

ผลของชนิดและขนาดวัสดุช่วยตกตะกอนที่มีต่อประสิทธิภาพการตกตะกอนในระบบเอเอส



นายสถิตรัตน์ รอดอารี

ศูนย์วิทยทรัพยากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

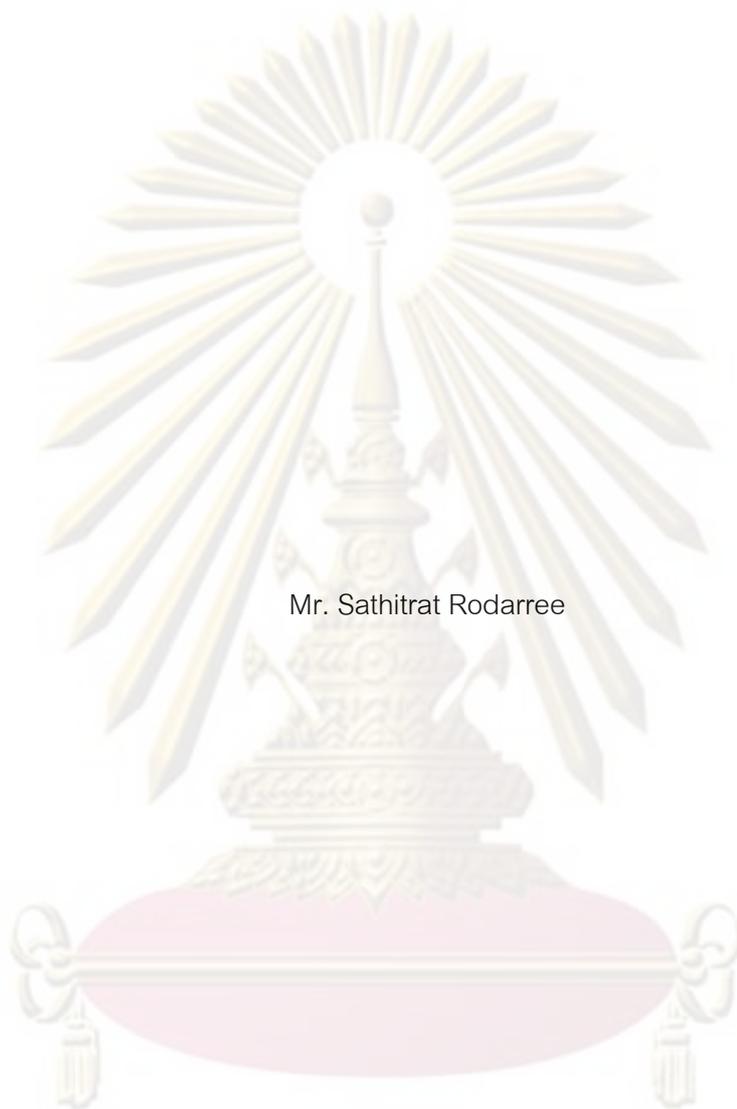
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF BALLASTING AGENT TYPES AND SIZES ON SETTLING EFFICIENCY  
IN ACTIVATED SLUDGE PROCESS



Mr. Sathitrat Rodarree

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

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลของชนิดและขนาดวัสดุช่วยตกตะกอนที่มีต่อ

ประสิทธิภาพการตกตะกอนในระบบเอเอส

โดย

นายสถิตรัตน์ รอดอารี

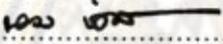
สาขาวิชา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

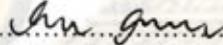
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

อาจารย์ ดร.ชัยพร ภูประเสริฐ

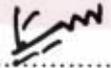
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นักศึกษานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

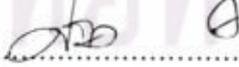
  
..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศนिरองศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์)

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

  
..... กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริมา ปัญญาเมธิกุล)

  
..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ดร. ศรายุทธ ราชู)

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถิตวัฒน์ รอดอารี : ผลของชนิดและขนาดวัสดุช่วยตกตะกอนที่มีต่อประสิทธิภาพการตกตะกอนในระบบเอเอส. (EFFECTS OF BALLASTING AGENT TYPES AND SIZES ON SETTLING EFFICIENCY IN ACTIVATED SLUDGE PROCESS)

อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : อ.ดร.ชัยพร ภูประเสริฐ, 195 หน้า.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอนของระบบเอเอส โดยใช้วัสดุช่วยตกตะกอน 3 ชนิด คือ ทาล ถ่านกัมมันต์ชนิดผงและยางบดละเอียด โดยเปรียบเทียบวัสดุช่วยตกตะกอนทั้ง 3 ชนิดมีขนาดต่างกัน คือ ทาลขนาด 2, 5, 10, 18 ไมโครเมตร ถ่านกัมมันต์ชนิดผงขนาด 5, 10, 24, 99 ไมโครเมตรและยางบดละเอียดที่มีขนาด 110, 242, 618, 848 ไมโครเมตร เพื่อศึกษาผลของขนาดของวัสดุช่วยตกตะกอนที่มีต่อประสิทธิภาพในการตกตะกอน ทั้งนี้ การประเมินประสิทธิภาพของการตกตะกอนใช้ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน (Initial settling velocity, ISV) ส่วนประสิทธิภาพในการบำบัดและลักษณะการจับตัวระหว่างฟล็อกชีวภาพกับวัสดุช่วยตกตะกอนพิจารณาจากการลดลงของค่าซีไอดี ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนตามลำดับ

ผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีของระบบเอเอสที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนทั้ง 3 ชนิดมีค่าใกล้เคียงกับชุดควบคุม การเติมวัสดุช่วยตกตะกอนทั้ง 3 ชนิดและทุกขนาด สามารถช่วยเพิ่มความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนให้สูงขึ้นได้ โดยทาลมีค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนมีค่าสูงที่สุดคือ 17.64 ม./ชม. ถ่านกัมมันต์ชนิดผงมีค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน 13.91 ม./ชม. และยางบดละเอียดมีค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน 13.74 ม./ชม. เมื่อพิจารณาค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่ไม่เติมวัสดุช่วยตกตะกอนมีค่าเพียง 2.81 ม./ชม. จากการศึกษาโดยกล้องจุลทรรศน์และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนพบว่าวัสดุช่วยตกตะกอนทั้ง 3 ชนิดยังสามารถเข้ากันได้กับจุลชีพในระบบและพบการจับตัวของสลัดจ์กับวัสดุช่วยตกตะกอนใน 3 ลักษณะคือ (1) สลัดจ์ห่อหุ้มวัสดุช่วยตกตะกอน (2) สลัดจ์เคลือบผิววัสดุช่วยตกตะกอน (3) สลัดจ์เกาะติดผิววัสดุช่วยตกตะกอน นอกจากนี้ในกรณีของการใช้ยางบดละเอียดยังเป็นแนวทางใหม่ในการนำเอาวัสดุเหลือใช้น่ากลับมาใช้ใหม่ได้อีกด้วย

ภาควิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....ลายมือชื่อนิสิต.....สถิตวัฒน์ รอดอารี.....  
สาขาวิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....  
ปีการศึกษา...2552

## 4970615421 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS : ACTIVATED SLUDGE PROCESS / SEDIMENTATION / BALLASTING  
AGENT / BALLASTING AGENT SIZE

SATHITRAT RODARREE : EFFECTS OF BALLASING AGENT TYPES AND  
SIZES ON SETTLING EFFICIENCY IN ACTIVATED SLUDGE PROCESS.

THESIS ADVISOR : CHAIYAPORN PUPRASERT, Ph.D., 195 pp.

This research studied the effects of ballasting agent types and sizes on settling velocity in activated sludge process. Three types of ballasting agent with 4 average sizes, talc (2, 5, 10, 18  $\mu\text{m}$ ) powder activated carbon (PAC) (5, 10, 24, 99  $\mu\text{m}$ ) and crumb rubber (110, 242, 656, 848  $\mu\text{m}$ ) were tested in lab scale activated process. The initial settling velocity (ISV) was used to demonstrate the sludge settling efficiency. While COD removal used to demonstrate the treatment efficiency and floc formation between sludge and the ballasting agents observe by microscope and electron microscope.

The results showed that, in term of COD removal, three agents could effectively removal of COD close to blank controller set. Moreover, three types and sizes could increase an initial settling velocity efficiency, 17.64, 13.91, 13.74 m/h for talc, PAC, crumb rubber respectively and the ISV of three agents were better than blank controller have the ISV is 2.81 m/h. From the study with microscope and electron microscope, illustrated the floc formation between sludge and the ballasting agents from electron microscope Talc, PAC and Crumb rubber were compatible with bacteria. Moreover, the ballasting agent can touch sludge in 3 types, were covered, enameled and adhered. So, these three agents were considered as a proper ballasting agent to improve the AS process in term of sludge settling and COD removal. Furthermore, in the case of using crumb rubber in AS process is alternative choice to reuse material.

Department : Environmental Engineering

Student's Signature

Field of Study : Environmental Engineering

Advisor's Signature

Academic Year : 2009

## กิตติกรรมประกาศ

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

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริมา ปัญญาเมธิกุล และ ดร.ศรายุทธ ราชู ที่เสียสละเวลาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และให้คำแนะนำที่มีประโยชน์ ทั้งให้ความช่วยเหลือตลอดระยะเวลาที่ทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ สำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร และ บริษัท โกลบอล ยูทิลิตี้ เซอร์วิส จำกัด ที่เอื้อเฟื้อหัวเชื้อสไลด์ จนกระทั่งงานวิจัยเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ บุคลากรทุกท่านและครูปฏิบัติการณ์ในภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยครั้งนี้ที่ได้ให้ความช่วยเหลือแนะนำในเรื่องต่างๆ รวมทั้งอนุเคราะห์อุปกรณ์และเครื่องมือในการทำวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี และบัณฑิตวิทยาลัยที่สนับสนุนด้านเงินทุนในการทำวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบคุณเพื่อน พี่ น้อง นิสิตปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ แนะนำและให้ความรู้ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ด้วยดีตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และทุกคนในครอบครัวที่ช่วยส่งเสริมสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้กับผู้วิจัยตลอดมา จนทำให้การศึกษาครั้งนี้ประสบผลสำเร็จได้ตามที่ตั้งใจ

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฐ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฒ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 บทนำ.....	1
1.2.วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส.....	4
2.1.1 บทนำ.....	4
2.1.2 กลไกในการทำงาน.....	4
2.1.3 การเกิดแอ็คติเวตเต็ดจ์สลัดจ์.....	5
2.1.4 การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์.....	6
2.1.5 การแบ่งประเภทของจุลินทรีย์.....	6
2.1.6 ส่วนประกอบและการทำงานของระบบ.....	9
2.1.7 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบ.....	10
2.1.7.1 ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย.....	10
2.1.7.2 ธาตุอาหาร.....	10
2.1.7.3 ออกซิเจนละลาย.....	10
2.1.7.4 ระยะเวลาในการบำบัด.....	11

2.1.7.5	ค่าพีไอเซช.....	11
2.1.7.6	สารพิษ.....	11
2.1.7.7	อุณหภูมิ.....	11
2.1.7.8	การกวน.....	12
2.1.7.9	อัตราการไหลของน้ำเสีย.....	12
2.1.8	หลักการออกแบบระบบเอเอส.....	12
2.1.9	การแบ่งประเภทของกระบวนการเอเอส.....	14
2.1.9.1	แบ่งตามลักษณะการบรรทุกสารอินทรีย์ของ กระบวนการ.....	14
2.1.9.2	แบ่งตามลักษณะทางกายภาพของการจัดรูป ถังเติมอากาศ.....	16
2.1.10	การควบคุมการทำงานระบบบำบัดแบบเอเอส.....	21
2.1.10.1	การควบคุมค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลชีพ (F/M).....	21
2.1.10.2	การควบคุมอายุสลัดจ์.....	22
2.1.10.3	การควบคุมการทิ้งสลัดจ์ส่วนเกิน.....	24
2.1.10.4	การควบคุมการสูบสลัดจ์กลับ.....	24
2.2	กระบวนการตกตะกอน.....	24
2.2.1	ทฤษฎีในการตกตะกอน.....	25
2.2.2	การหาอัตราเร็วของการตกตะกอนในระบบเอเอส.....	29
2.2.2.1	ทฤษฎีโซลิดฟลักซ์ (Solids Flux Theory).....	29
2.2.3	ทฤษฎีเกี่ยวกับขนาดในการตกตะกอน.....	32
2.2.4	ประสิทธิภาพของการตกตะกอนในระบบเอเอส.....	34
2.2.5	หลักการออกแบบถังตกตะกอนในระบบเอเอส.....	35
2.2.5.1	การออกแบบถังตกตะกอนชั้นที่สองด้วยวิธี ฟลักซ์ของแข็ง (Solid Flux).....	35
2.2.5.2	การออกแบบด้วยวิธีฟลักซ์ของแข็งประยุกต์ ใช้ร่วมกับวิธีของโยซิโอะกะ.....	38



2.2.6	หน้าที่ของถังตกตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส.....	39
2.2.6.1	การลอยตัวของสลัดจ์ในถังตกตะกอน.....	39
2.2.6.2	สลัดจ์ไม่จมตัว (Bulking Sludge).....	39
2.2.6.3	น้ำขุ่นในถังตกตะกอน.....	40
2.2.7	การใช้วัสดุช่วยตกตะกอนในระบบเอเอส.....	40
2.3	งานวิจัยที่ผ่านมา.....	40
2.3.1	ทาล.....	41
2.3.2	ถ่านกัมมันต์ชนิดผง.....	42
2.3.3	ยางรถยนต์บดละเอียด.....	43
บทที่ 3 แผนการทดลองและการดำเนินการวิจัย.....		45
3.1	วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี .....	45
3.1.1	อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับการเลี้ยงตะกอนจุลินทรีย์.....	45
3.1.2	อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับการวิเคราะห์ลักษณะของน้ำเสีย.....	46
3.1.3	วัสดุช่วยตกตะกอนที่ใช้ในงานวิจัย.....	47
3.1.4	อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์ขนาดวัสดุช่วยตกตะกอน.....	49
3.2	ระบบที่ใช้ในการทดลองและการติดตั้งถึงปฏิบัติการ.....	50
3.3	แผนการทดลอง.....	52
3.3.1	ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง.....	52
3.3.2	การวิเคราะห์การทดลองและวิธีการทดลอง.....	54
3.3.3	การดำเนินการทดลอง.....	55
3.3.4	วิธีการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์.....	56
3.3.5	การเดินระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอสที่ใช้ในการทดลอง.....	58
3.3.5.1	การเริ่มเดินระบบ (Start up).....	58
3.3.5.2	การดูแลรักษาและควบคุมระบบ.....	59
3.3.5.3	การควบคุมระบบโดยการควบคุมอายุสลัดจ์.....	59
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....		61
4.1	ผลการศึกษาเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของระบบ.....	62
4.2	ผลการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีของระบบ.....	65

4.2.1	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบ ที่มีการเติมทาล.....	66
4.2.2	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบ ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง.....	67
4.2.3	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบ ที่มีการเติมยางรถยนต์บดละเอียด.....	68
4.2.4	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของ วัสดุช่วยตกตะกอนทั้ง 3 ชนิดที่ขนาดแตกต่างกัน.....	69
4.3	ผลของขนาดวัสดุช่วยตกตะกอนขนาดต่างๆ ที่มีต่อ ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน (Initial Settling Velocity).....	70
4.3.1	การเปรียบเทียบความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ ในระบบที่มีการเติมทาล.....	71
4.3.2	การเปรียบเทียบความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ ในระบบที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง.....	74
4.3.3	การเปรียบเทียบความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ ในระบบที่มีการเติมยางรถยนต์บดละเอียด.....	77
4.4	ผลของชนิดวัสดุช่วยตกตะกอนที่มีผลต่อ ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน (Initial Settling Velocity).....	80
4.5	ลักษณะการจับตัวระหว่างฟล็อกชีวภาพกับวัสดุช่วยตกตะกอน.....	83
4.5.1	ลักษณะของการจับตัวระหว่างทาลกับฟล็อกของจุลชีพ.....	83
4.5.1.1	ลักษณะของการจับตัวระหว่างทาล กับฟล็อกของจุลชีพด้วยกล้องจุลทรรศน์.....	83
4.5.1.2	ลักษณะของการจับตัวระหว่างทาล..... กับฟล็อกของจุลชีพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน...	86
4.5.2	ลักษณะของการจับตัวระหว่างถ่านกัมมันต์ ชนิดผงกับฟล็อกของจุลชีพ.....	89
4.5.2.1	ลักษณะของการจับตัวระหว่างถ่านกัมมันต์ชนิดผง กับฟล็อกของจุลชีพด้วยกล้องจุลทรรศน์.....	89

4.5.2.2	ลักษณะของการจับตัวระหว่างถ่านกัมมันต์ชนิดผง กับฟล็อกของจุลชีพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน...	92
4.5.3	ลักษณะของการจับตัวระหว่างยางรถยนต์บดละเอียด กับฟล็อกของจุลชีพ.....	95
4.5.3.1	ลักษณะของการจับตัวระหว่างยางรถยนต์บดละเอียด กับฟล็อกของจุลชีพด้วยกล้องจุลทรรศน์.....	95
4.5.3.2	ลักษณะของการจับตัวระหว่างยางรถยนต์บดละเอียด กับฟล็อกของจุลชีพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน.....	98
4.6	ผลการศึกษาเปรียบเทียบการคำนวณออกแบบถังตกตะกอน ในระบบเอเอสด้วยสไลด์จ์ที่เติมวัสดุช่วยตกตะกอนทั้ง 3 ชนิด.....	101
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัย.....	113
5.1	สรุปผลการวิจัย.....	113
5.1.1	ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี.....	113
5.1.2	ความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอน (Initial Settling Velocity).....	113
5.1.3	ลักษณะการจับตัวของฟล็อกจุลชีพกับวัสดุช่วยตกตะกอน.....	113
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	114
	รายการอ้างอิง.....	115
	ภาคผนวก.....	117
ภาคผนวก ก.	การคำนวณค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน จากการทดลอง.....	118
ภาคผนวก ข.	ตารางบันทึกผลการเลี้ยงตะกอนจุลชีพในงานวิจัย.....	146
ภาคผนวก ค.	การหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการตกตะกอน กับความเข้มข้นและการคำนวณโซลิดฟลักซ์ (Solid Flux) ในการออกแบบถังตกตะกอนสำหรับงานวิจัยนี้.....	177
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	195

## สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1	ส่วนประกอบของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้.....	45
ตารางที่ 3.2	คุณสมบัติทางกายภาพต่างๆของวัสดุช่วยตกตะกอนทั้ง 3 ชนิด.....	49
ตารางที่ 3.3	ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง.....	53
ตารางที่ 3.4	ค่าพารามิเตอร์วิธีการวิเคราะห์และค่าในการวิเคราะห์.....	57
ตารางที่ 4.1	การเปรียบเทียบความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ในระบบที่มีการเติมทาล.....	72
ตารางที่ 4.2	การเปรียบเทียบความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ในระบบที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง.....	75
ตารางที่ 4.3	การเปรียบเทียบความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ในระบบที่มีการเติมยางรถยนต์บดละเอียด.....	78
ตารางที่ 4.4	ค่าเฉลี่ยความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอนของขนาดวัสดุช่วยตกตะกอนทั้ง 3 ชนิด.....	81
ตารางที่ 4.5	ขนาดของพื้นที่หน้าตัดของถังตกตะกอนจากการคำนวณด้วยโซลิดฟลักซ์....	105
ตารางที่ 4.6	ขนาดของพื้นที่หน้าตัดของถังตกตะกอนจากการคำนวณด้วยอัตราน้ำล้นผิว.....	107
ตารางที่ 4.7	อัตราภาระของแข็งจากการทดลอง.....	109
ตารางที่ 4.8	การเปรียบเทียบขนาดพื้นที่หน้าตัดของถังตกตะกอนด้วยวิธีการคำนวณที่แตกต่างกัน.....	110

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1	กราฟแสดงการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เทียบกับเวลา.....	6
รูปที่ 2.2	ส่วนประกอบของระบบเอเอส.....	9
รูปที่ 2.3	ชนิดของระบบเอเอสแบบกวนสมบูรณ์.....	17
รูปที่ 2.4	ชนิดของระบบเอเอสแบบลดการเติมอากาศตามความยาวของถัง.....	18
รูปที่ 2.5	ชนิดของระบบเอเอสแบบคลองวนเวียน.....	19
รูปที่ 2.6	ชนิดของระบบเอเอสแบบสัมผัสและย่อยสลาย.....	19
รูปที่ 2.7	ชนิดของระบบเอเอสแบบเติมน้ำเสียเป็นชั้น.....	20
รูปที่ 2.8	ชนิดของระบบเอเอสแบบการเติมเข้า-ถ่ายออก.....	21
รูปที่ 2.9	การวิเคราะห์ถึงตกตะกอนแบบอุดมคติ.....	26
รูปที่ 2.10	การตกตะกอนแบบรวมกลุ่ม.....	27
รูปที่ 2.11	การตกตะกอนแบบแบ่งชั้น.....	28
รูปที่ 2.12	วิธีหากราฟของการตกตะกอนแบบแบ่งชั้น.....	28
รูปที่ 2.13	การเคลื่อนที่ของตะกอนสลัดจ์ในถังตกตะกอน.....	30
รูปที่ 2.14	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสลัดจ์ (C) และอัตราเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอนของชั้นสลัดจ์.....	30
รูปที่ 2.15	โซลิดฟลักซ์ $G_s$ และ $G_b$ ของถังตกตะกอนที่ระดับความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย.....	31
รูปที่ 2.16	เส้นโค้ง Total flux และการหาค่า $G_L$ แบบธรรมดา.....	32
รูปที่ 2.17	การหา Settling Flux.....	36
รูปที่ 2.18	กราฟ Solid flux.....	38
รูปที่ 2.19	การหาค่า $G_L$ โดยวิธีโยชิโอกะ.....	38
รูปที่ 3.1	เครื่องมือวัดขนาดอนุภาค.....	48
รูปที่ 3.2	รายละเอียดถึงปฏิกิริยา.....	50
รูปที่ 3.3	ภาพการติดตั้งอุปกรณ์.....	51
รูปที่ 3.4	จุดเก็บตัวอย่างน้ำในการวิเคราะห์.....	56

รูปที่ 4.1	ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่มีการเติมทาล.....	62
รูปที่ 4.2	ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง.....	63
รูปที่ 4.3	ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่มีการเติมยางรถยนต์บดละเอียด.....	64
รูปที่ 4.4	ประสิทธิภาพของการกำจัดซีโอดีที่มีการเติมทาลเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน.....	66
รูปที่ 4.5	ประสิทธิภาพของการกำจัดซีโอดีที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง เป็นวัสดุช่วยตกตะกอน.....	67
รูปที่ 4.6	ประสิทธิภาพของการกำจัดซีโอดีที่มีการเติมยางรถยนต์บดละเอียด เป็นวัสดุช่วยตกตะกอน.....	68
รูปที่ 4.7	ประสิทธิภาพของการกำจัดซีโอดีของวัสดุช่วยตกตะกอนทั้ง 3 ชนิด.....	69
รูปที่ 4.8	ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมทาล.....	73
รูปที่ 4.9	ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง.....	76
รูปที่ 4.10	ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมยางรถยนต์บดละเอียด..	79
รูปที่ 4.11	ชนิดของวัสดุช่วยตกตะกอนมีผลต่อค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน.....	82
รูปที่ 4.12	ฟล็อกจุลชีพของทาลถ่ายโดยกล้องจุลทรรศน์.....	84
รูปที่ 4.13	ฟล็อกจุลชีพของทาลถ่ายโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน.....	87
รูปที่ 4.14	ฟล็อกจุลชีพถ่านกัมมันต์ชนิดผงถ่ายโดยกล้องจุลทรรศน์.....	90
รูปที่ 4.15	ฟล็อกจุลชีพถ่านกัมมันต์ชนิดผงถ่ายโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน.....	93
รูปที่ 4.16	ฟล็อกจุลชีพยางรถยนต์บดละเอียดถ่ายโดยกล้องจุลทรรศน์.....	96
รูปที่ 4.17	ฟล็อกจุลชีพยางรถยนต์บดละเอียดถ่ายโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน.....	99
รูปที่ 4.18	กระบวนการของระบบเอเอสในการคำนวณออกแบบถังตกตะกอน.....	102
รูปที่ 4.19	กราฟแสดงโซลิดฟลักซ์ของทาลขนาด 2 ไมโครเมตร.....	104

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 บทนำ

กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาด้วยระบบเอเอส (Activated Sludge Process) มีประสิทธิภาพ ในการบำบัดสูงจึงเป็นที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการบำบัดน้ำเสียจากชุมชนและโรงงานอุตสาหกรรม กระบวนการดังกล่าวอาศัยสิ่งมีชีวิตพวกจุลินทรีย์ในการกิน ย่อยสลาย ทำลาย ดูดซับหรือเปลี่ยนรูปของมลสารต่างๆที่มีอยู่ในน้ำเสียให้มีค่าความสกปรกลดน้อยลง ดังนั้นในการควบคุมการทำงานจึงค่อนข้างซับซ้อนและละเอียดอ่อน ต้องเข้าใจความต้องการของจุลินทรีย์ชนิดต่างๆรวมทั้งสภาวะแวดล้อมและลักษณะทางกายภาพที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตเพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้ประสิทธิภาพสูงสุด

ปัญหาที่พบมากที่สุดในการควบคุมระบบเอเอสคือปัญหาที่เกิดขึ้นในส่วนของการตกตะกอนเช่นปัญหาการลอยตัวของสลัดจ์ในถังตกตะกอน (Rising Sludge) และปัญหาสลัดจ์ไม่จมตัว (Bulking Sludge) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้เกิดแนวคิดในการที่จะเพิ่มประสิทธิภาพให้การตกตะกอนในระบบเอเอส ด้วยการเติมวัสดุที่ช่วยในการตกตะกอนที่มีขนาดที่แตกต่างกัน เพื่อหาขนาดวัสดุช่วยตกตะกอนแต่ละชนิดที่มีประสิทธิภาพในการตกตะกอนในระบบส่งผลให้สามารถบำบัดน้ำเสียได้ดีขึ้น โดยการเกาะตัวกับวัสดุช่วยตกตะกอน ทำให้น้ำหนักมวลของจุลชีพสูงขึ้น ซึ่งนำไปสู่การเพิ่มความเร็วในการตกตะกอน

จากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่าได้มีการใช้วัสดุที่มีลักษณะไม่ทำปฏิกิริยาใดๆกับน้ำเสีย ไม่แข็งเกินไปจนก่อให้เกิดปัญหาในการสูบน้ำ และยังสามารถเข้ากันได้ดีกับจุลชีพในระบบ วัสดุนี้รู้จักกันในชื่อของวัสดุบัลลัสต์ (Ballasting Agent) วัสดุดังกล่าวมักนำมาใช้เป็นวัสดุช่วยตกตะกอนเพื่อนำมาปรับปรุงลักษณะการตกตะกอนในระบบเอเอสให้ดีขึ้น วัสดุช่วยตกตะกอนที่ใช้ในงานวิจัยที่ผ่านมาคือ ผงทาล (Talc) เนื่องจากพบว่าทาลเป็นแร่ที่มีความกระด้างต่ำ ไม่ละลายน้ำ ไม่ทำปฏิกิริยาใดๆกับน้ำเสีย และเข้ากันได้ดีกับจุลชีพ อีกทั้งยังสามารถช่วยในการก่ตัวของฟล็อกให้มีขนาดใหญ่ขึ้นได้ (Bidault และคณะ, 1997) วัสดุช่วยตกตะกอนชนิดที่ 2 คือ ถ่านกัมมันต์ชนิดผงหรือ Powder Activated Carbon (PAC) ซึ่งมีคุณสมบัติที่เป็นตัวดูดซับที่ดี เพิ่มอัตราการเติบโตของจุลชีพ และอาจจัดเป็นวัสดุช่วยตกตะกอนทำให้การก่ตัวของฟล็อกดีขึ้นอีกด้วย (Lee, Shin and Paik, 1989) สำหรับวัสดุช่วยตกตะกอนชนิดที่ 3 คือยางรถยนต์เก่าบดละเอียด โดยมีการนำมาใช้ในงานบำบัดน้ำเสีย ทั้งที่เป็นระบบแบบแอโรบิกและแอนแอโรบิก

(Park, Ellis and Lally, 2006) พบว่า ยางรถยนต์เก่าที่นำมาใช้สามารถเข้ากันได้กับจุลชีวินในระบบ มีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีไอดีได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังสามารถเป็นเป้าสัมผัสให้จุลชีพมาเกาะได้อีกด้วย ทั้งนี้ยังถือเป็นการนำเอาวัสดุเหลือใช้กลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้อีกด้วย

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นในการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอน โดยใช้วัสดุช่วยตกตะกอน 3 ชนิด คือ ทาล ถ่านกัมมันต์ชนิดผง และยางบดละเอียด โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพขนาดของวัสดุช่วยตกตะกอนที่มีขนาดต่างกัน เพื่อหาขนาดของวัสดุช่วยตกตะกอนที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งการประเมินประสิทธิภาพของการตกตะกอนจะใช้ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน (Initial settling velocity, ISV) และประสิทธิภาพในการบำบัดจะใช้การลดลงของค่าซีไอดี ผลที่คาดหวัง คือ ค่า ISV และประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีน่าจะสูงขึ้นและยังศึกษาลักษณะการจับตัวกันระหว่างฟล็อกกับวัสดุช่วยตกตะกอนที่มีขนาดแตกต่างกันทั้ง 3 ชนิด โดยจะทำการวิเคราะห์ลักษณะการจับตัวที่พื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีของระบบเอเอสที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอน ในแง่ของการบำบัดน้ำเสีย

1.2.2 เพื่อศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอนของระบบเอเอสโดยการเติมวัสดุช่วยตกตะกอน 3 ชนิด คือ ทาล ถ่านกัมมันต์ชนิดผง และยางบดละเอียดที่มีขนาดแตกต่างกัน 4 ค่า โดยการวัดค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน (Initial Settling Velocity)

1.2.3 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบลักษณะการจับตัวระหว่างฟล็อกชีวภาพกับวัสดุช่วยตกตะกอน

## 1.3 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองโดยการใช้ถังปฏิกริยาเป็นแบบไหลต่อเนื่อง (Continuous Flow Reactor) ดำเนินการที่อุณหภูมิต่ำห้อง ณ ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การศึกษาวิจัยกำหนดขอบเขตการวิจัยไว้ดังนี้

1.3.1 น้ำเสียที่ใช้ในงานวิจัยเป็นน้ำเสียสังเคราะห์ (Synthetic Waste) โดยใช้น้ำตาลทรายเป็นแหล่งสารอินทรีย์คาร์บอน (Organic Carbon Source)



1.3.2 ระบบที่ใช้ในการทดลองคือ ระบบเอเอสแบบธรรมดา (Conventional Activated Sludge) ถึงปฏิกิริยาที่ใช้เป็นแบบต่อเนื่องที่มีการเวียนสลับถัง โดยควบคุมระบบให้มีอายุสลับถัง 10 วัน อัตราการไหลของน้ำเสียสังเคราะห์คงที่ และความเข้มข้นของน้ำเสียในรูป COD 550 มิลลิกรัมต่อลิตร

1.3.3 หัวเชื้อ (Seed) ที่ใช้ในการเดินระบบ นำมาจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนดินแดง ซึ่งเป็นโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้ระบบเอเอส โดยตำแหน่งที่เก็บหัวเชื้อจะเก็บจากก๊อกเก็บตัวอย่างที่ท่อนวนเวียนสลับถังของโรงบำบัดและหัวเชื้อที่เก็บจะต้องไม่มีปัญหาในเรื่องของการตกตะกอนโดยวัดปริมาตรสลัดจ์ที่ตกตะกอนในเวลา 30 นาที โดยมีค่าประมาณ 150-250 มิลลิกรัมต่อลิตร จะเป็นตะกอนจุลินทรีย์ที่สมบูรณ์แข็งแรงและตกตะกอนได้ดี

1.3.4 วัสดุช่วยตกตะกอนที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้มี 3 ชนิดและขนาดที่แตกต่างกัน 4 ขนาดซึ่งมีจำหน่ายตามท้องตลาดประกอบด้วย

- ทาล ชนิด Purified Talc B.P. ขนาดประมาณ 2, 5, 10, 18 ไมโครเมตร
- Activated Carbon ชนิดผง บริษัท Carbokarn จำกัด ขนาดประมาณ 5, 10, 24, 99 ไมโครเมตร
- ยางรถยนต์เก่าบดละเอียด ขนาดประมาณ 110, 242, 656, 848 ไมโครเมตร

1.3.5 ศึกษาลักษณะการเกาะตัวระหว่างฟล็อกชีวภาพกับวัสดุช่วยตกตะกอนชนิดต่างๆ ที่ขนาดแตกต่างกันทำโดยใช้การถ่ายภาพนิ่งผ่านกล้องจุลทรรศน์ และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

## 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบถึงประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบเอเอสที่ใส่วัสดุช่วยตกตะกอนแต่ละชนิดที่ขนาดต่างๆกัน

1.4.2 ทราบถึงผลของชนิดและขนาดของวัสดุช่วยตกตะกอนในการใช้เป็นวัสดุช่วยตกตะกอนในระบบเอเอส

1.4.3 ทราบถึงประสิทธิภาพในการตกตะกอนของสลัดจ์ในระบบเอเอส เมื่อทำการเติมวัสดุช่วยในการตกตะกอนต่างชนิดลงในระบบเอเอสที่ชนิดและขนาดวัสดุช่วยตกตะกอนแตกต่างกัน

1.4.4 ทราบถึงลักษณะการจับตัวระหว่างฟล็อกชีวภาพกับวัสดุช่วยในการตกตะกอนที่ชนิดและขนาดต่างๆกัน

1.4.5 ผลของงานวิจัยที่ได้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการออกแบบระบบที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนได้

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

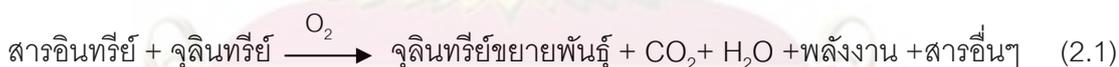
#### 2.1 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส

##### 2.1.1 บทนำ

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส (Activated Sludge Process) เป็นระบบบำบัดน้ำเสียโดยวิธีชีวภาพ ที่อาศัยจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย มีองค์ประกอบหลักคือ ถังเติมอากาศ และถังตกตะกอน จุลินทรีย์ในถังเติมอากาศจะอาศัยสารอินทรีย์ในน้ำเสียเป็นอาหาร และออกซิเจนจากการเติมอากาศในถังเติมอากาศ เพื่อการเจริญเติบโตและเพิ่มปริมาณกลายเป็นสลัดจ์ จากนั้นน้ำเสียจะถูกส่งเข้าสู่ถังตกตะกอนเพื่อแยกน้ำใสให้ไหลล้นออกมาไปสู่ระบบบำบัดขั้นสุดท้ายและตะกอนบางส่วนก็จะถูกสูบย้อนกลับเข้าสู่ถังเติมอากาศเพื่อควบคุมตะกอนจุลินทรีย์ แล้วถูกส่งเข้าถังตกตะกอนอีกครั้ง

##### 2.1.2 กลไกในการทำงาน

ในกระบวนการเอเอส น้ำเสียจะประกอบไปด้วยจุลินทรีย์หลากหลายชนิด จุลินทรีย์จำพวกแบคทีเรียจัดเป็นหลักสำคัญในปฏิกิริยาของการบำบัดน้ำเสียกระบวนการนี้ โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเขียนได้เป็น



สมการดังกล่าวสรุปได้ว่า จุลินทรีย์จะนำสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียมาใช้เป็นอาหารเพื่อใช้ในการเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ ในปฏิกิริยาจะเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พลังงาน และน้ำ โดยส่วนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะลอยขึ้นไปในอากาศ พลังงานจะถูกจุลินทรีย์นำไปใช้ในการดำเนินชีวิต ส่วนน้ำจะผสมออกไปกับน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วถูกปล่อยออกไปจากระบบได้ ในแง่ของมวลที่ได้จากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นก็คือสารอินทรีย์จะถูกเปลี่ยนให้กลายเป็นมวลจุลินทรีย์ที่มีปริมาณเพิ่มขึ้น ซึ่งจุลินทรีย์นั้นโดยปกติจะรวมตัวกันเป็นก้อนเรียกว่า ฟล็อกและมีน้ำหนักมากกว่าน้ำ ดังนั้นจึงสามารถแยกจุลินทรีย์ออกจากน้ำได้ง่ายด้วยการตกตะกอนในถังตกตะกอนต่อไป

### 2.1.3 การเกิดแอกติเวตเต็ดจ์สลัดจ์

กลไกของแอกติเวตเต็ดจ์สลัดจ์ (Activated Sludge) เกิดต่อเนื่องกัน 3 ขั้นตอนในถึงปฏิกิริยา คือ

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

ในขั้นตอนแรก สารอินทรีย์ในน้ำเสียจะถูกจุลินทรีย์ดูดมาติดที่ผนังเซลล์และส่งน้ำย่อยออกมาย่อยสลายจนสารอินทรีย์เปลี่ยนไปในรูปของโมเลกุลที่เล็กพอที่จะซึมผ่านเข้าไปข้างในเซลล์เพื่อใช้เป็นสารอาหารได้ ขั้นตอนนี้ใช้เวลาประมาณ 15 ถึง 20 นาที น้ำย่อยหรือเอนไซม์ (Enzymes) นี้จุลินทรีย์จะผลิตขึ้นมาไว้ภายในเซลล์และในน้ำที่อยู่รอบตัวของมัน สารอินทรีย์แต่ละชนิดต้องใช้เอนไซม์เฉพาะอย่างในการย่อย ดังนั้นจุลินทรีย์จึงต้องปรับตัวและผลิตเอนไซม์ ออกมาใช้ให้เหมาะสมกับน้ำเสียชนิดต่างๆ และต้องใช้เวลาแก่จุลินทรีย์ในการปรับตัว (Acclimatize) ที่เหมาะสมโดยเฉพาะในช่วงเริ่มการทำงาน (Start-Up) ของระบบบำบัดน้ำเสีย

ขั้นตอนที่สอง เมื่อสารอินทรีย์ถูกย่อยสลายให้มีโมเลกุลเล็กและสามารถละลายน้ำผ่านเข้าไปในเซลล์ได้แล้วจะถูกจุลินทรีย์ทำการเปลี่ยนรูปโดยกระบวนการสังเคราะห์ (Synthesis) ซึ่งหมายถึงการสร้างเซลล์ใหม่ และกระบวนการออกซิเดชัน (Oxidation) ซึ่งหมายถึงปฏิกิริยา ที่มีการเติมออกซิเจนแล้วได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำและพลังงาน กระบวนการทั้งสองนี้รวมกันเป็นกระบวนการทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นในจุลินทรีย์ (Metabolic Process)

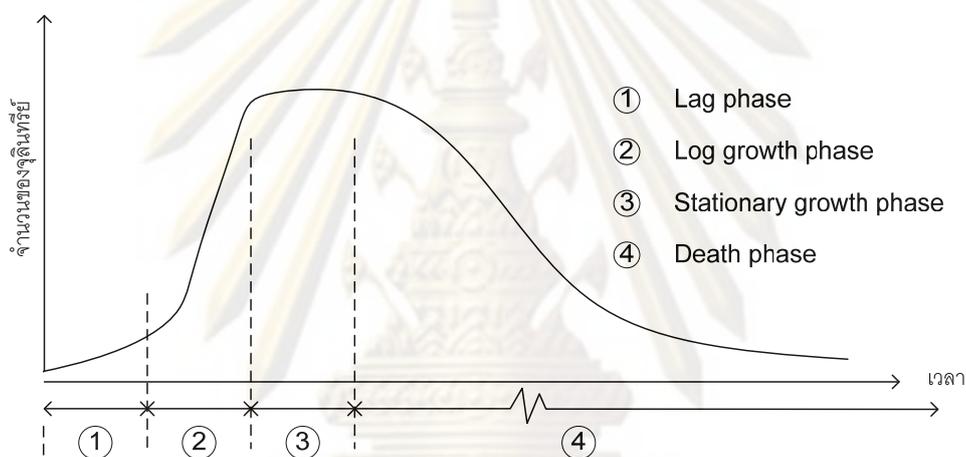
ขั้นตอนที่สาม เป็นขั้นรวมตะกอน จุลินทรีย์จะถูกกวนผสมรวมกันในถึงปฏิกิริยา โดยจับตัวกันจนมีขนาดใหญ่ขึ้นเรียกว่าฟล็อก(Floc) หรือ Activated Sludge ซึ่งจะมีน้ำหนักมากกว่าเซลล์เดี่ยวสามารถตกตะกอนแยกออกจากน้ำเสียได้ง่ายและเมื่อฟล็อกไปสัมผัสกับสารแขวนลอย (Suspended Material) หรือสารคอลลอยด์ก็จะจับมวลสารเหล่านี้เอาไว้และทำการย่อยสลายเป็นอาหารต่อไป

โดยในงานวิจัยนี้คาดหวังว่าในขั้นรวมตะกอนนั้นวัสดุช่วยตกตะกอนที่ใส่เข้าไปในระบบจะสามารถเป็นเป้าสัมผัสทำให้ฟล็อกจุลินทรีย์มาเกาะและรวมตัวกับวัสดุช่วยตกตะกอน ส่งผลให้ฟล็อกมีน้ำหนักมากขึ้นนอกจากนี้ขนาดของวัสดุช่วยตกตะกอนที่แตกต่างกันน่าจะช่วยให้การตกตะกอนช้าและเร็วแตกต่างกันและมีความสามารถในการจับตัวรวมกับฟล็อกแตกต่างกันด้วย ดังนั้นจึงมีความน่าสนใจที่จะหาขนาดวัสดุช่วยตกตะกอนที่เหมาะสมที่ช่วยในการตกตะกอนและมีความสามารถในการย่อยสลายมลสารในน้ำเสียได้ดีและมีประสิทธิภาพสูงขึ้นอีกด้วย

## 2.1.4 การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

การเจริญเติบโต (Growth) ในทางจุลชีววิทยา หมายถึง การเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ซึ่งมีความหมายตรงกับการสืบพันธุ์ของจุลินทรีย์มากกว่าที่จะหมายถึงการเพิ่มขนาดหรือมวลของแต่ละเซลล์ ทั้งนี้เพราะเป็นการยากที่จะวิเคราะห์ห่มวลแต่ละเซลล์ที่เพิ่มขึ้นเนื่องมาจากขนาดที่เล็กมากของจุลินทรีย์นั่นเอง

จากการนำจุลินทรีย์มาเลี้ยงในอาหารเหลวในที่จำกัด (Batch Culture) และนับจำนวนจุลินทรีย์ที่มีอยู่เป็นระยะตามเวลาที่ผ่านไปแล้วนำจำนวนของจุลินทรีย์มาเขียนกราฟในกราฟ log จะได้เส้นโค้งที่เรียกว่า Population Growth Curve ซึ่งเส้นโค้งดังกล่าวจะใช้สำหรับแบ่งช่วงการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ซึ่งแบ่งได้ออกเป็น 4 ระยะ (Phase) ดังแสดงในรูป



รูปที่ 2.1 กราฟแสดงการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เทียบกับเวลา

ที่มา: Qasim (1999)

### ช่วงที่ 1 Lag Growth Phase

เป็นช่วงที่มีอัตราการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ต่ำ เนื่องจากจุลินทรีย์ต้องใช้เวลาปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อม และเริ่มสร้างเอนไซม์ที่จำเป็นในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ช่วงเวลา lag phase จะสั้นยาวแตกต่างกันไปตามชนิดของจุลินทรีย์ อาหาร และสภาพแวดล้อม ตลอดจนระยะการเจริญของจุลินทรีย์ที่นำมาเพาะเลี้ยง เช่น ถ้านำเอาจุลินทรีย์ที่เพาะเลี้ยงในอาหารชนิดหนึ่งไปเพาะเลี้ยงใหม่ในอาหารชนิดเดิมช่วงระยะ lag phase จะสั้นลงเนื่องจากจุลินทรีย์ไม่จำเป็นต้องสร้างเอนไซม์อีกครั้ง เช่นเดียวกับในกระบวนการบำบัดน้ำเสียแเอเอสที่นำเอาจุลินทรีย์ที่ผ่านพ้นระยะ lag phase ไปแล้วกลับในถังปฏิกรณ์ใหม่ ทำให้จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายสารประกอบต่างๆ ในน้ำทิ้งได้ทันที จุลินทรีย์ในช่วงนี้จะมีอัตราการเกิดและการตายต่ำ

## ช่วงที่ 2 Log Growth Phase

เป็นช่วงที่มีการเจริญเติบโตสูงสุด จุลินทรีย์เพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วในอัตราที่สม่ำเสมอ เนื่องจากมีอาหารเหลือเฟือ จุลินทรีย์จะเจริญเติบโตแบบเซลล์เดียวไม่รวมเป็นฟล็อกถ้าระบบ เอเอสทำงานอยู่ในช่วงนี้จะเป็นผลให้น้ำทิ้งที่ออกมาขุ่น เนื่องจากมีตะกอนจุลินทรีย์หลุดออกมา

## ช่วงที่ 3 Stationary Phase หรือ Declining Growth Phase

ระยะนี้อัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จะช้าลง เนื่องจากสารอาหารถูกใช้จนเกือบหมดและสารพิษที่ขับออกมาจากจุลินทรีย์มีมากขึ้น ซึ่งช่วงนี้จะมีจำนวนประชากรค่อนข้างสมดุลกันคือการเกิดใกล้เคียงกับการตาย จุลินทรีย์จะรวมกันเป็นฟล็อกได้ดีตกตะกอนง่ายทำให้น้ำทิ้งที่ออกมามีคุณภาพดี ช่วงนี้จึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้บำบัดน้ำเสีย

## ช่วงที่ 4 Endogenous Growth Phase

ในช่วงนี้จุลินทรีย์จะขาดอาหารและตายเพราะมีอาหารเหลืออยู่น้อยหรือไม่มีอาหารเหลืออยู่เลย ดังนั้นเมื่อจุลินทรีย์ได้ใช้อาหารที่เก็บสะสมไว้ภายในตัวจนหมดแล้วก็จะตายและเซลล์ตายกลายเป็นอาหารของจุลินทรีย์ตัวอื่นซึ่งยังมีชีวิตอยู่จุลินทรีย์ที่อยู่ในช่วงนี้มีสารเฉื่อย (Inert Material) ผสมอยู่สูงมีความเข้มข้นสูงและตกตะกอนเร็วแต่การที่ตะกอนจุลินทรีย์ตกตะกอนเร็วทำให้ไม่สามารถจับหรือกรองเอาอนุภาคขนาดเล็กให้ลงมากับตะกอนส่วนใหญ่ได้ เป็นผลทำให้น้ำออกขุ่นและมีสลัดจ์แขวนลอยปนออกมาในปริมาณมาก

### 2.1.5 การแบ่งประเภทของจุลินทรีย์

ประเภทของจุลินทรีย์ในการควบคุมการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียสามารถแบ่งได้ 4 แบบ คือ

#### 1. แบ่งตามชนิด

จุลินทรีย์ที่สำคัญในระบบเอเอสมีอยู่ 2 ชนิด คือ พืชและสัตว์

- พืช ได้แก่ แบคทีเรีย สาหร่ายเซลล์เดียว และรา ซึ่งแบคทีเรียเป็นจุลินทรีย์ที่มีความสำคัญมากที่สุด โดยจะเป็นตัวกำจัดสารอินทรีย์ออกจากน้ำเสีย
- สัตว์ ได้แก่ โปรโตซัว ครัสตาเซียนและโรติเฟอร์ ซึ่งจะช่วยกินแบคทีเรียที่ลอยกระจายอยู่ในน้ำทำให้น้ำออกใส และยังสามารถใช้เป็นตัวบอกรักษาการทำงานของระบบโดยส่วนรวมได้อีกด้วย

#### 2. แบ่งตามการใช้ออกซิเจน

- แอโรบิกแบคทีเรีย (Aerobic bacteria) เจริญเติบโตได้ดีในที่มีออกซิเจน ในการบำบัดน้ำเสียที่ใช้แบคทีเรียประเภทนี้ต้องทำให้มีออกซิเจนในระบบ อาจเติมออกซิเจนโดยการกวน การเป่าอากาศ เป็นต้น

- แอนแอโรบิคแบคทีเรีย (Anaero bicbacteria) เจริญเติบโตได้ดีในที่ไม่มีออกซิเจน
- แฟคัลเททีฟแบคทีเรีย (Facultative bacteria) สามารถเจริญได้ทั้งในที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน

### 3. แบ่งตามอายุ

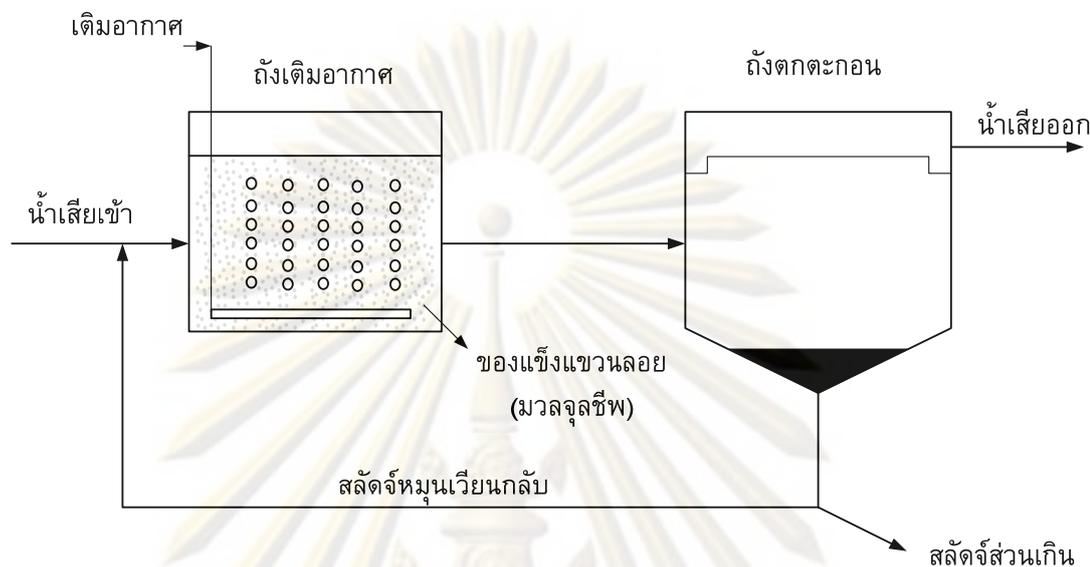
หมายถึง ระยะเวลาที่จุลินทรีย์ทำงานอยู่ในระบบ จุลินทรีย์ที่มีอายุต่ำจะมีอัตราการเติบโตสูง ไม่จับตัวเป็นฟล็อก ตกตะกอนไม่ดีและทำให้น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดยังคงมีค่าซีไอดีสูง ส่วนจุลินทรีย์ในระบบที่มีอายุสูงก็จะมีตะกอนที่หนัก สามารถกำจัดซีไอดีในน้ำได้มาก และสามารถตกตะกอนได้เร็ว หากมีอายุสูงเกินไปจะตกตะกอนเร็วแต่ไม่สามารถจับตะกอนเล็กๆ ได้หมด ทำให้น้ำทิ้งที่ออกมาขุ่นมีตะกอนแขวนลอยอยู่มาก

### 4. แบ่งตามการทำงานในระบบเอเอส สามารถจำแนกได้เป็น 4 ประเภท คือ

- จุลินทรีย์สร้างฟล็อก (Floc Forming Microorganisms) เป็นจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญมากในระบบเอเอส เพราะเป็นจุลินทรีย์ที่จับตัวรวมกันเป็นฟล็อกได้ดี ทำให้สามารถแยกตะกอนจุลินทรีย์ออกจากน้ำได้ดีด้วยวิธีตกตะกอน แบคทีเรียที่สร้างฟล็อก ได้แก่ *Zooglea ramiera* นอกจากนี้จุลินทรีย์ เช่น Protozoa และ Fungi ก็ทำให้เกิดฟล็อกได้เช่นกัน การสร้างฟล็อกของแอ็คติเวเตดจ์สลัดจ์ (Activated Sludge) เรียกว่า Bioflocculation
- แซฟโพรไฟท์ (Saprophytes) เป็นจุลินทรีย์พวกหลักที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ ส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียซึ่งอาจมีทั้งพวกสร้างและไม่สร้างฟล็อกก็ได้ แซฟโพรไฟท์แบ่งเป็น 2 ชนิดคือ แบบที่รับผิดชอบในการย่อยสารอาหารหรือขับสเตรท ให้เป็นขับสเตรทที่มีโมเลกุลเล็กลง และแบบสลายของขับสเตรทโมเลกุลเล็กจนได้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ
- จุลินทรีย์ทำลาย (Predator) คือพวกโปรโตซัวซึ่งจับแบคทีเรียกินเป็นอาหาร กลุ่มที่สำคัญคือพวกซิลิเอต (Ciliates) หากระบบที่มีจุลินทรีย์พวกนี้มากมักจะเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพสูง ซึ่งโปรโตซัวมีบทบาทสำคัญในการตกตะกอนจุลินทรีย์ให้น้ำใส
- จุลินทรีย์ก่อกวน (Nuisance Microorganisms) เป็นจุลินทรีย์ที่ก่อกวนการทำงานของระบบเอเอส ได้แก่ แบคทีเรียที่เป็นเส้นใยและราบางพวกซึ่งจะทำให้เกิดปัญหาการจมไม่ลงของสลัดจ์ หรือที่เรียกว่า Bulking ได้ (มันสิน ตัณฑุลเวศม์, 2525)

### 2.1.6 ส่วนประกอบและการทำงานของระบบ

ระบบการบำบัดน้ำเสียเอเอสมีส่วนประกอบสำคัญ 3 ส่วน คือ ถังปฏิกริยา ถังตกตะกอน และส่วนหมุนเวียนตะกอน ส่วนประกอบต่างๆ ดังแสดงอยู่ในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของระบบเอเอส  
ที่มา: มั่นสิน ตันทุลเวศม์, 2525

ส่วนที่หนึ่ง ถังปฏิกริยาหรือโดยทั่วไปเรียกว่าถังเติมอากาศมีด้วยกันหลายลักษณะตามแต่ละชนิดของระบบเอเอสหน้าที่สำคัญของถังปฏิกริยาคือการเติมอากาศให้กับระบบเพื่อให้จุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนนำไปใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย และทำหน้าที่กวนผสมให้จุลินทรีย์ในน้ำเสียได้มีโอกาสสัมผัสสารอินทรีย์เพื่อให้เกิดปฏิกริยาได้ทั่วถึงเพื่อทำการลดค่าสารอินทรีย์ด้วยการย่อยสลายให้อยู่ในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำและทำให้เกิดฟล็อกของจุลินทรีย์ขึ้นมาซึ่งมีน้ำหนักและตกตะกอนได้ง่าย

ส่วนที่สอง ถังตกตะกอนมีหน้าที่คือทำการแยกของแข็งซึ่งในที่นี่คือตะกอนจุลินทรีย์ออกจากของเหลวหรือน้ำด้วยแรงโน้มถ่วงซึ่งฟล็อกที่เกิดขึ้นในถังปฏิกริยาจะตกตะกอนได้ดีในถังตกตะกอน และน้ำที่แยกออกมาจะเป็นน้ำใสสามารถปล่อยออกทิ้งได้ ส่วนตะกอนจุลินทรีย์หรือที่เรียกว่าสลัดจ์จะถูกปล่อยทิ้งออกจากกันถังเพื่อนำไปบำบัดหรือเข้าสู่ระบบหมุนเวียนสลัดจ์กลับไปยังส่วนแรกต่อไป

ส่วนที่สาม ส่วนหมุนเวียนสลัดจ์เป็นส่วนที่สำคัญและเป็นส่วนที่บ่งบอกความเป็นระบบเอเอส การหมุนเวียนสลัดจ์เป็นสิ่งสำคัญที่สุดในการควบคุมระบบกล่าวคือในการควบคุมระบบให้ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในระบบเกิดความสมดุลกับสารอินทรีย์เป็นสิ่งที่สำคัญมาก เช่น การควบคุมระบบเอเอสด้วยการควบคุมอายุสลัดจ์อาจทำการปรับอัตราการทิ้งสลัดจ์ออกจาก

ระบบโดยตรงจากถังเติมอากาศหรือจากกันถังตกตะกอน หากทั้งสลัดจ์มากค่าอายุสลัดจ์ก็จะลดลงและหากทั้งสลัดจ์น้อยค่าอายุสลัดจ์ก็จะเพิ่มมากขึ้น ถ้าในระบบมีจุลินทรีย์น้อยแต่มีสารอินทรีย์ในระบบมาก เกิดความไม่สมดุลก็ต้องทำการเพิ่มตะกอนจุลินทรีย์ให้มากขึ้นเพื่อให้ระบบสมดุล เป็นต้น ดังนั้นถ้าไม่มีส่วนหมุนเวียนสลัดจ์การควบคุมระบบก็ต้องเปลี่ยนไปปรับส่วนอื่นๆแทนซึ่งทำให้เกิดความยุ่งยากกว่ามาก

### 2.1.7 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบ

การทำงานของระบบเอเอส ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆหลายชนิด เพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงต้องควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อระบบ ดังนี้

#### 2.1.7.1 ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

ในระบบเอเอส สารอินทรีย์ในน้ำเสียเป็นอาหารของจุลินทรีย์ ดังนั้นหากความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่เปลี่ยนแปลงมากจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบ โดยอาจจะทำให้มีอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์สูง (มีอาหารมาก) ทำให้จำนวนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนมีลักษณะการเติบโตกระจายอยู่ทั่วไป แทนที่จะรวมตัวกันเป็นฟล็อกที่ดี เป็นผลให้ตกตะกอนได้ไม่ดี น้ำออกขุ่น และมีค่าสารอินทรีย์หรือบีโอดีเหลืออยู่สูง หรืออาจจะเกิดขึ้นในทำนองตรงกันข้ามคือมีอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ต่ำ (มีอาหารน้อย) ทำให้จำนวนจุลินทรีย์เจริญเติบโตลดน้อยลง ซึ่งถึงแม้ตะกอนจุลินทรีย์จะตกตะกอนได้เร็วแต่ก็ไม่สามารถจับตะกอนเล็กๆ ตกลงมาได้หมด ทำให้น้ำที่ออกจากถังตกตะกอนขุ่น

#### 2.1.7.2 ธาตุอาหาร

จุลินทรีย์ต้องการธาตุอาหาร (Nutrient) ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และเหล็ก โดยปกติแล้วธาตุเหล่านี้มีอยู่ครบในน้ำเสียชุมชน แต่อาจมีไม่พอในน้ำเสียอุตสาหกรรม การขาดธาตุอาหารทำให้จุลินทรีย์สร้างฟล็อก (Floc forming organisms) เติบโตได้ไม่ดี ทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานในระบบต่ำลงไป โดยปกติจะควบคุมอัตราส่วนบีโอดีต่อธาตุอาหารคือ BOD : N : P : Fe เท่ากับ 100 : 5 : 1 : 0.5 การเติมไนโตรเจนมักใส่ในรูปแบบแอมโมเนีย หรือยูเรีย สำหรับฟอสฟอรัสมักจะใส่ในรูปแบบฟอสฟอริก ส่วนเหล็กมักใส่ในรูปแบบของเฟอร์ริกคลอไรด์

#### 2.1.7.3 ออกซิเจนละลาย

ในถังเติมอากาศจะต้องมีค่าออกซิเจนละลายน้ำระหว่าง 1 ถึง 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งปริมาณของอากาศหรือออกซิเจนที่ใช้รักษาค่าความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิหากอุณหภูมิสูงจุลินทรีย์สามารถทำงานได้มากก็จะต้องการออกซิเจนมาก นอกจากนั้นที่อุณหภูมิสูงออกซิเจนจะมีค่าการละลายน้ำอิมตัวต่ำ จึงทำให้ต้องให้ออกซิเจนมากเมื่ออุณหภูมิของน้ำในถังเติมอากาศสูง ในทำนองกลับกันหากอุณหภูมิน้ำต่ำก็



ทำให้มีความต้องการเติมอากาศน้อยกว่าที่อุณหภูมิสูงในการที่จะรักษาระดับความเข้มข้นของออกซิเจนที่ละลายน้ำที่ค่าเท่ากัน

#### 2.1.7.4 ระยะเวลาในการบำบัด

ระยะเวลาที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียในถังเติมอากาศจะต้องมีมากพอเพียงที่จุลินทรีย์จะใช้ในการย่อยสลายมลสารต่างๆ หากมีระยะเวลาต่ำเกินไปสารที่ย่อยยากๆ จะถูกย่อยไม่ถึงขั้นสุดท้าย ทำให้มี บีโอดี เหลืออยู่ในน้ำเสียมาก

สำหรับระยะเวลาในถังตกตะกอนชั้นสองก็เช่นเดียวกัน หากมีน้อยเกินไปก็จะทำให้สลัดจ์ตกตะกอนได้ไม่ดี แต่ถ้านานเกินไปก็จะทำให้สลัดจ์ขาดออกซิเจนและเน่าได้

#### 2.1.7.5 ค่าพีเอช

จุลินทรีย์จะเจริญเติบโตได้ดีที่ค่าพีเอชที่อยู่ในช่วง 6.5-8.5 ดังนั้น จึงควรควบคุมระบบให้มีพีเอชอยู่ในช่วงดังกล่าว ถ้าพีเอชมีค่าต่ำกว่า 6.5 เราจะเจริญเติบโตได้ดีกว่า ทำให้ประสิทธิภาพของระบบจะลดลงและการตกตะกอนก็จะไม่ดี ถ้าพีเอชสูงกว่า 8.5 ฟอสฟอรัสจะแยกตัวออกมาจากน้ำ และจุลินทรีย์ก็ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ แต่ถ้าพีเอชในระบบมีค่าต่ำมากๆ หรือสูงมากๆ จุลินทรีย์ก็จะตายหมดไม่สามารถดำรงชีวิตได้

#### 2.1.7.6 สารพิษ

สารเป็นพิษแบ่งออกได้เป็นสองจำพวกคือ แบบพิษเฉียบพลัน ซึ่งจุลินทรีย์จะตายหมดภายในระยะเวลาไม่กี่ชั่วโมงและแบบพิษออกฤทธิ์ช้า ซึ่งใช้เวลานานและค่อยๆ ตาย สารพิษเฉียบพลันสามารถสังเกตดูได้ง่ายเนื่องจากมีผลเกิดขึ้นรวดเร็ว สารพิษจำพวกนี้ได้แก่ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และ คลอรีน เป็นต้น สำหรับสารพิษออกฤทธิ์ช้า เช่น ทองแดงและโลหะหนักต่างๆ จุลินทรีย์ จะสะสมเอาไว้ภายในเซลล์จนเกิดเป็นพิษและตายในที่สุด

#### 2.1.7.7 อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญในการทำงานและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยทั่วไปการเพิ่มอุณหภูมิทุกๆ 10 องศาเซลเซียส จะทำให้จุลินทรีย์เติบโตเพิ่มขึ้นอีกเท่าตัว จนถึงอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส จากนั้นการเจริญเติบโตก็จะลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากอุณหภูมิสูงเกินไป แต่ในประเทศไทยอุณหภูมิในฤดูร้อนและฤดูหนาวไม่มีความแตกต่างกันมากนัก ทำให้อุณหภูมิไม่มีผลกับระบบมาก นอกจากโรงงานอุตสาหกรรมซึ่งมีน้ำเสียมีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงมาก นอกจากนี้ยังพบว่าอุณหภูมิมีผลต่อการตกตะกอนคือ ถ้าอุณหภูมิต่ำการตกตะกอนจะดีกว่าอุณหภูมิสูง แต่ถ้ามีความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิแตกต่างกันเกิน 2 องศาเซลเซียส จะทำให้เกิดการไหลวนของน้ำเนื่องจากความหนาแน่นที่แตกต่างกันได้ (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, คณะวิศวกรรมศาสตร์, 2538)

### 2.1.7.8 การกวน

เพื่อป้องกันมิให้ตะกอนจุลินทรีย์ตกตะกอนและเพื่อให้จุลินทรีย์ได้สัมผัสกับน้ำเสียที่ส่งเข้ามาบำบัดโดยใช้เป็นอาหารและลดมลสารต่างๆ รวมทั้งจะได้จับตัวเป็นฟล็อกที่ดี การกวนที่ถูกต้องจะป้องกันมิให้น้ำเสียไหลล้นดวงจร และทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัด

### 2.1.7.9 อัตราการไหลของน้ำเสีย

การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำเสียที่ส่งเข้ามาในระบบ มีผลโดยตรงต่อการทำงานของกระบวนการทางชีววิทยาและกระบวนการตกตะกอน เช่น หากน้ำเสียมีอัตราการไหลมากขึ้น จนทำให้เวลาในการบำบัดน้อยลง จุลินทรีย์ก็ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียไม่ทัน ส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบลดลงไปด้วย ดังนั้นต้องมีการควบคุมให้มีอัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้ามาบำบัดมีความสม่ำเสมอในอัตราใกล้เคียงกับที่ทำการออกแบบไว้

## 2.1.8 หลักการออกแบบระบบเอเอส

หลักในการออกแบบและควบคุมระบบเอเอส แบ่งได้เป็น 2 วิธี คือ วิธีคำนวณอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M) และวิธีทางจลนพลศาสตร์

### 1. การออกแบบระบบเอเอสโดยใช้อัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์(F/M)

ตะกอนจุลินทรีย์ที่มีสมรรถภาพในการทำงานจะต้องมีปริมาณอาหารที่พอเหมาะ ซึ่งควบคุมได้โดยการรักษาอัตราส่วนของน้ำหนักของสารอินทรีย์ที่ส่งเข้ามาบำบัดต่อน้ำหนักของตะกอนจุลินทรีย์ซึ่งวัดในรูปของสลัดจ์แขวนลอย (MLSS) หรือสลัดจ์แขวนลอยระเหย (MLVSS) ให้มีค่าคงที่ตามที่ต้องการและเรียกค่าที่ใช้ควบคุมนี้ว่า ค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ (Food to microorganism ratio, F/M) ซึ่งมีค่าต่างๆดังนี้

ค่าอาหาร (F) คือปริมาณ (มวล) ของสารอินทรีย์ที่วัดได้ในรูป บีโอดี มีน้ำหนัก เป็นกิโลกรัมต่อวัน ที่เข้าสู่ระบบ โดยคำนวณจาก

$$\begin{aligned} \text{ค่าอาหาร } F &= \text{น้ำหนักของสารอินทรีย์ (กิโลกรัมต่อวัน)} \\ &= \text{ค่า บีโอดี ที่เข้าระบบ (กิโลกรัมต่อวัน)} \end{aligned}$$

$$= \text{บีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)} \times \text{อัตราการไหล (ลูกบาศก์เมตรต่อวัน)}$$

ค่าน้ำหนักของจุลินทรีย์ (M) คือปริมาณ(มวล)ของจุลินทรีย์ที่วัดอยู่ในรูปของแข็งแขวนลอยระเหยได้ในสลัดจ์ (MLVSS) หรือของแข็งแขวนลอย (MLSS) ซึ่งเป็นตัวแทนของมวลของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในถังเติมอากาศ (V) มีหน่วยเป็นกิโลกรัม โดยคำนวณได้จาก

$$\begin{aligned} \text{ค่าน้ำหนักจุลินทรีย์ } M &= \text{น้ำหนักของ เอ็มแอลวีเอสเอส ในถังเติมอากาศ} \\ &= \text{เอ็มแอลวีเอสเอส (มิลลิกรัมต่อลิตร)} \times V \text{ (ลูกบาศก์} \\ &\quad \text{เมตรต่อวัน)} \div 1000 \end{aligned}$$

ค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์คืออัตราส่วนของสารอินทรีย์ หรือ บีโอดี (F) ต่อน้ำหนักของจุลินทรีย์ (M) ในถังเติมอากาศ โดยปกติค่า F/M ของระบบเอเอสแบบธรรมดา ควรควบคุมเป็น 0.2-0.4 กิโลกรัม.บีโอดี/กิโลกรัม.เอ็มแอลวีเอสเอส-วัน ค่า F/M สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

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

โดยที่

BOD = ค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์วัดอยู่ในรูป บีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)

Q = อัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าระบบ (ลูกบาศก์เมตรต่อวัน)

MLVSS = ของแข็งแขวนลอยระเหยได้ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

V = ปริมาตรถังเติมอากาศ (ลูกบาศก์เมตร)

ในการออกแบบด้วยวิธีนี้ ค่า F/M จะถูกกำหนดจากการเลือกประเภทของระบบเอเอส เช่น ระบบเอเอสแบบธรรมดา (Conventional Activated Sludge, CAS) จะมีค่า F/M เท่ากับ 0.2-0.4 กิโลกรัม บีโอดี/กิโลกรัม เอ็มแอลวีเอสเอส-วัน ในการเลือกประเภทของเอเอส ควรเลือกใช้ให้เหมาะสมกับน้ำเสียที่ต้องการบำบัด ตลอดจนปัจจัยอื่นๆ เช่น ความยากง่ายในการควบคุมระบบ พื้นที่ในการก่อสร้างเป็นต้น และนำข้อมูลจากค่าบีโอดี อัตราการไหลเข้าของน้ำเสีย และค่าเอ็มแอลวีเอสเอสจากถังปฏิบัติการที่ทำการตรวจวัด หรือจากการประมาณการณโดยขึ้นอยู่กับชนิดของระบบเอเอสมาคำนวณในสมการจะสามารถประมาณขนาดของถังปฏิบัติการได้

จากการศึกษาพบว่า การออกแบบโดยใช้อัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M) สามารถคำนวณออกแบบได้ง่าย ใช้เวลาไม่นานและมีความถูกต้องแม่นยำพอสมควรที่จะนำมาใช้คำนวณออกแบบถังปฏิบัติการในงานวิจัยนี้

## 2. การออกแบบระบบเอเอสโดยใช้วิธีทางจลนพลศาสตร์

หลังจากทำการศึกษาทฤษฎีจลนพลศาสตร์แล้ว จะสามารถคำนวณออกแบบถังปฏิบัติการเอเอสได้ ซึ่งค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่สำคัญสามารถเปิดหาได้จากตารางโดยเป็นค่ามาตรฐานที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย โดยมีวิธีการดังต่อไปนี้

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

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

2.2) คำนวณค่า  $\theta$  หรือเวลาเก็บกักน้ำ โดย  $\theta = \frac{V}{Q}$  ซึ่งจะประมาณขนาด

ของถังปฏิกิริยา (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  $\theta_c$  จริงในระบบ

จากสมการ  $\frac{1}{\theta_c} = YU - k_d$  เพื่อใช้ในการควบคุมระบบต่อไป

จากการศึกษาพบว่า การออกแบบโดยใช้วิธีทางจลนพลศาสตร์ สามารถคำนวณออกแบบได้ยากกว่าวิธีใช้อัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ โดยความถูกต้องนั้นขึ้นอยู่กับ การกำหนดค่าทางจลนพลศาสตร์ซึ่งกำหนดอยู่ในช่วงกว้าง ซึ่งค่าที่ใช้เป็นค่าที่ได้จากต่างประเทศ อาจไม่ใช่ค่าจริงของน้ำเสียไทย โดยต้องอาศัยประสบการณ์จากผู้ออกแบบโดยตรงในการเลือกค่าพารามิเตอร์ การออกแบบด้วยวิธีนี้จึงควรคำนวณควบคู่กันไปกับวิธีการออกแบบโดยใช้ อัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ จึงจะได้งานออกมาถูกต้องที่สุด

### 2.1.9 การแบ่งประเภทของกระบวนการเอเอส (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, คณะวิศวกรรมศาสตร์, 2538)

ระบบเอเอส สามารถแบ่งตามลักษณะใหญ่ๆได้ 2 ลักษณะดังนี้

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

#### 2.1.9.1 แบ่งตามลักษณะภาระบรรทุกทุกสารอินทรีย์ของกระบวนการ

การแบ่งกระบวนการโดยใช้ภาระบรรทุกทุกสารอินทรีย์เป็นตัวกำหนด หมายถึง การแบ่งช่วงการทำงานตามอัตราส่วนของน้ำหนักสารอินทรีย์ต่อน้ำหนักจุลินทรีย์ (F/M ratio) หรือ ค่าอายุสลัดจ์ (Sludge Age, MCRT) ซึ่งจะได้กล่าวละเอียดต่อไปในหัวข้อทฤษฎีของการทำงาน

การทำงานสำหรับภาระบรรทุกทุกสารอินทรีย์ที่เหมาะสม สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วง

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

การควบคุมการทำงานของระบบควรควบคุมระบบให้ทำงานในช่วงที่ได้กำหนดเอาไว้โดยปกติระบบบำบัดน้ำเสียขนาดตั้งแต่ 4,000 ลูกบาศก์เมตร ต่อวัน ขึ้นไปมักออกแบบให้ทำงานในช่วงอัตราการบำบัดธรรมดา สำหรับระบบที่เล็กมักใช้ช่วงอัตราการบำบัดต่ำ ส่วนอัตราการบำบัดสูงมักใช้เป็นเพียงการบำบัดขั้นแรก สำหรับน้ำเสียที่มีค่ามลสารไม่สูงและไม่ต้องการคุณภาพของน้ำทิ้งสูงมากนัก

รายละเอียดของอัตราการบำบัดทั้ง 3 ชนิด มีดังต่อไปนี้

#### 1. อัตราการบำบัดสูง (High Rate)

กระบวนการเอเอสแบบการใช้อัตราการบำบัดสูงจะมีค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic Loading) ประมาณ 0.5-1.5 กิโลกรัม บีโอดี ต่อกิโลกรัม เอ็มแอลวีเอสเอส - วัน โดยจะมีระยะเวลาบำบัดในถังเติมอากาศประมาณ 1-3 ชั่วโมง (ความเข้มข้นของมลสารในน้ำเสียปานกลาง) ค่าอายุสลัดจ์ (น้ำหนักตะกอนจุลินทรีย์ทั้งหมดในระบบต่อ น้ำหนักตะกอนที่ออกจากระบบต่อวัน) ต่ำกว่า 3 วัน และควบคุมให้มีค่าความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศสูงประมาณ 4,000-5,000 มิลลิกรัมเอ็มแอลเอสเอสต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการลดค่าบีโอดีประมาณ ร้อยละ 60-70 ลักษณะของตะกอนจุลินทรีย์จมตัวและแยกชั้นได้ไม่ดี และควบคุมการทำงานยาก ดังนั้น หากต้องการคุณภาพน้ำทิ้งสูงจึงไม่ควรใช้กระบวนการนี้

ในช่วงอัตราการบำบัดสูง (High Rate) อาจมีประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีต่ำแต่สามารถกำจัดได้เร็ว เนื่องจากอายุสลัดจ์ในระบบต่ำและเวลากักน้ำในถังเติมอากาศน้อย เป็นผลให้จุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบไม่สามารถย่อยมลสารในน้ำเสียได้หมด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนที่เป็นมลสารที่ย่อยยาก นอกจากนี้ลักษณะของตะกอนจุลินทรีย์จะจมตัวและแยกชั้นได้ไม่ดี ดังนั้น หากการบำบัดต้องการคุณภาพของน้ำทิ้งสูงจึงไม่ควรใช้อัตราการบำบัดในช่วงนี้ แต่เหมาะที่จะเป็นระบบบำบัดขั้นต้น (Pretreatment)

#### 2. อัตราการบำบัดธรรมดา (Conventional Rate)

กระบวนการบำบัดน้ำเสียส่วนใหญ่มักออกแบบให้ใช้อัตราการบำบัดแบบธรรมดา (Conventional Rate) โดยมีภาระบรรทุกสารอินทรีย์ประมาณ 0.2-0.5 กิโลกรัม บีโอดี ต่อ กิโลกรัม เอ็มแอลวีเอสเอส-วัน มีค่าอายุสลัดจ์ 5-15 วัน ระยะเวลาบำบัดในถังเติมอากาศ 4-8 ชั่วโมง และมีค่าความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศประมาณ 1,500-3,000 มิลลิกรัม เอ็มแอลเอสเอส ต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการลดค่าบีโอดีประมาณร้อยละ 85-95 ใน

การควบคุมการทำงานควรให้มีค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์หรือค่าอายุสลัดจ์ที่กลางช่วง เพราะหากระบบทำงานที่ค่าต่ำสุดหรือสูงสุดของช่วงก็จะเข้าใกล้เขตการทำงานของอัตราการบำบัดแบบอื่นไป อัตราการบำบัดธรรมดา ในช่วงอัตราการบำบัดนี้จะทำให้คุณภาพน้ำทิ้งจากระบบที่ดี ซึ่งกระบวนการบำบัดน้ำเสียส่วนใหญ่มักออกแบบให้ใช้อัตราการบำบัดในช่วงนี้

### 3. อัตราการบำบัดต่ำ (Low Rate)

การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบอัตราการบำบัดต่ำ (Low Rate) มักจะใช้สำหรับระบบบำบัดน้ำเสียขนาดเล็กซึ่งไม่มีการควบคุมดูแลมากนักโดยมีค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ประมาณ 0.05-0.15 กิโลกรัม บีโอดี ต่อ กิโลกรัม เอ็มแอลวีเอสเอส-วัน มีค่าอายุสลัดจ์ 20-40 วัน ระยะเวลาในถังเติมอากาศนานกว่า 24 ชั่วโมง และมีค่าความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ประมาณ 3,500-6,000 มิลลิกรัม เอ็มแอลเอสเอส ต่อลิตร และมีประสิทธิภาพในการลดค่าบีโอดี ประมาณร้อยละ 85-98

ในช่วงอัตราการบำบัดต่ำ จะมีอายุสลัดจ์สูงๆ สามารถเรียกได้อีกชื่อว่า แบบเติมอากาศยาวนาน (Extended Aeration) หรือแบบทำลายทั้งหมด (Total Oxidation) ในอัตราการบำบัดต่ำนี้จะเกิดสลัดจ์ส่วนเกินน้อย แต่อาจเกิดปัญหาสลัดจ์ลอยตัวจากการเกิดดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) และเกิดสลัดจ์เป็นเม็ดเล็กๆ (Pin Point Floc) หลุดออกมากับน้ำทิ้งได้

