถังตกตะกอนโดยตรง เนื่องจากในการออกแบบถังตกตะกอนโดยทั่วไปนั้นจะเป็นการคำนวณออกแบบจากอัตราน้ำล้นผิว (Surface Overflow Rate) และในการออกแบบถังตกตะกอนยังมีปัจจัยอีกหลายอย่างนอกเหนือจากการใช้ไฮดรอลิกส์ เช่น เวลาพักน้ำ และ อัตราภาระของแข็ง (Solids Loading Rate)

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาผลของอายุสัปดาห์ที่มีต่อประสิทธิภาพการตกตะกอนในระบบเอเอสที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนในระบบเอเอสในงานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาปัจจัยในแง่ของอายุสัปดาห์ของระบบเอเอสที่มีค่าต่างๆ กัน คือ 3, 10 และ 30 วัน ที่มีต่อประสิทธิภาพการตกตะกอนของสลัดจ์ในระบบที่ทำการเติมวัสดุช่วยตกตะกอน คือ ทาล ถ่านกัมมันต์ชนิดผง และยางบดละเอียด ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการตกตะกอนของระบบต่างๆ ด้วยการวัดค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน เพื่อนำผลการทดลองที่ได้ไปสู่การคำนวณออกแบบถังตกตะกอนให้มีขนาดเล็กลง นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาถึงประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของระบบเมื่อทำการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนชนิดต่างๆ ลงในระบบเอเอสที่ควบคุมค่าอายุสัปดาห์ อีกทั้งยังทำการศึกษาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของระบบและทำการศึกษากาการเกาะตัวของวัสดุช่วยตกตะกอนกับฟล็อกจุลชีพของระบบเอเอสที่มีค่าอายุสัปดาห์ต่างๆ เพื่อตรวจสอบถึงความเข้ากันได้ของวัสดุช่วยตกตะกอนกับฟล็อกจุลชีพในระบบ

เมื่อทำการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนทั้ง 3 ชนิด ลงในระบบเอเอสที่คุมอายุสัปดาห์ต่างๆ กัน พบว่า ระบบเอเอสที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงเป็นวัสดุช่วยตกตะกอนนั้นมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีได้มากกว่า 97 เปอร์เซ็นต์ ในทุกค่าอายุสัปดาห์ของระบบเอเอส ส่วนในระบบเอเอสที่เติมทาลและยางบดละเอียด มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีมากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่ขึ้นกับค่าอายุสัปดาห์ของระบบเอเอส กล่าวคือ ในทุกๆ ค่าอายุสัปดาห์ของระบบเอเอสนั้น ระบบที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีในน้ำเสียได้มีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อทำการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์สังเกตพบปฏิกิริยาของฟล็อกจุลชีพในระบบเอเอสที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนมีการเกาะตัวเป็นก้อน มีจุลชีพเกาะอยู่ พบจุลชีพอาศัยอยู่โดยรอบฟล็อกได้ทั่วไป และฟล็อกมีความหนาแน่นมากกว่าในระบบเอเอสที่ไม่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอน โดยจะพบกลุ่มของจุลชีพในระบบที่เติมวัสดุช่วยตกตะกอนได้เหมือนกันกับในระบบเอเอสแบบปกติได้ไม่แตกต่างกันในทุกค่าอายุสัปดาห์ของระบบและมีลักษณะไม่แตกต่างกันแต่ละชนิดของวัสดุช่วยตกตะกอน ซึ่งสิ่งเหล่านี้แสดงให้เห็นได้ว่าการเติมทาล ถ่านกัมมันต์ชนิดผง และยางบดละเอียดลงในระบบเอเอสที่มีค่าอายุสัปดาห์ต่างๆ นั้น ไม่ก่อให้เกิดผลเสียโดยรวมต่อระบบและไม่รบกวนการเจริญเติบโตของจุลชีพที่มีอยู่ในระบบเอเอส

เมื่อทำการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน พบการเกาะตัวกันระหว่างจุลชีพกับวัสดุช่วยตกตะกอนและมีจุลชีพเกาะติดอยู่บริเวณบนพื้นผิวของวัสดุช่วยตกตะกอน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบเอเอสที่เติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง พบลักษณะการเกาะติดที่ผิวได้อย่างชัดเจน โดยมียุสลักษณะไม่แตกต่างกันในทั้ง 3 ค่าอายุสัปดาห์ของระบบเอเอส นั้นแสดงให้เห็นว่า การเปลี่ยนค่าอายุสัปดาห์ของระบบเอเอสไม่มีผลต่อการเกาะตัวระหว่างฟล็อกของจุลชีพกับวัสดุช่วยตกตะกอนที่เติมเข้าไปในระบบ เพราะทั้ง 3 ค่าอายุสัปดาห์นั้นมีการเกาะตัวที่คล้ายกัน

ผลจากการศึกษาค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ในระบบเอเอสทั้ง 3 ค่าอายุสัปดาห์นั้น พบว่า ความเร็วเริ่มต้นการตกตะกอนของสลัดจ์ในแต่ละค่าอายุสัปดาห์นั้น มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก แต่เมื่อมาเปรียบเทียบกับในแง่ของชนิดวัสดุช่วยตกตะกอน พบว่า ในระบบที่มีการเติมถ่านนั้น สามารถช่วยให้ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนมีค่ามากที่สุด คือมีค่าสูงถึง 10.6 เมตรต่อชั่วโมง เมื่อเทียบกับระบบที่เติมถ่านกัมมันต์และยางที่มีค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนที่สูงสุด เท่ากับ 7.2 และ 6.6 เมตรต่อชั่วโมงตามลำดับ ซึ่งค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของระบบที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนนั้น มีค่ามากกว่า 5 เมตรต่อชั่วโมง ซึ่งถือเป็นการตกตะกอนที่ดี (Water Environment Federation, 2005) และมีค่ามากกว่าค่าความเร็วเริ่มต้นการตกตะกอนในระบบเอเอสที่ไม่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนมาก และเมื่อนำผลการศึกษาดังกล่าวไปทำการคำนวณออกแบบขนาดหน้าตัดของถังตกตะกอน พบว่า ในระบบที่มีการเติมถ่านเป็นวัสดุช่วยตกตะกอนนั้น สามารถทำให้ขนาดหน้าตัดของถังตกตะกอนเล็กลงได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับระบบอื่นๆ และมีค่าใกล้เคียงกันในทุกๆ ค่าอายุสัปดาห์ ส่วนระบบที่เติมถ่านกัมมันต์และยางนั้น มีขนาดหน้าตัดถังตกตะกอนไม่แตกต่างกันมากนักและไม่แตกต่างกันในแต่ละอายุสัปดาห์ของระบบ แสดงว่าปัจจัยในแง่การแปรเปลี่ยนอายุสัปดาห์ของระบบเอเอสไม่มีผลต่อความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ในระบบเอเอสที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนมากนัก ซึ่งเป็นผลให้ขนาดถังตกตะกอนใน ระบบที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนในระบบเอเอสที่คุมอายุสัปดาห์ต่างๆ มีค่าไม่แตกต่างกัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ยังคงเป็นเพียงการวิจัยในระดับห้องปฏิบัติการเท่านั้น และถึงแม้ว่าแนวคิดในการนำเอาวัสดุช่วยตกตะกอนมาใช้ในระบบเอเอสที่คุมค่าอายุสัปดาห์ต่างๆ กันนั้น จะให้ผลการศึกษาออกมาเป็นที่น่าพอใจ แต่ยังคงต้องมีการดำเนินการวิจัยต่อไปเพื่อปรับปรุงนำไปใช้น้ำเสียจริงและใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียจริง ซึ่งอาจต้องมีการศึกษาในด้านการดูแลระบบ ลักษณะ

ของการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนเข้าไปในระบบ การเลือกชนิดและขนาดของวัสดุช่วยตกตะกอนที่เหมาะสมที่สุดเพื่อนำไปใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียจริง รวมถึงการกำจัดวัสดุช่วยตกตะกอนที่ใส่เข้าไปในระบบหรือแม้กระทั่งการนำเอาวัสดุช่วยตกตะกอนที่ใส่เข้าไปในระบบกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งยังคงเป็นเรื่องที่ต้องทำการศึกษาวิจัยต่อเนื่องต่อไป



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. คณะวิศวกรรมศาสตร์, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. 2538. การควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 2. (ม.ป.ท.).

มันลิน ตัณฑุลเวศม์. 2525. การออกแบบขั้นขบวนการของระบบกำจัดน้ำเสียโดยวิธีชีววิทยา. เล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มันลิน ตัณฑุลเวศม์. 2537. วิศวกรรมประปา. เล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุรัชย์ ทักษิณวราจาร. 2526. การควบคุมการจมไม่ลงของแอตติเวดเต็ดสลัดจ์เนื่องจากจุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยโดยการป้อนน้ำเสียเข้าถังเติมอากาศหกถัง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ. ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) and Water Pollution Control Federation (WPCF). 2005. Standard method for the examination of water and waste water. 21st ed. American Public Health Association., Washington, D.C.

Azizian, M.F.; Nelson, P.O.; Thayumanavan, P.; and Williamson, K.J. 2003. Environmental impact of highway construction and repair materials on surface and ground water: Case study: Crumb rubber asphalt concrete. Water management 23 : 719-728.

- Bidault, A.; Clauss, F.; Helaine, D.; and Balavoine, C. 1997. Floc agglomeration and structuration by a specific talc mineral composition. Water Science Technology 36 : 57-68.
- Cantet, J.; Paul, E.; and Clauss, F. 1996. Upgrading performance of an activated sludge through addition of talqueous powder. Water Science Technology 34 : 75-83.
- Chaipun, A.; and Puprasert, C. 2009. Use of talc as a ballasting Agent in activated sludge process : settling velocity enchancement and sludge characteristic. At 15th Thailand-Korea Conference on Environmental Engineering.
- Department of Drainage and Sewerage. 2007. Final Design Submission Process Design Summary Bangkok's Dindang WwTW. Bangkok: DDS. (Unpublished Manuscript)
- Kargi F. and Eker S. 2006. Effect of sludge age on performance of an activated sludge unit treating 2,4 dichlorophenol – containing synthetic wastewater. Enzyme and Microbial Technology. 38 (2006) 60-64.
- Lee, S. E.; Shin, H. S.; and Paik, B. C. 1989. Treatment of Cr (VI)-containing wastewater by addition of powdered activated carbon to the activate sludge process. Water Research 23 : 67-72.
- Metcalf and Eddy. 2003. Wastewater Engineering Treatment and Reuse. 4th ed. Singapore : McGraw-Hill.
- Park, J.; Ellis, T.G.; and Lally, M. 2006. Evaluation of tire derived rubber particles for biofiltration media. WEFTEC 06 : 3217-3230.

Piirtola, L.; Hultman, B.; and Lowen, M. 1999. Activated sludge ballasting in pilot plant operation. Water Research 33 : 3026-3032.

Qasim Syed R. 1999. Wastewater Treatment Plants Planning, Design and Operation. 2nd ed. Florida : CRC Press.

Water Environment Federation. 2005. Clarifier Design. 2nd ed. McGraw-Hill., Singapore.

Water Pollution Control Federation. 1985. Clarifier Design. Washington, D. C.: Lancaster Press.

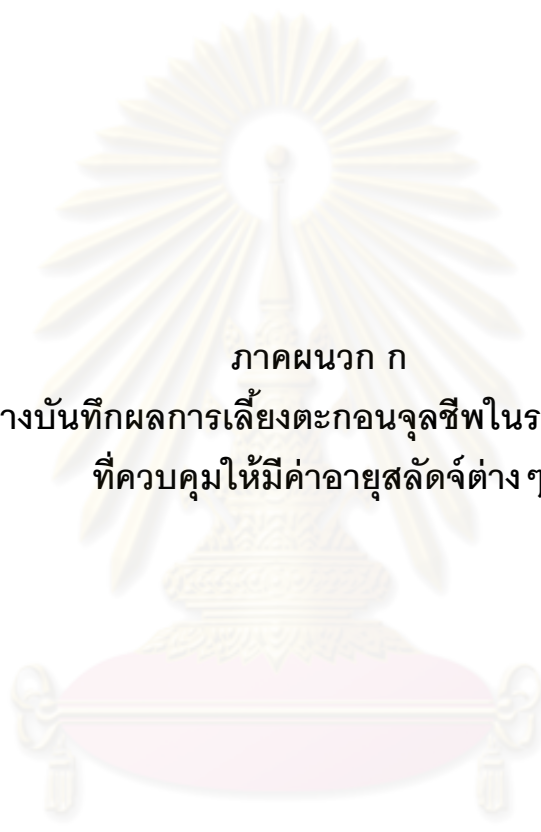


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก
ตารางบันทึกผลการเลี้ยงตะกอนจุลชีพในระบบเอเอส
ที่ควบคุมให้มีค่าอายุสัตจ์ต่างๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. ผลการทดลองการเลี้ยงตะกอนจุลชีพในระบบเอเอสที่ควบคุมอายุสลัดจ์ของระบบให้มีค่า 3 วัน

ตารางที่ ก.1 ตารางบันทึกผลการเลี้ยงตะกอนจุลชีพในระบบเอเอสที่ควบคุมให้มีค่าอายุสลัดจ์ 3 วันและไม่มี การเติมวัสดุช่วยตกตะกอน (ชุดควบคุม)

วันที่	pH	MLSS	MLVSS	SV30	SVI	CODinf	CODeff	%CODremoval
1	6.84	6,120	3,320	500	82	560.00	16.00	97.14
3	7.01	7,120	3,900	550	77	575.36	15.74	97.26
5	7.19	6,660	4,220	550	83	540.00	8.00	98.52
7	7.21	6,460	4,120	600	93	551.04	7.87	98.57
9	7.23	7,060	3,880	700	99	520.00	8.00	98.46
11	7.28	6,140	3,520	500	81	560.00	16.00	97.14
13	7.28	6,480	3,800	450	69	540.00	16.00	97.04
15	7.25	5,060	2,880	300	59	540.00	28.00	94.81
17	7.22	4,300	2,720	250	58	589.12	33.66	94.29
19	7.21	3,520	2,580	200	57	542.08	23.23	95.71
21	7.19	3,640	2,760	220	60	540.00	23.23	95.70
23	7.20	3,460	2,580	200	58	540.00	23.23	95.70
25	7.18	3,340	2,660	180	54	540.00	23.23	95.70
27	7.21	3,580	2,980	200	56	568.96	24.38	95.71
29	7.19	3,700	2,720	180	49	511.68	24.38	95.24
31	7.20	3,920	3,040	180	46	487.68	16.26	96.67
33	7.17	3,740	2,820	180	48	520.00	18.00	96.54
35	7.22	3,840	3,000	200	52	520.00	16.26	96.87
37	7.25	3,580	2,960	180	50	540.00	23.23	95.70
39	7.21	3,400	2,760	180	53	551.04	23.62	95.71

ตารางที่ ก.2 ตารางบันทึกผลการเลี้ยงตะกอนจุลินทรีย์ในระบบเอเอสที่ควบคุมให้มีค่าอายุสลัดจ์ 3 วันและเติมทาลเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน

วันที่	pH	MLSS	MLVSS	SV30	SVI	CODinf	CODeff	%CODremoval
1	7.24	7,740	3,140	430	56	560.00	8.00	98.57
3	7.29	9,040	3,880	400	44	575.36	15.74	97.26
5	7.31	7,960	4,220	400	50	540.00	15.74	97.09
7	7.29	7,600	3,280	450	59	551.04	8.00	98.55
9	7.33	7,880	3,540	450	57	520.00	8.00	98.46
11	7.35	7,200	3,180	350	49	560.00	16.00	97.14
13	7.36	7,440	3,300	300	40	540.00	16.00	97.04
15	7.49	7,100	2,980	250	35	540.00	20.00	96.30
17	7.27	7,720	3,120	200	26	589.12	25.25	95.71
19	7.25	7,280	2,640	200	27	542.08	23.23	95.71
21	7.27	7,580	2,780	180	24	540.00	24.00	95.56
23	7.26	7,600	2,800	180	24	540.00	20.00	96.30
25	7.24	7,600	2,860	180	24	540.00	20.00	96.30
27	7.28	7,800	2,860	180	23	568.96	24.00	95.78
29	7.26	8,020	3,020	200	25	511.68	16.00	96.87
31	7.25	7,880	2,880	170	22	487.68	16.00	96.72
33	7.27	7,960	2,980	200	25	520.00	16.00	96.92
35	7.24	8,260	3,320	200	24	520.00	16.00	96.92
37	7.26	8,180	3,140	190	23	540.00	16.00	97.04
39	7.28	7,840	2,840	200	26	551.04	15.74	97.14

ตารางที่ ก.3 ตารางบันทึกผลการเลี้ยงตะกอนจุลินทรีย์ในระบบเอเอสที่ควบคุมให้มีค่าอายุสลัดจ์ 3 วันและเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน

วันที่	pH	MLSS	MLVSS	SV30	SVI	CODinf	CODeff	%CODremoval
1	7.31	8,920	6,100	480	54	560.00	8.00	98.57
3	7.28	11,700	8,020	480	41	575.36	7.87	98.63
5	7.24	8,820	6,280	480	54	540.00	15.74	97.09
7	7.35	8,580	5,820	530	62	551.04	8.00	98.55
9	7.34	9,060	7,540	550	61	520.00	8.00	98.46
11	7.34	11,820	9,520	550	47	560.00	16.00	97.14
13	7.30	8,820	6,860	500	57	540.00	8.00	98.52
15	7.34	7,540	5,120	370	49	540.00	16.00	97.04
17	7.11	7,600	5,140	350	46	589.12	16.83	97.14
19	7.24	7,900	6,840	350	44	542.08	11.62	97.86
21	7.28	7,660	6,680	350	46	540.00	15.74	97.09
23	7.31	7,540	6,620	350	46	540.00	15.74	97.09
25	7.28	7,500	6,460	330	44	540.00	15.74	97.09
27	7.31	7,260	6,160	300	41	568.96	16.26	97.14
29	7.30	7,960	7,020	330	41	511.68	16.26	96.82
31	7.29	7,540	6,820	330	44	487.68	16.26	96.67
33	7.30	7,200	6,620	300	42	520.00	16.26	96.87
35	7.30	7,580	6,860	330	44	520.00	16.00	96.92
37	7.29	7,340	6,680	330	45	540.00	16.00	97.04
39	7.31	7,360	6,800	330	45	551.04	16.26	97.05

ตารางที่ ก.4 ตารางบันทึกผลการเลี้ยงตะกอนจุลินทรีย์ในระบบเอเอสที่ควบคุมให้มี ค่าอายุสลัดจ์ 3 วันและเติมยางบดละเอียดเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน

วันที่	pH	MLSS	MLVSS	SV30	SVI	CODinf	CODeff	%CODremoval
1	7.42	7,380	4,340	380	51	560.00	16.00	97.14
3	7.41	7,780	4,820	430	55	575.36	15.74	97.26
5	7.39	7,240	4,260	400	55	540.00	15.74	97.09
7	7.36	6,680	4,080	480	72	551.04	8.00	98.55
9	7.40	7,020	4,200	500	71	520.00	8.00	98.46
11	7.39	6,100	3,880	380	62	560.00	16.00	97.14
13	7.40	6,540	4,020	350	54	540.00	16.00	97.04
15	7.42	6,280	3,760	230	37	540.00	44.00	91.85
17	7.27	7,380	4,400	200	27	589.12	25.25	95.71
19	7.43	8,480	5,280	250	29	542.08	16.00	97.05
21	7.40	8,080	5,140	250	31	540.00	20.00	96.30
23	7.39	8,160	5,080	250	31	540.00	24.00	95.56
25	7.42	8,380	5,140	250	30	540.00	24.38	95.49
27	7.43	8,080	4,960	250	31	568.96	23.62	95.85
29	7.42	8,260	5,160	250	30	511.68	24.38	95.24
31	7.41	7,880	5,100	230	29	487.68	24.00	95.08
33	7.39	7,720	4,820	200	26	520.00	24.00	95.38
35	7.40	7,840	4,860	230	29	520.00	24.00	95.38
37	7.39	7,680	4,740	230	30	540.00	24.00	95.56
39	7.39	7,740	4,880	250	32	551.04	23.62	95.71

2. ผลการทดลองการเลี้ยงตะกอนจุลินทรีย์ในระบบเอเอสที่ควบคุมอายุสลัดจ์ของระบบให้มีค่า 10 วัน

ตารางที่ ก.5 ตารางบันทึกผลการเลี้ยงตะกอนจุลินทรีย์ในระบบเอเอสที่ควบคุมให้มีค่าอายุสลัดจ์ 10 วันและไม่มี การเติมวัสดุช่วยตกตะกอน (ชุดควบคุม)

วันที่	pH	MLSS	MLVSS	SV30	SVI	CODinf	CODeff	%CODremoval
1	7.14	6,620	4,280	600	91	520.00	15.68	96.98
3	7.29	6,760	4,440	650	96	540.00	15.68	97.10
5	6.54	6,580	4,140	600	91	540.00	15.68	97.10
7	7.02	7,020	4,640	570	81	537.60	7.68	98.57
9	7.05	7,140	4,880	550	77	520.00	8.00	98.46
11	6.97	7,320	4,980	500	68	537.60	23.04	95.71
13	7.27	7,080	4,700	400	56	537.60	23.04	95.71
15	7.30	6,560	4,620	450	69	533.12	15.23	97.14
17	7.29	6,400	4,600	450	70	540.00	15.68	97.10
19	7.29	6,060	4,500	450	74	564.00	15.04	97.33
21	7.33	5,520	4,180	420	76	487.68	15.68	96.78
23	7.31	5,620	4,320	450	80	520.00	16.00	96.92
25	7.33	5,500	4,280	430	78	540.00	15.68	97.10
27	7.35	5,500	4,120	400	73	560.00	16.00	97.14
29	7.40	5,480	4,220	400	73	560.00	16.00	97.14
31	7.41	5,580	4,340	400	72	588.00	15.68	97.33
33	7.38	5,300	4,320	400	75	576.00	15.36	97.33
35	7.35	5,560	4,640	430	77	540.00	15.68	97.10
37	7.38	5,780	4,440	450	78	540.00	15.68	97.10
39	7.39	5,620	4,580	430	77	533.12	15.23	97.14

ตารางที่ ก.6 ตารางบันทึกผลการเลี้ยงตะกอนจุลินทรีย์ในระบบเอเอสที่ควบคุมให้มีค่าอายุสลัดจ์ 10 วันและเติมทาลเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน

วันที่	pH	MLSS	MLVSS	SV30	SVI	CODinf	CODeff	%CODremoval
1	7.22	9,940	3,860	750	75	520.00	16.00	96.92
3	7.25	9,880	3,660	700	71	540.00	16.00	97.04
5	7.11	9,140	3,080	750	82	540.00	7.84	98.55
7	7.37	9,660	3,420	730	76	537.60	7.68	98.57
9	7.22	9,280	3,080	700	75	520.00	8.00	98.46
11	7.50	8,940	3,260	650	73	537.60	15.36	97.14
13	7.36	8,640	2,860	700	81	537.60	15.36	97.14
15	7.33	7,700	2,580	630	82	533.12	8.00	98.50
17	7.29	8,160	2,960	600	74	540.00	8.13	98.49
19	7.31	8,340	2,900	600	72	564.00	7.52	98.67
21	7.38	8,320	2,980	580	70	487.68	8.13	98.33
23	7.33	8,440	3,000	600	71	520.00	8.00	98.46
25	7.35	8,560	3,120	600	70	540.00	8.13	98.49
27	7.37	8,780	3,000	600	68	560.00	8.00	98.57
29	7.36	8,620	2,880	600	70	560.00	8.00	98.57
31	7.35	8,520	2,760	580	68	588.00	7.84	98.67
33	7.31	8,660	2,820	580	67	576.00	8.13	98.59
35	7.29	8,920	2,880	550	62	540.00	8.13	98.49
37	7.31	8,800	2,960	550	63	540.00	8.00	98.52
39	7.33	8,720	2,800	550	63	533.12	8.13	98.48