#### 2.1.9.2 แบ่งตามลักษณะทางกายภาพของการจัดรูปถังเติมอากาศ

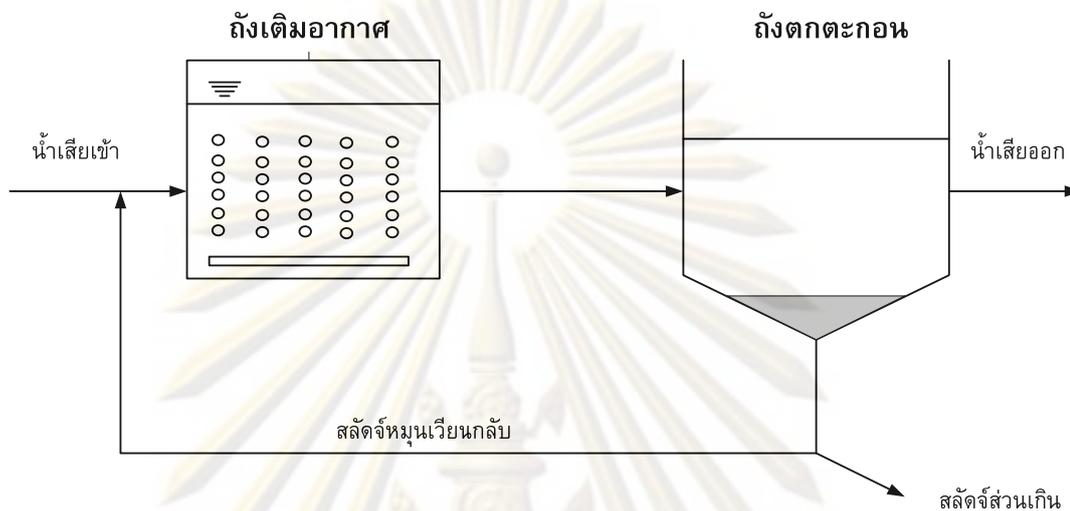
การจัดรูปแบบทางกายภาพของถังเติมอากาศของระบบเอเอส เพื่อความคล่องตัวในการควบคุมการทำงานของระบบและแก้ไขปัญหาที่อาจเกิดขึ้น ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 5 แบบ คือ

1) ระบบเอเอสแบบกวนสมบูรณ์ (Completely Mix Activated Sludge, CMAS)

ลักษณะสำคัญของระบบ CMAS จะต้องถังเติมอากาศที่สามารถให้น้ำและสลัดจ์ที่อยู่ในถังผสมเป็นเนื้อเดียวกัน

กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบนี้มีเสถียรภาพในการทำงานมาก สามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (Shock Load) ได้ดี เนื่องจากน้ำเสียจะกระจายไปทั่วถึงและสภาพแวดล้อมต่างๆ ในถังเติมอากาศก็มีค่าสม่ำเสมอทำให้จุลินทรีย์ต่างๆ ที่มีอยู่มีลักษณะเดียวกันตลอด (Uniform Population) นอกจากนี้ยังพบว่าความต้องการออกซิเจนในถังเติมอากาศแบบกวนสมบูรณ์ที่มีค่าสม่ำเสมอทำให้การให้ออกซิเจน (Aeration) เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ แต่ระบบ CMAS มีปัญหาในเรื่องการตกตะกอนได้ไม่ดีเป็นผลให้มีค่าดัชนีปริมาตรตะกอน (Sludge Volume Index) สูงกว่าแบบอื่นๆ ทั้งนี้เนื่องจากความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในถังเติมอากาศมีค่าต่ำตลอดทั้งถัง ซึ่งเป็นสภาวะที่แบคทีเรียชนิดเส้นใย (Filamentous Bacteria)

สามารถเจริญเติบโตได้ดีกว่าแบคทีเรียชนิดรวมตัวเป็นกลุ่มก้อน (Floc Former Bacteria) ทำให้จุลินทรีย์ส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียชนิดเส้นใยซึ่งจะสานตัวกันเป็นแผ่นไม่รวมตัวกันแน่น และแยกชั้นออกจากน้ำใสได้น้อย ทำให้เกิดปัญหาในถังตกตะกอนชั้นสอง (Secondary Clarifier) เรียกว่าเกิดปัญหาสลัดจ์จมไม่ลง (Sludge Bulking) ระบบ CMAS แสดงดังรูป 2.3



รูปที่ 2.3 ชนิดของระบบเอเอสแบบกวนผสมบูรณ์ (Completely Mix Activated Sludge, CMAS)

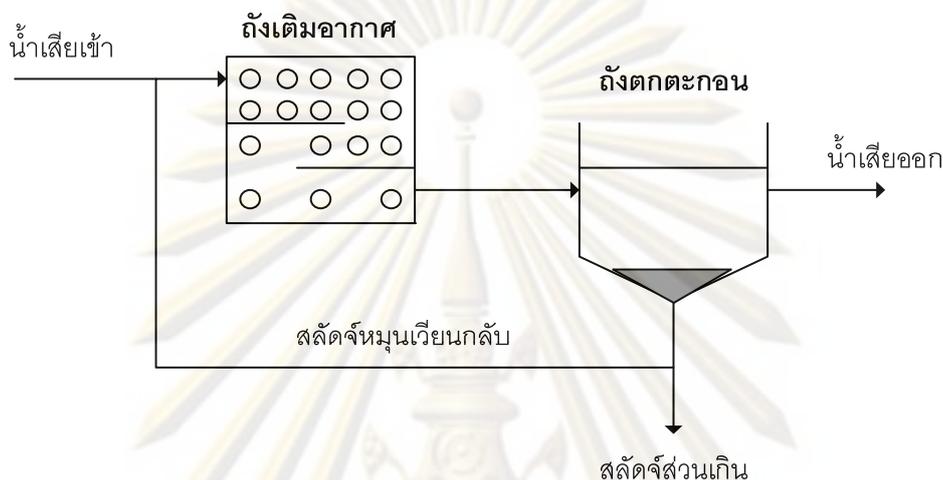
ที่มา: Qasim, 1999

2) ระบบเอเอสแบบไหลตามแนวยาว (Plug Flow Activated Sludge Process)

ออกแบบถังเติมอากาศให้ไหลตามแนวยาวซึ่งประกอบด้วยถังเติมอากาศลักษณะแคบและยาว โดยน้ำเสียและสลัดจ์ไหลกลับจะถูกส่งเข้าทางด้านหนึ่งและน้ำสลัดจ์ไหลออกที่ปลายอีกด้านหนึ่ง การไหลของน้ำแบบนี้ในอุดมคติจะถือว่าการไหลแบบการแทนที่ตามความยาวของถังโดยไม่มีการผสมกันในแนวยาวตามทิศทางการไหลแต่เนื่องจากจะต้องทำการเติมอากาศจึงไม่สามารถหลีกเลี่ยงการผสมกันในแนวยาวได้อย่างสมบูรณ์โดยทั่วไปมักใช้การเติมอากาศโดยการเป่าอากาศ ให้น้ำไหลเป็นรูปเกลียวสวน หรือถ้าใช้เครื่องกลเติมอากาศก็จะต้องแบ่งถังเติมอากาศเป็นถังเล็กๆ ไม่ต่ำกว่า 3 ถัง แล้วให้น้ำผ่านแบบอนุกรม ยิ่งถ้าแบ่งถังออกมากเพียงใดก็จะมีลักษณะใกล้เคียงกันกับการไหลในแนวยาวมากขึ้น

จุดอ่อนของกระบวนการนี้อยู่ที่การไม่สามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วได้ (Shock Load) เนื่องจากน้ำเสียจะไหลลงเพียงจุดเดียวที่หัวถังซึ่งมีปริมาณจุลินทรีย์น้อย ปัญหาที่พบอีกประการหนึ่งก็คือ ที่หัวถังด้านน้ำเสียเข้า จะมีความต้องการออกซิเจนสูงหากระบบถูกออกแบบโดย มีการให้ออกซิเจนจนเฉลี่ยสม่ำเสมอทั้งถังจะทำให้ขาดออกซิเจนที่หัวถังและจะมีค่าออกซิเจนมากที่ปลายถัง ดังนั้นในระยะหลัง การออกแบบถัง

เติมอากาศแบบไหลตามแนวยาวจึงกำหนดให้มีเครื่องเติมอากาศที่หัวถังมากแล้วจึงค่อยๆ ลดปริมาณลงตามความยาวของถังและเรียกกระบวนการแบบนี้ว่า แบบลดการเติมอากาศตามความยาวของถัง (Tapered Aeration) ซึ่งก็เป็นเพียงวางตำแหน่งของเครื่องเติมอากาศให้ตรงกับความต้องการจริงในกระบวนการแบบไหลตามแนวยาวเท่านั้น ระบบเอเอสแบบลดการเติมอากาศตามความยาวของถัง ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ชนิดของระบบเอเอสแบบลดการเติมอากาศตามความยาวของถัง (Tapered Aeration)

ที่มา: Qasim, 1999

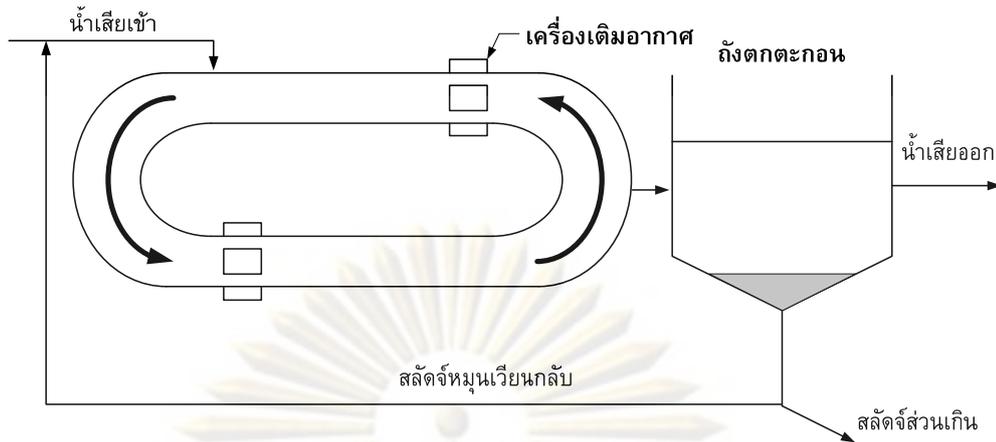
### 3) แบบไหลเป็นวงจร (Circuit Flow Activated Sludge Process)

ระบบแบบไหลเป็นวงจรประกอบด้วยถังเติมอากาศแบบวงกลมหรือวงรีซึ่งทำให้น้ำไหลเวียนตามแนวยาวของถัง การเติมอากาศและการกวนจะใช้เครื่องเติมอากาศซึ่งตีน้ำในแนวนอน (Horizontal Surface Aerator) การไหลของน้ำในถังแบบนี้มีลักษณะเฉพาะคือเป็นได้ทั้งแบบไหลตามแนวยาว (Plug Flow) และแบบกวนสมบูรณ์ (Complete – mix) และระบบนี้ยังสามารถควบคุมให้เกิดสภาพต่างๆ เช่น แอน็อกซิก (Anoxic) และแอนแอโรบิก (Anaerobic) ได้ง่าย ทำให้สามารถบำบัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้

ระบบแบบไหลเป็นวงจรมีตะกอนจุลินทรีย์จากกระบวนการนี้สามารถตกตะกอนได้ดี และระบบก็มีประสิทธิภาพในการทำงานสูง กระบวนการแบบนี้มีชื่อเรียกเฉพาะได้แก่ แบบคลองวนเวียน (Oxidation Ditch) ดังแสดงในรูปที่ 2.5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





รูปที่ 2.5 ชนิดของระบบเอเอสแบบคลองวนเวียน (Oxidation Ditch)

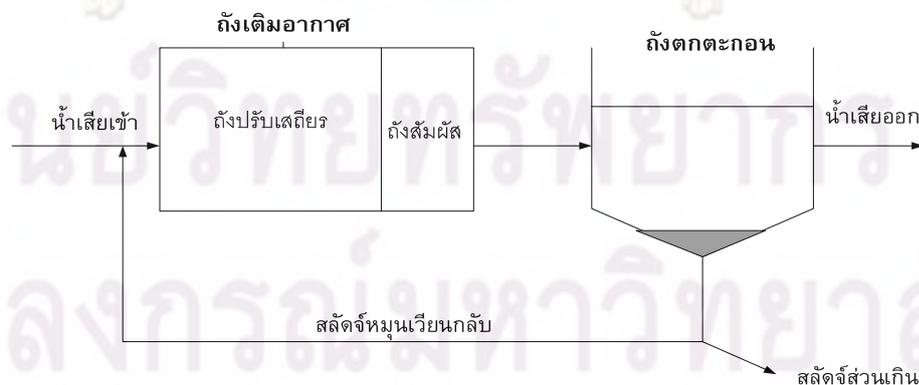
ที่มา: Qasim, 1999

4) ระบบเอเอสแบบนำสลัดจ์กลับมาเติมอากาศใหม่ (Activated Sludge with Sludge Reaeration)

กระบวนการนี้จะเป็นการจัดรูปแบบเกี่ยวกับกรรมวิธีในการไหลของน้ำเสียและสลัดจ์ไหลกลับ (Return Sludge) โดยจะนำสลัดจ์ไหลกลับมาเติมอากาศใหม่เพื่อให้เกิดเป็นช่วงย่อยสลาย (Stabilization) สารอินทรีย์ให้หมดก่อน จากนั้นจึงจะส่งตะกอนจุลินทรีย์ส่วนนี้ไปสัมผัสกับน้ำเสียที่ส่งเข้ามาใหม่เพื่อลดมลสารต่อไปตัวอย่างระบบเอเอสแบบนี้ ได้แก่

1. แบบสัมผัสและย่อยสลาย (Contact Stabilization)

ระบบเอเอสแบบสัมผัสและย่อยสลาย จะแบ่งถังเติมอากาศออกเป็น 2 ถัง โดยสลัดจ์ที่สูบจากถังตกตะกอนชั้นที่สองจะนำมาเติมอากาศในถังย่อยสลาย (Stabilization Tank) ประมาณ 4-8 ชั่วโมง จากนั้นจะนำมาสัมผัสกับน้ำเสียในถังสัมผัส (Contact Tank) ประมาณ 0.5-1 ชั่วโมง เพื่อลดค่าสารอินทรีย์ น้ำที่บำบัดจะไปสู่ถังตกตะกอนชั้นที่สอง สลัดจ์ส่วนหนึ่งจะกลับเข้าสู่ถังย่อยสลายอีกครั้งหนึ่ง (แผนภาพการทำงานแสดงในรูปที่ 2.6)

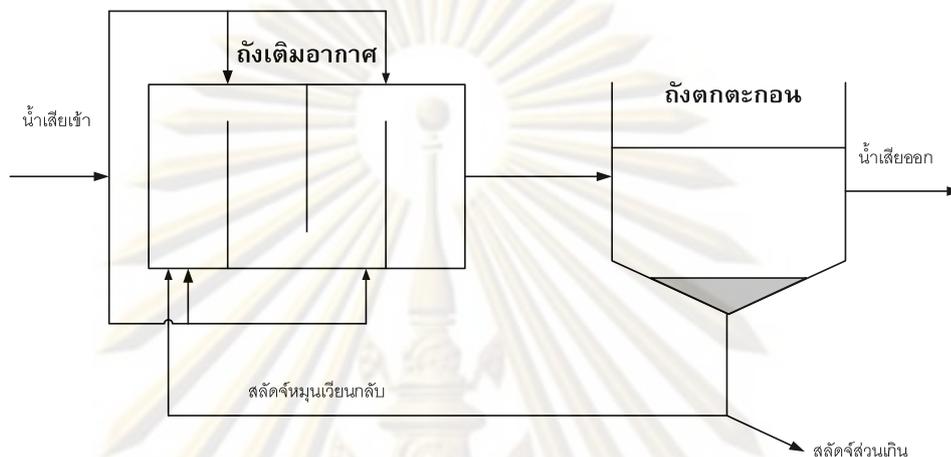


รูปที่ 2.6 ชนิดของระบบเอเอสแบบสัมผัสและย่อยสลาย (Contact Stabilization)

ที่มา: Qasim, 1999

## 2. แบบเติมน้ำเสียเป็นขั้น (Step Feed)

ระบบเอเอสแบบเติมน้ำเสียเป็นขั้น มีถังเติมอากาศเพียงถังเดียว สลัดจ์ที่สูบมาจากถังตกตะกอนจะเข้าสู่หัวถังเติมอากาศ ซึ่งจะมีความเข้มข้นของสลัดจ์ (MLSS) สูง เมื่อไหลไปตามแนวยาวของถังจะถูกน้ำเสียเข้ามาผสม ทำให้ความเข้มข้นลดลงตามลำดับ (แสดงในรูปที่ 2.7)



รูปที่ 2.7 ชนิดของระบบเอเอสแบบเติมน้ำเสียเป็นขั้น  
(Step-feed Aeration Activated Sludge, SAAS)

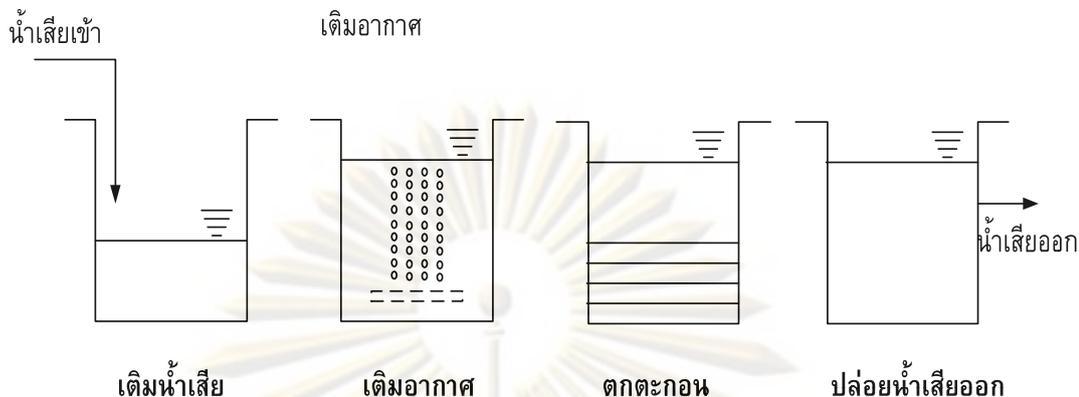
ที่มา: Qasim, 1999

ระบบเอเอสแบบนำสลัดจ์กลับมาเติมอากาศใหม่นี้จะสามารถ รับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้สูง สามารถใช้กระบวนการแบบนี้แก้ไขระบบแบบกวนผสมหรือ แบบไหลตามแนวยาวที่มีปัญหาไม่สามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นได้ โดยดัดแปลงท่อ ผนังกั้นน้ำหรือเปลี่ยนอุปกรณ์เติมอากาศเท่านั้น

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

จะใช้ถังเติมอากาศเป็นทั้งถังปฏิกริยาและถังตกตะกอน ปกติจะมี ปริมาตรของน้ำตะกอนเข้มข้นนี้ประมาณครึ่งหนึ่งของความสูงของถังเติมอากาศ จากนั้นจึงเติมน้ำ เสียเข้ามาในถังโดยคำนวณปริมาตรที่เหลือให้สามารถรับน้ำเสียได้ทั้งหมดตลอดช่วงระยะเวลาที่ น้ำเสียไหล เครื่องเติมอากาศจะให้ออกซิเจนแก่ระบบอย่างเพียงพอ ตั้งแต่เริ่มสูบน้ำเสียเข้าถึง จนถึงประมาณ 3 ชั่วโมงก่อนที่จะเริ่มมีน้ำเสียเข้าระบบในวันต่อไปจึงปิดเครื่องเติมอากาศ เพื่อให้ ตะกอนจุลินทรีย์จมลงก้นถังเป็นเวลาประมาณ 1-2 ชั่วโมง จากนั้นจึงถ่ายน้ำเสียในส่วนบนซึ่ง ได้รับการบำบัดแล้วทิ้งออก ถ้าเป็นระบบที่มีการใช้ถังหลายใบทำงานสลับหรือต่อเนื่องกัน ทำให้ สามารถรับน้ำเสียได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่ต้องใช้ถังตกตะกอน จะเรียกระบบเอเอสแบบนี้ว่า

เอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor Activated Sludge, SBR AS) แผนภาพการทำงานแสดง  
ในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ชนิดของระบบเอเอสแบบการเติมเข้า-ถ่ายออก

(Sequencing Batch Reactor Activated Sludge, SBR AS)

ที่มา: Qasim, 1999

#### 2.1.10 การควบคุมการทำงานของระบบบำบัดแบบเอเอส

การควบคุมการทำงานของระบบบำบัดแบบเอเอส ก็เพื่อให้ระบบบำบัดน้ำเสียสามารถบำบัดได้อย่างต่อเนื่อง และคุณภาพของน้ำที่บำบัดแล้วมีค่าไม่เกินมาตรฐานน้ำเสียตามกฎหมาย ซึ่งการควบคุมสามารถทำได้ดังนี้

##### 2.1.10.1 การควบคุมค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M)

ค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ (Food to Microorganism Ratio, F/M) เป็นค่าที่ใช้ในการออกแบบ ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมให้ค่า F/M คงที่ใกล้เคียงกับที่ออกแบบไว้ เพื่อให้ระบบทำงานได้ดี จากสมการที่ (2.2) ที่ผ่านมา พบว่าค่าอาหาร (F) หรือค่าบีโอดีในน้ำเข้านั้นเป็นค่าที่ปรับได้ยากเนื่องจากค่าดังกล่าวจะเปลี่ยนแปลงตามลักษณะสมบัติของน้ำเสีย ดังนั้นในการควบคุมระบบ จึงทำการเปลี่ยนแปลงค่าน้ำหนักของจุลินทรีย์ (M) ซึ่งวัดในรูปของ เอ็มแอลเอสเอส หรือ เอ็มแอลวีเอสเอส โดยการทิ้งสลัดจ์ออกจากระบบ ถ้าทิ้งสลัดจ์มาก เอ็มแอลเอสเอส จะต่ำทำให้ค่า F/M สูงขึ้น ในทางกลับกัน ถ้าทิ้งสลัดจ์น้อย เอ็มแอลเอสเอส จะสูงทำให้ค่า F/M ต่ำลง

ในทางปฏิบัติไม่นิยมควบคุมระบบเอเอสด้วยวิธีนี้ เนื่องจากหากต้องการทราบค่า F/M จะต้องทำการวัดค่าบีโอดี ซึ่งจะใช้เวลาอย่างน้อย 5 วัน

### 2.1.10.2 การควบคุมอายุสลัดจ์

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

$$\text{อายุสลัดจ์} = \frac{\text{น้ำหนักตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ}}{\text{น้ำหนักตะกอนจุลินทรีย์ที่ทิ้งออกจากระบบต่อวัน}} \quad (2.4)$$

วิธีการควบคุมระบบเอเอสด้วยการควบคุมอายุสลัดจ์ ถือเป็น การควบคุมค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ไปในตัว และสามารถคำนวณปริมาณสลัดจ์ที่นำไปทิ้งได้อย่างถูกต้อง นอกจากนี้ วิธีการควบคุมก็ง่าย ไม่ต้องใช้การวิเคราะห์ที่ยุ่งยาก ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงได้เลือกใช้วิธีควบคุมระบบด้วยการควบคุมอายุสลัดจ์นี้

จากสมการที่ (2.4) จะเห็นได้ว่าหากนำตะกอนจุลินทรีย์ไปทิ้งมาก ค่าอายุสลัดจ์ก็จะลดลง และหากนำตะกอนจุลินทรีย์ไปทิ้งน้อย ค่าอายุสลัดจ์ก็จะเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้อาจกล่าวได้ว่า ถ้าลดค่าอายุสลัดจ์จะทำให้มีน้ำหนักของตะกอนจุลินทรีย์ที่ต้องทิ้งออกจากระบบเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากจุลินทรีย์มีอัตราการเจริญเติบโตสูงขึ้น และจะให้ผลตรงข้ามหากทำการเพิ่มค่าอายุสลัดจ์

ในการปรับค่าอายุสลัดจ์ของระบบเอเอสในแต่ละครั้งนั้น จะต้องใช้เวลาประมาณ 1-3 เท่าของค่าอายุสลัดจ์เพื่อให้ระบบปรับตัวให้อยู่ในสภาวะคงที่ และจะต้องติดตามค่าน้ำหนักของเอ็มแอลเอสเอสที่ใช้บำบัดน้ำเสีย และปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ที่ต้องนำไปทิ้งทุกวัน จนกว่าค่าที่ได้จากการตรวจสอบจะไม่มี การเปลี่ยนแปลงมากนัก (จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, คณะวิศวกรรมศาสตร์, 2538)

ในทางปฏิบัติสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไป มักจะทำการควบคุมอายุสลัดจ์โดยการปรับอัตราการทิ้งสลัดจ์ออกจากระบบทางก้นถังตกตะกอน ซึ่งเป็นวิธีการที่นิยมใช้กันมากที่สุด โดยการระบายสลัดจ์ทั้งทางก้นถังตกตะกอน สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.5) ดังนี้

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

เมื่อ	$\theta_c$	=	ค่าอายุสลัดจ์ (วัน)
	$Q_w$	=	อัตราการระบายสลัดจ์ทิ้ง (ลูกบาศก์เมตร/วัน)
	$X_r$	=	ความเข้มข้นของสลัดจ์ที่ถูกหมุนเวียนกลับมาที่ ถังเติมอากาศ (มิลลิกรัม/ลิตร)
	$X_e$	=	ความเข้มข้นของสลัดจ์แขวนลอยในน้ำทิ้งที่ ล้นออกจากถังตกตะกอน (มิลลิกรัม/ลิตร)
	$V$	=	ปริมาตรถังเติมอากาศ (ลูกบาศก์เมตร)
	$Q$	=	อัตราการไหลของน้ำเสียที่เข้าถังเติมอากาศ (ลูกบาศก์เมตร/วัน)
	$X$	=	ความเข้มข้นของสลัดจ์ในถังเติมอากาศหรือ เอ็มแอลเอสเอส (มิลลิกรัม/ลูกบาศก์เมตร)

ในกรณีระบบเอเอสทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ค่า  $X_e$  จะต่ำมาก  
ดังนั้นสมการที่ (2.5) จะสามารถเขียนใหม่ได้เป็น

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

การควบคุมค่าอายุสลัดจ์อีกวิธีสามารถทำได้โดยการปรับอัตราการทิ้ง  
สลัดจ์ออกจากระบบโดยการทิ้งตะกอนจุลินทรีย์โดยตรงจากถังเติมอากาศ 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) จะเห็นได้ว่าการควบคุมระบบ  
ด้วยสมการที่ (2.8) นั้นสามารถทำได้ง่ายกว่าสมการที่ (2.6) เนื่องจาก  $V$  มีค่าคงที่ ดังนั้นการ  
ควบคุม  $\theta_c$  จะขึ้นกับ  $Q_w$  เพียงค่าเดียวเท่านั้น

ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอสระบบใหญ่ๆ มักจะไม่ทิ้งสลัดจ์โดยตรง  
จากถังเติมอากาศเพราะมีค่าความเข้มข้นของสลัดจ์ต่ำทำให้น้ำสลัดจ์ที่นำมาทิ้งมีปริมาตรสูง  
ดังนั้นในระบบเอเอสที่มีขนาดใหญ่จึงทำการทิ้งสลัดจ์จากถังตกตะกอน

จะเห็นได้ว่าการควบคุมค่าอายุสลัดจ์นั้นสิ่งที่ต้องวัดมีเพียงเอ็มแอลเอสเอส ซึ่งเป็นค่าที่สามารถวัดได้ง่ายดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการควบคุมอายุสลัดจ์โดยการทิ้งสลัดจ์โดยตรงจากถังเติมอากาศเนื่องจากสามารถทำการควบคุมระบบได้ง่ายกว่าการทิ้งสลัดจ์จากกันถังตกตะกอน

#### 2.1.10.3 การควบคุมการทิ้งสลัดจ์ส่วนเกิน

การนำสลัดจ์ส่วนเกินไปทิ้งก็เพื่อรักษาค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์หรือค่าอายุสลัดจ์ให้มีค่าคงที่และระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพตลอดเวลา ซึ่งก็คือการควบคุมค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ หรือการควบคุมค่าอายุสลัดจ์ ดังที่ได้กล่าวมาในหัวข้อที่ 2.1.9.1 และ 2.1.9.2 นั่นเอง

#### 2.1.10.4 การควบคุมการสูบสลัดจ์กลับ

การสูบสลัดจ์ที่อยู่ส่วนล่างของถังตกตะกอนกลับมาเข้าถังเติมอากาศเพื่อนำมาใช้บำบัดน้ำเสียใหม่ และเพื่อรักษาความสูงของชั้นสลัดจ์ในถังตกตะกอนไม่ให้สูงเกินไป อัตราการสูบสลัดจ์กลับจะมีค่าประมาณร้อยละ 20-200 เมื่อเทียบกับอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบ

อัตราการสูบสลัดจ์กลับขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น อัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบ ความเข้มข้นของบีโอดี อัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ อุณหภูมิ ค่าความเข้มข้นของ เอ็มแอล-เอสเอส และความเข้มข้นของน้ำสลัดจ์ที่สูบกลับ

การคำนวณอัตราการสูบสลัดจ์กลับใช้หลักการสมมูลมวลจุลินทรีย์โดยคำนวณจากการวัดค่า เอ็มแอลเอสเอส ในถังเติมอากาศและในท่อสูบสลัดจ์กลับแต่เนื่องจากระบบเอเอสในงานวิจัยนี้เป็นเพียงระดับห้องปฏิบัติการซึ่งมีขนาดเล็กจึงไม่จำเป็นต้องทำการควบคุมระบบ เอเอสด้วยวิธีการนี้

## 2.2 กระบวนการตกตะกอน

การตกตะกอนเป็นวิธีแยกอนุภาคของแข็งออกจากของเหลวด้วยแรงดึงดูดของโลกผลจากการตกตะกอน ทำให้ได้ส่วนประกอบ 2 ส่วนคือ น้ำใสและสลัดจ์ (Sludge) ถ้าจุดมุ่งหมายของการตกตะกอนเป็นไปเพื่อให้ได้น้ำใสการตกตะกอนจะเป็นแบบที่เรียกว่าการทำใส (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)

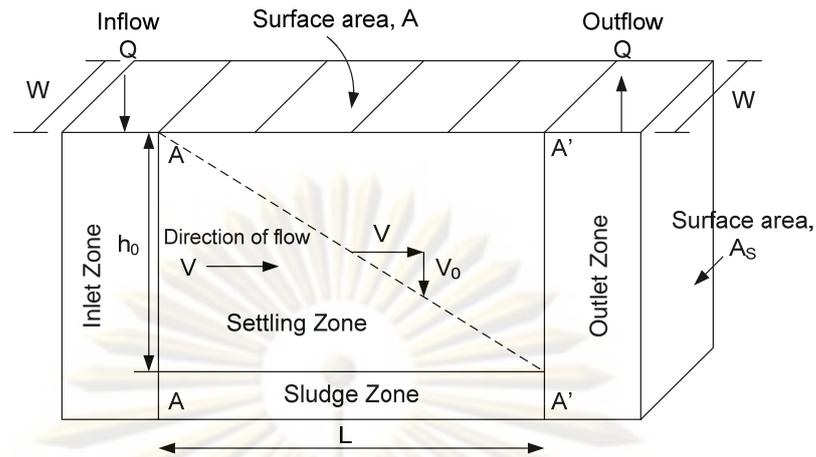
น้ำที่มีความเข้มข้นของสลัดจ์แขวนลอยต่ำ อาจตกตะกอนเป็นแบบโดด หรือ รวมกลุ่มก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะสมบัติของสลัดจ์หรืออนุภาค ถ้าสลัดจ์แขวนลอยไม่สามารถจับตัวกันเป็นกลุ่ม การตกตะกอนจะเป็นแบบโดดตัวอย่างของการตกตะกอนแบบนี้ได้แก่การตกตะกอนของเม็ดกรวดหรือทรายขนาดต่างๆ ถ้าสลัดจ์แขวนลอยมีแนวโน้มในการจับกันเป็นกลุ่มหรือเป็นก้อน การตกตะกอนจะเป็นแบบรวมกลุ่ม ตัวอย่าง ได้แก่ การตกตะกอนของน้ำเสีย หรือของฟล็อกสารส้ม หรือฟล็อกที่เกิดจากสารโคแอกกูแลนต์ (Coagulant) ชนิดอื่นๆ เป็นต้น น้ำที่มีสลัดจ์แขวนลอยอยู่ในระดับปานกลางหรือสูง (เช่น มีความเข้มข้นสูงกว่า 1,000–2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร) มักมีการตกตะกอนแบบแบ่งชั้น ทั้งนี้เนื่องจากอนุภาคแต่ละอนุภาคอยู่ติดกัน และเคลื่อนที่ลงด้วยอัตราเร็วเดียวกัน ทำให้เห็นเป็นชั้นแยกกันระหว่างน้ำใสและอนุภาค ซึ่งการตกตะกอนของระบบเอเอส (Activated sludge) เป็นตัวอย่างของการตกตะกอนที่เป็นชั้นที่เห็นได้ชัดกว่าตัวอย่างอื่น สำหรับการตกตะกอนแบบอัดตัว เกิดขึ้นเมื่อน้ำมีปริมาณสลัดจ์แขวนลอยอยู่ในระดับสูงมาก และมักเกิดขึ้นที่ก้นถังตกตะกอน การตกตะกอนแบบอัดตัวอาจถือได้ว่าเกิดขึ้นหลังจากที่การตกตะกอนแบบอื่นๆ ได้เกิดขึ้นแล้วการอัดตัวเกิดขึ้นเนื่องจากอนุภาคต่างๆ วางซ้อนกันในขณะที่มีการถ่ายเทน้ำหนักให้กับอนุภาคที่อยู่ข้างล่าง

### 2.2.1 ทฤษฎีในการตกตะกอน

ทฤษฎีสำหรับอธิบายกลไกในการตกตะกอน ทั้ง 4 แบบ สามารถแสดงได้ดังนี้

#### 1) ทฤษฎีสำหรับการตกตะกอนแบบโดด

รูปที่ 2.9 แสดงให้เห็นถึงการตกตะกอนแบบอุดมคติ กรณีของถังแบบอุดมคตินี้ ถือว่าแต่ละอนุของน้ำเคลื่อนที่เข้าสู่บริเวณตกตะกอนในลักษณะที่เป็นระนาบแนวตั้ง (ระนาบ A-A) โดยมีความเข้มข้นของสลัดจ์แขวนลอยขนาดต่างๆ คงที่ตลอดทั้งระนาบ อนุของน้ำเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ 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 2.9 การวิเคราะห์ถังตกตะกอนแบบอุดมคติ

ที่มา: มั่นสิน ตันทุลเวศม์, 2537

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

สมมติว่าอนุภาคทั้งหมดตกตะกอนอย่างอิสระ และอนุภาคที่ตกถึงก้นถังถือว่าถูกกำจัดออกไป ระยะเวลาในแนวเส้นประแสดงถึงวิถีทางเคลื่อนที่ของอนุภาคขนาดเล็กที่สุดที่สามารถถูกกำจัดออกไปทั้งหมด เมื่อพิจารณาการตกตะกอนบนเส้นประ ซึ่งอนุภาคน้ำเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ ในแนวราบ =  $V$  ความเร็วในการตกตะกอน =  $V_0$  สมมติให้  $t$  เป็นเวลาที่ใช้ในการตกตะกอน และเมื่อเวลาเท่ากับระยะทางในการตกตะกอนหารด้วยความเร็วของการตกตะกอน

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

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

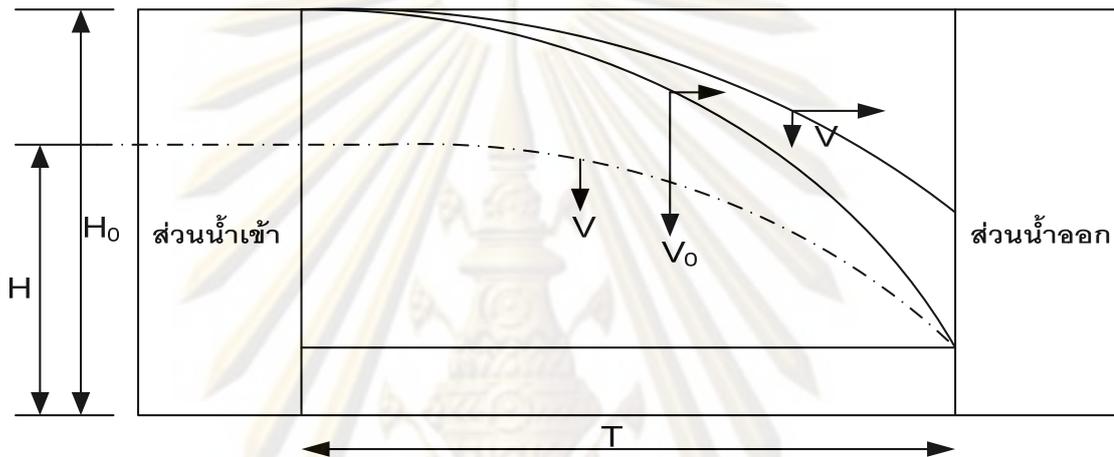
ดังนั้น 
$$V_0 = \frac{Q}{WL} = \frac{Q}{A} \quad (2.12)$$

โดยเทอม  $Q/A$  มีบทบาทสำคัญมากในการออกแบบและควบคุมถังตกตะกอน สำหรับถังตกตะกอนแบบอุดมคติที่มีขนาดพื้นที่ผิวน้ำเท่ากับ  $A$  และอัตราการไหลเข้าถึงเท่ากับ  $Q$  จะสามารถกำจัดอนุภาค (ด้วยวิธีตกตะกอน) ได้ทุกที่ตาม ที่ตกตะกอนด้วยความเร็วสูงกว่าหรือเท่ากับ  $Q/A$  ได้ทั้งหมด ซึ่งเทอม  $Q/A$  มีชื่อเรียกได้หลายอย่าง เช่น Surface Loading Rate, Surface Overflow Rate ฯลฯ หรือเรียกเป็นภาษาไทยว่า "อัตราการล้นผิว"



## 2) ทฤษฎีสำหรับการตกตะกอนแบบรวมกลุ่ม

ในกรณีที่การตกตะกอนของอนุภาคต่างๆมีโอกาสสามารถกันเป็นกลุ่มก้อนที่มีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมากขึ้นความเร็วในการตกตะกอนจะเพิ่มขึ้นทำให้วิถีของการตกตะกอนเป็นเส้นโค้งดังแสดงในรูปที่ 2.10 การตกตะกอนของสารส้มหรือตะกอนที่เกิดจากกระบวนการโคแอกกูเลชันจัดว่าเป็นการตกตะกอนแบบรวมกลุ่มหนึ่งแม้ว่าประสิทธิภาพในการตกตะกอนแบบโคแอกกูเลชันจะขึ้นอยู่กับอัตราน้ำล้นผิวเพียงอย่างเดียวแต่ประสิทธิภาพในการตกตะกอนแบบรวมกลุ่มจะขึ้นอยู่กับอัตราน้ำล้นผิวและเวลากักน้ำ



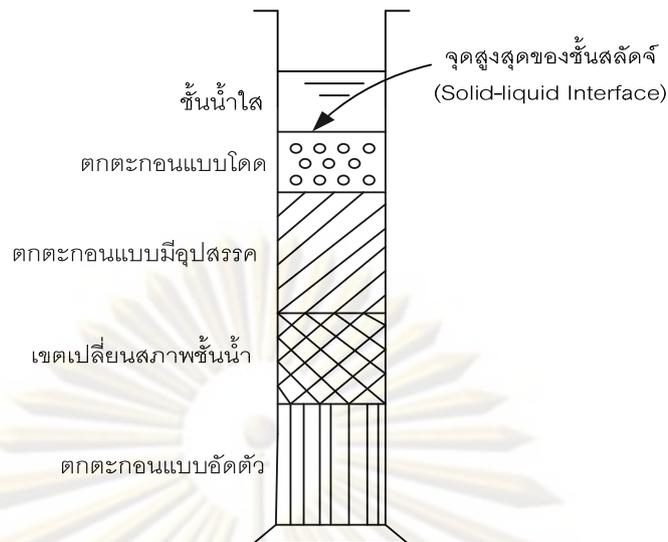
รูปที่ 2.10 การตกตะกอนแบบรวมกลุ่ม

ที่มา: มั่นสิน ตันกุลเวศม์, 2537

เนื่องจากการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ไม่อาจกระทำได้ในกรณีของการตกตะกอนแบบรวมกลุ่ม การหาพารามิเตอร์ที่จำเป็นต่างๆ จึงต้องกระทำโดยการวิเคราะห์ด้วยผลการทดลองตกตะกอนในถังทรงกระบอก

## 3) ทฤษฎีสำหรับการตกตะกอนแบบแบ่งชั้นหรือแบบมีอุปสรรค

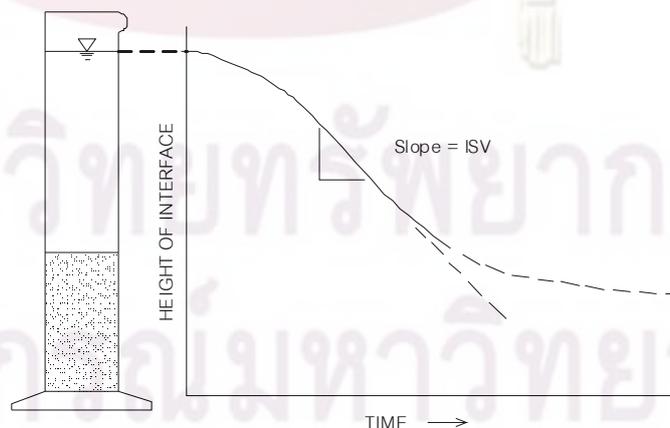
การตกตะกอนแบบแบ่งชั้น เกิดขึ้นเมื่ออนุภาคต่างๆ จับตัวกันเป็นกลุ่มใหญ่จนเสมือนเป็นวัตถุก้อนเดียวที่ตกตะกอนด้วยอัตราเดียวกัน เมื่อมีการตกตะกอนแบบแบ่งชั้นจะเห็นการแยกตัวระหว่างชั้นสลัดจ์และน้ำอย่างเด่นชัด (ดังแสดงในรูปที่ 2.11) การตกตะกอนเช่นนี้เกิดขึ้นได้เฉพาะกับน้ำที่มีสลัดจ์แขวนลอยเข้มข้นสูง ตัวอย่างของการตกตะกอนแบบแบ่งชั้นได้แก่ การตกตะกอนของระบบเอเอสในระบอบกวดวง หรือการตกตะกอนของผลึกแคลเซียมและแมกนีเซียม



รูปที่ 2.11 การตกตะกอนแบบแบ่งชั้น

ที่มา: มั่นสิน ตันกุลเวศม์, 2537

เมื่อปล่อยให้มีการตกตะกอนแบบแบ่งชั้นในกระบอกตรงหรือกระบอกใส และวัดระดับของจุดสูงสุดของชั้นสลัดจ์ (Solid-Liquid Interface) ที่ระยะเวลาต่างๆ เมื่อนำความสูงของชั้นสลัดจ์มาเขียนความสัมพันธ์เทียบกับเวลา จะได้กราฟที่มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2.12 ชั้นสลัดจ์จะตกตะกอนด้วยอัตราคงที่และสูงสุดในระยะแรก จากนั้นจะตกตะกอนช้าลงเรื่อยๆ จนในที่สุดเกือบไม่มีการตกตะกอนเกิดขึ้นเลย การเปลี่ยนแปลงของอัตราเร็วในการตกตะกอนจะเกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของชั้นสลัดจ์เกิดขึ้น ระยะแรกอนุภาคต่างๆ แขนงลอยอยู่ในน้ำอย่างหลวมเมื่อมีการตกตะกอนมาช่วงกลางของกระบอกตรง การตกตะกอนจะเป็นแบบมีอุปสรรค (Hindered Settling) แต่ก็ยังมีช่องว่างในการตกตะกอนได้อีกบ้างและสุดท้ายการตกตะกอนจะเป็นแบบอัดตัว การตกตะกอนจะช้าจนไม่สามารถตกตะกอนได้อีก



รูปที่ 2.12 วิธีหากราฟของการตกตะกอนแบบแบ่งชั้น

ที่มา: มั่นสิน ตันกุลเวศม์, 2537

#### 4) ทฤษฎีสำหรับการตกตะกอนแบบอัดตัว

การตกตะกอนแบบอัดตัวเป็นลักษณะการตกตะกอนที่เกิดขึ้นจากการทับถมอัดตัวของชั้นสลัดจ์ ณ ก้นถังตกตะกอน หลังจากที่เกิดการตกตะกอนในรูปแบบอื่นๆแล้วเป็นระยะเวลา นาน 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  $t$   
 $H_\infty$  คือ ความสูงของสลัดจ์หลังเกิดการตกตะกอนในช่วงระยะเวลาหนึ่งโดยกำหนดให้เป็น 24 ชั่วโมง  
 $H_2$  คือ ความสูงของสลัดจ์ที่เวลา  $t_2$   
 $i$  คือ ค่าคงที่ที่ใช้ในสมการการวิเคราะห์การตกตะกอนแบบอัดตัว

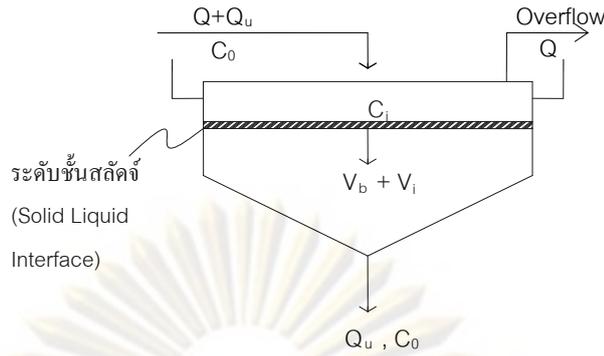
### 2.2.2 การหาอัตราเร็วของการตกตะกอนในระบบเอเอส

การตกตะกอนในระบบเอเอส เป็นการตกตะกอนแบบที่ 3 หรือ การตกตะกอนแบบแบ่งชั้นการวิเคราะห์ผลการตกตะกอนแบบแบ่งชั้นหรือแบบมีอุปสรรคทำได้โดยการวิเคราะห์การตกตะกอนโดยใช้ทฤษฎีฟลักซ์ของแข็ง (Solid Flux Theory) ทฤษฎีดังกล่าวมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

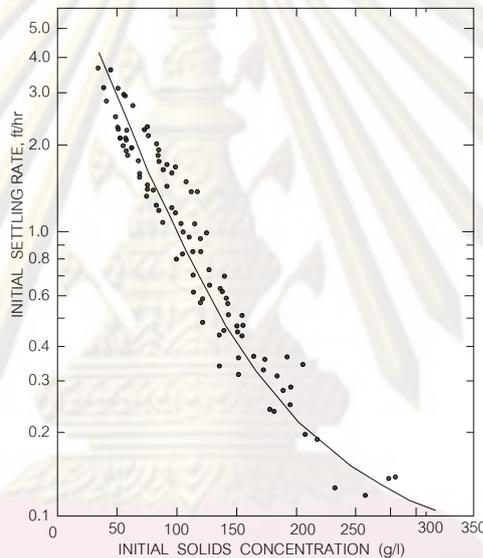
#### 2.2.2.1 ทฤษฎีโซลิดฟลักซ์ (Solids Flux Theory)

เมื่อพิจารณาจากถังตกตะกอนซึ่งได้รับน้ำที่มีสลัดจ์แขวนลอยเข้มข้นจนมีการตกตะกอนแบบแบ่งชั้นเกิดขึ้น ในกรณีเช่นนี้จำเป็นต้องมีการระบายสลัดจ์ออกจากก้นถังตกตะกอน (รูปที่ 2.13) การเคลื่อนที่ของชั้นสลัดจ์ในถังจึงเกิดขึ้นเนื่องจากแรง 2 ชนิดคือแรงดึงดูดของโลกและแรงที่เกิดจากการระบายสลัดจ์ออกจากถังตกตะกอน (จากการดูดสลัดจ์ออก)

- ให้  $v_i$  คือ ความเร็วในการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ  $C_i$   
 และ  $v_b$  คือ ความเร็วของสลัดจ์ที่เคลื่อนที่ลงเนื่องจากการระบายสลัดจ์ออกจากก้นถังตกตะกอน



รูปที่ 2.13 การเคลื่อนที่ของตะกอนสลัดจ์ในถังตกตะกอน  
ที่มา: Water Pollution Control Federation, 1985



รูปที่ 2.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสลัดจ์ (C)  
และอัตราเร็วเริ่มต้น ในการตกตะกอนของชั้นสลัดจ์  
ที่มา: มั่นสิน ตันกุลเวศม์, 2537

การเคลื่อนที่ของชั้นสลัดจ์ผ่านถังตกตะกอนวัดในเทอมของมวลน้ำหนัที่ตกตะกอนต่อเวลาต่อพื้นที่ของถัง เรียกว่า ไชลิตฟลักซ์ (Solid Flux) หรือ  $G$  มีหน่วย กิโลกรัม /ตารางเมตร-ชั่วโมง หรือ ปอนด์/ตารางฟุต-ชั่วโมง สลัดจ์ที่มีความเข้มข้น  $C$  และมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว  $v_i$  จะมีไชลิตฟลักซ์ หรือ  $G$  ซึ่งคำนวณได้ดังสมการที่ (2.14)

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

เนื่องจากความเร็วการเคลื่อนที่ของชั้นสลัดจ์ในถังตกตะกอน เกิดขึ้นด้วยสาเหตุ 2 อย่าง คือ ความเร็วของแรงโน้มถ่วงของโลก  $v_i$  และความเร็วของการดูดสลัดจ์ออก  $v_b$  ไชลิตฟลักซ์ทั้งหมดของถังตกตะกอน ( $G_T$ ) จึงมีค่าดังนี้

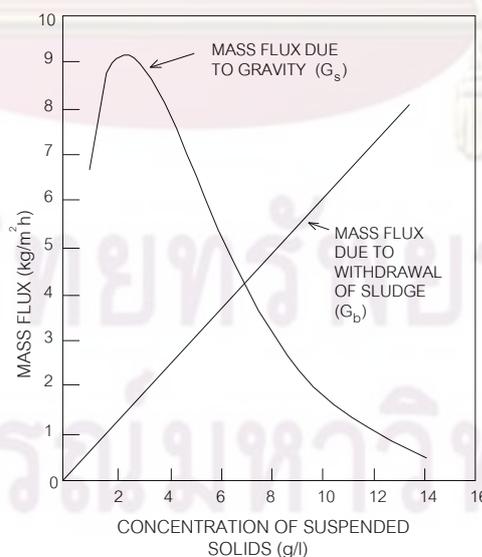
$$G_T = G_b + G_g \quad (2.15)$$

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

$G_b$  และ  $G_g$  เรียกว่า Bulk Flux และ Settling Flux ตามลำดับ  $G_b$  เป็นฟลักซ์ที่เกิดจากการระบายสลัดจ์ออกจากถังตกตะกอน ส่วน  $G_g$  เป็นฟลักซ์ที่เกิดจากการเคลื่อนที่ด้วยน้ำหนักตัวของชั้นสลัดจ์ (เนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก)

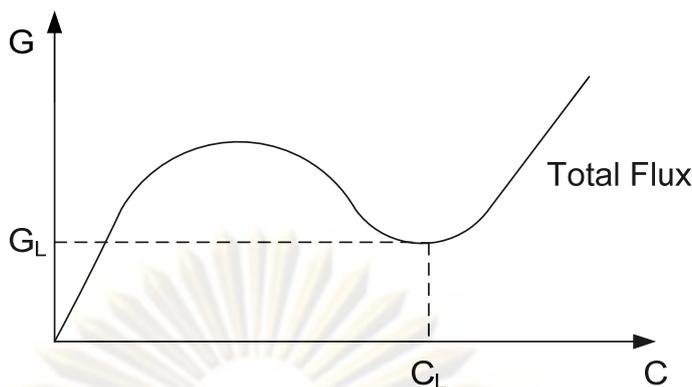
Settling Flux หรือ  $G_g$  สามารถหาได้ โดยการทดลองตกตะกอนสลัดจ์ที่มีความเข้มข้นต่างๆ ในกระบอกใส วัดความสูงของชั้นสลัดจ์ที่เวลาต่างๆ และนำมาเขียนกราฟระหว่างความสูงและเวลา (แสดงดังรูปที่ 2.12) ความชันของกราฟส่วนที่เป็นเส้นตรง จะเท่ากับความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน (Initial Settling Velocity, ISV) ของสลัดจ์ที่มีความเข้มข้นค่าใดค่าหนึ่ง สลัดจ์จากแหล่งเดียวกัน แต่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน จะมีความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอนไม่เท่ากัน

สลัดจ์ที่มีความเข้มข้นสูงจะตกตะกอนช้า ทั้งนี้เพราะความเข้มข้นของสลัดจ์แขวนลอย เป็นอุปสรรคต่อการตกตะกอน รูปที่ 2.14 เป็นตัวอย่างแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสลัดจ์ และอัตราเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอน แต่ละจุดของกราฟที่ได้เป็นผลซึ่งได้จากการทดลองตกตะกอนสลัดจ์ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นแตกต่างกันในกระบอกใส การเปลี่ยนแปลงของ  $G_g$  ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ อาจดูได้จากกราฟที่เขียนดังแสดงในรูปที่ 2.15 จะเห็นได้ว่า การเพิ่มความเข้มข้นในระยะแรกทำให้สลัดจ์เคลื่อนที่ผ่านถังตกตะกอนได้รวดเร็วขึ้น แต่เมื่อถึงความเข้มข้นระดับหนึ่งแล้ว การเพิ่มความเข้มข้นทำให้สลัดจ์เคลื่อนที่ช้าลง



รูปที่ 2.15 โขลิตฟลักซ์  $G_g$  และ  $G_b$  ของถังตกตะกอนที่ระดับความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอย

ที่มา: มั่นสิน ตันกุลเวศม์, 2537



รูปที่ 2.16 เส้นโค้ง Total flux และการหาค่า  $G_L$  แบบธรรมดา  
ที่มา: มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2537

Bulk Flux ( $G_b$ ) สามารถหาได้ง่ายกว่า  $G_g$  เพราะไม่ต้องทำการทดลองใดๆ เลย  $G_b$  ที่ระดับความเข้มข้นใดๆ คำนวณได้โดยตรง จากผลคูณระหว่างความเข้มข้นนั้นๆ กับความเร็วของการไหลในการระบายสลัดจ์ (รูปที่ 2.15) การเปลี่ยนอัตราเร็วในการระบายสลัดจ์ออกจากถังตกตะกอน ( $v_b$ ) ทำให้กราฟ  $G_b$  มีความแตกต่างกัน

กราฟของ Total Flux ( $G_T$ ) ได้มาจากผลบวกระหว่าง  $G_g$  และ  $G_b$  และสามารถเขียนกราฟได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.16 ภาพนี้แสดงว่า สลัดจ์ที่มีความเข้มข้น  $C_L$  จะมีค่าฟลักซ์น้อยที่สุด (Limiting Flux หรือ  $G_L$ ) หมายความว่าถึงตกตะกอนแต่ละใบ ซึ่งมีอัตราการระบายสลัดจ์ ออกจากถังตกตะกอนคงที่ ( $v_b$ ) จะมีความสามารถจำกัดในการรับสลัดจ์แขวนลอย นั่นคือสลัดจ์จะเคลื่อนที่ผ่านถังตกตะกอนได้ไม่เกินค่า  $G_L$  ถ้าน้ำพาสลัดจ์แขวนลอยเข้าถังตกตะกอนในอัตราสูงกว่า  $G_L$  การระบายสลัดจ์ออกจากถังตกตะกอนด้วยอัตรา  $v_b$  ซึ่งใช้คำนวณ  $G_L$  จะไม่เร็วพอเพียง ทำให้สลัดจ์สะสมในถังตกตะกอน การเพิ่ม  $v_b$  จะทำให้  $G_L$  เพิ่มขึ้นด้วย แต่มีข้อเสียคือ ทำให้สลัดจ์ที่ระบายออกมีความเข้มข้นต่ำและมักทำให้ต้องเปลี่ยนแปลงงานในการสูบสลัดจ์เพิ่มขึ้น ดังนั้นการเพิ่ม  $v_b$  จึงมีขีดจำกัด เพื่อให้ได้ค่า  $G_L$  ที่เหมาะสมที่สุด

### 2.2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับขนาดในการตกตะกอน

กฎของสโตคเป็นกฎพื้นฐานที่ใช้ในการคำนวณหาความเร็วในการแยกอนุภาค ด้วยกระบวนการและอุปกรณ์ในการแยกต่างๆ เช่น ถังตกตะกอน โดยมีสมมติฐานว่าอนุภาคนั้นมีรูปร่างเป็นทรงกลมและเมื่อเคลื่อนที่เข้าไปในระบบที่พิจารณา เช่น ถังตกตะกอน อนุภาคจะตกตะกอนลงเนื่องจากความเร่งโน้มถ่วงของโลก ซึ่งการเคลื่อนที่ลงของอนุภาคจะมีแรงต้านที่เรียกว่า แรงลาก (Drag force) ที่เกิดจากความหนืดของของเหลว (Viscosity) ที่มีทิศทางตรงข้ามกับการเคลื่อนที่ของอนุภาค

ในการหาความเร็วในการแยกอนุภาคออกนั้น ก็เพื่อที่จะบ่งบอกถึงความสามารถในการแยกอนุภาคของแข็งออกจากน้ำซึ่งแสดงได้จากสมการกฎของสโตค(Stoke's law equation) (Metcalf and Eddy, 2003) ดังแสดงในสมการที่ (2.17)

$$V_p = \frac{\Delta\rho \cdot d_p^2 \cdot g}{18\mu} \quad (2.17)$$

เมื่อ

$V_p$  = ความเร็วในการตกตะกอน (Terminal velocity) หน่วย เมตรต่อวินาที

$\Delta\rho$  = ความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นของอนุภาคและของเหลว หน่วย กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

$d_p$  = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค (Particle diameter) หน่วย เมตร

$g$  = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (Acceleration due to gravity) มีค่าเท่ากับ 9.81 เมตรต่อวินาที<sup>2</sup>

$\mu$  = ความหนืดพลศาสตร์ของของเหลว(Dynamic viscosity)หน่วยนิวตันวินาทีต่อตารางเมตร

จากสมการกฎของสโตคจะเห็นได้ว่าตัวแปรที่มีผลสำคัญต่อความเร็วในการแยกอนุภาค มีต่างๆดังนี้

- ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง

โดยทั่วไปในกระบวนการบำบัดน้ำ นิยมใช้การแยกอนุภาคด้วยการตกตะกอนด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก เช่น ถังดักกรวดทราย ถังตกตะกอน เป็นต้น สำหรับเครื่องมือการแยกอื่นๆ สามารถทำการเพิ่มความเร่งนี้เพื่อให้ความเร็วในการตกตะกอน ( $V_p$ ) เพิ่มขึ้นได้

- ความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นของอนุภาคสองเฟส,  $\Delta\rho$

การแยกอนุภาคของของแข็งออกจากของเหลว เมื่อของผสมนั้นต้องมีความหนาแน่นแตกต่างกัน โดยความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นของอนุภาคสองเฟส ( $\Delta\rho$ ) นั้นหมายถึง ค่าความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นของอนุภาคของแข็ง ( $\rho_p$ ) และความหนาแน่นของน้ำ ( $\rho_w$ ), ( $\Delta\rho = \rho_p - \rho_w$ ) นั่นเอง ในการแยกของแข็งออกจากน้ำในถังตกตะกอนจะไม่เกิดขึ้น หากความหนาแน่นของทั้งสองเฟสไม่มีความแตกต่างกัน ( $\Delta\rho = 0$ ) ซึ่งจะทำให้ความเร็วในการแยกอนุภาค ( $V_p$ ) ดังสมการที่ 2.8 มีค่าเท่ากับศูนย์ด้วย เป็นผลทำให้ถังตกตะกอนทำงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพไม่สามารถแยกอนุภาคทั้งสองเฟสออกจากกันได้

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคของแข็ง,  $d_p$

ตัวแปรที่สำคัญอีกตัวหนึ่ง ก็คือ ขนาดอนุภาคของของแข็ง ซึ่งจากสมการของสโตค (Stoke's law equation) จะเห็นได้ว่า  $d_p$  อยู่ในรูปของกำลังสอง ( $d_p^2$ ) นั้นหมายถึง

ถ้าอนุภาคมีขนาดใหญ่ ความเร็วในการแยกอนุภาค ( $V_p$ ) ก็เพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้น หากสามารถทำการเพิ่มขนาดของอนุภาคของแข็งได้ จะทำให้การแยกของแข็งออกจากน้ำเกิดขึ้นได้ดี และในกรณีของงานวิจัยนี้ขนาดของวัสดุช่วยตกตะกอนที่แตกต่างกันน่าจะสามารรถเพิ่มความเร็วในการแยกอนุภาคในถังตกตะกอนให้ตกตะกอนเร็วขึ้นด้วยและการใช้วัสดุช่วยตกตะกอนชนิดที่แตกต่างกันจะสามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการตกตะกอนได้ว่าวัสดุช่วยตกตะกอนชนิดใดมีความสามารถในการตกตะกอนได้ดีที่สุด

- ความหนืดของของไหล,  $\mu$

ความหนืดของของไหลส่งผลต่อความเร็วในการแยกอนุภาค ( $V_p$ ) เมื่อค่าความหนืดของของไหลสูงจะส่งผลทำให้ความเร็วในการแยกอนุภาคต่ำในทางตรงกันข้าม ถ้าความหนืดของของไหลมีค่าต่ำจะมีผลทำให้ความเร็วในการแยกอนุภาคสูง และความหนืดยังสัมพันธ์กับอุณหภูมิของของไหลอีกด้วย

ซึ่งในงานวิจัยนี้สมการกฎของสโตคจะใช้เพื่อศึกษาค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน (Initial Settling Velocity) ของวัสดุช่วยตกตะกอนขนาดแตกต่างกัน 3 ชนิด คือ ทาล ถ่านกัมมันต์ชนิดผง และยางบดละเอียด

#### 2.2.4 ประสิทธิภาพของการตกตะกอนในระบบเอเอส

การตกตะกอนในระบบเอเอสจัดเป็นการตกตะกอนแบบแบ่งชั้น (Zone Settling) ดังนั้นการวัดประสิทธิภาพของการตกตะกอนในระบบเอเอสจึงสามารถวัดได้จาก ค่า Initial Settling Velocity หรือ ISV ซึ่งเป็นค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน โดยความเร็วเริ่มต้นซึ่งมีค่าคงที่นี้ มีความหมายมาก และใช้เป็นดัชนีที่บอกถึงความสามารถในการตกตะกอนของสลัดจ์ สลัดจ์ที่ตกตะกอนได้ดีย่อมมีค่า ISV สูง และสลัดจ์ที่ตกตะกอนได้เร็วจะมีค่า ISV ต่ำ

การหาค่า ISV สามารถทำได้โดยการตกตะกอนแบบแบ่งชั้นในกระบอกตวงใส และวัดระดับของจุดสูงสุดของชั้นสลัดจ์ (Solid-Liquid Interface) ที่ระยะเวลาต่างๆ นำความสูงของชั้นสลัดจ์มาเขียนความสัมพันธ์เทียบกับเวลา เช่นเดียวกับรูปที่ 2.12 จะสังเกตเห็นว่าการตกตะกอนในช่วงแรกจะมีค่าความเร็วในการตกตะกอนคงที่สังเกตได้ว่า เส้นกราฟจะเป็นเส้นตรง และเรียกว่า Initial Settling Velocity หรือ ISV เมื่อการตกตะกอนผ่านไป ช่องว่างในน้ำจะเหลือน้อยลงเรื่อยๆ เมื่อถึงจุดหนึ่งความเร็วเริ่มต้น (ISV) จะมีค่าลดลงกล่าวได้ว่าสลัดจ์ได้เริ่มเข้าไปอยู่ในระยะเปลี่ยนแปลง (Transition Zone) ซึ่งเป็นระยะที่อนุภาคบางส่วนเคลื่อนที่เข้ามาใกล้จนสัมผัสกันพอดี อัตราการตกตะกอนจะลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งอนุภาคทั้งหมดสัมผัสกันพอดีต่อจากนี้สลัดจ์จะอยู่ในระยะอัดตัว (Compression Zone) ซึ่งมีการทับถมเพื่อบีบน้ำออกจากชั้นสลัดจ์เป็นครั้งสุดท้าย ระยะอัดตัวนี้ชั้นสลัดจ์จะมีการเคลื่อนที่ช้ามาก



## 2.2.5 หลักการออกแบบถังตกตะกอนในระบบเอเอส

หลังจากได้ทำการศึกษาทฤษฎีกลไกของการตกตะกอนทั้ง 4 ชนิดและ ทฤษฎีในเรื่องต่างๆของระบบเอเอสแล้ว ถังตกตะกอนในระบบเอเอสจะประกอบด้วยฟล็อกชีวภาพเป็นจำนวนมาก กลไกหลักของการตกตะกอนน้ำเสียก็ คือเกิดการตกตะกอนแบบแบ่งชั้น (Zone Settling) ก่อน และ ตามมาด้วยการตกตะกอนแบบอัดตัว (Compression Settling) ซึ่งเกิดหลังจากที่ตะกอนตกลงมาทับถมกันแล้ว

ถังตกตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียเมื่อแบ่งตามหน้าที่ในการแยกสลัดจ์ออกจากน้ำเสียจะมีด้วยกัน 2 ประเภท คือแบ่งเป็น ถังตกตะกอนขั้นต้น (Primary Clarifier) และ ถังตกตะกอนขั้นที่สอง (Secondary Clarifier) ซึ่งมีหน้าที่ต่างกัน ในระบบเอเอสจะใช้ถังตกตะกอนขั้นที่สอง ในการแยกสลัดจ์กับน้ำใส

โดยถังตกตะกอนขั้นที่สอง มีหน้าที่ ทำน้ำให้ใส กำจัดความขุ่นจากสารแขวนลอยขนาดเล็ก ตกตะกอนสลัดจ์ การออกแบบจึงใช้กลไกการตกตะกอนแบบแบ่งชั้น (Zone Settling) ซึ่งงานวิจัยชิ้นนี้ได้ใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอสในการดำเนินการ ในงานวิจัยนี้จะพูดถึงเฉพาะ ถังตกตะกอนขั้นที่สองเป็นหลักการออกแบบถังตกตะกอนในระบบเอเอสเท่านั้น

### 2.2.5.1 การออกแบบถังตกตะกอนขั้นที่สองด้วยวิธีฟลักซ์ของแข็ง (Solids Flux)

ดังที่กล่าวมาข้างต้น ทฤษฎีเกี่ยวกับการหาความเร็วของการตกตะกอนแบบมีอุปสรรค ซึ่งทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีฟลักซ์ของแข็ง (Solid flux) ในหัวข้อนี้จะนำเอาทฤษฎีนี้มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบถังตกตะกอนจากรูปที่ 2.13 สามารถหาค่าต่างๆ ได้ดังดังนี้

Settling Flux หรือ Gravity Flux ;  $G_g$

$$G_g = \frac{C_i v_i}{1000} ; \quad \text{กิโลกรัมต่อตารางเมตร-ชั่วโมง} \quad (2.18)$$

Bulk Flux ;  $G_b$

$$G_b = \frac{C_i v_b}{1000} ; \quad \text{กิโลกรัมต่อตารางเมตร-ชั่วโมง} \quad (2.19)$$

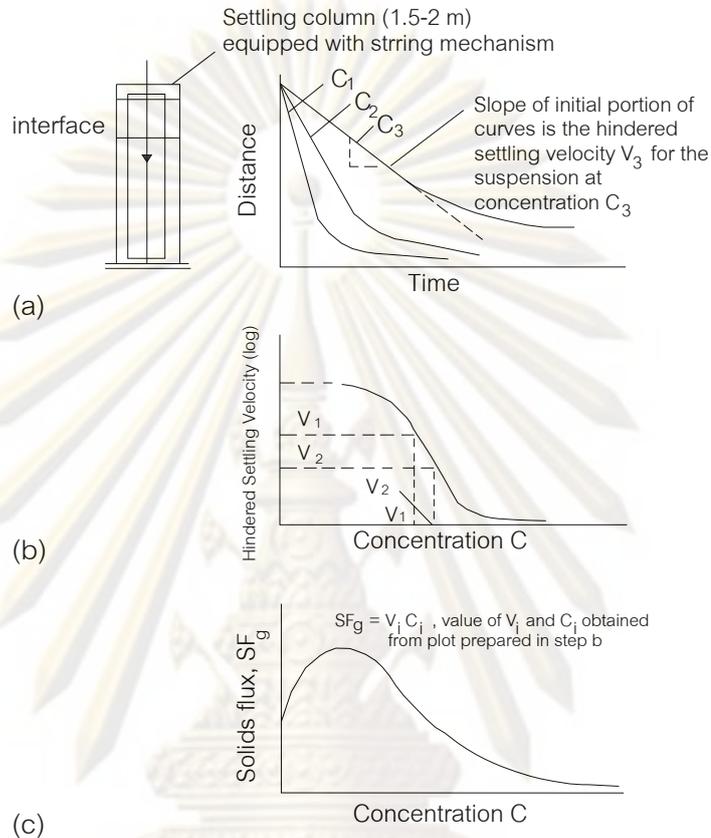
Total Flux ;  $G_T$

$$G_T = G_g + G_b \quad (2.20)$$

1) Settling flux,  $G_g$ 

ทำการหาค่า  $G_g$  จากการทดลองหาความเร็วจากการตกตะกอนดัง

แสดงในภาพที่ 2.17



รูปที่ 2.17 การหา Settling Flux

ที่มา: Metcalf และ Eddy, 2003

จากรูป a) การหาค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน หรือ Initial Settling Velocity (ISV) จากการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ความสูงของระดับชั้นน้ำใส เทียบกับเวลาที่เกิดการตกตะกอนขึ้นดังนั้นจะสามารถหาความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนได้จากความชันของเส้นโค้ง บนช่วงของเส้นกราฟที่มีความโค้งน้อยที่สุด หรือ พูดได้ว่าช่วงที่เส้นกราฟโค้งมีลักษณะใกล้เคียงกับเส้นตรงมากที่สุด เนื่องจากความเร็วของการตกตะกอนมีค่าคงที่ เรียกว่า ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน (ISV) ซึ่งความชันของกราฟ

$$\text{คำนวณได้จาก } v = \frac{S}{t}$$

โดยที่  $S$  = ระยะทางที่เกิดการตกตะกอน หน่วย เมตร  
 $t$  = เวลาที่เกิดการตกตะกอน หน่วย วินาที

จากรูป b) เมื่อได้ค่า ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนแล้ว จึงนำค่าความเร็วที่ได้มาเขียนกราฟ เทียบกับความเข้มข้นค่าต่างๆ ด้วยกราฟ log-scale เพื่อนำมาหาค่า Settling Flux,

$$G_g = \frac{C_i v_i}{1000} \quad (2.21)$$

จากรูป c) นำค่า Settling Flux จากการคำนวณในกราฟรูป b) มาเขียนกราฟเทียบกับความเข้มข้น จะได้กราฟดังแสดงในรูปที่ 2.17 (c)

### 2) Bulk Flux, $G_b$

การเขียนกราฟ Bulk Flux เป็นสมการของฟังก์ชันเชิงเส้นซึ่งทำได้ง่ายกว่าการเขียนกราฟจาก Settling Flux มาก การเขียนเส้นกราฟทำได้โดยใช้ ความเร็วของการสูบสลัดจ์ออกจากถังตกตะกอน โดยคำนวณจากสมการ

$$v_b = \frac{Q_u}{A} \quad (2.22)$$

โดยที่

$Q_u$  = อัตราการสูบตะกอนออก หน่วย ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

$A$  = หน้าตัดท่อดูดสลัดจ์หมุนเวียน หน่วย ตารางเมตร

$$\text{จาก } G_b = \frac{C_i v_b}{1000} \longrightarrow v_b = \frac{G_b \times 1000}{C_i} \quad (2.23)$$

เขียนกราฟจากสมการข้างต้น เป็น  $G_b$  ในแกน Y เทียบกับความเข้มข้นในแกน X จะได้เส้น Bulk Flux

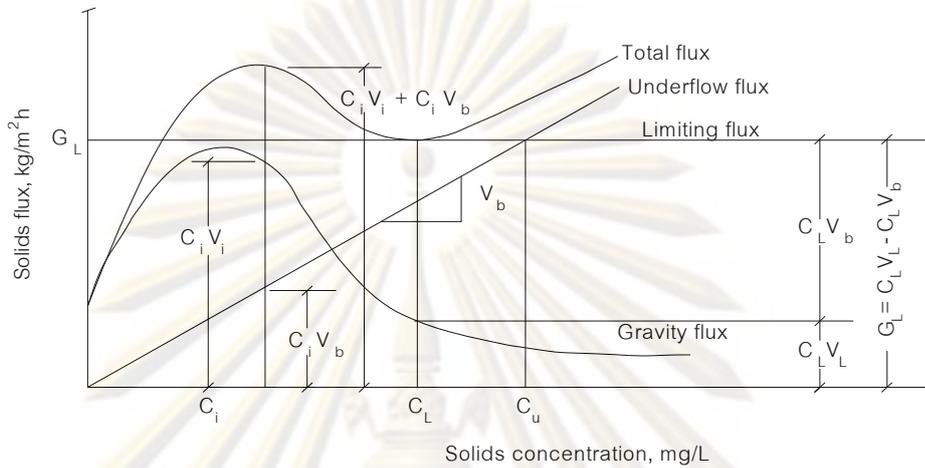
### 3) Total Flux, $G_T$

การเขียนกราฟ Total Flux ทำได้โดยนำค่าที่ได้จากกราฟ Settling Flux และ Bulk Flux มาเขียนรวมกันดังสมการ  $G_T = G_g + G_b$  เขียนกราฟและทำการหา Limiting Flux,  $G_L$  จากจุดที่กราฟ Total Flux โค้งตกลงต่ำที่สุด ซึ่งนำไปใช้เป็นค่าในการออกแบบหน้าตัดของถังตกตะกอน ซึ่งสามารถคำนวณขนาดของถังตกตะกอนได้จากสมการ ดังนี้

$$A = \frac{(Q + Q_u) \times C_o}{G_L \times 1000} \quad ; \text{ หน่วย ตารางเมตร} \quad (2.24)$$

ให้ อัตราการหมุนเวียนสลัดจ์  $\frac{Q_u}{Q} = \alpha$  ดังนั้น

$$A = \frac{(1 + \alpha)Q \times C_o}{G_L \times 1000} \quad ; \text{หน่วย ตารางเมตร} \quad (2.25)$$

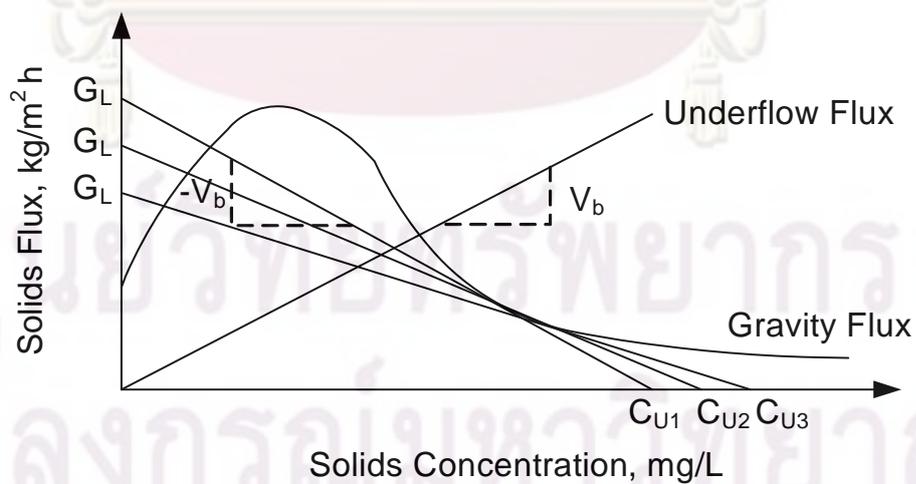


รูปที่ 2.18 กราฟ Solid flux

ที่มา: Metcalf และ Eddy, 2003

2.2.5.2 การออกแบบด้วยวิธีฟลักซ์ของแข็งประยุกต์ใช้ร่วมกับวิธีของโยซิโอะกะ

การหาค่า  $G_L$  ดังแสดงในรูปที่ 2.18 นั้นเป็นวิธีที่ไม่สะดวก วิศวกรญี่ปุ่นชื่อ โยซิโอะกะ จึงได้คิดวิธีอย่างง่ายในการหาค่า  $G_L$  ของระดับ  $v_b$  ต่างๆ โดยต้องการเพียงกราฟ  $G_{\text{ตะ}}$  เท่านั้น ทำให้สะดวกในการหาค่า  $G_L$  มากกว่า



รูปที่ 2.19 การหาค่า  $G_L$  โดยวิธีโยซิโอะกะ

ที่มา : Water Pollution Control Federation, 1985

วิธีของโยซิโอกาทำได้โดยการคำนวณและลากเส้นกราฟ  $G_y$  จากนั้นลากเส้นตรงที่มีความชัน  $-v_b$  สัมผัสกับกราฟ  $G_y$  จุดตัดของเส้นตรงบนแกน  $G$  จะเท่ากับ  $G_L$  ส่วนจุดตัดบนแกน  $C$  ของกราฟเส้นตรงจะแทนค่า  $C_u$  ซึ่งเป็นความเข้มข้นของสลัดจ์ที่ระบายออกจากรันถึงตกตะกอนด้วยอัตราเร็ว  $v_b$  ดังแสดงในรูปที่ 2.19

ด้วยเหตุนี้ข้อดีก็คือ นอกจากจะหา  $G_L$  ได้แล้วยังสามารถหาค่า  $C_u$  หรือความเข้มข้นของสลัดจ์ที่รันถึงตกตะกอน ที่เหมาะสมได้โดยการเปลี่ยนค่า  $V_b$  หรือความเร็วในการสูบสลัดจ์หมุนเวียนได้อีกด้วย

เนื่องจากค่า  $G_L$  เป็นค่าที่ทำให้ทราบว่า สลัดจ์สามารถเคลื่อนที่ผ่านถึงตกตะกอนที่มีพื้นที่ 1 หน่วยได้ในอัตราไม่เกิน  $G_L$  หน่วยน้ำหนักต่อเวลา ดังนั้นถ้าทราบว่าสลัดจ์เข้าสู่ถึงตกตะกอนในอัตราเท่าใด ก็จะสามารถคำนวณหาพื้นที่ของถังตกตะกอนที่ต้องการได้จาก

$$\begin{aligned} A &= L_0 / G_L & (2.26) \\ \text{โดยที่} \quad A &= \text{พื้นที่ผิวหน้าของถังตกตะกอน} \\ L_0 &= \text{มวลของสลัดจ์ที่เข้าสู่ถึงตกตะกอน/เวลา} \end{aligned}$$

## 2.2.6 หน้าที่ของถังตกตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส

ระบบบำบัดน้ำเสียเอเอส (Activated Sludge) ประกอบด้วยส่วนต่างๆที่กล่าวมาข้างต้น ส่วนของถังตกตะกอนเป็นส่วนสำคัญไม่ใช่เป็นเพียงแต่มีหน้าที่แยกของแข็งออกจากของเหลวเท่านั้น ถังตกตะกอนยังมีหน้าที่เป็นที่พักสลัดจ์ชั่วคราว และยังมีหน้าที่ควบคุมอัตราการทิ้งและหมุนเวียนสลัดจ์กลับสู่ถังปฏิบัติการอีกด้วย ถังตกตะกอนจัดว่าเป็นส่วนสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำทิ้ง ปัญหาที่เกิดขึ้นในถังตกตะกอนมีดังนี้