ตารางที่ ก.7 ตารางบันทึกผลการเลี้ยงตะกอนจุลชีพในระบบเอเอสที่ควบคุมให้มีค่าอายุสลัดจ์ 10 วันและถ่านกัมมันต์ชนิดผงเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน

วันที่	pH	MLSS	MLVSS	SV30	SVI	CODinf	CODeff	%CODremoval
1	7.47	8,760	6,840	450	51	520.00	8.00	98.46
3	7.40	8,880	6,620	550	62	540.00	7.84	98.55
5	7.39	9,080	7,220	470	52	540.00	7.84	98.55
7	7.33	8,540	6,980	530	62	537.60	7.68	98.57
9	7.30	8,800	6,600	550	63	520.00	8.00	98.46
11	7.35	9,740	7,680	550	56	537.60	7.68	98.57
13	7.36	8,540	7,520	550	64	537.60	15.23	97.17
15	7.35	7,680	6,700	580	76	533.12	7.68	98.56
17	7.37	7,800	6,840	580	74	540.00	7.84	98.55
19	7.33	7,560	6,680	580	77	564.00	7.52	98.67
21	7.35	7,460	6,640	580	78	487.68	8.13	98.33
23	7.34	7,680	6,600	600	78	520.00	8.00	98.46
25	7.33	7,540	6,460	580	77	540.00	8.00	98.52
27	7.35	7,380	6,280	600	81	560.00	7.84	98.60
29	7.33	7,640	6,520	580	76	560.00	7.84	98.60
31	7.33	7,440	6,440	600	81	588.00	8.00	98.64
33	7.31	7,320	6,220	580	79	576.00	7.68	98.67
35	7.32	7,560	6,460	600	79	540.00	7.68	98.58
37	7.33	7,300	6,400	600	82	540.00	7.84	98.55
39	7.31	7,480	6,520	600	80	533.12	7.62	98.57

ตารางที่ ก.8 ตารางบันทึกผลการเลี้ยงตะกอนจุลชีพในระบบเอเอสที่ควบคุมให้มีค่าอายุสลัดจ์ 10 วันและยางบดละเอียดเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน

วันที่	pH	MLSS	MLVSS	SV30	SVI	CODinf	CODeff	%CODremoval
1	7.41	8,020	5,080	400	50	520.00	8.00	98.46
3	7.40	8,600	5,120	450	52	540.00	16.00	97.04
5	7.45	9,500	5,560	450	47	540.00	15.68	97.10
7	7.41	9,260	5,120	400	43	537.60	7.68	98.57
9	7.45	9,140	5,000	430	47	520.00	8.00	98.46
11	7.48	9,040	5,060	350	39	537.60	15.36	97.14
13	7.47	8,540	4,760	380	44	537.60	23.04	95.71
15	7.39	8,400	4,520	530	63	533.12	15.23	97.14
17	7.36	8,680	4,620	530	61	540.00	15.68	97.10
19	7.36	8,420	4,140	550	65	564.00	15.23	97.30
21	7.35	7,740	4,220	550	71	487.68	15.36	96.85
23	7.36	7,960	4,560	550	69	520.00	16.00	96.92
25	7.33	8,120	4,740	550	68	540.00	16.00	97.04
27	7.33	7,820	4,260	550	70	560.00	15.23	97.28
29	7.27	7,720	4,320	530	69	560.00	15.36	97.26
31	7.29	7,880	4,220	550	70	588.00	15.68	97.33
33	7.30	7,760	4,140	550	71	576.00	15.23	97.36
35	7.29	7,960	4,300	530	67	540.00	16.00	97.04
37	7.32	7,980	4,420	550	69	540.00	15.68	97.10
39	7.31	7,820	4,260	550	70	533.12	15.23	97.14

3. ผลการทดลองการเลี้ยงตะกอนจุลินทรีย์ในระบบเอเอสที่ควบคุมอายุสลัดจ์ของระบบให้มีค่า 30 วัน

ตารางที่ ก.9 ตารางบันทึกผลการเลี้ยงตะกอนจุลินทรีย์ในระบบเอเอสที่ควบคุมให้มีค่าอายุสลัดจ์ 30 วันและไม่มี การเติมวัสดุช่วยตกตะกอน (ชุดควบคุม)

วันที่	pH	MLSS	MLVSS	SV30	SVI	CODinf	CODeff	%CODremoval
1	7.37	5,000	2,680	240	48	535.68	19.84	96.30
3	7.05	4,620	2,420	270	58	551.04	7.87	98.57
5	7.07	4,420	2,360	330	75	560.00	12.00	97.86
7	7.12	6,760	3,640	280	41	547.04	15.74	97.12
9	7.18	3,260	2,020	280	86	503.36	23.23	95.39
11	7.17	3,120	1,940	180	58	551.04	23.62	95.71
13	7.18	3,900	2,420	180	46	528.32	19.84	96.24
15	7.20	3,840	2,520	200	52	568.96	16.00	97.19
17	7.21	3,620	2,460	180	50	535.68	16.00	97.01
19	7.20	3,240	2,480	180	56	520.00	16.00	96.92
21	7.22	3,320	2,380	200	60	511.68	15.74	96.92
23	7.22	3,562	2,400	230	65	520.00	16.00	96.92
25	7.21	3,620	2,420	230	64	520.00	16.00	96.92
27	7.19	3,700	2,580	230	62	530.00	18.00	96.60
29	7.20	3,660	2,460	230	63	540.00	19.84	96.33
31	7.18	3,740	2,520	230	61	520.00	16.00	96.92
33	7.15	3,780	2,500	230	61	530.00	16.00	96.98
35	7.20	3,820	2,480	230	60	540.00	18.24	96.62
37	7.23	3,760	2,360	230	61	540.00	18.24	96.62
39	7.20	3,840	2,420	230	60	540.00	18.24	96.62

ตารางที่ ก.10 ตารางบันทึกผลการเลี้ยงตะกอนจุลินทรีย์ในระบบเอเอสที่ควบคุมให้มีค่าอายุสลัดจ์ 30 วันและเติมทาลเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน

วันที่	pH	MLSS	MLVSS	SV30	SVI	CODinf	CODeff	%CODremoval
1	7.34	9,320	3,320	300	32	535.68	19.84	96.30
3	7.05	7,780	3,040	340	44	551.04	15.74	97.14
5	7.32	7,180	2,860	450	63	560.00	20.00	96.43
7	7.00	3,560	1,440	500	140	547.04	16.83	96.92
9	7.65	6,480	2,680	350	54	503.36	30.98	93.85
11	7.05	6,060	2,800	240	40	551.04	15.74	97.14
13	7.03	6,880	3,140	250	36	528.32	8.13	98.46
15	7.06	7,080	3,240	290	41	568.96	16.00	97.19
17	7.09	6,880	3,120	250	36	535.68	16.00	97.01
19	7.07	6,820	3,020	250	37	520.00	16.00	96.92
21	7.09	6,680	3,080	280	42	511.68	15.74	96.92
23	7.10	6,740	3,100	260	39	520.00	16.00	96.92
25	7.09	6,880	3,020	250	36	520.00	16.00	96.92
27	7.10	7,080	3,320	280	40	530.00	15.74	97.03
29	7.12	6,860	3,100	250	36	540.00	15.74	97.09
31	7.19	6,980	3,140	250	36	520.00	12.00	97.69
33	7.22	6,840	3,000	280	41	530.00	16.00	96.98
35	7.28	6,900	3,080	280	41	540.00	16.00	97.04
37	7.16	6,980	3,040	300	43	540.00	16.00	97.04
39	7.12	7,060	3,100	300	42	540.00	16.00	97.04

ตารางที่ ก.11 ตารางบันทึกผลการเลี้ยงตะกอนจุลชีพในระบบเอเอสที่ควบคุมให้มีค่าอายุสลัดจ์ 30 วันและเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน

วันที่	pH	MLSS	MLVSS	SV30	SVI	CODinf	CODeff	%CODremoval
1	7.36	9,560	6,820	350	37	535.68	3.97	99.26
3	7.24	8,980	6,580	380	42	551.04	7.87	98.57
5	7.12	8,480	5,920	480	57	560.00	12.00	97.86
7	7.10	8,980	6,420	450	50	547.04	16.83	96.92
9	7.34	8,240	6,180	430	52	503.36	23.23	95.39
11	7.28	7,100	5,220	450	63	551.04	15.74	97.14
13	7.26	7,340	5,440	450	61	528.32	8.13	98.46
15	7.26	7,160	5,200	450	63	568.96	8.00	98.59
17	7.28	7,040	5,200	450	64	535.68	8.00	98.51
19	7.28	6,880	4,840	450	65	520.00	12.00	97.69
21	7.26	6,780	4,920	450	66	511.68	12.00	97.65
23	7.25	6,420	4,780	430	67	520.00	12.00	97.69
25	7.28	6,540	4,840	430	66	520.00	12.00	97.69
27	7.30	6,980	5,260	450	64	530.00	8.00	98.49
29	7.25	7,100	5,300	480	68	540.00	8.00	98.52
31	7.28	7,160	5,300	500	70	520.00	8.00	98.46
33	7.30	7,120	5,340	480	67	530.00	8.00	98.49
35	7.31	7,200	5,440	500	69	540.00	12.00	97.78
37	7.26	7,160	5,480	500	70	540.00	8.00	98.52
39	7.20	7,220	5,600	500	69	540.00	8.00	98.52

ตารางที่ ก.12 ตารางบันทึกผลการเลี้ยงตะกอนจุลชีพในระบบเอเอสที่ควบคุมให้มีค่าอายุสลัดจ์ 30 วันและเติมยางบดละเอียดเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน

วันที่	pH	MLSS	MLVSS	SV30	SVI	CODinf	CODeff	%CODremoval
1	7.31	7,760	4,740	300	39	535.68	19.84	96.30
3	7.18	6,760	3,780	350	52	551.04	15.74	97.14
5	7.18	6,540	3,760	380	58	560.00	28.00	95.00
7	7.22	5,480	3,180	300	55	547.04	16.83	96.92
9	7.34	6,300	3,340	250	40	503.36	23.23	95.39
11	7.36	6,260	3,040	250	40	551.04	19.68	96.43
13	7.34	4,780	2,860	200	42	528.32	16.26	96.92
15	7.31	4,820	3,040	220	46	568.96	24.38	95.71
17	7.28	4,740	3,020	220	46	535.68	16.00	97.01
19	7.30	4,620	3,180	220	48	520.00	16.00	96.92
21	7.28	4,300	3,080	200	47	511.68	15.74	96.92
23	7.28	4,420	3,100	200	45	520.00	16.00	96.92
25	7.29	4,520	3,180	200	44	520.00	16.00	96.92
27	7.25	4,700	3,220	220	47	530.00	16.00	96.98
29	7.34	4,920	3,400	250	51	540.00	16.00	97.04
31	7.38	5,020	3,540	250	50	520.00	16.00	96.92
33	7.30	5,080	3,600	280	55	530.00	16.00	96.98
35	7.24	5,000	3,500	250	50	540.00	16.00	97.04
37	7.22	5,160	3,640	250	48	540.00	16.00	97.04
39	7.26	5,240	3,600	250	48	540.00	16.00	97.04

การหาค่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของระบบ หาได้จาก

$$\text{ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี} = \left[\frac{\text{ซีโอดีของน้ำเสียที่เข้าระบบ} - \text{ซีโอดีน้ำออก}}{\text{ซีโอดีน้ำเสียที่เข้าระบบ}} \right] \times 100$$

ในที่นี้จะยกตัวอย่างการหาประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบเอเอสที่ควบคุมให้มีค่าอายุสลัดจ์ 30 วันและเติมยางบดละเอียดเป็น นวัตกรรมช่วยตกตะกอน โดยการหาประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีจะใช้ผลการทดลองของระบบที่เข้าสู่สภาวะคงที่ คือ ตั้งแต่วันที่ 15 ถึง 39

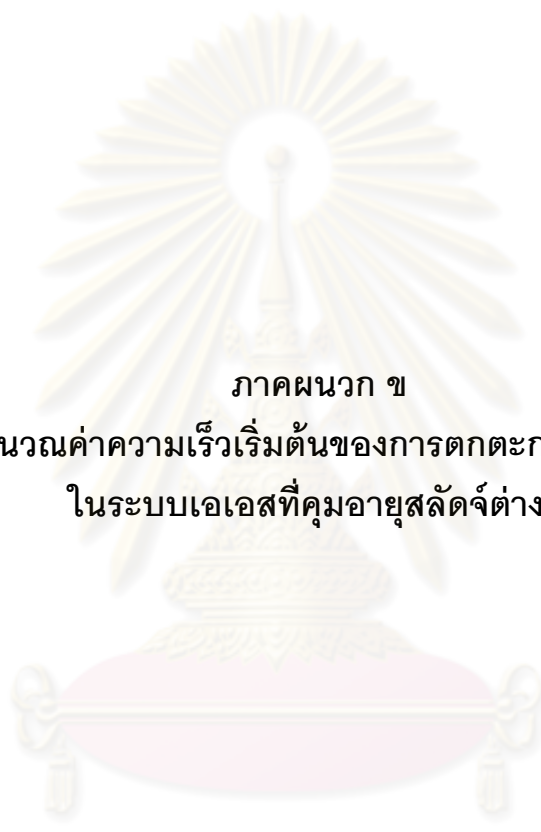
หาประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของวันที่ 15 จาก

$$\begin{aligned} \text{ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของวันที่ 15 (\%)} &= \left[\frac{568.96 - 24.38}{568.96} \right] \times 100 \\ &= 95.71 \end{aligned}$$

$$\therefore \text{ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของวันที่ 15} = 95.71 \%$$

ทำการหาประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของวันที่ 16 ถึง 39 ด้วยวิธีเดียวกัน และหาค่าเฉลี่ยได้เป็นประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีรวมของระบบ ซึ่งมีค่า เท่ากับ 96.77 %

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



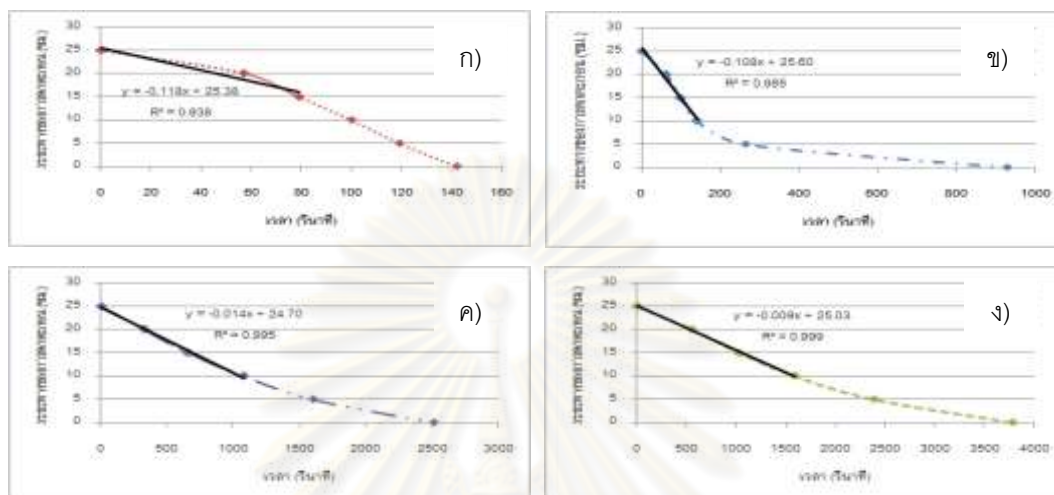
ภาคผนวก ข
การคำนวณค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสไลด์จ์
ในระบบเอเอสที่คูมอายุสไลด์จ์ต่างๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ในระบบเอเอสที่คุมอายุสลัดจ์ 3 วัน

1.1 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ในวันที่ 20 ของการทดลอง

1.1.1 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของชุดควบคุม

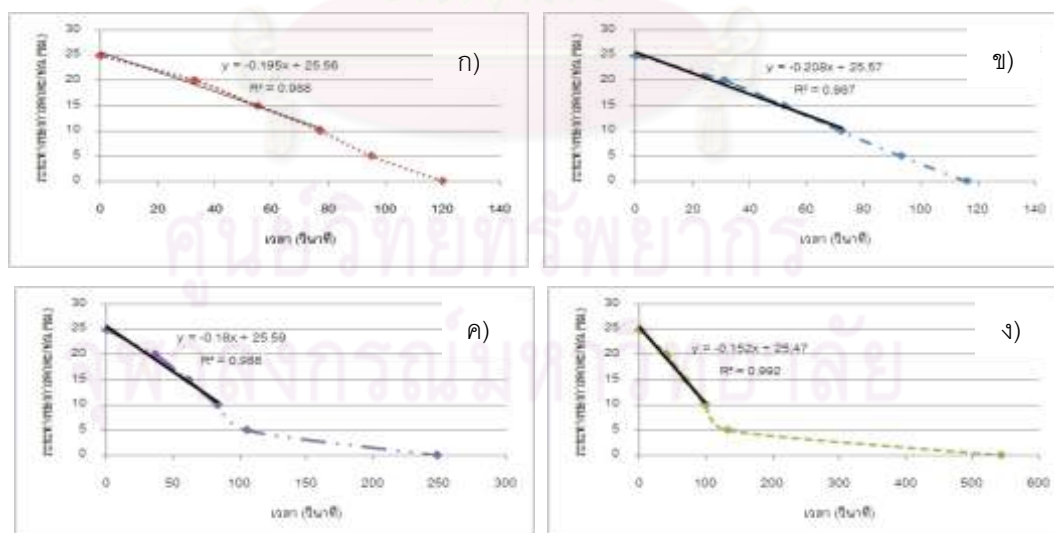


รูปที่ ข.1 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนในชุดควบคุมของระบบเอเอสที่คุมอายุสลัดจ์ 3 วัน

ในวันที่ 20 ของการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสลัดจ์ต่างๆ

ก) 2,000 มก./ล. ข) 3,000 มก./ล. ค) 4,000 มก./ล. ง) 5,000 มก./ล.

1.1.2 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของระบบที่เติมทาล

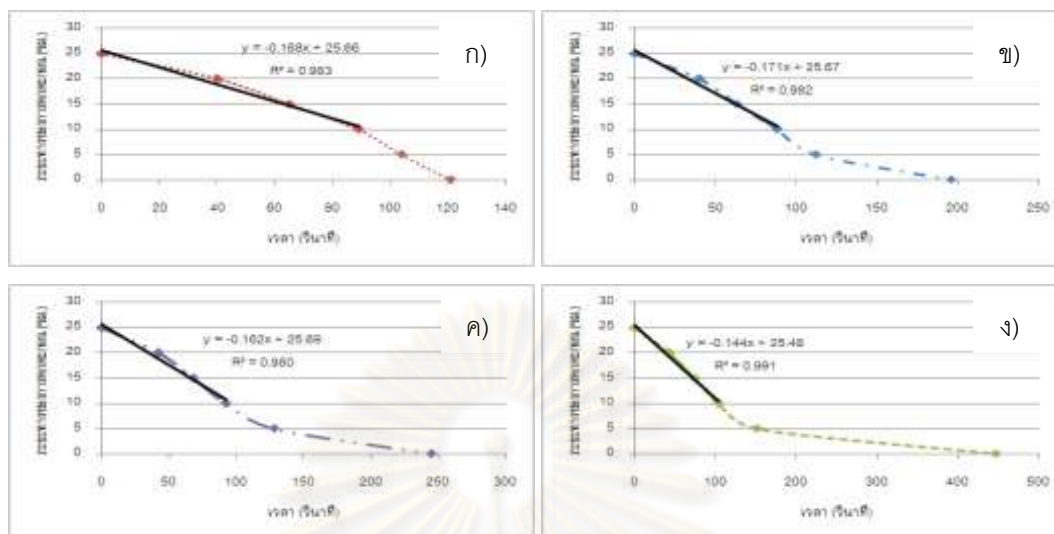


รูปที่ ข.2 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนในระบบที่เติมทาล ของระบบเอเอสที่คุมอายุสลัดจ์

3 วัน ในวันที่ 20 ของการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสลัดจ์ต่างๆ

ก) 2,000 มก./ล. ข) 3,000 มก./ล. ค) 4,000 มก./ล. ง) 5,000 มก./ล.

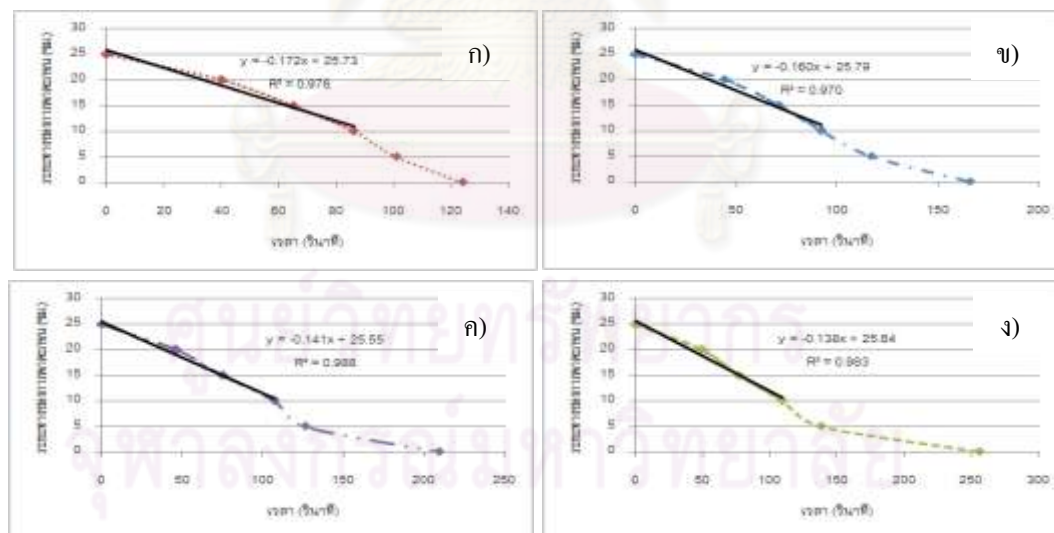
1.1.3 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของระบบที่เติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง



รูปที่ ข.3 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนในระบบที่เติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง ของระบบเอเอส ที่คูมอายุสไลด์จ์ 3 วัน ในวันที่ 20 ของการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสไลด์จ์ต่างๆ

ก) 2,000 มก./ล. ข) 3,000 มก./ล. ค) 4,000 มก./ล. ง) 5,000 มก./ล.

1.1.4 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของระบบที่เติมยางบดละเอียด



รูปที่ ข.4 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนในระบบที่เติมยางบดละเอียด ของระบบเอเอสที่คูมอายุสไลด์จ์ 3 วัน ในวันที่ 20 ของการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสไลด์จ์ต่างๆ

ก) 2,000 มก./ล. ข) 3,000 มก./ล. ค) 4,000 มก./ล. ง) 5,000 มก./ล.