### 2.2.6.1 การลอยตัวของสลัดจ์ในถังตกตะกอน (Rising Sludge)

สาเหตุเป็นเพราะสลัดจ์อยู่ในถังตกตะกอนนานเกินไป ทำให้เกิดขบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนไนโตรเจนเป็นแก๊สไนโตรเจน โดยแก๊สไนโตรเจนจะสะสมตัวอยู่ใต้ชั้นของสลัดจ์จุลินทรีย์ในถังตกตะกอนจนมากพอที่จะดันให้ตะกอน จุลินทรีย์เหล่านั้นลอยขึ้นมาเป็นก้อนใหญ่ ๆ เมื่อลอยขึ้นมาจนถึงผิวน้ำแล้วจะแตกกระจายออกเป็นแผ่นมองเห็นฟองแก๊สเล็ก ๆ ลอยขึ้น

บางกรณีปัญหานี้ อาจเกิดเนื่องมาจากจุลินทรีย์ประเภทเชื้อราเรียกว่า *Nocardia actinomyces* ทำให้เกิดคราบหนาสีน้ำตาล (Scum) ในถังตกตะกอนด้วย

### 2.2.6.2 ปัญหาสลัดจ์ไม่จมตัว (Bulking Sludge)

สลัดจ์จะจมตัวในถังตกตะกอนช้ามาก เกิดจากสภาวะที่มีจุลินทรีย์จำพวกเส้นใย (Filamentous Organism) มากเกินไป โดยจุลินทรีย์จำพวกเส้นใยเหล่านี้เป็นสาเหตุ

ทำให้ตะกอน จุลินทรีย์ในถังเติมอากาศไม่จับตัวกันเป็นฟล็อก เมื่อไหลไปยังถังตกตะกอนจะพบว่า ตะกอนจุลินทรีย์เหล่านี้จะลอยขึ้นมาคล้ายลูกคลื่นเป็นชั้นตลอดทั่วทั้งถังตกตะกอน

### 2.2.6.3 น้ำขุ่นในถังตกตะกอน

เกิดขึ้นเนื่องจากเอเอสที่ยังโตไม่พอ ระบบที่มีอายุสัปดาห์ต่ำ มีพีเอชต่ำ หรือขาดแร่ธาตุบางอย่าง ก็จะมีปัญหาน้ำขุ่นเช่นกัน

## 2.2.7 การใช่วัสดุช่วยตกตะกอนในระบบเอเอส

การใช่วัสดุช่วยตกตะกอนในระบบเอเอสจะเป็นการใช่วัสดุช่วยตกตะกอนทั้ง ใล่ ลงในถังปฏิกิริยาซึ่งวัสดุช่วยตกตะกอนแต่ละชนิดจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอน โดย วัสดุช่วยตกตะกอนที่มีน้ำหนักจะเป็นเป้าสัมผัสให้จุลินทรีย์มายึดเกาะกันเพื่อเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ และน้ำหนักให้กับมวลจุลินทรีย์มีขนาดใหญ่และมีน้ำหนัก นอกจากนี้วัสดุช่วยตกตะกอนจะเพิ่ม ความเร็วในการตกตะกอนให้สูงขึ้นได้อีกด้วย โดยวัสดุช่วยตกตะกอนควรเป็นสารที่หาได้ง่ายตาม ท้องตลาด มีราคาถูก และมีการนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย

ในงานวิจัยนี้ได้เกิดแนวคิดในการใ่วัสดุช่วยตกตะกอนที่ต่างชนิดกันและมีขนาด ที่แตกต่างกันในระบบเอเอส ซึ่งขนาดที่ต่างกันนั้นสามารถทำให้ค่าความเร็วในการตกตะกอน ของสลัดจ์ช้าเร็วแตกต่างกันด้วยซึ่งความเร็วในการตกตะกอนที่ช้าเร็วแตกต่างกันนั้นสามารถนำไป ออกแบบเพื่อลดขนาดของถังตกตะกอนได้อีกด้วย

ผงทาล (Talc) เป็นแร่ที่มีความกระด้างต่ำ ไม่ละลายน้ำ ไม่ทำปฏิกิริยาใดๆกับน้ำ เสีย และเป็นวัสดุช่วยตกตะกอนที่ให้จุลินทรีย์เกาะตัวได้ดี อีกทั้งยังสามารถช่วยในการก่อตัวของ ฟล็อกให้มีขนาดใหญ่ขึ้นได้

ถ่านกัมมันต์ชนิดผงหรือ Powder Activated Carbon (PAC) ซึ่งมีคุณสมบัติที่ เป็นตัว ดูดซับที่ดี เพิ่มอัตราการเติบโตของจุลินทรีย์และอาจจัดเป็นวัสดุช่วยตกตะกอนทำให้การ ก่อตัวของฟล็อกดีขึ้นอีกด้วย

ยางรถยนต์เก่าบดละเอียดเป็นวัสดุช่วยตกตะกอนที่ให้จุลินทรีย์เกาะตัวได้ดีใน ระบบ มีประสิทธิภาพในการกำจัดค่าซีโอดีได้อย่างมีประสิทธิภาพ อีกทั้งยังสามารถเป็นเป้าสัมผัส ให้จุลินทรีย์มาเกาะได้อีกด้วย

## 2.3 งานวิจัยที่ผ่านมา

ในปัจจุบันระบบเอเอสมีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนเป็นสารช่วยตกตะกอนวัสดุนี้รู้จักกันดี ในชื่อของ วัสดุบัลลัสต์ (Ballasting Agent) แต่ในงานวิจัยนี้ สนใจในการนำ ผงทาล (Talc) ถ่าน กัมมันต์ชนิดผง และ ยางรถยนต์เก่า มาทำการวิจัยศึกษาซึ่งวัสดุช่วยตกตะกอนทั้ง 3 ชนิดและ

ขนาดที่แตกต่างกันซึ่งมีลักษณะและคุณสมบัติแตกต่างกันไปคือผลการวิจัยของนักวิจัยอื่นๆที่ผ่านมา เกี่ยวกับวัสดุช่วยตกตะกอนทั้ง 3 ชนิดมีดังนี้

### 2.3.1 ทาล (Talc)

จากการค้นคว้างานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า ทาล (Talc) ถูกใช้เป็นวัสดุช่วยตกตะกอนในระบบเอเอสโดยมีผลในด้านการเพิ่มประสิทธิภาพของการตกตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียเอเอส ซึ่งงานวิจัยดังกล่าวได้แก่

**Cantet, Paul และ Clauss (1996)** ศึกษาการยกระดับความสามารถในการบำบัดของระบบเอเอสด้วยการเติมผงทาล (Upgrading performance of an activated sludge through addition of talqueous powder)

งานวิจัยนี้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบเอเอสด้วยการผสมผงทาลในถังเติมอากาศ ด้วยสมมุติฐาน คือ ปรับปรุงโครงสร้างของฟล็อก และช่วยในการเพิ่มความสามารถในการตกตะกอนโดยทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ และใช้น้ำเสียจริงจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนเมือง 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)

ในงานวิจัยนี้ได้มีการศึกษาประสิทธิภาพในการสร้างฟล็อก โดยการเติมทาล ลงในถังเติมอากาศ เพื่อเป็นการปรับปรุงการรวมตัวกัน และเพิ่มความหนาแน่นของฟล็อกที่เกิดขึ้นในระบบเอเอส แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ ขั้นแรกการทดลองในห้องปฏิบัติการด้วยการทำ jar-test วัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ตลอดจนสังเกตลักษณะฟล็อกจากกล้องจุลทรรศน์ และขั้นที่ 2 นำไปประยุกต์ใช้จริงในโรงบำบัดน้ำเสีย 2 แห่งในเมือง Brittany ประเทศฝรั่งเศส โดยการเติมทาล ในการทดลองนี้จะเติมโดยเทียบกับความเข้มข้นของมวลจุลินทรีย์ที่ความเข้มข้นต่างกันคือ 0, 40, 60, 80, 100% (W/W) ขนาดของฟล็อกที่ได้จะเป็น 230, 260, 380, 420 และ 450 ไมครอนตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า ทาลสามารถช่วยในการก่อตัวของฟล็อกให้มีขนาดใหญ่ขึ้น ส่วนการนำไปใช้ในโรงบำบัดน้ำเสียจริงนั้นพบว่าน้ำเสียที่ใช้ทาล จะมี SVI ลดลงทั้ง 2 แห่ง จะเห็นได้ว่าการเติมทาล จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการตกตะกอนในระบบเอเอสจริงได้ โดยงานวิจัยชิ้นนี้ได้

บอกถึงข้อดีของทาลไว้คือ เป็นสารที่ไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำเสีย กัดกร่อนได้ยาก เป็นแร่ที่มีความกระด้างต่ำที่สุดในโลก ไม่ละลายน้ำ เป็นวัสดุช่วยตกตะกอนที่ให้จุลินทรีย์เกาะตัวได้ดี

Eikelboom และ Grovenstein (1998) ศึกษาการควบคุมสลัดจ์อัดโดยการเติมทาลชนิด PE 8418 (Control of bulking in a full scale plant by addition of talc (PE 8481))

ทำการศึกษการใช้ ทาล (PE 8418) มาช่วยควบคุมการอัดของสลัดจ์ในโรงบำบัดน้ำเสียระบบเอเอส ลักษณะน้ำเสียเป็นน้ำเสียจากอุตสาหกรรม แชมพู ผงซักฟอก น้ำผลไม้ และโรงฆ่าสัตว์ ในประเทศเนเธอร์แลนด์ สาเหตุหลักของสลัดจ์อัดจากโรงบำบัดน้ำเสียนี้คือ การเกิด จุลชีพในกลุ่ม Filamentous ทำการทดลองโดยเติมทาลด้วยอัตราส่วน 100% (W/W)ซึ่งผลจากการเติมทาลลงในถังเติมอากาศเป็นเวลาเพียง 1 วัน เอสวีไอลดลงจาก 850 มิลลิกรัมต่อกรัม เป็น 230 มิลลิกรัมต่อกรัม และเมื่อเติมต่อไปเป็นเวลา 15 วันพบว่าทำให้ลดลงเรื่อยๆ ถึง 125 มิลลิกรัมต่อกรัม และค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของการทดลองนี้มีค่า 0.8-0.9 เมตรต่อชั่วโมง หลังจากเติมทาลก็เพิ่มขึ้นเป็น 1.5 เมตรต่อชั่วโมง โดยสามารถลดปัญหาการเกิดสลัดจ์อัดได้เป็นอย่างดี หนึ่งปัญหาอย่างหนึ่งของการเติมทาล คือการเกิด scum แต่ในการทดลองนี้กล่าวว่าการเกิด scum ในถังเติมอากาศไม่มีปัญหาใดๆ ต่อการดำเนินการทั้งสิ้น

Piirtola, Hultman และ Lowen (1999) ศึกษาการควบคุมการเดินระบบเอเอสด้วยวัสดุช่วยตกตะกอน (Activated sludge Ballasting in pilot plant operation)

ศึกษาการใช้วัสดุช่วยตกตะกอน คือ  $\text{CaCO}_3$  , Apatite และ talc ในการควบคุมการเดินระบบเอเอส ที่มีซีไอดี 300 มิลลิกรัม/ลิตร โดยการวิเคราะห์ลักษณะผิวของสาร ความเร็วในการตกตะกอน และความสามารถในการกรอง ซึ่งความสามารถในการกรองในที่นี้บ่งบอกได้ถึง ความแข็งแรงของฟล็อก โดยวัสดุที่ใช้ทั้งหมดนั้น ทาล มีความสามารถช่วยปรับปรุง ลักษณะการตกตะกอนในแง่ของการเพิ่มความเร็วในการตกตะกอน และความสามารถในการกรอง ส่วน  $\text{CaCO}_3$  มีส่วนช่วยในการตกตะกอนเพียงอย่างเดียว และ Apatite ไม่มีส่วนช่วยเพิ่มทั้งความเร็วของการตกตะกอนในการทดลอง และความสามารถในการกรองใดๆทั้งสิ้น การทดลองนี้ทำการใส่ทาลด้วยอัตราส่วน 120% (W/W) หลังจากเติม สามารถปรับปรุง SVI จาก 800 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น 200 มิลลิกรัมต่อลิตรได้ทันที แต่ถ้าทำการเดินระบบเป็นเวลานาน การเติมทาลเพียง 10% (W/W) ก็เพียงพอที่จะช่วยเลี้ยงให้ตะกอนจุลินทรีย์ให้ SVI ต่ำๆได้

### 2.3.2 ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Powder Activated Carbon, PAC)

จากคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ชนิดผง ที่สามารถเป็นตัวดูดซับที่ดี งานวิจัยส่วนมากจึงเกี่ยวข้องกับความสามารถในการดูดซับมากกว่าการเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอนและการจับตัวของผงถ่านกับจุลินทรีย์ โดยงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผงในระบบเอเอส มีดังนี้



Lee, Shin และ Paik (1989) ศึกษาการใช้ ถ่านกัมมันต์แบบผง (PAC) ดูดซับ โครเมียม (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) ด้วยฟล็อกของจุลินทรีย์ในระบบ เมื่อแสดงผลของการเติม PAC จะสามารถกำจัดซีโอดี และ Cr(VI) ได้ถึง 96 และ 41% ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับระบบเอเอสแบบธรรมดาจะสามารถกำจัดได้ 85 และ 90% ตามลำดับ และในงานวิจัยยังกล่าวว่า การเติม PAC จะช่วยในการเพิ่มอัตราการเติบโตของจุลินทรีย์ด้วย

### 2.3.3 ยางบดละเอียด (Crumb rubber)

จากปัญหาในการกำจัดยางรถยนต์เก่า และการนำกลับมาใช้ใหม่ยังคงเป็นส่วนที่น้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณยางรถยนต์ที่ถูกทิ้งในแต่ละปี จึงได้มีการนำเอายางรถยนต์เก่านี้กลับมาใช้ในงานที่เกี่ยวกับการบำบัดน้ำเสีย (Azizian และคณะ (2003)) นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่นำเอายางรถยนต์เก่านี้มาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งงานวิจัยดังกล่าว ได้แก่

Park, Ellis และ Lally (2006) ศึกษาการนำเอาเศษยางรถยนต์เก่ามาใช้เป็นสารกรองชีวภาพ (Evaluation of Tire derived rubber particles for biofiltration media)

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

จากการทดลองพบว่า

- ระบบ trickling filter ที่ใช้เศษยางรถยนต์เก่านี้ สามารถกำจัด COD ได้ถึงร้อยละ 90

- ระบบ hybrid SGBR นั้นหลังจากการใส่เศษยางรถยนต์เก่าแล้ว anaerobic granular sludge จะเกาะตัวที่เม็ดยางและมีประสิทธิภาพในการกำจัด COD ได้มากกว่าร้อยละ 90

- ระบบ Anoxic TDRP filter นั้นพบว่าสามารถกำจัด  $\text{NO}_3\text{-N}$  ได้มากกว่าร้อยละ 97 นอกจากนี้จากการทดลองยังพบว่ายางรถยนต์เก่าที่ใช้เป็นตัวกลางนั้นไม่มีความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ระบบและยังให้พื้นที่ผิวที่ดีต่อการเกาะตัวของจุลินทรีย์อีกด้วย

มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำทาลและถ่านกัมมันต์ชนิดผงมาใช้เป็นวัสดุช่วยตกตะกอน

คือ

**เอกลักษณ์ (2551)** ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของการตกตะกอนของสลัดจ์ในระบบเอเอสด้วยวัสดุช่วยตกตะกอน (enhance efficiency of sludge settling in activated sludge with two types of ballasting agent)

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวัสดุช่วยตกตะกอน 2 ชนิด คือ ทาล และ ถ่านกัมมันต์ชนิดผง โดยแปรเปลี่ยนปริมาณของวัสดุช่วยตกตะกอนด้วยปริมาณ ดังนี้คือ 0%, 20%, 50%, และ 80% (w/w) เติมผสมลงไปในถังปฏิกริยาของระบบเอเอสแบบธรรมดา

ผลจากการทดลอง พบว่า การเติมวัสดุช่วยตกตะกอนทั้ง 2 ชนิดสามารถช่วยเพิ่มความเร็วจุดเริ่มต้นของการตกตะกอนให้สูงขึ้นได้ เมื่อเปรียบเทียบกับสลัดจ์ที่ไม่ทำการเติมวัสดุช่วยตกตะกอน โดยค่าความเร็วจุดเริ่มต้นของการตกตะกอนในถังปฏิกริยาที่มีการเติมทาลจะสูงกว่าถังที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงในทุกๆความเข้มข้น ซึ่งการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนที่ความเข้มข้น 80% น้ำหนักต่อน้ำหนัก ทำให้ค่าความเร็วจุดเริ่มต้นของการตกตะกอนมีค่าสูงที่สุดคือ 17.7 ม./ชม. เมื่อพิจารณาค่าความเร็วจุดเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่ไม่เติมวัสดุช่วยตกตะกอนมีค่าต่ำสุดเพียง 4.0 ม./ชม. ในงานวิจัยได้กล่าวถึงทฤษฎีค่าความเร็วจุดเริ่มต้นของการตกตะกอนต้องที่ดีต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 5 เมตรต่อชั่วโมง (WEF, 2005) และวัสดุช่วยตกตะกอนกับจุลชีพสามารถเข้ากันได้ดี โดยศึกษาได้จากค่าพารามิเตอร์ต่างๆตลอดทั้งการทดลองมีปริมาณค่าพารามิเตอร์ในทุกถังปฏิกริยาใกล้เคียงกันกับถังปฏิกริยาที่ไม่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอน และลักษณะของจุลชีพที่อาศัยอยู่ในระบบจากศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์ ก็เป็นชนิดเดียวกันในทุกๆถังปฏิกริยา ซึ่งล้วนเป็นจุลชีพในกลุ่มที่สำคัญต่อระบบเอเอส

จากงานวิจัยที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่า ทาล (Talc) เป็นสารที่ได้รับความนิยมในการใช้เป็นวัสดุช่วยตกตะกอนโดยผลจากการใช้ทาลเป็นวัสดุช่วยตกตะกอนพบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการตกตะกอนในแง่ของความเร็วในการตกตะกอนและไม่ทำปฏิกริยาใดๆกับน้ำเสีย อีกทั้งยังสามารถเป็นวัสดุช่วยตกตะกอนที่ให้จุลินทรีย์เกาะตัวได้ดี นอกจากนี้มีงานวิจัยออกมารองรับว่า ถ่านกัมมันต์ชนิดผง ยังสามารถใช้เป็นวัสดุช่วยตกตะกอนที่สามารถเพิ่มค่าความเร็วจุดเริ่มต้นในการตกตะกอนได้ซึ่งจะเป็นแนวทางเลือกอีกทางหนึ่งในการใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผงเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน

แม้ว่าจะไม่มีงานวิจัยของยางบดละเอียดที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอนของระบบเอเอสก็ตามแต่ด้วยคุณสมบัติที่ไม่มีความเป็นพิษและไม่ทำปฏิกริยาใดๆต่อจุลินทรีย์สามารถเป็นไส้สัมผัสและมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอไซด์ในน้ำเสียดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นยางบดละเอียดจึงเป็นที่น่าสนใจในการที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุช่วยตกตะกอนในงานวิจัยนี้

## บทที่ 3

### แผนการทดลองและการดำเนินการวิจัย

#### 3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

##### 3.1.1 อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับการเลี้ยงตะกอนจุลินทรีย์

1. ถังปฏิกรณ์พลาสติกใสขนาด 15 ลิตร
2. เครื่องเป่าอากาศและหัวกระจายอากาศ
3. น้ำเสียสังเคราะห์ (Synthetic wastewater) ที่ใช้ในการทดลองนี้จะใช้น้ำตาลทรายเป็น

แหล่งสารอินทรีย์คาร์บอน (organic carbon) ใช้ยูเรียเป็นแหล่งไนโตรเจนและมีธาตุอาหารต่างๆ ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบ มีส่วนประกอบแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ส่วนประกอบของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ (สุรชัย, 2526)

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

เมื่อนำน้ำเสียสังเคราะห์ไปวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ พบว่ามีค่าประมาณดังนี้

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

4. สารละลาย Stock Urea ความเข้มข้น 100 กรัมต่อลิตร

5. สารละลาย Stock K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> ความเข้มข้น 100 กรัมต่อลิตร

6. ตะกอนจุลินทรีย์ที่สมบูรณ์แข็งแรงและตกตะกอนได้ดีจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนดินแดง โดยวัดปริมาตรสลัดจ์ที่ตกตะกอนในเวลา 30 นาทีโดยมีค่าประมาณ 150-250 มิลลิกรัมต่อลิตรเป็นตะกอนจุลินทรีย์ที่สมบูรณ์แข็งแรงและตกตะกอนได้ดี

### 3.1.2 อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับการวิเคราะห์ลักษณะของน้ำเสีย

1. เครื่องวัดพีเอช
2. เครื่องวัดค่าออกซิเจนละลาย
3. โถทำแห้ง
4. ตู้อบที่ปรับอุณหภูมิได้ 103-105 องศาเซลเซียส
5. ตาชั่งละเอียด ทศนิยม 4 ตำแหน่ง
6. กระดาษกรอง GF/C 0.45 ไมครอน เส้นผ่านศูนย์กลาง 4.7 เซนติเมตร
7. ชุดกรองใช้กรวยกรองแบบบุชเนอร์
8. ฟอยล์อลูมิเนียม
9. ปากคืบ
10. เตาเผาแบบอุณหภูมิสูงที่ปรับอุณหภูมิได้ 500-600 องศาเซลเซียส
11. กรวยอิมฮอฟขนาด 1,000 มิลลิลิตร
12. หลอดย่อย(Digestion Tube)
13. บิวเรต
14. ขวดรูปกรวยขนาด 125 มิลลิลิตร
15. สารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไดโครเมต 0.1 นอร์มัล
16. สารละลายกรดซัลฟูริก
17. สารละลายเฟอร์โรอินดิเคเตอร์
18. สารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไฮโดรเจนพธาลเลต
19. สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต 0.1 นอร์มัล
20. กล้องจุลทรรศน์ กำลังขยาย 100 เท่า
21. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน รุ่น JSM – 5410LV ยี่ห้อ JEOL

### 3.1.3 วัสดุช่วยตกตะกอนที่ใช้ในงานวิจัย

การทดลองนี้วัดการเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอนด้วยความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน หรือ Initial Settling Velocity (ISV) สารที่ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอนของการทดลองนี้ต้องเป็นสารที่ไม่ทำปฏิกิริยาใดๆกับทั้งจุลินทรีย์และน้ำเสีย มีขนาดอนุภาคเล็กแต่มีน้ำหนัก สามารถตกตะกอนได้ง่ายและสามารถที่จะเป็นเป้าสัมผัสให้จุลินทรีย์เกาะตัวได้โดยในงานวิจัยนี้เรียกสารชนิดนี้ว่า วัสดุช่วยตกตะกอน (Ballasting agent)

วัสดุช่วยตกตะกอนที่เลือกใช้ในการทดลองนี้เป็นวัสดุที่หาได้ง่ายตามท้องตลาด มีราคาถูก มีความนิยมใช้ในงานวิจัยด้านวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม และนอกจากนั้นในงานวิจัยนี้ยังได้มีการนำเอาวัสดุเหลือใช้ คือ ยางรถยนต์เก่า มาใช้เป็นวัสดุช่วยตกตะกอน ซึ่งถือเป็นการนำเอาวัสดุเหลือใช้กลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์อีกด้วย

วัสดุที่นำมาใช้เพื่อเป็นวัสดุช่วยตกตะกอนในการทดลองนี้ ได้แก่

1. ทาล (Talc) ชนิด Purified Talc B.P. ที่ขนาดต่างๆกัน คือ ขนาดประมาณ 2, 5, 10 และ 18 ไมโครเมตร
2. ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Powder Activated Carbon) บริษัท Carbokam จำกัด ที่ขนาดต่างๆกัน คือ ขนาดประมาณ 5, 10, 24 และ 99 ไมโครเมตร
3. ยางบดละเอียด (Crumb rubber) ที่ขนาดต่างๆกัน คือ ขนาดประมาณ 110, 242, 656 และ 848 ไมโครเมตร ในการบดละเอียดยางรถยนต์เก่าจะใช้เครื่องบดพลาสติกชั้นยางรถยนต์เก่าจะถูกป้อนไปยังชุดจานบดด้วยชุดป้อนระบบสั่นผ่านเครื่องตรวจจับโลหะเพื่อให้แน่ใจว่าโลหะทุกชนิดถูกแยกออกจากยางรถยนต์ที่บดแล้วยางรถยนต์จะถูกบดระหว่างจานหมุนซึ่งมีผิวสัมผัสแบบฟันเลื่อยและจานที่อยู่ฝั่งที่ได้จะถูกดูดด้วยพัดลมส่งมายังถังไซโคลนและปล่อยผ่านเครื่องกรองขนาดจึงได้ขนาดยางบดละเอียดตามต้องการ การวิเคราะห์ขนาดของวัสดุช่วยตกตะกอนใช้เครื่องมือวัดขนาดอนุภาคดังรูปที่ 3.1 โดยทำการวัดขนาดอนุภาคจำนวน 3 ซ้ำในแต่ละขนาดของวัสดุช่วยตกตะกอนและผลจากการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 3.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 3.1.4 อุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์ขนาดวัสดุช่วยตกตะกอน

#### 1. เครื่องมือวัดขนาดอนุภาค (Particle Size Analyzer)



รูปที่ 3.1 เครื่องมือวัดขนาดอนุภาค

**ที่ตั้ง** : อาคารสีภาควิชา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**ยี่ห้อ/รุ่น** : Malvern / Mastersizer Hydro 2000 MU

**ประโยชน์** : เครื่องวัดขนาดอนุภาค Mastersizer เป็นการวัดขนาดอนุภาคโดยใช้หลัก Laser Diffraction ซึ่งมีข้อดีกว่าระบบอื่น ๆ คือ สามารถวัดขนาดอนุภาคได้ในช่วงกว้างตั้งแต่ 0.02 - 2000 ไมครอน โดยใช้เวลาในการวิเคราะห์ประมาณ 30 วินาที

**หลักการทำงาน** : ใช้แสง Laser จากหลอด He-Ne ที่มีความยาวคลื่นประมาณ 0.633 ไมครอน โดยมีระบบไฟกัสแสงเพื่อให้ตกลงที่ Photosensitive Silicon Detector ที่ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ หลายส่วน โดยแต่ละส่วนจะรับสัญญาณที่ได้จากแสงที่ตกกระทบเมื่อใส่ตัวอย่างผ่านลำแสงจะทำให้อนุภาคในตัวอย่งกระทบกับแสง และทำให้แสงเกิดการกระเจิงไปกระทบ Detector ซึ่งจะมีการวัดสัญญาณที่เกิดขึ้นและส่งไปประมวลผลของขนาดอนุภาคที่คอมพิวเตอร์

ศูนย์ทรัพยากรพยากรณ์  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติทางกายภาพต่างๆของวัสดุช่วยตกตะกอนทั้ง 3 ชนิด

วัสดุช่วยตกตะกอน	ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)
1. ทาล	
- 2 ไมโครเมตร	2.8
- 5 ไมโครเมตร	2.8
- 10 ไมโครเมตร	2.8
- 18 ไมโครเมตร	2.8
2. ผงถ่านคาร์บอน	
- 5 ไมโครเมตร	2.2
- 10 ไมโครเมตร	2.2
- 24 ไมโครเมตร	2.2
- 99 ไมโครเมตร	2.2
3. ยางบดละเอียด	
- 110 ไมโครเมตร	1.2
- 242 ไมโครเมตร	1.2
- 656 ไมโครเมตร	1.2
- 848 ไมโครเมตร	1.2

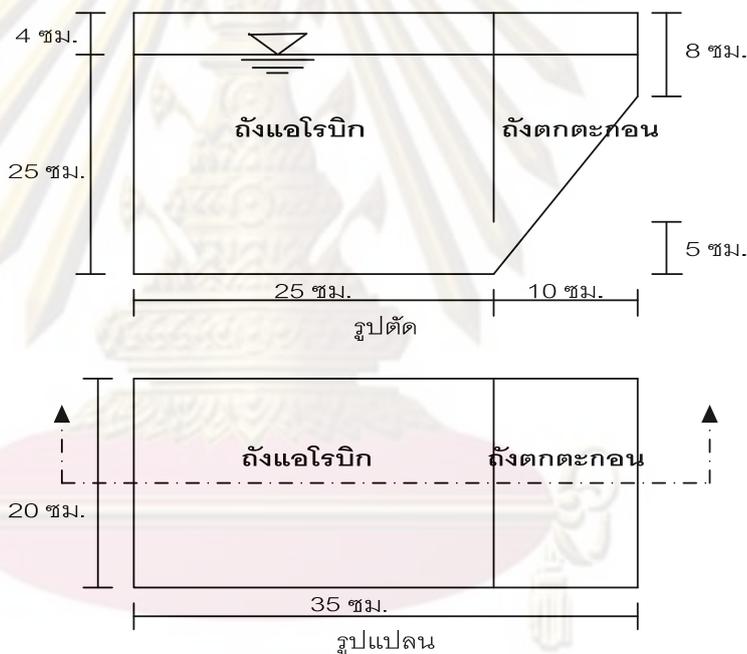
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 3.2 ระบบที่ใช้ในการทดลองและการติดตั้งถังปฏิบัติการ

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองระดับห้องปฏิบัติการ (Laboratory Scale) โดยระบบที่ใช้ในการทดลองคือ ระบบเอเอสแบบธรรมดา (Conventional Activated Sludge) ถังปฏิบัติการที่ใช้เป็นแบบต่อเนื่องที่มีการเวียนสลับกลับ ซึ่งระบบจะประกอบด้วย

#### 1. ถังปฏิบัติการ

ถังปฏิบัติการที่ใช้เป็นพลาสติกใสมีขีดบอกปริมาตร สำหรับการเลี้ยงตะกอนจุลินทรีย์ร่วมกับวัสดุช่วยตกตะกอน มีปริมาตร 15 ลิตร ภายในถังปฏิกริยานั้นส่วนของถังเดิมอากาศและถังตกตะกอนจะถูกแยกออกจากกันด้วยแผ่นกั้นพลาสติกที่มีระยะช่องว่างห่างจากกันถึงประมาณ 5 เซนติเมตร ภายในถังเดิมอากาศนั้นจะทำการติดตั้งหัวเดิมอากาศและทำการให้อากาศแก่ระบบด้วยเครื่องสูบลม รายละเอียดของถังปฏิบัติการแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 รายละเอียดถังปฏิบัติการ

#### 2. เครื่องสูบน้ำเสีย

เครื่องสูบน้ำเสียเข้าสู่ระบบเป็นเครื่องสูบน้ำแบบไดอะแฟรม (Diaphragm Pump) ที่สามารถปรับเปลี่ยนอัตราการสูบได้ โดยในการทดลองนี้ตั้งอัตราการสูบน้ำเสียเข้าสู่ระบบที่ ออกแบบไว้ที่ 13.6 ลิตรต่อวัน

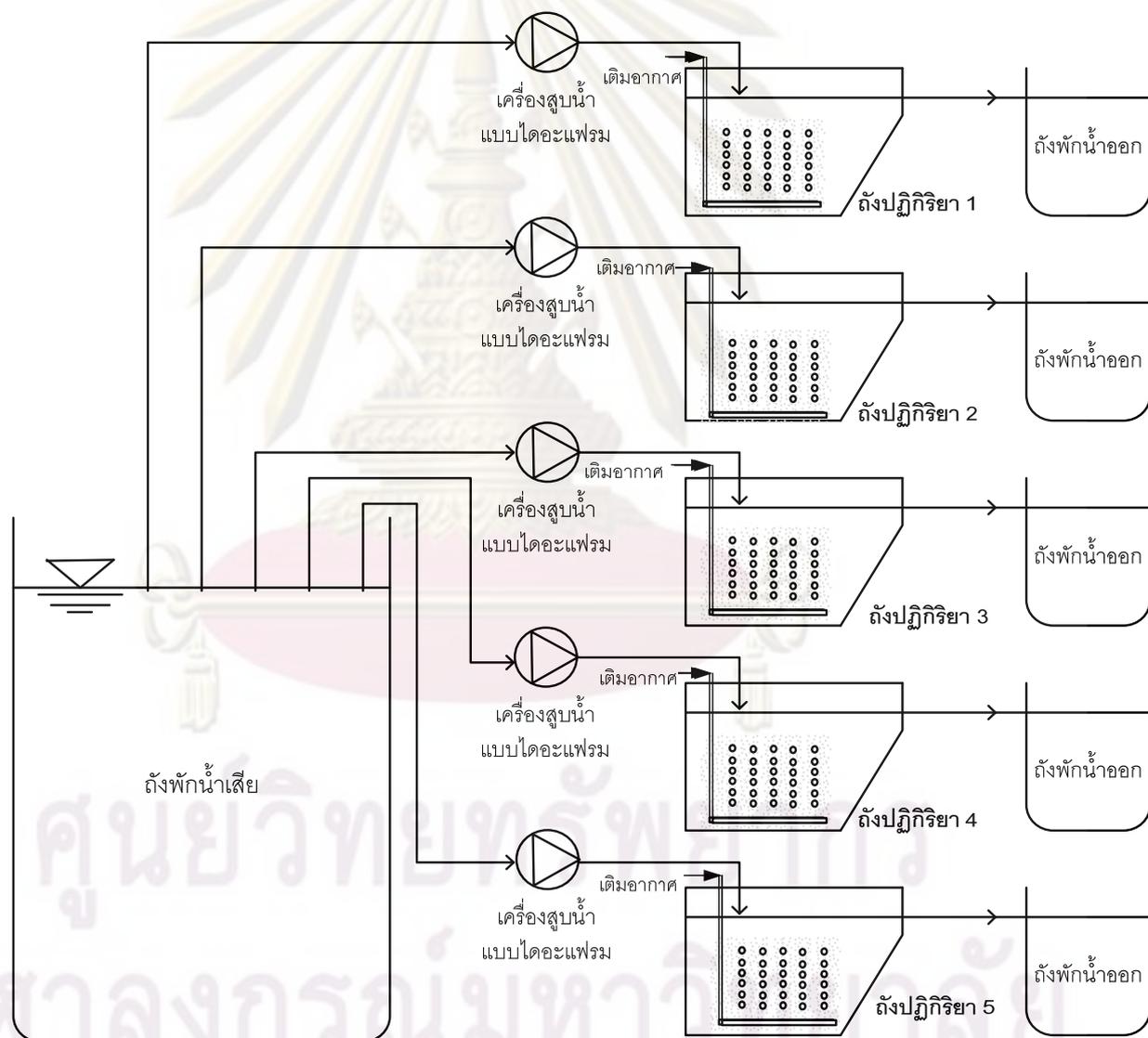


### 3. ถังพักน้ำเสียเข้าระบบ

เป็นถังพลาสติกมีปริมาตร 80 ลิตร สามารถเก็บน้ำเสียสำหรับจ่ายเข้าสู่ถังปฏิบัติการ 5 ถังและปริมาตรในการกักเก็บน้ำเสียไว้ได้อย่างน้อย 1 วัน ภายในถังมีซีดีบอกริมาตรน้ำทุกๆ 1 ลิตร เพื่อใช้ในการตรวจสอบอัตราการสูบน้ำเสียเข้าสู่ระบบ

### 4. ถังพักน้ำออก

เป็นถังพลาสติกมีปริมาตร 20 ลิตร 5 ถัง สามารถเก็บปริมาตรน้ำออกและเวลาในการกักเก็บน้ำเสียไว้ได้อย่างน้อย 1 วัน ภายในถังมีซีดีบอกริมาตรน้ำทุกๆ 1 ลิตร เพื่อใช้ในการตรวจสอบอัตราการสูบน้ำเสียออกแผนภาพการติดตั้งชุดการทดลองแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ภาพการติดตั้งอุปกรณ์

### 3.3 แผนการทดลอง

#### 3.3.1 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

มีตัวแปรสำคัญที่ทำการศึกษา 3 ตัวคือ

##### 1. ชนิดของวัสดุช่วยตกตะกอน

ในการทดลองนี้ใช้วัสดุช่วยตกตะกอนทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ ทาล ถ่านกัมมันต์ชนิดผง และยางบดละเอียด

##### 2. ขนาดของวัสดุช่วยตกตะกอน

ในการทดลองนี้ทำการแปรผันขนาดของวัสดุตกตะกอนแตกต่างกัน 4 ค่า คือ

##### 1. ทาล (Talc) ชนิด Purified Talc B.P. ขนาดประมาณ 2, 5, 10 และ 18

ไมโครเมตร

##### 2. ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Powder Activated Carbon) บริษัท Carbokarn

จำกัด ขนาดประมาณ 5, 10, 24 และ 99 ไมโครเมตร

##### 3. ยางบดละเอียด (Crumb rubber) ขนาดประมาณ 110, 242, 656 และ

848 ไมโครเมตร

##### 3. ชุดควบคุม

ในการทดลองทำการทดลองระบบที่ไม่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนเพื่อเป็นการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ต่างๆกับระบบที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนทั้ง 3 ชนิดและขนาดที่แตกต่างกัน ว่าค่าพารามิเตอร์ต่างๆมีความแตกต่างกันอย่างไรกับชุดควบคุม

วัสดุช่วยตกตะกอนขนาดต่างๆที่เลือกใช้ในการทดลองนี้เป็นวัสดุช่วยตกตะกอนที่มีขนาดตามท้องตลาด ไม่ต้องเตรียมเองและมีราคาถูก ซึ่งเห็นได้ว่าขนาดของทาล ถ่านกัมมันต์ชนิดผงและยางบดละเอียดมีขนาดที่แตกต่างกันโดยทาลมีขนาดค่อนข้างเล็ก ถ่านกัมมันต์ชนิดผงมีขนาดใหญ่ขึ้น ส่วนยางบดละเอียดมีขนาดใหญ่ที่สุดสาเหตุที่ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ขนาดยางบดละเอียดค่อนข้างใหญ่เพราะยางบดละเอียดมีความหนาแน่นน้อย (1.2 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ดังแสดงในตารางที่ 3.2) และมีความหนาแน่นใกล้เคียงกับน้ำ ความเร็วในการตกตะกอนต่ำดังนั้นจึงทำให้ต้องเลือกใช้ยางบดละเอียดมีขนาดค่อนข้างใหญ่เพื่อให้มีความเร็วในการตกตะกอนดีพอ อย่างไรก็ตามยางบดละเอียดก็มีข้อดีในหลายอย่างคือ สามารถเป็นไส้สัมผัสให้จุลินทรีย์มาเกาะและเป็นฟล็อกที่ใหญ่ขึ้นและยังเป็นการนำวัสดุที่เหลือใช้กลับมาใช้ประโยชน์ได้อีกด้วย ทั้งนี้ขนาดที่แตกต่างกันของวัสดุช่วยตกตะกอนจะมีผลต่อความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอนทำให้รู้ว่าสลัดจ์ในถังตกตะกอนจะตกตะกอนได้ดีหรือไม่และนอกจากนี้ขนาดที่ต่างกันยังมีผลต่อพื้นที่ผิวในการจับตัวของจุลินทรีย์มากน้อยต่างกันด้วยจึงเป็นเหตุผลที่น่าสนใจและทดลองศึกษาซึ่งรายละเอียดของตัวแปรที่ใช้ในการทดลองแสดงในตารางที่ 3.3 ดังนี้

ตารางที่ 3.3 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

ตัวแปรอิสระ	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
1. ชนิดของวัสดุช่วยตกตะกอน - ทาล (Talc) ชนิด Purified Talc B.P. - ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Powder Activated Carbon) - ยางบดละเอียด (Crumb rubber) 2. ขนาดของวัสดุช่วยตกตะกอนแต่ละชนิด - ทาล (Talc) ชนิด Purified Talc B.P. - ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Powder Activated Carbon) - ยางบดละเอียด (Crumb rubber)	- ความเข้มข้น 100% (W/W)* - ความเข้มข้น 100% (W/W)* - ความเข้มข้น 100% (W/W)* - ขนาดประมาณ 2, 5, 10, 18 $\mu\text{m}$ - ขนาดประมาณ 5, 10, 24, 99 $\mu\text{m}$ - ขนาดประมาณ 110, 242, 656, 848 $\mu\text{m}$
ตัวแปรควบคุม	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
1. อัตราการไหลของน้ำเสียสังเคราะห์ 2. น้ำเสียความเข้มข้นในรูป COD 3. เวลาพักน้ำ 4. อายุสัปดาห์ 5. ของแข็งแขวนลอยในระบบ	- 13.6 ลิตรต่อวัน - 550 มิลลิกรัมต่อลิตร - 17.65 ชั่วโมง - 10 วัน - 5000 มิลลิกรัมต่อลิตร
ตัวแปรตาม	การวิเคราะห์
1. ซีโอดีของน้ำบำบัดแล้ว (Chemical Oxygen Demand, COD) 2. ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Mixed Liquor Suspended Solids, MLSS) 3. ของแข็งระเหยได้ (Mixed Liquor Volatile Suspended Solids, MLVSS) 4. พีเอช (pH) 5. ดีโอ (Dissolved Oxygen, DO) 6. ปริมาตรตะกอนที่ 30 นาที ( $SV_{30}$ ) 7. ดัชนีปริมาตรตะกอน (SVI)	- Standard Method: AWWA - Standard Method: AWWA - Standard Method: AWWA - pH meter - DO meter - Standard Method: AWWA - Standard Method: AWWA

\*เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นของวัสดุช่วยตกตะกอนที่เติมในระบบแล้วจะให้ประสิทธิภาพในการตกตะกอนดีที่สุด (เอกลักษณ์, 2551)

ตารางที่ 3.3 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง (ต่อ)

ตัวแปรตาม	การวิเคราะห์
8. ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน (Initial Settling Velocity, ISV)	- Settling test
9. ลักษณะการเกาะตัวของจุลินทรีย์กับวัสดุช่วยตกตะกอน	- กล้องจุลทรรศน์ - กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน
ตัวแปรที่ไม่ได้คุม	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
1. อุณหภูมิ	- อุณหภูมิห้อง (25-35 องศาเซลเซียส)
2. ปริมาณออกซิเจนละลายในน้ำเสีย	- ขึ้นอยู่กับความสามารถของเครื่องเติมอากาศ
3. ความเข้มข้นสลัดจ์แขวนลอยของหัวเชื้อที่เก็บมาจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนดินแดง	- ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสลัดจ์ที่เก็บมา

### 3.3.2 การวิเคราะห์การทดลองและวิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองโดยการใช้ถังปฏิกรณ์แบบเดินระบบต่อเนื่องดำเนินการทดลองที่อุณหภูมิห้อง ณ ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยทำการวิเคราะห์การทดลองที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนต่างชนิดกันและขนาดแตกต่างกันเป็นได้ดังนี้

1. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียในแง่ของการกำจัดซีไอดีเมื่อใส่วัสดุช่วยตกตะกอนที่ต่างชนิดและขนาดที่แตกต่างกัน
2. การทดสอบการเพิ่มประสิทธิภาพของการตกตะกอนด้วยการใช้วัสดุช่วยตกตะกอนที่ต่างชนิดและขนาดต่างกันแสดงผลด้วยการวัดความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน (ISV)
3. ศึกษาการจับตัวกันของจุลินทรีย์กับวัสดุช่วยตกตะกอน ด้วยภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ในแต่ละชุดการทดลอง

ในงานวิจัยทำการทดสอบการประสิทธิภาพต่างๆของการใช้วัสดุช่วยตกตะกอน ทั้ง 3 ชนิดและขนาดที่แตกต่างกันมาเป็นวัสดุช่วยในการตกตะกอนโดยมีตัวแปรอิสระที่ทำการศึกษาเพียง 2 ตัวคือ ชนิดและขนาดของวัสดุช่วยตกตะกอน วิธีการทดลองทั้งหมดจึงเป็นการเปลี่ยนชนิดและขนาดของวัสดุช่วยตกตะกอน โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุดการทดลอง ดังนี้

#### - การทดลองชุดที่ 1

ใช้ทาลเป็นสารเพิ่มประสิทธิภาพโดยใส่ทาลขนาดประมาณ 2, 5, 10 และ 18 ไมโครเมตร ในแต่ละถังปฏิบัติการตามลำดับและถังควบคุมที่ไม่มีใส่วัสดุช่วยตกตะกอนทำการเดินระบบและควบคุมอายุสลัดจ์ให้คงที่และมีค่าเท่ากับ 10 วันเมื่อระบบคงที่จึงทำการวัด ISV โดยจะทำการวัด 10 วันต่อครั้งในแต่ละตัวอย่าง

#### - การทดลองชุดที่ 2

เมื่อสิ้นสุดการทดลองของชุดที่ 1 ทำการเปลี่ยนวัสดุช่วยตกตะกอนโดยใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผงเป็นสารเพิ่มประสิทธิภาพโดยใส่ถ่านกัมมันต์ชนิดผงขนาดประมาณ 5, 10, 24 และ 99 ไมโครเมตร ในแต่ละถังปฏิบัติการตามลำดับและถังควบคุมที่ไม่มีใส่วัสดุช่วยตกตะกอนทำการเดินระบบและควบคุมอายุสลัดจ์ให้คงที่และมีค่าเท่ากับ 10 วันเมื่อระบบคงที่จึงทำการวัด ISV โดยจะทำการวัด 10 วันต่อครั้งในแต่ละตัวอย่าง

#### - การทดลองชุดที่ 3

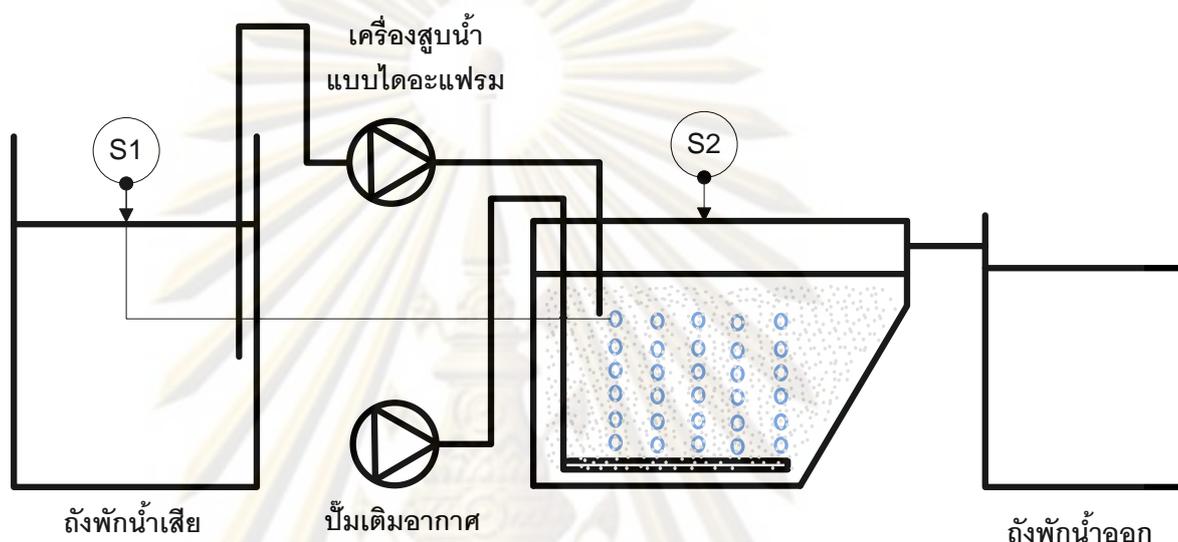
เมื่อสิ้นสุดการทดลองของชุดที่ 2 ทำการเปลี่ยนวัสดุช่วยตกตะกอนโดยใช้ ยางบดละเอียดเป็นสารเพิ่มประสิทธิภาพโดยใส่ยางบดละเอียดขนาดประมาณ 110, 242, 656 และ 848 ไมโครเมตร ในแต่ละถังปฏิบัติการตามลำดับและถังควบคุมที่ไม่มีใส่วัสดุช่วยตกตะกอนทำการเดินระบบและควบคุมอายุสลัดจ์ให้คงที่และมีค่าเท่ากับ 10 วันเมื่อระบบคงที่จึงทำการวัด ISV โดยจะทำการวัด 10 วันต่อครั้งในแต่ละตัวอย่าง

### 3.3.3 การดำเนินการทดลอง

1. เริ่มการเลี้ยงตะกอนจุลินทรีย์จากหัวเชื้อจากโรงบำบัดน้ำเสียดินแดง ซึ่งมีลักษณะที่คงตัว สามารถนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียได้โดยไม่ต้องทำการเริ่มเดินระบบใหม่(Start up)
2. เดินระบบโดยใช้ถังปฏิบัติการทั้งหมด 5 ถัง คือ ใช้สำหรับการเติมปริมาณวัสดุช่วยตกตะกอนขนาดต่างๆกันตามชุดการทดลอง 4 ถัง และถังสำหรับเปรียบเทียบซึ่งเป็นถังที่ไม่มีเติมวัสดุช่วยตกตะกอน แต่เติมน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับทุกๆ ถังเพื่อใช้ในการเทียบตะกอนจุลินทรีย์ลักษณะตะกอน และความเร็วในการตกตะกอน
3. เติมน้ำเสียสังเคราะห์และเติมวัสดุช่วยตกตะกอนในชนิด และปริมาณตามชุดการทดลอง และให้เวลาจุลินทรีย์ได้ปรับสภาพเพื่อให้จุลินทรีย์มีการปรับตัวสามารถรับน้ำเสียสังเคราะห์ได้ และทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ
4. ทำการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังแสดงในหัวข้อ 3.3.4
5. ทำการทดลองซ้ำโดยเปลี่ยนชนิดของวัสดุช่วยตกตะกอน

### 3.3.4 วิธีการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์

ค่าพารามิเตอร์ที่ทำการวัดจะทำการวัดที่จุดเก็บตัวอย่างดังรูปที่ 3.4 วิธีการวิเคราะห์และความถี่ในการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ แสดงได้ดังตารางที่ 3.4 ดังนี้



รูปที่ 3.4 จุดเก็บตัวอย่างน้ำในการวิเคราะห์

วิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อวัตถุประสงค์สำคัญ คือ

- เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของระบบเอเอสที่ควบคุมอายุสลัดจ์ต่างกันและมีวัสดุช่วยตกตะกอนต่างชนิดโดยการวัดค่าซีโอดีเข้าและซีโอดีออกและแสดงผลออกมาในรูปอัตราการกำจัดซีโอดี (% COD removal)
- เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของการตกตะกอน โดยการวัดค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมด, ปริมาตรตะกอนที่ 30 นาที, ดัชนีปริมาตรตะกอน และ ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน
- เพื่อศึกษาความเข้ากันได้ของฟล็อกจลินทรีย์กับวัสดุช่วยตกตะกอนโดยการวัดค่าซีโอดี, ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด, ของแข็งระเหยได้, พีเอส, ดีไอ, ปริมาตรตะกอนที่ 30 นาที, ดัชนีปริมาตรตะกอนและทำการส่องกล้องจุลทรรศน์เพื่อสังเกตลักษณะการเกาะตัวกันของฟล็อกกับวัสดุช่วยตกตะกอน

ตารางที่ 3.4 ค่าพารามิเตอร์วิธีการวิเคราะห์และความถี่ในการวิเคราะห์

ค่าพารามิเตอร์	จุดเก็บตัวอย่าง	วิธีการวิเคราะห์	ความถี่ในการวิเคราะห์
1. ซีโอดีของน้ำเสียเข้าระบบ (Chemical Oxygen Demand, COD)	S1	- Dichromate Close Reflux Method (AWWA 508 A.)	ทุกวัน
2. ซีโอดีของน้ำบำบัดแล้ว (Chemical Oxygen Demand, COD)	S2	- Dichromate Close Reflux Method (AWWA 508 A.)	วันเว้นวัน
3. ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Mixed Liquor Suspended Solids, MLSS)	S2	- Total residual dried at 103 -105 C (AWWA 209 D.)	วันเว้นวัน
4. ของแข็งระเหยได้ (Mixed Liquor Volatile Suspended Solids, MLVSS)	S2	- Total Volatile and Fixed residual at 500°C (AWWA 209 D.)	สัปดาห์ละครั้ง
5. พีเอช (pH)	S2	- Electronic pH meter with glass electrode method (AWWA 423.)	ทุกวัน
6. ดีโอ (Dissolved Oxygen, DO)	S2	- Membrane Electrode Method (AWWA 421 F.)	ทุกวัน
7. ปริมาตรตะกอนที่ 30 นาที (SV <sub>30</sub> )	S2	- Settle Volume Method (AWWA213B.)	ทุกวัน
8. ดัชนีปริมาตรตะกอน (SVI)	S2	- Settle Volume Method (AWWA213C.)	วันเว้นวัน
9. ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน (Initial Settling velocity, ISV)	S2	- Settling test	10 วันต่อครั้ง
10. ลักษณะการเกาะตัวของจุลินทรีย์กับวัสดุช่วยตกตะกอน	S2	- กล้องจุลทรรศน์ - กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน	- สัปดาห์ละครั้ง - หลังจบชุดการทดลอง

### 3.3.5 การเดินระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอสที่ใช้ในการทดลอง

#### 3.3.5.1 การเริ่มเดินระบบ (Start up)

ระบบเอเอสจะสามารถทำงานได้ดี มีประสิทธิภาพสูงจะต้องมีการเริ่มเดินระบบ(Start up) ที่ถูกต้อง การเริ่มต้นเดินระบบในงานวิจัยนี้ใช้หัวเชื้อ (Seed) ที่มาจาก โรงบำบัดน้ำเสียดินแดง ซึ่งเป็นโรงบำบัดที่ใช้ระบบบำบัดแบบเอเอส โดยตำแหน่งที่เก็บหัวเชื้อ (Seed)คือจากก๊อกเก็บตัวอย่างที่ท่อมุมเวียนสลัดจ์ของโรงบำบัด

การเริ่มเดินระบบมีขั้นตอนวิธีทำดังนี้

1. คัดเลือกหัวเชื้อที่จะนำมาใช้กับระบบให้มีลักษณะที่ดีคือ มีลักษณะการตกตะกอนที่ดี ไม่มีจุลินทรีย์แบบเส้นใย เป็นต้น
2. หาปริมาณสลัดจ์แขวนลอย (MLSS) ของหัวเชื้อที่เก็บมา โดยความเข้มข้นของสลัดจ์ที่เก็บมาจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนดินแดงมีค่าความเข้มข้นสลัดจ์ประมาณ 30,000-40,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และทำการเจือจางให้มีค่าความเข้มข้นของสลัดจ์ที่ต้องการในระบบที่ใช้ในการทดลอง
3. คำนวณหาปริมาณสลัดจ์แขวนลอย (MLSS) ที่ต้องการในระบบจากสมการที่ 3.1 ซึ่งจะได้ปริมาณสลัดจ์แขวนลอยโดยประมาณในระบบ แล้วใส่หัวเชื้อเข้าสู่ระบบตามปริมาณสลัดจ์แขวนลอยในระบบที่คำนวณได้ดังนี้

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

เมื่อ  $F/M$  = ค่าอาหารต่อปริมาณจุลินทรีย์ในระบบถูกกำหนดจากการเลือกประเภทของระบบเอเอสคือระบบเอเอสแบบธรรมดา (Conventional Activated Sludge, CAS) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.3 กิโลกรัม ซีโอดี/กิโลกรัม เอ็มแอลเอสเอส-วัน

$S$  = ซีโอดีที่เข้าสู่ระบบมีค่าเท่ากับ 550 มิลลิกรัมต่อลิตร,

$X$  = ค่าสลัดจ์แขวนลอยที่ต้องการหาในระบบ, มิลลิกรัมต่อลิตร

$\tau$  = เวลากักน้ำของระบบ 0.74 วัน

เมื่อแทนค่าในสมการที่ 3.1 สามารถหาค่าสลัดจ์แขวนลอยที่ต้องการในระบบมีค่าประมาณ 5000 มิลลิกรัมต่อลิตร

ในงานวิจัยได้ใส่วัสดุช่วยตกตะกอนที่ความเข้มข้น 100%(W/W, น้ำหนักของวัสดุช่วยตกตะกอนต่อน้ำหนักของเอ็มแอลเอสเอส) โดยทำการหาปริมาณวัสดุช่วยตกตะกอนที่เติมลงไปได้ดังนี้



$$\text{ปริมาณวัสดุช่วยตกตะกอนที่เติมลงไป} = \frac{\text{MLSSX ปริมาตรถังเติมอากาศ}}{1000} \quad (3.2)$$

เมื่อแทนค่าในสมการที่ 3.2 ปริมาณวัสดุช่วยตกตะกอนที่เติมลงไปในระบบในแต่ละถังปฏิกริยามีค่าเท่ากับ 50 กรัม

4. ใส่น้ำเสียที่เตรียมไว้เข้าสู่ระบบ แล้วเริ่มเดินระบบแบบต่อเนื่อง (Continuous)

### 3.3.5.2 การดูแลรักษาและควบคุมระบบ

การดูแลรักษาระบบนั้น ประกอบด้วยการดูแลรักษาความสะอาดของถังปฏิกริยาตลอดจนอุปกรณ์ต่างๆให้อยู่ในสภาพที่สะอาด เพื่อป้องกันมิให้เชื้อชนิดอื่นๆ เช่น เชื้อราเกิดขึ้นภายในระบบ เนื่องจากเชื้อเหล่านี้ อาจขัดขวางการทำงานของเชื้อจุลินทรีย์ในระบบได้ นอกจากนี้ยังต้องรักษาความสะอาดในถังปฏิกริยาไม่ให้มีเมือกจุลินทรีย์ (Slime) เกาะติดอยู่ข้างถังปฏิกริยา และหัวเติมอากาศ โดยใช้แปรงขัดที่บริเวณถังปฏิกริยา และหัวเติมอากาศ 1-2 ครั้ง ทุกๆวัน

นอกจากในถังปฏิกริยาแล้ว ภายในถังพักน้ำเสียต้องล้างถังทุกๆครั้งที่มีการเติมน้ำเสียใหม่ เพื่อป้องกันการตกค้างของตะกอนขึ้นใหญ่ นอกจากนี้ท่อสูบน้ำเสียจะต้องเปลี่ยนทุกๆ 4-7 วัน (เมื่อสังเกตว่ามีเมือกเกาะภายในท่อ)

### 3.3.5.3 การควบคุมระบบโดยการควบคุมอายุสลัดจ์

การควบคุมอายุสลัดจ์ให้ได้ตามที่กำหนดไว้นั้น สำคัญต่อระบบมาก วิธีควบคุมอายุสลัดจ์ ทำได้โดยการระบายน้ำและสลัดจ์แขวนลอยออกจากระบบโดยตรง โดยจะระบายออกจากถังปฏิกริยาโดยตรง ปริมาณน้ำและสลัดจ์แขวนลอยที่ทิ้งในแต่ละวันสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3.3 นี้

$$Q_w = \frac{(VX / \theta_c) - QX_e}{(X - X_e)} \quad (3.3)$$

เมื่อ  $Q_w$  = ปริมาณของน้ำและสลัดจ์แขวนลอยที่ทิ้งออกจากระบบ, ลิตรต่อวัน

$Q$  = อัตราการสูบน้ำเสียเข้าสู่ระบบ, ลิตรต่อวัน

$\theta_c$  = ค่าอายุสลัดจ์

$X$  = ความเข้มข้นของสลัดจ์แขวนลอยในระบบ, มิลลิกรัมต่อลิตร

$X_e$  = ความเข้มข้นของสลัดจ์แขวนลอยที่หลุดไปกับน้ำออก, มิลลิกรัมต่อลิตร

$V$  = ปริมาตรรวมของถังปฏิกริยา, ลิตร

จากสมการที่ 3.3 เห็นได้ว่า ถ้าความเข้มข้นของสลัดจ์แขวนลอยที่หลุดไปกับน้ำออกมีค่าน้อยมากๆ เมื่อเทียบกับความเข้มข้นของสลัดจ์แขวนลอยในระบบ สมการ 3.3 จะสามารถลดรูปได้ดังนี้

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

$$Q_w = \frac{V}{\theta_c} \quad (3.4)$$

และโดยที่  $V$  เท่ากับ 10 ลิตร และ SRT เท่ากับ 10 วัน ซึ่งจะคำนวณ  $Q_w$  จะได้เท่ากับ 1.0 ลิตรต่อวัน ดังนั้นการควบคุมอายุสลัดจ์ของระบบ จึงทำได้โดยการระบายน้ำออกจากถังปฏิกริยาแต่ละถังโดยตรงเท่ากับ 1.0 ลิตรต่อวัน

ในการระบายน้ำออกจากถังปฏิกริยาซึ่งจะต้องระบายออก 1.0 ลิตรต่อวันเท่ากับว่าเป็นการนำวัสดุช่วยตกตะกอนไปทิ้งด้วยดังนั้นจึงต้องมีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนเพิ่มด้วยในแต่ละวันซึ่งสามารถคำนวณการเติมใหม่ได้โดย

**เอ็มแอลเอสเอสที่วัดได้ = ปริมาณสลัดจ์ในถังปฏิกริยา + ปริมาณวัสดุช่วยตกตะกอน**

ปริมาณเอ็มแอลเอสเอสได้เท่ากับ 5000 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการทดลองเราใส่วัสดุช่วยตกตะกอน 100 % (W/W) ดังนั้นปริมาณสลัดจ์จะเท่ากับ 2500 มิลลิกรัมต่อลิตรและจะต้องเติมวัสดุช่วยตกตะกอนเข้าไปวันละเท่ากับ 2500 มิลลิกรัม (2500 มิลลิกรัมต่อลิตร×1ลิตร)

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

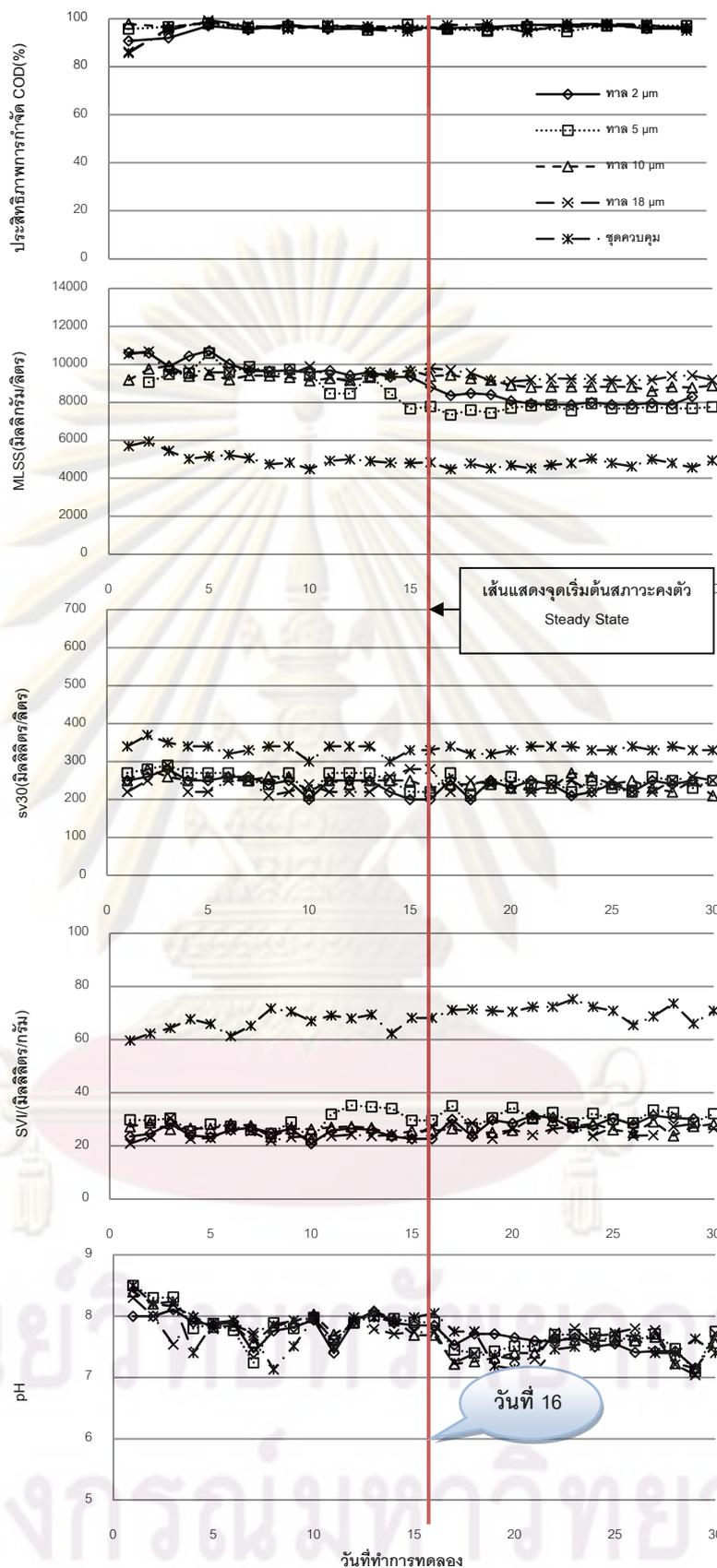
#### 4.1 ผลการศึกษาเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของระบบ

จากวิธีการทดลองในหัวข้อ 3.3.2 ได้ทำการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของการเลี้ยงตะกอนจุลชีพของระบบที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนทั้ง 3 ชนิด โดยทำการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ คือ ซีโอดี เอ็มแอลเอสเอส เอสวี30 เอสวีไอ และพีเอช ค่าที่ได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการควบคุมดูแล รักษา ระบบ และศึกษาความเข้ากันได้ของสไลด์จ์กับวัสดุช่วยตกตะกอน และใช้เพื่อการวิเคราะห์หาสภาวะคงที่ (Steady State) ของตะกอนจุลชีพ

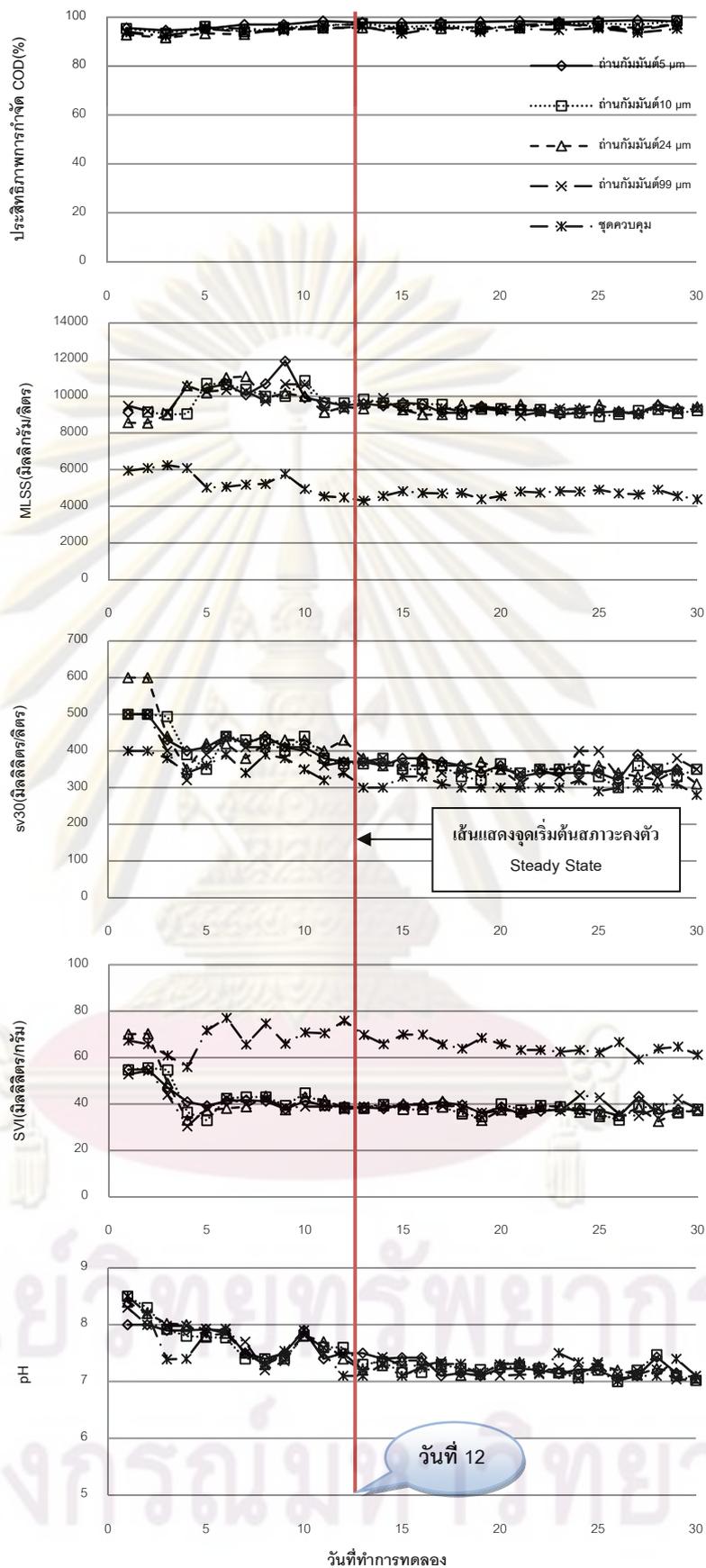
ผลของการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆในถังปฏิกรณ์ที่มีการเติมทาลขนาดประมาณ 2, 5, 10 และ 18 ไมโครเมตร ถ่านกัมมันต์ชนิดผงขนาดประมาณ 5, 10, 24 และ 99 ไมโครเมตร และยางรถยนต์บดละเอียดขนาดประมาณ 110, 242, 656 และ 848 ไมโครเมตร ดังรูปที่ 4.1, 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ โดยข้อมูลในการแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข

ศูนย์วิทยทรัพยากร

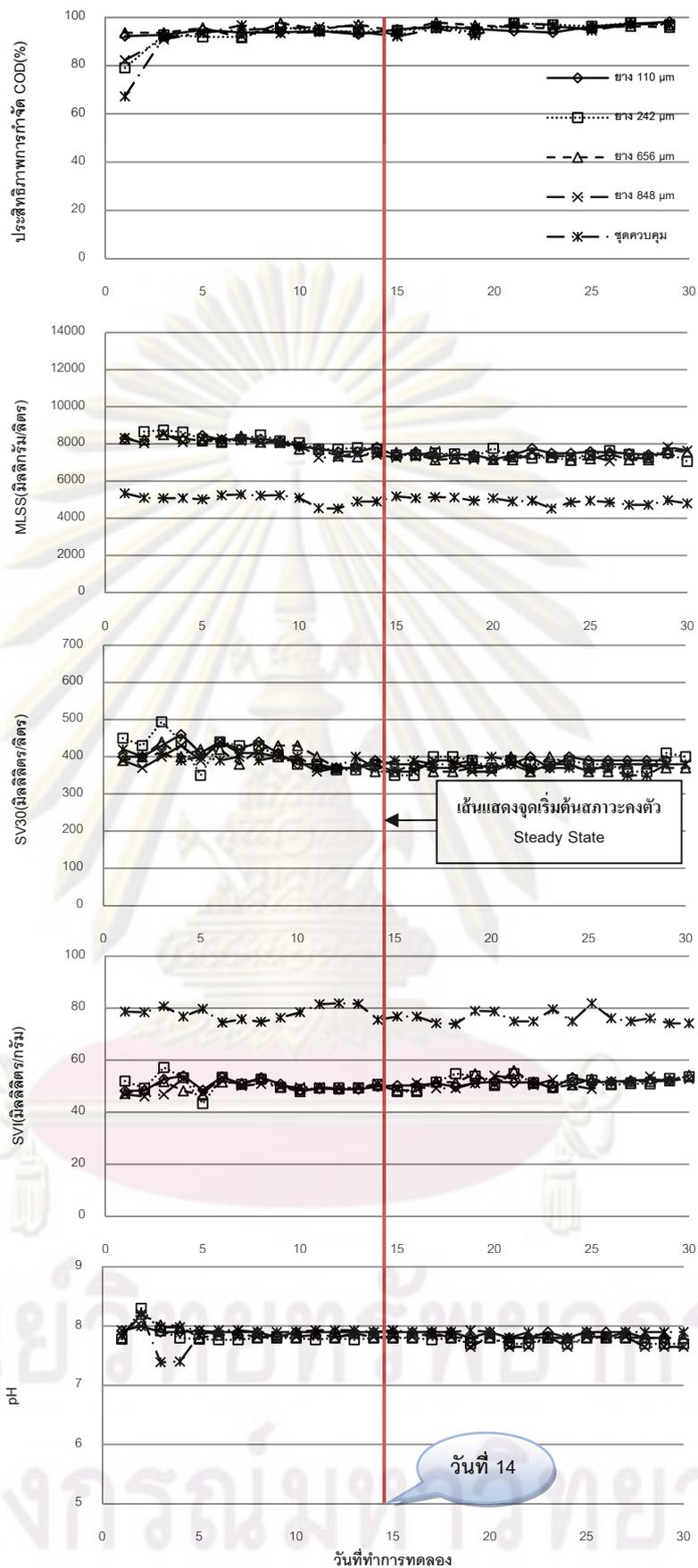
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่มีการเติมทาล ที่ขนาด 2, 5, 10 และ 18 ไมโครเมตร



รูปที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ที่ขนาด 5, 10, 24 และ 99 ไมโครเมตร



รูปที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่มีการเติมยางรถยนต์บดละเอียด ที่ขนาด 110, 242, 656 และ 848 ไมโครเมตร

ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆพบว่าระบบที่มีการเติมทาลเข้าสู่สภาวะคงที่ในวันที่ 16 ระบบที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ในวันที่ 12 ส่วนยางรถยนต์บดละเอียดระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ในวันที่ 14 ของการทดลอง เห็นได้ว่าระบบที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนลงไปจะใช้ระยะเวลาเข้าสู่สภาวะคงที่เพียง 12 ถึง 16 วันในทุกถังปฏิบัติการซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบเข้าสู่สภาวะคงที่เร็วมากเมื่อเทียบกับระบบบำบัดน้ำเสียเอเอสจริง ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะสลัดจ์ที่นำมาใช้เริ่มต้นเดินระบบเป็นสลัดจ์ที่มีลักษณะสมบัติที่ดี มีอายุพอเหมาะไม่มากไม่น้อยจนเกินไป มีความสามารถในการตกตะกอนที่ดี ปรับตัวรับน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้น้ำตาลเป็นสารอินทรีย์คาร์บอนได้เป็นอย่างดี ซึ่งน้ำตาลทรายเป็นสารอินทรีย์ที่จุลชีพย่อยได้ง่าย มีราคาถูกเป็นที่นิยมใช้สำหรับเป็นน้ำเสียสังเคราะห์อย่างแพร่หลาย

ส่วนผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆพบว่า การเติมวัสดุช่วยตกตะกอนส่งผลให้ค่าพารามิเตอร์ส่วนใหญ่ไม่แตกต่างกันกับชุดที่ไม่มีเติมวัสดุช่วยตกตะกอนมากนัก โดยจะมีความแตกต่างก็แต่เพียงค่าเอ็มแอลเอสเอส และ เอสวีไอ เท่านั้น ซึ่งมีเหตุผลและมีความเป็นไปได้คือเมื่อเติมวัสดุช่วยตกตะกอนเป็นการเพิ่มมวลให้กับสลัดจ์และเป็นการเพิ่มปริมาณของแข็งแขวนลอยให้กับระบบ ดังนั้นค่าเอ็มแอลเอสเอสจึงเพิ่มสูงขึ้น ส่วนค่าเอสวีไอของระบบที่เติมวัสดุช่วยตกตะกอนพบว่ามีความน้อยกว่าชุดควบคุมเนื่องมาจากค่าเอสวีไอหาได้จากค่าเอสวี30หารด้วยเอ็มแอลเอสเอส ซึ่งระบบที่ทำการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนมีค่าเอ็มแอลเอสเอสค่อนข้างมากเมื่อนำค่าเอสวี30 หารกับค่าเอ็มแอลเอสเอสของระบบที่เติมวัสดุช่วยตกตะกอน จึงทำให้ค่าเอสวีไอของระบบที่เติมวัสดุช่วยตกตะกอนมีค่าต่ำ ทั้งนี้ค่าเอสวีไอเป็นดัชนีที่ชี้ให้เห็นถึงความสามารถในการตกตะกอนของสลัดจ์ โดยสลัดจ์ในระบบเอเอสที่มีค่าเอสวีไอไม่เกิน 200 มิลลิกรัมต่อกรัม ถือว่าเป็นสลัดจ์ที่ดีไม่มีปัญหาในเรื่องของการตกตะกอน

นอกจากนั้นจากการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ในเรื่องของประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดียังพบว่า การเติมถ่านกัมมันต์เป็นวัสดุช่วยตกตะกอนยังสามารถช่วยในเรื่องประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีได้ในทันทีโดยไม่ต้องรอให้ระบบเข้าสู่สภาวะสมดุล สังเกตได้จากประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในช่วงเริ่มเดินระบบ 5 วันแรกของทาลและยางที่มีค่าค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับถ่านกัมมันต์ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และ 4.3 และการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ยังบ่งชี้ถึงว่าวัสดุช่วยตกตะกอนเข้ากันได้กับระบบเอเอสและไม่รบกวนการทำงานของระบบต่อจุลชีพในระบบเอเอสอีกด้วย

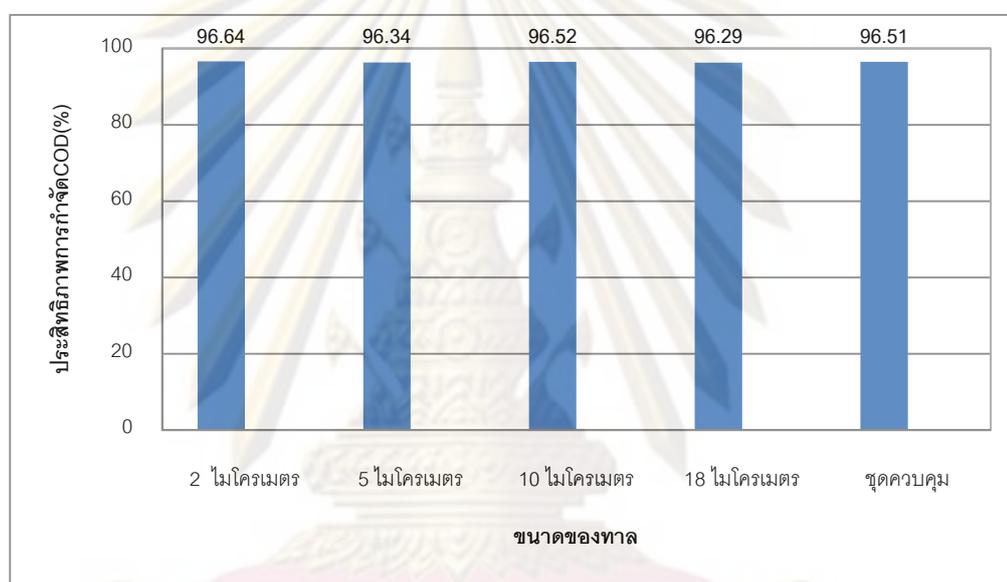
#### 4.2 ผลการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบ

การทดลองในหัวข้อนี้ทำการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีในระบบเอเอสที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนทั้ง 3 ชนิดคือ ทาล ถ่านกัมมันต์ชนิดผง และยางบดละเอียดที่มีขนาดที่แตกต่างกัน 4 ค่า โดยทำการเปรียบเทียบกับชุดควบคุมว่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี

ของวัสดุช่วยตกตะกอนที่ต่างชนิดกันและมีขนาดที่แตกต่างกันจะมีความสามารถในการกำจัดซีโอดีได้หรือไม่ โดยข้อมูลประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข. และผลการทดลองสามารถแสดงได้ดังนี้

#### 4.2.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบที่มีการเติมทาลขนาด 2, 5, 10 และ 18 ไมโครเมตร

ผลของค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบเอเอสที่มีการเติมทาลเป็นวัสดุช่วยตกตะกอนที่ขนาด 2, 5, 10 และ 18 ไมโครเมตร หลังจากระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ซึ่งเป็นสภาวะที่ระบบสามารถแสดงประสิทธิภาพได้อย่างเต็มที่แสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ประสิทธิภาพของการกำจัดซีโอดีที่มีการเติมทาลเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน

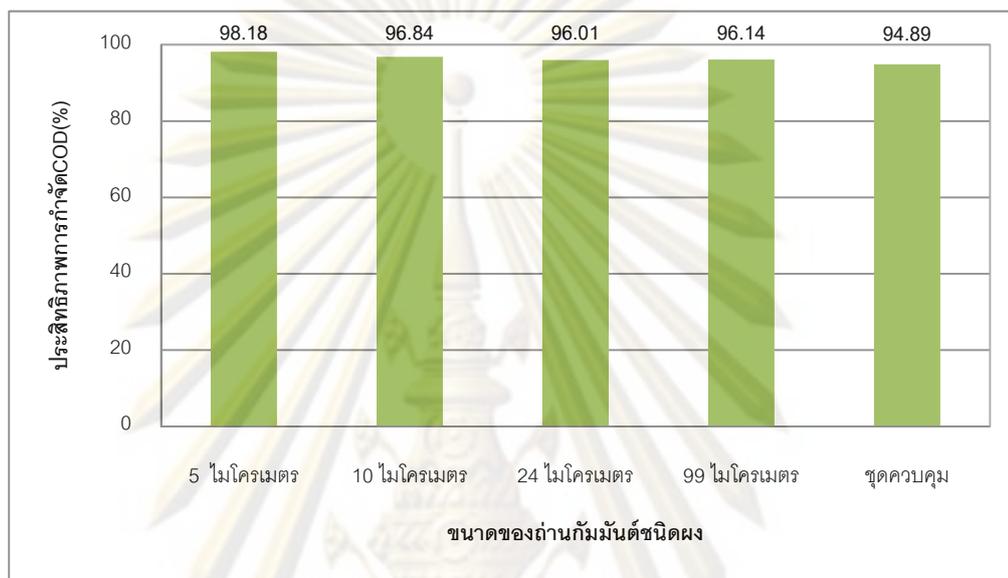
ผลของค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของทาลพบว่าทาลที่มีขนาดที่แตกต่างกันขนาด 2, 5, 10 และ 18 ไมโครเมตร นั้นไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีโดยค่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีมีค่าใกล้เคียงกับชุดควบคุมมีค่าอยู่ที่ประมาณร้อยละ 96

จากงานวิจัยที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่า ทาล เป็นสารที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในการใช้เป็นวัสดุช่วยตกตะกอนโดยเฉพาะในเรื่องการเพิ่มประสิทธิภาพของการตกตะกอนช่วยปรับปรุงลักษณะการตกตะกอนในแง่ของการเพิ่มความเร็วในการตกตะกอนนอกจากนี้ทาลยังสามารถใช้เป็นวัสดุช่วยตกตะกอนที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีได้ซึ่งให้ผลของการทดลองออกมาได้เป็นที่น่าพอใจ



#### 4.2.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบที่มีการเติม ถ่านกัมมันต์ชนิดผงขนาด 5, 10, 24 และ 99 ไมโครเมตร

ผลของค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบเอเอสที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงเป็นวัสดุช่วยตกตะกอนที่ขนาด 5, 10, 24 และ 99 ไมโครเมตร หลังจากระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ซึ่งเป็นสภาวะที่ระบบสามารถแสดงประสิทธิภาพได้อย่างเต็มที่แสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ประสิทธิภาพของการกำจัดซีโอดีที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน

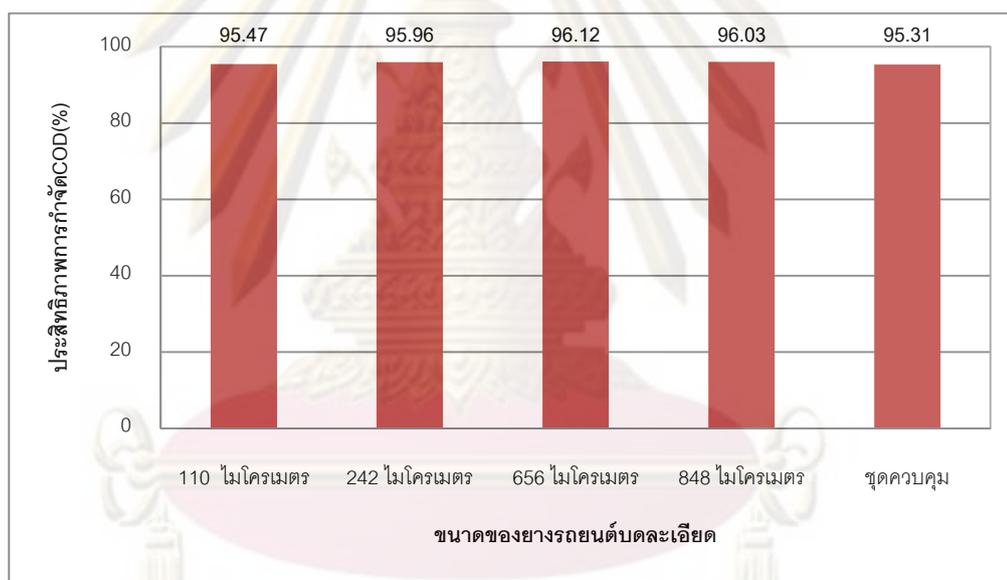
ผลของค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของถ่านกัมมันต์ชนิดผงพบว่า ถ่านกัมมันต์ชนิดผงที่มีขนาดเล็กที่สุดคือที่ขนาด 5 ไมโครเมตร มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีร้อยละ 98.18 ซึ่งสูงกว่าถ่านกัมมันต์ชนิดผงขนาดอื่นและชุดควบคุมเนื่องจากคุณสมบัติของ ถ่านกัมมันต์เองที่สามารถเป็นตัวดูดซับที่ดี (Lee, Shin and Paik, 1989) อีกทั้งยังมีขนาดเล็กและ แขนงลอยเข้ากับน้ำเสียและฟุ้งกระจายตัวภายในถังเติมอากาศได้ดีกว่าขนาดใหญ่ซึ่งมีน้ำหนัก มากทำให้ตกตะกอนเร็ว จึงทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของถ่านกัมมันต์ชนิดผงขนาดเล็ก สูงตามไปด้วย

ผลจากการทดลองยังพบว่าค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพของการกำจัดซีโอดีที่มีการเติม ถ่านกัมมันต์ชนิดผงขนาดอื่นๆคือที่ขนาด 10, 24 และ 99 ไมโครเมตร มีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการ กำจัดซีโอดีประมาณร้อยละ 96 ซึ่งสูงกว่าชุดควบคุมซึ่งมีค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ประมาณร้อยละ 94 เนื่องจากคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์ที่สามารถเป็นตัวดูดซับที่ดีจึงดูดซับ สารอินทรีย์ได้ จึงทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูงตามไปด้วย (Lee, Shin and Paik, 1989)

มีงานวิจัยเกี่ยวกับถ่านกัมมันต์ชนิดผงเกี่ยวข้องกับความสามารถในการดูดซับมลสารในน้ำเสียในระบบเอเอสเช่นงานวิจัยของ Lee, Shin and Paik, 1989 แต่ไม่พบว่ามีการวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับการเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอนและประสิทธิภาพของการกำจัดซีโอดีของระบบแต่ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าระบบเอเอสที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงเป็นวัสดุช่วยตกตะกอนสามารถกำจัดซีโอดีได้

#### 4.2.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบที่มีการเติมยางรถยนต์บดละเอียดขนาด 110, 242, 656 และ 848 ไมโครเมตร

ผลของค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบเอเอสที่มีการเติมยางรถยนต์บดละเอียดเป็นวัสดุช่วยตกตะกอนที่ขนาด 110, 242, 656 และ 848 ไมโครเมตร หลังจากระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ซึ่งเป็นสภาวะที่ระบบสามารถแสดงประสิทธิภาพได้อย่างเต็มที่แสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ประสิทธิภาพของการกำจัดซีโอดีที่มีการเติมยางรถยนต์บดละเอียดเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน

ผลของค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของยางรถยนต์บดละเอียดพบว่ายางรถยนต์บดละเอียดที่มีขนาดที่แตกต่างกันคือขนาด 110, 242, 656 และ 848 ไมโครเมตร นั้นไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีโดยค่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีมีค่าใกล้เคียงกับชุดควบคุมโดยมีค่าอยู่ที่ประมาณร้อยละ 96

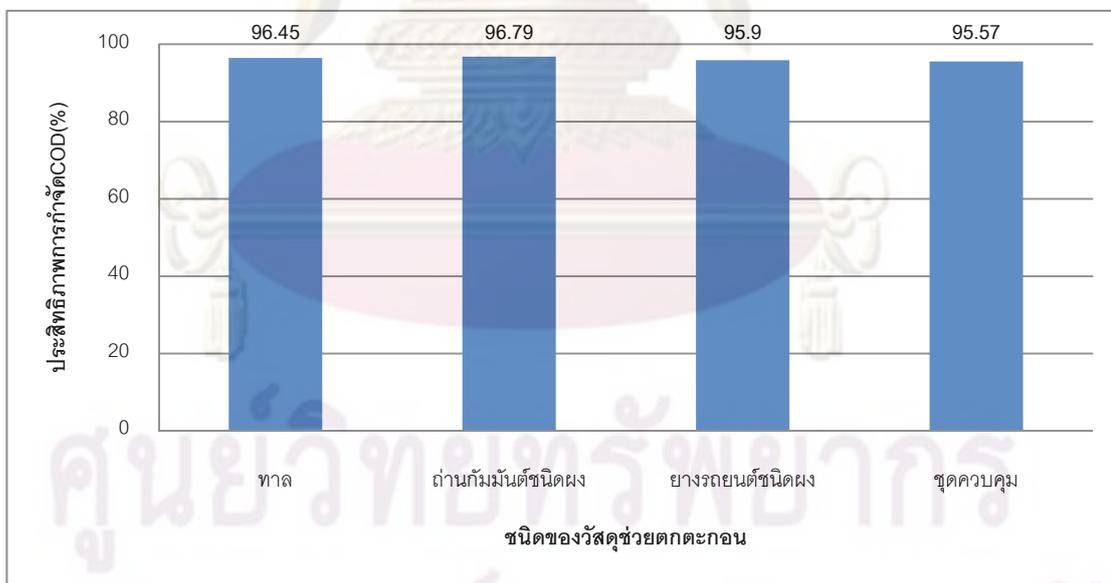
ผลจากการทดลองระบบเอเอสที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนคือยางรถยนต์บดละเอียดแสดงให้เห็นว่ายางรถยนต์บดละเอียดมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีได้ดีซึ่งเป็น

แนวทางที่ดีในการนำยางรถยนต์บดละเอียดมาใช้เป็นวัสดุช่วยตกตะกอนอีกทั้งยังเป็นการนำยางรถยนต์เก่าที่ถูกทิ้งเป็นปริมาณมากในแต่ละปีนำกลับมาใช้ใหม่ให้เกิดประโยชน์ได้อีกด้วย

#### 4.2.4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของวัสดุช่วยตกตะกอนทั้ง 3 ชนิดที่ขนาดแตกต่างกัน

จากผลการทดลองระบบเอเอสที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนทั้ง 3 ชนิดคือ ทาล ถ่านกัมมันต์ชนิดผง และยางรถยนต์บดละเอียด เทียบกับชุดควบคุมที่ไม่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอน พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของทาลและยางรถยนต์บดละเอียดไม่ว่าขนาดเล็กหรือขนาดใหญ่มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีได้ใกล้เคียงกับชุดควบคุมโดยมีค่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีได้ประมาณร้อยละ 95

ส่วนถ่านกัมมันต์ชนิดผงมีแนวโน้มที่จะให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูงกว่าชนิดอื่น โดยถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีได้สูงถึงประมาณร้อยละ 97 เนื่องจากคุณสมบัติของถ่านกัมมันต์เองที่สามารถเป็นตัวดูดซับที่ดีสามารถดูดซับสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้อีกทั้งยังมีพื้นที่ผิวที่สูงกว่าทำให้จุลินทรีย์สามารถเข้ามาจับตัวทำให้ปริมาณจุลินทรีย์เพิ่มมากขึ้นในระบบทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีสูงและดีกว่าชนิดอื่น



รูปที่ 4.7 ประสิทธิภาพของการกำจัดซีโอดีของวัสดุช่วยตกตะกอนทั้ง 3 ชนิด

น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลองมีน้ำตาลเป็นสารอินทรีย์คาร์บอนซึ่งน้ำตาลทรายเป็นสารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์ย่อยได้ง่ายทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีมีประสิทธิภาพที่สูงแต่ถ้าใช้น้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียจริงคือน้ำเสียจากชุมชน หรือน้ำเสียจากโรงงานซึ่งมีสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยาก อาจทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีแตกต่างจากที่ได้ทำการทดลอง หากใช้น้ำเสียจริงในการเดินระบบแนวโน้มของวัสดุช่วยตกตะกอนที่ใช้ได้ดีคือถ่านกัมมันต์ชนิดผงที่สามารถเป็นตัวดูดซับที่ดี สามารถกำจัดสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ยากได้ดี ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของถ่านกัมมันต์ชนิดผงดีกว่า ทาล ถ่านกัมมันต์ที่มีขนาดใหญ่และยางรถยนต์บดละเอียด

ในแง่ของขนาดวัสดุช่วยตกตะกอน พบว่า ขนาดไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี แต่จากแนวคิดเรื่องการใช้ น้ำเสียจริงในการทดลอง มีแนวโน้มว่า ขนาดน่าจะมีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีโดยเฉพาะถ่านกัมมันต์ที่มีขนาดเล็กซึ่งมีพื้นที่ผิวมาก น่าจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีได้ดีกว่าทั้งนี้ควรมีการทดลองโดยใช้น้ำเสียจริงที่ย่อยยากเพื่อพิสูจน์แนวคิดดังกล่าวต่อไป

#### 4.3 ผลของขนาดวัสดุช่วยตกตะกอนขนาดต่าง ๆ ที่มีต่อค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน (Initial Settling Velocity)

ในหัวข้อนี้เป็นการเปรียบเทียบความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนทั้ง 3 ชนิดที่มีขนาดแตกต่างกัน โดยใช้ความเข้มข้นของสลัดจ์ในถังปฏิกรณ์ซึ่งอยู่ในรูปของเอ็มแอลเอสเอสนำมาทำการเจือจางให้มีค่าความเข้มข้น 4 ค่าคือ 4,000, 5,000, 6,000, และ 7,000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยทำการวัดค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนที่ระยะเวลาดำเนินการทดลองคือ  $1\theta_c$ ,  $2\theta_c$ , และ  $3\theta_c$  ผลของการทดลองได้แสดงในหัวข้อต่อไป ทั้งนี้จากการดำเนินการทดลองที่ผ่านมา ผู้วิจัยมีข้อสังเกตดังต่อไปนี้

- ที่ระยะเวลา 10 วันหรือมีค่าเท่ากับ 1 เท่าของอายุสลัดจ์ ( $1\theta_c$ ) พบว่าสลัดจ์ในระบบยังไม่อยู่ในสภาวะคงที่ ระบบที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนทุกขนาดค่าความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอนมีค่าค่อนข้างต่ำ

- ที่ระยะเวลา 20 วัน หรือมีค่าเท่ากับ 2 เท่าของอายุสลัดจ์ ( $2\theta_c$ ) และที่ระยะเวลา 30 วัน หรือมีค่าเท่ากับ 3 เท่าของอายุสลัดจ์ ( $3\theta_c$ ) พบว่าสลัดจ์ในระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady State) ระบบที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนทุกขนาดทำให้ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนในการตกตะกอนมีค่าสูงที่สุด

- ที่ความเข้มข้นของสลัดจ์ระหว่าง 4,000 – 7,000 มิลลิกรัมต่อลิตร สลัดจ์ตกตะกอนได้ดี เนื่องจากเกิดการตกตะกอนแบบโคต สามารถวัดความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนได้อย่างชัดเจน

ดังนั้นค่าความเข้มข้นของสลัดจ์ทั้ง 4 ค่า จึงเหมาะสมในการวัดความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์กับทุกชุดการทดลองของทาล ถ่านกัมมันต์ชนิดผงและยางรถยนต์บดละเอียด

- ที่ความเข้มข้นของสลัดจ์ต่ำกว่า 4,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ลักษณะการตกตะกอนไม่ชัดเจน สลัดจ์มีลักษณะขุ่น ฟุ้งกระจายไม่สามารถสังเกตเห็นการแยกชั้นสลัดจ์กับชั้นน้ำใส (Interface) ทำให้ไม่สามารถทำการวัดระยะทางในการตกตะกอนและจับเวลาเพื่อใช้ในการหาความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอนได้

- ที่ความเข้มข้นสลัดจ์สูงกว่า 7,000 มิลลิกรัมต่อลิตร สลัดจ์ตกตะกอนได้ช้ามากเนื่องจากสลัดจ์มีความเข้มข้นสูงและเกิดการตกตะกอนแบบอัดตัว

ทั้งนี้ตารางแสดงข้อมูลค่าความเร็วในการตกตะกอนและกราฟแสดงค่าความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอนที่ได้ทำการวิเคราะห์สมการเส้นตรงและค่าความชันของกราฟของวัสดุช่วยตกตะกอนทั้ง 3 ชนิดที่ขนาดต่างๆในงานวิจัยนี้ ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก.

#### 4.3.1 การเปรียบเทียบความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอนของสลัดจ์ในระบบที่มีการเติมทาลขนาด 2, 5, 10 และ 18 ไมโครเมตร

การศึกษาความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอนของสลัดจ์ในระบบที่มีการเติมทาลขนาดต่างๆแสดงดังตารางที่ 4.1 พบว่าขนาดของทาลมีผลต่อความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอนของสลัดจ์ในระบบเอเอส ดังนี้

- ทาลที่มีขนาดเล็กที่สุดคือขนาด 2 ไมโครเมตร ตกตะกอนได้ดีที่สุดส่งผลให้ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนสูงสุดคือ 17.64 เมตรต่อชั่วโมง

- ขนาดของทาลที่ใหญ่ขึ้นตกตะกอนได้ช้าลง ส่งผลให้ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนลดลงตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.8 ค

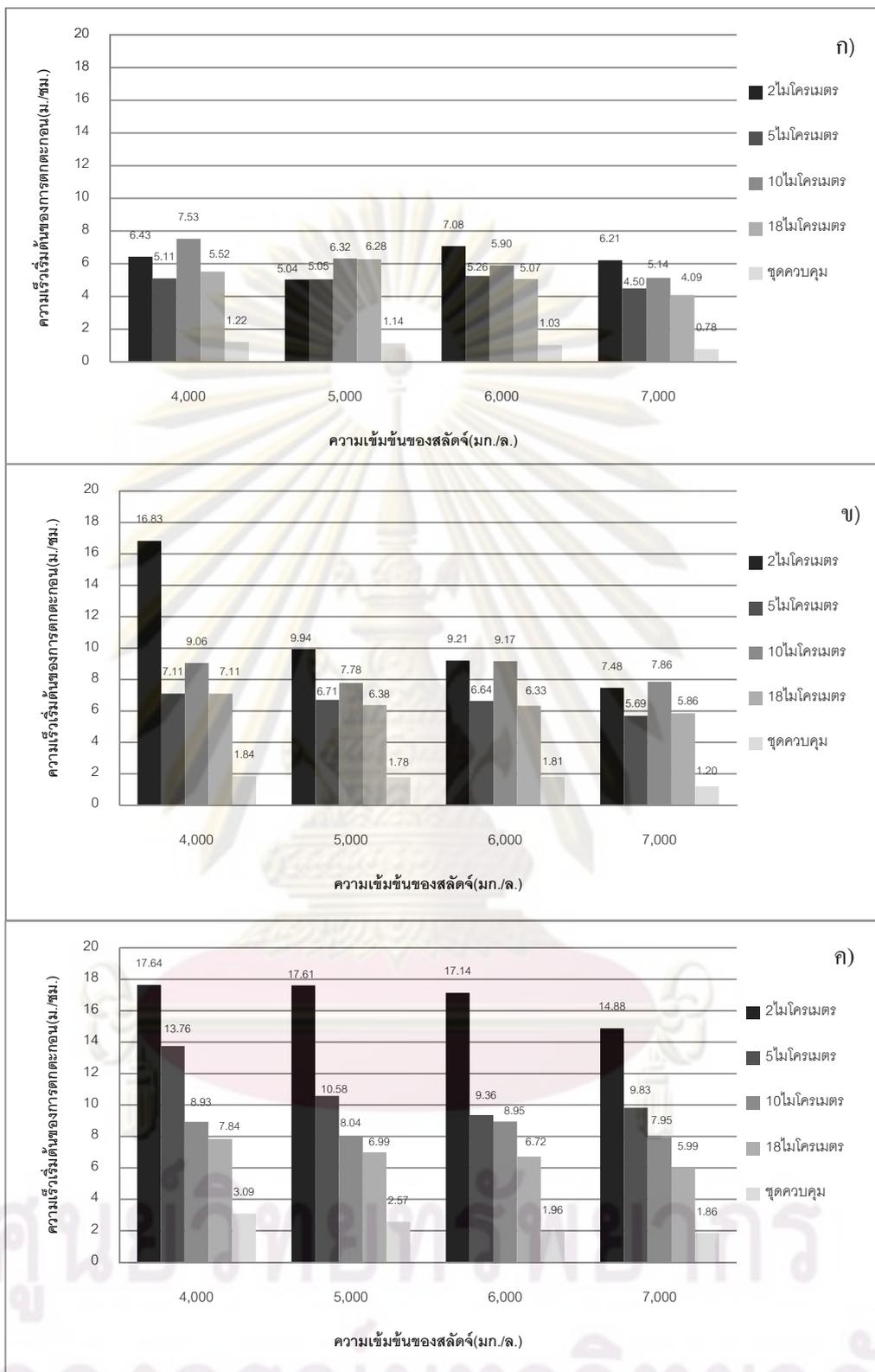
- ชุดควบคุมที่ไม่มีทาลพบว่ามีค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนต่ำกว่า 3.09 เมตรต่อชั่วโมง ซึ่งในทางทฤษฎีความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนต้องมากกว่า 5 เมตรต่อชั่วโมง ถือว่าเป็นการตกตะกอนที่มีประสิทธิภาพดี (Water Environment Federation, 2005)

ดังนั้นระบบที่มีการเติมทาลทุกขนาดมีค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนสูงกว่า 5 เมตรต่อชั่วโมงตลอดทั้งการทดลอง ซึ่งสามารถเพิ่มความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอนให้สูงขึ้นได้อีกด้วยซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Piirtola (Piirtola, 1999) ที่กล่าวไว้ว่าการเติมทาลลงในสลัดจ์ช่วยปรับปรุงความสามารถในการตกตะกอนและช่วยให้ความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอนดีขึ้นได้

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ในระบบที่มีการเติม  
ทาลที่ขนาด 2, 5, 10 และ 18 ไมโครเมตร ที่ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง  $1\theta_c$ ,  $2\theta_c$ , และ  $3\theta_c$

ระยะเวลา ดำเนิน การทดลอง	ขนาดทาล (ไมโครเมตร)	ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ (มก./ล.)			
		4,000	5,000	6,000	7,000
$1\theta_c$	2	6.43	5.04	7.08	6.21
	5	5.11	5.05	5.26	4.50
	10	7.53	6.32	5.90	5.14
	18	5.52	6.28	5.07	4.09
	ชุดควบคุม	1.22	1.14	1.03	0.78
$2\theta_c$	2	16.83	9.94	9.21	7.48
	5	7.11	6.71	6.64	5.69
	10	9.06	7.78	9.17	7.86
	18	7.11	6.38	6.33	5.86
	ชุดควบคุม	1.84	1.78	1.81	1.20
$3\theta_c$	2	17.64	17.61	17.14	14.88
	5	13.76	10.58	9.36	9.83
	10	8.93	8.04	8.95	7.95
	18	7.84	6.99	6.72	5.99
	ชุดควบคุม	3.09	2.57	1.96	1.86

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.8 ความเร็วเริ่มต้นการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมทาลขนาดต่างๆ

ก) ระยะเวลาดำเนินการทดลอง 1θ<sub>c</sub> ข) ระยะเวลาดำเนินการทดลอง 2θ<sub>c</sub>

ค) ระยะเวลาดำเนินการทดลอง 3θ<sub>c</sub>

จากผลการทดลองยังพบว่าทาลที่มีขนาดเล็กคือที่ขนาด 2 และ 5 ไมโครเมตร มีความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอนที่ดีกว่าทาลที่มีขนาดใหญ่คือที่ 10 และ 18 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นที่น่าแปลกใจว่าทำไมทาลที่มีขนาดเล็กถึงตกตะกอนได้เร็วกว่าทาลที่มีขนาดใหญ่เพื่อให้เห็นภาพชัดเจนจะอธิบายในรูปที่ 4.12 การจับตัวของฟล็อกจูลซีกับทาลต่อไป เหตุผลที่ทาลขนาดเล็กสามารถตกตะกอนได้ดีกว่าทาลที่มีขนาดใหญ่ เนื่องมาจากทาลที่มีขนาดเล็กสามารถเป็นเป้าสัมผัสสามารถรวมตัวเข้าไปในโครงสร้างสลัดจ์ถูกห่อหุ้มจับตัวกันเป็นก้อนใหญ่ได้ดีกว่าทาลที่มีขนาดใหญ่ ทำให้ฟล็อกมีขนาดใหญ่ขึ้นความหนาแน่นและน้ำหนักของฟล็อกสูงขึ้นเกิดการตกตะกอนได้เร็วและทำให้ค่าความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอนสูงขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นสามารถตอบได้ว่าการใช้ทาลที่มีขนาดเล็กสามารถทำให้ค่าความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอนสูงที่สุด

#### 4.3.2 การเปรียบเทียบความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอนของสลัดจ์ในระบบที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงขนาด 5, 10, 24 และ 99 ไมโครเมตร

การศึกษาความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอนของสลัดจ์ในระบบที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงขนาดต่างๆแสดงดังตารางที่ 4.2 พบว่าขนาดของถ่านกัมมันต์ชนิดผงมีผลต่อความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอนของสลัดจ์ในระบบเอเอส ดังนี้

- ถ่านกัมมันต์ชนิดผงที่มีขนาดใหญ่ที่สุดคือขนาด 99 ไมโครเมตร ตกตะกอนได้ดีที่สุด ส่งผลให้ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนสูงสุดคือ 13.91 เมตรต่อชั่วโมง ซึ่งแตกต่างจากการทดลองของทาลที่ขนาดเล็กตกตะกอนได้ดีกว่าเนื่องจากขนาดเล็กของทาลสามารถจับตัวห่อหุ้มกับฟล็อกจูลซีได้ดีจึงมีขนาดฟล็อกใหญ่ทำให้ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนสูงกว่าถ่านกัมมันต์ชนิดผง

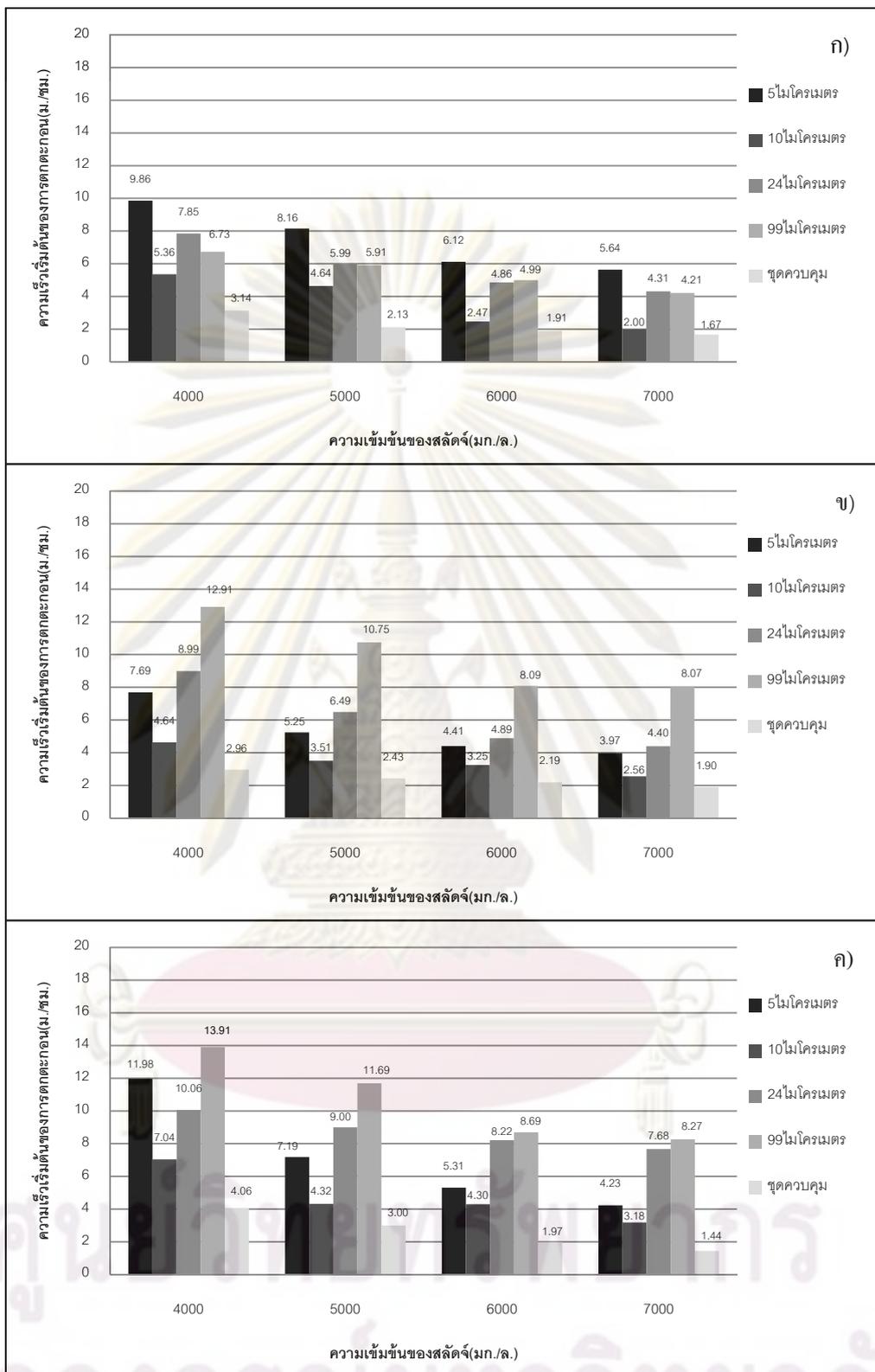
- ขนาดของถ่านกัมมันต์ชนิดผงที่มีขนาดเล็กงตกตะกอนได้ช้าลงส่งผลให้ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนลดลงตามลำดับ แต่ถ่านกัมมันต์ชนิดผงที่มีขนาดเล็กที่สุดคือ 5 ไมโครเมตร สามารถตกตะกอนได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์ชนิดผงที่มีขนาด 10 และ 24 ไมโครเมตร ทำให้แนวโน้มของค่าความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอนมีลักษณะเป็นรูปตัววีในทุกค่าของ  $\theta_c$  ที่เปลี่ยนแปลง ดังแสดงในรูปที่ 4.9 ค

- ชุดควบคุมที่ไม่มีถ่านกัมมันต์ชนิดผงพบว่ามีความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนต่ำกว่า 4.06 เมตรต่อชั่วโมง ซึ่งในทางทฤษฎีความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนต้องมากกว่า 5 เมตรต่อชั่วโมง ถือว่าเป็นการตกตะกอนที่มีประสิทธิภาพดี (Water Environment Federation, 2005) ดังนั้นระบบที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงทุกขนาดสามารถเพิ่มความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอนให้สูงขึ้นได้และมีค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนสูงกว่าชุดควบคุม อีกทั้งค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนสูงกว่า 5 เมตรต่อชั่วโมงตลอดที่ทำการทดลอง



ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ในระบบ  
ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงที่ขนาด 5, 10, 24 และ 99 ไมโครเมตร  
ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง  $1\theta_c$ ,  $2\theta_c$ , และ  $3\theta_c$

ระยะเวลา ดำเนิน การทดลอง	ขนาดถ่าน กัมมันต์ชนิดผง (ไมโครเมตร)	ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ (มก./ล.)			
		4,000	5,000	6,000	7,000
$1\theta_c$	5	9.86	8.16	6.12	5.64
	10	5.36	4.64	2.47	2.00
	24	7.85	5.99	4.86	4.31
	99	6.73	5.91	4.99	4.21
	ชุดควบคุม	3.14	2.13	1.91	1.67
$2\theta_c$	5	7.69	5.25	4.41	3.97
	10	4.64	3.51	3.25	2.56
	24	8.99	6.49	4.89	4.40
	99	12.91	10.75	8.09	8.07
	ชุดควบคุม	2.96	2.43	2.19	1.90
$3\theta_c$	5	11.98	7.19	5.31	4.23
	10	7.04	4.32	4.30	3.18
	24	10.06	9.00	8.22	7.68
	99	13.91	11.69	8.69	8.27
	ชุดควบคุม	4.06	3.00	1.97	1.44



รูปที่ 4.9 ความเร็วเริ่มต้นการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงขนาดต่างๆ

ก) ระยะเวลาดำเนินการทดลอง 1θ<sub>c</sub> ข) ระยะเวลาดำเนินการทดลอง 2θ<sub>c</sub>

ค) ระยะเวลาดำเนินการทดลอง 3θ<sub>c</sub>

จากผลการทดลองเปรียบเทียบขนาดที่แตกต่างกันของถ่านกัมมันต์ชนิดผง พบว่า สลัดจ์ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงที่มีขนาดใหญ่คือ 99 ไมโครเมตร ให้ค่าความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอนสูงที่สุดซึ่งสูงกว่าถ่านกัมมันต์ชนิดผงที่มีขนาดเล็ก เนื่องจากถ่านกัมมันต์ชนิดผงขนาด 99 ไมโครเมตร มีขนาดใหญ่จึงมีน้ำหนักมากทำให้มีความสามารถในการตกตะกอนที่สูงกว่าขนาดที่เล็กคือที่ขนาด 5, 10 และ 24 ไมโครเมตร

ขนาดที่แตกต่างกันทำให้เกิดการจับตัวกับสลัดจ์ได้ 2 ลักษณะคือถ่านกัมมันต์ชนิดผงที่มีขนาดเล็กคือขนาด 5, 10, และ 24 ไมโครเมตร สลัดจ์ห่อหุ้มยึดติดกับพื้นผิวของก้อนถ่านกัมมันต์ชนิดผง ส่วนถ่านกัมมันต์ชนิดผงที่มีขนาดใหญ่ที่สุดคือ 99 ไมโครเมตร การจับตัวระหว่างสลัดจ์กับถ่านกัมมันต์ชนิดผงมีลักษณะการเกาะตัวที่พื้นผิว ทั้งนี้รายละเอียดของกลไกการจับตัวจะได้กล่าวถึงในหัวข้อที่ 4.5 ต่อไป

ผลการทดลองระบบที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงสวนทางกับผลการทดลองของทาลคือทาลขนาดเล็กมีค่าความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอนสูงกว่าทาลขนาดใหญ่ แต่ค่าความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอนของถ่านกัมมันต์ชนิดผงที่มีขนาดใหญ่ 99 ไมโครเมตร ยังมีค่าความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอนต่ำกว่าทาลที่มีขนาดแค่ 2 ไมโครเมตร เนื่องจากค่าความหนาแน่นของทาลซึ่งมีค่าความหนาแน่น 2.8 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร นั้นมากกว่าค่าความหนาแน่นของถ่านกัมมันต์ชนิดผงซึ่งมีค่าความหนาแน่นเพียง 2.2 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร อีกทั้งทาลที่มีขนาดเล็กคือ 2 ไมโครเมตร ยังจับตัวกับสลัดจ์รวมตัวกันเป็นก้อนฟล็อกขนาดใหญ่ได้ดี จึงทำให้ทาลขนาด 2 ไมโครเมตร มีค่าความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอนสูงกว่าถ่านกัมมันต์ชนิดผงที่มีขนาด 99 ไมโครเมตรได้

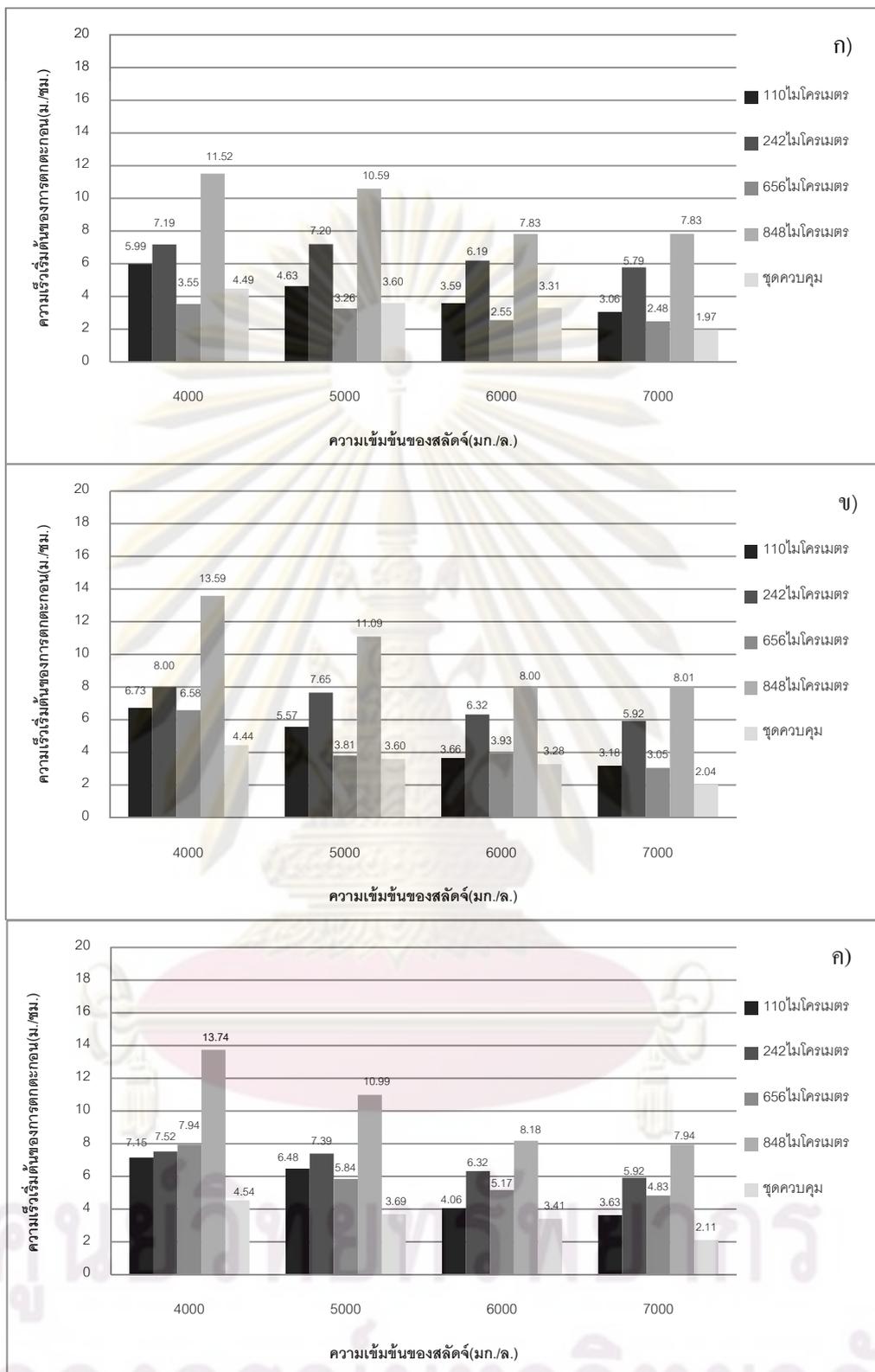
#### 4.3.3 การเปรียบเทียบความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอนของสลัดจ์ในระบบที่มีการเติมยางรถยนต์บดละเอียดขนาด 110, 242, 656 และ 848 ไมโครเมตร

การศึกษาความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอนของสลัดจ์ในระบบที่มีการเติมยางรถยนต์บดละเอียดขนาดต่างๆแสดงดังตารางที่ 4.3 พบว่าขนาดของยางรถยนต์บดละเอียดมีผลต่อความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอนของสลัดจ์ในระบบเอเอส ดังนี้

- ยางรถยนต์บดละเอียดที่มีขนาดใหญ่ที่สุดคือขนาด 848 ไมโครเมตร ตกตะกอนได้ดีที่สุด ส่งผลให้ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนสูงที่สุดคือ 13.74 เมตรต่อชั่วโมง
- ขนาดของยางรถยนต์บดละเอียดที่มีขนาดเล็กลงตกตะกอนได้ช้าลงส่งผลให้ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนลดลงตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.10 ค

ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ในระบบ  
ที่มีการเติมยางรถยนต์บดละเอียดที่ขนาด 110, 242, 656 และ 848 ไมโครเมตร  
ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง  $1\theta_c$ ,  $2\theta_c$  และ  $3\theta_c$

ระยะเวลา ดำเนิน การทดลอง	ขนาดยางรถยนต์ บดละเอียด (ไมโครเมตร)	ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ (มก./ล.)			
		4,000	5,000	6,000	7,000
$1\theta_c$	110	5.99	4.63	3.59	3.06
	242	7.19	7.20	6.19	5.79
	656	3.55	3.26	2.55	2.48
	848	11.52	10.59	7.83	7.83
	ชุดควบคุม	4.49	3.60	3.31	1.97
$2\theta_c$	110	6.73	5.57	3.66	3.18
	242	8.00	7.65	6.32	5.92
	656	6.58	3.81	3.93	3.05
	848	13.59	11.09	8.00	8.01
	ชุดควบคุม	4.44	3.60	3.28	2.04
$3\theta_c$	110	7.15	6.48	4.06	3.63
	242	7.52	7.39	6.32	5.92
	656	7.94	5.84	5.17	4.83
	848	13.74	10.99	8.18	7.94
	ชุดควบคุม	4.54	3.69	3.41	2.11



รูปที่ 4.10 ความเร็วเริ่มต้นการตกตะกอนของสไลด์จี้ที่มีการเติมยางรถยนต์บดละเอียดขนาดต่างๆ

ก) ระยะเวลาดำเนินการทดลอง 1  $\theta_c$  ข) ระยะเวลาดำเนินการทดลอง 2  $\theta_c$

ค) ระยะเวลาดำเนินการทดลอง 3  $\theta_c$

- ชุดควบคุมที่ไม่มี การเติมยางรถยนต์บดละเอียดพบว่ามีความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนต่ำกว่า 4.54 เมตรต่อชั่วโมง ซึ่งในทางทฤษฎีความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนต้องมากกว่า 5 เมตรต่อชั่วโมง ถือว่าเป็นการตกตะกอนที่มีประสิทธิภาพดี (Water Environment Federation, 2005)

ดังนั้นระบบที่มีการเติมยางรถยนต์บดละเอียดทุกขนาดสามารถเพิ่มความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอนให้สูงขึ้นได้และมีค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนสูงกว่าชุดควบคุม อีกทั้งค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนยังมีค่ามากกว่า 5 เมตรต่อชั่วโมงตลอดที่ทำการทดลอง

ผลจากการทดลองสามารถบอกได้ว่ายางรถยนต์บดละเอียดสามารถเป็นวัสดุช่วยตกตะกอนที่สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอนของสลัดจ์ได้จริงเหมือนดังเช่นทาลและถ่านกัมมันต์ชนิดผง ถึงแม้มีค่าความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอนไม่สูงเท่ากับทาลและถ่านกัมมันต์ชนิดผงเนื่องจากยางรถยนต์บดละเอียดมีข้อด้อยในเรื่องของค่าความหนาแน่นค่อนข้างน้อยเพียงแค่ 1.2 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งจากสมการของสโตค 
$$V_p = \frac{\Delta\rho \cdot d_p^2 \cdot g}{18\mu}$$
 เมื่อความหนาแน่นมีค่าน้อยทำให้ค่าความเร็วในการตกตะกอนลดลงไปด้วยแต่ยางรถยนต์บดละเอียดทุกขนาดสามารถเพิ่มความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอนได้ดีกว่าชุดควบคุมซึ่งเป็นแนวทางที่ดีหากมีการนำยางรถยนต์บดละเอียดมาใช้เป็นวัสดุช่วยตกตะกอนในระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้จริงในปัจจุบันอีกทั้งยังเป็น การนำยางรถยนต์เก่าที่ถูกทิ้งนำกลับมาใช้ใหม่ให้เกิดประโยชน์ได้อีกด้วย

ส่วนผลของขนาดที่แตกต่างกันของยางรถยนต์บดละเอียดยังพบว่า ขนาดที่แตกต่างกันทำให้เกิดการจับตัวกับสลัดจ์ได้ 2 ลักษณะคือยางรถยนต์บดละเอียดที่มีขนาดเล็กคือขนาด 110, 242, และ 656 ไมโครเมตร สลัดจ์ห่อหุ้มกับพื้นผิวของก้อนยางรถยนต์บดละเอียด ส่วนยางรถยนต์บดละเอียดที่มีขนาดใหญ่ที่สุดคือ 848 ไมโครเมตร การจับตัวระหว่างสลัดจ์กับยางรถยนต์บดละเอียดมีลักษณะคล้ายเมือกติดฉาบผิวหรือเคลือบผิวโดยรอบพื้นผิวของยางรถยนต์บดละเอียดมีการเกาะตัวกันของจุลินทรีย์อยู่บริเวณรอบๆ พื้นผิวแทนเพื่อให้เห็นภาพชัดเจนจะอธิบายในหัวข้อที่ 4.5 ต่อไป

#### 4.4 ผลของชนิดวัสดุช่วยตกตะกอนที่มีผลต่อค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน (Initial Settling Velocity)

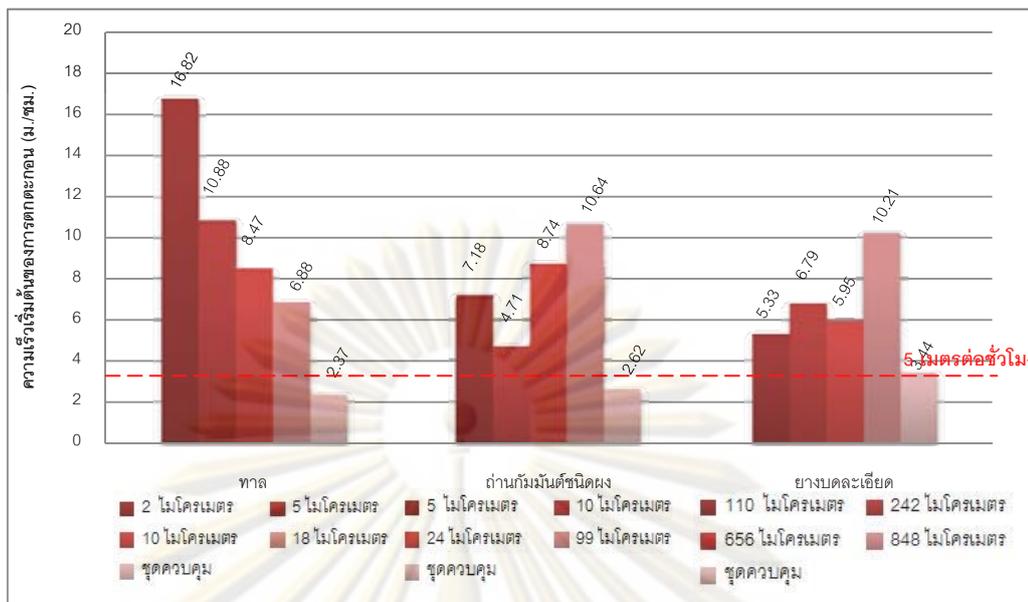
ผลการศึกษาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอนของขนาดวัสดุช่วยตกตะกอนทั้ง 3 ชนิดแสดงดังตารางที่ 4.4 และกราฟเปรียบเทียบชนิดของวัสดุช่วยตกตะกอนกับความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนแสดงในรูปที่ 4.11 โดยทำการเฉลี่ยค่าความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีค่าความเข้มข้นแตกต่างกัน เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาความ

เป็นไปได้ถึงการใช้อ่านกัมมันต์ชนิดผงและยางรถยนต์บดละเอียดเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน เช่นเดียวกับทาลซึ่งปัจจุบันเป็นวัสดุช่วยตกตะกอนที่ได้รับความนิยม

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอนของขนาดวัสดุช่วยตกตะกอนทั้ง 3 ชนิด

ชนิดวัสดุ ช่วยตกตะกอน	ขนาดวัสดุช่วยตกตะกอน (ไมโครเมตร)	ความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอนเฉลี่ย (เมตรต่อชั่วโมง)
ทาล	2	16.82
	5	10.88
	10	8.47
	18	6.89
ถ่านกัมมันต์ชนิดผง	5	7.18
	10	4.71
	24	8.74
	99	10.64
ยางบดละเอียด	110	5.33
	242	6.79
	656	5.95
	848	10.21
ชุดควบคุม	-	2.37
	-	2.62
	-	3.44

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.11 ชนิดของวัสดุช่วยตกตะกอนมีผลต่อค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน

ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอนของขนาดวัสดุช่วยตกตะกอนที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนทั้ง 3 ชนิด พบว่า

- ทาลเป็นวัสดุช่วยตกตะกอนที่สามารถทำให้ความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอนของสลัดจ์สูงกว่าการใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดผงและยางรถยนต์บดละเอียด อาจเนื่องมาจากความหนาแน่นของทาลมีค่าสูงกว่าถ่านกัมมันต์ชนิดผงและยางรถยนต์บดละเอียดโดยมีค่าเท่ากับ 2.8, 2.2 และ 1.2 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ

- ทาลเป็นวัสดุช่วยตกตะกอนที่มีขนาดเล็กกว่าวัสดุช่วยตกตะกอนชนิดอื่น ทำให้สลัดจ์สามารถจับตัวกับทาลโดยห่อหุ้มทาลจนเป็นฟล็อกขนาดใหญ่จึงมีน้ำหนักมากกว่าถ่านกัมมันต์ชนิดผงและยางรถยนต์บดละเอียด ส่งผลให้ค่าความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอนของทาลมีค่าสูงกว่าถ่านกัมมันต์ชนิดผงและยางรถยนต์บดละเอียด

- กลไกในการเพิ่มความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอนของวัสดุช่วยตกตะกอนทั้ง 3 ชนิด มี 3 ลักษณะคือ

- 1 กลไกที่สลัดจ์ห่อหุ้มวัสดุช่วยตกตะกอนทำให้จับตัวอยู่กันเป็นฟล็อกขนาดใหญ่ ซึ่งเป็นการเพิ่มน้ำหนักให้กับฟล็อก

- 2 กลไกที่สลัดจ์เคลือบผิวหรือจับผิวกับวัสดุช่วยตกตะกอน

- 3 กลไกที่สลัดจ์เกาะตัวที่ผิวของกับวัสดุช่วยตกตะกอน

โดยจากการทดลองพบว่ากลไกในการที่สลัดจ์ห่อหุ้มจับตัวกับวัสดุช่วยตกตะกอน



ทำให้ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนสูงกว่ากลไกที่สลัดจ์มีการเคลือบผิวหรือฉาบผิวและกลไกที่สลัดจ์เกาะตัวที่ผิวกับวัสดุช่วยตกตะกอน

เป็นที่ทราบกันดีว่า ทาลเป็นวัสดุช่วยตกตะกอนที่มีงานวิจัยรองรับและแพร่หลายมาเป็นเวลานานแล้ว ส่วนของถ่านกัมมันต์ชนิดผงและยางรถยนต์บดละเอียดนั้นยังไม่มี การนำมาศึกษาในแง่ของการเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน งานวิจัยนี้มีการนำถ่านกัมมันต์ชนิดผงและยางรถยนต์บดละเอียดที่มีขนาดแตกต่างกันมาเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน ถึงแม้ว่าผลที่ออกมาจะไม่สามารถทำให้ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนมีค่าสูงกว่าทาลได้ แต่ก็แสดงผลของความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอนออกมาได้อย่างน่าสนใจ คือมีค่าสูงกว่า 5 เมตรต่อชั่วโมง ซึ่งถือว่าการตกตะกอนที่ดี (Water Environment Federation, 2005) เมื่อเทียบกับสลัดจ์ที่ไม่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอน ดังค่าที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.11 ตลอดจนไม่ส่งผลเสียต่อจุลชีพในระบบโดยการสังเกตจากกล้องจุลทรรศน์เทียบกับชุดควบคุมซึ่งพบจุลชีพชนิดเดียวกันกับที่พบในชุดควบคุม จึงอธิบายได้ว่า ถ่านกัมมันต์ชนิดผงและยางรถยนต์บดละเอียดในงานวิจัยนี้สามารถเป็นวัสดุช่วยตกตะกอนได้ นอกจากนี้ยางรถยนต์บดละเอียดยังเป็นตัวเลือกที่น่าสนใจในการที่จะใช้เป็นวัสดุช่วยตกตะกอนแทนทาลและถ่านกัมมันต์ชนิดผงซึ่งมีราคาที่สูงกว่าและเป็นการนำของเหลือทิ้งกลับมาใช้ใหม่ให้เกิดประโยชน์ได้อีกด้วย

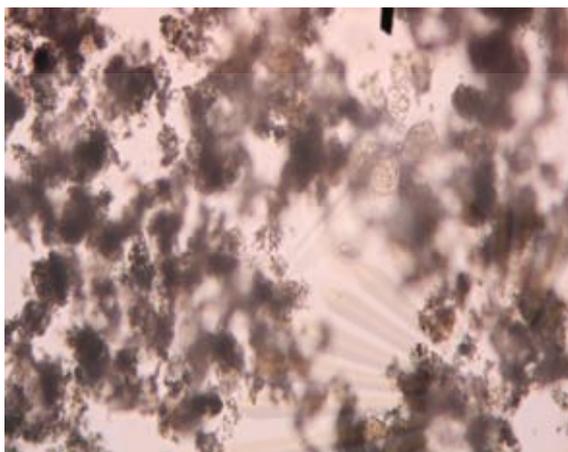
#### 4.5 ลักษณะการจับตัวระหว่างฟล็อกชีวภาพกับวัสดุช่วยตกตะกอน

การศึกษาลักษณะการจับตัวฟล็อกจุลชีพกับวัสดุช่วยตกตะกอนทั้ง 3 ชนิดที่มีขนาดแตกต่างกัน สังเกตจากกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 10 และ 40 เท่า ใช้สังเกตลักษณะการจับตัวปริมาณและความแน่นหนาของฟล็อกจุลชีพในระบบ และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่กำลังขยาย 750 และ 1500 เท่า ใช้สังเกตลักษณะของการจับตัว ลักษณะพื้นผิว ชนิดจุลินทรีย์ในฟล็อกจุลชีพเมื่อมีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนลงในระบบเอเอส ซึ่งผลของการศึกษาแสดงดังต่อไปนี้

##### 4.5.1 ลักษณะของการจับตัวระหว่างทาลกับฟล็อกของจุลชีพ

###### 4.5.1.1 ลักษณะของการจับตัวระหว่างทาลกับฟล็อกของจุลชีพด้วยกล้องจุลทรรศน์

การศึกษาลักษณะของสลัดจ์ที่มีการเติมทาลขนาด 2, 5, 10 และ 18 ไมโครเมตร ด้วยกล้องจุลทรรศน์ ที่มีกำลังขยาย 10 และ 40 เท่า โดยแสดงผลเป็นภาพถ่ายของทาลขนาดต่างๆดังแสดงในรูปที่ 4.12



(ก)



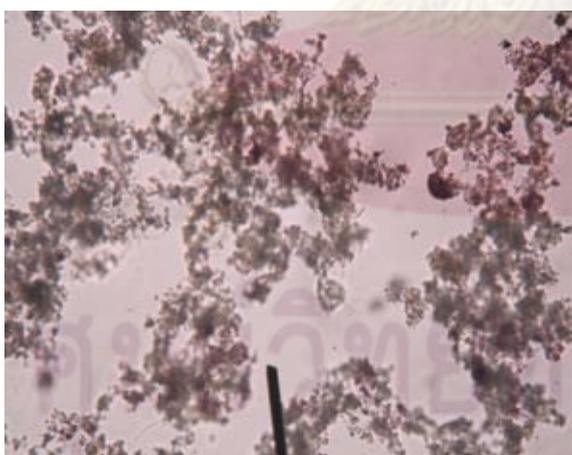
(ข)



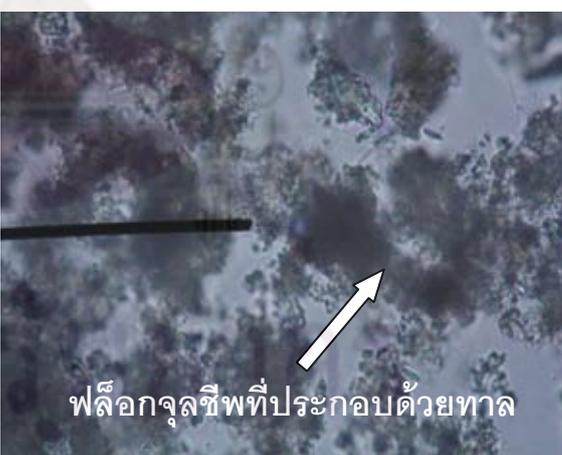
(ค)



(ง)



(จ)



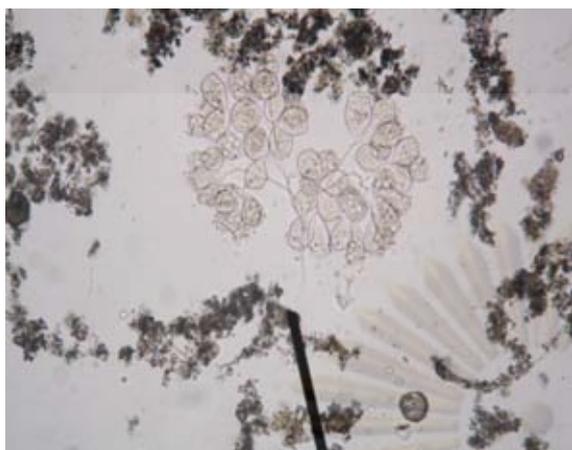
(ฉ)

รูปที่ 4.12 ฟลือกจุลชีพของทาลถ่ายโดยกล้องจุลทรรศน์

ก) ขนาด 2 ไมโครเมตร กำลังขยาย10เท่า, ข) ขนาด 2 ไมโครเมตร กำลังขยาย40เท่า,

ค) ขนาด 5 ไมโครเมตร กำลังขยาย10เท่า, ง) ขนาด 5ไมโครเมตร กำลังขยาย40เท่า,

จ)ขนาด 10 ไมโครเมตร กำลังขยาย10เท่า, ฉ) ขนาด 10 ไมโครเมตร กำลังขยาย40เท่า



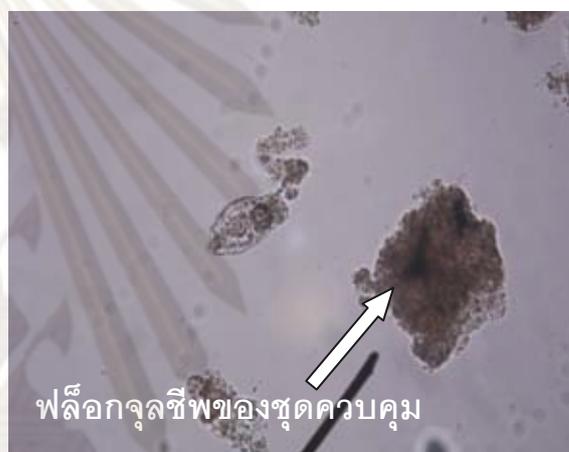
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4.12 (ต่อ) ฟลือกจลชีพของทาลถ่ายโดยกล้องจุลทรรศน์  
 ข) ขนาด 18 ไมโครเมตร กำลังขยาย10เท่า, ช) ขนาด 18 ไมโครเมตร กำลังขยาย 40 เท่า  
 ค) ชุดควบคุม กำลังขยาย10เท่า, ง) ชุดควบคุม กำลังขยาย40เท่า

จากการสังเกตด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 10 เท่า พบว่าระบบที่มีการเติมทาลขนาด 2 ไมโครเมตร มีปริมาณและความหนาแน่นของปุ๋ยจลชีพมากกว่าระบบที่มีการเติมทาลที่มีขนาด 5, 10 และ 18 ไมโครเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.12 ก, 4.12 ค, 4.12 จ และ 4.12 ข ตามลำดับ และที่กำลังขยาย 40 เท่า พบว่า ระบบที่มีการเติมทาลขนาด 2 ไมโครเมตร มีกลุ่มก้อนปุ๋ยของจลชีพที่มีลักษณะเป็นก้อนขนาดใหญ่กว่าระบบที่มีการเติมทาลที่มีขนาด 5, 10 และ 18 ไมโครเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.12 ช, 4.12 ง, 4.12 ฉ และ 4.12 ซ ตามลำดับ ส่วนในชุดควบคุมจะพบกลุ่มก้อนปุ๋ยของจลชีพความหนาแน่นค่อนข้างน้อย กลุ่มก้อนปุ๋ยของจลชีพมีขนาดเล็ก

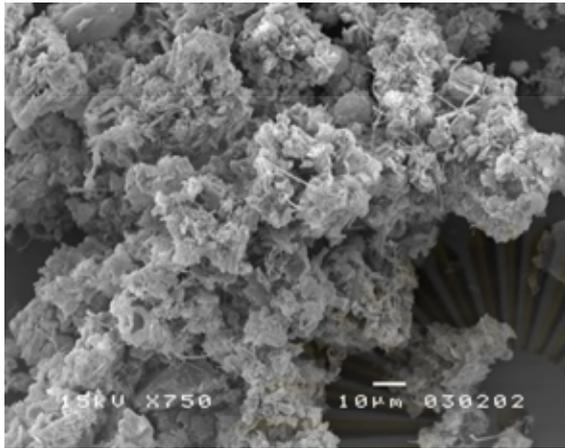
จากการศึกษาในชั้นตอนนี้ยังพบอีกว่า ในระบบที่มีการเติมทาลสามารถสังเกตเห็นจุลชีพในกลุ่ม Rotirera, Free swimming and Crawling Ciliates, Stalked Ciliates, และ Flagellates เคลื่อนที่กระจายตัวอยู่กันอย่างอิสระ ซึ่งมีลักษณะไม่แตกต่างกันกับระบบที่ไม่มีการเติมทาลแต่อย่างใด โดยทั่วไปแล้วจุลชีพเหล่านี้มักพบในระบบที่อายุสลัดจ์เหมาะสมหรืออายุสลัดจ์ประมาณ 7-15 วัน ซึ่งในระบบที่ทำการทดลองมีอายุสลัดจ์คงที่เท่ากับ 10 วัน ด้วยเหตุนี้จึงเป็นข้อมูลที่สามารถสนับสนุนว่า เมื่อทำการเติมทาลลงไปในระบบเอเอส ไม่ส่งผลเสียต่อจุลชีพในระบบ โดยไม่ทำให้สิ่งแวดล้อมของจุลชีพและตัวของจุลชีพเองเป็นอันตรายหรือเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งสอดคล้องกับเหตุผลของการวิเคราะห์ด้วยค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในหัวข้อ 4.1 ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

การศึกษาลักษณะของการจับตัวระหว่างทาลกับฟล็อกของจุลชีพด้วยกล้องจุลทรรศน์ สามารถสรุปได้ว่าเมื่อเติมทาล ปุ๋ยจุลชีพในระบบมีความหนาแน่นสูงขึ้นและเกิดฟล็อกลักษณะพิเศษคือ มีลักษณะของกลุ่มก้อนปุ๋ยของจุลชีพจับตัวกันเป็นก้อนๆ และมีจุลชีพอาศัยอยู่รอบๆ ภายในระบบ สังเกตเห็นจุลชีพในกลุ่มต่างๆ เคลื่อนที่กระจายตัวอยู่ทั่วไปอย่างอิสระ โดยจุลชีพเหล่านี้เป็นจุลชีพในกลุ่มที่ระบบบำบัดน้ำเสียเอเอสต้องการ ซึ่งสามารถบ่งบอกได้ว่าทาลไม่ส่งผลเสียต่อจุลชีพในระบบ โดยไม่ทำให้สิ่งแวดล้อมของจุลชีพและตัวของจุลชีพเองเป็นอันตรายหรือเปลี่ยนแปลงไป และถึงแม้จะไม่มีกรวัดขนาดของฟล็อกในงานวิจัยชิ้นนี้ แต่ผลจากการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์และความหนาแน่นของปุ๋ยจุลชีพที่เพิ่มขึ้นซึ่งสังเกตได้ ก็น่าจะบ่งบอกได้ว่าการเติมทาลเป็นการเพิ่มความหนาแน่นและขนาดให้กับฟล็อกจุลชีพได้

#### 4.5.1.2 ลักษณะของการจับตัวระหว่างทาลกับฟล็อกของจุลชีพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

การศึกษาในชั้นตอนนี้เป็นการศึกษาลักษณะของการจับตัวระหว่างทาลกับฟล็อกของจุลชีพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน เพื่อศึกษาลักษณะพื้นผิวของทาลขนาด 2, 5, 10 และ 18 ไมโครเมตร ที่ใช้เป็นวัสดุช่วยตกตะกอนโดยเมื่อเติมลงไปผสมกับตะกอนจุลชีพลักษณะของการเชื่อมต่อจับตัวกันของฟล็อกและทาลเป็นอย่างไรด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนผลที่ได้แสดงออกมาเป็นภาพถ่ายดังรูปที่ 4.13

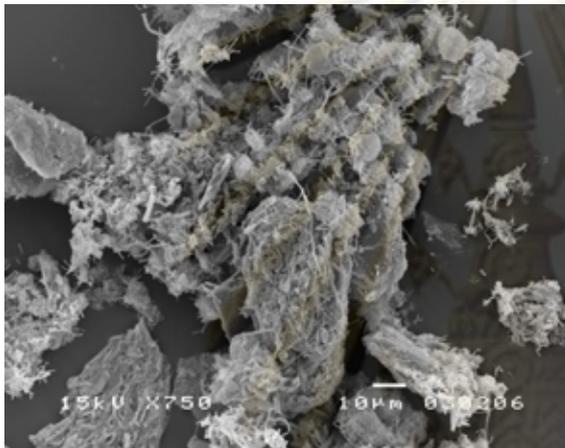
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก)



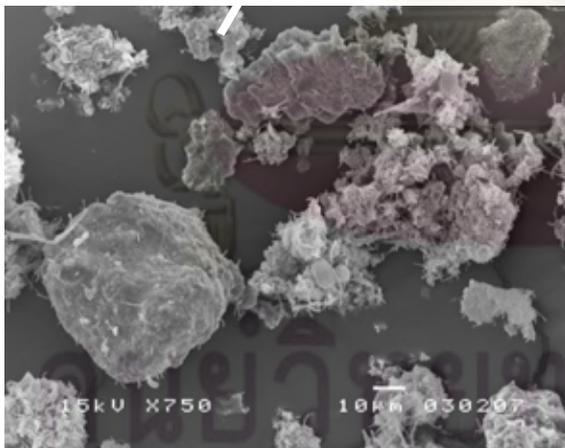
(ข)



(ค)



(ง)



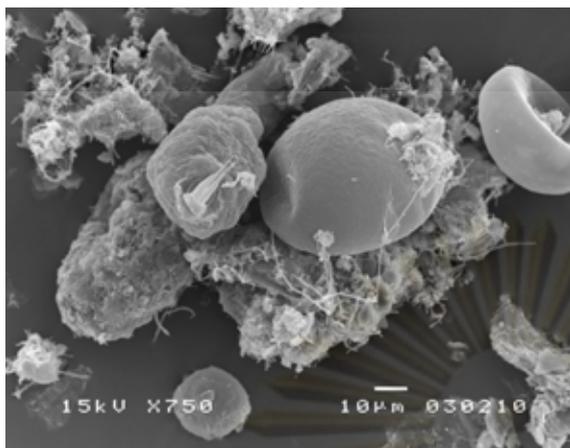
(จ)



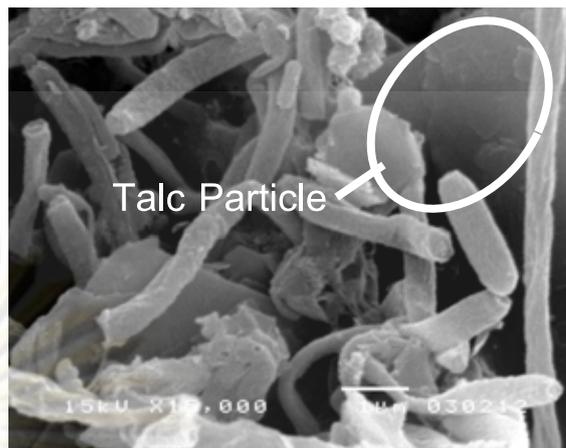
(ฉ)

รูปที่ 4.13 ฟล็อกจุลชีพของทาลด์ถ่ายโดยจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

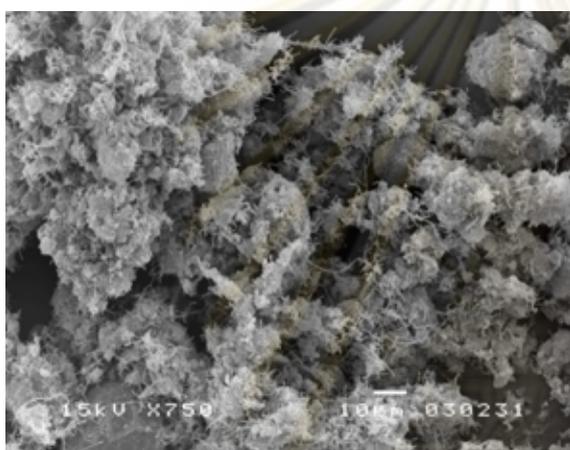
- ก) ขนาด 2 ไมโครเมตร กำลังขยาย 750 เท่า, ข) ขนาด 2 ไมโครเมตร กำลังขยาย 15000 เท่า,  
 ค) ขนาด 5 ไมโครเมตร กำลังขยาย 750 เท่า, ง) ขนาด 5 ไมโครเมตร กำลังขยาย 15000 เท่า,  
 จ) ขนาด 10 ไมโครเมตร กำลังขยาย 750 เท่า, ฉ) ขนาด 10 ไมโครเมตร กำลังขยาย 15000 เท่า



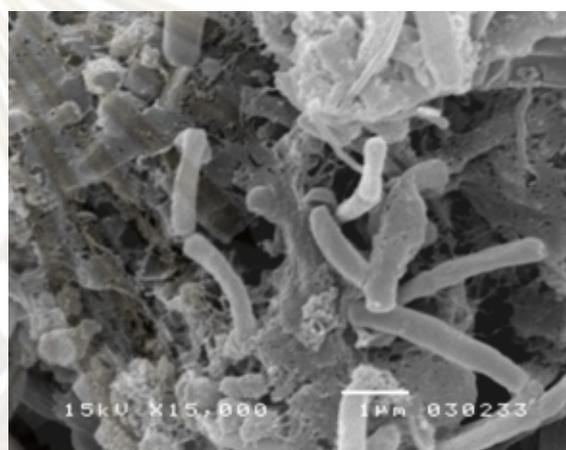
(ข)



(ค)



(ณ)



(ญ)

รูปที่ 4.13 (ต่อ) ฟล็อกจุลชีพของทาลถ่ายโดยจุลทรรศน์อิเล็กตรอน  
 ข) ขนาด 18 ไมโครเมตร กำลังขยาย 750 เท่า, ค) 18 ไมโครเมตร กำลังขยาย 15000 เท่า,  
 ณ) ชุดควบคุม กำลังขยาย 750 เท่า, ญ) ชุดควบคุม กำลังขยาย 15000 เท่า

จากภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแสดงลักษณะการจับตัวของทาลกับฟล็อกของจุลชีพ ด้วยกำลังขยาย 750 และ 15,000 เท่า พบว่า

- ที่กำลังขยาย 750 เท่า แสดงภาพถ่ายกลุ่มจุลชีพที่มีการเติมทาลขนาดต่างๆ พบว่า ทาลขนาดต่างๆรวมกับฟล็อกจุลชีพมีลักษณะรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่ ฟล็อกจุลชีพมีปริมาณและแน่นหนามากขึ้นสังเกตได้จากรูปที่ 4.13 ก, 4.13 ค, 4.13 จ และ 4.13 ฉ. ซึ่งแตกต่างจากฟล็อกจุลชีพของชุดควบคุมที่มีลักษณะเป็นแพบางๆไม่รวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่

- ที่กำลังขยาย 15000 เท่า แสดงภาพถ่ายของผิวภายนอกของทาลทุกขนาด พบว่า มีลักษณะพื้นผิวอยู่ในรูปผลึกของแร่ซ้อนทับกันหลายก้อน ลักษณะการจับตัวของ

สลัดจ์จับตัวแบบห่อหุ้มล้อมรอบทาลและพบจุลชีพชนิดแท่ง ชนิดกลม และ ชนิดเกลียว รวมตัวจับกันเป็นก้อนกับทาลขนาดต่างๆดังแสดงในรูปที่ 4.13 ข, 4.13 ง, 4.13 ฉ และ 4.13 ช

โดยรวมแล้วทาลจัดเป็นวัสดุช่วยตกตะกอนที่มีขนาดเล็ก จากการศึกษาลักษณะการจับตัวของทาลด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนพบว่า ทาลมีลักษณะการจับตัวแบบห่อหุ้มกับสลัดจ์ซึ่งทาลที่มีขนาดเล็กคือ 2 ไมโครเมตร สามารถรวมตัวกับสลัดจ์และถูกสลัดจ์ห่อหุ้มจนเป็นก้อนสลัดจ์ขนาดใหญ่ได้ดีกว่าขนาดอื่นๆเมื่อเติมลงไปสลัดจ์สามารถจับตัวอยู่ได้เป็นอย่างดีทำให้ความหนาแน่น และน้ำหนักของฟล็อกสูงขึ้น จึงเป็นสาเหตุให้ทาลที่มีขนาดเล็กแค่ 2 ไมโครเมตรทำให้สามารถมีความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอนสูงขึ้นได้

การศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนในขั้นตอนนี้ ก็อาจทำให้สามารถสรุปได้ว่า ทาลมีความสามารถเป็นวัสดุช่วยตกตะกอนที่ดี ให้ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนที่สูง ไม่ส่งผลเสียต่อจุลชีพในระบบ และสามารถจับตัวอยู่กับสลัดจ์ได้ ซึ่งจากการจับตัวที่สังเกตได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนในขั้นตอนนี้ อาจจะสามารถให้คำตอบได้ว่าความเร็วของการตกตะกอนที่เพิ่มขึ้นนั้น เกิดจากการจับตัวกันระหว่างทาลกับฟล็อกของจุลชีพ ซึ่งทำให้ความหนาแน่น และน้ำหนักของฟล็อกสูงขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงอาจสรุปได้ว่า การจับตัวกันแบบห่อหุ้มระหว่างทาลกับฟล็อกของจุลชีพ ทำให้ความหนาแน่น และน้ำหนักของฟล็อกสูงขึ้น จึงเป็นสาเหตุให้ความเร็วในการตกตะกอนสูงขึ้นได้

#### 4.5.2 ลักษณะของการจับตัวระหว่างถ่านกัมมันต์ชนิดผงกับฟล็อกของจุลชีพ

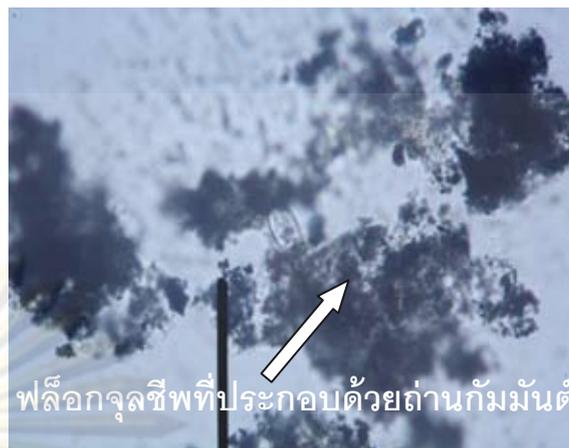
##### 4.5.2.1 ลักษณะของการจับตัวระหว่างถ่านกัมมันต์ชนิดผงกับฟล็อกของจุลชีพด้วยกล้องจุลทรรศน์

ในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาลักษณะของสลัดจ์ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงขนาด 5, 10, 24 และ 99 ไมโครเมตร ด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยาย 10 และ 40 เท่า ซึ่งแสดงเป็นภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ดังต่อไปนี้

จากการสังเกตด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 10 เท่า พบว่าระบบที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงขนาด 5 และ 99 ไมโครเมตร มีปริมาณของปุยจุลชีพและความหนาแน่นหนาของกลุ่มก้อนปุยจุลชีพมากกว่าระบบที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงที่มีขนาด 10 และ 24 ไมโครเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.14 ก, 4.14 ค, 4.14 จ และ 4.14 ช ตามลำดับ และที่กำลังขยาย 40 เท่า พบว่า ระบบที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงขนาด 99 ไมโครเมตร มีลักษณะของกลุ่มก้อนปุยของจุลชีพที่มีลักษณะเป็นก้อนขนาดใหญ่มากกว่าระบบที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงที่มีขนาด 5, 10 และ 24 ไมโครเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.14 ข, 4.14 ง, 4.14 ฉ และ 4.14 ช ตามลำดับ



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



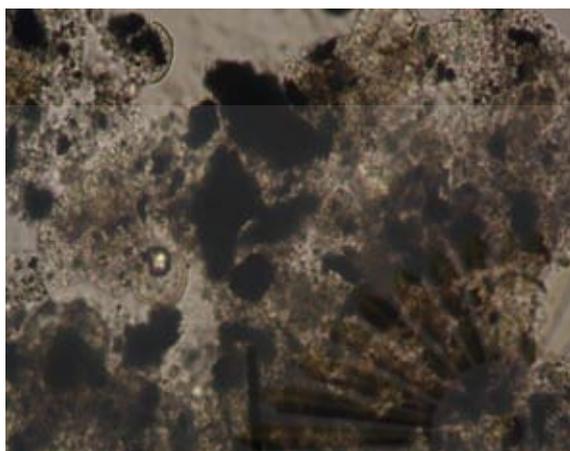
(จ)



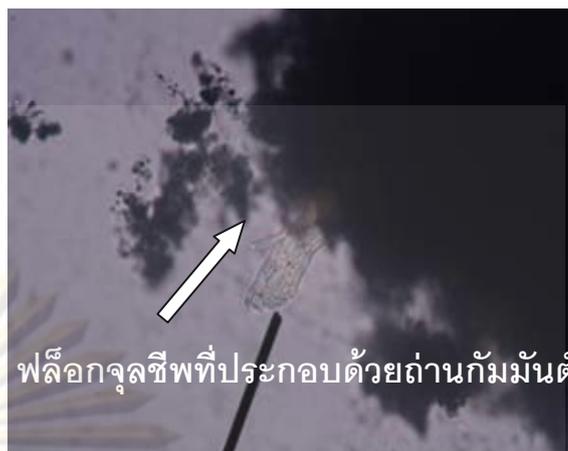
(ฉ)

รูปที่ 4.14 ฟลือกจุลชีพของถ่านกัมมันต์ชนิดผงถ่ายโดยกล้องจุลทรรศน์  
 ก) ขนาด 5 ไมโครเมตร กำลังขยาย10เท่า, ข) ขนาด 5 ไมโครเมตร กำลังขยาย40เท่า,  
 ค) ขนาด 10 ไมโครเมตร กำลังขยาย10เท่า, ง) ขนาด 10ไมโครเมตร กำลังขยาย40เท่า,  
 จ)ขนาด 24 ไมโครเมตร กำลังขยาย10เท่า, ฉ) ขนาด 24 ไมโครเมตร กำลังขยาย40เท่า





(ข)



(ช)



(ฅ)



(ญ)

รูปที่ 4.14 (ต่อ) ฟล็กจูลซีฟของถ่านกัมมันต์ชนิดผงถ่ายโดยกล้องจุลทรรศน์  
 ข) ขนาด 99 ไมโครเมตร กำลังขยาย10เท่า, ช) ขนาด 99 ไมโครเมตร กำลังขยาย 40 เท่า  
 ฅ) ชูดควบคุม กำลังขยาย10เท่า, ญ) ชูดควบคุม กำลังขยาย40เท่า

จากการสังเกตลักษณะของปุ๋ยจุลชีพในระบบ เมื่อมีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงพบว่าความหนาแน่นของปุ๋ยจุลชีพเพิ่มมากขึ้นเป็นเช่นเดียวกับทาล โดยเห็นเป็นลักษณะของก้อนถ่านกัมมันต์ได้อย่างชัดเจนกระจายอยู่ทั่วไปปะปนกับฟล็กของจุลชีพและยังถ่านกัมมันต์ที่มีขนาดใหญ่คือขนาด 99 ไมโครเมตร พบฟล็กจูลซีฟที่เป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่มากกว่าระบบที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ขนาดเล็ก ส่วนในชูดควบคุมพบกลุ่มก้อนของฟล็กจูลซีฟที่มีขนาดเล็กและอยู่กันอย่างกระจาย นอกจากนั้นจากการศึกษาลักษณะการจับตัวของภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์สังเกตพบว่าถ่านกัมมันต์ชนิดผงที่มีขนาดที่ใหญ่มีจุลชีพจับตัวอยู่บนพื้นผิวของถ่านกัมมันต์ชนิดผงอย่างชัดเจน

การศึกษาในหัวข้อนี้เป็นไปได้ว่าถ่านกัมมันต์ชนิดผงจะช่วยเพิ่มจำนวนจุลชีพให้หนาแน่นขึ้น ตลอดทั้งยังไม่ทำอันตรายแก่จุลชีพและสภาวะแวดล้อมของจุลชีพและเมื่อนำมาวิเคราะห์ร่วมกับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในหัวข้อ 4.1 ที่ผ่านมา อาจสรุปได้ว่า ถ่านกัมมันต์ชนิดผงไม่ส่งผลเสียต่อจุลชีพในระบบเอเอสเช่นเดียวกับทาล

เมื่อสังเกตต่อไปพบว่าพบจุลชีพในกลุ่มต่างๆ เคลื่อนที่ไปมาอยู่โดยรอบได้แก่ในกลุ่มของ Rotirera, Free swimming and Crawling Ciliates, Stalked Ciliates, และ Flagellates โดยจุลชีพเหล่านี้มักพบที่อายุสัปดาห์เหมาะสม หรืออายุสัปดาห์ประมาณ 7-15 วัน สอดคล้องกับอายุสัปดาห์ของระบบที่ควบคุมไว้ให้คงที่เท่ากับ 10 วัน ผลดังกล่าวสนับสนุนแนวคิดที่ว่าถ่านกัมมันต์ ไม่ส่งผลเสียต่อระบบเอเอสเช่นเดียวกับทาล

#### 4.5.2.2 ลักษณะของการจับตัวระหว่างถ่านกัมมันต์ชนิดผงกับฟล็อกของจุลชีพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

จากภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแสดงลักษณะการจับตัวของถ่านกัมมันต์ชนิดผงกับฟล็อกของจุลชีพ ด้วยกำลังขยาย 750 และ 15,000 เท่า พบว่า

- ที่กำลังขยาย 750 เท่า แสดงภาพถ่ายกลุ่มจุลชีพที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงขนาดต่างๆ พบว่า ถ่านกัมมันต์ชนิดผงขนาดต่างๆ ร่วมกับฟล็อกจุลชีพมีลักษณะรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่ กลุ่มของฟล็อกจุลชีพมีปริมาณและหนาแน่นมากขึ้นสังเกตได้จากรูปที่ 4.15 ก, 4.15 ค, 4.15 จ. และ 4.15 ซ ซึ่งแตกต่างจากฟล็อกจุลชีพของชุดควบคุมที่มีลักษณะเป็นแพบางๆ ไม่รวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่ดังแสดงในรูปที่ 4.15 ฉ

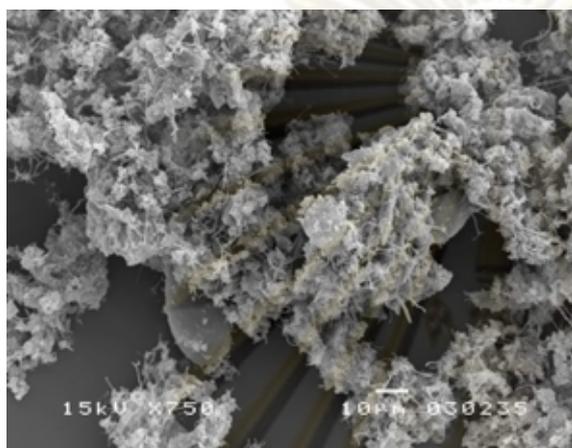
- ที่กำลังขยาย 15000 เท่า แสดงภาพถ่ายของผิวภายนอกของถ่านกัมมันต์ชนิดผง พบว่า ถ่านกัมมันต์ขนาดที่เล็กคือ 5, 10, และ 24 ไมโครเมตร ลักษณะการจับตัวของสัลดจ์จับตัวแบบห่อหุ้มล้อมรอบถ่านกัมมันต์ชนิดผงและพบจุลชีพชนิดแท่ง ชนิดกลม และชนิดเกลียว รวมตัวจับกันเป็นก้อนกับถ่านกัมมันต์ชนิดผง ดังแสดงในรูปที่ 4.15 ข, 4.15 ง และ 4.15 ฉ ส่วนถ่านกัมมันต์ชนิดผงที่มีขนาดใหญ่คือ 99 ไมโครเมตร ลักษณะการจับตัวเป็นอีกแบบหนึ่งคือแบบเกาะติดกับผิวถ่านกัมมันต์ ดังแสดงในรูปที่ 4.15 ซ

การทดลองต่างๆ ที่ผ่านมาและการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนในขั้นตอนนี้ ก็อาจทำให้สามารถสรุปได้ว่า

- ถ่านกัมมันต์ชนิดผงสามารถให้จุลชีพชนิดแท่ง ชนิดกลม และ ชนิดเกลียวยึดเกาะได้ ซึ่งจากการจับตัวที่สังเกตได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

- ถ่านกัมมันต์ชนิดผงที่มีขนาดใหญ่ที่สุดคือ 99 ไมโครเมตร มีลักษณะการจับตัวแบบเกาะตัว และถ่านกัมมันต์ชนิดผงที่มีขนาดเล็กลงมาคือ 5, 10 และ 24 ไมโครเมตร

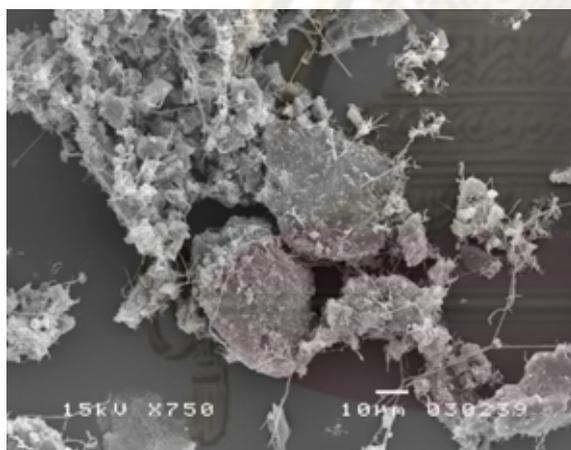
มีลักษณะการจับตัวแบบห่อหุ้ม แต่ถ่านกัมมันต์ชนิดผงขนาด 5 ไมโครเมตร มีค่าความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอนสูงกว่าถ่านกัมมันต์ชนิดผงที่มีขนาด 10 และ 24 ไมโครเมตร เนื่องจากมีขนาดเล็กมีพื้นที่ผิวที่มาก ส่งผลให้เกิดการจับตัวแบบห่อหุ้มได้ดีกว่าทำให้ปริมาณและความแน่นหนาของฟล็อกจูลซีพมากกว่า จึงเป็นผลให้ความเร็วในการตกตะกอนสูงกว่าถ่านกัมมันต์ชนิดผงที่มีขนาดใหญ่ขึ้น



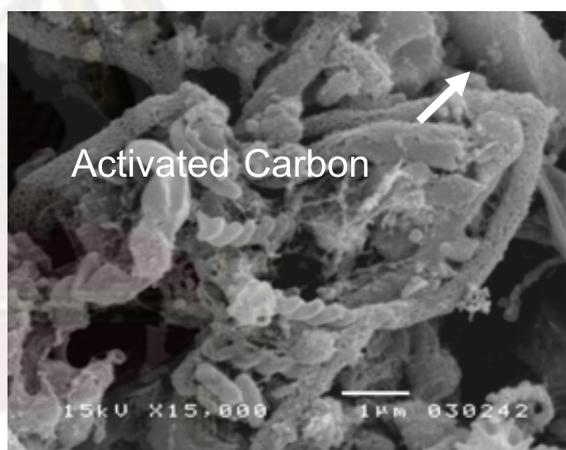
(ก)



(ข)



(ค)



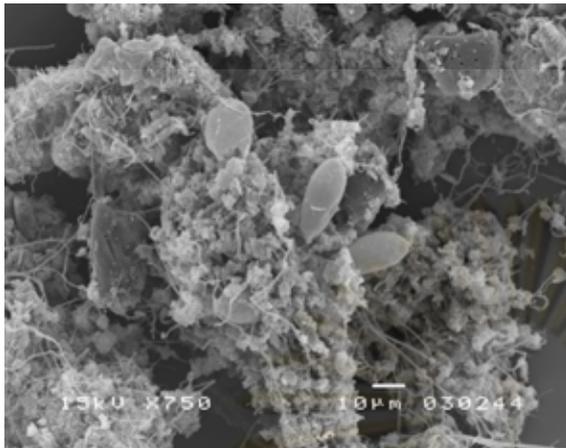
(ง)

รูปที่ 4.15 ฟล็อกจูลซีพของถ่านกัมมันต์ชนิดผงถ่ายโดยจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

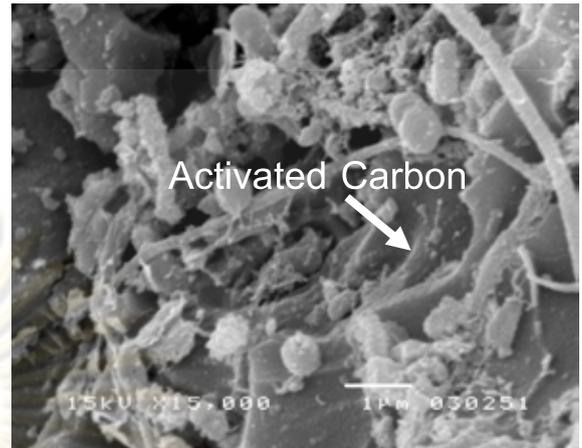
ก) ขนาด 5 ไมโครเมตร กำลังขยาย 750 เท่า, ข) ขนาด 5 ไมโครเมตร กำลังขยาย 15000 เท่า,

ค) ขนาด 10 ไมโครเมตร กำลังขยาย 750 เท่า, ง) ขนาด 10 ไมโครเมตร กำลังขยาย 15000 เท่า,

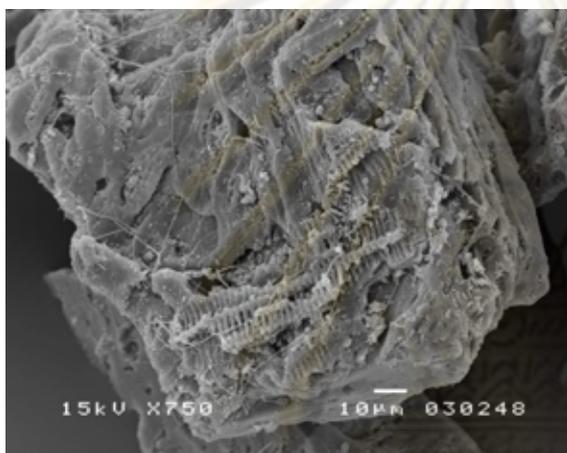
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



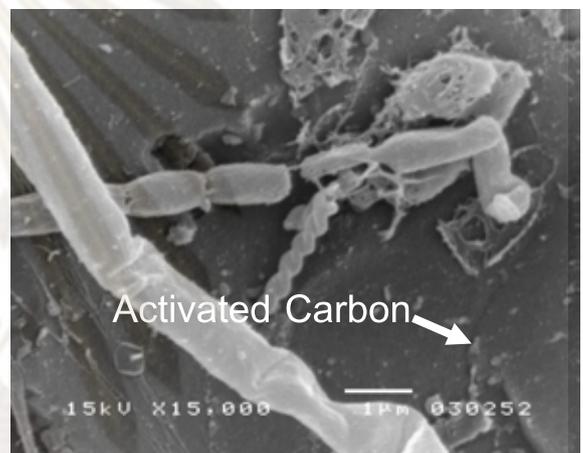
(จ)



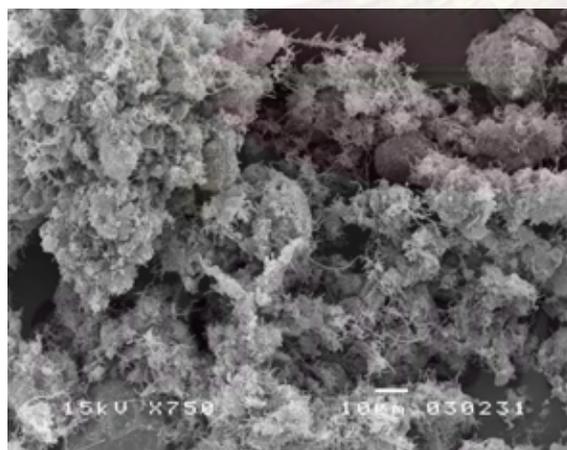
(ข)



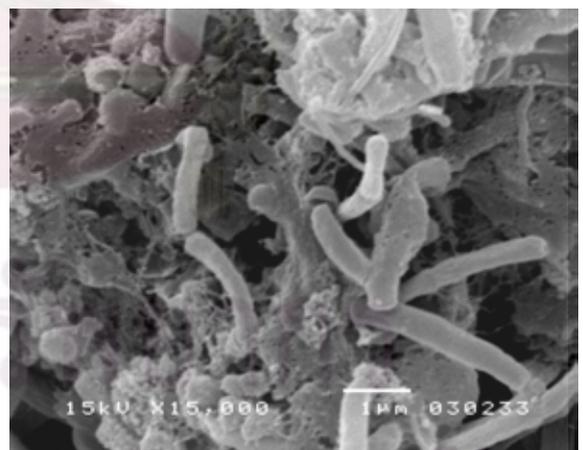
(ค)



(ด)



(ฉ)



(ฅ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.15 (ต่อ) ฟล็อกจูลซีพของถ่านกัมมันต์ชนิดผงถ่ายโดยจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

จ)ขนาด 24 ไมโครเมตร กำลังขยาย750เท่า, ข) ขนาด 24 ไมโครเมตร กำลังขยาย15000เท่า

ช) ขนาด 99 ไมโครเมตร กำลังขยาย750เท่า, ซ) 99 ไมโครเมตร กำลังขยาย15000เท่า,

ฉ) ชุดควบคุม กำลังขยาย750เท่า, ฅ) ชุดควบคุม กำลังขยาย15000เท่า

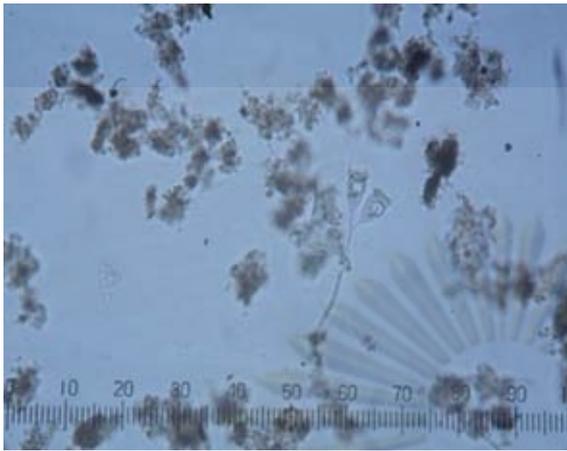
#### 4.5.3 ลักษณะของการจับตัวระหว่างยางบดละเอียดกับฟล็อกของจุลชีพ

##### 4.5.3.1 ลักษณะของการจับตัวระหว่างยางบดละเอียดกับฟล็อกของจุลชีพด้วย กล้องจุลทรรศน์

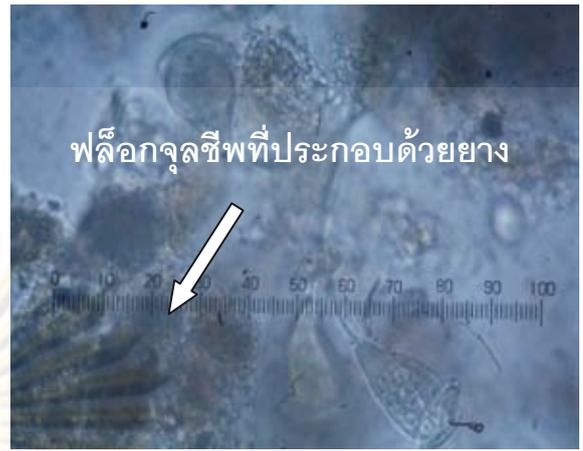
ในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาลักษณะของสลัดจ์ที่มีการเติมยางบดละเอียดขนาด 110, 242, 656 และ 848 ไมโครเมตร ด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยาย 10 และ 40 เท่า ซึ่งแสดงเป็นภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ดังต่อไปนี้

จากการสังเกตด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 10 เท่า พบว่าระบบที่มีการเติมยางบดละเอียดที่มีขนาดใหญ่คือ 848 ไมโครเมตร มีปริมาณและความแน่นหนาของกลุ่มก้อนปุยจุลชีพมากกว่าระบบที่มีการเติมยางบดละเอียดที่มีขนาด 110, 242 และ 656 ไมโครเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.16 ก, 4.16 ค, 4.16 จ และ 4.16 ช ตามลำดับ ส่วนในชุดควบคุมพบกลุ่มก้อนของฟล็อกจุลชีพที่มีขนาดเล็กและอยู่กันอย่างกระจัดกระจาย ดังแสดงในรูปที่ 4.16 ฉ ส่วนที่กำลังขยาย 40 เท่า พบว่า ระบบที่มีการเติมยางบดละเอียดขนาด 848 ไมโครเมตร มีลักษณะของกลุ่มก้อนปุยของจุลชีพลักษณะเป็นก้อนขนาดใหญ่มากกว่าระบบที่มีการเติมยางบดละเอียดขนาด 110, 242 และ 656 ไมโครเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.16 ข, 4.16 ง, 4.16 ฉ และ 4.16 ช ตามลำดับ

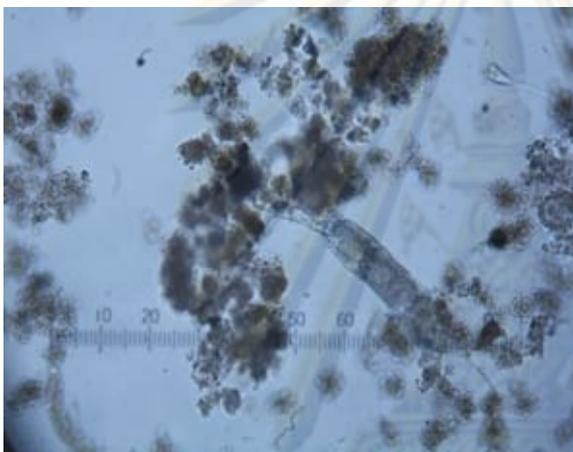
การศึกษาลักษณะการจับตัวของภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ยังพบอีกว่าปุยของจุลชีพเกาะตัวอยู่บนพื้นผิวของยางรถยนต์บดละเอียดอย่างชัดเจน โดยลักษณะเช่นนี้เกิดกับยางรถยนต์บดละเอียดที่มีขนาดใหญ่คือขนาด 656 ไมโครเมตร และ 848 ไมโครเมตรซึ่งเป็นไปได้ว่ายางรถยนต์บดละเอียดที่มีขนาดใหญ่ทำให้จุลชีพได้ยึดเกาะและมีส่วนช่วยให้ปริมาณจุลชีพในระบบเพิ่มขึ้นได้



(ก)



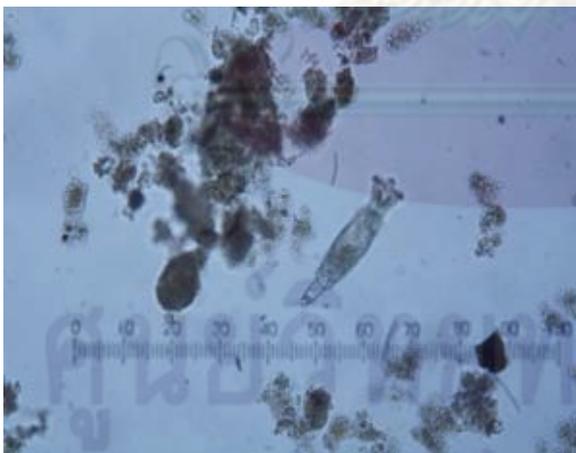
(ข)



(ค)



(ง)

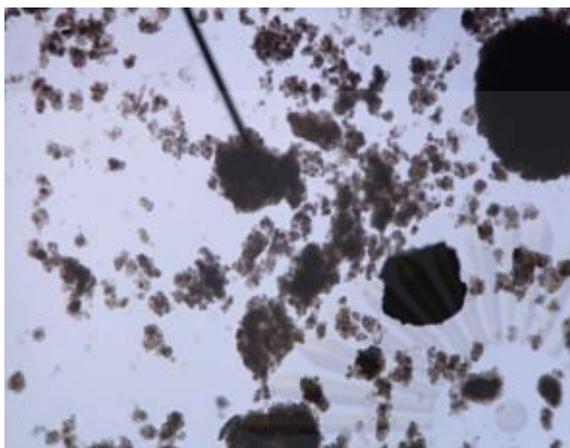


(จ)



(ฉ)

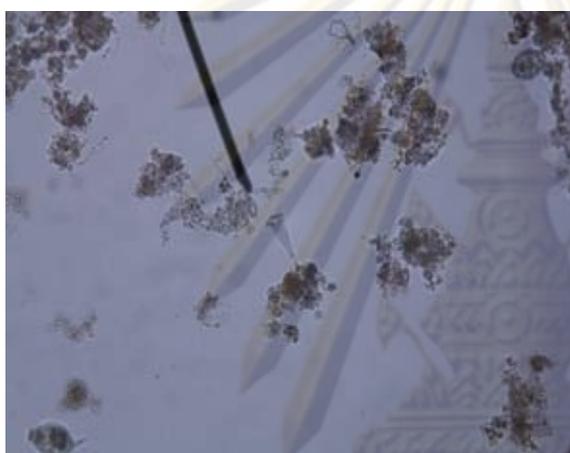
รูปที่ 4.16 ผลึกจุลชีพของยางรถยนต์บดละเอียดถ่ายภาพโดยกล้องจุลทรรศน์  
 ก) ขนาด 110 ไมโครเมตร กำลังขยาย 10 เท่า, ข) ขนาด 110 ไมโครเมตร กำลังขยาย 40 เท่า,  
 ค) ขนาด 242 ไมโครเมตร กำลังขยาย 10 เท่า, ง) ขนาด 242 ไมโครเมตร กำลังขยาย 40 เท่า,  
 จ) ขนาด 656 ไมโครเมตร กำลังขยาย 10 เท่า, ฉ) ขนาด 656 ไมโครเมตร กำลังขยาย 40 เท่า



(ข)



(ช)



(ฅ)



(ฉ)

รูปที่ 4.16 (ต่อ) ฟลือกจุลชีพของยางรถยนต์บดละเอียดถ่ายโดยกล้องจุลทรรศน์  
 ข) ขนาด 848 ไมโครเมตร กำลังขยาย10เท่า, ช) ขนาด 848 ไมโครเมตร กำลังขยาย 40 เท่า,  
 ฅ)ชุดควบคุม กำลังขยาย10เท่า, ฉ) ชุดควบคุม กำลังขยาย40เท่า

เมื่อสังเกตจากกล้องจุลทรรศน์ พบว่าพบจุลชีพในกลุ่มต่างๆ เคลื่อนที่ไปมาอยู่โดยรอบ ได้แก่ในกลุ่มของ Rotifera, Free swimming and Crawling Ciliates, Stalked Ciliates, และ Flagellates โดยจุลชีพเหล่านี้มักพบที่อายุสัปดาห์เหมาะสม หรืออายุสัปดาห์ประมาณ 7-15 วัน สอดคล้องกับอายุสัปดาห์ของระบบที่ควบคุมไว้ให้คงที่เท่ากับ 10 วัน ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกับทาลและถ่านกัมมันต์ชนิดผงถึงแม้ว่ายางรถยนต์บดละเอียดไม่สามารถช่วยเพิ่มจำนวนจุลชีพให้หนาแน่นขึ้นได้ดีเท่ากับทาลและถ่านกัมมันต์ชนิดผงแต่ยางบดละเอียดก็แสดงให้เห็นว่าสามารถเข้ากันได้กับฟลือกจุลชีพไม่ทำอันตรายและสภาวะแวดล้อมของจุลชีพซึ่งเป็นแนวทางที่ดีหากมีการนำยางรถยนต์เก่าบดละเอียดที่เป็นวัสดุที่เหลือใช้แล้วมาใช้เป็นวัสดุช่วยตกตะกอนในระบบเอเอส

#### 4.5.3.2 ลักษณะของการจับตัวระหว่างยางบดละเอียดกับฟล็อกของจุลชีพด้วย กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

จากภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแสดงลักษณะการจับตัว  
ของยางบดละเอียดกับฟล็อกของจุลชีพ ด้วยกำลังขยาย 750 และ 15,000 เท่า พบว่า

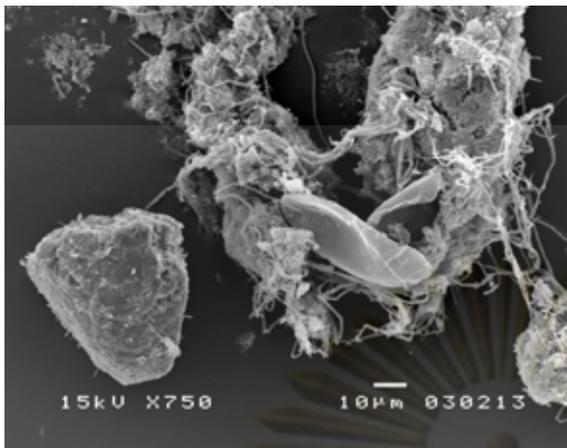
- ที่กำลังขยาย 750 เท่า แสดงภาพถ่ายกลุ่มจุลชีพที่มีการเติม  
ยางบดละเอียดขนาดต่างๆ พบว่า ยางบดละเอียดขนาดต่างๆรวมกับฟล็อกจุลชีพมีลักษณะ  
รวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่ กลุ่มของฟล็อกจุลชีพมีปริมาณและแน่นหนามากขึ้นสังเกตได้  
จากรูปที่ 4.17 ก, 4.17 ค, 4.17 จ. และ 4.17 ช. ซึ่งแตกต่างจากฟล็อกจุลชีพของชุดควบคุมที่มี  
ลักษณะเป็นแพบางๆไม่รวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่ดังแสดงในรูปที่ 4.17 ฉ

- ที่กำลังขยาย 15000 เท่า แสดงภาพถ่ายของผิวภายนอกของยาง  
บดละเอียด พบว่า ยางบดละเอียดขนาดที่เล็กคือ 110, 242, และ 656 ไมโครเมตร ลักษณะการจับ  
ตัวของสไลด์จับตัวแบบฉาบผิวหรือเคลือบผิวยางบดละเอียดและพบจุลชีพชนิดแท่ง ชนิดกลม  
และ ชนิดเกลียว จับตัวแบบฉาบผิวกับยางบดละเอียด ดังแสดงในรูปที่ 4.17 ข, 4.17 ง และ  
4.17 ฉ. ส่วนยางบดละเอียดที่มีขนาดใหญ่คือ 848 ไมโครเมตร ลักษณะการจับตัวเป็นอีกแบบ  
หนึ่งคือแบบเกาะติดกับผิวยางบดละเอียด ดังแสดงในรูปที่ 4.17 ช.

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

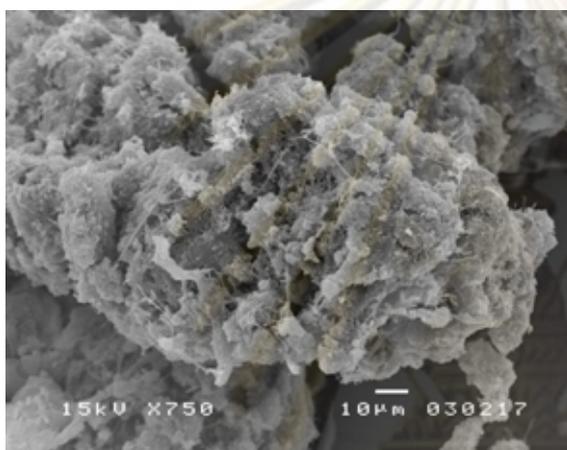




(ก)



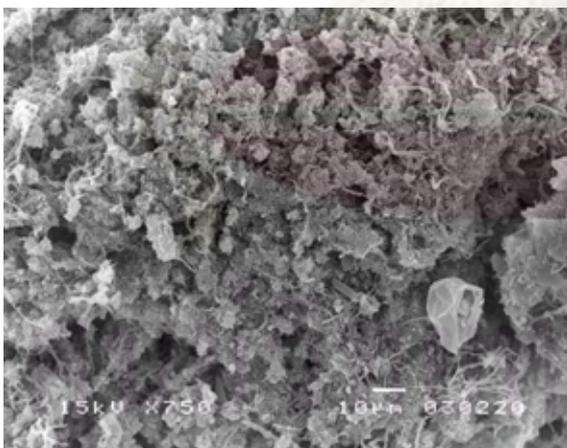
(ข)



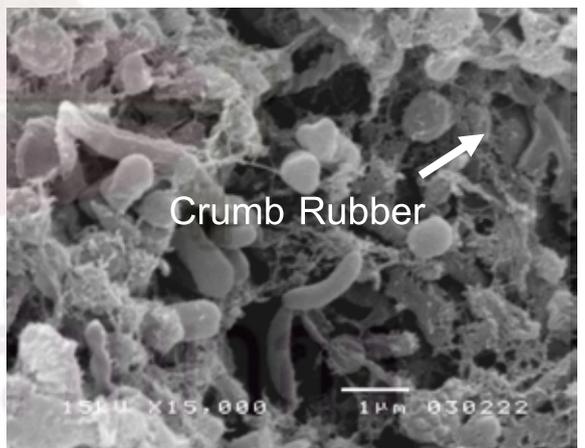
(ค)



(ง)

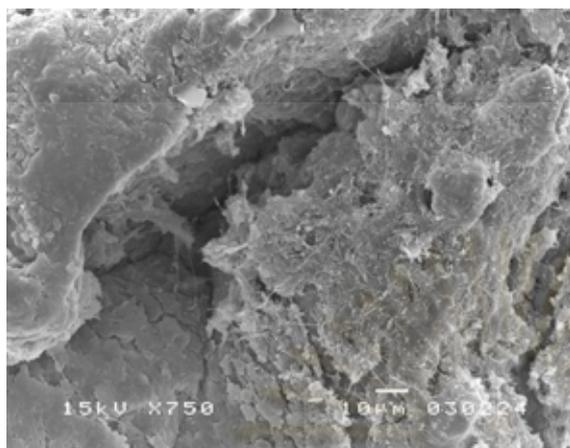


(จ)

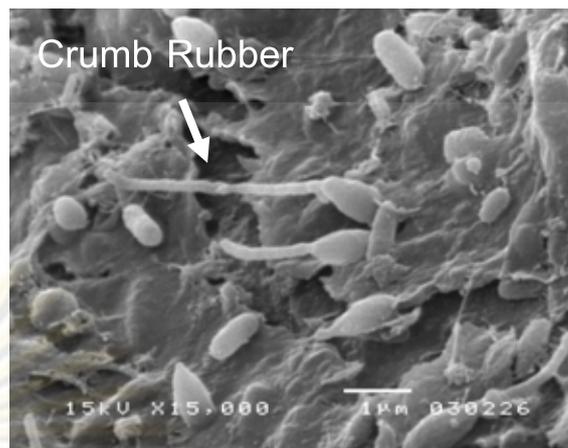


(ฉ)

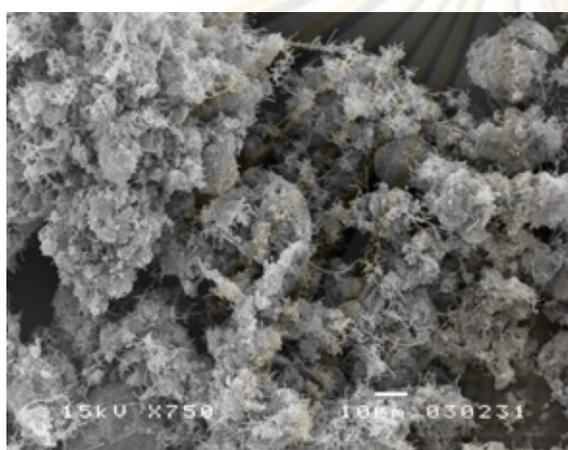
รูปที่ 4.17 ฟล็อกจุลชีพของยางบดละเอียดถ่ายโดยจุลทรรศน์อิเล็กตรอน  
 ก) ขนาด 110 ไมโครเมตร กำลังขยาย 750 เท่า, ข) ขนาด 110 ไมโครเมตร กำลังขยาย 15000 เท่า,  
 ค) ขนาด 242 ไมโครเมตร กำลังขยาย 750 เท่า, ง) ขนาด 242 ไมโครเมตร กำลังขยาย 15000 เท่า,  
 จ) ขนาด 656 ไมโครเมตร กำลังขยาย 750 เท่า, ฉ) ขนาด 656 ไมโครเมตร กำลังขยาย 15000 เท่า,



(ข)



(ช)



(ฅ)



(ฉ)

รูปที่ 4.17 (ต่อ) ฟล็อกจูลซีฟของยางบดละเอียดถ่ายโดยจุลทรรศน์อิเล็กตรอน  
 ข) ขนาด 848 ไมโครเมตร กำลังขยาย 750 เท่า, ช) 848 ไมโครเมตร กำลังขยาย 15000 เท่า,  
 ฅ) ชุดควบคุม กำลังขยาย 750 เท่า, ฉ) ชุดควบคุม กำลังขยาย 15000 เท่า

จากการทดลองต่างๆ ที่ผ่านมา และการศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนในขั้นตอนนี้ ก็อาจทำให้สามารถสรุปได้ว่า

- ยางบดละเอียดมีความสามารถเป็นวัสดุช่วยตกตะกอนได้ให้ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนที่สูงขึ้นถึงแม้ว่าไม่สูงเท่ากับสลัดจ์ที่มีการเติมทาลและถ่านกัมมันต์ชนิดผง แต่ก็สูงกว่าสลัดจ์ที่ไม่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนใดๆ นอกจากนี้ยางบดละเอียดยังไม่ส่งผลเสียต่อจุลชีพในระบบ และสามารถให้จุลชีพชนิดแท่ง ชนิดกลม และ ชนิดเกลียวจับตัวได้

- ข้อสังเกตบางประการของการจับตัวระหว่างยางบดละเอียดกับสลัดจ์มีรูปแบบการจับตัว 2 ลักษณะคือ ลักษณะแรกยางบดละเอียดขนาดเล็ก 110, 242 และ 656

ไมโครเมตร การจับตัวเป็นแบบฉาบผิวหรือเคลือบผิว ลักษณะที่สองคือยางบดละเอียดขนาดใหญ่ 848 ไมโครเมตร การจับตัวเป็นแบบเกาะติดกับผิว

ผลการจับตัวของฟล็อกจูลซีพกับวัสดุช่วยตกตะกอนทั้ง 3 ชนิดสามารถอธิบายได้ดังนี้คือ

- การจับตัวแบบห่อหุ้ม เกิดกับฟล็อกจูลซีพของทาลขนาด 2 ไมโครเมตร ได้ดีที่สุดเนื่องจากมีขนาดเล็ก ความเร็วในการตกตะกอนต่ำทำให้สามารถฟุ้งกระจายได้ทั่วถึงเต็มอากาศ และสามารถเกิดการห่อหุ้มเป็นฟล็อกขนาดใหญ่ได้ดีกว่าทาลขนาดใหญ่ซึ่งมีความเร็วในการตกตะกอนสูง ทำให้ตกตะกอนเร็วเป็นผลให้ไม่สามารถรวมตัวกันเป็นฟล็อกขนาดใหญ่ได้ เป็นเหตุผลให้ทาลขนาด 2 ไมโครเมตร มีค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนมีค่ามากที่สุดและค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนแนวโน้มลดลงเมื่อทาลมีขนาดใหญ่ขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.8

สำหรับถ่านกัมมันต์ชนิดผงขนาดเล็กคือ 5 ไมโครเมตรเกิดการจับตัวแบบห่อหุ้มเนื่องจากมีขนาดเล็ก ความเร็วในการตกตะกอนต่ำทำให้สามารถฟุ้งกระจายได้ทั่วถึงเต็มอากาศ และสามารถเกิดการห่อหุ้มกับสลัดจ์ได้ดี เกิดฟล็อกขนาดใหญ่ทำให้ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของถ่านขนาด 5 ไมโครเมตร มีค่ามากกว่าถ่านกัมมันต์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นคือขนาด 10 และ 24 ไมโครเมตร แต่มีค่าความเร็วเริ่มต้นต่ำกว่า ถ่านกัมมันต์ขนาดใหญ่(99 ไมโครเมตร) ที่มีลักษณะการจับตัวแบบเกาะติดผิว เนื่องด้วยถ่านกัมมันต์ขนาดใหญ่มีน้ำหนักที่มากทำให้มีค่าความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอนสูงกว่าขนาดอื่นๆ ทำให้แนวโน้มของค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนมีลักษณะเป็นรูปตัววี ดังแสดงในรูปที่ 4.9

- การจับตัวแบบฉาบผิวหรือเคลือบผิว เกิดกับฟล็อกจูลซีพของยางบดละเอียดขนาดเล็ก ขนาดประมาณ 110-656 ไมโครเมตร โดยแนวโน้มค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของยางมีขนาดใหญ่ทำให้ความเร็วในการตกตะกอนสูงเนื่องจากการตกตะกอนแบบสลัดจ์ขึ้นใหญ่ที่มีน้ำหนักมากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 4.10 ค

การจับตัวแบบเกาะตัวที่ผิว เกิดกับฟล็อกจูลซีพของถ่านกัมมันต์และยางบดละเอียดขนาดใหญ่ ที่ขนาด 99 กับ 848 ไมโครเมตร ตามลำดับ และค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนทั้งสองขนาดนี้มีค่าค่อนข้างมากเนื่องจากขนาดที่ใหญ่ของตัววัสดุช่วยตกตะกอนเองซึ่งทำให้ลักษณะการตกตะกอนใกล้เคียงกับการตกตะกอนแบบโดด

#### 4.6 ผลการศึกษาเปรียบเทียบการคำนวณออกแบบถังตกตะกอนในระบบเอเอสด้วยสลัดจ์ที่เติมวัสดุช่วยตกตะกอนทั้ง 3 ชนิด

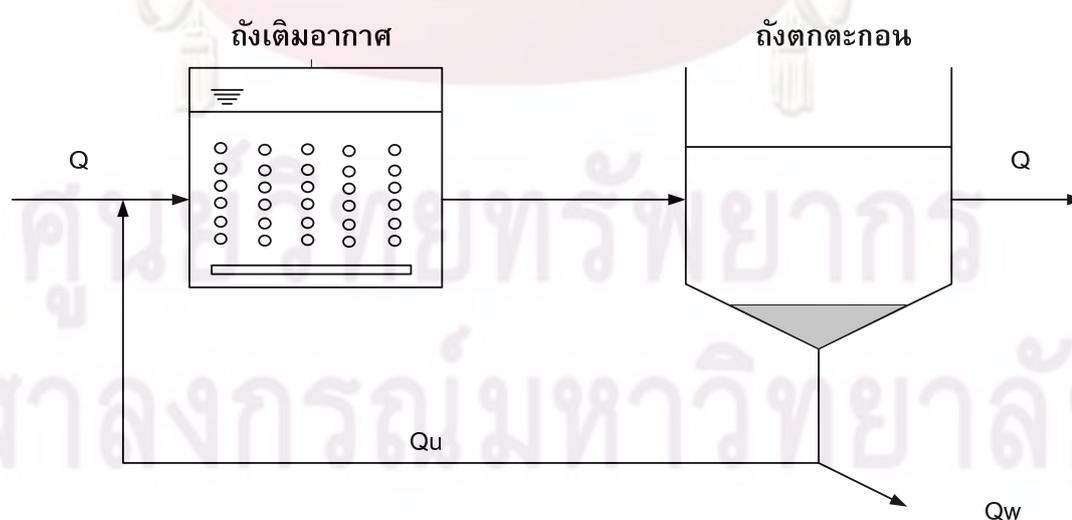
การศึกษาในขั้นตอนนี้ เป็นการศึกษาแนวคิดที่ว่า เมื่อการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอนในแง่ของความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอนได้ ดังนั้นถ้านำ

ค่าความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอนที่ได้จากการทดลองมาคำนวณออกแบบถังตกตะกอน ก็น่าจะ สามารถลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของถังตกตะกอนให้เล็กลงได้

การศึกษาออกแบบถังตกตะกอนในระบบเอเอส เป็นการคำนวณออกแบบถังตกตะกอน ขั้นที่สอง (Secondary Clarifier) โดยงานวิจัยนี้มีการคำนวณเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบขนาดพื้นที่ผิวของถังตกตะกอน ด้วยการคำนวณเปรียบเทียบด้วยวิธีการ 3 วิธีคือ

1. การคำนวณเปรียบเทียบพื้นที่หน้าตัดของถังตกตะกอนด้วยโซลิดฟลักซ์ (Solid Flux)
2. การคำนวณเปรียบเทียบพื้นที่หน้าตัดของถังตกตะกอนด้วยอัตราน้ำล้นผิว (Surface Loading Rate)
3. การคำนวณเปรียบเทียบพื้นที่หน้าตัดของถังตกตะกอนด้วยอัตราภาระของแข็ง (Solids Loading Rate)

ในการคำนวณออกแบบวิธีคำนวณโซลิดฟลักซ์ได้อธิบายขั้นตอนไว้ในหัวข้อที่ 2.2.2 แล้ว ในขั้นตอนนี้ได้ทำการออกแบบขนาดพื้นที่หน้าตัดของถังตกตะกอนที่เติมวัสดุช่วยตกตะกอนทั้ง 3 ชนิดและถังตกตะกอนของระบบที่ไม่เติมวัสดุช่วยตกตะกอนใดๆ โดยใช้ข้อมูลจริงของโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนดินแดงเพื่อเป็นแนวคิดในการออกแบบขนาดถังตกตะกอนเทียบกับขนาดถังเดิม ซึ่งในการศึกษาจะนำค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมทาล ถ่านกัมมันต์ชนิดผงและยางรถยนต์บดละเอียดจากวันที่ 30 ของการทดลอง ( $3\theta_c$ ) ซึ่งเป็นระยะเวลาที่ระบบอยู่ในสภาวะคงที่ (Steady State) มาคำนวณออกแบบซึ่งเป็นเวลาที่ค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนและค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จัดว่าอยู่ในสภาวะคงที่ดังที่ได้แสดงและอธิบายไว้ในหัวข้อที่ 4.1 ทั้งนี้การคำนวณออกแบบขนาดของถังตกตะกอนจะทำการออกแบบโดยการแปรเปลี่ยนชนิดและขนาดของวัสดุช่วยตกตะกอนที่มีขนาดแตกต่างกัน รายการคำนวณต่างๆ แสดงไว้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.18 กระบวนการของระบบเอเอสในการคำนวณออกแบบถังตกตะกอน

ที่มา: Water Environment Federation, 2005

ข้อมูลจากการออกแบบของโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนดินแดง (Department of Drainage and Sewerage, 2007)

อัตราการไหล, $Q$	=	341,289 ลบ.ม./วัน
อัตราการสูบตะกอนออกจากกันถึงตกตะกอน, $Q_u$	=	298,043 ลบ.ม./วัน
	=	12,418.46 ลบ.ม./ชม.
ความเข้มข้นของสลัดจ์, $C_o$	=	2,750 ก./ลบ.ม.
	=	2.75 กก./ลบ.ม.
ขนาดพื้นที่หน้าตัดของถังตกตะกอน, $A$	=	11,322 ตร.ม.

เหตุที่ใช้ข้อมูลของโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนดินแดงมาคำนวณหาพื้นที่ของถังตกตะกอนด้วยวิธีทั้ง 3 วิธี เนื่องจากใช้สมมุติฐานว่าหากเราต้องการปรับปรุงระบบโดยการใส่วัสดุช่วยตกตะกอนลงไป จะทำให้ถังตกตะกอนมีขนาดเล็กลงเท่าใด อย่างไรก็ตาม ผลที่ได้เป็นเพียงแนวคิดในการเปรียบเทียบเท่านั้น หากต้องการนำไปใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียจริง การเติมวัสดุช่วยตกตะกอนจะทำให้เอ็มแอลเอสเอสของระบบสูงขึ้นมาก จำเป็นต้องปรับเปลี่ยนลักษณะทางกายภาพของถังตกตะกอน ระบบสูบสลัดจ์ และอื่นๆอีกมาก

#### 1. การคำนวณเปรียบเทียบขนาดพื้นที่หน้าตัดของถังตกตะกอนด้วยโซลิดฟลักซ์ (Solid Flux)

การคำนวณขนาดของถังตกตะกอนด้วยวิธีโซลิดฟลักซ์ได้กล่าวในรายละเอียดไว้ในหัวข้อที่ 2.2.5 สมการการคำนวณขนาดพื้นที่หน้าตัดของถังตกตะกอน ดังนี้

$$A = \frac{(Q + Q_u) \times C_o}{G_L \times 1000} \quad ; \text{ตร.ม. (2.24)}$$

ให้ อัตราการหมุนเวียนสลัดจ์  $\frac{Q_u}{Q} = \alpha$  ดังนั้น

$$A = \frac{(1 + \alpha)Q \times C_o}{G_L \times 1000} \quad ; \text{ตร.ม. (2.25)}$$

จากสมการดังกล่าวคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

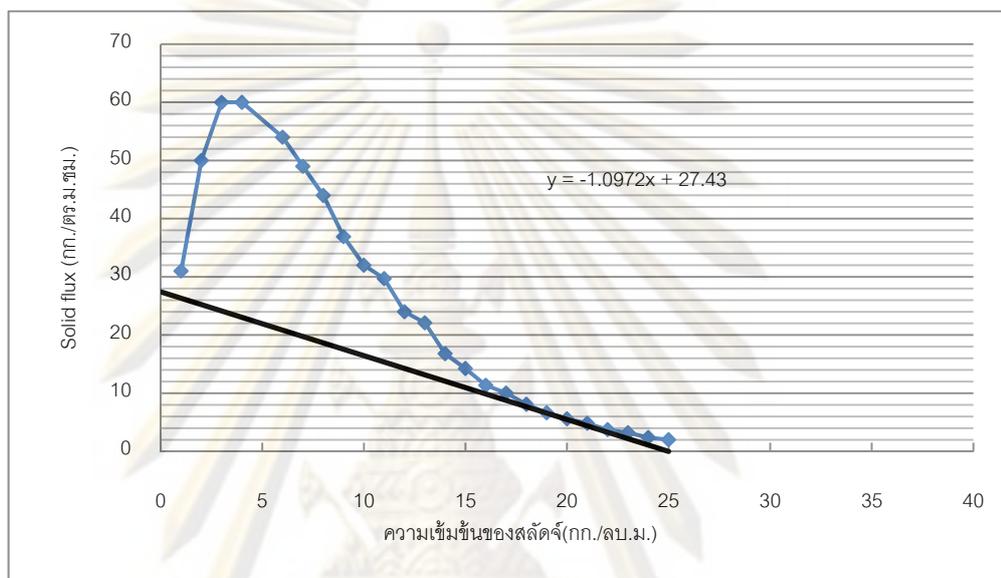
$$\text{โดย } \alpha = \frac{Q_u}{Q} = \frac{298,043 \text{ ลบ.ม./วัน}}{341,289 \text{ ลบ.ม./วัน}} \cong 0.85$$

ส่วนของค่า  $G_L$  นั้นจะคำนวณได้จากกราฟโซลิดฟลักซ์ ซึ่งจากหัวข้อ 2.2.5 การออกแบบด้วยวิธี โซลิดฟลักซ์ประยุกต์ใช้ร่วมกับวิธีของโยชิโอะกะ เมื่อคำนวณและสร้างกราฟ  $G_u$  ได้แล้ว จากนั้นลากเส้นตรงที่มีความชัน  $-V_o$  สัมผัสกับกราฟ  $G_u$  จุดตัดของเส้นตรงบนแกน  $G$  จะเท่ากับ  $G_L$  ซึ่ง  $V_o$  เป็นอัตราเร็วของสลัดจ์ที่ระบายออกจากกันถึงตกตะกอน โดยคำนวณได้จาก

$$V_b = \frac{Q_u}{A} = \frac{12,418.46 \text{ ลบ.ม./ชม.}}{11,322 \text{ ตร.ม.}} = 1.097 \text{ ม./ชม.}$$

ชม.

โดยความชัน  $-V_b$  จะนำไปลากเส้นตรงในกราฟโซลิดฟลักซ์ ซึ่งในที่นี้จะแสดงตัวอย่างการเขียนกราฟโซลิดฟลักซ์ของทาลขนาด 2 ไมโครเมตร ดังต่อไปนี้ ส่วนของกราฟโซลิดฟลักซ์ของทาลถ่านกัมมันต์ชนิดผงและยางรถยนต์บดละเอียดขนาดต่างๆ จะได้แสดงรายละเอียดไว้ในภาคผนวก.



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงโซลิดฟลักซ์ของทาลขนาด 2 ไมโครเมตร

จากรูปที่ 4.19 ที่ความชันกราฟ  $-V_b$  จะสามารถหาจุดตัดของเส้นตรงบนแกน Solids Flux โดยจุดตัดของเส้นตรงบนแกนจะเท่ากับ  $G_L$  ซึ่งจะได้ค่า  $G_L$  หรือ Limiting Flux เท่ากับ 27.43 กก./ตร.ม.-ชม. ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 658.32 กก./ตร.ม.-วัน

ดังนั้นจึงจะสามารถคำนวณขนาดพื้นที่หน้าตัดของถังตกตะกอนของทาลขนาด 2 ไมโครเมตรได้จากสมการ 4.2 ดังต่อไปนี้

$$A = \frac{(1 + \alpha)Q \times C_0}{G_L \times 1000} \quad (2.25)$$

$$A = \frac{(1 + 0.85) \times 341289 \times 2750}{658.32 \times 1000} = 2,637.48 \text{ ตร.ม.}$$

และการคำนวณพื้นที่หน้าตัดของถังตกตะกอนของวัสดุช่วยตกตะกอนทั้ง 3 ชนิดและขนาดอื่นๆ ใช้วิธีการคำนวณแบบเดียวกัน เพื่อใช้เป็นแนวคิดในการออกแบบถังตกตะกอนเทียบกับถังตกตะกอนของโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนดินแดง ดังที่ได้แสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ขนาดของพื้นที่หน้าตัดของถังตกตะกอนจากการคำนวณด้วยโซลิดฟลักซ์

ชนิดของวัสดุช่วยตกตะกอน	ขนาด (ไมโครเมตร)	Limiting Flux, $G_L$		ขนาดพื้นที่หน้าตัดของถังตกตะกอน, A (ตร.ม.)
		(กก./ตร.ม.-ชม.)	(กก./ตร.ม.-วัน)	
ทาล	2	27.43	658.32	2637.48
	5	51.56	1,237.44	1403.15
	10	41.69	1,000.56	1735.34
	18	57.04	1,368.96	1268.34
	ชุดควบคุม	23.59	566.16	3066.81
ถ่านกัมมันต์ชนิดผง	5	25.78	618.72	2806.29
	10	23.04	552.96	3140.02
	24	62.53	1500.72	<b>1156.98</b>
	99	33.46	803.04	2162.17
	ชุดควบคุม	24.30	583.2	2977.21
ยางรถยนต์บดละเอียด	110	23.04	552.96	3140.02
	242	55.95	1342.8	1293.05
	656	32.91	789.84	2198.30
	848	32.91	789.84	2198.30
	ชุดควบคุม	21.40	513.6	<b>3380.66</b>
โรงบำบัดน้ำเสียชุมชนดินแดง การคำนวณในภาคผนวก ค		11.52	276.48	6280.04

## 2. การคำนวณเปรียบเทียบพื้นที่หน้าตัดของถังตกตะกอนด้วยอัตราน้ำล้นผิว (Surface Loading Rate)

การตกตะกอนในระบบเอเอส เป็นการตกตะกอนแบบแบ่งชั้นซึ่งในช่วงต้นของการตกตะกอนแบบแบ่งชั้น จัดเป็นการตกตะกอนแบบโคต ซึ่งก็คือค่าความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอน หรือค่า ISV (Initial Settling Velocity) นั้นเอง ซึ่งค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนจะเป็นค่าเดียวกันกับอัตราน้ำล้นผิว ดังจะแสดงตัวอย่างการคำนวณ และแสดงผลขนาดของพื้นที่ผิวของถังตกตะกอนได้ดังต่อไปนี้

จากข้อมูลของโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนดินแดงจะสามารถคำนวณอัตราน้ำล้นผิวที่ใช้สำหรับถังตกตะกอนได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{อัตราน้ำล้นผิว, } V &= \frac{Q}{A} \\ &= \frac{341289 \text{ ลบ.ม./วัน}}{11322 \text{ ตร.ม.}} \\ &= 30.1 \text{ ลบ./ตร.ม.-วัน} = 1.26 \text{ ลบ./ตร.ม.-ชม.} \\ &= 1.26 \text{ ม./ชม.} \end{aligned}$$

ซึ่งเมื่อนำค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนจากการทดลอง ทาลที่มีขนาด 2 ไมโครเมตรซึ่งมีค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนสูงสุด มีค่าเท่ากับ 17.64 ม./ชม. ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 423.36 ม./วัน ดังนั้นจะคำนวณพื้นที่หน้าตัดของถังตกตะกอนได้คือ

$$\begin{aligned} A_{\text{Talc 2 ไมโครเมตร}} &= \frac{Q}{V_{\text{Talc}}} \\ &= \frac{341289 \text{ ลบ.ม./วัน}}{423.36 \text{ ม./วัน}} \end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้น } A_{\text{Talc 2 ไมโครเมตร}} = 806.14 \text{ ตร.ม.}$$

และการคำนวณพื้นที่หน้าตัดของถังตกตะกอนของวัสดุช่วยตกตะกอนชนิดต่างๆ ได้ใช้วิธีการคำนวณแบบเดียวกัน โดยค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนในทุกสภาวะได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก. โดยตารางเปรียบเทียบค่าพื้นที่หน้าตัดของถังตกตะกอนจากการคำนวณด้วยอัตราน้ำล้นผิวแสดงไว้ดังต่อไปนี้



ตารางที่ 4.6 ขนาดของพื้นที่หน้าตัดของถังตกตะกอนจากการคำนวณด้วยอัตราน้ำล้นผิว

ชนิดของวัสดุ ช่วยตกตะกอน	ขนาดวัสดุ ช่วยตกตะกอน (ไมโครเมตร)	ค่าความเร็วเริ่มต้น ของการตกตะกอน		ขนาดพื้นที่หน้าตัด ของถังตกตะกอน, A (ตร.ม.)
		(ม./ชม.)	(ม./วัน)	
ทาล	2	17.64	423.36	806.14
	5	13.76	330.24	1033.46
	10	8.93	214.32	1592.43
	18	7.84	188.16	1813.82
	ชุดควบคุม	3.09	74.16	4602.06
ถ่านกัมมันต์ ชนิดผง	5	11.98	287.45	1187.29
	10	7.04	169.00	2019.48
	24	10.06	241.49	1413.28
	99	13.91	333.76	1022.55
	ชุดควบคุม	4.06	97.46	3501.87
ยางรถยนต์ บดละเอียด	110	7.15	171.60	1988.86
	242	7.52	180.48	1891.01
	656	7.94	190.56	1790.98
	848	13.74	329.76	1034.96
	ชุดควบคุม	4.54	108.96	3132.24
โรงบำบัดน้ำเสียชุมชนดินแดง (จากการคำนวณและออกแบบ )		1.26	30.1	11,376.30

3. การคำนวณเปรียบเทียบพื้นที่หน้าตัดของถังตกตะกอนด้วยอัตราภาระของแข็ง (Solids Loading Rate)

การออกแบบเปรียบเทียบพื้นที่หน้าตัดของถังตกตะกอนด้วยอัตราภาระของแข็ง คือ อัตราส่วนของมวลของของแข็งที่เข้าสู่ถังตกตะกอน ซึ่งมีความหมายเดียวกับการเคลื่อนที่ของชั้น สลัดจ์ผ่านถังตกตะกอน เมื่อคิดในเทอมของมวลน้ำหนักต่อพื้นที่ผิวต่อเวลาซึ่งก็คือโซลิดฟลักซ์ นั่นเอง โดยจากข้อมูลเบื้องต้นของโรงบำบัดน้ำเสียดินแดงสามารถคำนวณกลับได้ด้วยวิธีโซลิดฟลักซ์ เท่ากับ 153.37 กก./ตร.ม.-วัน

$$G_L = 153.37 \text{ กก./ตร.ม.-วัน}$$

ดังนั้น  $SLR = 153.37 \text{ กก./ตร.ม.-วัน}$

เมื่อนำค่า  $G_L$  ไปคำนวณขนาดพื้นที่หน้าตัดของถังตกตะกอนได้จากสมการ 2.25 จะได้ขนาดของถังตกตะกอนเท่ากับ

$$A = \frac{(1 + 0.85) \times 341289 \times 2750}{153.37 \times 1000} = 11,321 \text{ ตร.ม.}$$

โดยจากการทดลองที่ผ่านมาพบว่าอัตราภาระของแข็ง สามารถคำนวณกลับได้ด้วยโซลิดฟลักซ์ซึ่งจะแสดงค่าอัตราภาระของแข็งได้ดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.7 อัตราภาวะของแข็งจากการทดลอง

ชนิดของวัสดุ ช่วยตกตะกอน	ขนาดวัสดุ ช่วยตกตะกอน (ไมโครเมตร)	อัตราภาวะของแข็ง		ขนาดพื้นที่หน้าตัด ของถังตกตะกอน, A (ตร.ม.)
		(กก./ตร.ม.-ชม.)	(กก./ตร.ม.-วัน)	
ทาล	2	27.43	658.32	2637.48
	5	51.56	1,237.44	1403.15
	10	41.69	1,000.56	1735.34
	18	57.04	1,368.96	1268.34
	ชุดควบคุม	23.59	566.16	3066.81
ถ่านกัมมันต์ ชนิดผง	5	25.78	618.72	2806.29
	10	23.04	552.96	3140.02
	24	62.53	1,500.72	<b>1156.98</b>
	99	33.46	803.04	2162.17
	ชุดควบคุม	24.30	583.2	2977.21
ยางรถยนต์ บดละเอียด	110	23.04	552.96	3140.02
	242	55.95	1342.8	1293.05
	656	32.91	789.84	2198.30
	848	32.91	789.84	2198.30
	ชุดควบคุม	21.40	513.6	<b>3380.66</b>
โรงบำบัดน้ำเสียชุมชนดินแดง (จากการคำนวณและออกแบบ)		6.39	153.37	11,321

อัตราภาวะของแข็งที่ได้จากระบบที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนมีค่าสูงกว่าอัตราภาวะของแข็งข้อมูลเบื้องต้นของโรงบำบัดน้ำเสียดินแดง ซึ่งมีค่าอัตราภาวะของแข็งสูงกว่ามาตรฐานในช่วง 4-6 กก./ตร.ม.-ชม ทำให้ทราบได้ว่าถังตกตะกอนสามารถรับของแข็งหรือตะกอนสลัดจ์ได้สูงกว่าถังตกตะกอนแบบธรรมดาได้มากขึ้น

จากการศึกษาคำนวณออกแบบขนาดของถังตกตะกอนที่มีการคำนวณเปรียบเทียบทั้ง 3 วิธีแสดงดังตารางที่ 4.8 ดังนี้

ตารางที่ 4.8 การเปรียบเทียบขนาดพื้นที่หน้าตัดของถังตกตะกอนด้วยวิธีการคำนวณที่แตกต่างกัน

วิธีการคำนวณ	ขนาดพื้นที่หน้าตัด (ตร.ม.)																
	พื้นที่หน้าตัด	โรงบำบัดน้ำเสีย	ทาล(ไมโครเมตร)					ถ่านกัมมันต์ชนิดผง(ไมโครเมตร)					ยางรถยนต์บดละเอียด(ไมโครเมตร)				
			ชุมชนดินแดง	2	5	10	18	ชุด ควบคุม	5	10	24	99	ชุด ควบคุม	110	242	656	848
โซลิดฟลักซ์	6,280	2,638	1403	1,735	1,268	3067	2,806	3,140	1,157	2,162	2,977	3,140	1,293	2,198	2,198	3,381	
อัตราน้ำล้นผิว	11,339	806	1034	1,592	1,814	4602	1,187	2,019	1,413	1,023	3,502	1,989	1,891	1,791	1,035	3,132	
อัตราภาระของแข็ง	11,321	2,638	1403	1,735	1,268	3067	2,806	3,140	1,157	2,162	2,977	3,140	1,293	2,198	2,198	3,381	

จากการคำนวณออกแบบขนาดของถังตกตะกอนในระบบเอเอสจากสลัดจ์ที่เติมวัสดุช่วยตกตะกอนดังที่แสดงไปนั้น พบว่าการคำนวณออกแบบด้วยวิธีไฮลิคฟลักซ์ ขนาดของถังตกตะกอนที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนจะมีขนาดของถังตกตะกอนเล็กกว่าชุดควบคุมที่ไม่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนลงไป ซึ่งระบบที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนและทำให้ขนาดของถังตกตะกอนเล็กที่สุดคือ ในชุดของถ่านกัมมันต์ที่มีขนาด 24 ไมโครเมตรมีขนาดของถังตกตะกอน 1157 ตร.ม ส่วนในชุดควบคุมขนาดของถังตกตะกอนมีขนาดใหญ่มากที่สุด คือ 3381 ตร.ม.

การศึกษาการคำนวณเปรียบเทียบพื้นที่หน้าตัดของถังตกตะกอนด้วยอัตราน้ำล้นผิว (Surface Loading Rate) เป็นการคำนวณออกแบบในพื้นที่ฐานของการตกตะกอนแบบโคต โดยผลการทดลองจะได้ขนาดของถังตกตะกอนที่เล็กที่สุดคือทาลขนาด 2 ไมโครเมตรจะมีขนาดถังตกตะกอน 806 ตร.ม. ซึ่งผลจากการคำนวณจะเป็นไปตามทฤษฎีคือ พื้นที่หน้าตัดของถังตกตะกอนจะมีขนาดเล็กลงเมื่อเติมวัสดุช่วยตกตะกอน โดยเมื่อเปรียบเทียบอย่างละเอียดพบว่าการเติมทาล จะทำให้ขนาดของถังตกตะกอนเล็กกว่าการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงและยางรถยนต์บดละเอียด และเมื่อนำค่าที่ได้ดังกล่าวไปเปรียบเทียบกับข้อมูลจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนดินแดง ที่มีขนาดถังตกตะกอนขนาด 11,322 ตร.ม. พบว่าขนาดถังตกตะกอนที่ได้จากการคำนวณมีขนาดเล็กกว่ามาก

จากการศึกษาเปรียบเทียบพื้นที่หน้าตัดของถังตกตะกอนด้วยอัตราภาระของแข็ง (Solids Loading Rate) พบว่า ขนาดถังของระบบที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนมีขนาดถังที่เล็กกว่าขนาดของถังตกตะกอนโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนดินแดง อัตราภาระของแข็งของระบบที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนมีค่าอัตราภาระของแข็งจากมากกว่า ข้อกำหนดที่อยู่ในช่วง 4-6 กก./ตร.ม.-ชม. (Metcalf and Eddy, 2003) หรือเท่ากับ 96-144 กก./ตร.ม.-วัน มีผลดีคือทำให้ถังตกตะกอนสามารถรับตะกอนสลัดจ์ได้สูงกว่าถังตกตะกอนโดยทั่วไป

การคำนวณออกแบบถังตกตะกอนในระบบเอเอสด้วยสลัดจ์ที่เติมวัสดุช่วยตกตะกอนคือ ทาล ถ่านกัมมันต์ชนิดผง และ ยางรถยนต์บดละเอียด สามารถคำนวณออกแบบขนาดของถังตกตะกอนให้มีขนาดลดลงได้ ด้วยการคำนวณจากไฮลิคฟลักซ์ ส่วนการใช้อัตราน้ำล้นผิวในการคำนวณขนาดของถังตกตะกอน จะให้ผลเป็นไปตามความคาดหมาย คือ ขนาดพื้นที่ผิวของถังตกตะกอนที่คำนวณได้จะแปรผันกับค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนคือถ้าค่าความเร็วเริ่มต้นการตกตะกอนมีค่าสูงจะทำให้ขนาดของถังตกตะกอนมีขนาดเล็กลงตามไปด้วยดังเช่นทาลที่มีขนาด 2 ไมโครเมตรซึ่งเป็นทาลที่มีขนาดเล็กที่สุดแต่มีค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนสูงจึงทำให้ขนาดของถังตกตะกอนเล็กลงอย่างเห็นได้ชัดและเมื่อทำการตรวจสอบด้วยอัตราภาระของแข็ง พบว่าอัตราภาระของแข็งที่ได้จากการทดลองจะมีค่าสูงกว่าในข้อกำหนดต่างๆ ไปมาก มีผลดีคือทำให้ถังตกตะกอนสามารถรับตะกอนสลัดจ์ได้สูงกว่าถังตกตะกอนโดยทั่วไปนั่นเอง ส่วน

ของการเปรียบเทียบความสามารถของวัสดุช่วยตกตะกอนทั้งสามชนิดในแง่ของการออกแบบขนาดของถังตกตะกอน จากการคำนวณพบว่าทาลเป็นวัสดุช่วยตกตะกอนที่สามารถลดขนาดของถังตกตะกอนได้ดีกว่าถ่านกัมมันต์ชนิดผงและยางรถยนต์บดละเอียด เนื่องจากผลของความเร็วกว่าเริ่มต้นในการตกตะกอนที่มีสูงกว่านั่นเอง

การศึกษาคำนวณออกแบบพื้นที่หน้าตัดของถังตกตะกอนจากงานวิจัยฉบับนี้ ผลที่ได้เป็นที่น่าพึงพอใจสำหรับในขั้นทฤษฎี และในระดับห้องปฏิบัติการ แต่ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิจัยนี้เป็นเพียงผลลัพธ์ขั้นต้นที่ได้จากการคำนวณ ซึ่งโดยความเป็นจริงหากต้องการนำงานวิจัยนี้ไปใช้ได้ในระดับการปฏิบัติงานจริงจะต้องมีการนำไปทดลองกับระบบบำบัดน้ำเสียจริงเสียก่อน ซึ่งอาจพบกับปัญหา หรืออุปสรรคที่ต้องแก้ไข เช่น การจัดการกับสลัดจ์ที่มีความเข้มข้นสูงมากๆ ในถังปฏิกริยา เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อให้งานวิจัยนี้สามารถสรุปผลนำไปใช้เป็นประโยชน์กับงานในระบบบำบัดน้ำเสียจริงได้ต่อไปในอนาคต

จากผลงานวิจัยนี้ได้สรุปลักษณะสมบัติของวัสดุช่วยตกตะกอนที่ดีดังต่อไปนี้

วัสดุช่วยตกตะกอนที่ดี ควรมีขนาดเฉลี่ยที่ไม่ใหญ่จนไม่สามารถรวมผสมกับน้ำได้ มีลักษณะเนื้อของวัสดุที่อ่อน ไม่แข็งจนเกิดการขัดสีกับท่อ เครื่องสูบน้ำ และอุปกรณ์ต่างๆ โดยวัสดุช่วยตกตะกอนสำหรับงานวิจัยนี้คือ ทาล ถ่านกัมมันต์ชนิดผงและยางรถยนต์บดละเอียด มีลักษณะที่ดีสอดคล้องกับเหตุผลดังกล่าวข้างต้น จึงเป็นสาเหตุสำคัญยิ่งที่ทำให้ได้ผลการทดลองที่ดี

อีกเหตุผลที่สำคัญประการหนึ่งของวัสดุช่วยตกตะกอนที่ดีได้แก่ เหตุผลในแง่ของเศรษฐศาสตร์ ซึ่งยางรถยนต์บดละเอียดมีความน่าสนใจที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุช่วยตกตะกอนคือ เป็นวัสดุที่หาได้ง่ายโดยทั่วไปตามท้องตลาด มีราคาถูก เป็นแนวทางที่ดีในการนำของเสียที่เหลือใช้แล้วมาใช้ให้เกิดประโยชน์และคุ้มค่าและในปัจจุบันได้เกิดปัญหาสภาวะแวดล้อมที่เกิดขึ้นกับโลกมากมายจึงเป็นแนวคิดที่ดีแนวความคิดการนำเอาวัสดุช่วยตกตะกอนกลับมาใช้ใหม่

หลังจากช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอนของสลัดจ์แล้วจึงควรพัฒนาเพื่อหาวิธีแยกวัสดุช่วยตกตะกอนออกจากสลัดจ์ ซึ่งแนวคิดนี้เป็นแนวคิดที่ดีกับงานวิจัยต่อไปในอนาคต และเป็นแนวทางที่ดีในการใช้ทรัพยากรโลกที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประโยชน์สูงสุดตลอดจนสามารถพัฒนาไปสู่การใช้วัสดุช่วยตกตะกอนกับระบบจริงได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

##### 5.1.1 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

ขนาดของวัสดุช่วยตกตะกอนทั้ง 3 ชนิด ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีมากนักโดยประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีประมาณร้อยละ 95 ซึ่งใกล้เคียงกับชุดควบคุม ยกเว้นถ่านกัมมันต์ชนิดผงขนาดเล็กมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีที่ดีคือประมาณร้อยละ 98

ระบบเอเอสที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนทั้ง 3 ชนิด ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี แต่มีแนวโน้มว่าถ่านกัมมันต์ชนิดผงมีค่าประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีได้ค่อนข้างดีกว่าชนิดอื่นและวัสดุช่วยตกตะกอนทั้ง 3 ชนิดและขนาดที่แตกต่างกันเมื่อใส่เข้าไปในระบบแล้วไม่ส่งผลเสียต่อระบบในแง่ของประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

##### 5.1.2 ความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอน (Initial Settling Velocity)

ระบบเอเอสที่มีการเติมทาลเป็นวัสดุช่วยตกตะกอนสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอนดีที่สุด รองลงมาคือถ่านกัมมันต์ชนิดผงและยางรถยนต์บดละเอียด ตามลำดับ โดยระบบเอเอสที่มีการเติมทาลขนาดเล็กที่สุดคือ 2 ไมโครเมตรมีค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนมากที่สุดคือ 17.64 เมตรต่อชั่วโมง ซึ่งมากกว่าทาลขนาด 5-18 ไมโครเมตร, ถ่านกัมมันต์ชนิดผงขนาด 5-99 ไมโครเมตร และยางบดละเอียดขนาด 110-848 ไมโครเมตร

วัสดุช่วยตกตะกอนทั้ง 3 ชนิดสามารถเพิ่มความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนได้มากกว่า 5 เมตรต่อชั่วโมง ซึ่งในทางทฤษฎีถือว่าการตกตะกอนที่มีประสิทธิภาพดี (Water Environment Federation, 2005) โดยค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของวัสดุช่วยตกตะกอนทั้ง 3 ชนิดและขนาดต่างๆ สามารถใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการคำนวณออกแบบถังตกตะกอนเพื่อเปรียบเทียบกับขนาดถังตกตะกอนของโรงบำบัดน้ำเสียจริงได้

##### 5.1.3 ลักษณะการจับตัวของฟล็อกจุลชีพกับวัสดุช่วยตกตะกอน

ลักษณะการจับตัวของฟล็อกจุลชีพกับวัสดุช่วยตกตะกอนทั้ง 3 ชนิด มีลักษณะการจับตัว 3 แบบคือ

- การจับตัวแบบห่อหุ้ม เกิดกับฟล็อกจุลชีพของทาลขนาด 2 ไมโครเมตร ดีที่สุดเนื่องจากขนาดที่เล็กจึงมีความเร็วในการตกตะกอนต่ำ ทำให้สามารถฟุ้งกระจายได้ทั่วถึงเต็มอากาศจึงสามารถเกิดการห่อหุ้มเป็นฟล็อกขนาดใหญ่ได้ดีกว่าทาลที่มีขนาดใหญ่ซึ่งมีความเร็วใน

การตกตะกอนสูง ทำให้ตกตะกอนเร็วจึงไม่สามารถรวมตัวกันเป็นฟล็อกขนาดใหญ่ได้ อีกทั้งทาลขนาด 2 ไมโครเมตร ทำให้ค่าความเร็วเริ่มต้นในการตกตะกอนสูงกว่าวัสดุช่วยตกตะกอนชนิดอื่นอีกด้วย

- การจับตัวแบบฉาบผิวหรือเคลือบผิว เกิดกับฟล็อกจุลชีพของยางบดละเอียดขนาดเล็ก ขนาดประมาณ 110-656 ไมโครเมตร

- การจับตัวแบบเกาะตัวที่ผิว เกิดกับฟล็อกจุลชีพของถ่านกัมมันต์และยางบดละเอียดขนาดใหญ่ ที่ขนาด 99 กับ 848 ไมโครเมตร ตามลำดับ

ทั้ง 2 แบบหลังทำให้ความเร็วในการตกตะกอนสูงเนื่องจากเป็นการตกตะกอนแบบสลัดจ์ชั้นใหญ่ที่มีน้ำหนักมาก

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยนำร่องในระดับห้องปฏิบัติการซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง หากมีการดำเนินการวิจัยต่อไปสำหรับนำไปปรับปรุงใช้กับน้ำเสียในระบบบำบัดน้ำเสียจริง เพื่อนำแนวคิดในการเลือกใช้วัสดุช่วยตกตะกอนในการควบคุมดูแล และออกแบบ ถังตกตะกอนในระบบเอเอส ซึ่งให้ผลในด้านต่างๆ เป็นที่น่าพอใจ และจากผลที่ได้รับจากการคำนวณในแง่ของขนาดพื้นที่หน้าตัดของถังตกตะกอนมีความเป็นไปได้ในทางทฤษฎีที่จะสามารถลดขนาดของถังตกตะกอนได้จริง ส่วนในทางปฏิบัติยังต้องมีการศึกษาในด้านเทคนิคต่างๆ เพิ่มขึ้นอีกมาก เช่น การดูแลรักษาระบบอาจต้องมีการเปลี่ยนแปลงไปจากปกติ การเติมวัสดุช่วยตกตะกอนจะต้องใช้วิธีใด มีการจัดการกับสลัดจ์อย่างไรกับระบบที่มีการเติมวัสดุช่วยตกตะกอนลงไปเพราะจะทำให้มีปริมาณสลัดจ์มากขึ้นอีกทั้งลักษณะของน้ำเสียจริงอาจแตกต่างไปจากการทดลองเป็นต้น ตลอดจนถึงการศึกษาวิจัยต่อยอดทั้งในแง่มุมมองต่างๆ เช่น ของการควบคุมระบบด้วยอายุสลัดจ์ที่แตกต่างกันหรือการนำวัสดุช่วยตกตะกอนที่ใช้เพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอนแล้วนำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งล้วนแต่ต้องมีการศึกษาวิจัยอย่างต่อเนื่องต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

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

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

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

สุรัชย์ ทักษิณวราจาร. 2526. การควบคุมการจมไม่ลงของแอตติเวดเต็ดสลัดจ์เนื่องจากจุลินทรีย์ที่เป็นเส้นใยโดยการป้อนน้ำเสียเข้าถังเติมอากาศหกถัง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เอกลักษณ์ ไชยพันธุ์. 2551. การเพิ่มประสิทธิภาพในการตกตะกอนของสลัดจ์ในระบบเอเอสด้วยวัสดุช่วยตกตะกอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

### ภาษาอังกฤษ

APHA, AWWA and WPCF. 1995. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 19<sup>th</sup> Edition. APHA. Inc.

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 talc powder. Water Science Technology 34: 75-83.

Eikelboom, D. H.; and Grovenstein, J. 1998. Control of bulking in a full scale plant by addition of talc (PE 8481). Water Science Technology 37 : 297-301.

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

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

Water Environmental Federation (WEF). 2005. Clarifier Design. 2nd ed. United States of America: McGraw-Hill.