จากการทดลองการตกตะกอนของสลัดจ์ในระบบเอเอส เมื่อนำผลการทดลองมาเขียนเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของชั้นสลัดจ์ (เซนติเมตร) เทียบกับ เวลา (วินาที) จะได้กราฟที่มีลักษณะดังรูปที่ ข.1 – ข.4 การตกตะกอนในช่วงแรกจะมีค่าคงที่ เรียกว่า ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน (Initial Seetling Velocity, ISV) ดังที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 2.2.2 โดยที่ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน ก็คือ ค่าความชันของกราฟในช่วงแรกที่เป็นเส้นตรง

โดยได้แสดงตัวอย่างวิธีการหาค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ ในกรณีของระบบที่คุมอายุสลัดจ์ 3 วัน ในวันที่ 20 ของการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสลัดจ์ 4,000 มก./ล. (รูปที่ ข.4) ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{จากกราฟจะได้ค่าความชัน} &= \text{ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน (ISV)} \\ &= 0.141 \quad \text{เซนติเมตรต่อวินาที} \\ &= 5.1 \quad \text{เมตรต่อชั่วโมง} \end{aligned}$$

ดังนั้นค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์มีค่าเท่ากับ 5.1 เมตรต่อชั่วโมง

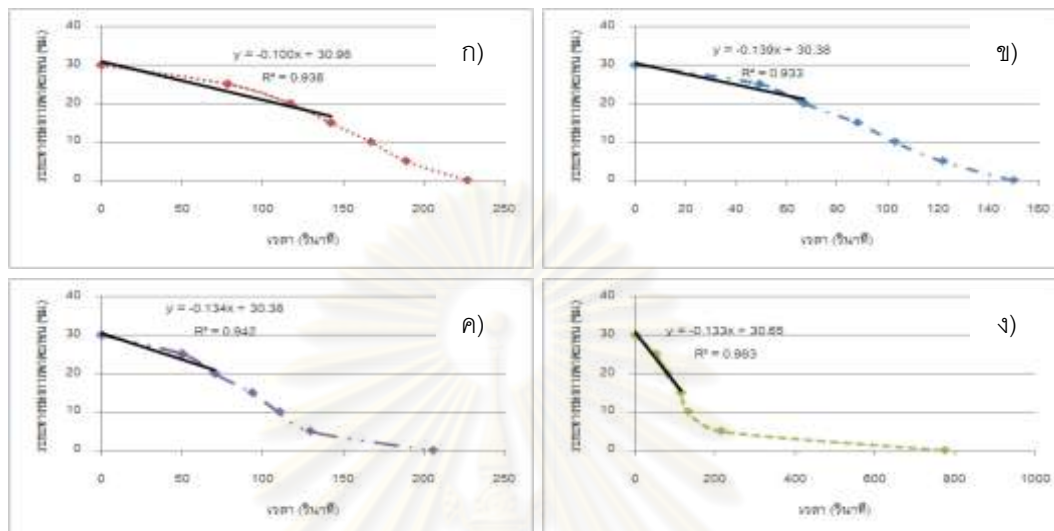
ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ในชุดการทดลองอื่นๆ แสดงไว้ในตารางที่ ข.1 ดังนี้

ตารางที่ ข.1 แสดงค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ในวันที่ 20 ของระบบเอเอสที่คุมอายุสลัดจ์ 3 วัน

ชนิดของวัสดุช่วยตกตะกอน	ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน (ม./ชม.) ที่ความเข้มข้นต่างๆ (มก./ล.)			
	2000	3000	4000	5000
ชุดควบคุม	4.2	3.9	0.5	0.3
ทาล	7.0	7.5	6.5	5.5
ถ่านกัมมันต์ชนิดผง	6.0	6.2	5.8	5.2
ยางบดละเอียด	6.2	5.8	5.1	5.0

1.2 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ในวันที่ 30 ของการทดลอง

1.2.1 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของชุดควบคุม

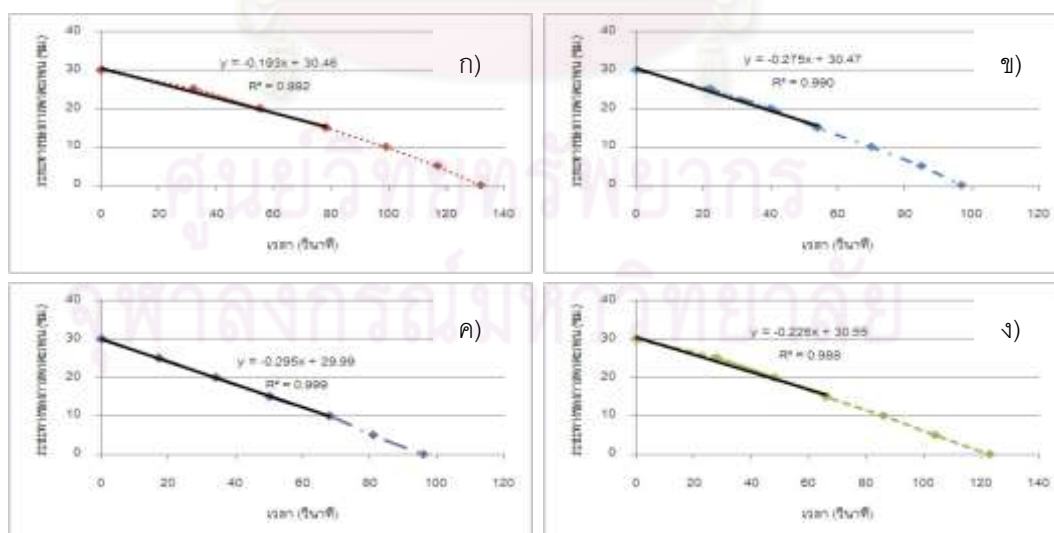


รูปที่ ข.5 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนในชุดควบคุมของระบบเอเอสที่คุมอายุสลัดจ์ 3 วัน

ในวันที่ 30 ของการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสลัดจ์ต่างๆ

ก) 2,000 มก./ล. ข) 3,000 มก./ล. ค) 4,000 มก./ล. ง) 5,000 มก./ล.

1.2.2 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของระบบที่เติมทาล

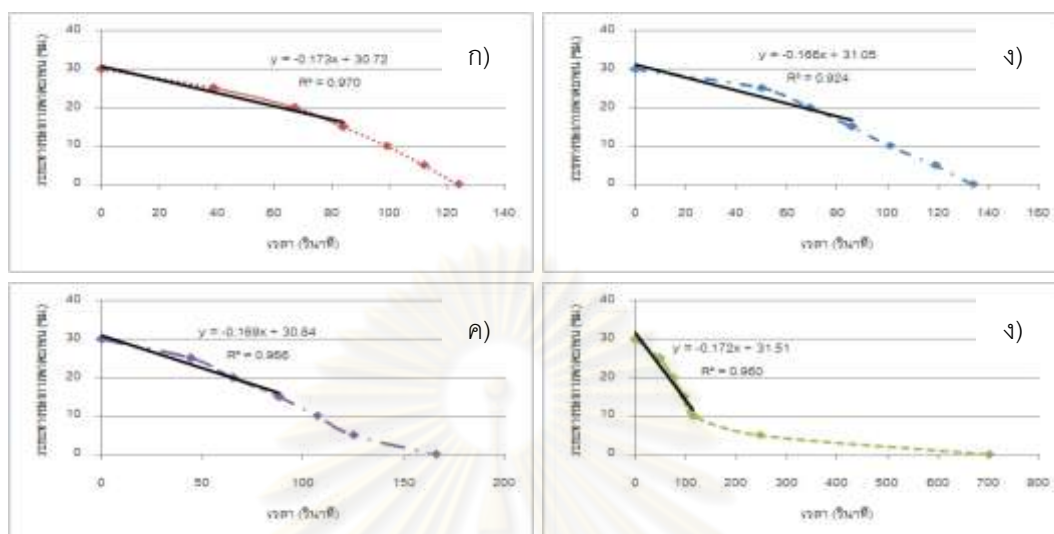


รูปที่ ข.6 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนในระบบที่เติมทาล ของระบบเอเอสที่คุมอายุสลัดจ์

3 วัน ในวันที่ 30 ของการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสลัดจ์ต่างๆ

ก) 2,000 มก./ล. ข) 3,000 มก./ล. ค) 4,000 มก./ล. ง) 5,000 มก./ล.

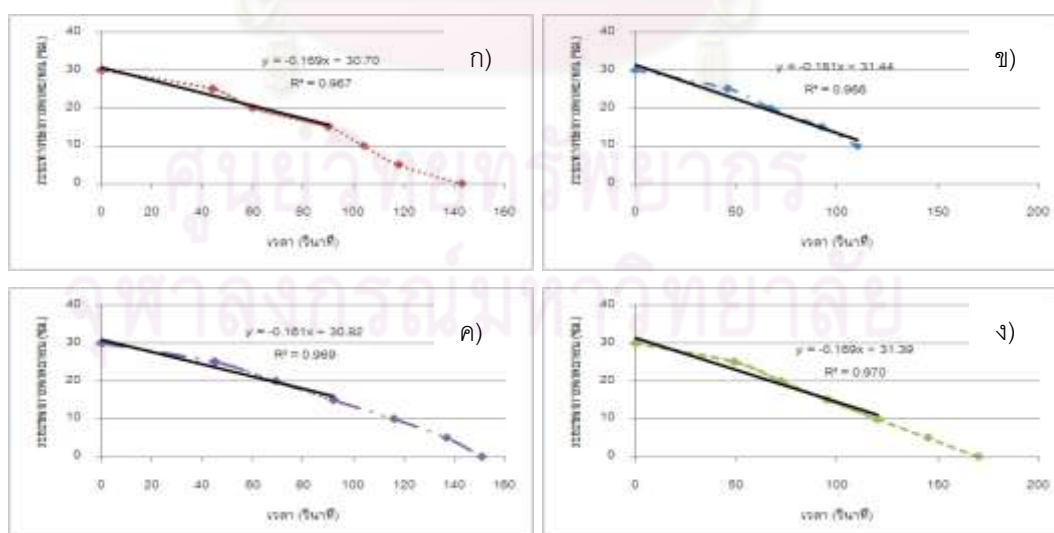
1.2.3 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของระบบที่เติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง



รูปที่ ๗.7 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนในระบบที่เติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง ของระบบเอเอส ที่คูมอายุสัปดาห์ 3 วัน ในวันที่ 30 ของการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสัปดาห์ต่างๆ

ก) 2,000 มก./ล. ข) 3,000 มก./ล. ค) 4,000 มก./ล. ง) 5,000 มก./ล.

1.2.4 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของระบบที่เติมยางบดละเอียด



รูปที่ ๗.๘ ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนในระบบที่เติมยางบดละเอียด ของระบบเอเอสที่คูมอายุสัปดาห์ 3 วัน ในวันที่ 30 ของการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสัปดาห์ต่างๆ

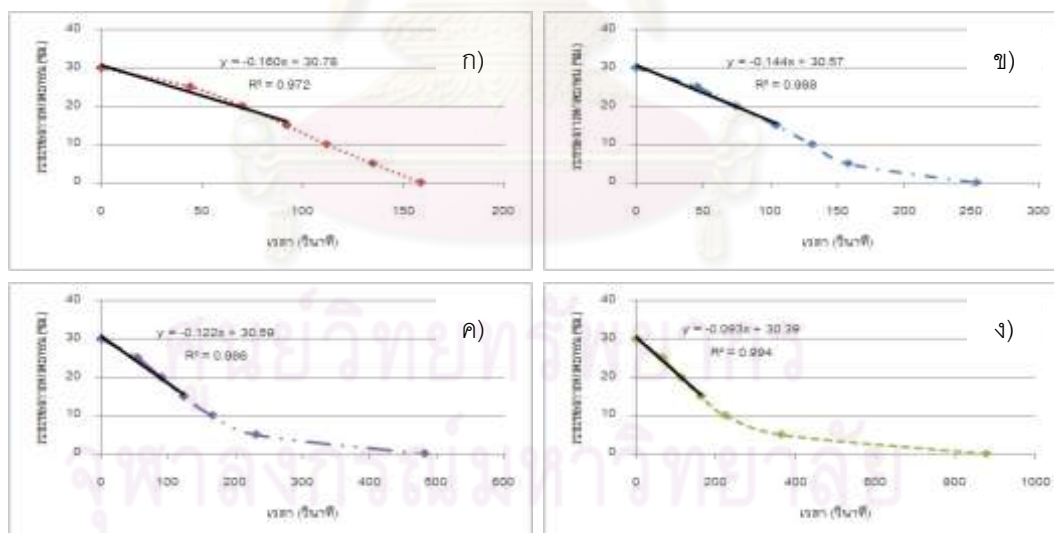
ก) 2,000 มก./ล. ข) 3,000 มก./ล. ค) 4,000 มก./ล. ง) 5,000 มก./ล.

ตารางที่ ข.2 แสดงค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ในวันที่ 30 ของระบบเอเอสที่
คุมอายุสลัดจ์ 3 วัน

ชนิดของวัสดุช่วยตกตะกอน	ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน (ม./ชม.) ที่ความเข้มข้นต่างๆ (มก./ล.)			
	2000	3000	4000	5000
ชุดควบคุม	3.6	5.0	4.8	4.8
ทาล	6.9	9.9	10.6	8.1
ถ่านกัมมันต์ชนิดผง	6.2	6.0	6.1	6.2
ยางบดละเอียด	6.1	6.5	5.8	6.1

1.3 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ในวันที่ 40 ของการทดลอง

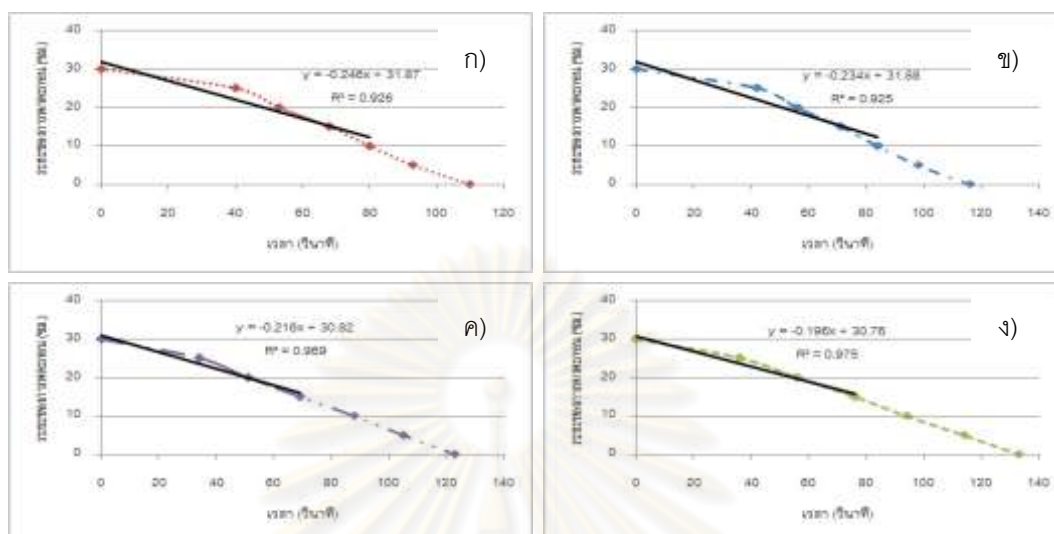
1.3.1 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของชุดควบคุม



รูปที่ ข.9 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนในชุดควบคุมของระบบเอเอสที่คุมอายุสลัดจ์ 3 วัน
ในวันที่ 40 ของการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสลัดจ์ต่างๆ

ก) 2,000 มก./ล. ข) 3,000 มก./ล. ค) 4,000 มก./ล. ง) 5,000 มก./ล.

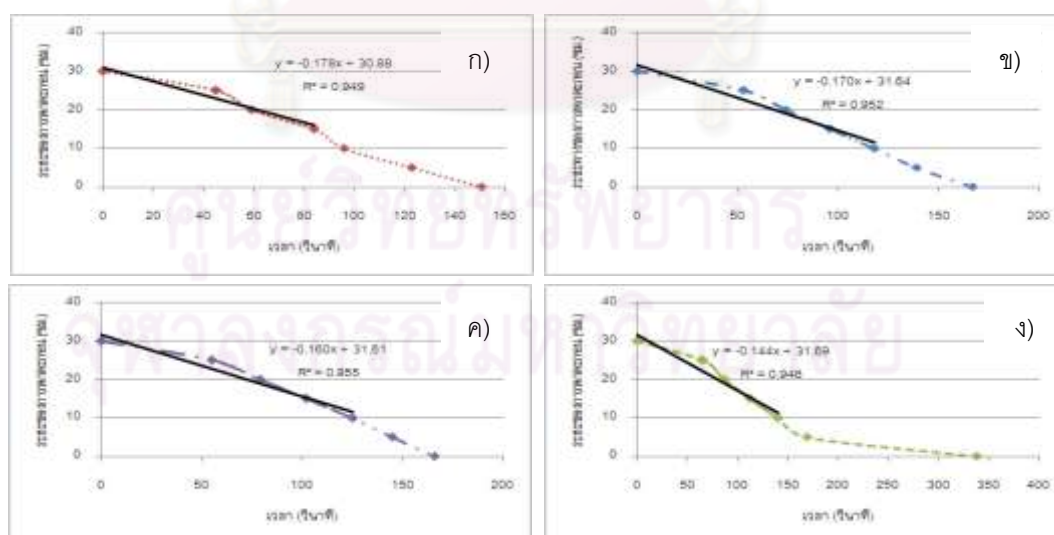
1.3.2 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของระบบที่เติมทาล



รูปที่ ข.10 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนในระบบที่เติมทาล ของระบบเอเอสที่คুমอายุ สลัดจ์ 3 วัน ในวันที่ 40 ของการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสลัดจ์ต่างๆ

ก) 2,000 มก./ล. ข) 3,000 มก./ล. ค) 4,000 มก./ล. ง) 5,000 มก./ล.

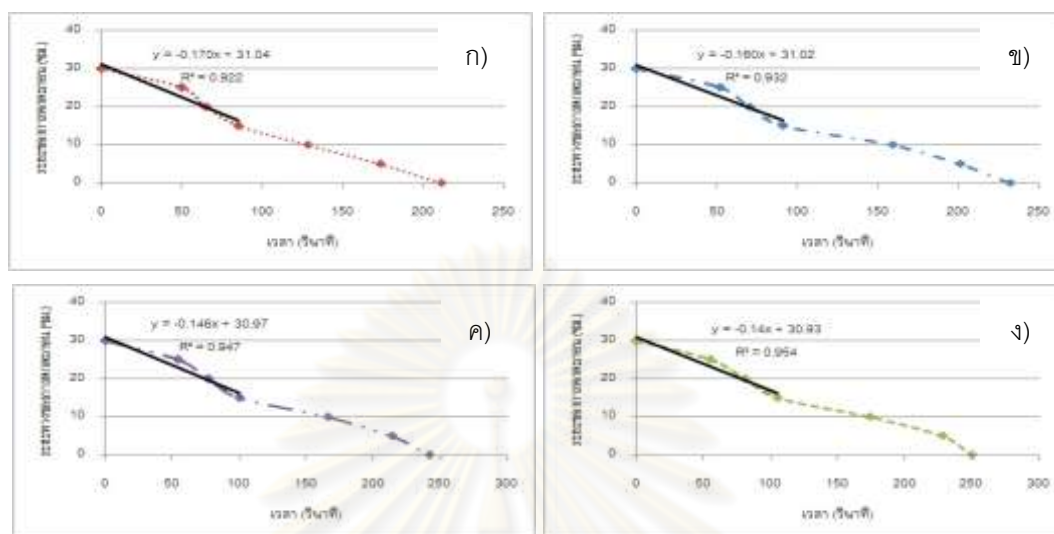
1.3.3 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของระบบที่เติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง



รูปที่ ข.11 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนในระบบที่เติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง ของระบบ เอเอสที่คুমอายุสลัดจ์ 3 วัน ในวันที่ 40 ของการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสลัดจ์ต่างๆ

ก) 2,000 มก./ล. ข) 3,000 มก./ล. ค) 4,000 มก./ล. ง) 5,000 มก./ล.

1.3.4 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของระบบที่เติมยางบดละเอียด



รูปที่ ข.12 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนในระบบที่เติมยางบดละเอียด ของระบบเอเอสที่คুমอายุสลัดจ์ 3 วัน ในวันที่ 40 ของการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสลัดจ์ต่างๆ

ก) 2,000 มก./ล. ข) 3,000 มก./ล. ค) 4,000 มก./ล. ง) 5,000 มก./ล.

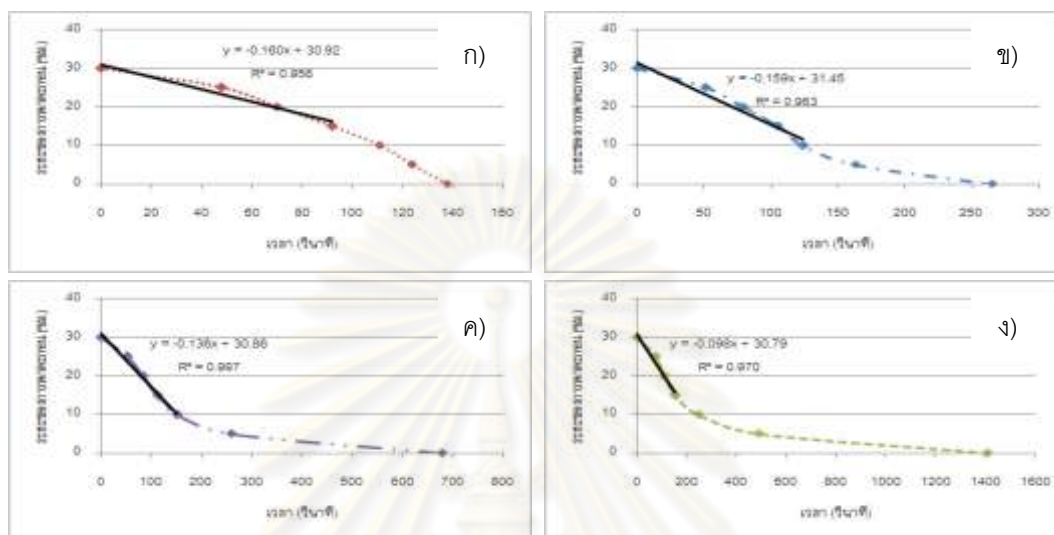
ตาราง ข.3 แสดงค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ในวันที่ 40 ของระบบเอเอสที่คুমอายุสลัดจ์ 3 วัน

ชนิดของวัสดุช่วยตกตะกอน	ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน (ม./ชม.) ที่ความเข้มข้นต่างๆ (มก./ล.)			
	2000	3000	4000	5000
ชุดควบคุม	5.8	5.2	4.4	3.3
ทาล	8.9	8.4	7.8	7.1
ถ่านกัมมันต์ชนิดผง	6.4	6.1	5.8	5.2
ยางบดละเอียด	6.1	5.8	5.3	5.0

2. ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ในระบบเอเอสที่คูมอายุสลัดจ์ 10 วัน

2.1 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ในวันที่ 20 ของการทดลอง

2.1.1 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของชุดควบคุม

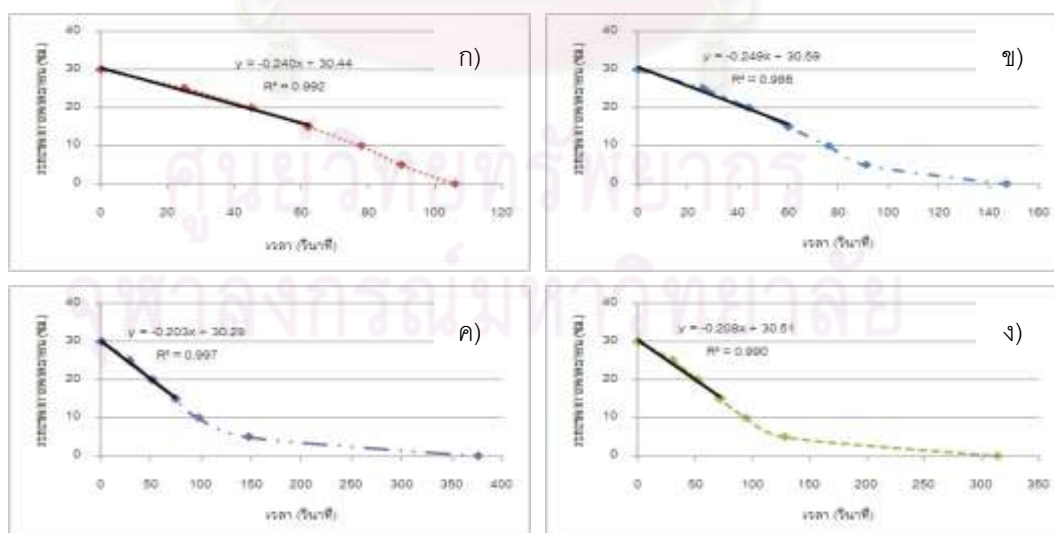


รูปที่ ข.13 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนในชุดควบคุมของระบบเอเอสที่คูมอายุสลัดจ์ 10

วัน ในวันที่ 20 ของการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสลัดจ์ต่างๆ

ก) 2,000 มก./ล. ข) 3,000 มก./ล. ค) 4,000 มก./ล. ง) 5,000 มก./ล.