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก  
การคำนวณค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอน  
จากการทดลอง

ศูนย์วิจัยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

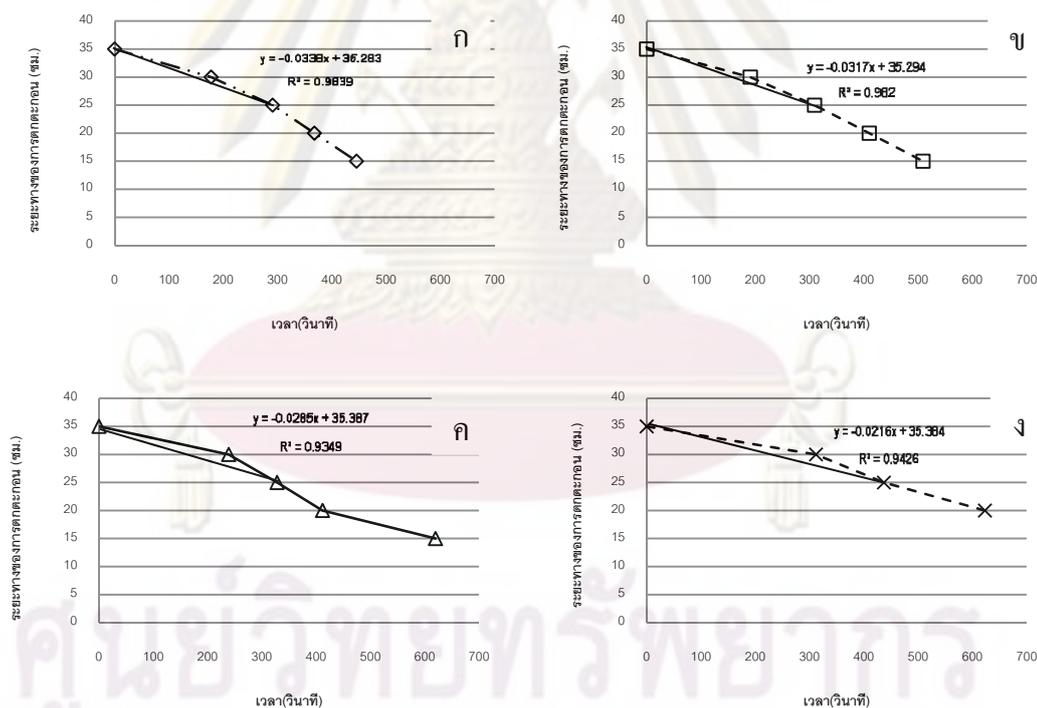
ภาคผนวก ก. การคำนวณค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนจากการทดลอง

1) การหาค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมทาล

1.1) การหาค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมทาลที่เวลาทดลอง  $1\theta_c$

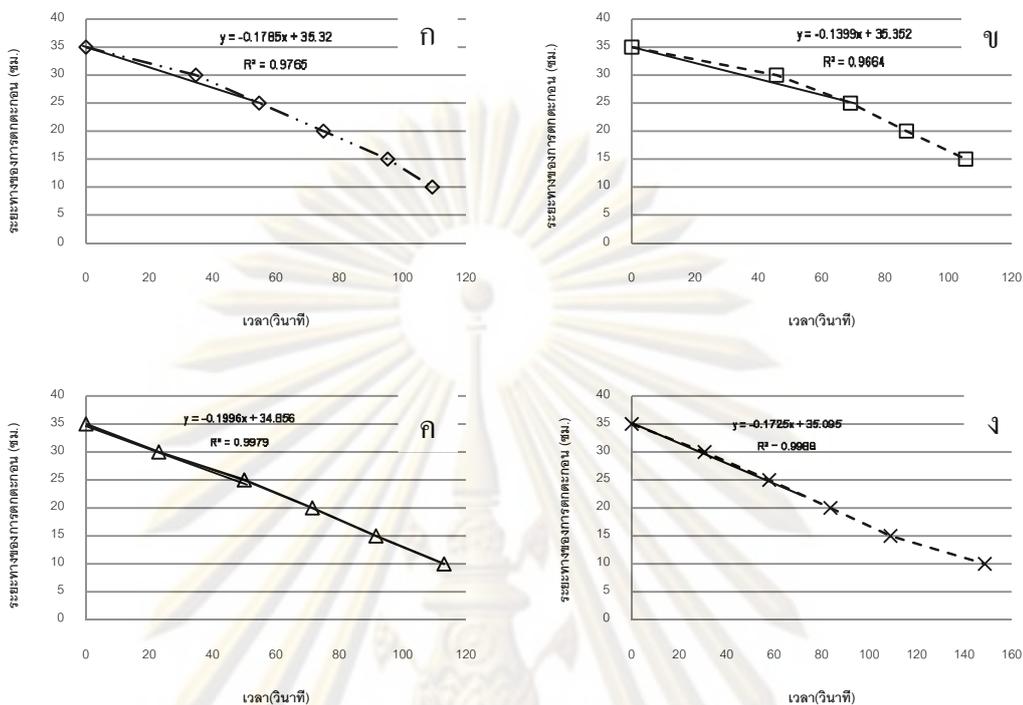
ขนาดทาล (ไมโครเมตร)	4000 มก./ล.		5000 มก./ล.		6000 มก./ล.		7000 มก./ล.	
	ชม./วินาที	ม./ชม.	ชม./วินาที	ม./ชม.	ชม./วินาที	ม./ชม.	ชม./วินาที	ม./ชม.
ชุดควบคุม	0.034	1.22	0.032	1.14	0.029	1.03	0.022	0.78
2	0.179	6.43	0.14	5.04	0.12	7.08	0.173	6.21
5	0.142	5.11	0.1402	5.05	0.1462	5.26	0.125	4.50
10	0.21	7.53	0.176	6.32	0.164	5.90	0.143	5.14
18	0.154	5.52	0.175	6.28	0.141	5.07	0.114	4.09

1.1.1) ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนสลัดจ์ของชุดควบคุมที่เวลา  $1\theta_c$



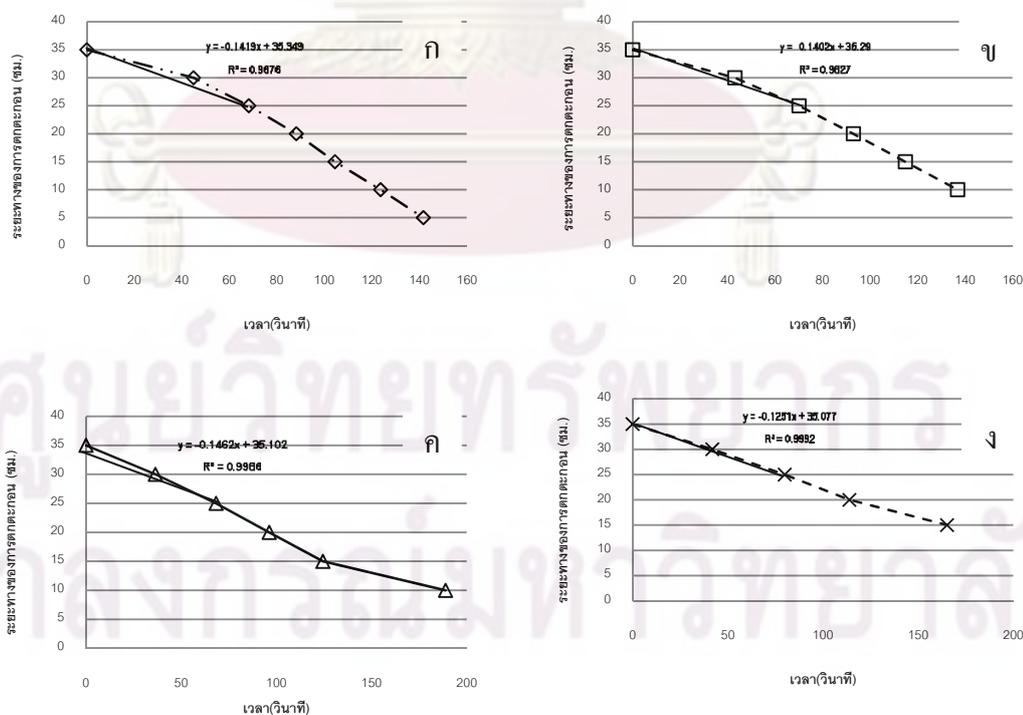
รูปที่ ก.1 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนสลัดจ์ของชุดควบคุมที่เวลา  $1\theta_c$   
ด้วยความเข้มข้นสลัดจ์ ก) 4000 มก./ล. ข) 5000 มก./ล. ค) 6000 มก./ล. ง) 7000 มก./ล.

1.1.2) ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมทาล 2 ไมโครเมตร ที่เวลา  $1 \theta_c$



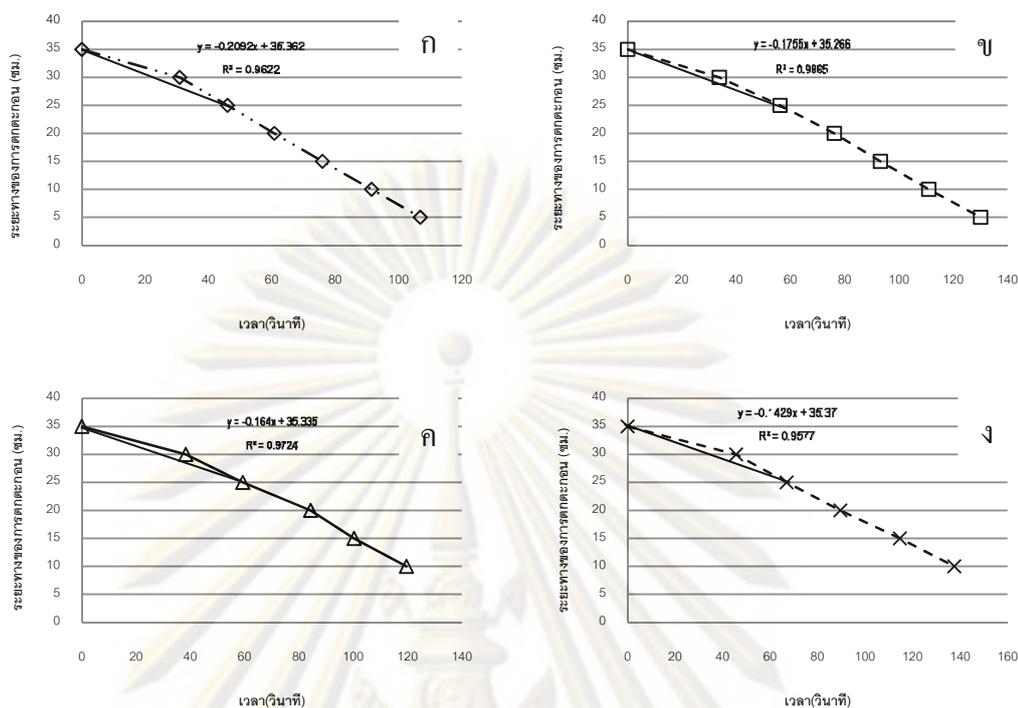
รูปที่ ก.2 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมทาลขนาด 2 ไมโครเมตร ที่เวลา  $1 \theta_c$  ด้วยความเข้มข้นสลัดจ์ ก) 4000 มก./ล. ข) 5000 มก./ล. ค) 6000 มก./ล. ง) 7000 มก./ล.

1.1.3) ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมทาลขนาด 5 ไมโครเมตร ที่เวลา  $1 \theta_c$



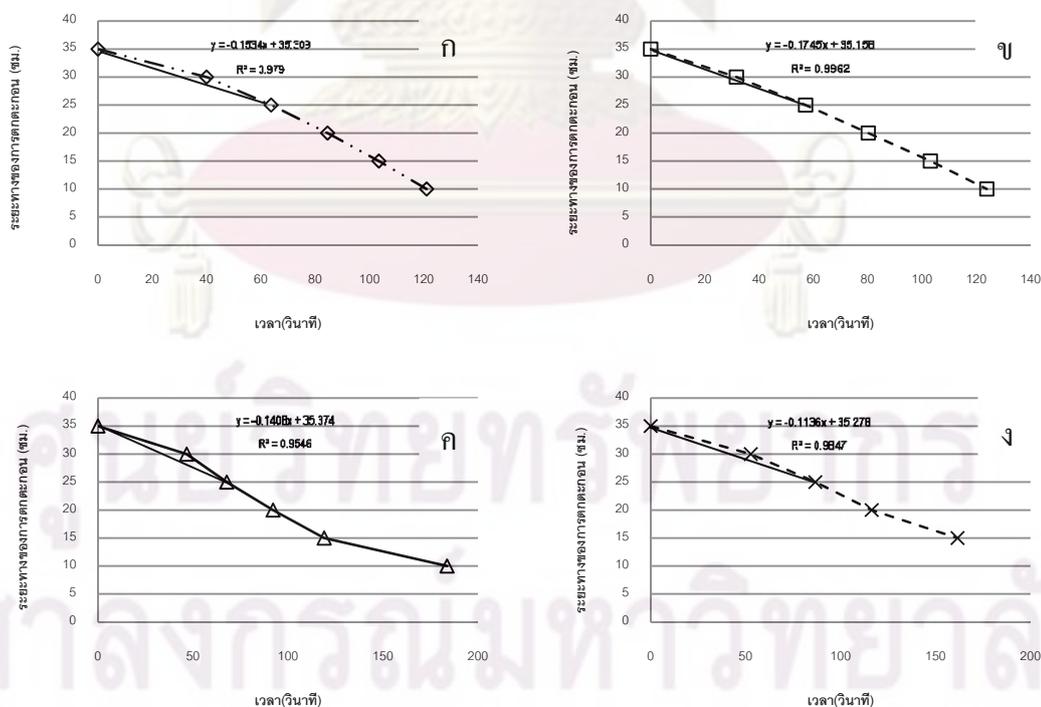
รูปที่ ก.3 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมทาลขนาด 5 ไมโครเมตร ที่เวลา  $1 \theta_c$  ด้วยความเข้มข้นสลัดจ์ ก) 4000 มก./ล. ข) 5000 มก./ล. ค) 6000 มก./ล. ง) 7000 มก./ล.

1.1.4) ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมทาลขนาด 10 ไมโครเมตร ที่เวลา  $1\theta_c$



รูปที่ ก.4 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมทาลขนาด 10 ไมโครเมตร ที่เวลา  $1\theta_c$  ด้วยความเข้มข้นสลัดจ์ ก) 4000 มก./ล. ข) 5000 มก./ล. ค) 6000 มก./ล. ง) 7000 มก./ล.

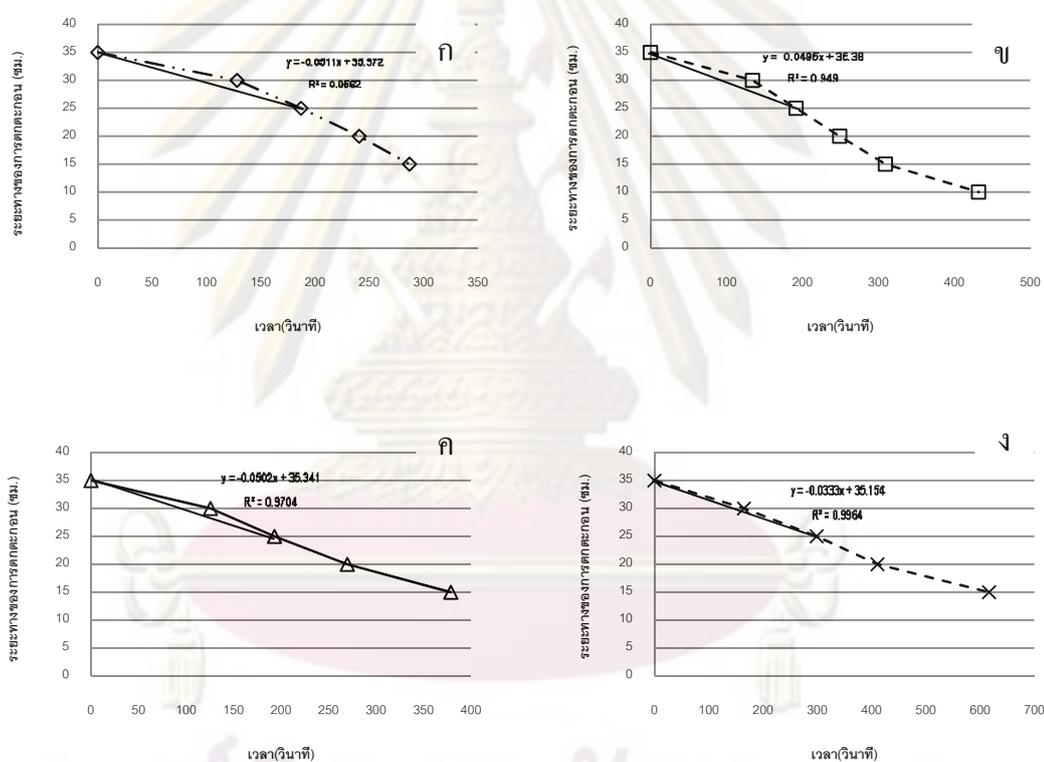
1.1.5) ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมทาลขนาด 18 ไมโครเมตร ที่เวลา  $1\theta_c$



รูปที่ ก.5 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมทาลขนาด 18 ไมโครเมตร ที่เวลา  $1\theta_c$  ด้วยความเข้มข้นสลัดจ์ ก) 4000 มก./ล. ข) 5000 มก./ล. ค) 6000 มก./ล. ง) 7000 มก./ล.

1.2) การหาค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมทาลที่เวลาทดลอง  $2\theta_c$ 

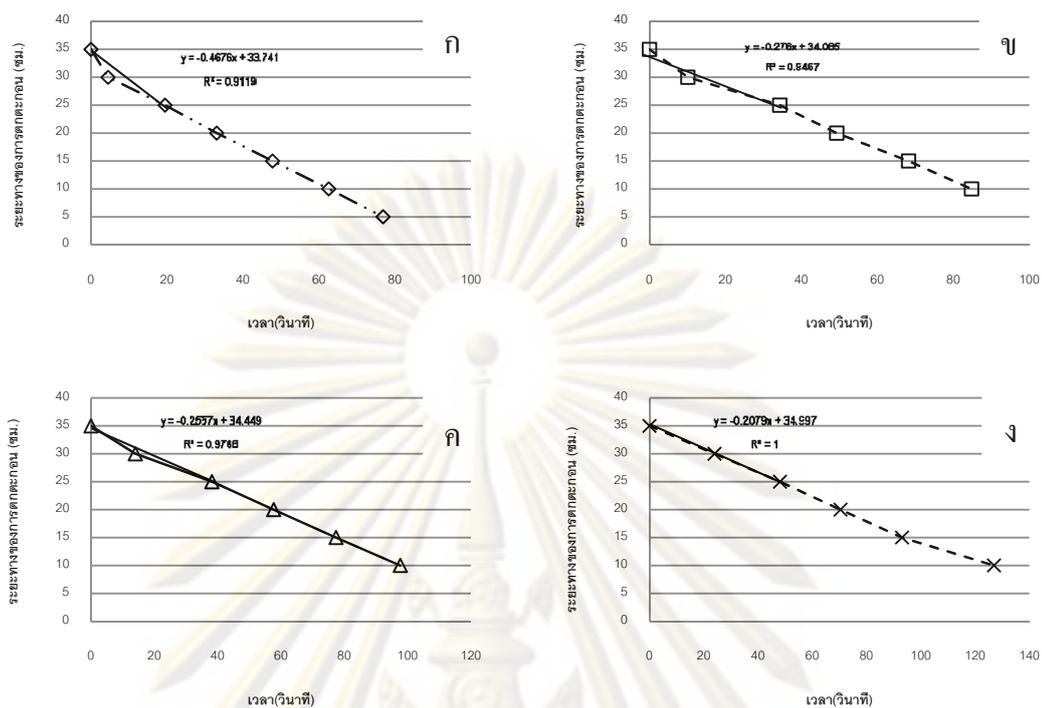
ขนาดทาล (ไมโครเมตร)	4000 มก./ล.		5000 มก./ล.		6000 มก./ล.		7000 มก./ล.	
	ซม./วินาที	ม./ซม.	ซม./วินาที	ม./ซม.	ซม./วินาที	ม./ซม.	ซม./วินาที	ม./ซม.
ชุดควบคุม	0.0511	1.84	0.0495	1.78	0.05	1.81	0.033	1.20
2	0.468	16.83	0.276	9.94	0.256	9.21	0.208	7.48
5	0.198	7.11	0.187	6.71	0.184	6.64	0.1581	5.69
10	0.252	9.06	0.2161	7.78	0.255	9.17	0.218	7.86
18	0.198	7.11	0.177	6.38	0.176	6.33	0.163	5.86

1.2.1 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ของชุดควบคุมที่เวลา  $2\theta_c$ 

รูปที่ 1.6 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของชุดควบคุมที่เวลา  $2\theta_c$   
 ด้วยความเข้มข้นสลัดจ์ ก) 4000 มก./ล. ข) 5000 มก./ล. ค) 6000 มก./ล. ง) 7000 มก./ล.

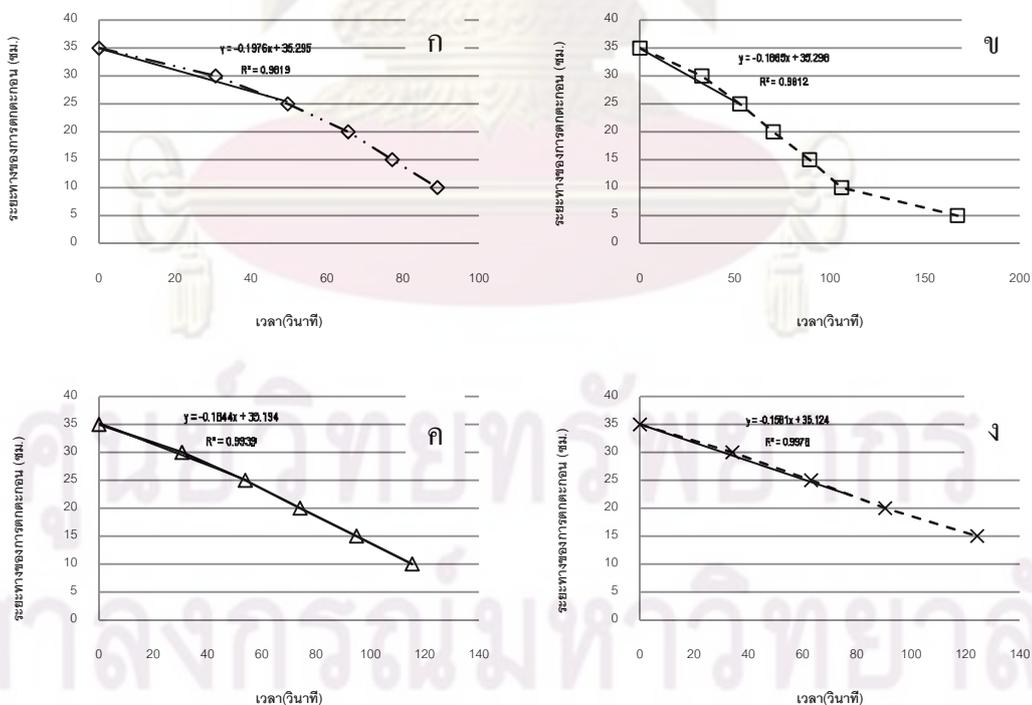


1.2.2 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมทาลขนาด 2 ไมโครเมตร ที่เวลา  $2\theta_c$



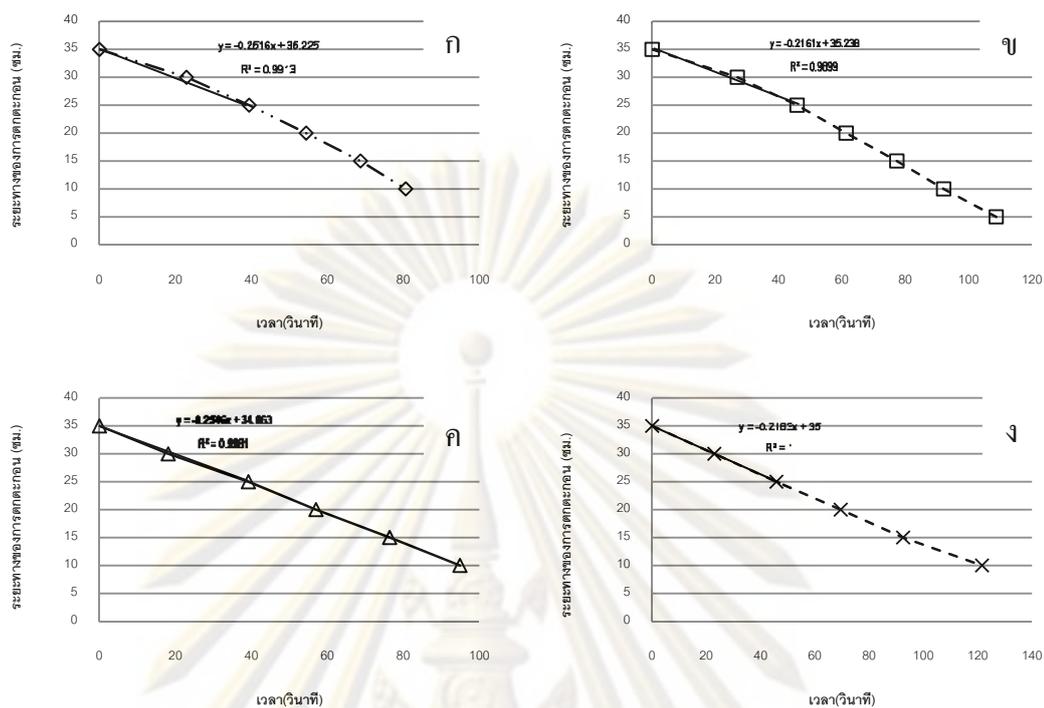
รูปที่ ก.7 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมทาลขนาด 2 ไมโครเมตร ที่เวลา  $2\theta_c$  ด้วยความเข้มข้นสลัดจ์ ก) 4000 มก./ล. ข) 5000 มก./ล. ค) 6000 มก./ล. ง) 7000 มก./ล.

1.2.3 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมทาลขนาด 5 ไมโครเมตร ที่เวลา  $2\theta_c$



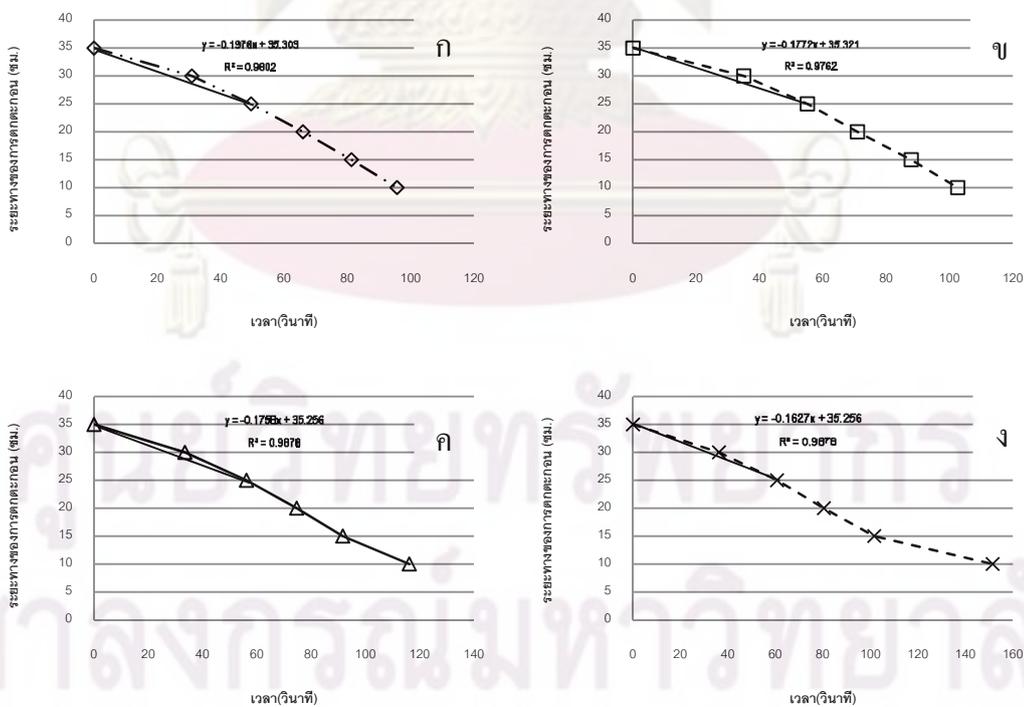
รูปที่ ก.8 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมทาลขนาด 5 ไมโครเมตร ที่เวลา  $2\theta_c$  ด้วยความเข้มข้นสลัดจ์ ก) 4000 มก./ล. ข) 5000 มก./ล. ค) 6000 มก./ล. ง) 7000 มก./ล.

1.2.4) ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมทาลขนาด 10 ไมโครเมตร ที่เวลา  $2\theta_c$



รูปที่ ก.9 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมทาลขนาด 10 ไมโครเมตร ที่เวลา  $2\theta_c$  ด้วยความเข้มข้นสลัดจ์ ก) 4000 มก./ล. ข) 5000 มก./ล. ค) 6000 มก./ล. ง) 7000 มก./ล.

1.2.5 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมทาลขนาด 18 ไมโครเมตร ที่เวลา  $2\theta_c$

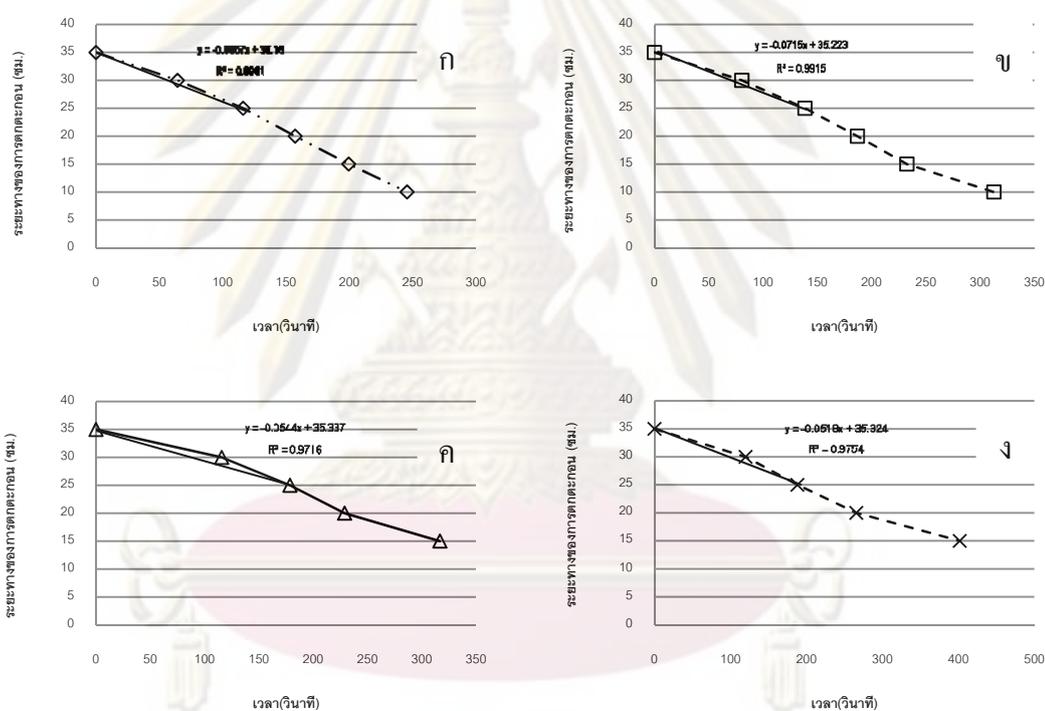


รูปที่ ก.10 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมทาลขนาด 18 ไมโครเมตร ที่เวลา  $2\theta_c$  ด้วยความเข้มข้นสลัดจ์ ก) 4000 มก./ล. ข) 5000 มก./ล. ค) 6000 มก./ล. ง) 7000 มก./ล.

1.3) การหาค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมทาลที่เวลาทดลอง  $3\theta_c$

ขนาดทาล (ไมโครเมตร)	4000 มก./ล.		5000 มก./ล.		6000 มก./ล.		7000 มก./ล.	
	ซม./วินาที	ม./ชม.	ซม./วินาที	ม./ชม.	ซม./วินาที	ม./ชม.	ซม./วินาที	ม./ชม.
ชุดควบคุม	0.086	3.09	0.072	2.57	0.054	1.96	0.052	1.86
2	0.49	17.64	0.489	17.61	0.476	17.14	0.413	14.88
5	0.382	13.76	0.294	10.58	0.26	9.36	0.273	9.83
10	0.248	8.93	0.223	8.04	0.249	8.95	0.221	7.95
18	0.218	7.84	0.194	6.99	0.187	6.72	0.166	5.99

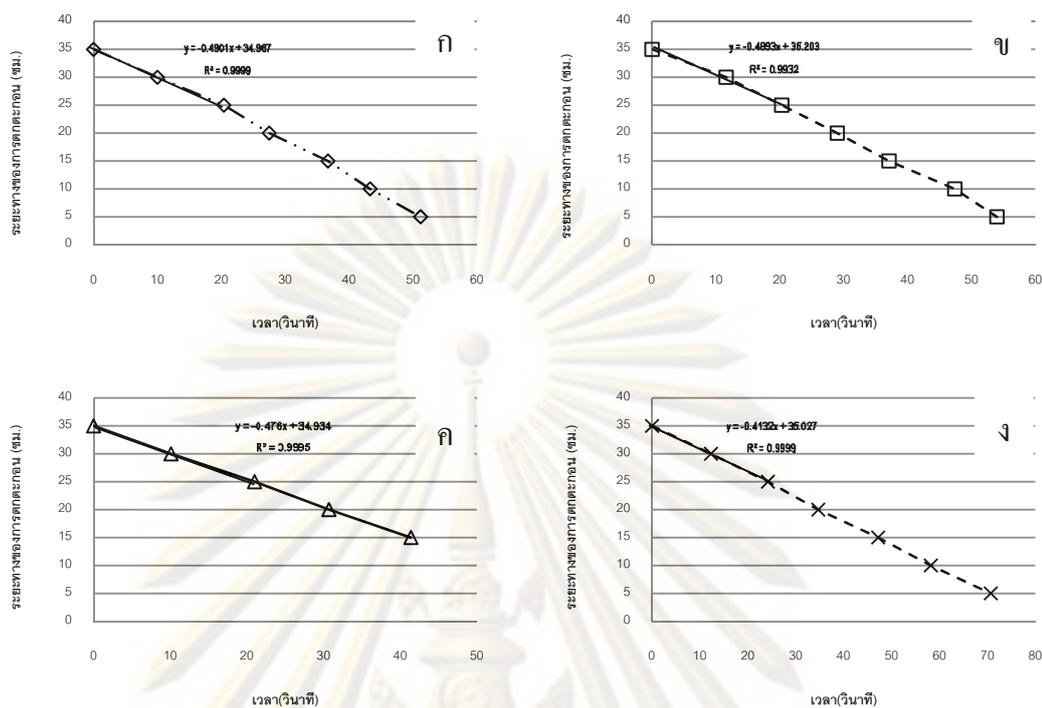
1.3.1 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนสลัดจ์ของชุดควบคุมที่เวลา  $3\theta_c$



รูปที่ ก.11 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของชุดควบคุมที่เวลา  $3\theta_c$   
 ด้วยความเข้มข้นสลัดจ์ ก) 4000 มก./ล. ข) 5000 มก./ล. ค) 6000 มก./ล. ง) 7000 มก./ล.

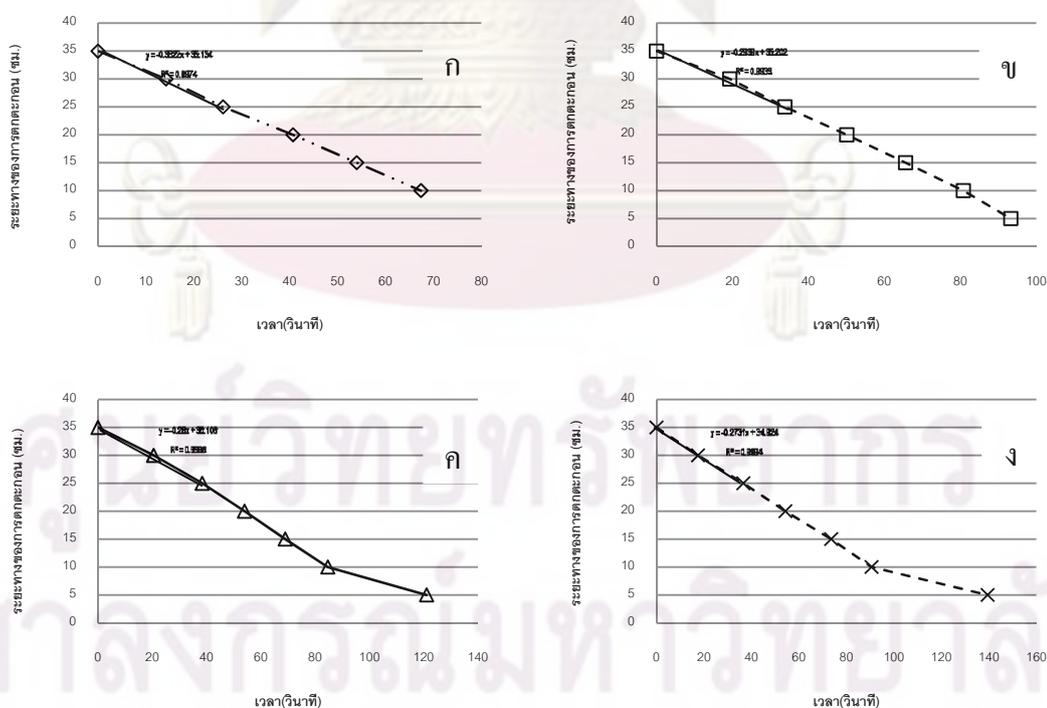
ศูนย์วิจัยทรัพยากรน้ำ  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.3.2 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมทาล 2 ไมโครเมตร ที่เวลา  $3\theta_c$



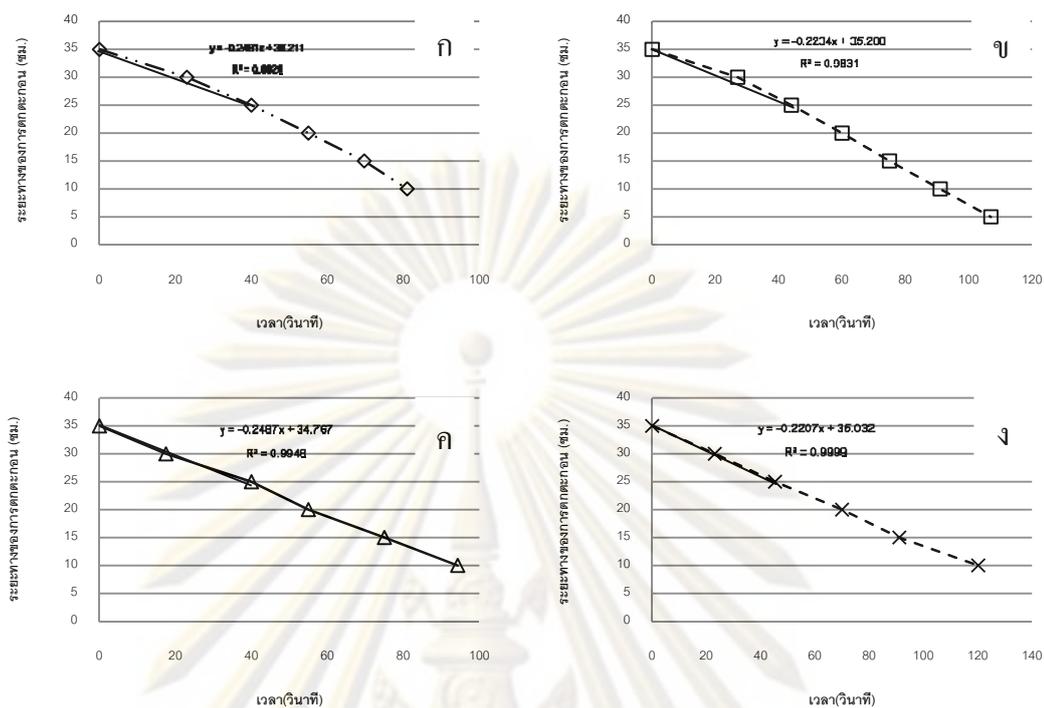
รูปที่ ก.12 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมทาลขนาด 2 ไมโครเมตร ที่เวลา  $3\theta_c$  ด้วยความเข้มข้นสลัดจ์ ก) 4000 มก./ล. ข) 5000 มก./ล. ค) 6000 มก./ล. ง) 7000 มก./ล.

1.3.3 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมทาล 5 ไมโครเมตร ที่เวลา  $3\theta_c$



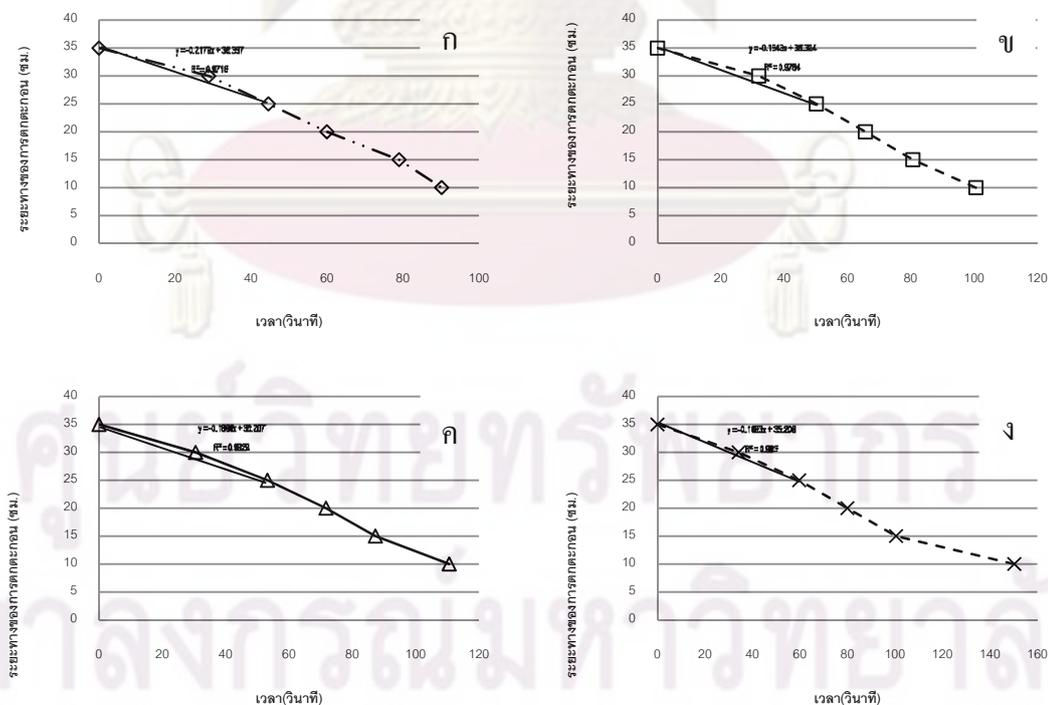
รูปที่ ก.13 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมทาลขนาด 5 ไมโครเมตร ที่เวลา  $3\theta_c$  ด้วยความเข้มข้นสลัดจ์ ก) 4000 มก./ล. ข) 5000 มก./ล. ค) 6000 มก./ล. ง) 7000 มก./ล.

1.3.4 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมทาลขนาด 10 ไมโครเมตร ที่เวลา  $3\theta_c$



รูปที่ 1.4 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมทาลขนาด 10 ไมโครเมตร ที่เวลา  $3\theta_c$  ด้วยความเข้มข้นสลัดจ์ ก) 4000 มก./ล. ข) 5000 มก./ล. ค) 6000 มก./ล. ง) 7000 มก./ล.

1.3.5 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมทาลขนาด 18 ไมโครเมตร ที่เวลา  $3\theta_c$



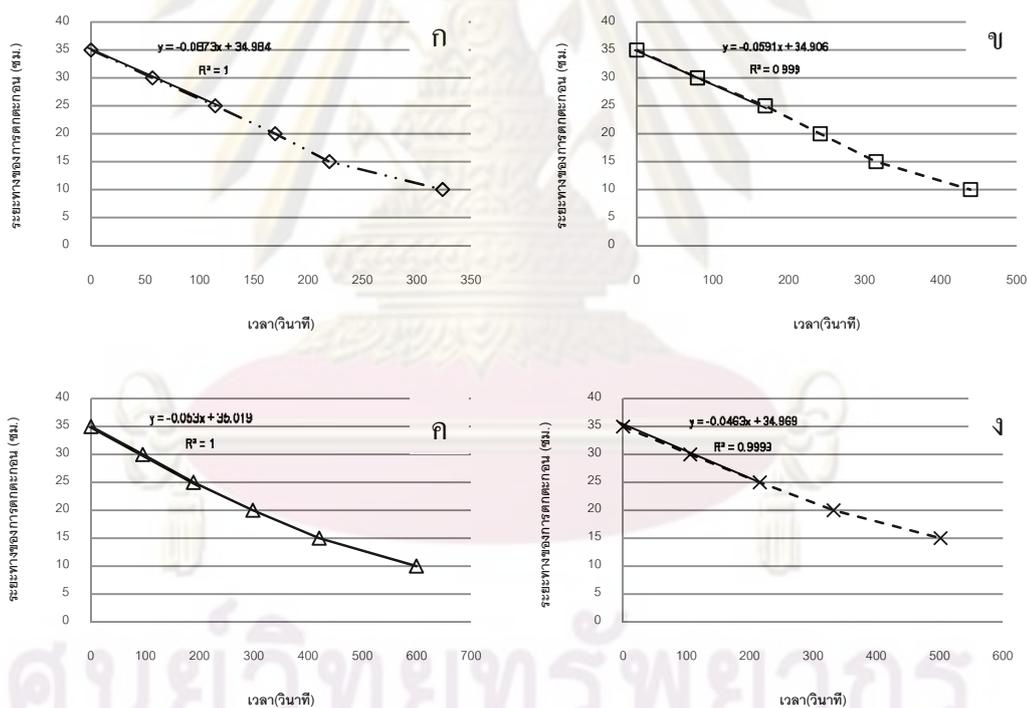
รูปที่ 1.5 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมทาลขนาด 18 ไมโครเมตร ที่เวลา  $3\theta_c$  ด้วยความเข้มข้นสลัดจ์ ก) 4000 มก./ล. ข) 5000 มก./ล. ค) 6000 มก./ล. ง) 7000 มก./ล.

2) การหาค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์

2.1) การหาค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ที่เวลาทดลอง  $1\theta_c$

ขนาดถ่าน (ไมโครเมตร)	4000 มก./ล.		5000 มก./ล.		6000 มก./ล.		7000 มก./ล.	
	ชม./วินาที	ม./ชม.	ชม./วินาที	ม./ชม.	ชม./วินาที	ม./ชม.	ชม./วินาที	ม./ชม.
ชุดควบคุม	0.0873	3.14	0.0591	2.13	0.053	1.91	0.0463	1.67
5	0.274	9.86	0.2266	8.16	0.1701	6.12	0.1567	5.64
10	0.1488	5.36	0.129	4.64	0.0687	2.47	0.0556	2.00
24	0.218	7.85	0.1664	5.99	0.135	4.86	0.1198	4.31
99	0.187	6.73	0.1642	5.91	0.1387	4.99	0.1169	4.21

2.1.1) ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนสลัดจ์ของชุดควบคุมที่เวลา  $1\theta_c$

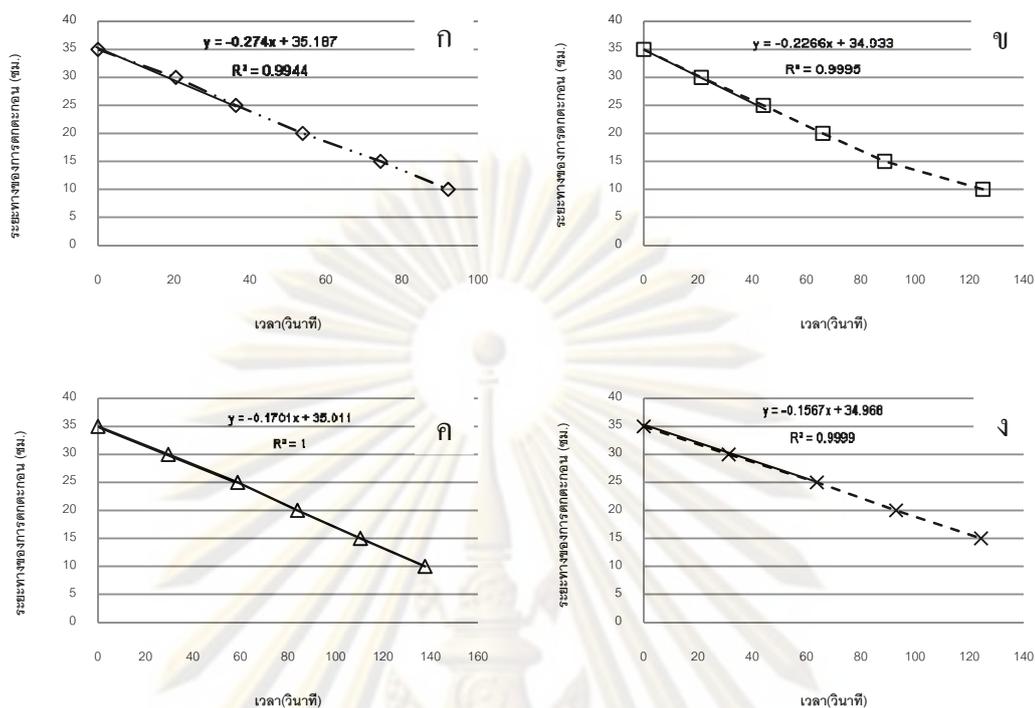


รูปที่ ก.16 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนสลัดจ์ของชุดควบคุมที่เวลา  $1\theta_c$

ด้วยความเข้มข้นสลัดจ์ ก) 4000 มก./ล. ข) 5000 มก./ล. ค) 6000 มก./ล. ง) 7000 มก./ล.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

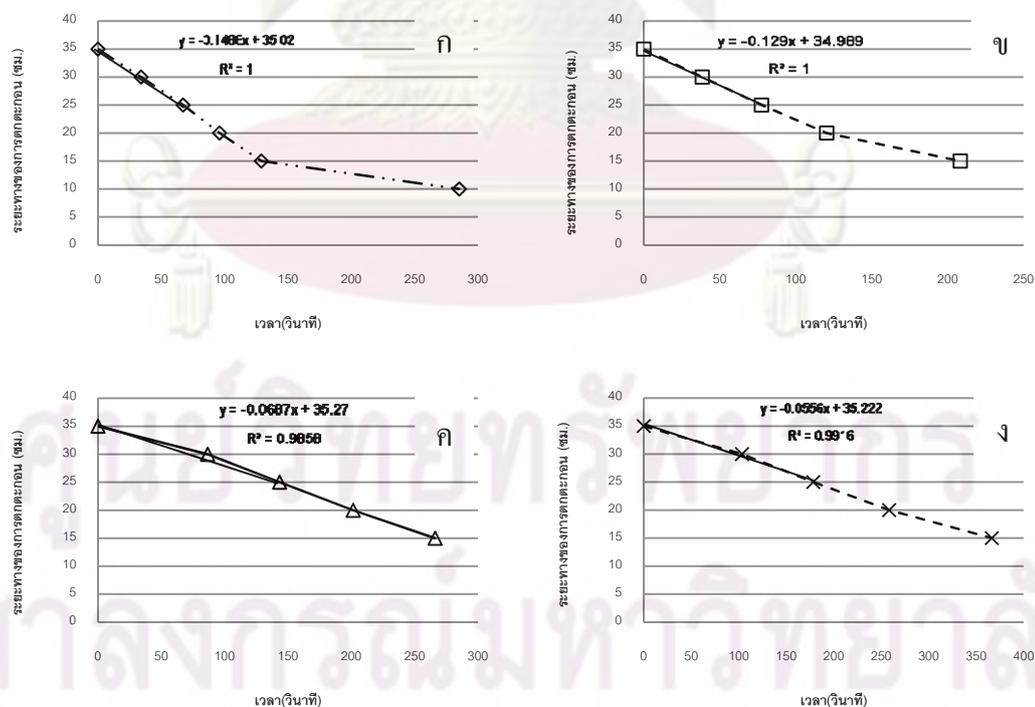
2.1.2 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ 5 ไมโครเมตรที่เวลา  $1\theta_c$



รูปที่ ก.17 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ขนาด 5 ไมโครเมตรที่เวลา  $1\theta_c$

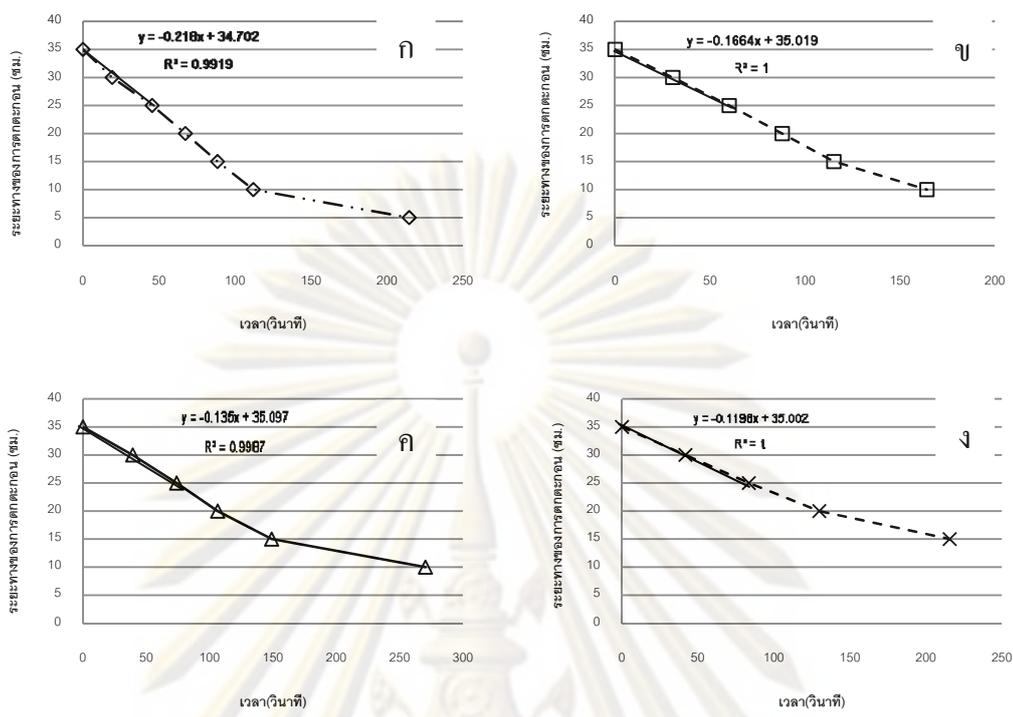
ด้วยความเข้มข้นสลัดจ์ ก) 4000 มก./ล. ข) 5000 มก./ล. ค) 6000 มก./ล. ง) 7000 มก./ล.

2.1.3 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนสลัดจ์ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ 10 ไมโครเมตร ที่เวลา  $1\theta_c$



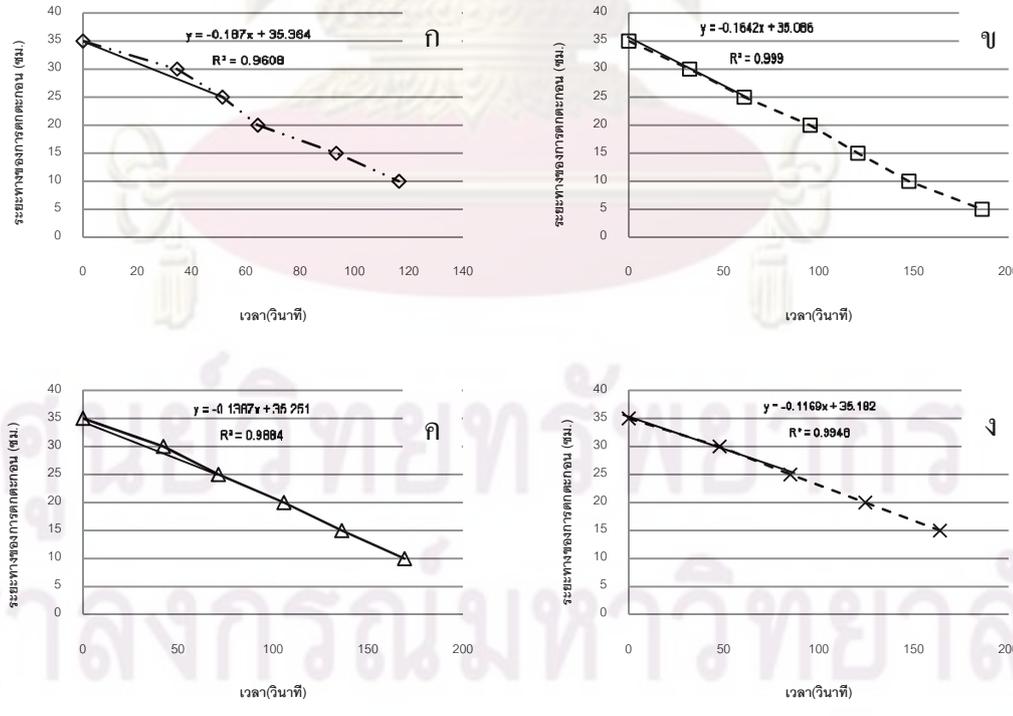
รูปที่ ก.18 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ขนาด 10 ไมโครเมตร ที่เวลา  $1\theta_c$  ด้วยความเข้มข้นสลัดจ์ ก) 4000 มก./ล. ข) 5000 มก./ล. ค) 6000 มก./ล. ง) 7000 มก./ล.

2.1.4) ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ 24 ไมโครเมตรที่เวลา  $1\theta_c$



รูปที่ ก.19 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ขนาด 24 ไมโครเมตร ที่เวลา  $1\theta_c$  ด้วยความเข้มข้นสลัดจ์ ก) 4000 มก./ล. ข) 5000 มก./ล. ค) 6000 มก./ล. ง) 7000 มก./ล.

2.1.5) ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ 99 ไมโครเมตรที่เวลา  $1\theta_c$



รูปที่ ก.20 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ขนาด 99 ไมโครเมตร ที่เวลา  $1\theta_c$  ด้วยความเข้มข้นสลัดจ์ ก) 4000 มก./ล. ข) 5000 มก./ล. ค) 6000 มก./ล. ง) 7000 มก./ล.



2.2) การหาค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ที่เวลาทดลอง  $2\theta_c$

ขนาดถ่าน (ไมโครเมตร)	4000 มก./ล.		5000 มก./ล.		6000 มก./ล.		7000 มก./ล.	
	ซม./วินาที	ม./ซม.	ซม./วินาที	ม./ซม.	ซม./วินาที	ม./ซม.	ซม./วินาที	ม./ซม.
ชุดควบคุม	0.0823	2.96	0.0676	2.43	0.0608	2.19	0.0527	1.90
5	0.2135	7.69	0.1457	5.25	0.1224	4.41	0.1103	3.97
10	0.1288	4.64	0.0974	3.51	0.0902	3.25	0.071	2.56
24	0.2498	8.99	0.1804	6.49	0.1358	4.89	0.1221	4.40
99	0.3587	12.91	0.2985	10.75	0.2247	8.09	0.2242	8.07

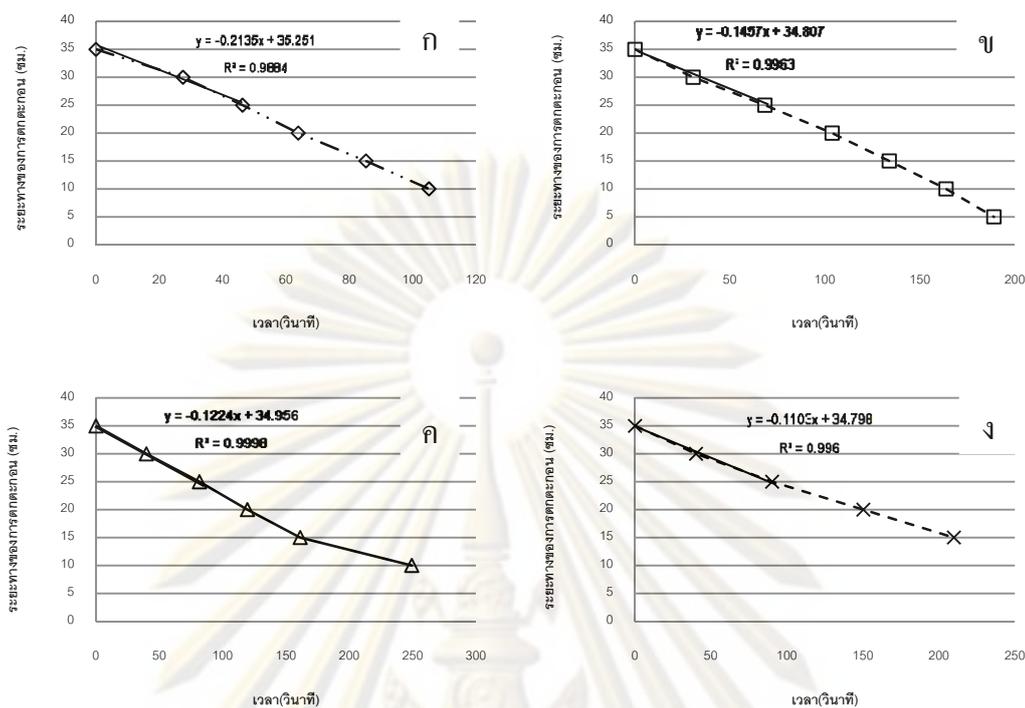
2.2.1) ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนสลัดจ์ของชุดควบคุมที่เวลา  $2\theta_c$



รูปที่ ก.21 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนสลัดจ์ของชุดควบคุมที่เวลา  $2\theta_c$  ด้วยความเข้มข้นสลัดจ์ ก) 4000 มก./ล. ข) 5000 มก./ล. ค) 6000 มก./ล. ง) 7000 มก./ล.

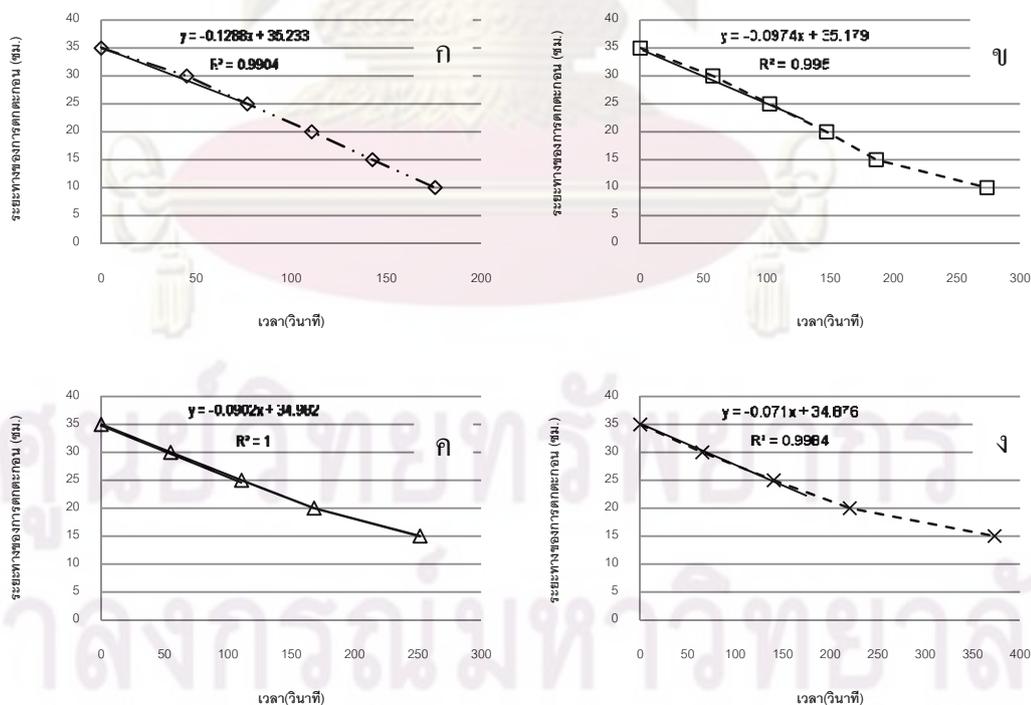
ศูนย์วิจัยทรัพยากรน้ำ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2.2) ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ขนาด 5 ไมโครเมตร ที่เวลา  $2\theta_c$



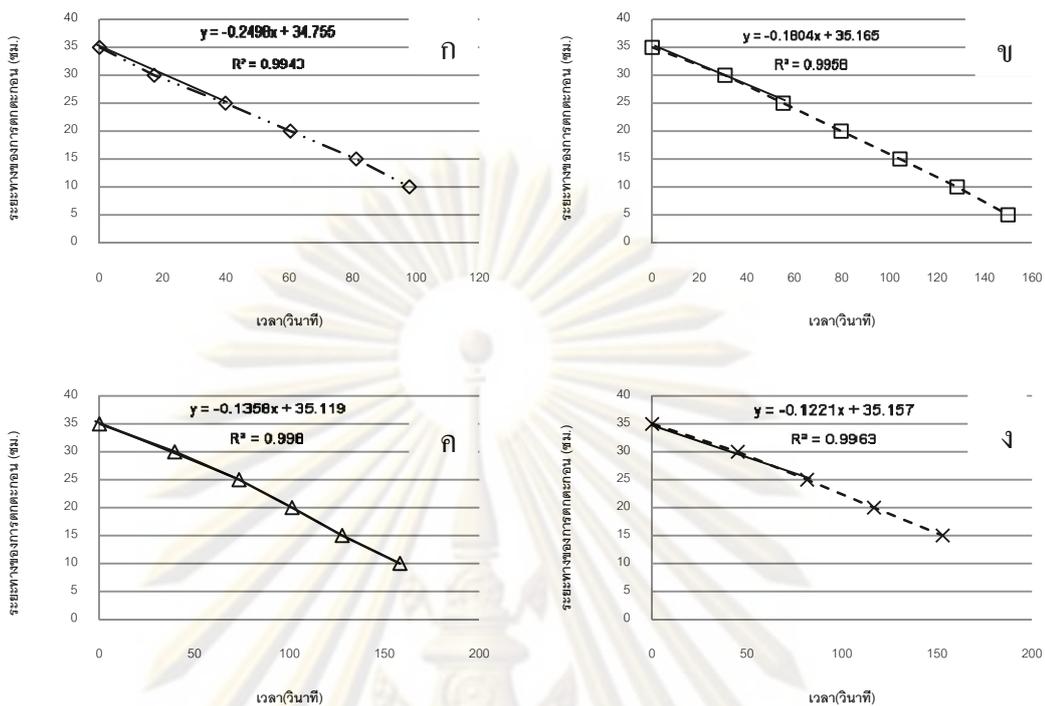
รูปที่ ก.22 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ขนาด 5 ไมโครเมตร ที่เวลา  $2\theta_c$  ด้วยความเข้มข้นสลัดจ์ ก) 4000 มก./ล. ข) 5000 มก./ล. ค) 6000 มก./ล. ง) 7000 มก./ล.

2.2.3) ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ขนาด 10 ไมโครเมตร ที่เวลา  $2\theta_c$



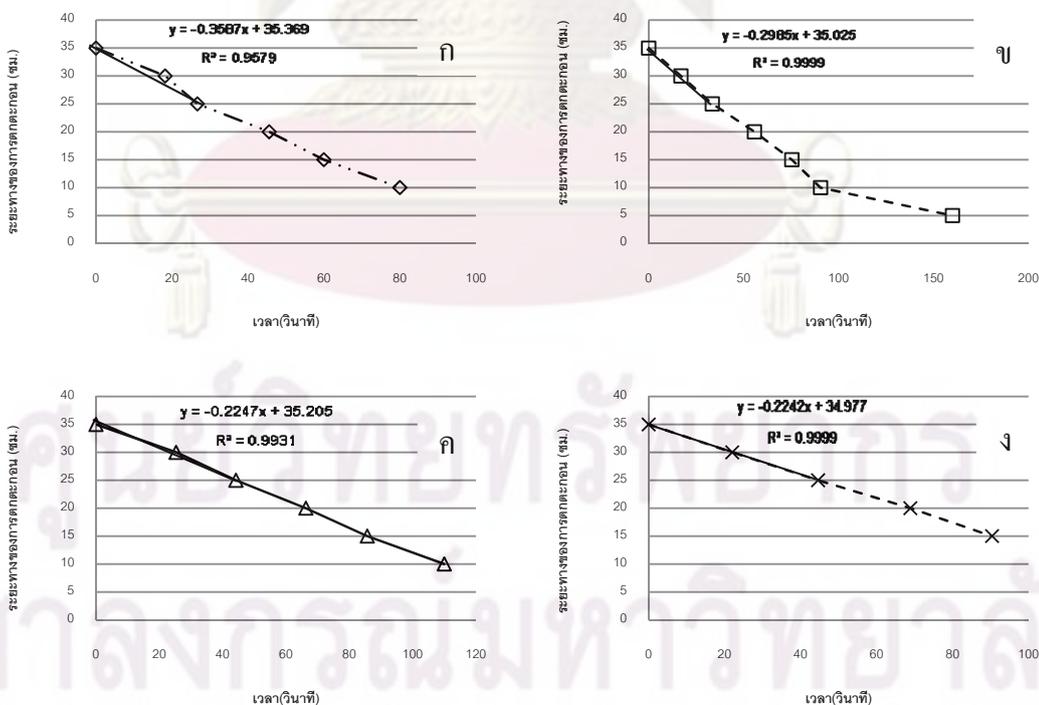
รูปที่ ก.23 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ขนาด 10 ไมโครเมตร ที่เวลา  $1\theta_c$  ด้วยความเข้มข้นสลัดจ์ ก) 4000 มก./ล. ข) 5000 มก./ล. ค) 6000 มก./ล. ง) 7000 มก./ล.

2.2.4) ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ขนาด 24 ไมโครเมตร ที่เวลา  $2\theta_c$



รูปที่ ก.24 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ขนาด 24 ไมโครเมตร ที่เวลา  $1\theta_c$  ด้วยความเข้มข้นสลัดจ์ ก) 4000 มก./ล. ข) 5000 มก./ล. ค) 6000 มก./ล. ง) 7000 มก./ล.

2.2.5) ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ขนาด 99 ไมโครเมตร ที่เวลา  $2\theta_c$

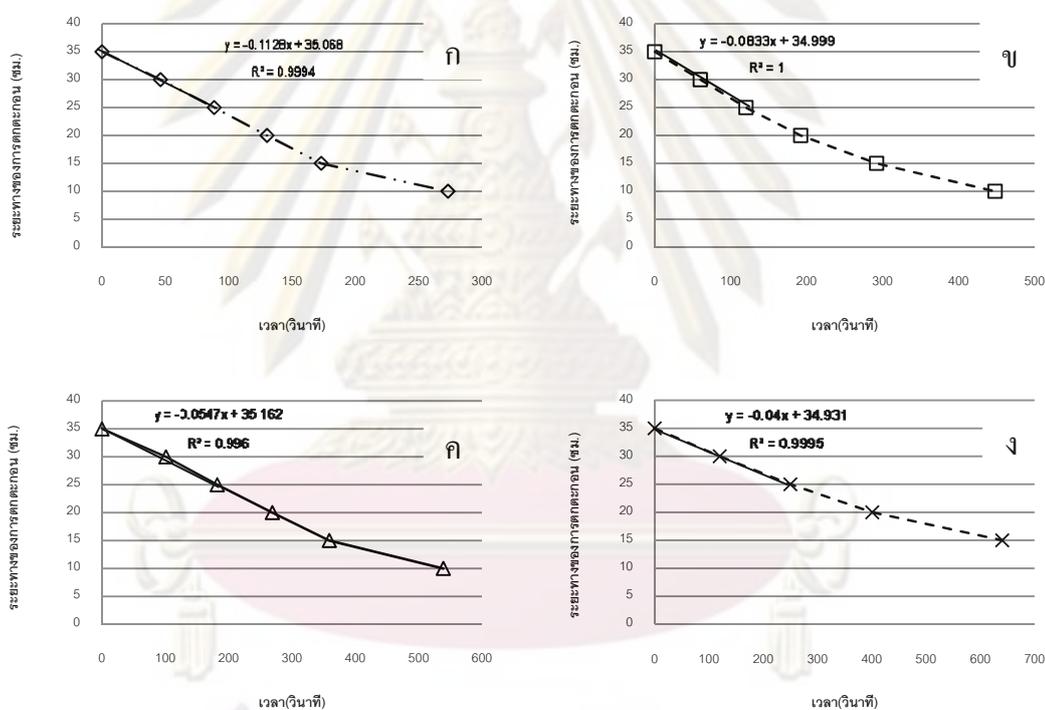


รูปที่ ก.25 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ขนาด 99 ไมโครเมตร ที่เวลา  $1\theta_c$  ด้วยความเข้มข้นสลัดจ์ ก) 4000 มก./ล. ข) 5000 มก./ล. ค) 6000 มก./ล. ง) 7000 มก./ล.

2.3) การหาค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ที่เวลาทดลอง  $3\theta_c$

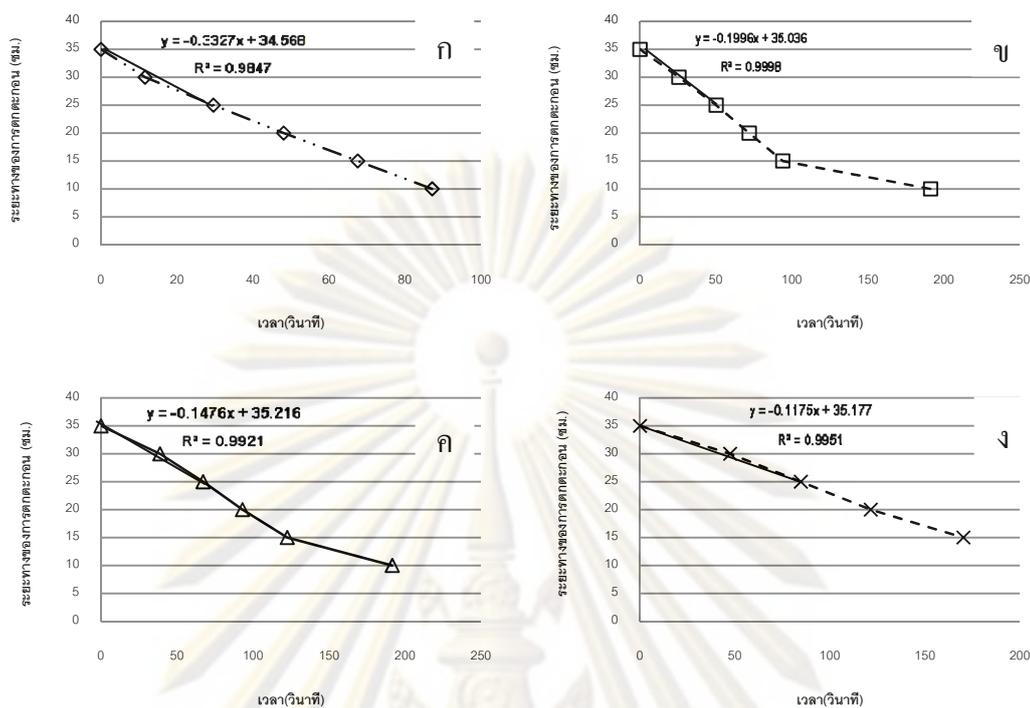
ขนาดถ่าน (ไมโครเมตร)	4000 มก./ล.		5000 มก./ล.		6000 มก./ล.		7000 มก./ล.	
	ซม./วินาที	ม./ซม.	ซม./วินาที	ม./ซม.	ซม./วินาที	ม./ซม.	ซม./วินาที	ม./ซม.
ชุดควบคุม	0.113	4.06	0.083	3	0.055	1.97	0.04	1.44
5	0.333	11.98	0.2	7.19	0.148	5.31	0.118	4.23
10	0.196	7.04	0.12	4.32	0.12	4.30	0.088	3.18
24	0.28	10.06	0.25	9.00	0.228	8.22	0.213	7.68
99	0.386	13.91	0.325	11.69	0.242	8.69	0.23	8.27

2.3.1) ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนสลัดจ์ของชุดควบคุม ที่เวลา  $3\theta_c$



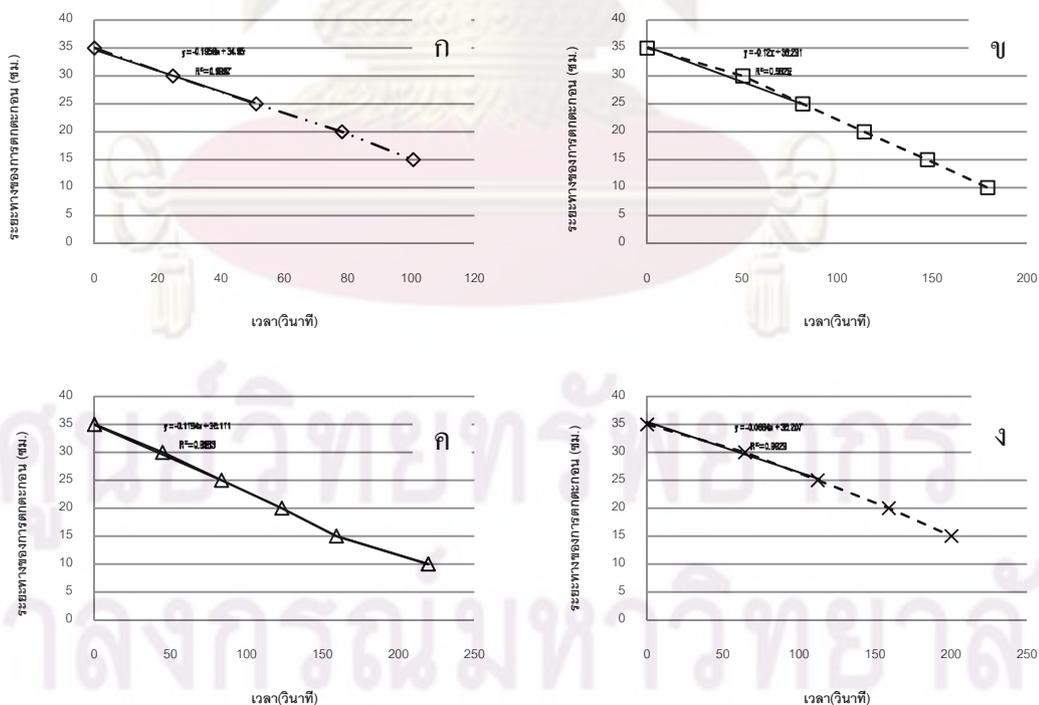
รูปที่ ก.26 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนสลัดจ์ของชุดควบคุมที่เวลา  $3\theta_c$  ด้วยความเข้มข้นสลัดจ์ ก) 4000 มก./ล. ข) 5000 มก./ล. ค) 6000 มก./ล. ง) 7000 มก./ล.

2.3.2) ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ขนาด 5 ไมโครเมตร ที่เวลา  $3\theta_c$



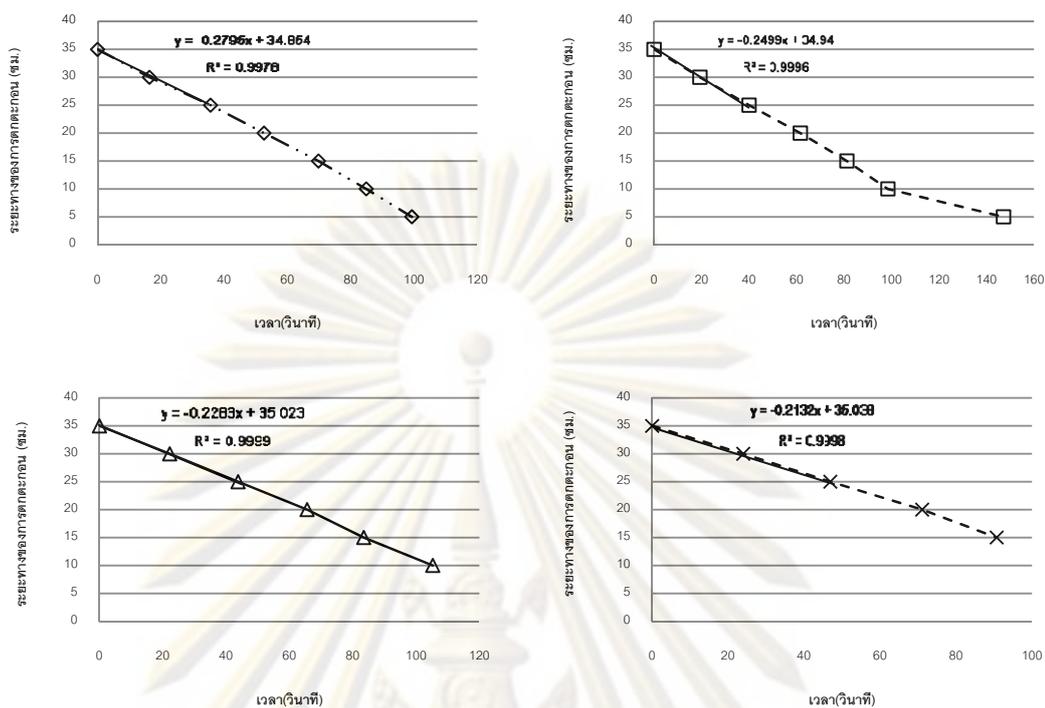
รูปที่ ก.27 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ขนาด 5 ไมโครเมตร ที่เวลา  $3\theta_c$  ด้วยความเข้มข้นสลัดจ์ ก) 4000 มก./ล. ข) 5000 มก./ล. ค) 6000 มก./ล. ง) 7000 มก./ล.

2.3.3) ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ขนาด 10 ไมโครเมตร ที่เวลา  $3\theta_c$



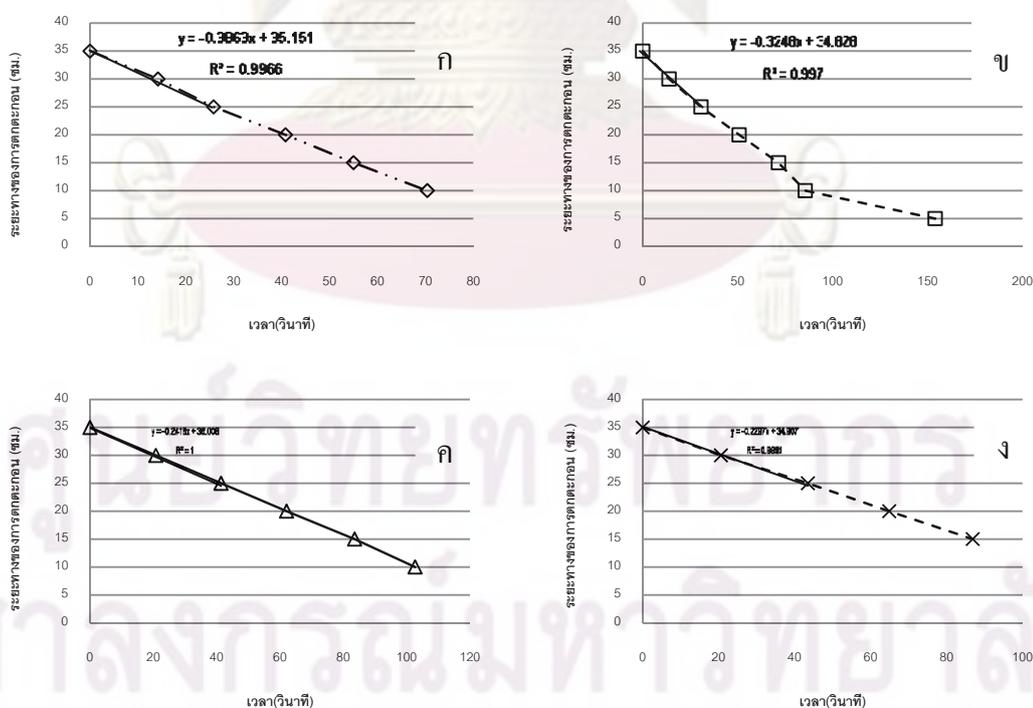
รูปที่ ก.28 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ขนาด 10 ไมโครเมตร ที่เวลา  $3\theta_c$  ด้วยความเข้มข้นสลัดจ์ ก) 4000 มก./ล. ข) 5000 มก./ล. ค) 6000 มก./ล. ง) 7000 มก./ล.

2.3.4) ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ขนาด 24 ไมโครเมตร ที่เวลา  $3\theta_c$



รูปที่ ก.29 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ขนาด 24 ไมโครเมตร ที่เวลา  $1\theta_c$  ด้วยความเข้มข้นสลัดจ์ ก) 4000 มก./ล. ข) 5000 มก./ล. ค) 6000 มก./ล. ง) 7000 มก./ล.

2.3.5) ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ขนาด 99 ไมโครเมตร ที่เวลา  $3\theta_c$

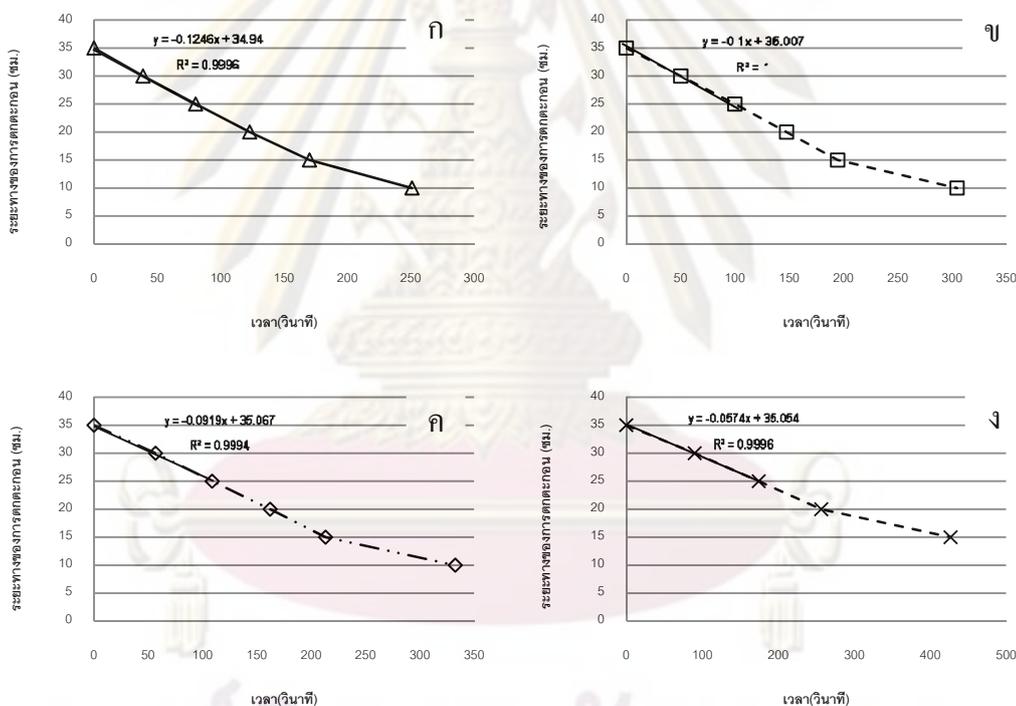


รูปที่ ก.30 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ขนาด 99 ไมโครเมตร ที่เวลา  $3\theta_c$  ด้วยความเข้มข้นสลัดจ์ ก) 4000 มก./ล. ข) 5000 มก./ล. ค) 6000 มก./ล. ง) 7000 มก./ล.

- 3) การหาค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมยางบดละเอียด
- 3.1) การหาค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมยางบดละเอียดที่เวลาทดลอง  $1 \theta_c$

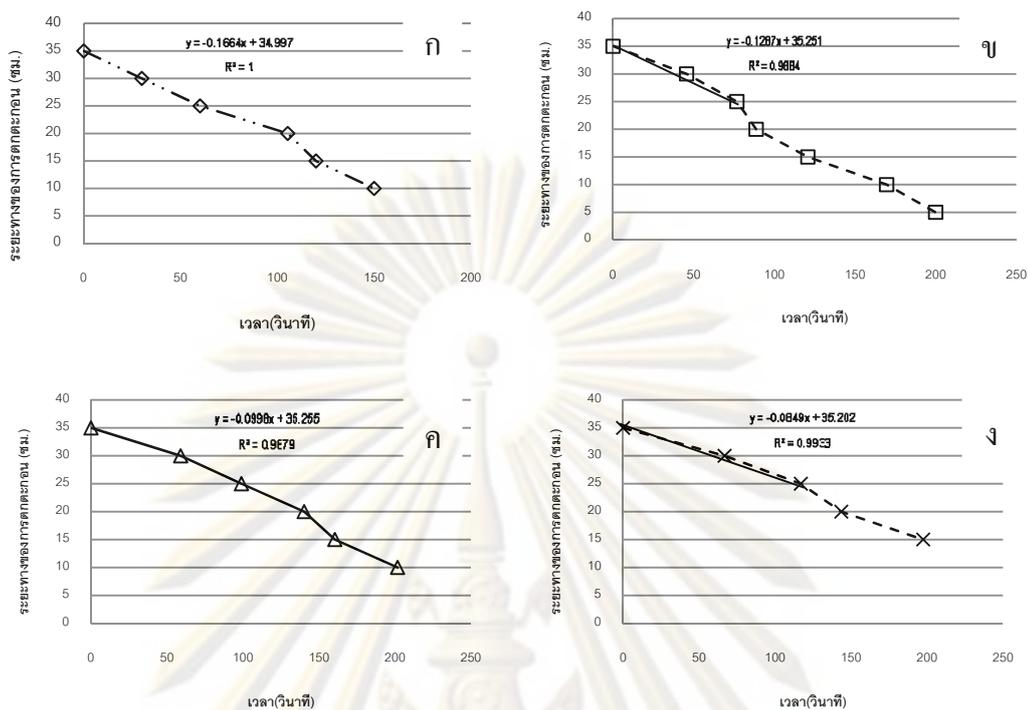
ขนาดยาง (ไมโครเมตร)	4000 มก./ล.		5000 มก./ล.		6000 มก./ล.		7000 มก./ล.	
	ชม./วินาที	ม./ชม.	ชม./วินาที	ม./ชม.	ชม./วินาที	ม./ชม.	ชม./วินาที	ม./ชม.
ชุดควบคุม	0.125	4.49	0.1	3.6	0.092	3.31	0.055	1.97
110	0.1664	5.99	0.1287	4.63	0.0998	3.59	0.0849	3.06
242	0.1996	7.19	0.2	7.20	0.172	6.19	0.1607	5.79
656	0.0985	3.55	0.0906	3.26	0.0709	2.55	0.069	2.48
848	0.3199	11.52	0.2943	10.59	0.2174	7.83	0.2176	7.83

3.1.1) ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนสลัดจ์ของชุดควบคุมที่เวลา  $1 \theta_c$



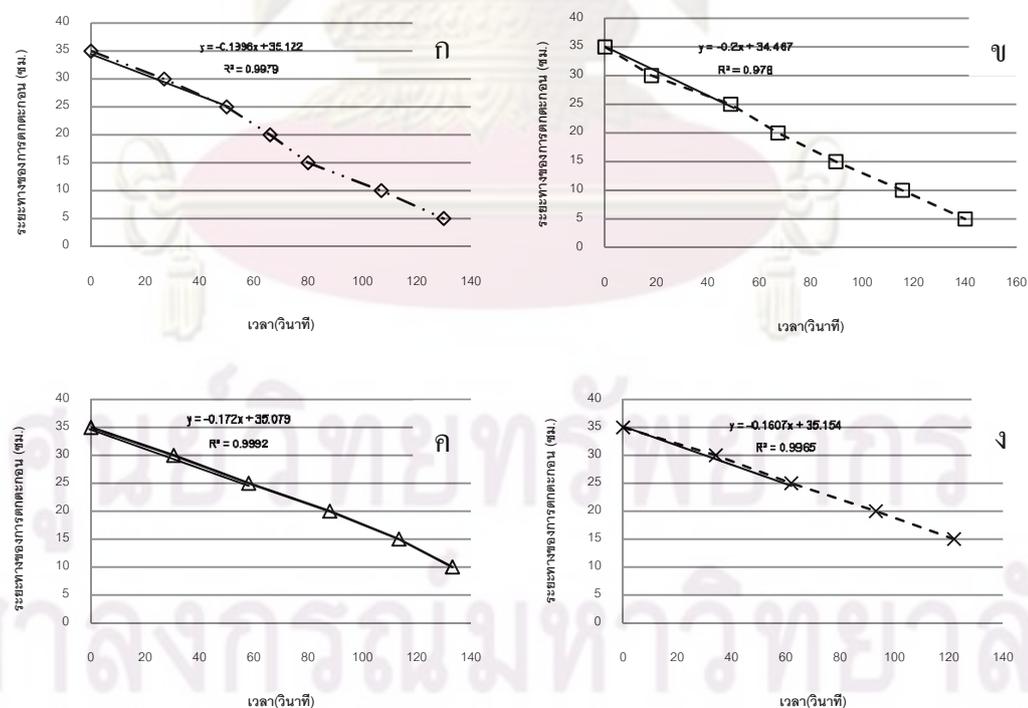
รูปที่ 31 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนสลัดจ์ของชุดควบคุมที่เวลา  $1 \theta_c$  ด้วยความเข้มข้นสลัดจ์ ก) 4000 มก./ล. ข) 5000 มก./ล. ค) 6000 มก./ล. ง) 7000 มก./ล.

3.1.2) ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนสลัดจ์ที่มีการเติมยางบดละเอียดขนาด 110 ไมโครเมตรที่เวลา  $1\theta_c$



รูปที่ ก.32 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมยางบดละเอียดขนาด 110 ไมโครเมตรที่เวลา  $1\theta_c$  ด้วยความเข้มข้นสลัดจ์ ก) 4000 มก./ล. ข) 5000 มก./ล. ค) 6000 มก./ล. ง) 7000 มก./ล.

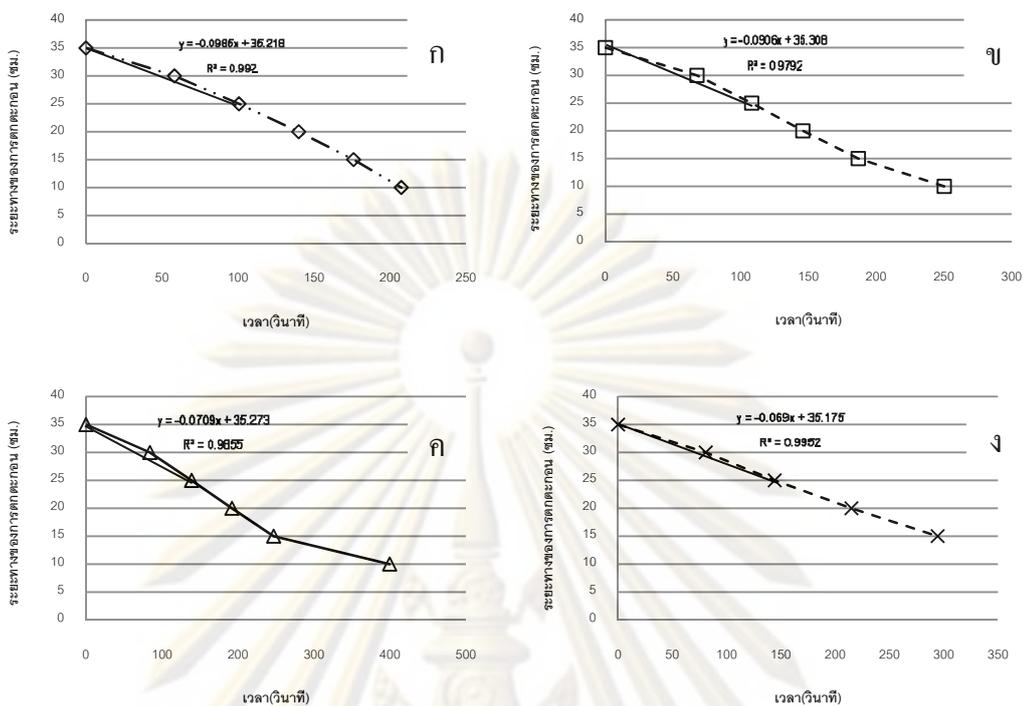
3.1.3) ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมยางบดละเอียดขนาด 242 ไมโครเมตร ที่เวลา  $1\theta_c$



รูปที่ ก.33 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมยางบดละเอียดขนาด 242 ไมโครเมตร ที่เวลา  $1\theta_c$  ด้วยความเข้มข้นสลัดจ์ ก) 4000 มก./ล. ข) 5000 มก./ล. ค) 6000 มก./ล. ง) 7000 มก./ล.

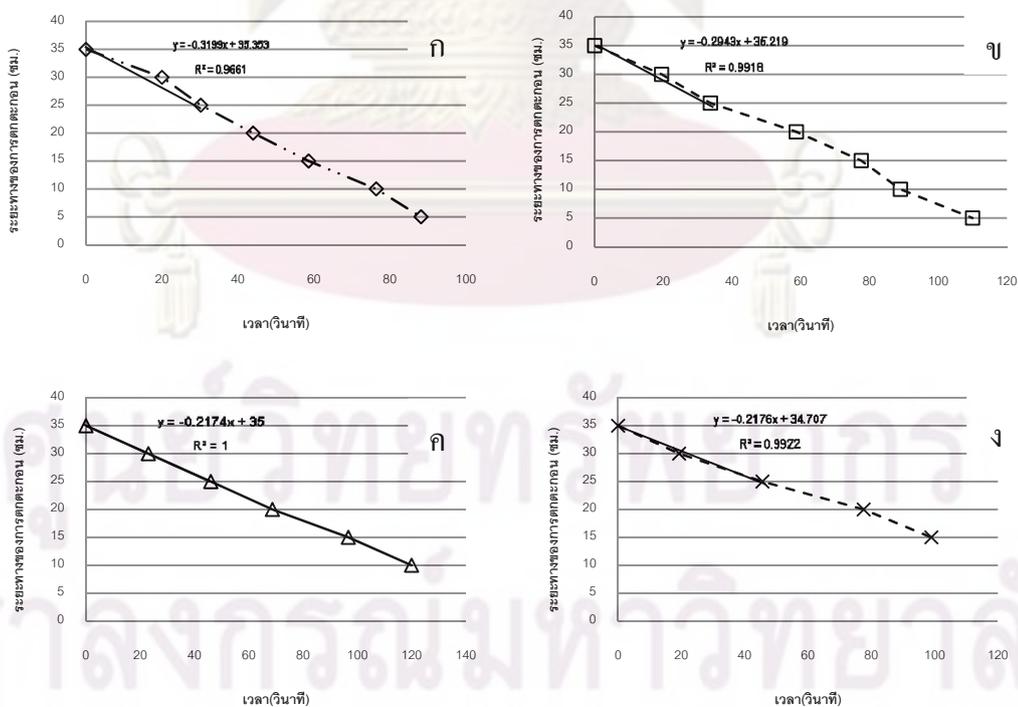


3.1.4) ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมยางบดละเอียดขนาด 656 ไมโครเมตร ที่เวลา  $1\theta_c$



รูปที่ ก.34 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมยางบดละเอียดขนาด 656 ไมโครเมตร ที่เวลา  $1\theta_c$  ด้วยความเข้มข้นสลัดจ์ ก) 4000 มก./ล. ข) 5000 มก./ล. ค) 6000 มก./ล. ง) 7000 มก./ล.

3.1.5) ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมยางบดละเอียดขนาด 848 ไมโครเมตร ที่เวลา  $1\theta_c$

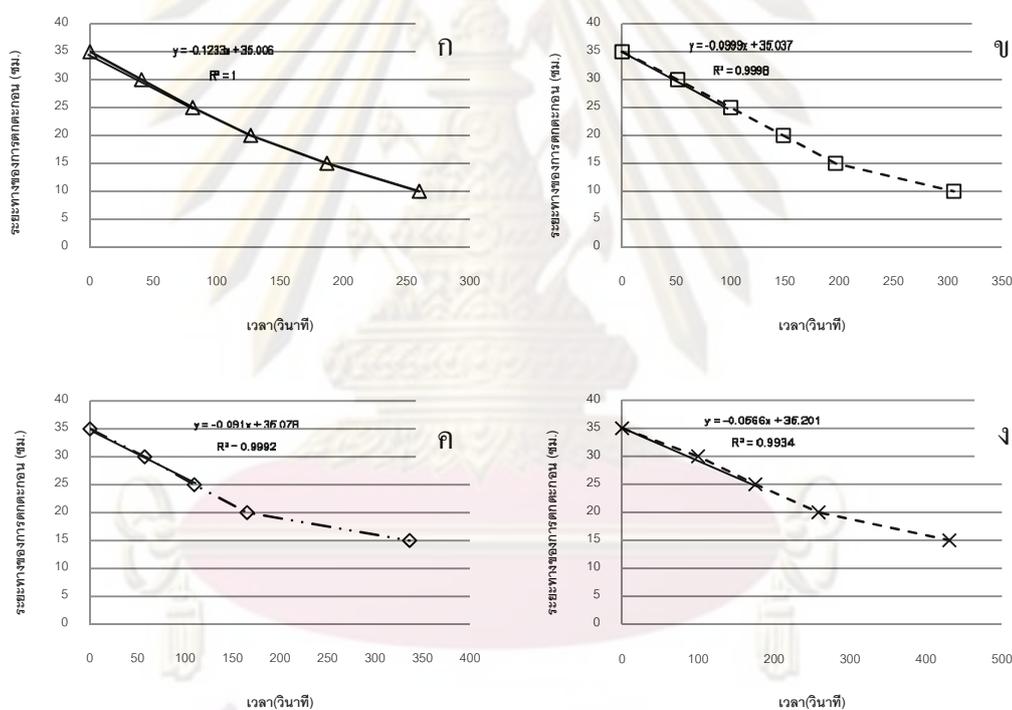


รูปที่ ก.35 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมยางบดละเอียดขนาด 848 ไมโครเมตร ที่เวลา  $1\theta_c$  ด้วยความเข้มข้นสลัดจ์ ก) 4000 มก./ล. ข) 5000 มก./ล. ค) 6000 มก./ล. ง) 7000 มก./ล.

3.2) การหาค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมยางบดละเอียดที่เวลาทดลอง  $2\theta_c$

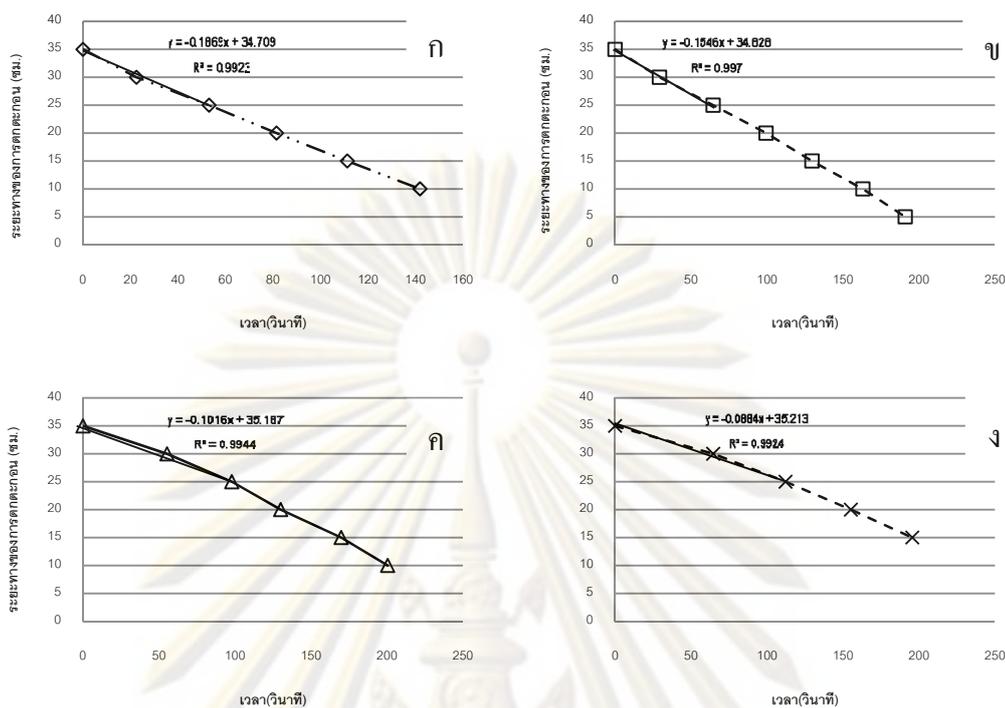
ขนาดยาง (ไมโครเมตร)	4000 มก./ล.		5000 มก./ล.		6000 มก./ล.		7000 มก./ล.	
	ซม./วินาที	ม./ซม.	ซม./วินาที	ม./ซม.	ซม./วินาที	ม./ซม.	ซม./วินาที	ม./ซม.
ชุดควบคุม	0.123	4.44	0.1	3.6	0.091	3.28	0.057	2.04
110	0.1869	6.73	0.1546	5.57	0.1016	3.66	0.0884	3.18
242	0.2222	8.00	0.2126	7.65	0.1756	6.32	0.1645	5.92
656	0.1828	6.58	0.1057	3.81	0.1093	3.93	0.0846	3.05
848	0.3774	13.59	0.308	11.09	0.2222	8.00	0.2226	8.01

3.2.1) ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนสลัดจ์ของชุดควบคุมที่เวลา  $2\theta_c$



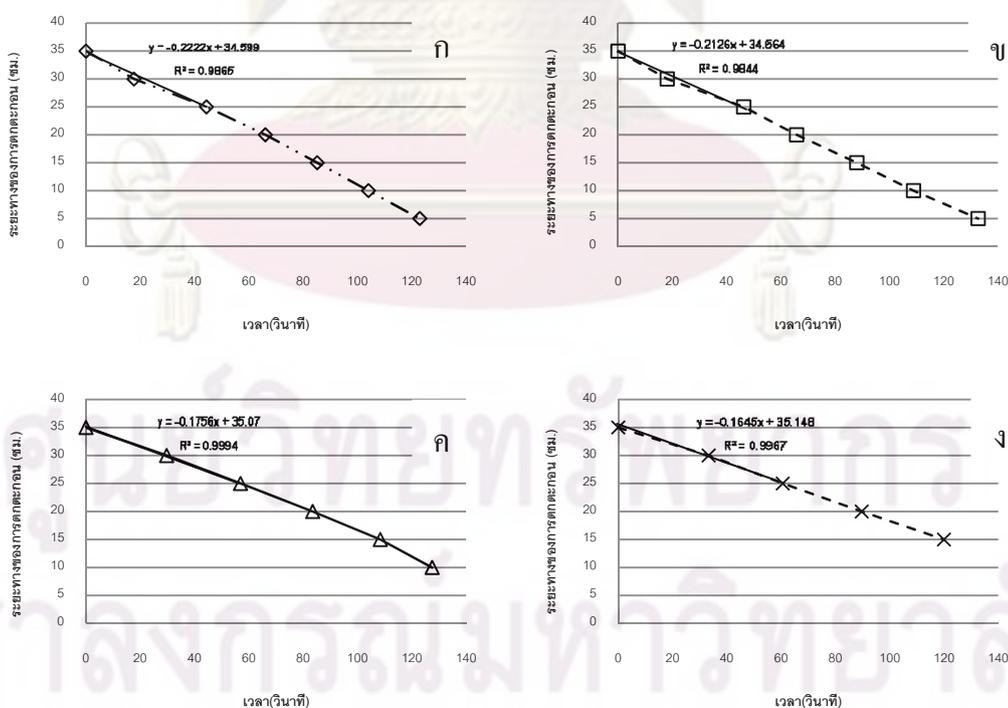
รูปที่ ก.36 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนสลัดจ์ของชุดควบคุมที่เวลา  $2\theta_c$  ด้วยความเข้มข้นสลัดจ์ ก) 4000 มก./ล. ข) 5000 มก./ล. ค) 6000 มก./ล. ง) 7000 มก./ล.

3.2.2) ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมยางบดละเอียดขนาด 110 ไมโครเมตร ที่เวลา  $2\theta_c$



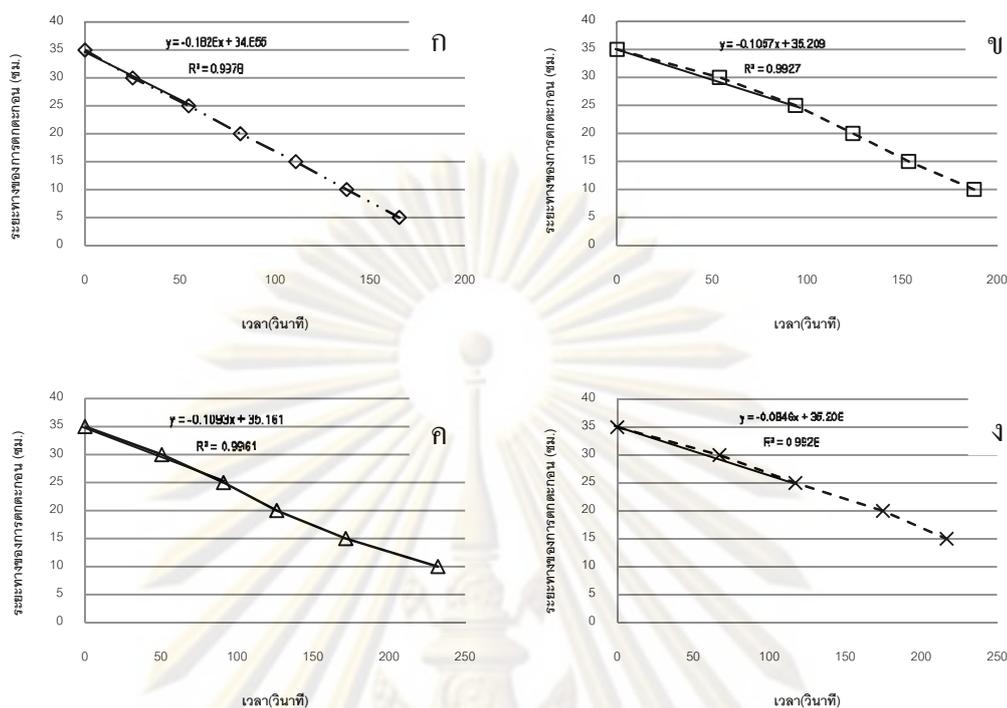
รูปที่ ก.37 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมยางบดละเอียดขนาด 110 ไมโครเมตรที่เวลา  $2\theta_c$  ด้วยความเข้มข้นสลัดจ์ ก) 4000 มก./ล. ข) 5000 มก./ล. ค) 6000 มก./ล. ง) 7000 มก./ล.

3.2.3) ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมยางบดละเอียดขนาด 242 ไมโครเมตรที่เวลา  $2\theta_c$



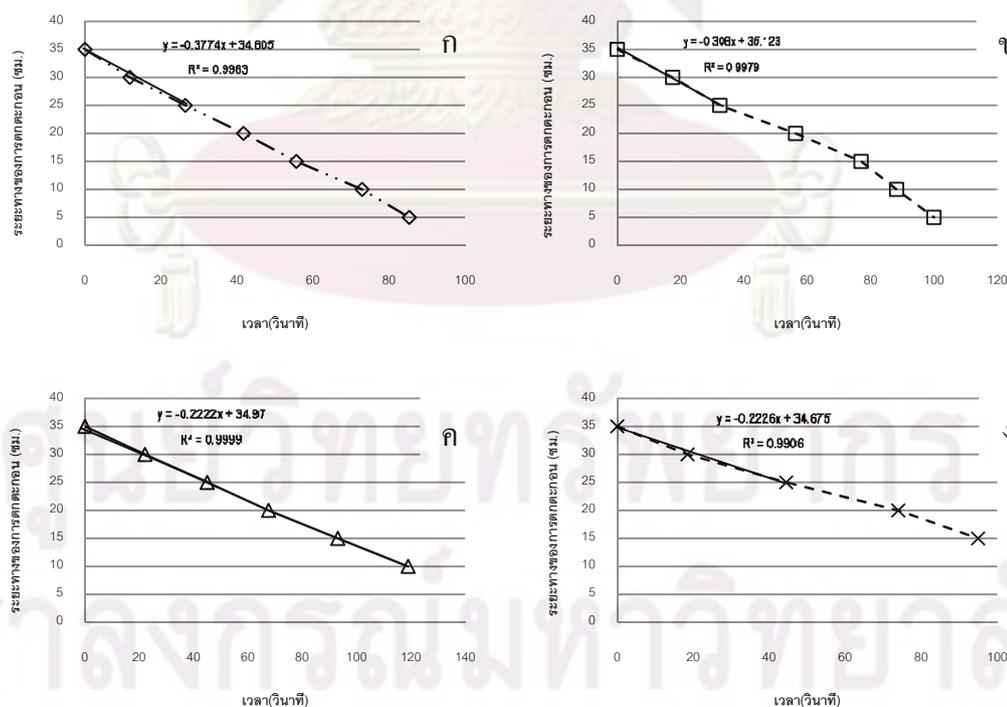
รูปที่ ก.38 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมยางบดละเอียดขนาด 242 ไมโครเมตรที่เวลา  $2\theta_c$  ด้วยความเข้มข้นสลัดจ์ ก) 4000 มก./ล. ข) 5000 มก./ล. ค) 6000 มก./ล. ง) 7000 มก./ล.

3.2.4) ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมยางบดละเอียดขนาด 656 ไมโครเมตร ที่เวลา  $2\theta_c$



รูปที่ ก.39 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมยางบดละเอียดขนาด 656 ไมโครเมตร ที่เวลา  $2\theta_c$  ด้วยความเข้มข้นสลัดจ์ ก) 4000 มก./ล. ข) 5000 มก./ล. ค) 6000 มก./ล. ง) 7000 มก./ล.

3.2.5) ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมยางบดละเอียดขนาด 848 ไมโครเมตร ที่เวลา  $2\theta_c$

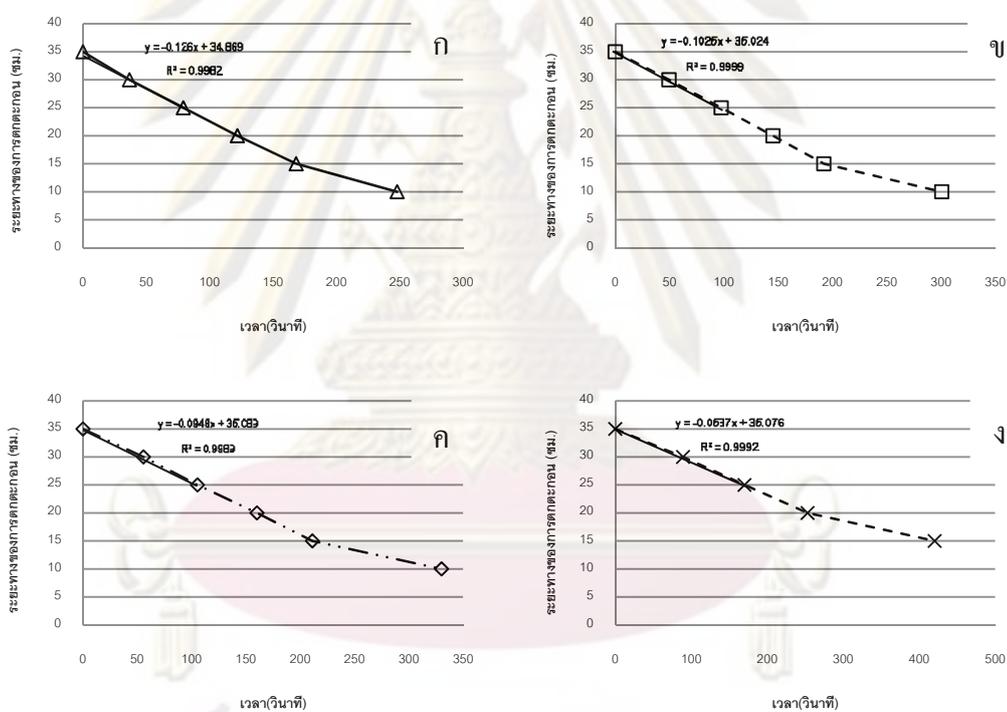


รูปที่ ก.40 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมยางบดละเอียดขนาด 848 ไมโครเมตร ที่เวลา  $2\theta_c$  ด้วยความเข้มข้นสลัดจ์ ก) 4000 มก./ล. ข) 5000 มก./ล. ค) 6000 มก./ล. ง) 7000 มก./ล.

3.3) การหาค่าความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมยางบดละเอียดที่เวลาทดลอง  $3\theta_c$

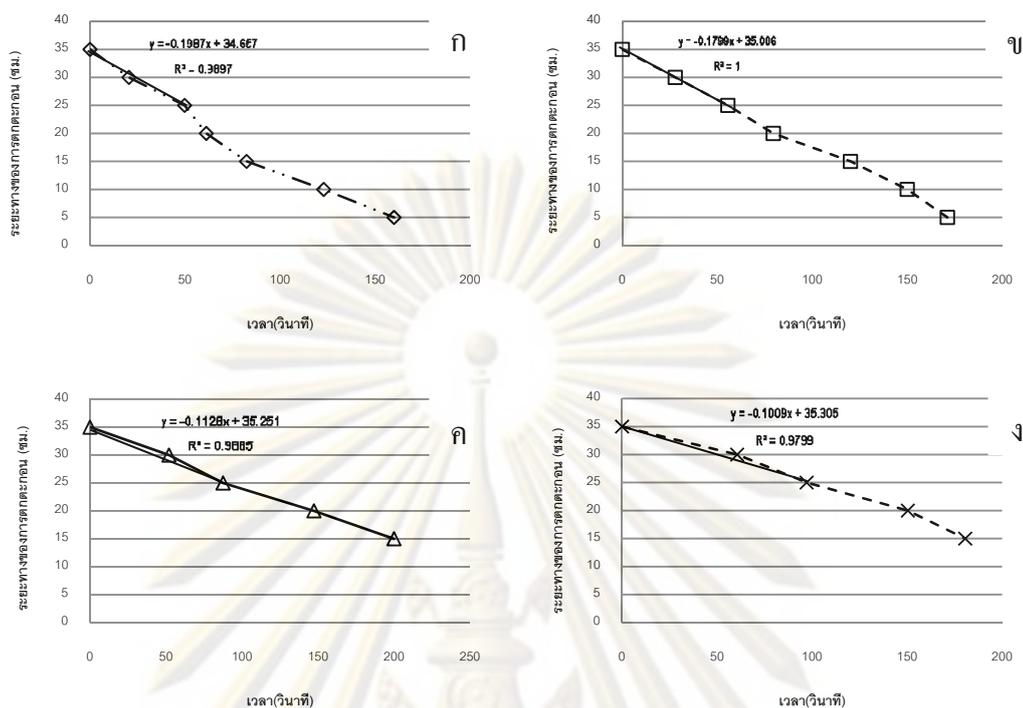
ขนาดยาง (ไมโครเมตร)	4000 มก./ล.		5000 มก./ล.		6000 มก./ล.		7000 มก./ล.	
	ซม./วินาที	ม./ซม.	ซม./วินาที	ม./ซม.	ซม./วินาที	ม./ซม.	ซม./วินาที	ม./ซม.
ชุดควบคุม	0.126	4.54	0.103	3.69	0.095	3.41	0.059	2.11
110	0.1987	7.15	0.1799	6.48	0.1128	4.06	0.1009	3.63
242	0.209	7.52	0.2054	7.39	0.1756	6.32	0.1645	5.92
656	0.2206	7.94	0.1623	5.84	0.1435	5.17	0.1343	4.83
848	0.3816	13.74	0.3052	10.99	0.2273	8.18	0.2206	7.94

3.3.1) ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนสลัดจ์ของชุดควบคุมที่เวลา  $3\theta_c$



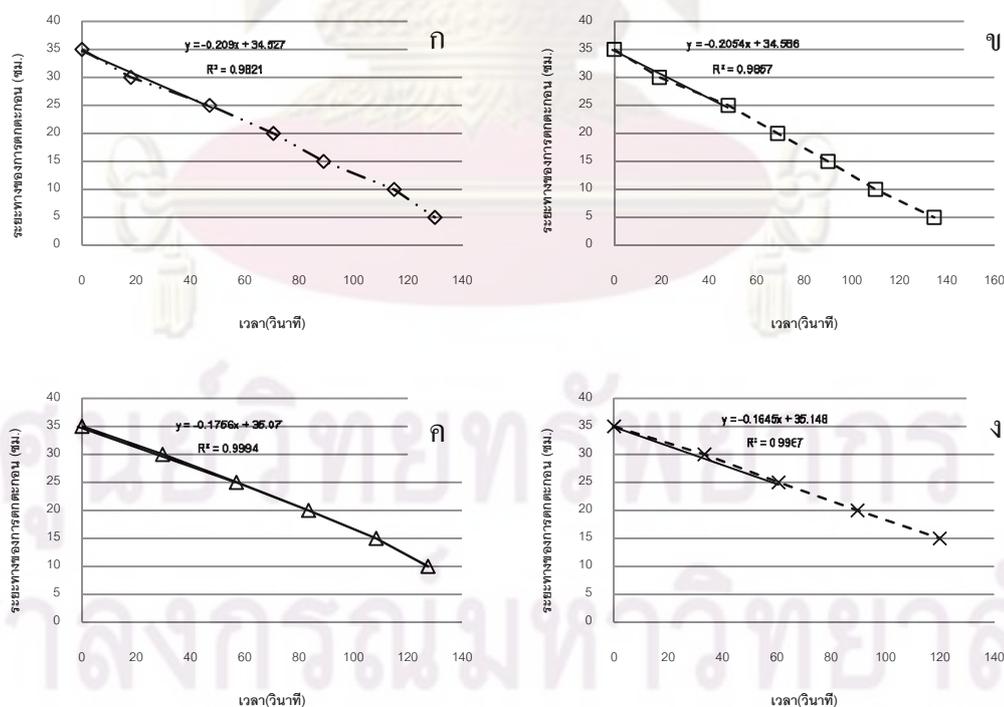
รูปที่ ก.41 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนสลัดจ์ของชุดควบคุมที่เวลา  $3\theta_c$  ด้วยความเข้มข้นสลัดจ์ ก) 4000 มก./ล. ข) 5000 มก./ล. ค) 6000 มก./ล. ง) 7000 มก./ล.

3.3.2) ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมยางบดละเอียดขนาด 110 ไมโครเมตร ที่เวลา  $3\theta_c$



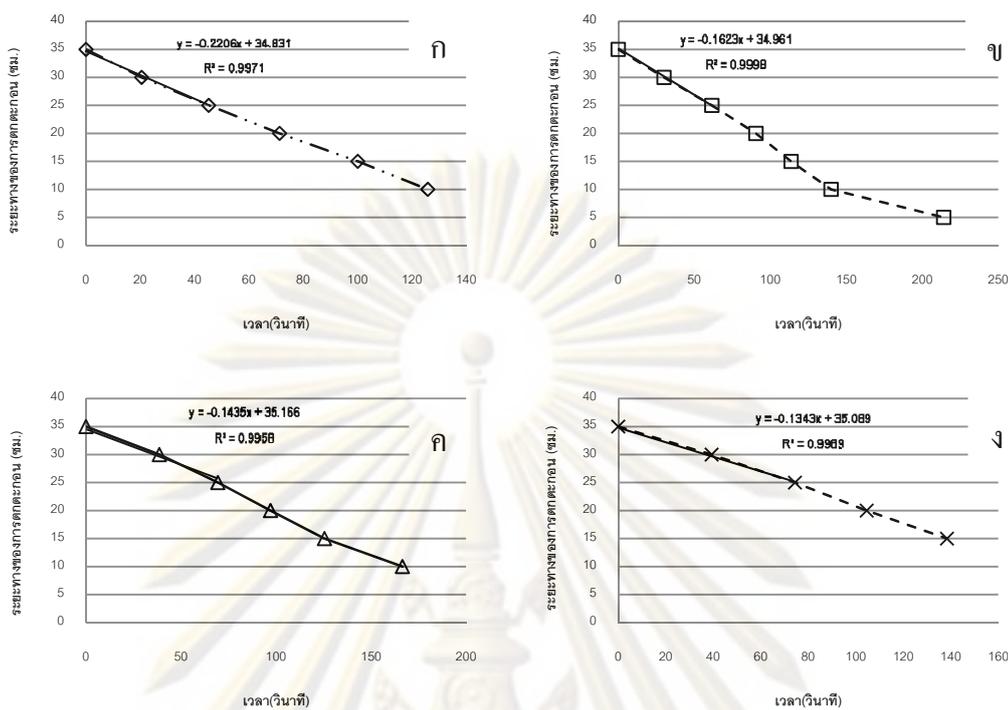
รูปที่ ก.42 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมยางบดละเอียดขนาด 110 ไมโครเมตร ที่เวลา  $3\theta_c$  ด้วยความเข้มข้นสลัดจ์ ก) 4000 มก./ล. ข) 5000 มก./ล. ค) 6000 มก./ล. ง) 7000 มก./ล.

3.3.3) ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมยางบดละเอียดขนาด 242 ไมโครเมตร ที่เวลา  $3\theta_c$



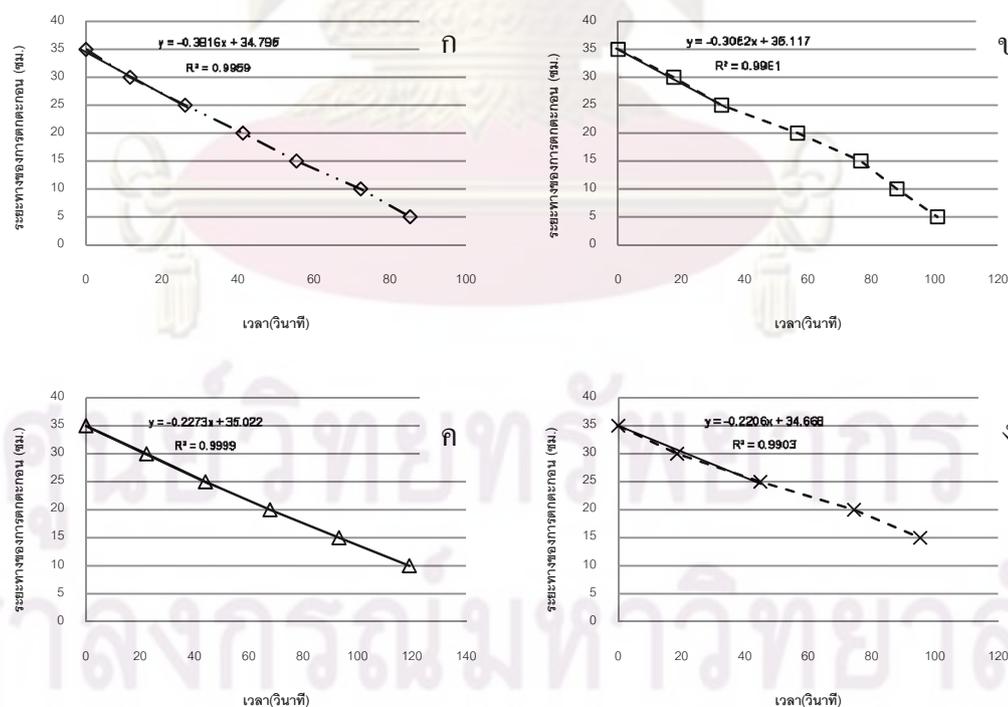
รูปที่ ก.43 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมยางบดละเอียดขนาด 242 ไมโครเมตร ที่เวลา  $3\theta_c$  ด้วยความเข้มข้นสลัดจ์ ก) 4000 มก./ล. ข) 5000 มก./ล. ค) 6000 มก./ล. ง) 7000 มก./ล.

3.3.4) ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมยางบดละเอียดขนาด 656 ไมโครเมตร ที่เวลา  $3\theta_c$



รูปที่ ก.44 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมยางบดละเอียดขนาด 656 ไมโครเมตร ที่เวลา  $3\theta_c$  ด้วยความเข้มข้นสลัดจ์ ก) 4000 มก./ล. ข) 5000 มก./ล. ค) 6000 มก./ล. ง) 7000 มก./ล.

3.3.5) ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมยางบดละเอียดขนาด 848 ไมโครเมตร ที่เวลา  $3\theta_c$



รูปที่ ก.45 ความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ที่มีการเติมยางบดละเอียดขนาด 848 ไมโครเมตร ที่เวลา  $3\theta_c$  ด้วยความเข้มข้นสลัดจ์ ก) 4000 มก./ล. ข) 5000 มก./ล. ค) 6000 มก./ล. ง) 7000 มก./ล.



ภาคผนวก ข  
ตารางบันทึกผลการเลี้ยงตะกอนจุลชีพ  
ในงานวิจัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ข. ตารางบันทึกผลการเลี้ยงตะกอนจุลชีพในงานวิจัย

จากตารางบันทึกทำการแสดงตัวอย่างการคำนวณประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีวันที่ 1 ของทาล

$$\text{ขนาด 2 ไมโครเมตรดังนี้ } \% \text{COD REMOVE} = \frac{(556.91 - 51.71)}{556.91} \times 100 = 90.71 \%$$

ตารางบันทึกผล การเลี้ยงตะกอนจุลชีพในระบบเอเอสที่มีการเติมทาลเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน

ตาราง ข.1 ตารางบันทึกผลการเลี้ยงตะกอนจุลชีพในถังปฏิกริยาที่มีการเติมทาลขนาดต่างๆ

วันที่ 1 ของการทดลอง								
ขนาดทาล	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ทาล 2 μm	10628.00	6.10	8.00	250.00	23.52	556.91	51.71	90.71
ทาล 5 μm	9060.00	6.00	8.50	270.00	29.80	556.91	23.87	95.71
ทาล 10 μm	9180.00	6.06	8.40	250.00	27.23	556.91	11.93	97.86
ทาล 18 μm	10540.00	6.05	8.30	220.00	20.87	556.91	76.91	86.19
CONTROL	5700.00	6.10	8.50	340.00	59.65	556.91	79.56	85.71
วันที่ 2 ของการทดลอง								
ขนาดทาล	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ทาล 2 μm	10600.00	6.02	8.00	260.00	24.53	-	-	-
ทาล 5 μm	9480.00	6.10	8.30	280.00	29.54	-	-	-
ทาล 10 μm	9760.00	6.25	8.20	280.00	28.69	-	-	-
ทาล 18 μm	10680.00	6.20	8.00	250.00	23.41	-	-	-
CONTROL	5940.00	6.00	8.20	370.00	62.29	-	-	-
วันที่ 3 ของการทดลอง								
ขนาดทาล	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ทาล 2 μm	9880.00	5.30	8.11	280.00	28.34	576.95	46.29	91.98
ทาล 5 μm	9540.00	5.40	8.31	290.00	30.40	576.95	19.56	96.61
ทาล 10 μm	9920.00	5.20	8.16	260.00	26.21	576.95	20.21	96.50
ทาล 18 μm	9520.00	5.40	7.54	290.00	30.46	576.95	28.03	95.14
CONTROL	5440.00	5.40	8.24	350.00	64.34	576.95	23.47	95.93

วันที่ 4 ของการทดลอง								
ขนาดทาล	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ทาล 2 $\mu\text{m}$	10440.00	6.00	7.90	250.00	23.95	-	-	-
ทาล 5 $\mu\text{m}$	10600.00	6.00	7.80	270.00	25.47	-	-	-
ทาล 10 $\mu\text{m}$	9380.00	6.10	8.00	250.00	26.65	-	-	-
ทาล 18 $\mu\text{m}$	9700.00	6.20	7.98	220.00	22.68	-	-	-
CONTROL	5020.00	6.20	7.40	340.00	67.73	-	-	-
วันที่ 5 ของการทดลอง								
ขนาดทาล	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ทาล 2 $\mu\text{m}$	10720.00	6.00	7.86	250.00	23.32	561.58	16.78	97.01
ทาล 5 $\mu\text{m}$	9580.00	6.00	7.88	270.00	28.18	561.58	11.62	97.93
ทาล 10 $\mu\text{m}$	9460.00	6.10	7.82	250.00	26.43	561.58	9.04	98.39
ทาล 18 $\mu\text{m}$	9580.00	6.20	7.79	220.00	22.96	561.58	3.87	99.31
CONTROL	5160.00	6.20	7.89	340.00	65.89	561.58	7.75	98.62
วันที่ 6 ของการทดลอง								
ขนาดทาล	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ทาล 2 $\mu\text{m}$	10020.00	5.80	7.90	260.00	25.95	-	-	-
ทาล 5 $\mu\text{m}$	9880.00	5.70	7.77	270.00	27.33	-	-	-
ทาล 10 $\mu\text{m}$	9200.00	5.90	7.85	260.00	28.26	-	-	-
ทาล 18 $\mu\text{m}$	9580.00	6.00	7.85	250.00	26.10	-	-	-
CONTROL	5220.00	6.10	7.93	320.00	61.30	-	-	-

วันที่ 7 ของการทดลอง								
ขนาดทาล	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ทาล 2 $\mu$ m	9660.00	6.00	7.41	260.00	26.92	697.63	32.00	95.41
ทาล 5 $\mu$ m	9600.00	6.00	7.24	250.00	26.04	697.63	26.88	96.15
ทาล 10 $\mu$ m	9420.00	6.10	7.57	260.00	27.60	697.63	24.32	96.51
ทาล 18 $\mu$ m	9800.00	6.20	7.73	250.00	25.51	697.63	19.20	97.25
CONTROL	5060.00	6.20	7.68	330.00	65.22	697.63	23.04	96.70
วันที่ 8 ของการทดลอง								
ขนาดทาล	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ทาล 2 $\mu$ m	9640.00	6.00	7.76	240.00	24.90	-	-	-
ทาล 5 $\mu$ m	9740.00	6.00	7.89	240.00	24.64	-	-	-
ทาล 10 $\mu$ m	9400.00	6.10	7.84	220.00	23.40	-	-	-
ทาล 18 $\mu$ m	9560.00	6.20	7.86	210.00	21.97	-	-	-
CONTROL	4740.00	6.20	7.13	340.00	71.73	-	-	-
วันที่ 9 ของการทดลอง								
ขนาดทาล	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ทาล 2 $\mu$ m	9680.00	5.80	7.82	250.00	26.32	544.02	13.06	97.60
ทาล 5 $\mu$ m	9500.00	6.10	7.80	270.00	28.97	544.02	17.66	96.75
ทาล 10 $\mu$ m	9320.00	6.10	7.91	250.00	26.43	544.02	16.64	96.94
ทาล 18 $\mu$ m	9460.00	6.20	7.93	220.00	23.26	544.02	24.32	95.53
CONTROL	4820.00	6.50	7.51	340.00	70.54	544.02	23.04	95.76

วันที่ 10 ของการทดลอง								
ขนาดทาล	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ทาล 2 $\mu\text{m}$	9580.00	6.00	7.94	200.00	20.88	-	-	-
ทาล 5 $\mu\text{m}$	9380.00	6.00	7.98	210.00	22.39	-	-	-
ทาล 10 $\mu\text{m}$	9140.00	6.10	8.03	240.00	26.26	-	-	-
ทาล 18 $\mu\text{m}$	9900.00	6.20	7.97	240.00	24.24	-	-	-
CONTROL	4480.00	6.20	7.97	300.00	66.96	-	-	-
วันที่ 11 ของการทดลอง								
ขนาดทาล	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ทาล 2 $\mu\text{m}$	9680.00	5.90	7.40	250.00	25.83	537.70	23.61	95.61
ทาล 5 $\mu\text{m}$	8460.00	6.20	7.60	270.00	31.91	537.70	17.05	96.83
ทาล 10 $\mu\text{m}$	9260.00	6.00	7.70	250.00	27.00	537.70	18.36	96.59
ทาล 18 $\mu\text{m}$	9300.00	6.30	7.60	220.00	23.66	537.70	14.43	97.32
CONTROL	4920.00	6.50	7.50	340.00	69.11	537.70	14.43	97.32
วันที่ 12 ของการทดลอง								
ขนาดทาล	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ทาล 2 $\mu\text{m}$	9428.00	6.00	7.92	250.00	26.52	-	-	-
ทาล 5 $\mu\text{m}$	7660.00	6.00	7.89	270.00	35.25	-	-	-
ทาล 10 $\mu\text{m}$	9180.00	6.10	7.90	250.00	27.23	-	-	-
ทาล 18 $\mu\text{m}$	9100.00	6.20	7.92	220.00	24.18	-	-	-
CONTROL	5000.00	6.20	7.91	340.00	68.00	-	-	-

วันที่ 13 ของการทดลอง								
ขนาดทาล	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ทาล 2 $\mu\text{m}$	9600.00	5.90	8.08	250.00	26.04	630.68	25.74	95.92
ทาล 5 $\mu\text{m}$	7780.00	6.20	8.01	270.00	34.70	630.68	29.60	95.31
ทาล 10 $\mu\text{m}$	9320.00	6.00	8.08	250.00	26.82	630.68	20.59	96.73
ทาล 18 $\mu\text{m}$	9580.00	6.30	7.79	220.00	22.96	630.68	20.59	96.73
CONTROL	4900.00	6.50	7.98	340.00	69.39	630.68	28.32	95.51
วันที่ 14 ของการทดลอง								
ขนาดทาล	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ทาล 2 $\mu\text{m}$	9340.00	6.00	7.89	220.00	23.55	-	-	-
ทาล 5 $\mu\text{m}$	7340.00	6.00	7.96	250.00	34.06	-	-	-
ทาล 10 $\mu\text{m}$	9520.00	6.10	7.95	230.00	24.16	-	-	-
ทาล 18 $\mu\text{m}$	9440.00	6.20	7.71	260.00	27.54	-	-	-
CONTROL	4820.00	6.20	8.05	300.00	62.24	-	-	-
วันที่ 15 ของการทดลอง								
ขนาดทาล	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ทาล 2 $\mu\text{m}$	9340.00	6.00	7.85	200.00	22.68	556.94	20.95	96.24
ทาล 5 $\mu\text{m}$	7600.00	6.10	7.90	220.00	29.57	556.94	13.53	97.57
ทาล 10 $\mu\text{m}$	9680.00	5.90	7.69	240.00	25.59	556.94	18.56	96.67
ทาล 18 $\mu\text{m}$	9640.00	6.00	7.74	280.00	28.57	556.94	23.34	95.81
CONTROL	4800.00	6.10	7.75	330.00	68.18	556.94	29.70	94.67

วันที่ 16 ของการทดลอง								
ขนาดทาล	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ทาล 2 $\mu\text{m}$	8820.00	6.00	7.85	200.00	22.68	-	-	-
ทาล 5 $\mu\text{m}$	7440.00	6.10	7.90	220.00	29.57	-	-	-
ทาล 10 $\mu\text{m}$	9380.00	5.90	7.69	240.00	25.59	-	-	-
ทาล 18 $\mu\text{m}$	9800.00	6.00	7.74	280.00	28.57	-	-	-
CONTROL	4840.00	6.10	7.75	330.00	68.18	-	-	-
วันที่ 17 ของการทดลอง								
ขนาดทาล	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ทาล 2 $\mu\text{m}$	8360.00	6.00	7.53	250.00	29.90	547.26	21.10	96.14
ทาล 5 $\mu\text{m}$	7700.00	6.10	7.45	270.00	35.06	547.26	23.74	95.66
ทาล 10 $\mu\text{m}$	9440.00	6.00	7.22	250.00	26.48	547.26	21.10	96.14
ทาล 18 $\mu\text{m}$	9700.00	6.20	7.24	220.00	22.68	547.26	23.74	95.66
CONTROL	4780.00	6.30	7.19	340.00	71.13	547.26	14.51	97.35
วันที่ 18 ของการทดลอง								
ขนาดทาล	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ทาล 2 $\mu\text{m}$	8480.00	6.00	7.71	200.00	23.58	-	-	-
ทาล 5 $\mu\text{m}$	7820.00	6.00	7.40	210.00	26.85	-	-	-
ทาล 10 $\mu\text{m}$	9260.00	6.10	7.26	230.00	24.84	-	-	-
ทาล 18 $\mu\text{m}$	9540.00	6.20	7.39	250.00	26.21	-	-	-
CONTROL	4480.00	6.20	7.14	320.00	71.43	-	-	-

วันที่ 19 ของการทดลอง								
ขนาดทาล	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ทาล 2 $\mu\text{m}$	8408.00	6.50	7.71	250.00	29.73	556.93	19.56	96.49
ทาล 5 $\mu\text{m}$	7860.00	6.30	7.43	240.00	30.53	556.93	28.61	94.86
ทาล 10 $\mu\text{m}$	9180.00	6.40	7.32	230.00	25.05	556.93	25.82	95.36
ทาล 18 $\mu\text{m}$	9140.00	6.20	7.35	220.00	24.07	556.93	20.23	96.37
CONTROL	4520.00	6.40	7.09	320.00	70.80	556.93	13.57	97.56
วันที่ 20 ของการทดลอง								
ขนาดทาล	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ทาล 2 $\mu\text{m}$	8080.00	6.00	7.65	230.00	28.47	-	-	-
ทาล 5 $\mu\text{m}$	7560.00	6.00	7.51	260.00	34.39	-	-	-
ทาล 10 $\mu\text{m}$	8900.00	6.10	7.40	230.00	25.84	-	-	-
ทาล 18 $\mu\text{m}$	9100.00	6.20	7.30	240.00	26.37	-	-	-
CONTROL	4680.00	6.20	7.46	330.00	70.51	-	-	-
วันที่ 21 ของการทดลอง								
ขนาดทาล	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ทาล 2 $\mu\text{m}$	7940.00	6.20	7.60	250.00	31.49	541.33	14.13	97.39
ทาล 5 $\mu\text{m}$	7940.00	6.10	7.51	240.00	30.23	541.33	18.13	96.65
ทาล 10 $\mu\text{m}$	8800.00	6.00	7.40	270.00	30.68	541.33	12.27	97.73
ทาล 18 $\mu\text{m}$	9180.00	6.00	7.30	250.00	27.23	541.33	26.13	95.17
CONTROL	4520.00	6.00	7.50	340.00	75.22	541.33	30.67	94.33

วันที่ 22 ของการทดลอง								
ขนาดทาล	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ทาล 2 $\mu\text{m}$	7880.00	6.20	7.59	240.00	30.46	-	-	-
ทาล 5 $\mu\text{m}$	7680.00	6.00	7.70	250.00	32.55	-	-	-
ทาล 10 $\mu\text{m}$	8820.00	6.10	7.65	260.00	29.48	-	-	-
ทาล 18 $\mu\text{m}$	9260.00	6.10	7.73	220.00	23.76	-	-	-
CONTROL	4700.00	5.90	7.68	340.00	72.34	-	-	-
วันที่ 23 ของการทดลอง								
ขนาดทาล	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ทาล 2 $\mu\text{m}$	7880.00	5.80	7.65	210.00	26.65	568.19	14.50	97.45
ทาล 5 $\mu\text{m}$	7680.00	6.00	7.70	220.00	28.65	568.19	30.19	94.69
ทาล 10 $\mu\text{m}$	8820.00	6.00	7.61	240.00	27.21	568.19	19.53	96.56
ทาล 18 $\mu\text{m}$	9240.00	6.20	7.80	250.00	27.06	568.19	18.64	96.72
CONTROL	4800.00	6.00	7.71	340.00	70.83	568.19	12.73	97.76
วันที่ 24 ของการทดลอง								
ขนาดทาล	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ทาล 2 $\mu\text{m}$	8000.00	6.20	7.50	220.00	27.50	-	-	-
ทาล 5 $\mu\text{m}$	7760.00	6.00	7.72	250.00	32.22	-	-	-
ทาล 10 $\mu\text{m}$	8820.00	6.10	7.60	250.00	28.34	-	-	-
ทาล 18 $\mu\text{m}$	9240.00	6.10	7.52	220.00	23.81	-	-	-
CONTROL	5040.00	5.90	7.66	330.00	65.48	-	-	-



วันที่ 25 ของการทดลอง								
ขนาดทาล	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ทาล 2 $\mu\text{m}$	7880.00	5.80	7.55	240.00	30.46	508.58	11.84	97.67
ทาล 5 $\mu\text{m}$	7680.00	6.00	7.66	230.00	29.95	508.58	14.35	97.18
ทาล 10 $\mu\text{m}$	8820.00	6.00	7.60	230.00	26.08	508.58	14.91	97.07
ทาล 18 $\mu\text{m}$	9160.00	5.90	7.73	220.00	24.02	508.58	13.24	97.40
CONTROL	4800.00	5.90	7.63	330.00	68.75	508.58	11.56	97.73
วันที่ 26 ของการทดลอง								
ขนาดทาล	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ทาล 2 $\mu\text{m}$	7880.00	6.00	7.41	220.00	27.92	-	-	-
ทาล 5 $\mu\text{m}$	7680.00	5.90	7.60	220.00	28.65	-	-	-
ทาล 10 $\mu\text{m}$	8820.00	6.20	7.60	220.00	24.94	-	-	-
ทาล 18 $\mu\text{m}$	9180.00	6.00	7.80	250.00	27.23	-	-	-
CONTROL	4620.00	6.00	7.40	340.00	73.59	-	-	-
วันที่ 27 ของการทดลอง								
ขนาดทาล	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ทาล 2 $\mu\text{m}$	7960.00	6.20	7.43	250.00	31.41	564.50	23.43	95.85
ทาล 5 $\mu\text{m}$	7760.00	6.00	7.71	260.00	33.51	564.50	16.33	97.11
ทาล 10 $\mu\text{m}$	8600.00	6.00	7.66	250.00	29.07	564.50	21.30	96.23
ทาล 18 $\mu\text{m}$	9180.00	6.30	7.77	260.00	28.32	564.50	18.32	96.75
CONTROL	5000.00	6.00	7.66	330.00	66.00	564.50	13.49	97.61

วันที่ 28 ของการทดลอง								
ขนาดทาล	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ทาล 2 $\mu\text{m}$	7880.00	6.10	7.43	240.00	30.46	-	-	-
ทาล 5 $\mu\text{m}$	7680.00	6.20	7.47	250.00	32.55	-	-	-
ทาล 10 $\mu\text{m}$	8820.00	6.00	7.23	210.00	23.81	-	-	-
ทาล 18 $\mu\text{m}$	9380.00	6.00	7.21	250.00	26.65	-	-	-
CONTROL	4800.00	5.90	7.10	340.00	70.83	-	-	-
วันที่ 29 ของการทดลอง								
ขนาดทาล	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ทาล 2 $\mu\text{m}$	8300.00	6.20	7.15	250.00	30.12	545.32	22.22	95.93
ทาล 5 $\mu\text{m}$	8020.00	6.30	7.10	230.00	28.68	545.32	16.16	97.04
ทาล 10 $\mu\text{m}$	8780.00	6.10	7.15	240.00	27.33	545.32	19.52	96.42
ทาล 18 $\mu\text{m}$	9420.00	6.30	7.04	220.00	23.35	545.32	19.52	96.42
CONTROL	4560.00	6.10	7.08	330.00	72.37	545.32	26.93	95.06
วันที่ 30 ของการทดลอง								
ขนาดทาล	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ทาล 2 $\mu\text{m}$	8180.00	6.20	7.42	250.00	30.56	-	-	-
ทาล 5 $\mu\text{m}$	7780.00	6.10	7.75	250.00	32.13	-	-	-
ทาล 10 $\mu\text{m}$	8880.00	6.10	7.56	250.00	28.15	-	-	-
ทาล 18 $\mu\text{m}$	9180.00	6.10	7.72	240.00	26.14	-	-	-
CONTROL	4940.00	6.20	7.69	330.00	66.80	-	-	-

ตารางบันทึกผลการเลี้ยงตะกอนจุลชีพในระบบเอเอสที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผงเป็นวัสดุช่วยตกตะกอน

ตาราง ข.2 ตารางบันทึกผลการเลี้ยงตะกอนจุลชีพในถังปฏิกรณ์ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง

วันที่ 1 ของการทดลอง								
ขนาดถ่าน กัมมันต์	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ถ่าน5 µm	9120.00	6.10	8.00	500.00	54.82	568.67	25.13	95.58
ถ่าน10 µm	9140.00	6.00	8.50	500.00	54.70	568.67	26.45	95.35
ถ่าน24 µm	8560.00	6.06	8.40	600.00	70.09	568.67	41.00	92.79
ถ่าน99 µm	9480.00	6.05	8.30	500.00	52.74	568.67	33.06	82.27
CONTROL	5940.00	6.10	8.50	400.00	67.34	568.67	35.71	67.27
วันที่ 2 ของการทดลอง								
ขนาดถ่าน กัมมันต์	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ถ่าน5 µm	9120.00	6.02	8.00	500.00	54.82	-	-	-
ถ่าน10 µm	9000.00	6.10	8.30	500.00	55.56	-	-	-
ถ่าน24 µm	8540.00	6.25	8.20	600.00	70.26	-	-	-
ถ่าน99 µm	9200.00	6.20	8.00	500.00	54.35	-	-	-
CONTROL	6080.00	6.00	8.20	400.00	65.79	-	-	-
วันที่ 3 ของการทดลอง								
ขนาดถ่าน กัมมันต์	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ถ่าน5 µm	9140.00	5.30	7.90	430.00	47.05	444.44	24.00	92.73
ถ่าน10 µm	9040.00	5.40	7.92	494.00	54.65	444.44	29.33	92.73
ถ่าน24 µm	9000.00	5.20	8.02	440.00	48.89	444.44	37.33	93.64
ถ่าน99 µm	9100.00	5.40	7.98	400.00	43.96	444.44	34.67	90.91
CONTROL	6240.00	5.40	7.39	380.00	60.90	444.44	34.67	91.82

วันที่ 4 ของการทดลอง								
ขนาดถ่าน กัมมันต์	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ถ่าน5 µm	9780.00	6.00	7.90	400.00	40.90	-	-	-
ถ่าน10 µm	10700.00	6.00	7.80	390.00	36.45	-	-	-
ถ่าน24 µm	10580.00	6.10	8.00	350.00	33.08	-	-	-
ถ่าน99 µm	10540.00	6.20	7.98	320.00	30.36	-	-	-
CONTROL	6080.00	6.20	7.40	340.00	55.92	-	-	-
วันที่ 5 ของการทดลอง								
ขนาดถ่าน กัมมันต์	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ถ่าน5 µm	10460.00	6.00	7.92	410.00	39.20	548.25	26.11	94.78
ถ่าน10 µm	10640.00	6.00	7.78	350.00	32.89	548.25	20.89	91.96
ถ่าน24 µm	10180.00	6.10	7.80	380.00	37.33	548.25	36.55	95.65
ถ่าน99 µm	10260.00	6.20	7.93	390.00	38.01	548.25	26.11	93.74
CONTROL	5020.00	6.20	7.85	360.00	71.71	548.25	22.19	93.43
วันที่ 6 ของการทดลอง								
ขนาดถ่าน กัมมันต์	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ถ่าน5 µm	10660.00	5.80	7.90	440.00	41.28	-	-	-
ถ่าน10 µm	10380.00	5.70	7.77	440.00	42.39	-	-	-
ถ่าน24 µm	11020.00	5.90	7.85	420.00	38.11	-	-	-
ถ่าน99 µm	10340.00	6.00	7.85	440.00	42.55	-	-	-
CONTROL	5060.00	6.10	7.93	390.00	77.08	-	-	-

วันที่ 7 ของการทดลอง								
ขนาดถ่าน กัมมันต์	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ถ่าน5 µm	10080.00	6.00	7.50	420.00	41.67	531.00	15.93	93.72
ถ่าน10 µm	10000.00	6.00	7.40	430.00	43.00	531.00	31.86	91.86
ถ่าน24 µm	11080.00	6.10	7.50	430.00	38.81	531.00	37.17	91.63
ถ่าน99 µm	10280.00	6.20	7.70	410.00	39.88	531.00	31.86	94.88
CONTROL	5180.00	6.20	7.50	340.00	65.64	531.00	25.22	96.74
วันที่ 8 ของการทดลอง								
ขนาดถ่าน กัมมันต์	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ถ่าน5 µm	10682.00	6.00	7.40	440.00	41.19	-	-	-
ถ่าน10 µm	10000.00	6.00	7.40	430.00	43.00	-	-	-
ถ่าน24 µm	9920.00	6.10	7.30	430.00	43.35	-	-	-
ถ่าน99 µm	9740.00	6.20	7.20	410.00	42.09	-	-	-
CONTROL	5220.00	6.20	7.30	390.00	74.71	-	-	-
วันที่ 9 ของการทดลอง								
ขนาดถ่าน กัมมันต์	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ถ่าน5 µm	11920.00	5.80	7.50	410.00	37.75	570.20	17.24	93.8
ถ่าน10 µm	10860.00	6.10	7.40	400.00	39.37	570.20	23.87	95.8
ถ่าน24 µm	10160.00	6.10	7.45	400.00	37.52	570.20	26.52	97.6
ถ่าน99 µm	10660.00	6.20	7.36	410.00	38.46	570.20	31.83	95.4
CONTROL	5760.00	6.50	7.54	380.00	65.97	570.20	29.17	93.4

วันที่ 10 ของการทดลอง								
ขนาดถ่าน กัมมันต์	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ถ่าน5 µm	9920.00	6.00	7.90	410.00	41.33	-	-	-
ถ่าน10 µm	9840.00	6.00	7.80	440.00	44.72	-	-	-
ถ่าน24 µm	10000.00	6.10	7.81	430.00	43.00	-	-	-
ถ่าน99 µm	10640.00	6.20	7.82	400.00	37.59	-	-	-
CONTROL	4940.00	6.20	7.90	350.00	70.85	-	-	-
วันที่ 11 ของการทดลอง								
ขนาดถ่าน กัมมันต์	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ถ่าน5 µm	9700.00	5.90	7.40	380.00	39.18	652.08	10.23	94.38
ถ่าน10 µm	9640.00	6.20	7.60	380.00	39.42	652.08	23.01	94.46
ถ่าน24 µm	9120.00	6.00	7.70	380.00	41.67	652.08	28.13	95.09
ถ่าน99 µm	9260.00	6.30	7.60	360.00	38.88	652.08	20.46	95.98
CONTROL	4540.00	6.50	7.50	320.00	70.48	652.08	30.69	94.02
วันที่ 12 ของการทดลอง								
ขนาดถ่าน กัมมันต์	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ถ่าน5 µm	9500.00	6.00	7.50	370.00	38.95	-	-	-
ถ่าน10 µm	9500.00	6.00	7.60	365.00	38.42	-	-	-
ถ่าน24 µm	9420.00	6.10	7.40	360.00	38.22	-	-	-
ถ่าน99 µm	9300.00	6.20	7.50	370.00	39.78	-	-	-
CONTROL	4480.00	6.20	7.30	340.00	75.89	-	-	-

วันที่ 13 ของการทดลอง								
ขนาดถ่าน กัมมันต์	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ถ่าน5 µm	9600.00	5.90	7.50	370.00	38.54	630.90	13.72	92.97
ถ่าน10 µm	9580.00	6.20	7.30	365.00	38.10	630.90	16.46	94.05
ถ่าน24 µm	9320.00	6.00	7.20	360.00	38.63	630.90	27.43	97.03
ถ่าน99 µm	9580.00	6.30	7.20	370.00	38.62	630.90	19.20	96.49
CONTROL	4300.00	6.50	7.10	300.00	69.77	630.90	24.41	94.05
วันที่ 14 ของการทดลอง								
ขนาดถ่าน กัมมันต์	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ถ่าน5 µm	9480.00	6.00	7.40	360.00	37.97	-	-	-
ถ่าน10 µm	9560.00	6.00	7.35	380.00	39.75	-	-	-
ถ่าน24 µm	9700.00	6.10	7.28	380.00	39.18	-	-	-
ถ่าน99 µm	9900.00	6.20	7.43	380.00	38.38	-	-	-
CONTROL	4560.00	6.20	7.25	300.00	65.79	-	-	-
วันที่ 15 ของการทดลอง								
ขนาดถ่าน กัมมันต์	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ถ่าน5 µm	9640.00	6.00	7.42	380.00	39.67	547.86	12.74	95
ถ่าน10 µm	9020.00	6.00	7.16	350.00	37.63	547.86	22.93	94.58
ถ่าน24 µm	9260.00	6.10	7.37	360.00	40.00	547.86	26.76	94.17
ถ่าน99 µm	9240.00	6.20	7.28	360.00	39.13	547.86	26.76	92.5
CONTROL	4820.00	6.20	7.31	330.00	69.92	547.86	36.95	92.08

วันที่ 16 ของการทดลอง								
ขนาดถ่าน กัมมันต์	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ถ่าน5 µm	9580.00	6.00	7.42	380.00	39.67	-	-	-
ถ่าน10 µm	9300.00	6.00	7.16	350.00	37.63	-	-	-
ถ่าน24 µm	9000.00	6.10	7.37	360.00	40.00	-	-	-
ถ่าน99 µm	9200.00	6.20	7.28	360.00	39.13	-	-	-
CONTROL	4720.00	6.20	7.31	330.00	69.92	-	-	-
วันที่ 17 ของการทดลอง								
ขนาดถ่าน กัมมันต์	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ถ่าน5 µm	9100.00	5.90	7.10	370.00	40.66	546.77	12.00	96.25
ถ่าน10 µm	9320.00	6.20	7.30	360.00	38.63	546.77	17.34	95.83
ถ่าน24 µm	9000.00	6.00	7.20	370.00	41.11	546.77	25.34	97.92
ถ่าน99 µm	9380.00	6.30	7.35	340.00	36.25	546.77	22.67	96.67
CONTROL	4720.00	6.50	7.11	310.00	65.68	546.77	22.67	95.42
วันที่ 18 ของการทดลอง								
ขนาดถ่าน กัมมันต์	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ถ่าน5 µm	9100.00	6.00	7.15	360.00	39.56	-	-	-
ถ่าน10 µm	9240.00	6.00	7.23	330.00	35.71	-	-	-
ถ่าน24 µm	9540.00	6.10	7.11	350.00	36.69	-	-	-
ถ่าน99 µm	9180.00	6.20	7.20	340.00	37.04	-	-	-
CONTROL	4700.00	6.20	7.30	300.00	63.83	-	-	-