2.1.2 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของระบบที่เติมทาล

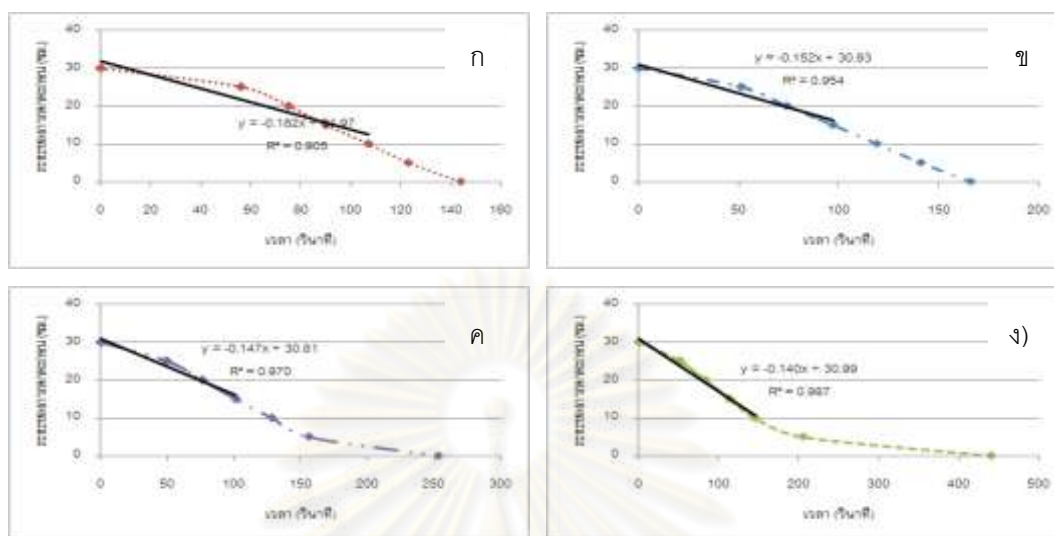


รูปที่ ข.14 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนในระบบที่เติมทาล ของระบบเอเอส

ที่คูมอายุสลัดจ์ 10 วัน ในวันที่ 20 ของการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสลัดจ์ต่างๆ

ก) 2,000 มก./ล. ข) 3,000 มก./ล. ค) 4,000 มก./ล. ง) 5,000 มก./ล.

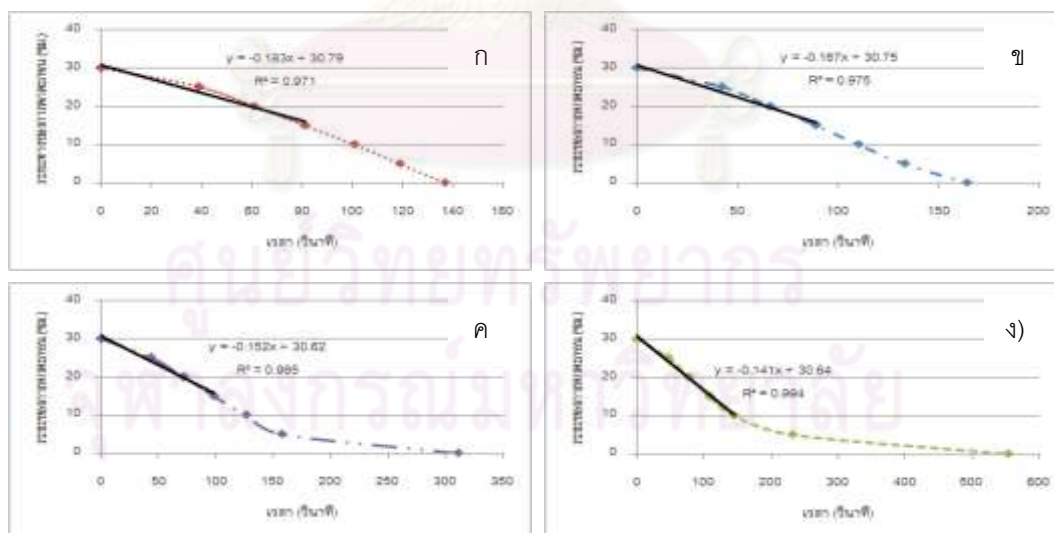
2.1.3 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของระบบที่เติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง



รูปที่ ข.15 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนในระบบที่เติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง ของระบบเอเอสที่คุมอายุสัปดาห์ 10 วัน ในวันที่ 20 ของการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสัปดาห์ต่างๆ

ก) 2,000 มก./ล. ข) 3,000 มก./ล. ค) 4,000 มก./ล. ง) 5,000 มก./ล.

2.1.4 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของระบบที่เติมยางบดละเอียด



รูปที่ ข.16 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนในระบบที่เติมยางบดละเอียด ของระบบเอเอสที่คุมอายุสัปดาห์ 10 วัน ในวันที่ 20 ของการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสัปดาห์ต่างๆ

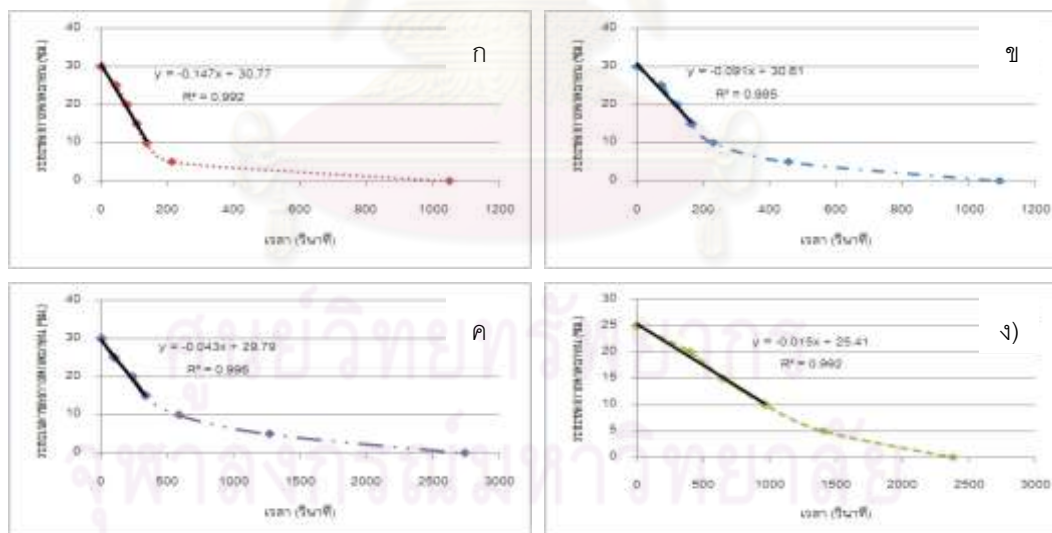
ก) 2,000 มก./ล. ข) 3,000 มก./ล. ค) 4,000 มก./ล. ง) 5,000 มก./ล.

ตารางที่ ข.4 แสดงค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ในวันที่ 20 ของระบบเอเอสที่
 คุมอายุสลัดจ์ 10 วัน

ชนิดของวัสดุช่วยตกตะกอน	ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน (ม./ชม.) ที่ความเข้มข้นต่างๆ (มก./ล.)			
	2000	3000	4000	5000
ชุดควบคุม	5.8	5.7	4.9	3.5
ทาล	8.6	9.0	7.3	7.5
ถ่านกัมมันต์ชนิดผง	6.6	5.5	5.3	5.5
ยางบดละเอียด	6.6	6.0	5.5	5.1

2.2 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ในวันที่ 30 ของการทดลอง

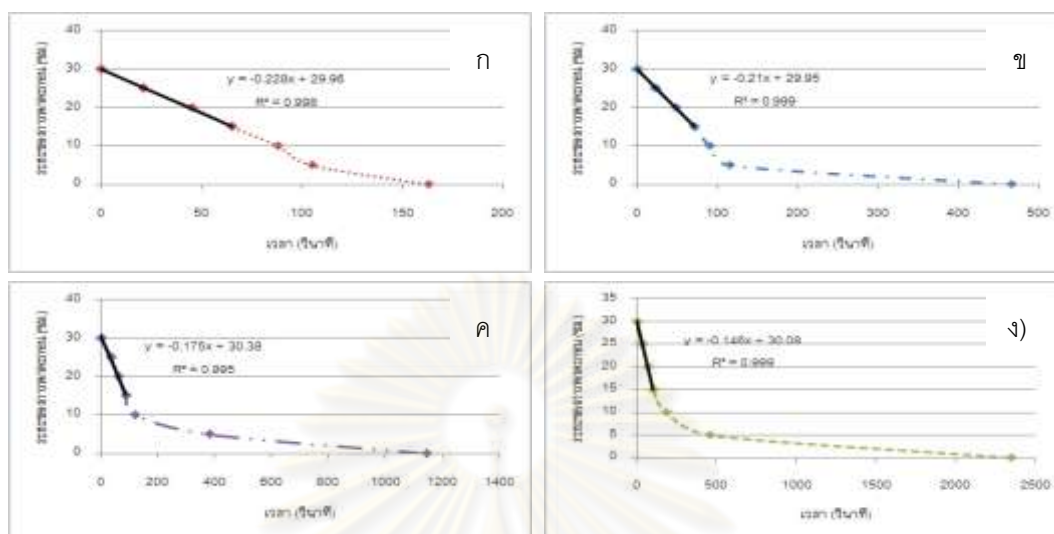
2.2.1 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของชุดควบคุม



รูปที่ ข.17 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนในชุดควบคุมของระบบเอเอสที่คุมอายุสลัดจ์ 10
 วัน ในวันที่ 30 ของการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสลัดจ์ต่างๆ

ก) 2,000 มก./ล. ข) 3,000 มก./ล. ค) 4,000 มก./ล. ง) 5,000 มก./ล.

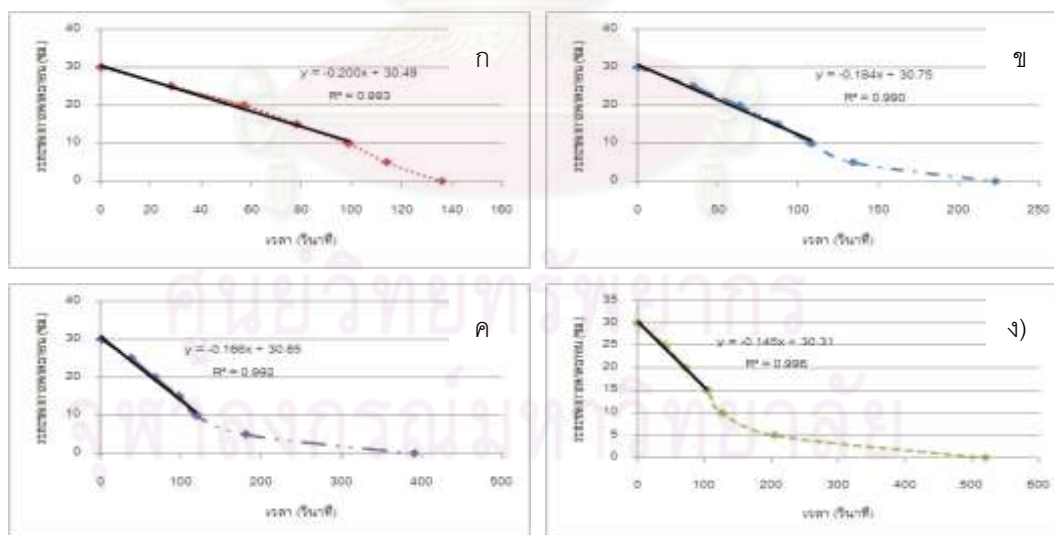
2.2.2 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของระบบที่เติมทาล



รูปที่ ข.18 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนในระบบที่เติมทาล ของระบบเอเอส ที่คุมอายุสลัดจ์ 10 วัน ในวันที่ 30 ของการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสลัดจ์ต่างๆ

ก) 2,000 มก./ล. ข) 3,000 มก./ล. ค) 4,000 มก./ล. ง) 5,000 มก./ล.

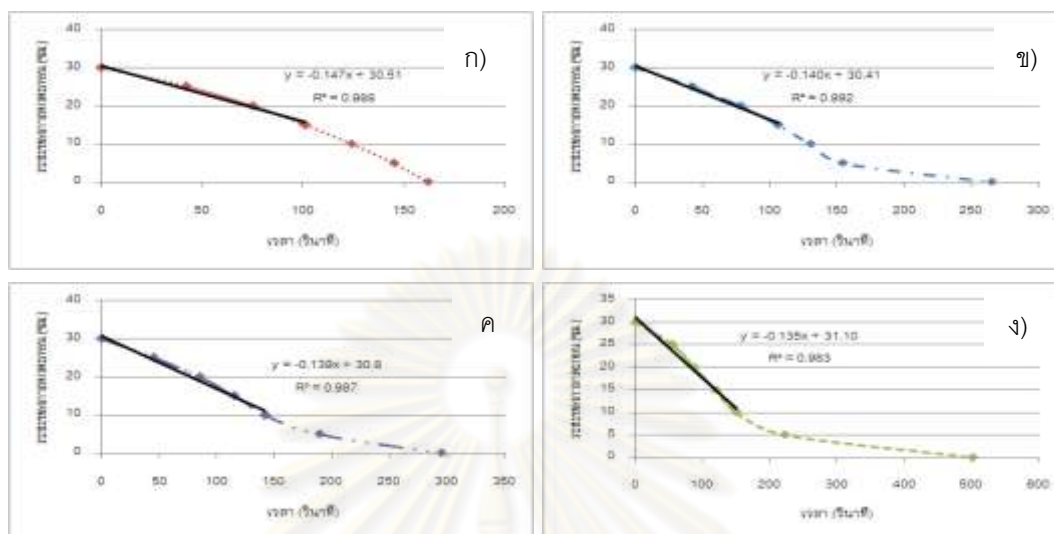
2.2.3 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของระบบที่เติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง



รูปที่ ข.19 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนในระบบที่เติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง ของระบบ เอเอสที่คุมอายุสลัดจ์ 10 วัน ในวันที่ 30 ของการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสลัดจ์ต่างๆ

ก) 2,000 มก./ล. ข) 3,000 มก./ล. ค) 4,000 มก./ล. ง) 5,000 มก./ล.

2.2.4 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของระบบที่เติมยางบดละเอียด



รูปที่ ข.20 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนในระบบที่เติมยางบดละเอียด ของระบบเอเอสที่คุมอายุสลัดจ์ 10 วัน ในวันที่ 30 ของการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสลัดจ์ต่างๆ

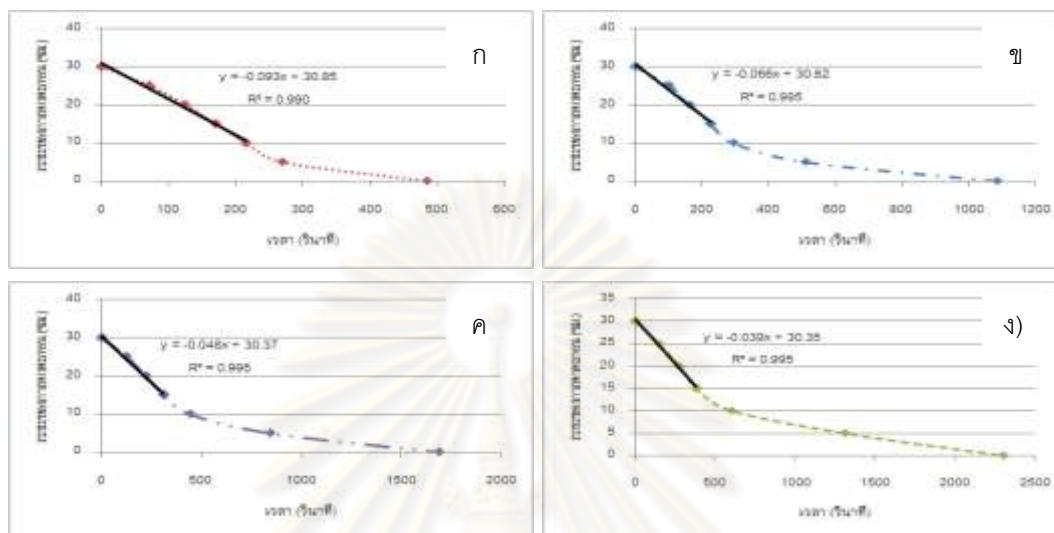
ก) 2,000 มก./ล. ข) 3,000 มก./ล. ค) 4,000 มก./ล. ง) 5,000 มก./ล.

ตารางที่ ข.5 แสดงค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ในวันที่ 30 ของระบบเอเอสที่คุมอายุสลัดจ์ 10 วัน

ชนิดของวัสดุช่วยตกตะกอน	ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน (ม./ชม.) ที่ความเข้มข้นต่างๆ (มก./ล.)			
	2000	3000	4000	5000
ชุดควบคุม	5.3	3.3	1.5	0.5
ทาล	10.4	7.6	6.3	5.3
ถ่านกัมมันต์ชนิดผง	7.2	6.6	6.0	5.2
ยางบดละเอียด	5.3	5.0	5.0	4.9

2.3 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ในวันที่ 40 ของการทดลอง

2.3.1 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของชุดควบคุม

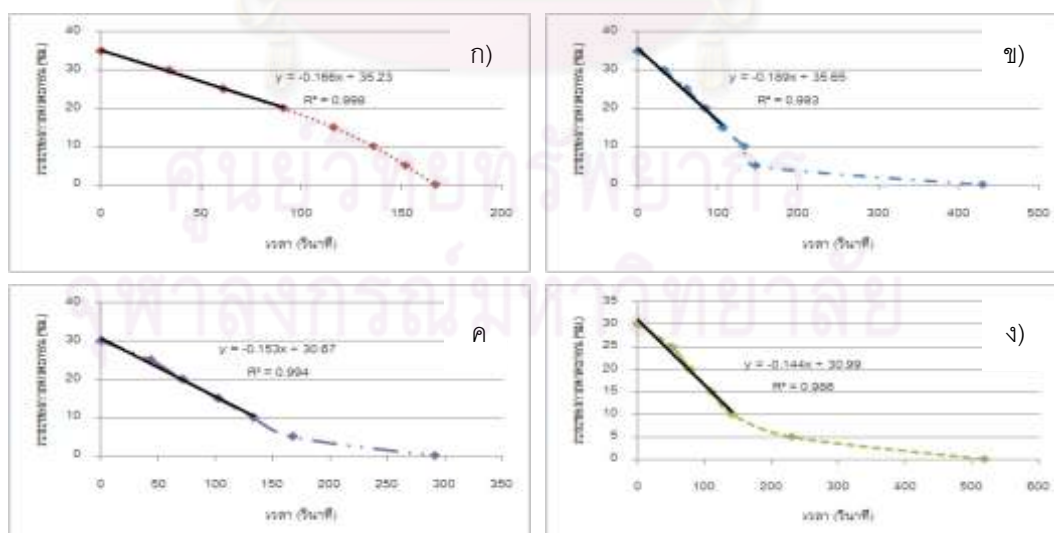


รูปที่ ข.21 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนในชุดควบคุมของระบบเอเอสที่คุ่มอายุสลัดจ์ 10

วัน ในวันที่ 40 ของการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสลัดจ์ต่างๆ

ก) 2,000 มก./ล. ข) 3,000 มก./ล. ค) 4,000 มก./ล. ง) 5,000 มก./ล.

2.3.2 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของระบบที่เติมทาล

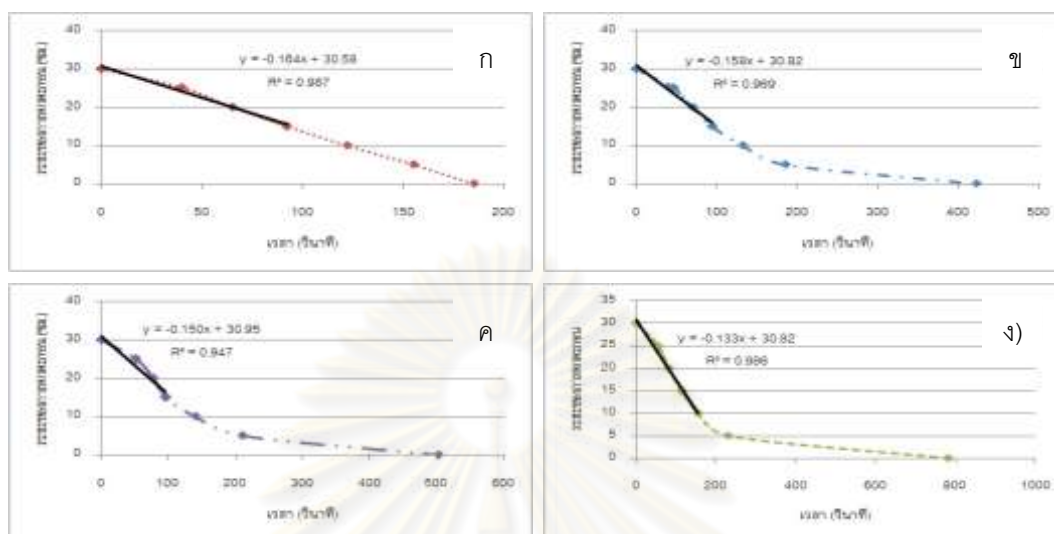


รูปที่ ข.22 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนในระบบที่เติมทาล ของระบบเอเอส

ที่คุ่มอายุสลัดจ์ 10 วัน ในวันที่ 40 ของการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสลัดจ์ต่างๆ

ก) 2,000 มก./ล. ข) 3,000 มก./ล. ค) 4,000 มก./ล. ง) 5,000 มก./ล.

2.3.3 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของระบบที่เติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง

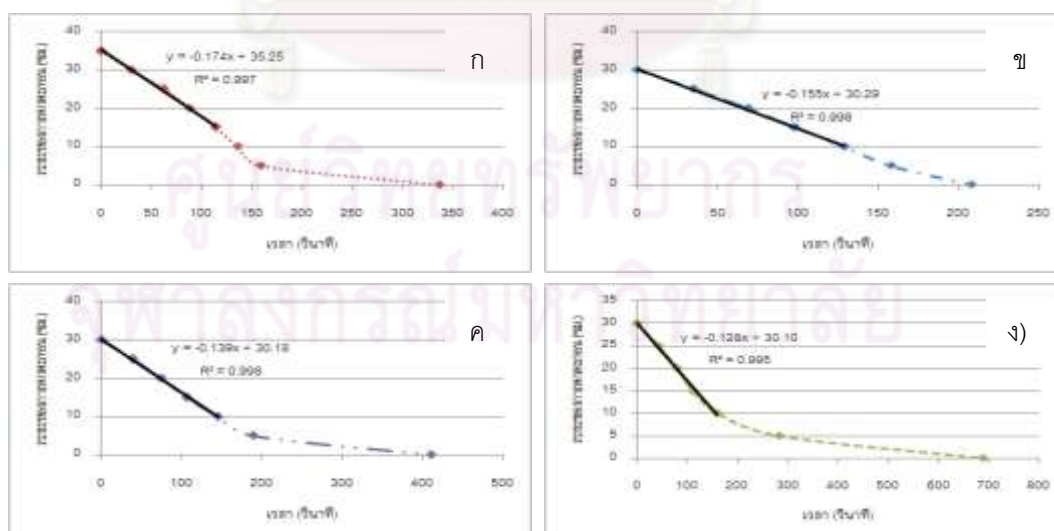


รูปที่ ข.23 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนในระบบที่เติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง ของระบบ

เอเอสที่คุมอายุสัปดาห์ 10 วัน ในวันที่ 40 ของการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสัปดาห์ต่างๆ

ก) 2,000 มก./ล. ข) 3,000 มก./ล. ค) 4,000 มก./ล. ง) 5,000 มก./ล.

2.3.4 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของระบบที่เติมยางบดละเอียด



รูปที่ ข.24 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนในระบบที่เติมยางบดละเอียด ของระบบ

เอเอสที่คุมอายุสัปดาห์ 10 วัน ในวันที่ 40 ของการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสัปดาห์ต่างๆ

ก) 2,000 มก./ล. ข) 3,000 มก./ล. ค) 4,000 มก./ล. ง) 5,000 มก./ล.

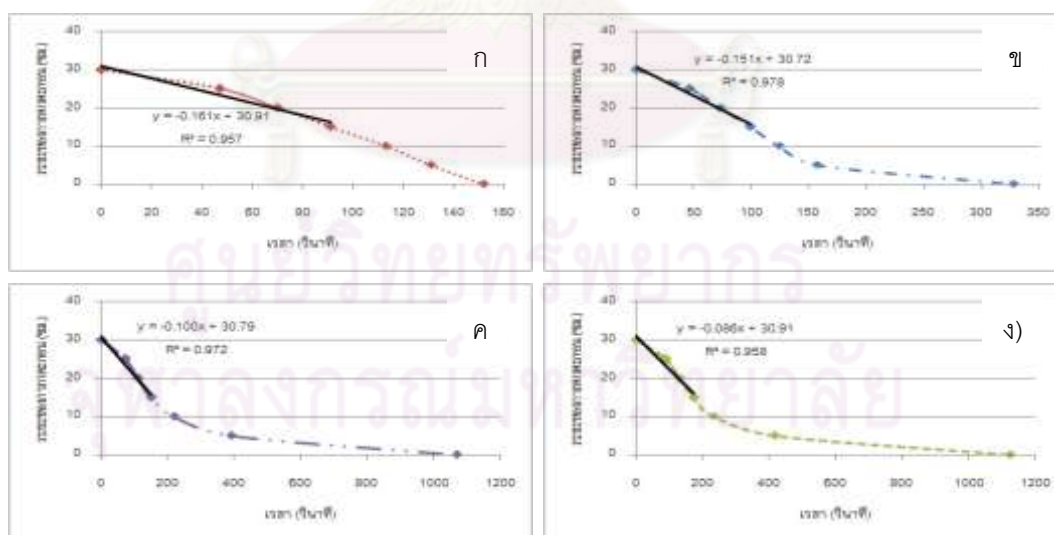
ตารางที่ ข.6 แสดงค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ในวันที่ 40 ของระบบเอเอสที่
 คุมอายุสลัดจ์ 10 วัน

ชนิดของวัสดุช่วยตกตะกอน	ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน (ม./ชม.) ที่ความเข้มข้นต่างๆ (มก./ล.)			
	2000	3000	4000	5000
ชุดควบคุม	3.3	2.4	1.7	1.4
ทาล	6.0	6.8	5.5	5.2
ถ่านกัมมันต์ชนิดผง	5.9	5.7	5.4	4.8
ยางบดละเอียด	6.3	5.6	5.0	4.6

3. ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ในระบบเอเอสที่คุมอายุสลัดจ์ 30 วัน

3.1 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ในวันที่ 20 ของการทดลอง

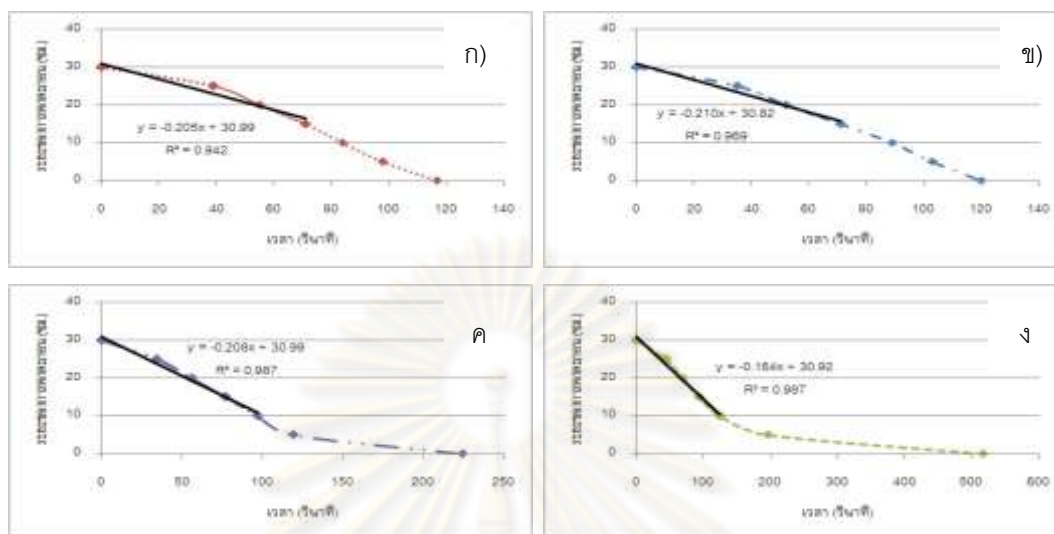
3.1.1 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของชุดควบคุม



รูปที่ ข.25 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนในชุดควบคุมของระบบเอเอสที่คุมอายุสลัดจ์
 30 วัน ในวันที่ 20 ของการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสลัดจ์ต่างๆ

ก) 2,000 มก./ล. ข) 3,000 มก./ล. ค) 4,000 มก./ล. ง) 5,000 มก./ล.

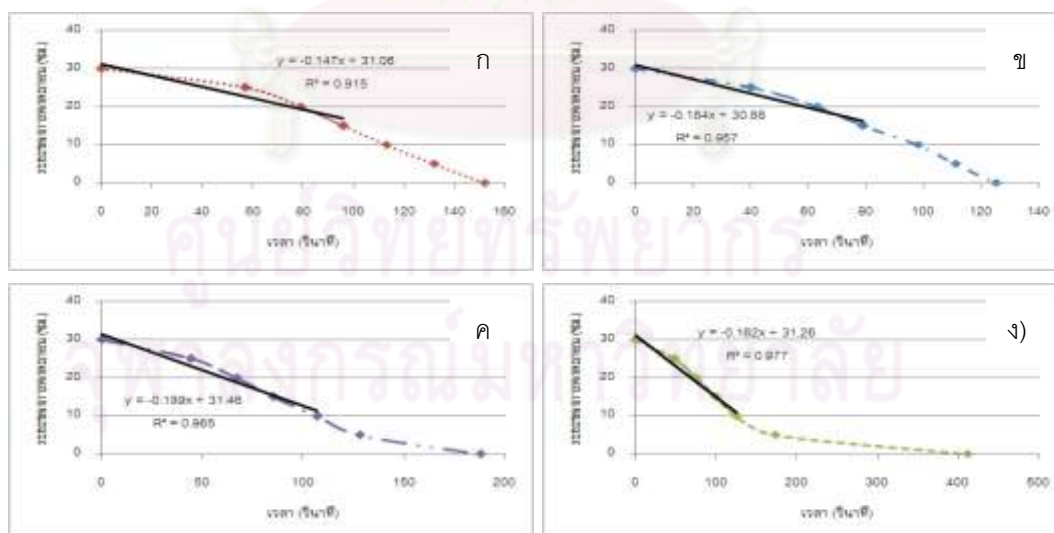
3.1.2 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของระบบที่เติมทาล



รูปที่ ข.26 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนในระบบที่เติมทาล ของระบบเอเอส ที่คูมอายุสลัดจ์ 30 วัน ในวันที่ 20 ของการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสลัดจ์ต่างๆ

ก) 2,000 มก./ล. ข) 3,000 มก./ล. ค) 4,000 มก./ล. ง) 5,000 มก./ล.

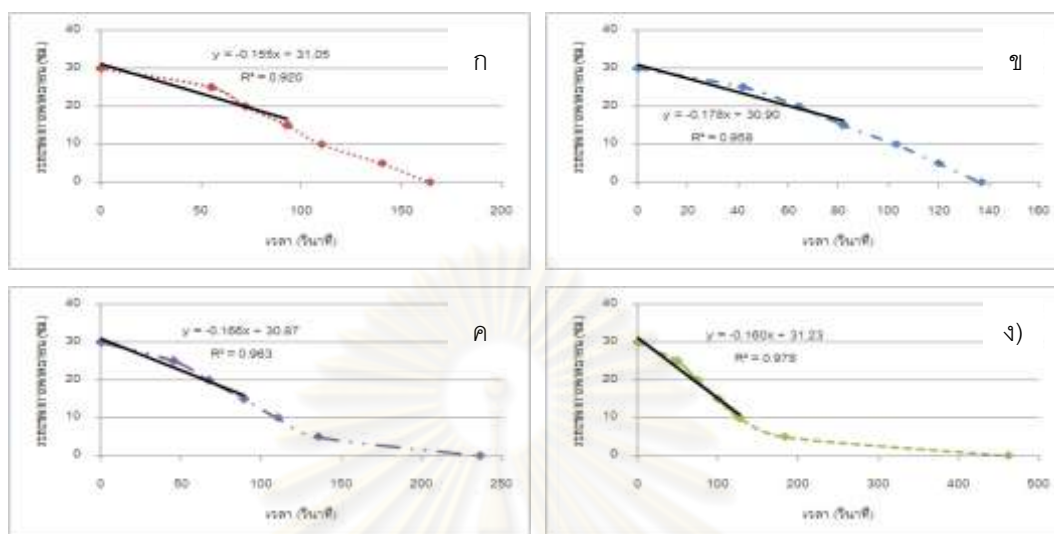
3.1.3 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของระบบที่เติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง



รูปที่ ข.27 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนในระบบที่เติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง ของระบบ เอเอสที่คูมอายุสลัดจ์ 30 วัน ในวันที่ 20 ของการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสลัดจ์ต่างๆ

ก) 2,000 มก./ล. ข) 3,000 มก./ล. ค) 4,000 มก./ล. ง) 5,000 มก./ล.

3.1.4 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของระบบที่เติมยางบดละเอียด



รูปที่ ข.28 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนในระบบที่เติมยางบดละเอียด ของระบบเอเอสที่คุมอายุสลัดจ์ 30 วัน ในวันที่ 20 ของการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสลัดจ์ต่างๆ

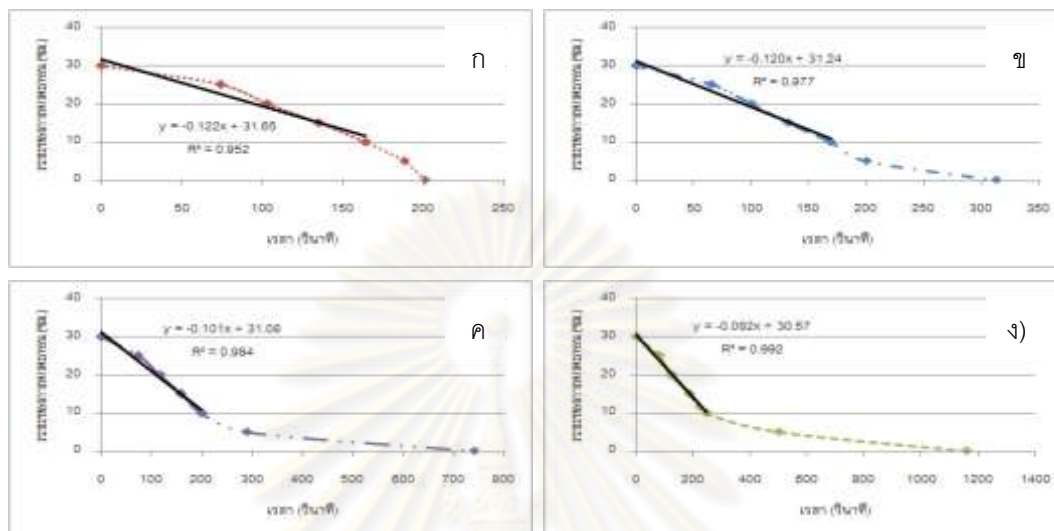
ก) 2,000 มก./ล. ข) 3,000 มก./ล. ค) 4,000 มก./ล. ง) 5,000 มก./ล.

ตารางที่ ข.7 แสดงค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ในวันที่ 20 ของระบบเอเอสที่คุมอายุสลัดจ์ 30 วัน

ชนิดของวัสดุช่วยตกตะกอน	ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน (ม./ชม.) ที่ความเข้มข้นต่างๆ (มก./ล.)			
	2000	3000	4000	5000
ชุดควบคุม	5.8	5.4	3.6	3.1
ทาล	7.4	7.6	7.5	5.9
ถ่านกัมมันต์ชนิดผง	5.3	6.6	6.8	5.8
ยางบดละเอียด	5.6	6.4	6.0	5.8

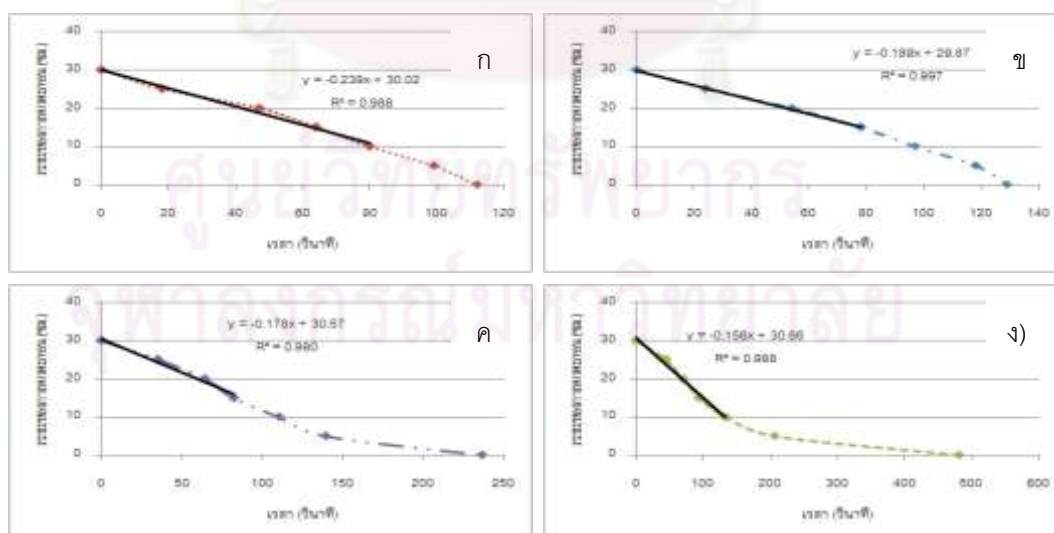
3.2 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ในวันที่ 30 ของการทดลอง

3.2.1 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของชุดควบคุม



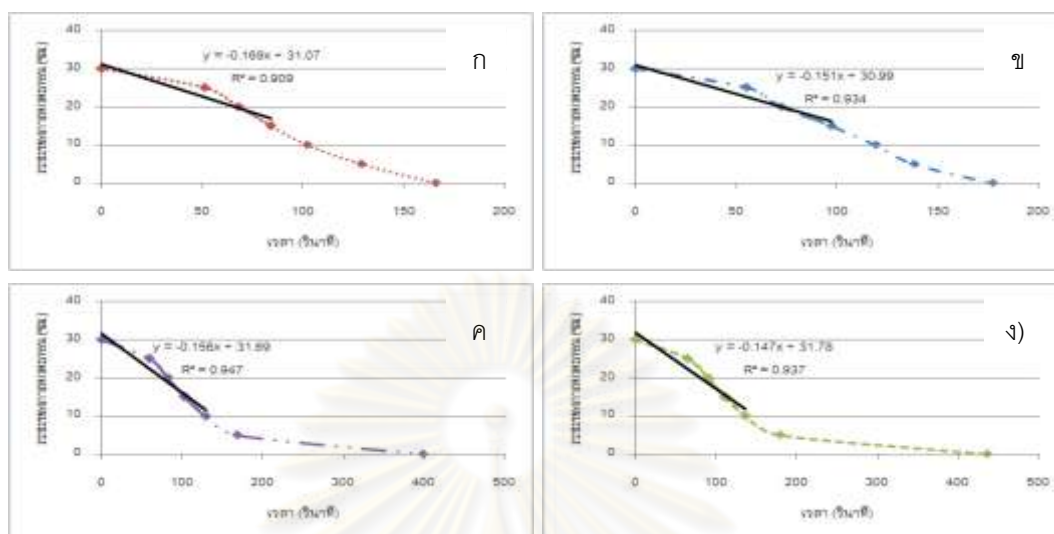
รูปที่ ๒.29 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนในชุดควบคุมของระบบเอเอสที่คุมอายุสลัดจ์ 30 วัน ในวันที่ 30 ของการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสลัดจ์ต่างๆ
ก) 2,000 มก./ล. ข) 3,000 มก./ล. ค) 4,000 มก./ล. ง) 5,000 มก./ล.

3.2.2 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของระบบที่เติมทาล



รูปที่ ๒.30 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนในระบบที่เติมทาล ของระบบเอเอส ที่คุมอายุสลัดจ์ 30 วัน ในวันที่ 30 ของการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสลัดจ์ต่างๆ
ก) 2,000 มก./ล. ข) 3,000 มก./ล. ค) 4,000 มก./ล. ง) 5,000 มก./ล.

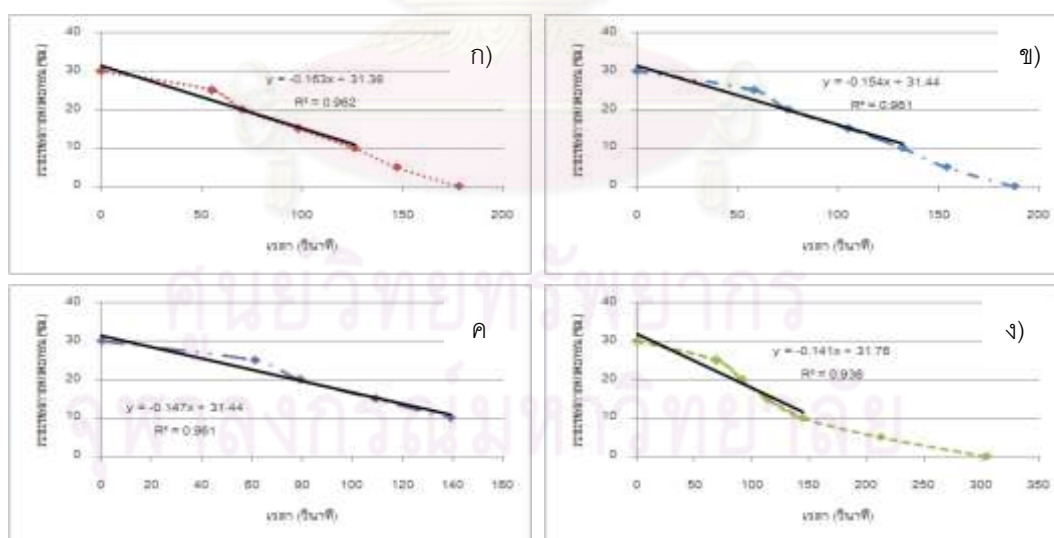
3.2.3 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของระบบที่เติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง



รูปที่ ข.31 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนในระบบที่เติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง ของระบบ
เอเอสที่คุมอายุสัปดาห์ 30 วัน ในวันที่ 30 ของการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสัปดาห์ต่างๆ

ก) 2,000 มก./ล. ข) 3,000 มก./ล. ค) 4,000 มก./ล. ง) 5,000 มก./ล.

3.2.4 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของระบบที่เติมยางบดละเอียด



รูปที่ ข.32 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนในระบบที่เติมยางบดละเอียด ของระบบ
เอเอสที่คุมอายุสัปดาห์ 30 วัน ในวันที่ 30 ของการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสัปดาห์ต่างๆ

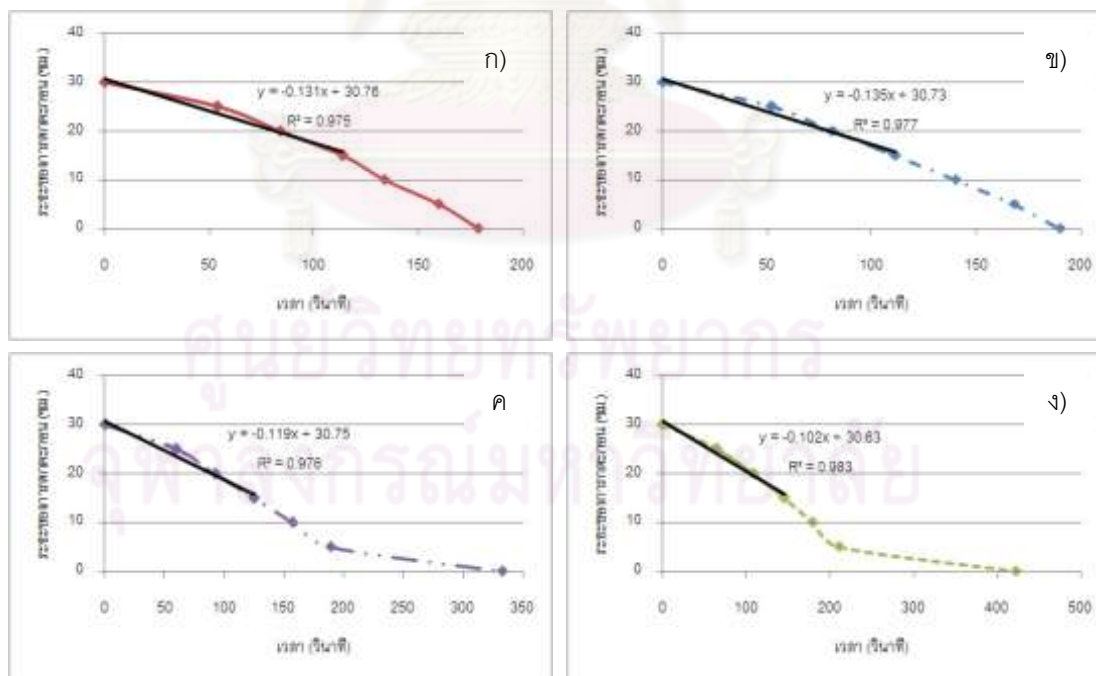
ก) 2,000 มก./ล. ข) 3,000 มก./ล. ค) 4,000 มก./ล. ง) 5,000 มก./ล.

ตารางที่ ข.8 แสดงค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ในวันที่ 30 ของระบบเอเอสที่
 คุมอายุสลัดจ์ 30 วัน

ชนิดของวัสดุช่วยตกตะกอน	ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน (ม./ชม.) ที่ความเข้มข้นต่างๆ (มก./ล.)			
	2000	3000	4000	5000
ชุดควบคุม	4.4	4.3	3.6	3.0
ทาล	8.6	6.8	6.4	5.6
ถ่านกัมมันต์ชนิดผง	6.1	5.4	5.6	5.3
ยางบดละเอียด	5.9	5.4	5.3	5.1

3.3 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ในวันที่ 40 ของการทดลอง

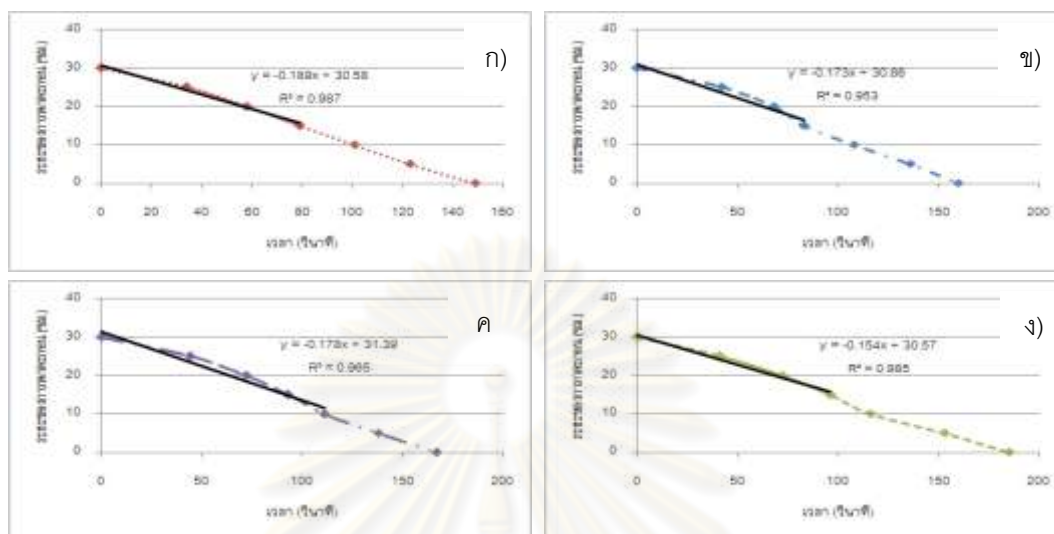
3.3.1 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของชุดควบคุม



รูปที่ ข.33 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนในชุดควบคุมของระบบเอเอสที่คุมอายุสลัดจ์
 30 วัน ในวันที่ 40 ของการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสลัดจ์ต่างๆ

ก) 2,000 มก./ล. ข) 3,000 มก./ล. ค) 4,000 มก./ล. ง) 5,000 มก./ล.