วันที่ 19 ของการทดลอง								
ขนาดถ่าน กัมมันต์	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ถ่าน5 µm	9460.00	6.50	7.10	340.00	35.94	559.25	10.55	95.24
ถ่าน10 µm	9280.00	6.70	7.21	320.00	34.48	559.25	26.38	93.81
ถ่าน24 µm	9420.00	6.40	7.13	310.00	32.91	559.25	22.42	96.67
ถ่าน99 µm	9340.00	6.20	7.18	340.00	36.40	559.25	29.02	95.71
CONTROL	4380.00	6.40	7.32	300.00	68.49	559.25	33.77	92.62
วันที่ 20 ของการทดลอง								
ขนาดถ่าน กัมมันต์	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ถ่าน5 µm	9300.00	6.00	7.22	360.00	38.71	-	-	-
ถ่าน10 µm	9120.00	6.00	7.25	365.00	40.02	-	-	-
ถ่าน24 µm	9340.00	6.10	7.30	350.00	37.47	-	-	-
ถ่าน99 µm	9200.00	6.20	7.10	350.00	38.04	-	-	-
CONTROL	4560.00	6.20	7.15	300.00	65.79	-	-	-
วันที่ 21 ของการทดลอง								
ขนาดถ่าน กัมมันต์	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ถ่าน5 µm	9260.00	6.50	7.23	330.00	35.64	649.78	10.19	94.3
ถ่าน10 µm	9100.00	6.70	7.27	340.00	37.36	649.78	22.93	97.53
ถ่าน24 µm	9560.00	6.40	7.34	350.00	36.61	649.78	28.03	95.96
ถ่าน99 µm	8940.00	6.20	7.12	330.00	36.91	649.78	20.39	96.64
CONTROL	4800.00	6.40	7.50	300.00	62.50	649.78	30.58	97.53

วันที่ 22 ของการทดลอง								
ขนาดถ่าน กัมมันต์	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ถ่าน5 µm	9214.00	6.20	7.20	340.00	36.90	-	-	-
ถ่าน10 µm	8900.00	6.00	7.23	350.00	39.33	-	-	-
ถ่าน24 µm	9220.00	6.10	7.26	360.00	39.05	-	-	-
ถ่าน99 µm	9140.00	6.10	7.13	400.00	43.76	-	-	-
CONTROL	4740.00	5.90	7.34	300.00	63.29	-	-	-
วันที่ 23 ของการทดลอง								
ขนาดถ่าน กัมมันต์	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ถ่าน5 µm	9020.00	5.80	7.14	340.00	37.69	556.72	11.13	
ถ่าน10 µm	9020.00	5.70	7.15	350.00	38.80	556.72	15.31	
ถ่าน24 µm	9240.00	6.00	7.17	360.00	38.96	556.72	13.92	
ถ่าน99 µm	9340.00	5.90	7.24	400.00	42.83	556.72	15.31	
CONTROL	4820.00	5.90	7.30	300.00	62.24	556.72	29.23	
วันที่ 24 ของการทดลอง								
ขนาดถ่าน กัมมันต์	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ถ่าน5 µm	9080.00	6.20	7.21	340.00	37.44	-	-	-
ถ่าน10 µm	9220.00	6.00	7.07	350.00	37.96	-	-	-
ถ่าน24 µm	9340.00	6.10	7.13	340.00	36.40	-	-	-
ถ่าน99 µm	9280.00	6.10	7.05	330.00	35.56	-	-	-
CONTROL	4800.00	5.90	7.01	320.00	66.67	-	-	-

วันที่ 25 ของการทดลอง								
ขนาดถ่าน กัมมันต์	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ถ่าน5 µm	9120.00	5.80	7.20	340.00	37.28	561.76	8.94	96.29
ถ่าน10 µm	9280.00	5.70	7.20	330.00	35.56	561.76	14.04	96.34
ถ่าน24 µm	9540.00	6.00	7.30	330.00	34.59	561.76	20.43	95.71
ถ่าน99 µm	9180.00	5.90	7.34	320.00	34.86	561.76	22.98	95.66
CONTROL	4900.00	5.90	7.40	290.00	59.18	561.76	25.53	94.57
วันที่ 26 ของการทดลอง								
ขนาดถ่าน กัมมันต์	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ถ่าน5 µm	9180.00	6.00	7.05	320.00	34.86	-	-	-
ถ่าน10 µm	9080.00	5.90	7.00	300.00	33.04	-	-	-
ถ่าน24 µm	9160.00	6.20	7.20	320.00	34.93	-	-	-
ถ่าน99 µm	9140.00	6.00	7.13	350.00	38.29	-	-	-
CONTROL	4700.00	6.00	7.10	300.00	63.83	-	-	-
วันที่ 27 ของการทดลอง								
ขนาดถ่าน กัมมันต์	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ถ่าน5 µm	9020.00	6.20	7.10	390.00	43.24	532.40	6.49	97.27
ถ่าน10 µm	9220.00	6.40	7.20	360.00	39.05	532.40	16.88	97.73
ถ่าน24 µm	9100.00	6.40	7.12	350.00	38.46	532.40	23.37	96.36
ถ่าน99 µm	9020.00	6.30	7.20	380.00	42.13	532.40	28.57	97.27
CONTROL	4640.00	6.00	7.10	300.00	64.66	532.40	33.76	97.27

วันที่ 28 ของการทดลอง								
ขนาดถ่าน กัมมันต์	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ถ่าน5 µm	9500.00	6.50	7.43	340.00	35.79	-	-	
ถ่าน10 µm	9240.00	6.40	7.47	350.00	37.88	-	-	
ถ่าน24 µm	9540.00	6.40	7.23	310.00	32.49	-	-	
ถ่าน99 µm	9260.00	6.30	7.21	350.00	37.80	-	-	
CONTROL	4900.00	6.50	7.10	300.00	61.22	-	-	
วันที่ 29 ของการทดลอง								
ขนาดถ่าน กัมมันต์	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ถ่าน5 µm	9300.00	6.40	7.15	350.00	37.63	556.94	9.28	98.18
ถ่าน10 µm	9120.00	6.40	7.10	330.00	36.18	556.94	7.96	96.82
ถ่าน24 µm	9340.00	6.40	7.15	340.00	36.40	556.94	15.91	95.91
ถ่าน99 µm	9200.00	6.30	7.04	320.00	34.78	556.94	15.91	97.27
CONTROL	4560.00	6.10	7.08	310.00	67.98	556.94	26.52	97.27
วันที่ 30 ของการทดลอง								
ขนาดถ่าน กัมมันต์	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ถ่าน5 µm	9460.00	6.30	7.13	370.00	39.11	-	-	-
ถ่าน10 µm	9280.00	6.40	7.02	350.00	37.72	-	-	-
ถ่าน24 µm	9420.00	6.40	7.06	350.00	37.15	-	-	-
ถ่าน99 µm	9340.00	6.40	7.02	340.00	36.40	-	-	-
CONTROL	4380.00	6.20	7.00	280.00	63.93	-	-	-

ตารางบันทึกผลการเลี้ยงตะกอนจุลชีพในระบบเอเอสที่มีการเติมยางรถยนต์บดละเอียดขนาดต่างๆเป็น  
วัสดุช่วยตกตะกอน

ตาราง ข.3 ตารางบันทึกผลการเลี้ยงตะกอนจุลชีพในถังปฏิกรณ์ที่มีการเติมยางรถยนต์บดละเอียด

วันที่ 1 ของการทดลอง								
ขนาดยาง	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ยาง 110 $\mu\text{m}$	8300.00	4.50	7.92	400.00	48.19	589.98	45.59	92.27
ยาง 242 $\mu\text{m}$	8660.00	4.70	7.78	450.00	51.96	589.98	123.36	79.09
ยาง 656 $\mu\text{m}$	8260.00	4.50	7.80	390.00	47.22	589.98	37.54	93.64
ยาง 848 $\mu\text{m}$	8320.00	4.60	7.93	390.00	46.88	589.98	104.59	82.27
CONTROL	5340.00	4.60	7.85	420.00	78.65	589.98	193.08	67.27
วันที่ 2 ของการทดลอง								
ขนาดยาง	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ยาง 110 $\mu\text{m}$	8280.00	5.10	8.00	400.00	48.31	-	-	-
ยาง 242 $\mu\text{m}$	8740.00	5.20	8.30	430.00	49.20	-	-	-
ยาง 656 $\mu\text{m}$	8220.00	5.00	8.20	400.00	48.66	-	-	-
ยาง 848 $\mu\text{m}$	8040.00	5.30	8.00	370.00	46.02	-	-	-
CONTROL	5100.00	5.20	8.20	400.00	78.43	-	-	-
วันที่ 3 ของการทดลอง								
ขนาดยาง	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ยาง 110 $\mu\text{m}$	8160.00	5.30	7.90	430.00	52.70	567.84	41.30	92.73
ยาง 242 $\mu\text{m}$	8640.00	5.40	7.92	494.00	57.18	567.84	41.30	92.73
ยาง 656 $\mu\text{m}$	8500.00	5.20	8.02	440.00	51.76	567.84	36.14	93.64
ยาง 848 $\mu\text{m}$	8540.00	5.40	7.98	400.00	46.84	567.84	51.62	90.91
CONTROL	5080.00	5.40	7.39	410.00	80.71	567.84	46.46	91.82

วันที่ 4 ของการทดลอง								
ขนาดยาง	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ยาง 110 $\mu\text{m}$	8520.00	5.30	7.90	460.00	53.99	-	-	-
ยาง 242 $\mu\text{m}$	8260.00	5.30	7.80	440.00	53.27	-	-	-
ยาง 656 $\mu\text{m}$	8300.00	5.40	8.00	400.00	48.19	-	-	-
ยาง 848 $\mu\text{m}$	8100.00	5.40	7.98	430.00	53.09	-	-	-
CONTROL	5080.00	5.30	7.40	390.00	76.77	-	-	-
วันที่ 5 ของการทดลอง								
ขนาดยาง	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ยาง 110 $\mu\text{m}$	8460.00	5.50	7.92	410.00	48.46	584.23	30.48	94.78
ยาง 242 $\mu\text{m}$	8080.00	5.40	7.78	350.00	43.32	584.23	46.99	91.96
ยาง 656 $\mu\text{m}$	8160.00	5.60	7.80	380.00	46.57	584.23	25.40	95.65
ยาง 848 $\mu\text{m}$	8220.00	5.60	7.93	390.00	47.45	584.23	36.58	93.74
CONTROL	5020.00	5.40	7.85	400.00	79.68	584.23	38.36	93.43
วันที่ 6 ของการทดลอง								
ขนาดยาง	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ยาง 110 $\mu\text{m}$	8220.00	5.80	7.90	440.00	53.53	-	-	-
ยาง 242 $\mu\text{m}$	8240.00	5.70	7.77	440.00	53.40	-	-	-
ยาง 656 $\mu\text{m}$	8140.00	5.90	7.85	420.00	51.60	-	-	-
ยาง 848 $\mu\text{m}$	8280.00	6.00	7.85	440.00	53.14	-	-	-
CONTROL	5240.00	6.10	7.93	390.00	74.43	-	-	-

วันที่ 7 ของการทดลอง								
ขนาดยาง	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ยาง 110 $\mu\text{m}$	8280.00	5.90	7.90	420.00	50.72	533.78	33.52	93.72
ยาง 242 $\mu\text{m}$	8480.00	6.20	7.77	430.00	50.71	533.78	43.45	91.86
ยาง 656 $\mu\text{m}$	8420.00	6.00	7.88	430.00	51.07	533.78	44.69	91.63
ยาง 848 $\mu\text{m}$	8180.00	6.30	7.85	410.00	50.12	533.78	27.31	94.88
CONTROL	5280.00	6.50	7.93	400.00	75.76	533.78	17.38	96.74
วันที่ 8 ของการทดลอง								
ขนาดยาง	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ยาง 110 $\mu\text{m}$	8260.00	6.00	7.90	440.00	53.27	-	-	-
ยาง 242 $\mu\text{m}$	8160.00	6.00	7.80	430.00	52.70	-	-	-
ยาง 656 $\mu\text{m}$	8100.00	6.10	7.81	430.00	53.09	-	-	-
ยาง 848 $\mu\text{m}$	8060.00	6.20	7.82	410.00	50.87	-	-	-
CONTROL	5220.00	6.20	7.90	390.00	74.71	-	-	-
วันที่ 9 ของการทดลอง								
ขนาดยาง	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ยาง 110 $\mu\text{m}$	8160.00	5.80	7.81	410.00	50.87	632.57	39.22	93.8
ยาง 242 $\mu\text{m}$	8060.00	6.10	7.80	400.00	49.50	632.57	26.57	95.8
ยาง 656 $\mu\text{m}$	8080.00	6.10	7.85	400.00	49.75	632.57	15.18	97.6
ยาง 848 $\mu\text{m}$	8040.00	6.20	7.80	400.00	49.75	632.57	29.10	95.4
CONTROL	5240.00	6.50	7.90	400.00	76.34	632.57	41.75	93.4

วันที่ 10 ของการทดลอง								
ขนาดยาง	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ยาง 110 $\mu\text{m}$	7860.00	6.00	7.90	380.00	48.35	-	-	-
ยาง 242 $\mu\text{m}$	7800.00	6.00	7.80	380.00	48.72	-	-	-
ยาง 656 $\mu\text{m}$	7720.00	6.10	7.81	370.00	47.93	-	-	-
ยาง 848 $\mu\text{m}$	7960.00	6.20	7.82	390.00	48.99	-	-	-
CONTROL	5100.00	6.20	7.90	400.00	78.43	-	-	-
วันที่ 11 ของการทดลอง								
ขนาดยาง	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ยาง 110 $\mu\text{m}$	7740.00	5.90	7.90	380.00	49.10	551.38	31.02	94.38
ยาง 242 $\mu\text{m}$	7720.00	6.20	7.77	380.00	49.22	551.38	30.52	94.46
ยาง 656 $\mu\text{m}$	7700.00	6.00	7.88	380.00	49.35	551.38	27.08	95.09
ยาง 848 $\mu\text{m}$	7260.00	6.30	7.85	360.00	49.59	551.38	22.15	95.98
CONTROL	4540.00	6.50	7.93	370.00	81.50	551.38	32.98	94.02
วันที่ 12 ของการทดลอง								
ขนาดยาง	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ยาง 110 $\mu\text{m}$	7580.00	6.00	7.90	370.00	48.81	-	-	-
ยาง 242 $\mu\text{m}$	7400.00	6.00	7.80	365.00	49.32	-	-	-
ยาง 656 $\mu\text{m}$	7360.00	6.10	7.81	360.00	48.91	-	-	-
ยาง 848 $\mu\text{m}$	7280.00	6.20	7.82	370.00	50.82	-	-	-
CONTROL	4520.00	6.20	7.90	370.00	81.86	-	-	-



วันที่ 13 ของการทดลอง								
ขนาดยาง	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ยาง 110 $\mu\text{m}$	7580.00	5.90	7.90	370.00	48.81	480.03	33.73	92.97
ยาง 242 $\mu\text{m}$	7400.00	6.20	7.77	365.00	49.32	480.03	28.54	94.05
ยาง 656 $\mu\text{m}$	7300.00	6.00	7.88	360.00	49.32	480.03	14.27	97.03
ยาง 848 $\mu\text{m}$	7560.00	6.30	7.85	370.00	48.94	480.03	16.87	96.49
CONTROL	4900.00	6.50	7.93	400.00	81.63	480.03	28.54	94.05
วันที่ 14 ของการทดลอง								
ขนาดยาง	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ยาง 110 $\mu\text{m}$	7820.00	6.00	7.90	390.00	49.87	-	-	-
ยาง 242 $\mu\text{m}$	7500.00	6.00	7.80	380.00	50.67	-	-	-
ยาง 656 $\mu\text{m}$	7560.00	6.10	7.81	380.00	50.26	-	-	-
ยาง 848 $\mu\text{m}$	7420.00	6.20	7.82	380.00	51.21	-	-	-
CONTROL	4900.00	6.20	7.90	370.00	75.51	-	-	-
วันที่ 15 ของการทดลอง								
ขนาดยาง	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ยาง 110 $\mu\text{m}$	7360.00	6.00	7.90	380.00	50.26	455.39	22.77	95
ยาง 242 $\mu\text{m}$	7460.00	6.00	7.80	350.00	47.95	455.39	24.67	94.58
ยาง 656 $\mu\text{m}$	7540.00	6.10	7.81	360.00	48.39	455.39	26.56	94.17
ยาง 848 $\mu\text{m}$	7260.00	6.20	7.82	360.00	49.18	455.39	34.15	92.5
CONTROL	5180.00	6.20	7.90	390.00	76.77	455.39	36.05	92.08

วันที่ 16 ของการทดลอง								
ขนาดยาง	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ยาง 110 $\mu\text{m}$	7560.00	6.00	7.90	380.00	50.26	-	-	-
ยาง 242 $\mu\text{m}$	7300.00	6.00	7.80	350.00	47.95	-	-	-
ยาง 656 $\mu\text{m}$	7440.00	6.10	7.81	360.00	48.39	-	-	-
ยาง 848 $\mu\text{m}$	7320.00	6.20	7.82	360.00	49.18	-	-	-
CONTROL	5080.00	6.20	7.90	390.00	76.77	-	-	-
วันที่ 17 ของการทดลอง								
ขนาดยาง	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ยาง 110 $\mu\text{m}$	7240.00	5.90	7.90	370.00	51.10	623.40	23.38	96.25
ยาง 242 $\mu\text{m}$	7760.00	6.20	7.77	400.00	51.55	623.40	25.98	95.83
ยาง 656 $\mu\text{m}$	7140.00	6.00	7.88	370.00	51.82	623.40	12.99	97.92
ยาง 848 $\mu\text{m}$	7620.00	6.30	7.85	390.00	51.18	623.40	20.78	96.67
CONTROL	5120.00	6.50	7.93	380.00	74.22	623.40	28.57	95.42
วันที่ 18 ของการทดลอง								
ขนาดยาง	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ยาง 110 $\mu\text{m}$	7440.00	6.00	7.90	370.00	49.73	-	-	-
ยาง 242 $\mu\text{m}$	7300.00	6.00	7.80	400.00	54.79	-	-	-
ยาง 656 $\mu\text{m}$	7200.00	6.10	7.81	370.00	51.39	-	-	-
ยาง 848 $\mu\text{m}$	7220.00	6.20	7.82	390.00	54.02	-	-	-
CONTROL	5140.00	6.20	7.90	380.00	73.93	-	-	-

วันที่ 19 ของการทดลอง								
ขนาดยาง	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ยาง 110 $\mu\text{m}$	7420.00	6.20	7.80	380.00	51.21	530.56	25.26	95.24
ยาง 242 $\mu\text{m}$	7240.00	6.40	7.70	390.00	53.87	530.56	32.84	93.81
ยาง 656 $\mu\text{m}$	7300.00	6.40	7.80	400.00	54.79	530.56	17.69	96.67
ยาง 848 $\mu\text{m}$	7160.00	6.20	7.65	380.00	53.07	530.56	22.74	95.71
CONTROL	4940.00	6.40	7.80	390.00	78.95	530.56	39.16	92.62
วันที่ 20 ของการทดลอง								
ขนาดยาง	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ยาง 110 $\mu\text{m}$	7160.00	6.00	7.90	370.00	51.68	-	-	-
ยาง 242 $\mu\text{m}$	7280.00	6.00	7.80	370.00	50.82	-	-	-
ยาง 656 $\mu\text{m}$	7160.00	6.10	7.81	360.00	50.28	-	-	-
ยาง 848 $\mu\text{m}$	7140.00	6.20	7.82	360.00	50.42	-	-	-
CONTROL	5080.00	6.20	7.90	400.00	78.74	-	-	-
วันที่ 21 ของการทดลอง								
ขนาดยาง	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ยาง 110 $\mu\text{m}$	7400.00	6.40	7.80	380.00	51.35	556.06	31.67	94.3
ยาง 242 $\mu\text{m}$	7120.00	6.50	7.70	390.00	54.78	556.06	13.71	97.53
ยาง 656 $\mu\text{m}$	7140.00	6.40	7.80	400.00	56.02	556.06	22.44	95.96
ยาง 848 $\mu\text{m}$	7240.00	6.20	7.65	380.00	52.49	556.06	18.70	96.64
CONTROL	4900.00	6.40	7.80	390.00	79.59	556.06	13.71	97.53

วันที่ 22 ของการทดลอง								
ขนาดยาง	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ยาง 110 $\mu\text{m}$	7760.00	6.20	7.80	400.00	51.55	-	-	-
ยาง 242 $\mu\text{m}$	7400.00	6.00	7.70	380.00	51.35	-	-	-
ยาง 656 $\mu\text{m}$	7440.00	6.10	7.80	380.00	51.08	-	-	-
ยาง 848 $\mu\text{m}$	7560.00	6.10	7.65	380.00	50.26	-	-	-
CONTROL	4940.00	5.90	7.80	370.00	74.90	-	-	-
วันที่ 23 ของการทดลอง								
ขนาดยาง	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ยาง 110 $\mu\text{m}$	7500.00	6.20	7.90	370.00	49.33	538.91	33.84	93.72
ยาง 242 $\mu\text{m}$	7640.00	6.20	7.80	380.00	49.74	538.91	16.29	96.98
ยาง 656 $\mu\text{m}$	7280.00	6.00	7.81	360.00	49.45	538.91	25.07	95.35
ยาง 848 $\mu\text{m}$	7360.00	6.20	7.82	360.00	48.91	538.91	21.31	96.05
CONTROL	4520.00	6.30	7.90	370.00	81.86	538.91	16.29	96.98
วันที่ 24 ของการทดลอง								
ขนาดยาง	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ยาง 110 $\mu\text{m}$	7500.00	6.20	7.80	400.00	53.33	-	-	-
ยาง 242 $\mu\text{m}$	7440.00	6.00	7.70	390.00	52.42	-	-	-
ยาง 656 $\mu\text{m}$	7120.00	6.10	7.80	360.00	50.56	-	-	-
ยาง 848 $\mu\text{m}$	7340.00	6.10	7.65	380.00	51.77	-	-	-
CONTROL	4860.00	5.90	7.80	370.00	76.13	-	-	-

วันที่ 25 ของการทดลอง								
ขนาดยาง	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ยาง 110 $\mu\text{m}$	7580.00	6.20	7.90	390.00	51.45	587.43	21.82	96.29
ยาง 242 $\mu\text{m}$	7260.00	6.00	7.80	380.00	52.34	587.43	21.48	96.34
ยาง 656 $\mu\text{m}$	7200.00	6.30	7.81	380.00	52.78	587.43	25.18	95.71
ยาง 848 $\mu\text{m}$	7360.00	6.20	7.82	380.00	51.63	587.43	25.51	95.66
CONTROL	4940.00	6.00	7.90	370.00	74.90	587.43	31.89	94.57
วันที่ 26 ของการทดลอง								
ขนาดยาง	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ยาง 110 $\mu\text{m}$	7540.00	6.00	7.90	390.00	51.72	-	-	-
ยาง 242 $\mu\text{m}$	7520.00	5.90	7.80	380.00	50.53	-	-	-
ยาง 656 $\mu\text{m}$	7460.00	6.20	7.81	380.00	50.94	-	-	-
ยาง 848 $\mu\text{m}$	7080.00	6.00	7.82	380.00	53.67	-	-	-
CONTROL	4860.00	6.00	7.90	370.00	76.13	-	-	-
วันที่ 27 ของการทดลอง								
ขนาดยาง	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ยาง 110 $\mu\text{m}$	7480.00	6.20	7.90	390.00	52.14	574.55	15.67	97.27
ยาง 242 $\mu\text{m}$	7062.00	6.40	7.80	360.00	50.98	574.55	13.06	97.73
ยาง 656 $\mu\text{m}$	7140.00	6.40	7.81	370.00	51.82	574.55	20.89	96.36
ยาง 848 $\mu\text{m}$	7280.00	6.30	7.82	380.00	52.20	574.55	15.67	97.27
CONTROL	4720.00	6.00	7.90	350.00	74.15	574.55	15.67	97.27

วันที่ 28 ของการทดลอง								
ขนาดยาง	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ยาง 110 $\mu\text{m}$	7420.00	6.50	7.80	390.00	52.56	-	-	-
ยาง 242 $\mu\text{m}$	7078.00	6.40	7.70	360.00	50.86	-	-	-
ยาง 656 $\mu\text{m}$	7140.00	6.40	7.80	370.00	51.82	-	-	-
ยาง 848 $\mu\text{m}$	7200.00	6.30	7.65	380.00	52.78	-	-	-
CONTROL	4720.00	6.50	7.80	350.00	74.15	-	-	-
วันที่ 29 ของการทดลอง								
ขนาดยาง	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ยาง 110 $\mu\text{m}$	7460.00	6.40	7.80	390.00	52.28	574.55	10.45	98.18
ยาง 242 $\mu\text{m}$	7740.00	6.40	7.70	410.00	52.97	574.55	18.28	96.82
ยาง 656 $\mu\text{m}$	7680.00	6.40	7.80	400.00	52.08	574.55	23.50	95.91
ยาง 848 $\mu\text{m}$	7840.00	6.30	7.65	420.00	53.57	574.55	15.67	97.27
CONTROL	4960.00	6.10	7.80	380.00	76.61	574.55	15.67	97.27
วันที่ 30 ของการทดลอง								
ขนาดยาง	MLSS (มก./ล.)	DO (มก./ล.)	PH	SV30 (มล./ล.)	SVI (มล./ก.)	COD <sub>in</sub> (มก./ล.)	COD <sub>out</sub> (มก./ล.)	%COD REMOVE
ยาง 110 $\mu\text{m}$	7320.00	6.30	7.80	390.00	53.28	-	-	-
ยาง 242 $\mu\text{m}$	7460.00	6.40	7.70	400.00	53.62	-	-	-
ยาง 656 $\mu\text{m}$	7560.00	6.40	7.80	410.00	54.23	-	-	-
ยาง 848 $\mu\text{m}$	7640.00	6.40	7.65	420.00	54.97	-	-	-
CONTROL	4800.00	6.20	7.80	380.00	79.17	-	-	-



ภาคผนวก ค  
การหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการตกตะกอนกับความเข้มข้น  
และการคำนวณโซลิตฟลักซ์ (Solid Flux) ในการออกแบบ  
ถังตกตะกอน

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค.

การหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการตกตะกอนกับความเข้มข้น เพื่อคำนวณโซลิดฟลักซ์ (Solid Flux) ในการออกแบบถังตกตะกอน

การคำนวณโซลิดฟลักซ์ (Solid Flux) ทำได้โดยการหาความเร็วเริ่มต้นของการตกตะกอนของสลัดจ์ แล้วนำมาเขียนกราฟความเร็วของการตกตะกอนเทียบกับความเข้มข้น และนำค่าที่ได้มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างโซลิดฟลักซ์กับความเข้มข้นของสลัดจ์ ซึ่งรายละเอียดของวิธีการคำนวณได้แสดงไว้ในหัวข้อที่ 2.2.2 เรียบร้อยแล้ว โดยในภาคผนวก ค.นี้ จะแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการตกตะกอนและความเข้มข้น เพื่อใช้คำนวณค่าโซลิดฟลักซ์ (Solid Flux) ตลอดจนแสดงผลของการคำนวณด้วยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างโซลิดฟลักซ์ (Solid Flux) กับความเข้มข้น เพื่อนำผลจากการคำนวณดังกล่าวไปใช้ในการศึกษาออกแบบถังตกตะกอนในระบบเอเอสด้วยสลัดจ์ที่เติมวัสดุช่วยตกตะกอนทั้ง 3 ชนิดในหัวข้อที่ 4.5 ดังจะแสดงกราฟต่างๆ ไว้ดังต่อไปนี้

ค.1 การเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการตกตะกอนและความเข้มข้น เพื่อใช้ในการคำนวณโซลิดฟลักซ์ (Solid Flux) ในการออกแบบถังตกตะกอนในถังปฏิกรณ์ที่มีการเติมทาล

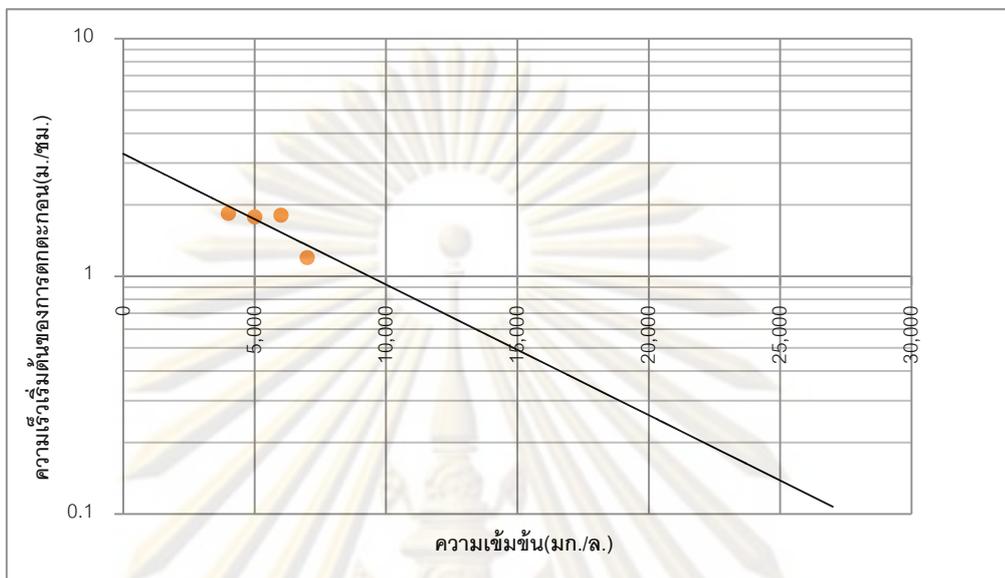
ค.2 การเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการตกตะกอนและความเข้มข้น เพื่อใช้ในการคำนวณโซลิดฟลักซ์ (Solid Flux) ในการออกแบบถังตกตะกอนในถังปฏิกรณ์ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง

ค.3 การเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการตกตะกอนและความเข้มข้น เพื่อใช้ในการคำนวณโซลิดฟลักซ์ (Solid Flux) ในการออกแบบถังตกตะกอนในถังปฏิกรณ์ที่มีการเติมยางรถยนต์บดละเอียด

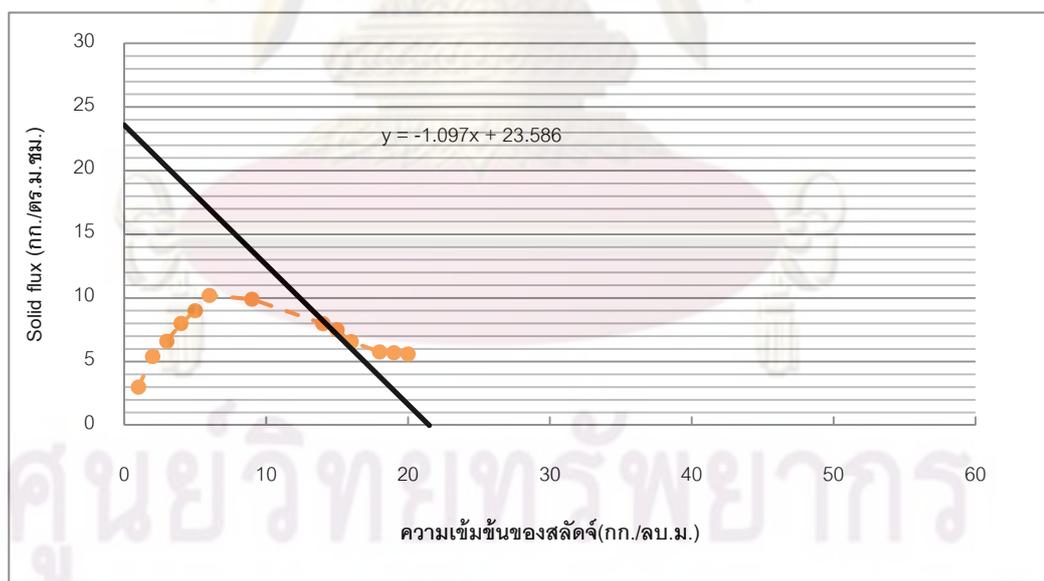
ค.4 การเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการตกตะกอนและความเข้มข้น เพื่อใช้ในการคำนวณโซลิดฟลักซ์ (Solid Flux) ในการออกแบบถังตกตะกอนของสลัดจ์ของโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนดินแดง



ค.1 การเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการตกตะกอนและความเข้มข้น เพื่อใช้ในการคำนวณโซลิดฟลักซ์ (Solid Flux) ในการออกแบบถังตกตะกอนในถังปฏิกรณ์ที่มีการเติมทาล

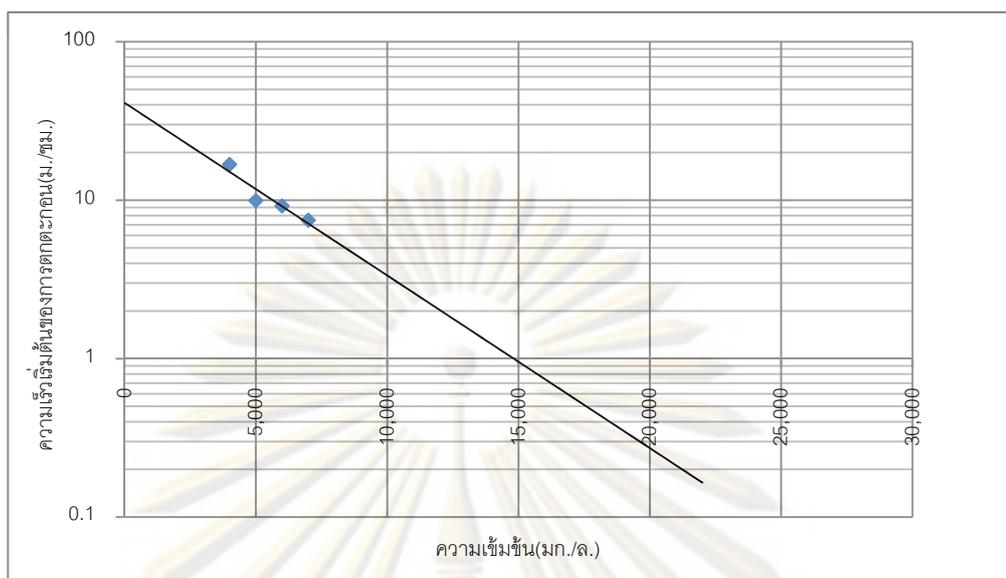


รูปที่ ค.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการตกตะกอนและความเข้มข้นของชุดควบคุม

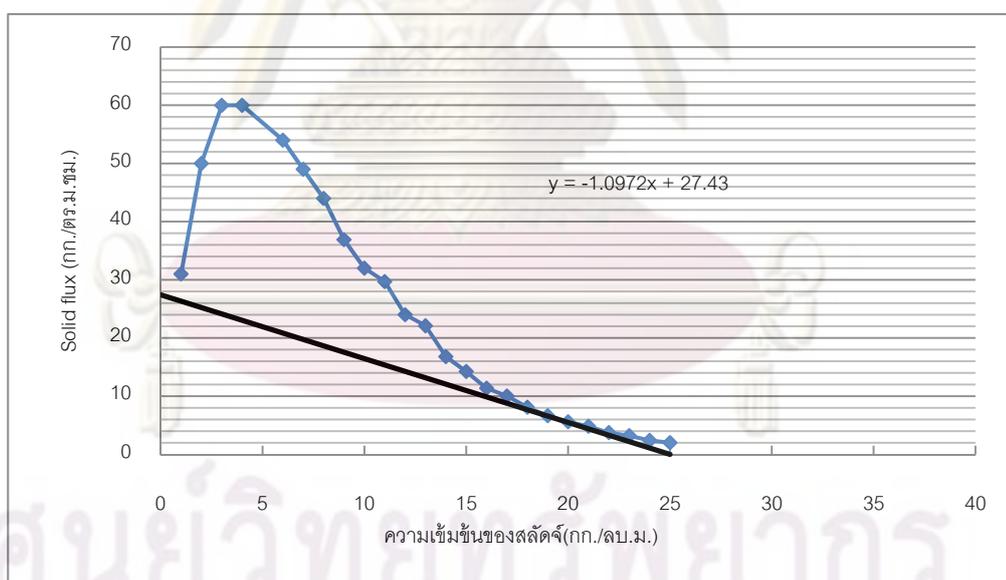


รูปที่ ค.2 โซลิดฟลักซ์ของชุดควบคุม

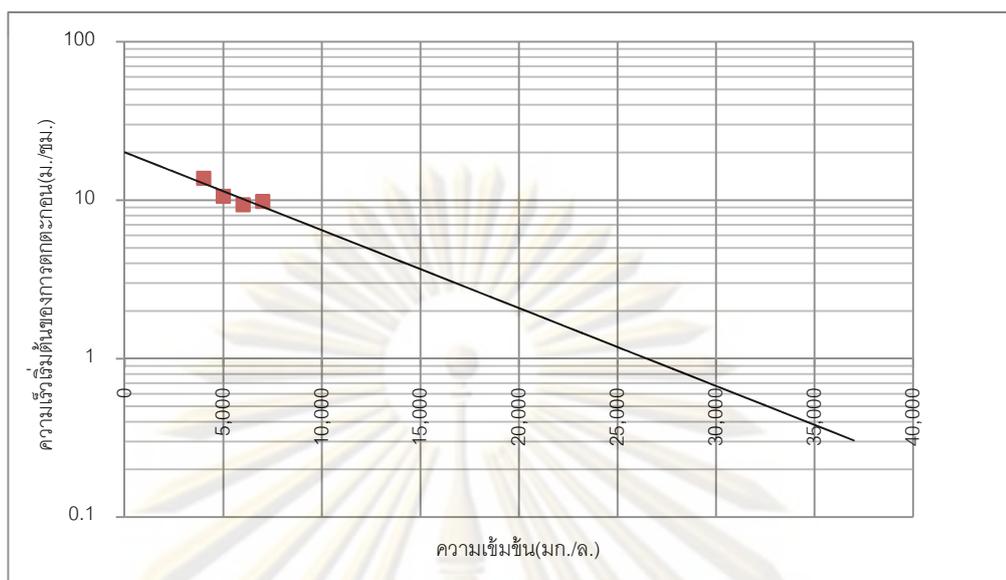
ศูนย์วิจัยทรัพยากรน้ำ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



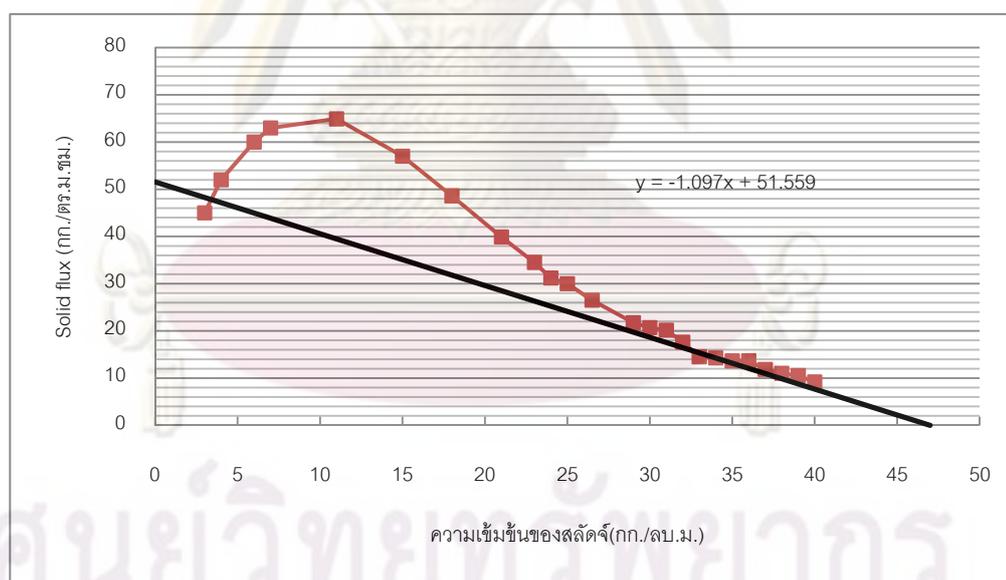
รูปที่ ค.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการตกตะกอนและความเข้มข้นของทาล ขนาด 2 ไมโครเมตร



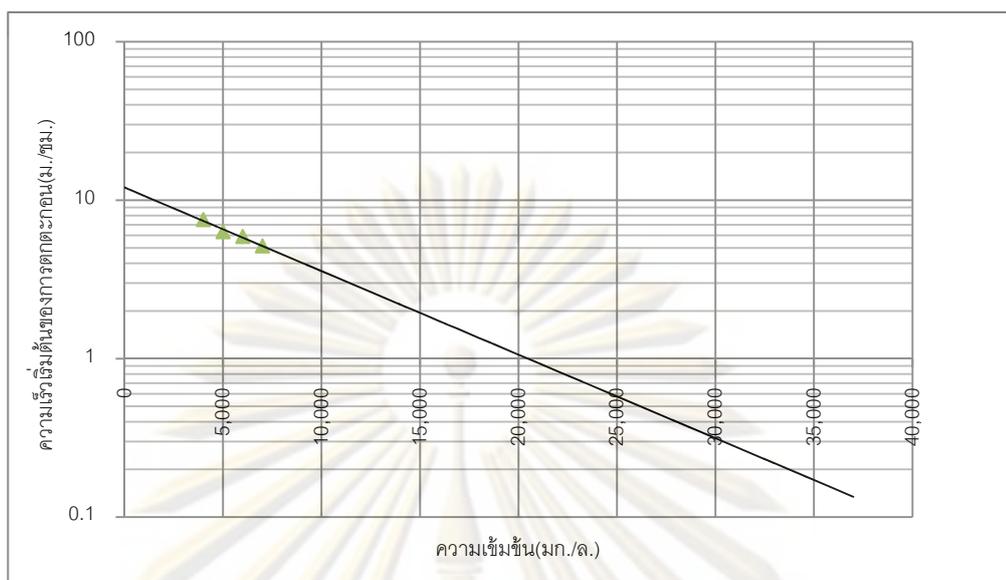
รูปที่ ค.4 โหลดฟลักซ์ของทาล ขนาด 2 ไมโครเมตร



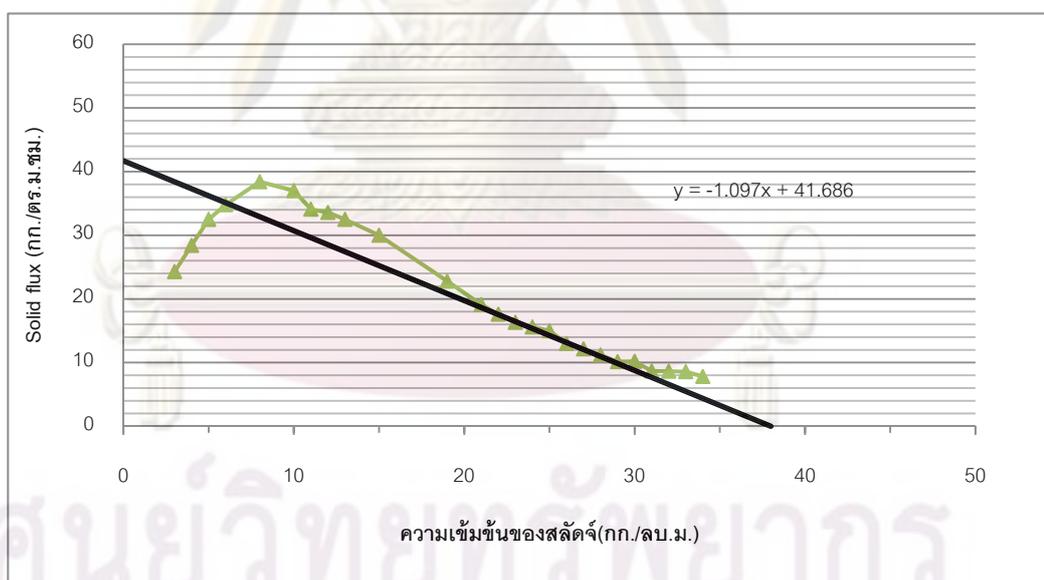
รูปที่ ค.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการตกตะกอนและความเข้มข้นของทาล ขนาด 5 ไมโครเมตร



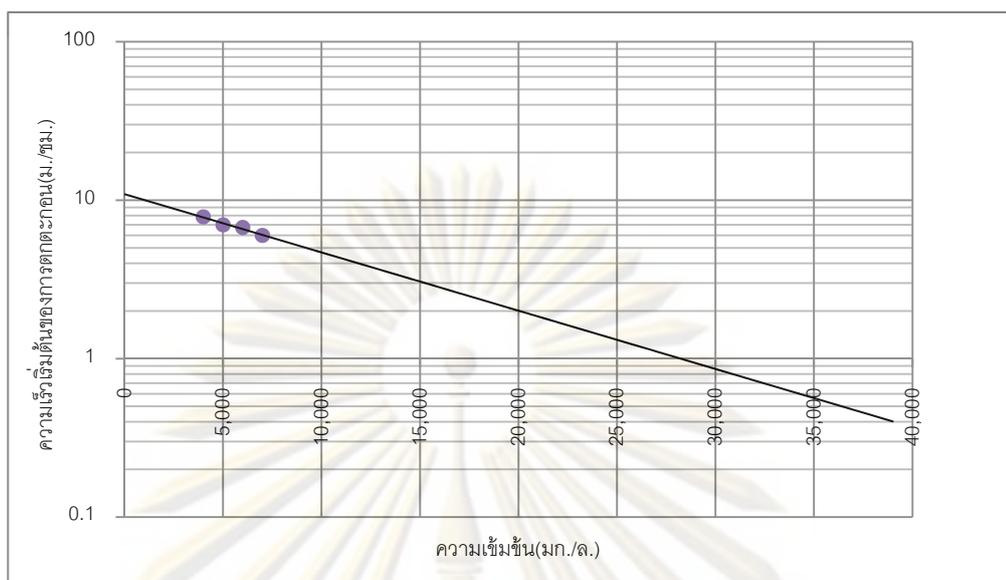
รูปที่ ค.6 ไชลิตฟลักซ์ของทาล ขนาด 5 ไมโครเมตร



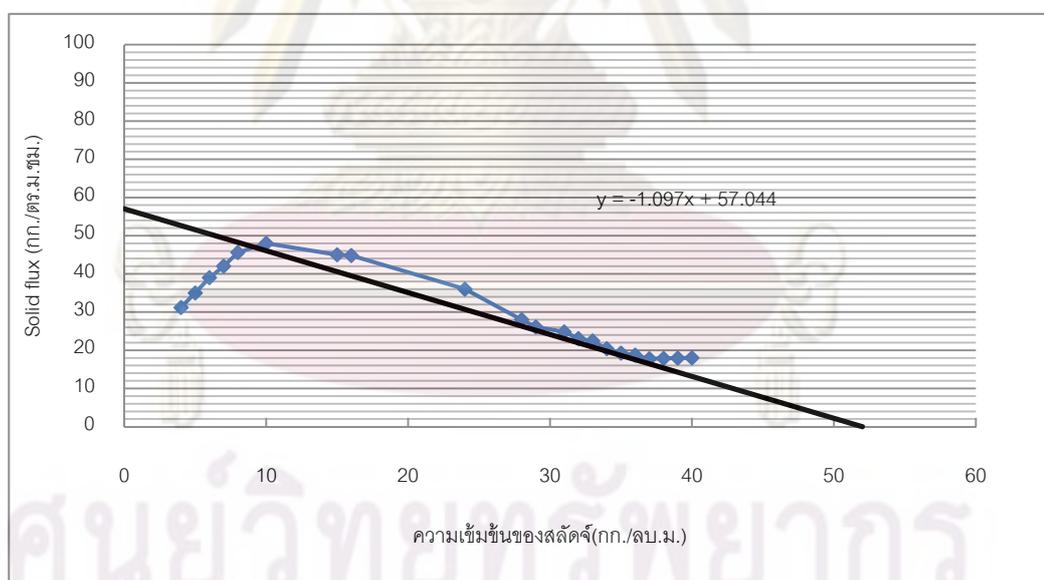
รูปที่ ค.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการตกตะกอนและความเข้มข้นของทาล ขนาด 10 ไมโครเมตร



รูปที่ ค.8 โซลิดฟลักซ์ของทาล ขนาด 10 ไมโครเมตร

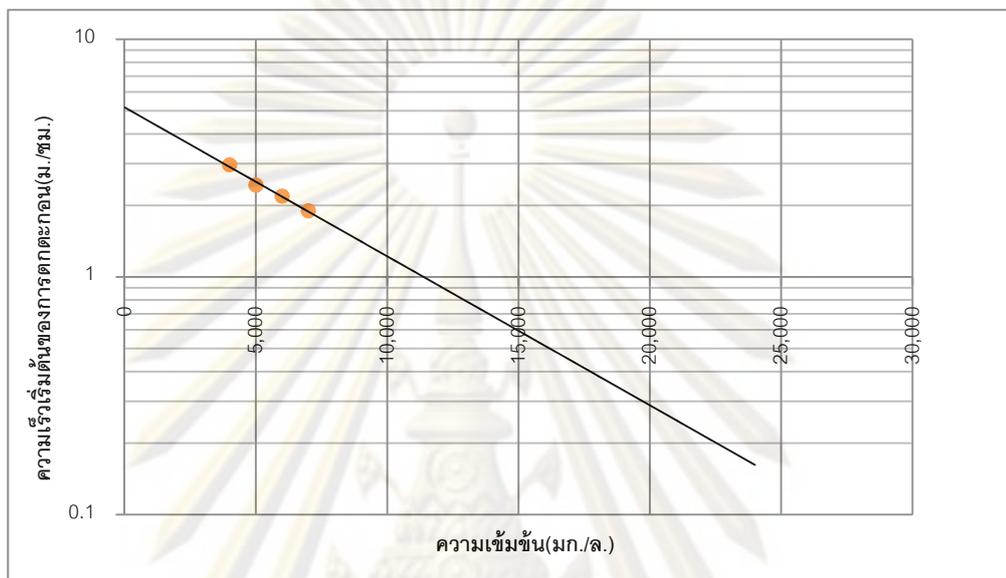


รูปที่ ค.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการตกตะกอนและความเข้มข้นของทาล ขนาด 18 ไมโครเมตร

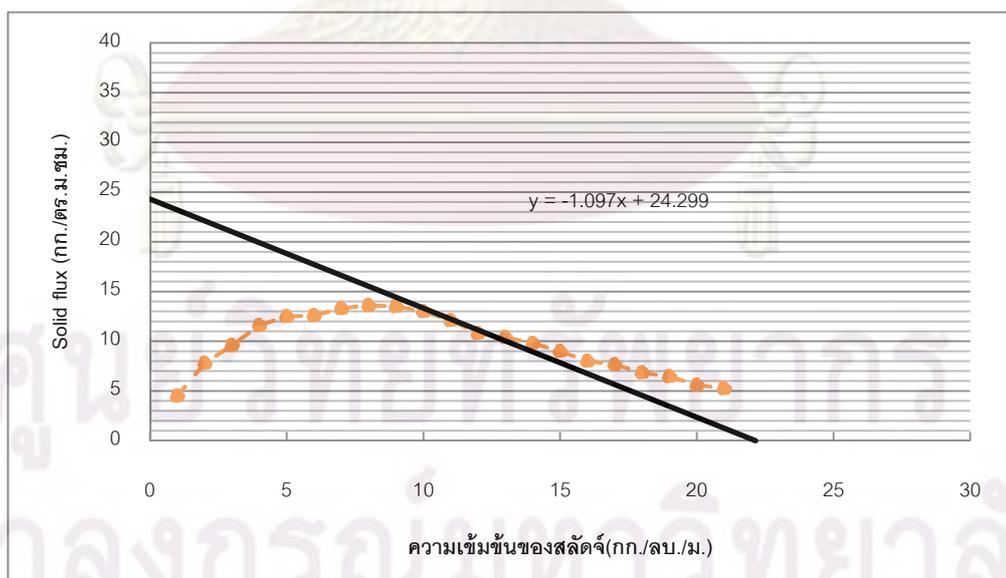


รูปที่ ค.8 ไชลิตฟลักซ์ของทาล ขนาด 18 ไมโครเมตร

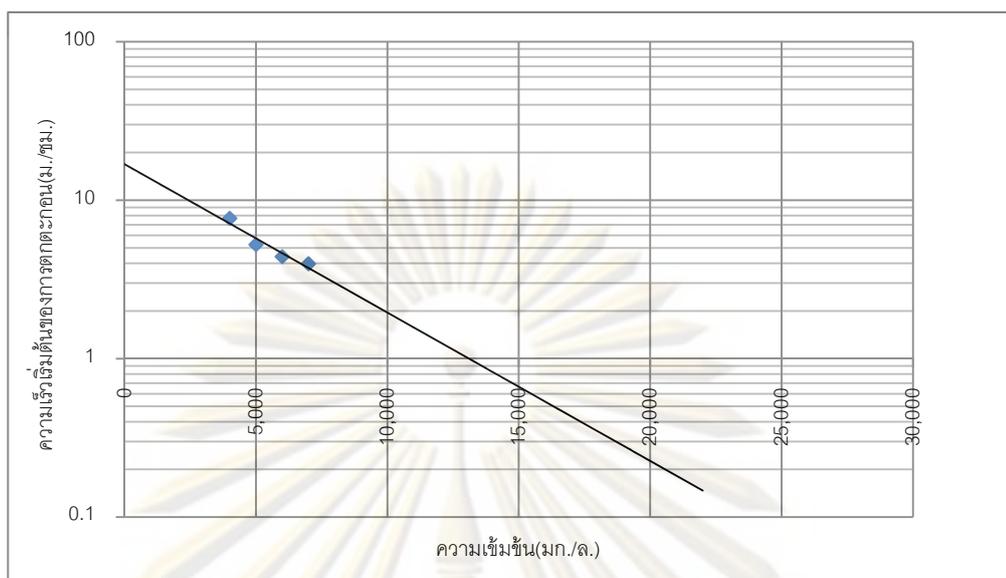
ค.2 การเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการตกตะกอนและความเข้มข้น เพื่อใช้ในการคำนวณโซลิดฟลักซ์ (Solid Flux) ในการออกแบบถังตกตะกอนในถังปฏิกรณ์ที่มีการเติมถ่านกัมมันต์ชนิดผง



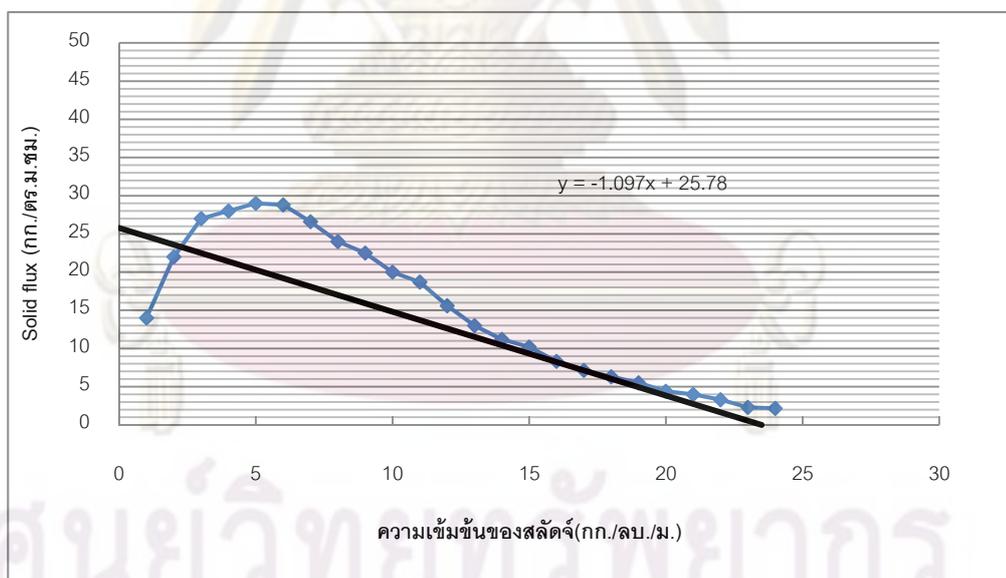
รูปที่ ค.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการตกตะกอนและความเข้มข้นของชุดควบคุม



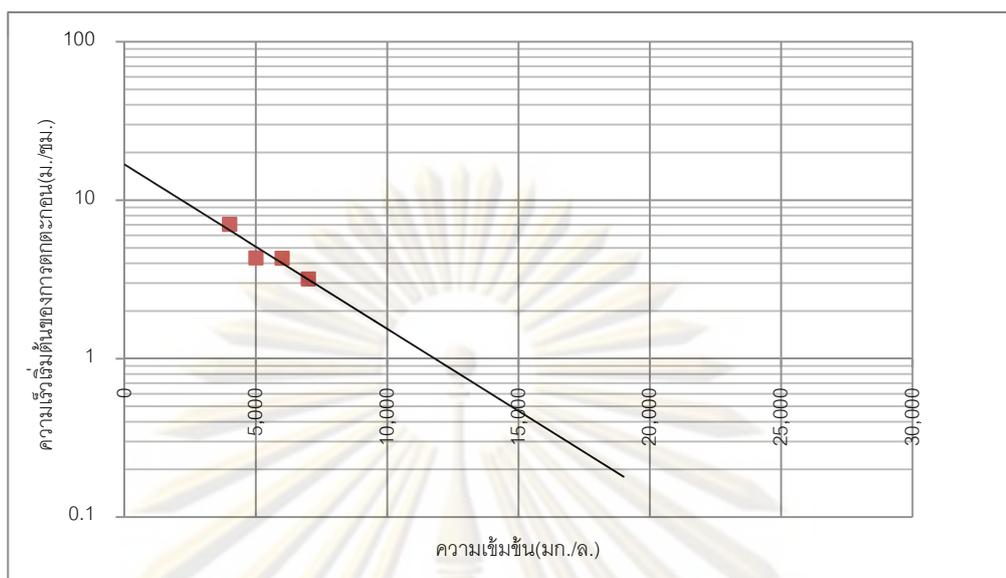
รูปที่ ค.10 โซลิดฟลักซ์ของชุดควบคุม



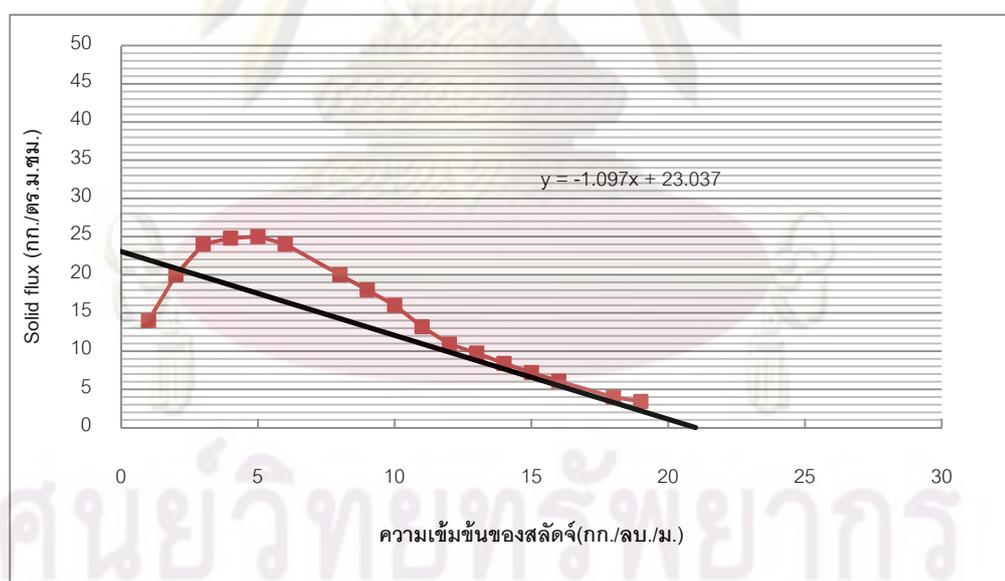
รูปที่ ค.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการตกตะกอนและความเข้มข้นของถ่านกัมมันต์ชนิดผงขนาด 5 ไมโครเมตร



รูปที่ ค.12 โหลดฟลักซ์ของถ่านกัมมันต์ชนิดผงขนาด 5 ไมโครเมตร

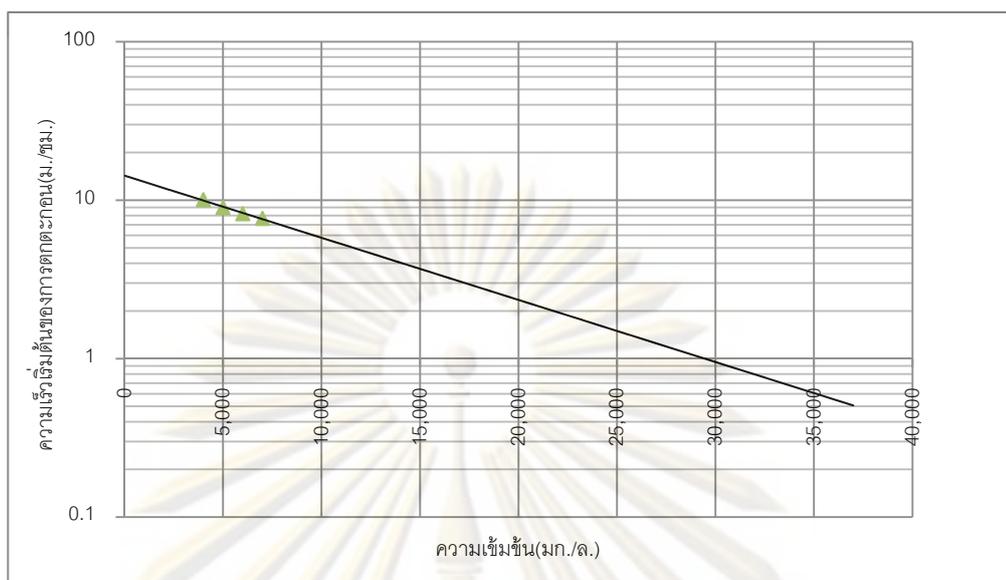


รูปที่ ค.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการตกตะกอนและความเข้มข้นของถ่านกัมมันต์ชนิดผงขนาด 10 ไมโครเมตร

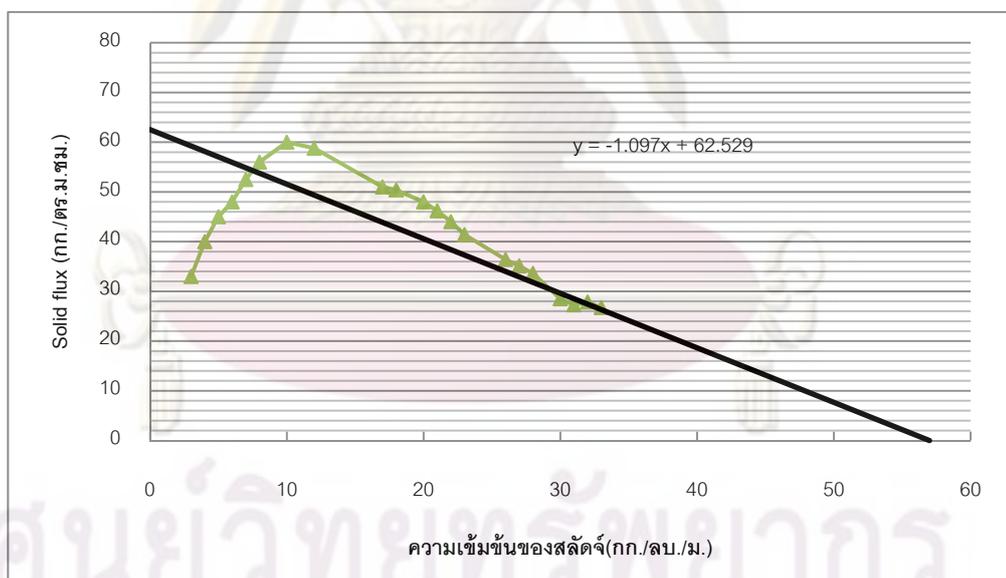


รูปที่ ค.14 ไชลิตฟลักซ์ของถ่านกัมมันต์ชนิดผงขนาด 10 ไมโครเมตร

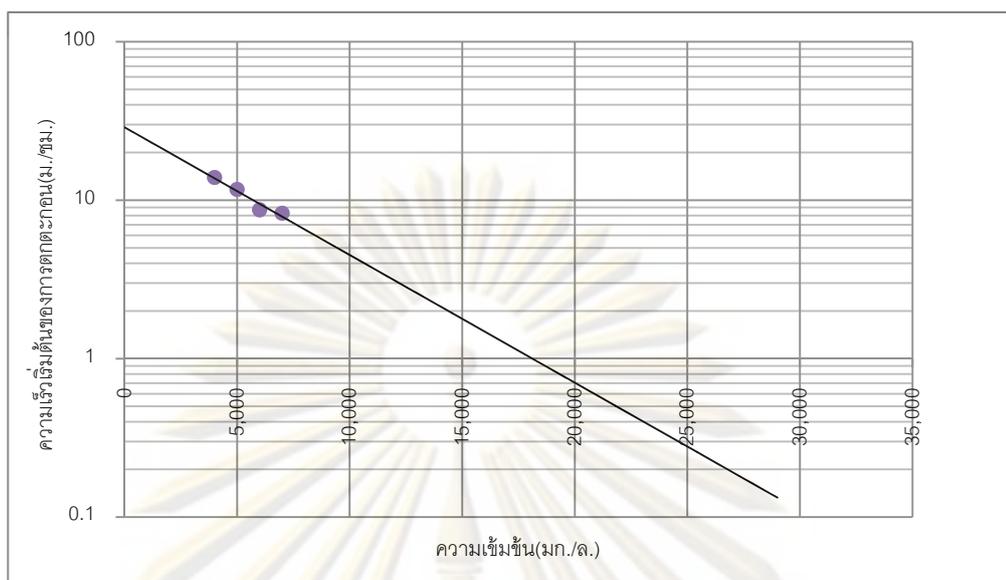




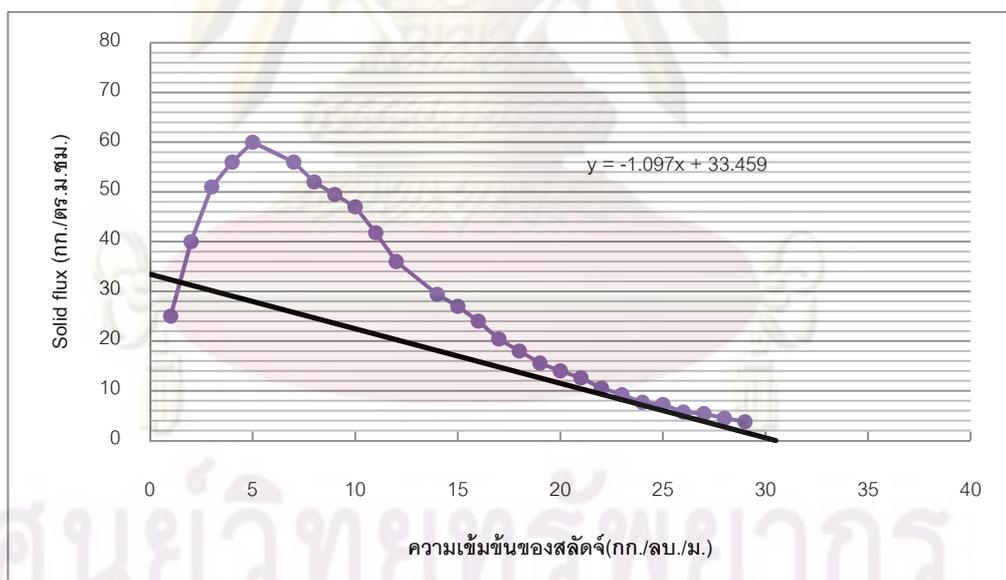
รูปที่ ค.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการตกตะกอนและความเข้มข้น  
ของถ่านกัมมันต์ชนิดผงขนาด 24 ไมโครเมตร



รูปที่ ค.16 โหลดฟลักซ์ของถ่านกัมมันต์ชนิดผงขนาด 24 ไมโครเมตร

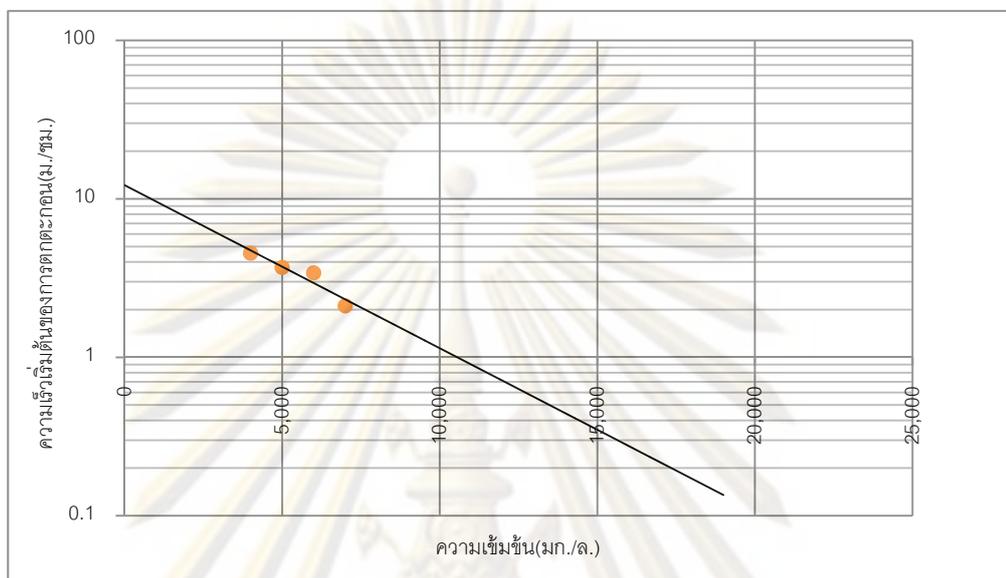


รูปที่ ค.17 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการตกตะกอนและความเข้มข้นของถ่านกัมมันต์ชนิดผงขนาด 99 ไมโครเมตร

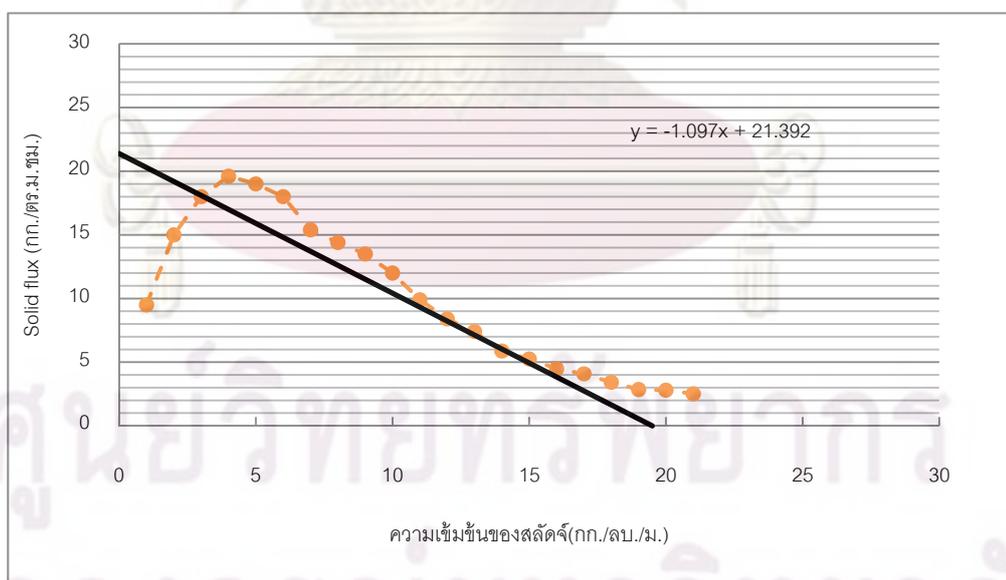


รูปที่ ค.18 โหลดฟลักซ์ของถ่านกัมมันต์ชนิดผงขนาด 99 ไมโครเมตร

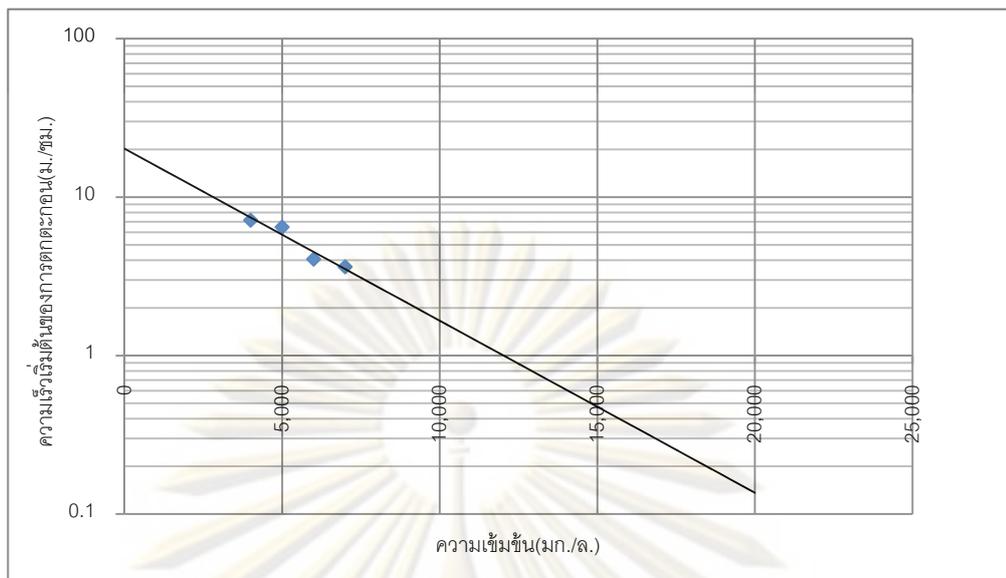
ค.3 การเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการตกตะกอนและความเข้มข้น เพื่อใช้ในการคำนวณโซลิดฟลักซ์ (Solid Flux) ในการออกแบบถังตกตะกอนในถังปฏิกรณ์ที่มีการเติมยารถยนต์บดละเอียด



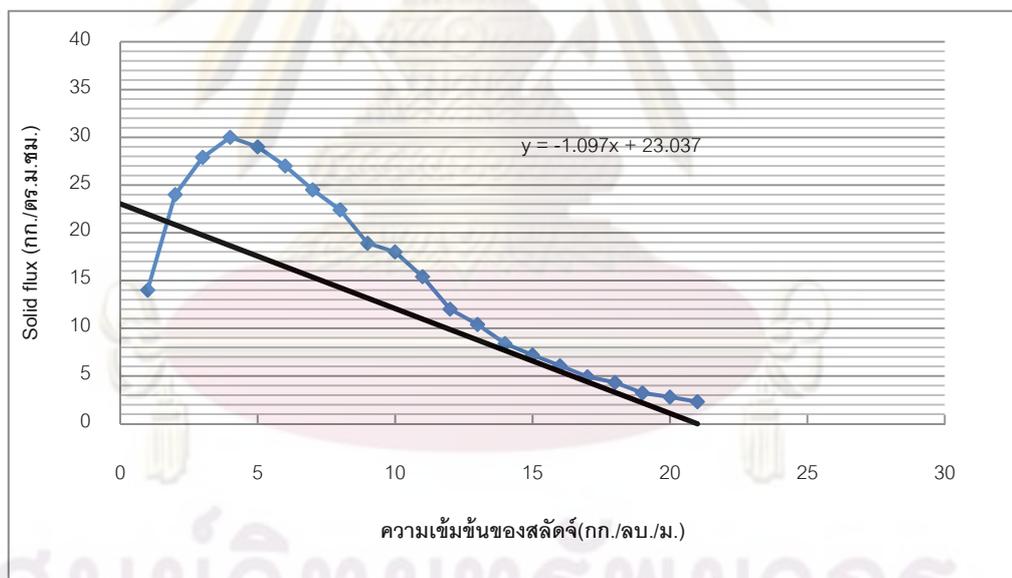
รูปที่ ค.19 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการตกตะกอนและความเข้มข้นของชุดควบคุม



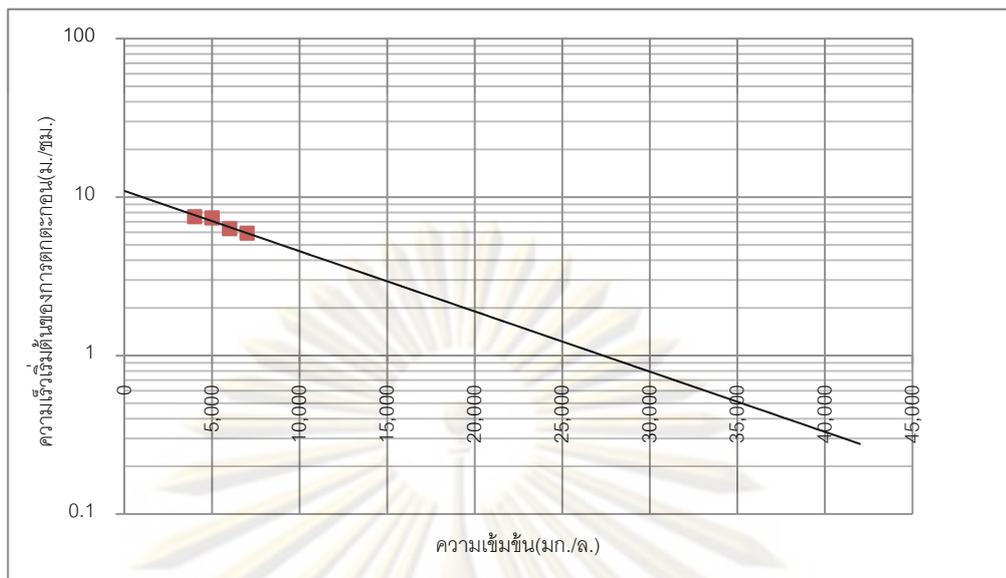
รูปที่ ค.20 โซลิดฟลักซ์ของชุดควบคุม



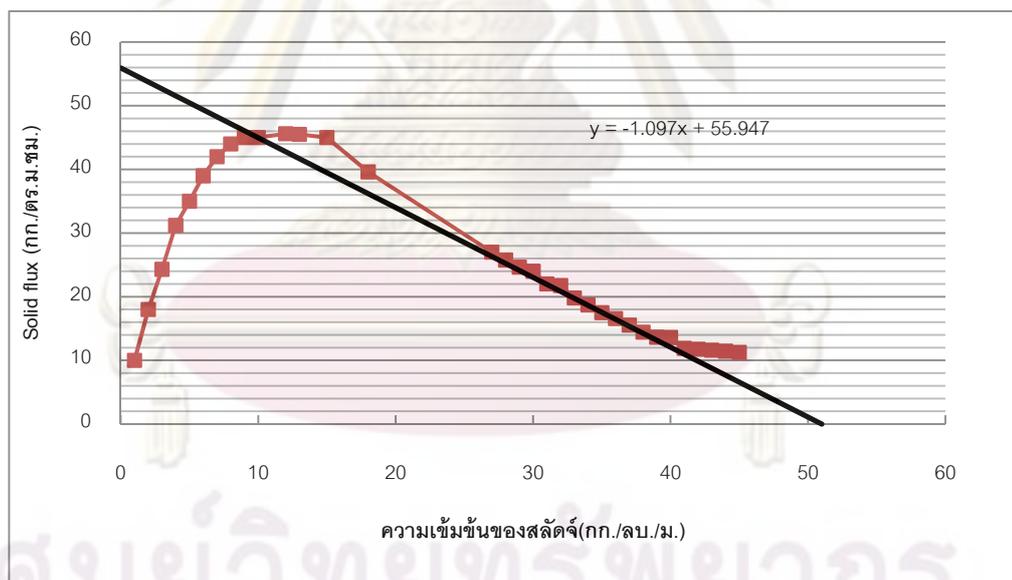
รูปที่ ค.21 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการตกตะกอนและความเข้มข้น  
ของยางรถยนต์บดละเอียดขนาด 110 ไมโครเมตร