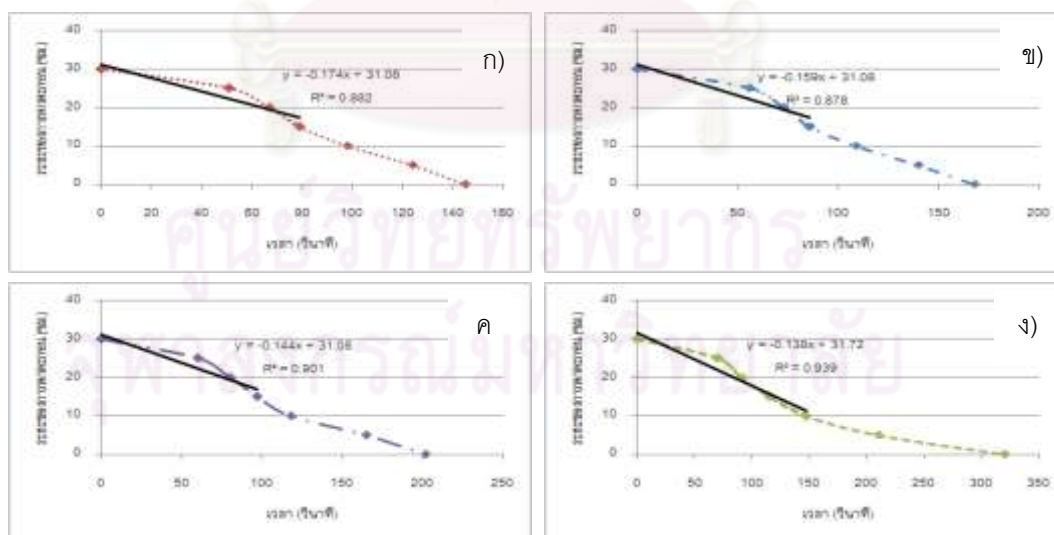
3.3.2 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของระบบที่เติมทาล



รูปที่ ข.34 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนในระบบที่เติมทาล ของระบบเอเอส ที่คูมอายุสลัดจ์ 30 วัน ในวันที่ 40 ของการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสลัดจ์ต่างๆ

ก) 2,000 มก./ล. ข) 3,000 มก./ล. ค) 4,000 มก./ล. ง) 5,000 มก./ล.

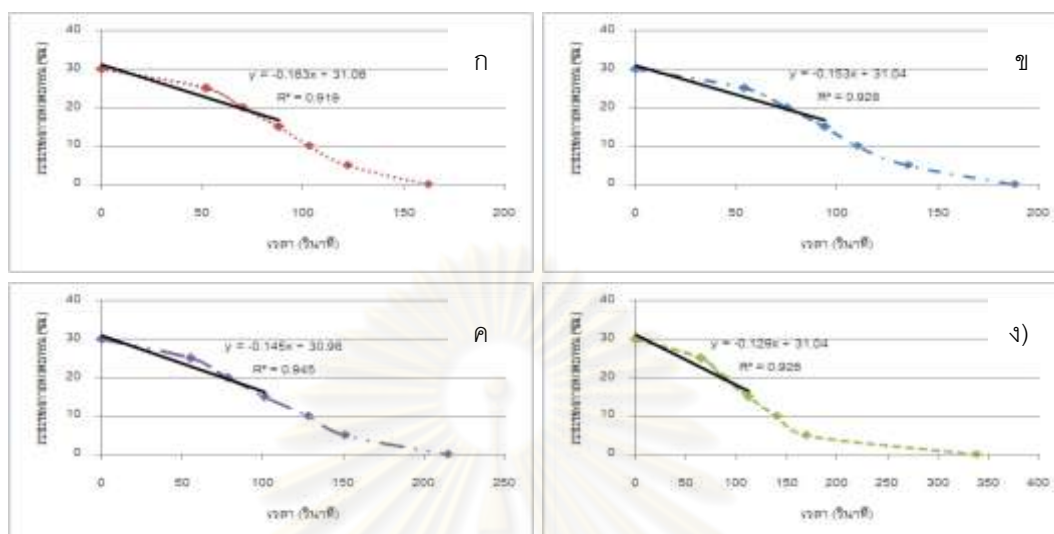
3.3.3 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของระบบที่เติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง



รูปที่ ข.35 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนในระบบที่เติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง ของระบบ เอเอสที่คูมอายุสลัดจ์ 30 วัน ในวันที่ 40 ของการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสลัดจ์ต่างๆ

ก) 2,000 มก./ล. ข) 3,000 มก./ล. ค) 4,000 มก./ล. ง) 5,000 มก./ล.

3.3.4 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของระบบที่เติมยางบดละเอียด



รูปที่ ข.36 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนในระบบที่เติมยางบดละเอียด ของระบบเอเอสที่คุมอายุสลัดจ์ 30 วัน ในวันที่ 40 ของการทดลอง ที่ความเข้มข้นของสลัดจ์ต่างๆ

ก) 2,000 มก./ล. ข) 3,000 มก./ล. ค) 4,000 มก./ล. ง) 5,000 มก./ล.

ตารางที่ ข.9 แสดงค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ในวันที่ 40 ของระบบเอเอสที่คุมอายุสลัดจ์ 30 วัน

ชนิดของวัสดุช่วยตกตะกอน	ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน (ม./ชม.) ที่ความเข้มข้นต่างๆ (มก./ล.)			
	2000	3000	4000	5000
ชุดควบคุม	4.7	4.9	4.3	3.7
ทาล	6.8	6.2	6.4	5.5
ถ่านกัมมันต์ชนิดผง	6.3	5.7	5.2	5.0
ยางบดละเอียด	5.9	5.5	5.2	4.6



ภาคผนวก ค

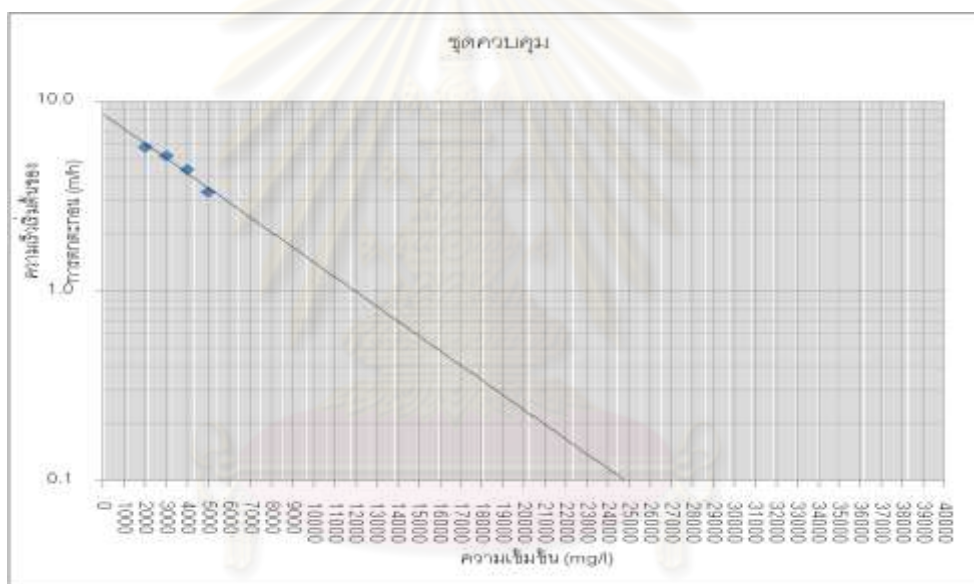
การเปรียบเทียบค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนกับความเข้มข้น
และโซลิดฟลักซ์ (Solid Flux) ของระบบต่างๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. การเปรียบเทียบค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่ความเข้มข้นต่างๆ และการคำนวณโซลิดฟลักซ์ (Solid Flux) ของระบบเอเอสที่ควบคุมอายุสลัดจ์ให้มีค่า 3 วัน

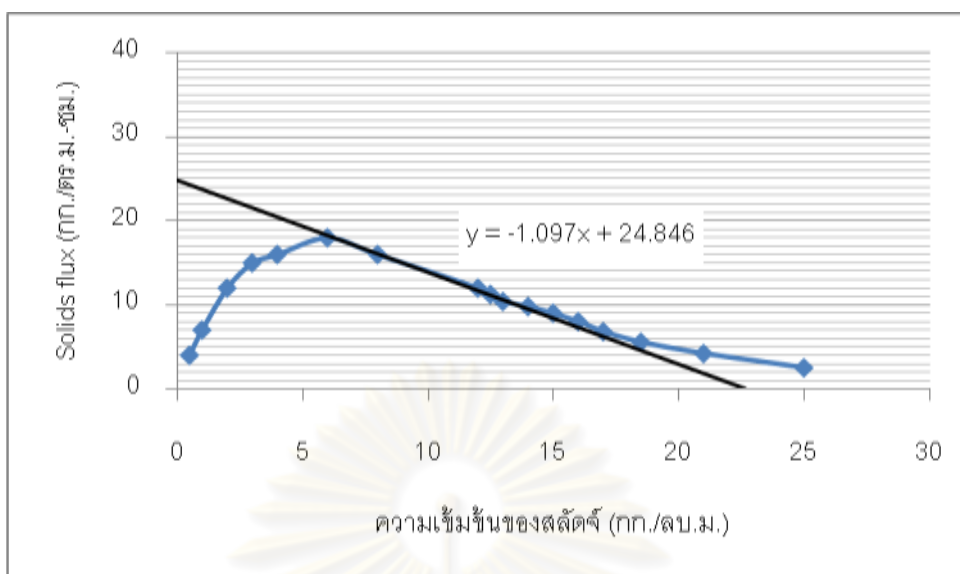
1.1 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนที่ความเข้มข้นต่างๆ และโซลิดฟลักซ์ของชุดควบคุม

จากการทดลองหาค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน (ISV) ดังแสดงในภาคผนวก ข เมื่อนำค่าที่ได้มาพล็อตกราฟระหว่างค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน กับ ความเข้มข้นสลัดจ์ ในกราฟ Semi-log ดังในรูปที่ ค.1



รูปที่ ค.1 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนที่ความเข้มข้นต่างๆ ในชุดควบคุมของระบบเอเอสที่มีค่าอายุสลัดจ์ 3 วัน

หาผลคูณระหว่างค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน กับ ความเข้มข้นที่จุดต่างๆ เพื่อหาค่า Settling Flux หรือ G_y จากนั้นทำการพล็อตค่า G_y ที่ความเข้มข้นต่างๆ จะได้กราฟดังรูปที่ ค.2



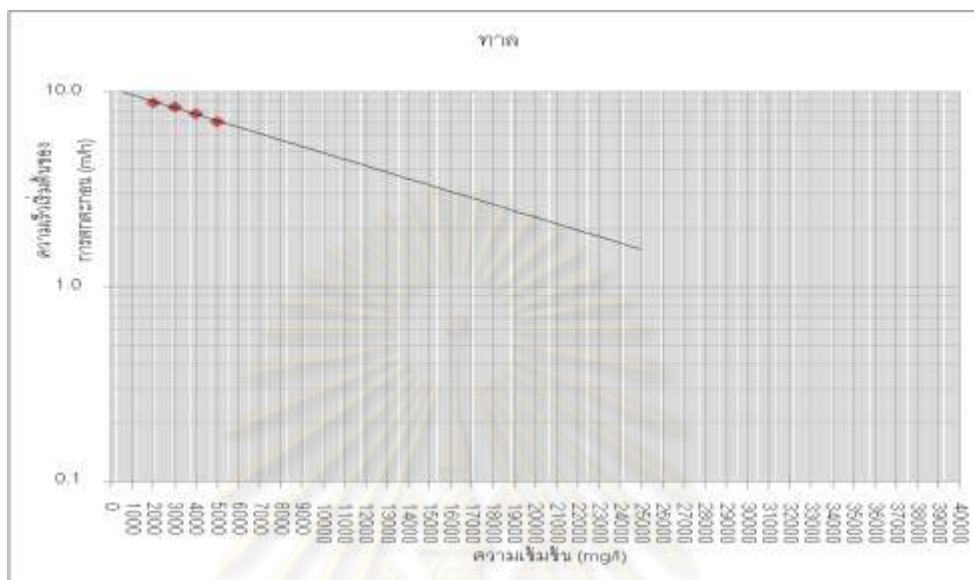
รูปที่ ค.2 โพลีดิพล็กซ์ของชุดควบคุมของระบบเอเอสที่มีค่าอายุสลัดจ์ 3 วัน

ลากเส้นตรงที่มีความชัน $-V_b$ ซึ่งในที่นี้มีค่า 1.097 สัมผัสกราฟ G_y จุดตัดบนแกน G จะเท่ากับ Limiting Flux (G_L) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 24.86 ส่วนจุดตัดบนแกน C จะเท่ากับ C_u ซึ่งเป็นความเข้มข้นของสลัดจ์ที่ระบายออกจากกันถึงตกตะกอนด้วยอัตราเร็ว V_b

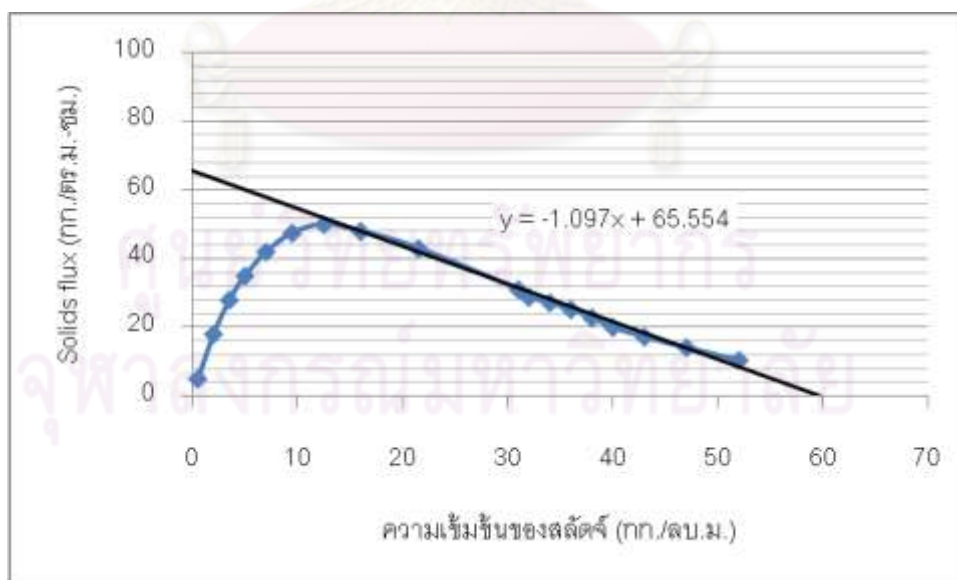
เมื่อทราบค่า G_L แล้วจึงสามารถนำไปคำนวณหาขนาดพื้นที่หน้าตัดของถังตกตะกอนได้ ดังอธิบายในหัวข้อที่ 4.6.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.2 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนที่ความเข้มข้นต่างๆ และโซลิดฟลักซ์ของระบบที่เติมทาลเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน

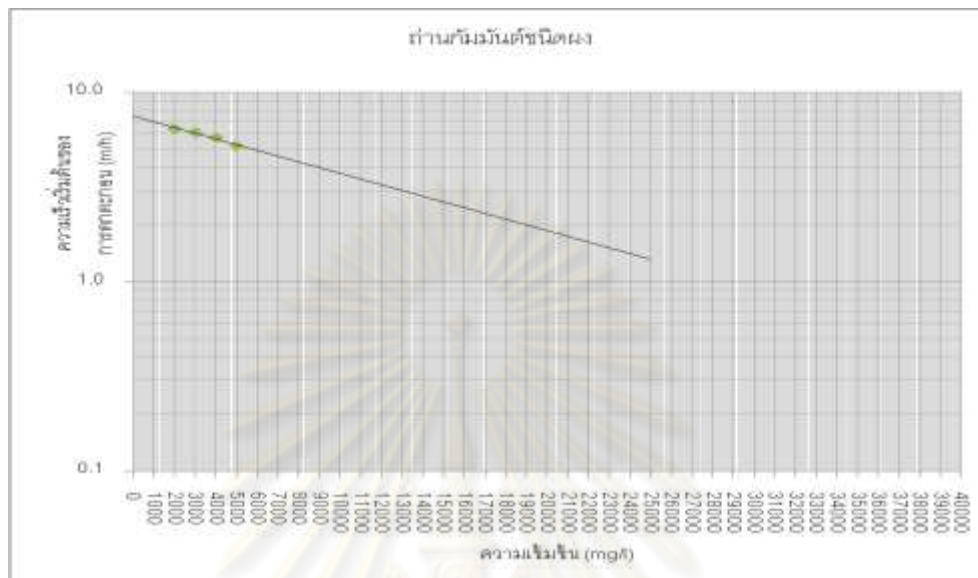


รูปที่ ค.3 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนที่ความเข้มข้นต่างๆ ของระบบเอเอสที่มีอายุสลัดจ์ 3 วัน และเติมทาลเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน

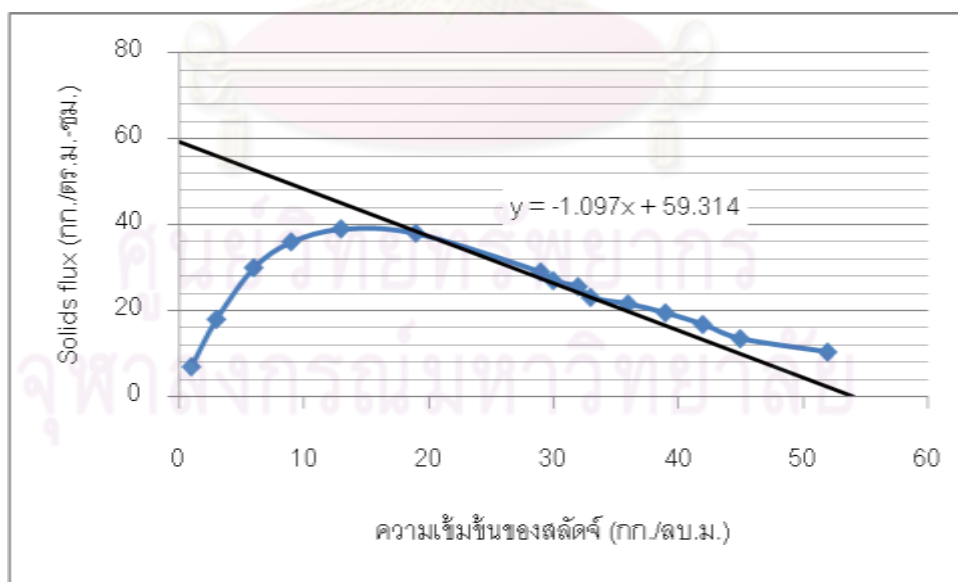


รูปที่ ค.4 โซลิดฟลักซ์ของระบบเอเอสที่มีอายุสลัดจ์ 3 วัน และเติมทาลเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน

1.3 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนที่ความเข้มข้นต่างๆ และโซลิดฟลักซ์ของระบบที่เติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน

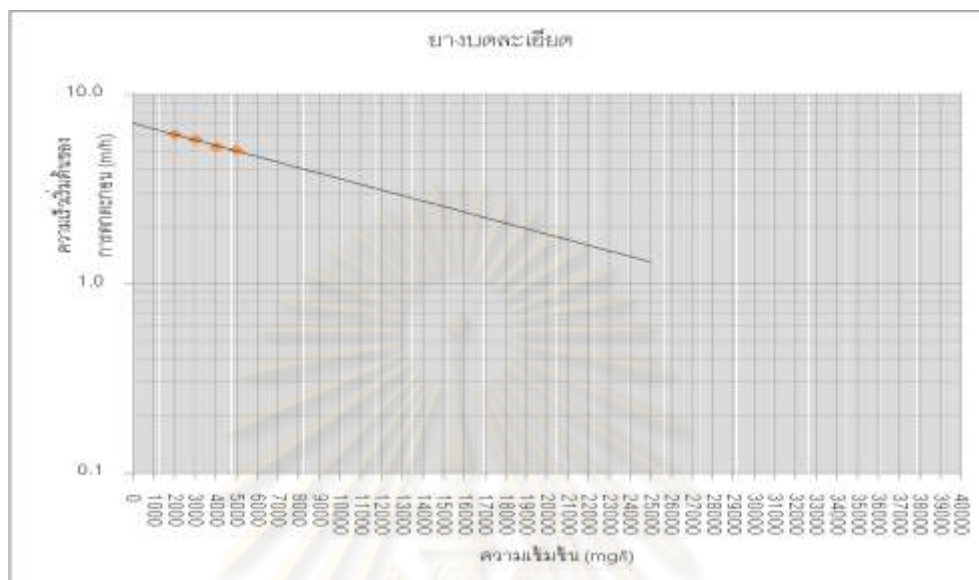


รูปที่ ค.5 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนที่ความเข้มข้นต่างๆ ของระบบเอเอสที่มีอายุสลัดจ์ 3 วัน และเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน

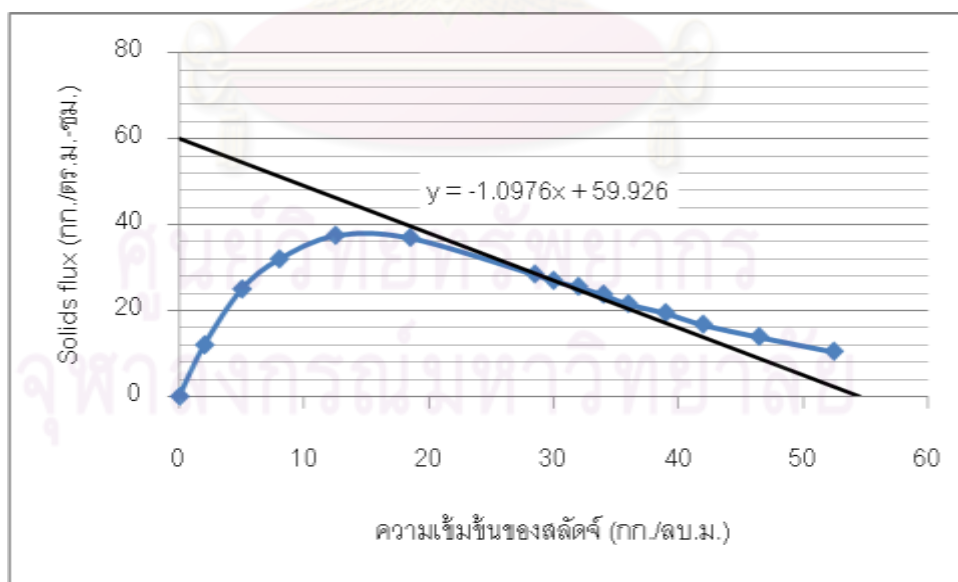


รูปที่ ค.6 โซลิดฟลักซ์ของระบบเอเอสที่มีอายุสลัดจ์ 3 วัน และเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน

1.4 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนที่ความเข้มข้นต่างๆ และโซลิดฟลักซ์ของระบบที่เติมยางบดละเอียดเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน



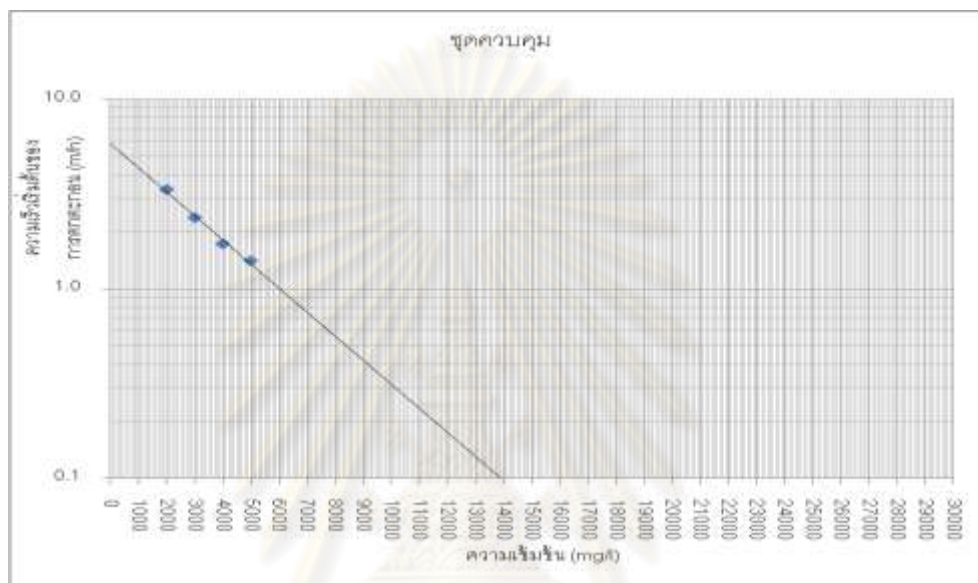
รูปที่ ค.7 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนที่ความเข้มข้นต่างๆ ของระบบเอเอสที่มีอายุสลัดจ์ 3 วัน และเติมยางบดละเอียดเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน



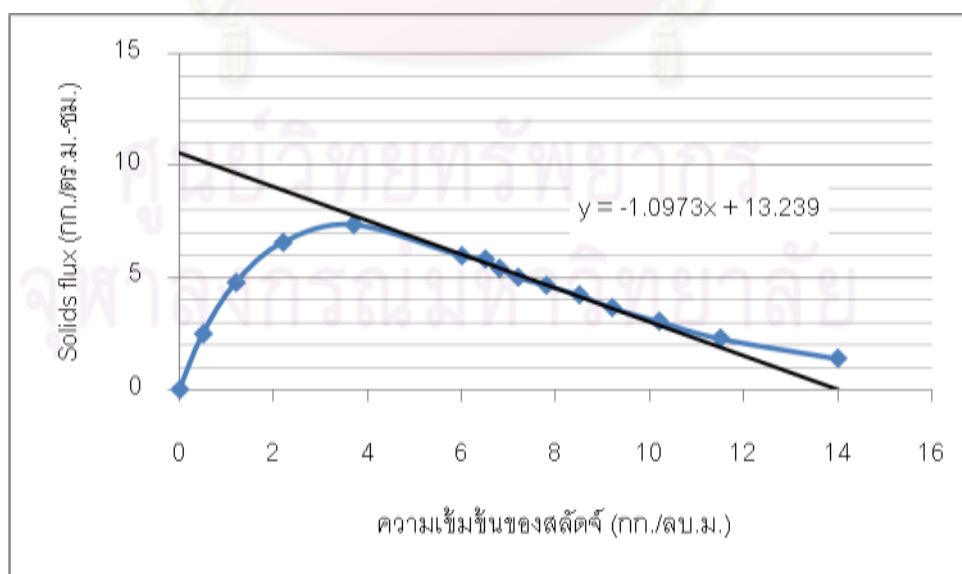
รูปที่ ค.8 โซลิดฟลักซ์ของระบบเอเอสที่มีอายุสลัดจ์ 3 วัน และเติมยางบดละเอียดเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน

2. การเปรียบเทียบค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่ความเข้มข้นต่างๆ และการคำนวณโซลิดฟลักซ์ (Solid Flux) ของระบบเอเอสที่ควบคุมอายุสลัดจ์ให้มีค่า 10 วัน

2.1 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนที่ความเข้มข้นต่างๆ และโซลิดฟลักซ์ของชุดควบคุม

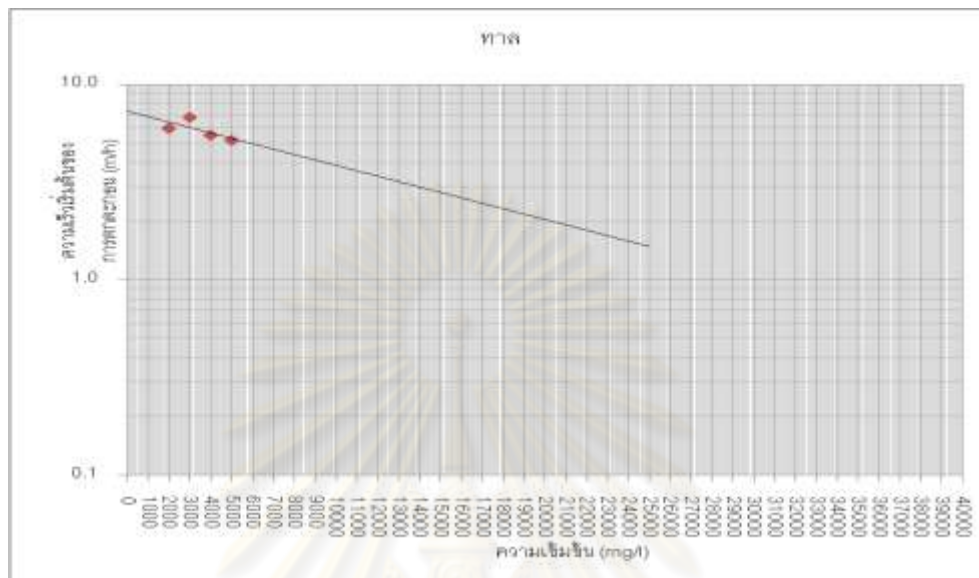


รูปที่ ค.9 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนที่ความเข้มข้นต่างๆ ในชุดควบคุมของระบบเอเอสที่มีค่าอายุสลัดจ์ 10 วัน

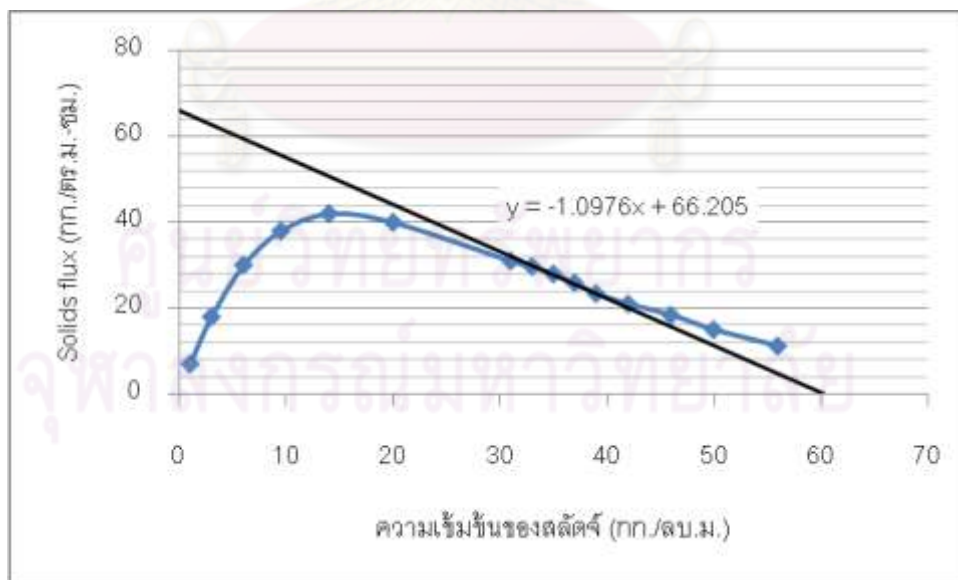


รูปที่ ค.10 โซลิดฟลักซ์ของชุดควบคุมของระบบเอเอสที่มีค่าอายุสลัดจ์ 10 วัน

2.2 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนที่ความเข้มข้นต่างๆ และโซลิดฟลักซ์ของระบบที่เติมทาลเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน

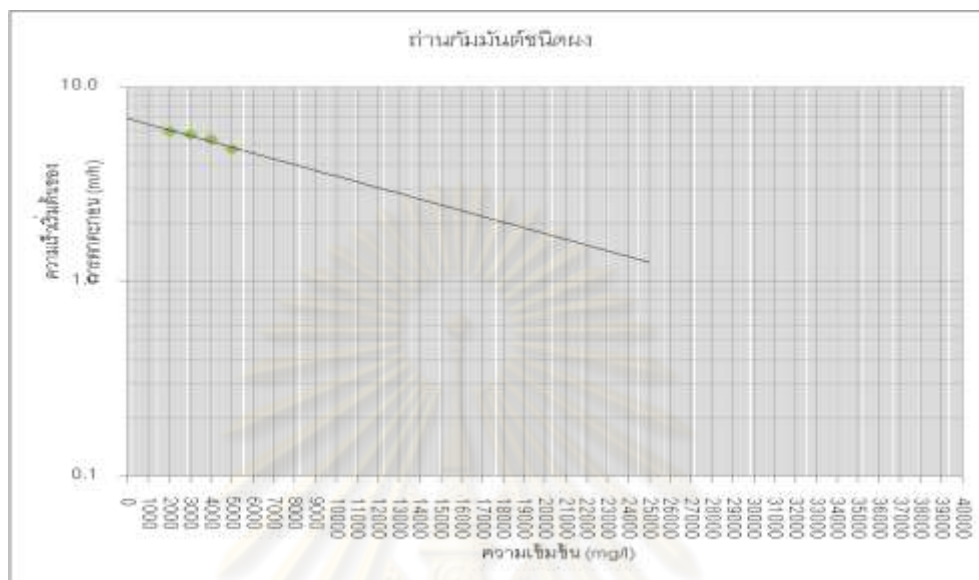


รูปที่ ค.11 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนที่ความเข้มข้นต่างๆ ของระบบเอเอสที่มีอายุสลัดจ์ 10 วัน และเติมทาลเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน

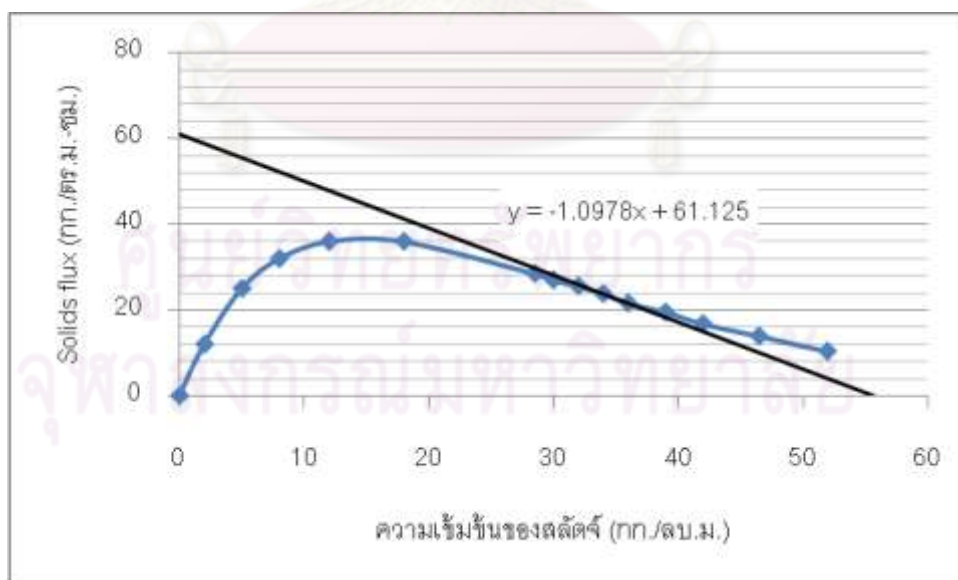


รูปที่ ค.12 โซลิดฟลักซ์ของระบบเอเอสที่มีอายุสลัดจ์ 10 วัน และเติมทาลเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน

2.3 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนที่ความเข้มข้นต่างๆ และโซลิดฟลักซ์ของระบบที่เติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน

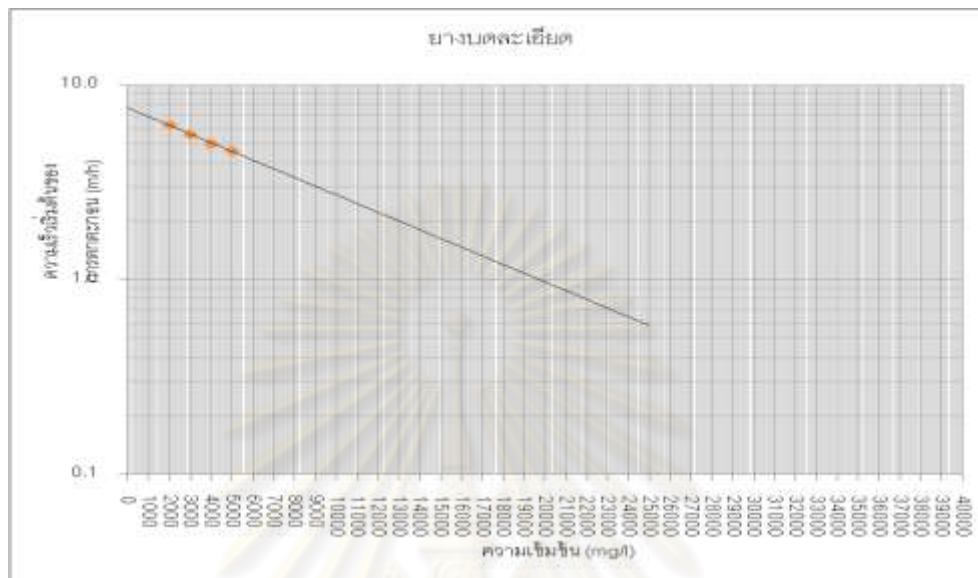


รูปที่ ค.13 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนที่ความเข้มข้นต่างๆ ของระบบเอเอสที่มีอายุสลัดจ์ 10 วัน และเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน

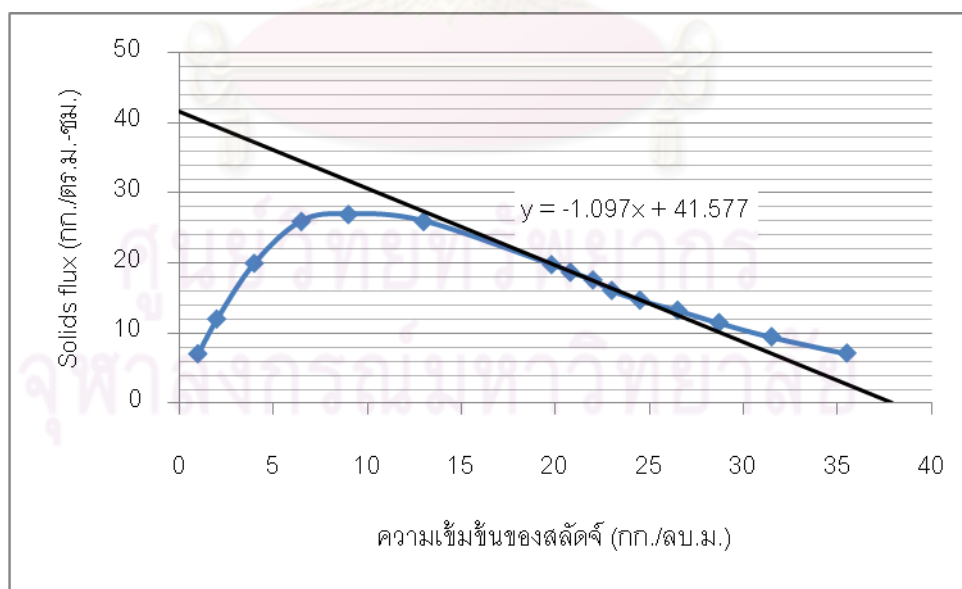


รูปที่ ค.14 โซลิดฟลักซ์ของระบบเอเอสที่มีอายุสลัดจ์ 10 วัน และเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน

2.4 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนที่ความเข้มข้นต่างๆ และโซลิดฟลักซ์ของระบบที่เติมยางบดละเอียดเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน



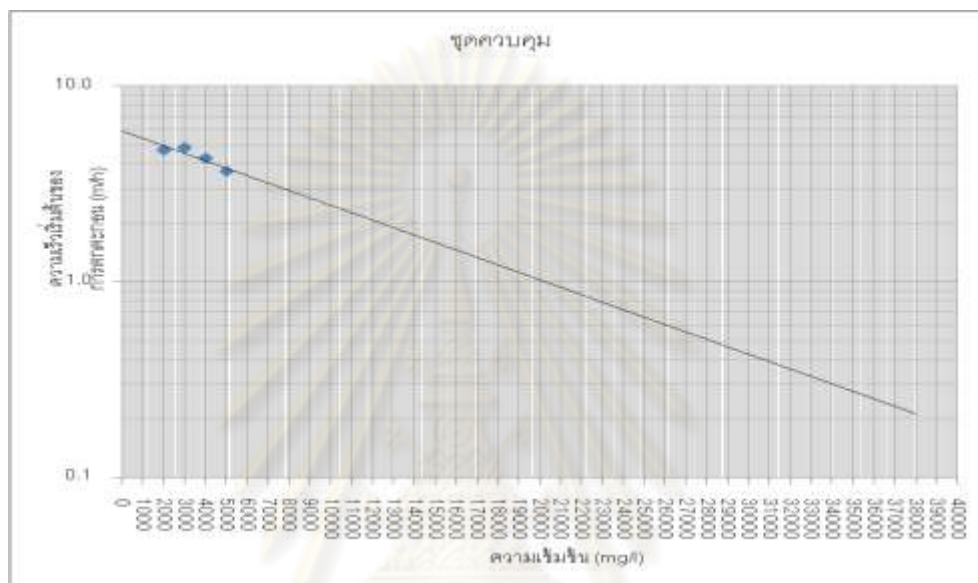
รูปที่ ค.15 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนที่ความเข้มข้นต่างๆ ของระบบเอเอสที่มีอายุสลัดจ์ 10 วัน และเติมยางบดละเอียดเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน



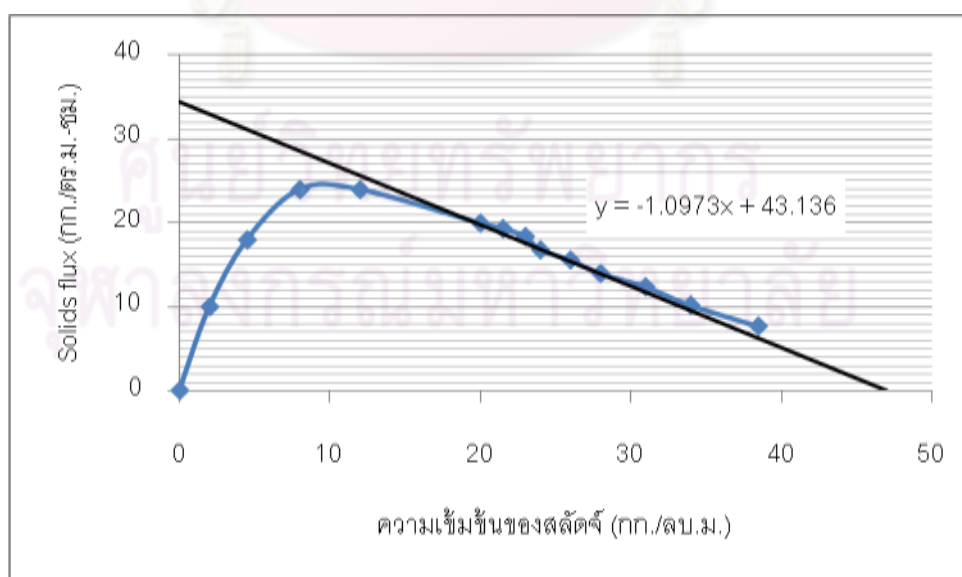
รูปที่ ค.16 โซลิดฟลักซ์ของระบบเอเอสที่มีอายุสลัดจ์ 10 วัน และเติมยางบดละเอียดเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน

3. การเปรียบเทียบค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่ความเข้มข้นต่างๆ และการคำนวณโซลิดฟลักซ์ (Solid Flux) ของระบบเอเอสที่มีความคุมอายุสลัดจ์ให้มีค่า 30 วัน

3.1 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนที่ความเข้มข้นต่างๆ และโซลิดฟลักซ์ของชุดควบคุม

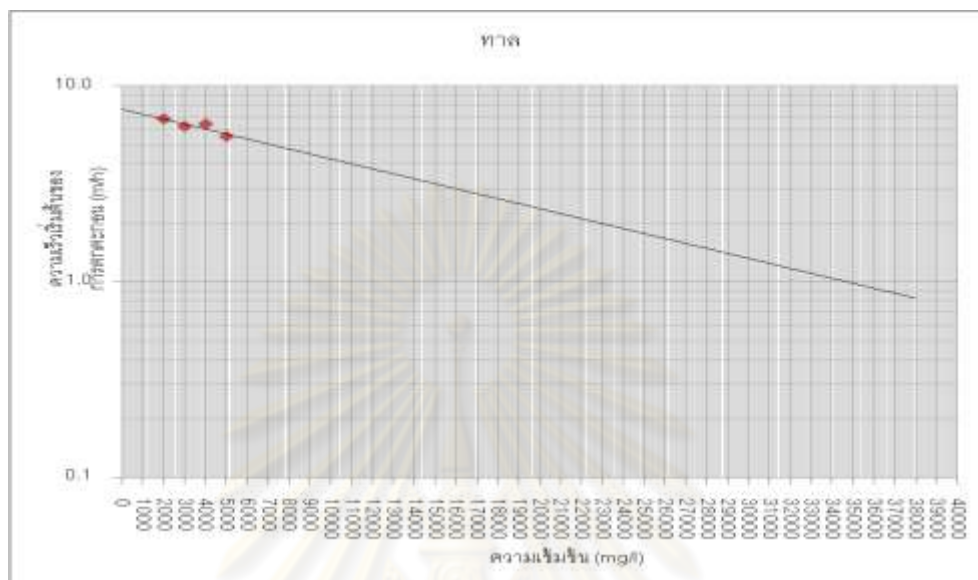


รูปที่ ค.17 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนที่ความเข้มข้นต่างๆ ในชุดควบคุมของระบบเอเอสที่มีค่าอายุสลัดจ์ 30 วัน

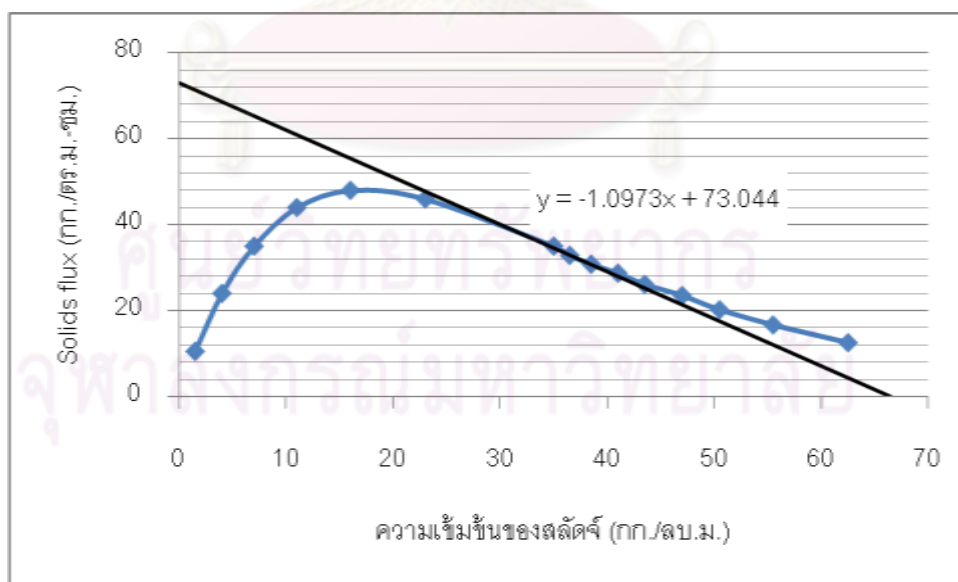


รูปที่ ค.18 โซลิดฟลักซ์ของชุดควบคุมของระบบเอเอสที่มีค่าอายุสลัดจ์ 30 วัน

3.2 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนที่ความเข้มข้นต่างๆ และโซลิตฟลักซ์ของระบบที่เติมทาลเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน

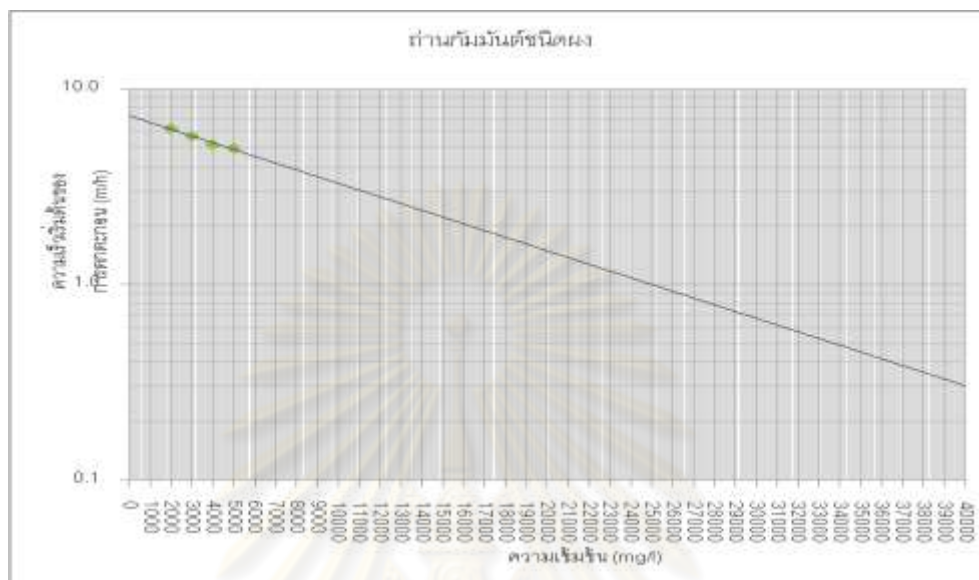


รูปที่ ค.19 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนที่ความเข้มข้นต่างๆ ของระบบเอเอสที่มีอายุสลัดจ์ 30 วัน และเติมทาลเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน

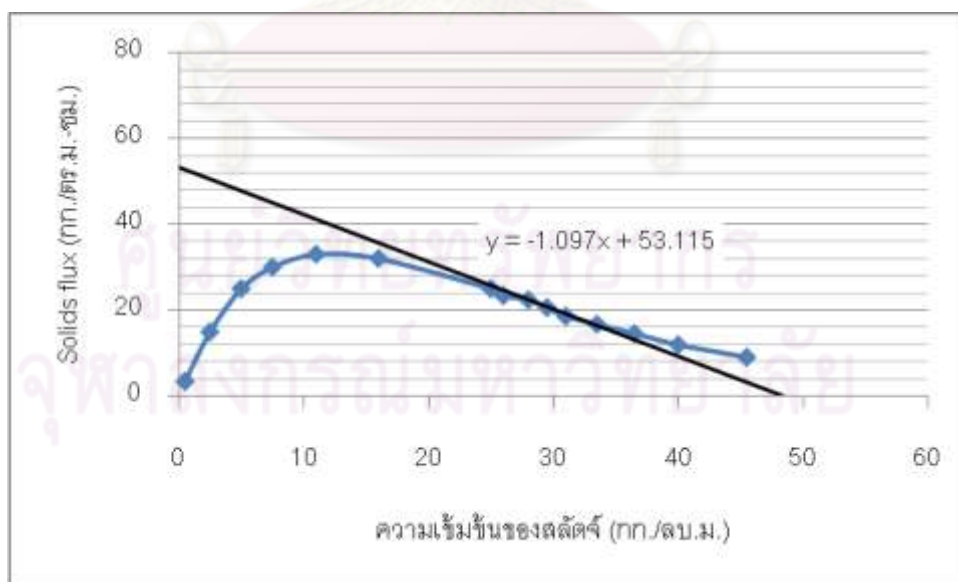


รูปที่ ค.20 โซลิตฟลักซ์ของระบบเอเอสที่มีอายุสลัดจ์ 30 วัน และเติมทาลเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน

3.3 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนที่ความเข้มข้นต่างๆ และโซลิดฟลักซ์ของระบบที่เติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน

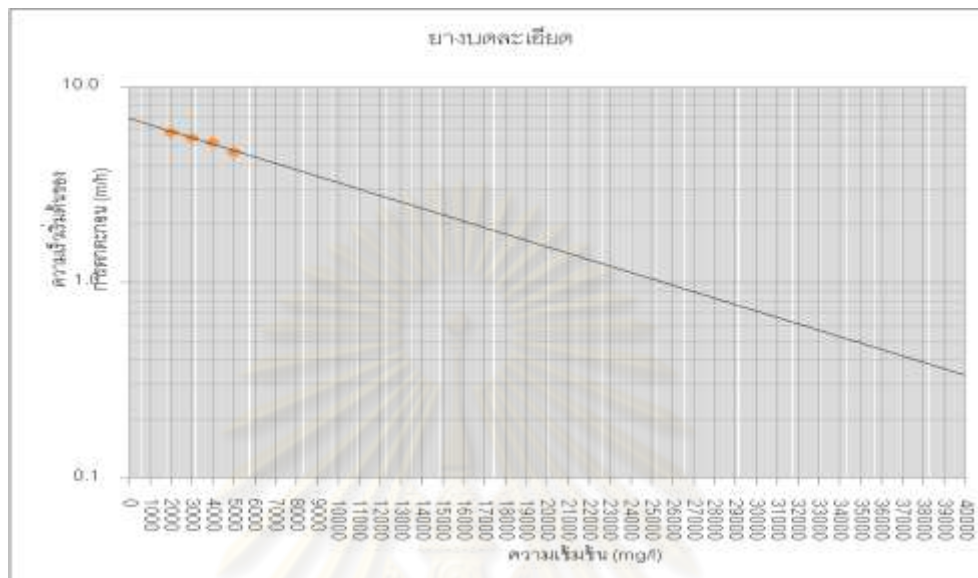


รูปที่ ค.21 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนที่ความเข้มข้นต่างๆ ของระบบเอเอสที่มีอายุสไลด์จ์ 30 วัน และเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน

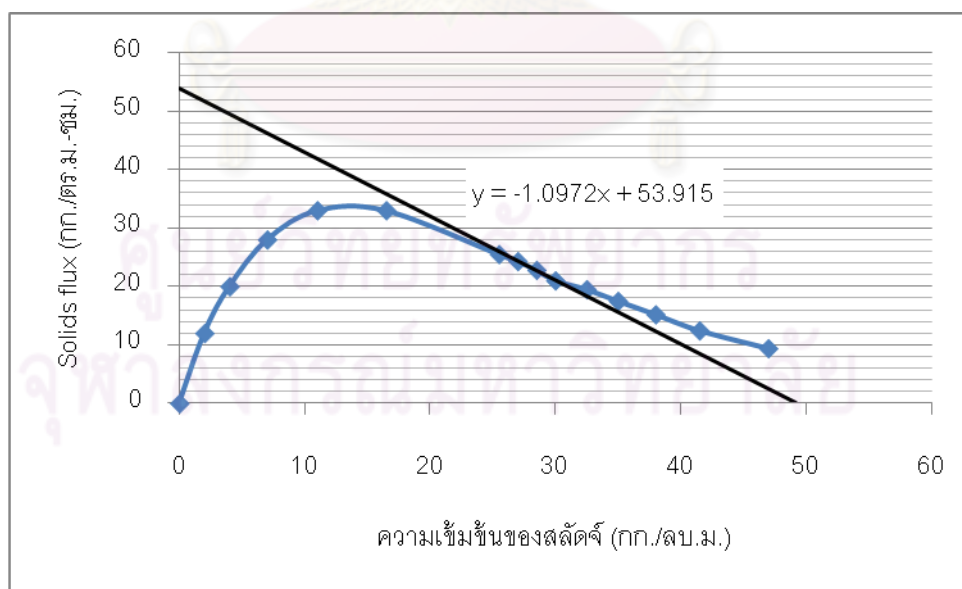


รูปที่ ค.22 โซลิดฟลักซ์ของระบบเอเอสที่มีอายุสไลด์จ์ 30 วัน และเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน

3.4 ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนที่ความเข้มข้นต่างๆ และโซลิตฟลักซ์ของระบบที่เติมยางบดละเอียดเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน



รูปที่ ค.23 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนที่ความเข้มข้นต่างๆ ของระบบเอเอสที่มีอายุสลัดจ์ 30 วัน และเติมยางบดละเอียดเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน



รูปที่ ค.24 โซลิตฟลักซ์ของระบบเอเอสที่มีอายุสลัดจ์ 30 วัน และเติมยางบดละเอียดเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน



ภาคผนวก ง

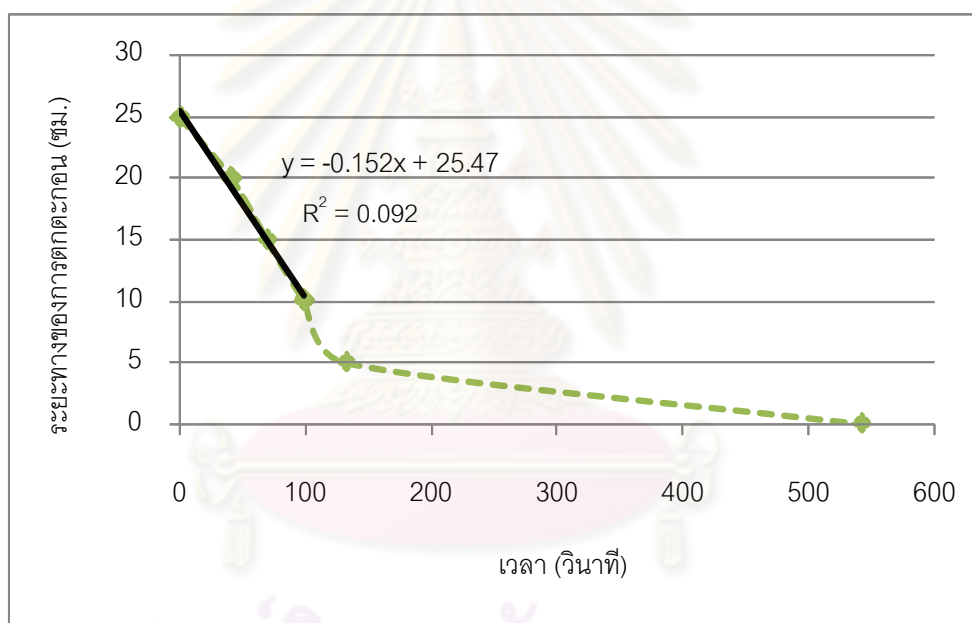
ตัวอย่างการหาค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน (ISV), โซลิตฟลักซ์
และการคำนวณออกแบบถังตกตะกอน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอย่างการหาค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน (ISV), โซลิดฟลักซ์ และการคำนวณ ออกแบบถังตกตะกอนของระบบเอเอสที่ควบคุมให้มีอายุสลัดจ์ 3 วัน และเติมทาลเป็นวัสดุช่วย ตกตะกอน

1. การหาค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน

จากการผลทดลองการตกตะกอนของสลัดจ์ในระบบเอเอสที่ความเข้มข้นของสลัดจ์ต่างๆ เมื่อนำผลการทดลองมาเขียนเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของชั้นสลัดจ์ (เซนติเมตร) เทียบกับ เวลา (วินาที) จะได้กราฟที่มีลักษณะดังรูปที่ ง.1 การตกตะกอนในช่วงแรกจะมีค่าคงที่ เรียกว่า ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน (Initial Settling Velocity, ISV) โดยที่ค่าความเร็ว เริ่มต้นของการตกตะกอน ก็คือ ค่าความชันของกราฟในช่วงแรกที่เป็นเส้นตรง



รูปที่ ง.1 กราฟค่าความเร็วของการตกตะกอนของสลัดจ์เข้มข้น 5000 มก./ล.

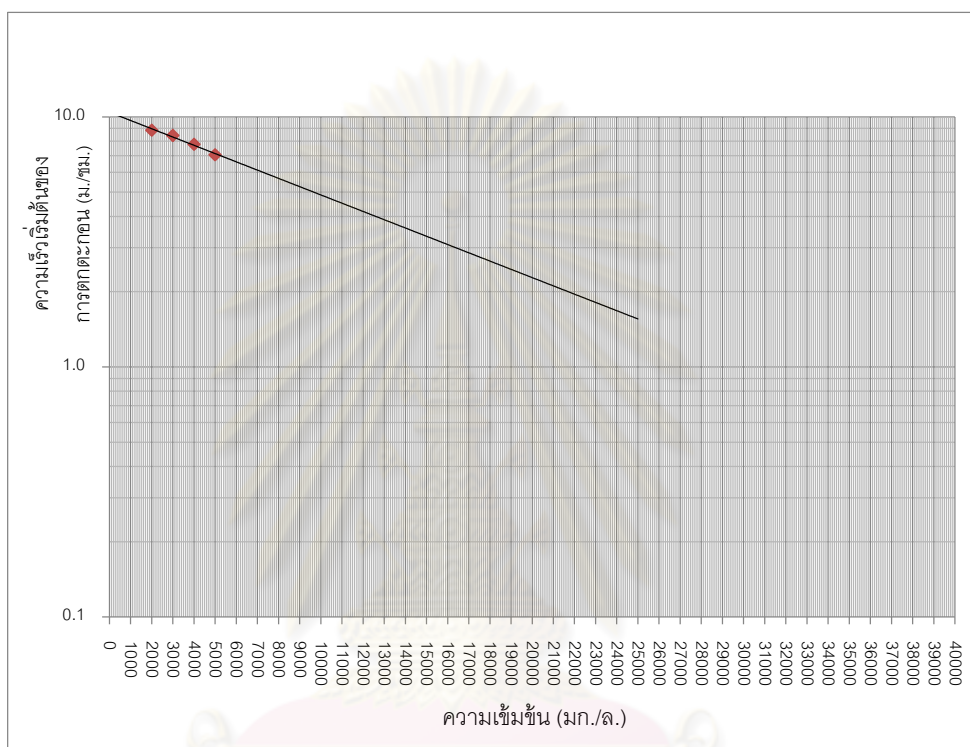
ในระบบเอเอสที่ควบคุมให้มีอายุสลัดจ์ 3 วัน และเติมทาลเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน

จากกราฟจะได้ค่าความชัน = ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน (ISV)
 = 0.152 เซนติเมตรต่อวินาที
 = 5.5 เมตรต่อชั่วโมง

ดังนั้นค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์มีค่าเท่ากับ 5.5 เมตรต่อชั่วโมง

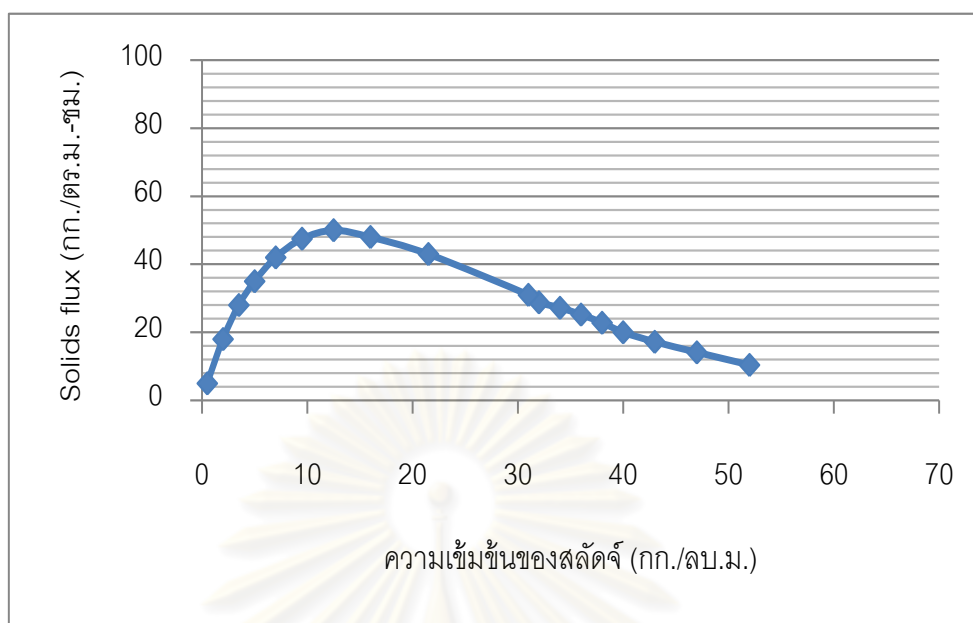
2. การเปรียบเทียบค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่ความเข้มข้นต่างๆ และการคำนวณโซลิดฟลักซ์ (Solid Flux)

จากการหาค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีความเข้มข้นต่างๆ นำค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนที่ได้มาพล็อตกราฟระหว่างค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน กับ ความเข้มข้นสลัดจ์ในกราฟ Semi-log ดังในรูปที่ ง.2



รูปที่ ง.2 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนที่ความเข้มข้นต่างๆ ในระบบเอเอสที่ควบคุมให้มีอายุสลัดจ์ 3 วัน และเติมทาลเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน

จากนั้น หาผลคูณระหว่างค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน กับ ความเข้มข้นที่จุดต่างๆ เพื่อหาค่า Settling Flux หรือ G_s จากนั้นทำการพล็อตค่า G_s ที่ความเข้มข้นต่างๆ จะได้กราฟดังรูปที่ ง.3



รูปที่ 3.3 กราฟ G_y ของระบบเอเอสที่มีอายุสลัดจ์ 3 วัน และเติมทาล เป็นวัสดุช่วยตกตะกอน

3. การออกแบบถังตกตะกอน

ข้อมูลจากการออกแบบของโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนดินแดง (Department of Drainage and Sewerage, 2007)

อัตราการไหล, Q	= 341,289	ลูกบาศก์เมตรต่อวัน
อัตราการสูบตะกอนหมุนเวียนจากถังตกตะกอน, Q_u	= 289,043	ลูกบาศก์เมตรต่อวัน
	= 12,418.5	ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง
ความเข้มข้นของสลัดจ์, C_0	= 2,750	กรัมต่อลูกบาศก์เมตร
	= 2.75	กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
ขนาดพื้นที่หน้าตัดของถังตกตะกอนรวม, A	= 11,322	ตารางเมตร

จากหัวข้อที่ 2.2.3 จะได้สมการคำนวณขนาดพื้นที่หน้าตัดของถังตกตะกอน ดังนี้

$$A = \frac{(Q + Q_u) \times C_0}{G_L \times 1000} \quad ; \text{ ตารางเมตร}$$

$$\text{ให้อัตราการหมุนเวียนสลัดจ์ } \frac{Q_u}{Q} = \alpha \quad \text{ดังนั้น}$$

พื้นที่หน้าตัดของถังตกตะกอน, $A = \frac{(1+\alpha)Q \times C_0}{G_L \times 1000}$; ตารางเมตร

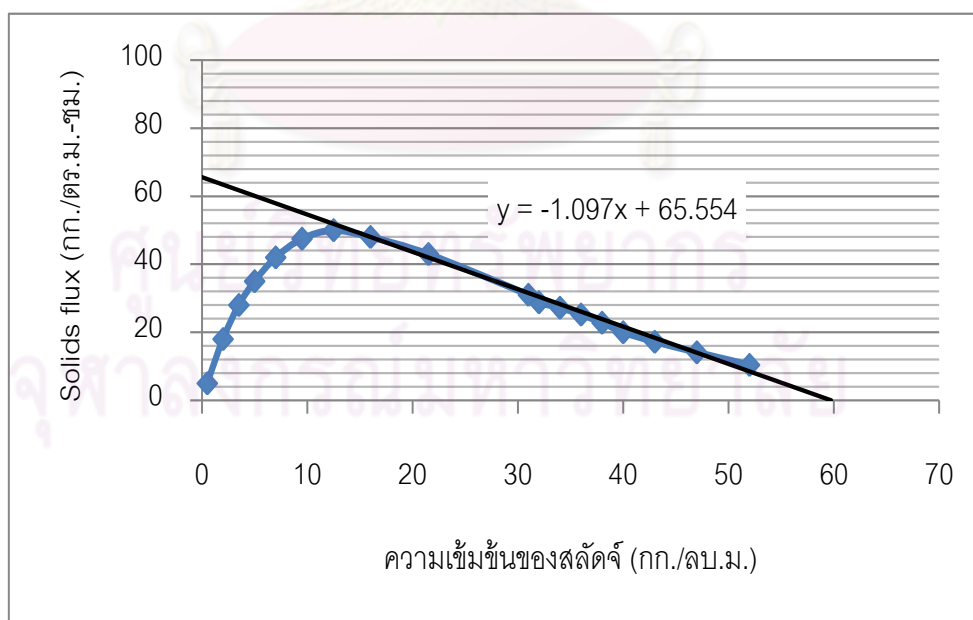
$$\text{โดยที่ } \alpha = \frac{Q_U}{Q} = \frac{298,043 \text{ ลูกบาศก์เมตรต่อวัน}}{341,289 \text{ ลูกบาศก์เมตรต่อวัน}} \cong 0.85$$

เมื่อคำนวณและสร้างกราฟ G_U ได้แล้ว จะลากเส้นตรงที่มีความชันเท่ากับ $-V_b$ สัมผัสกับกราฟ G_U ซึ่งจุดตัดของเส้นตรงบนแกน G จะเท่ากับ G_L ค่า G_L หรือ Limiting Flux นั้น คำนวณจากกราฟโซลิดฟลักซ์ ออกแบบด้วยวิธีโซลิดฟลักซ์ประยุกต์ใช้ร่วมกับวิธีของโยชิโอกา (Yoshioka) ซึ่งได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 2.2.3.2

โดยที่ V_b เป็นอัตราเร็วของสลัดจ์ที่ระบายออกจากถังตกตะกอน คำนวณได้จาก

$$V_b = \frac{Q_U}{Q} = \frac{12,418.5 \text{ ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง}}{11,322 \text{ ตารางเมตร}} = 1.097 \text{ เมตรต่อชั่วโมง}$$

ลากเส้นตรงที่มีความชัน $-V_b$ ซึ่งในที่นี้มีค่า 1.097 สัมผัสกราฟ G_U ดังรูปที่ ง.4 จุดตัดบนแกน G จะเท่ากับ Limiting Flux (G_L) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 65.55 กก./ตร.ม.-ชม. หรือเท่ากับ 1,573.2 กก./ตร.ม.-วัน



รูปที่ ง.4 โซลิดฟลักซ์ของระบบเอเอสที่มีอายุสลัดจ์ 3 วัน และเติมทาลเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน

เมื่อนำค่าต่างๆ มาคำนวณหาขนาดพื้นที่หน้าตัดของถังตกตะกอนตามสมการ จะได้

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{(1 + \alpha)Q \times C_0}{GL \times 1000} \\
 &= \frac{(1 + 0.85) \times 341289 \times 2750}{1573.2 \times 1000} \\
 A &= 1,104 \text{ ตารางเมตร}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น จะได้ขนาดพื้นที่หน้าตัดของถังตกตะกอนของระบบเอเอสที่คูมาฮุสส์ลัดจ์ 3 วันและ
เติมทาลเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน เท่ากับ 1,104 ตารางเมตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวธัญรัตน์ แสงสุวรรณ เกิดเมื่อวันที่ 22 ธันวาคม พ.ศ. 2525 ที่จังหวัดนนทบุรี สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต จากภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตร ไรศาสตร์ เมื่อปี พ.ศ. 2548 และเข้าศึกษาศึกษาปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2548



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย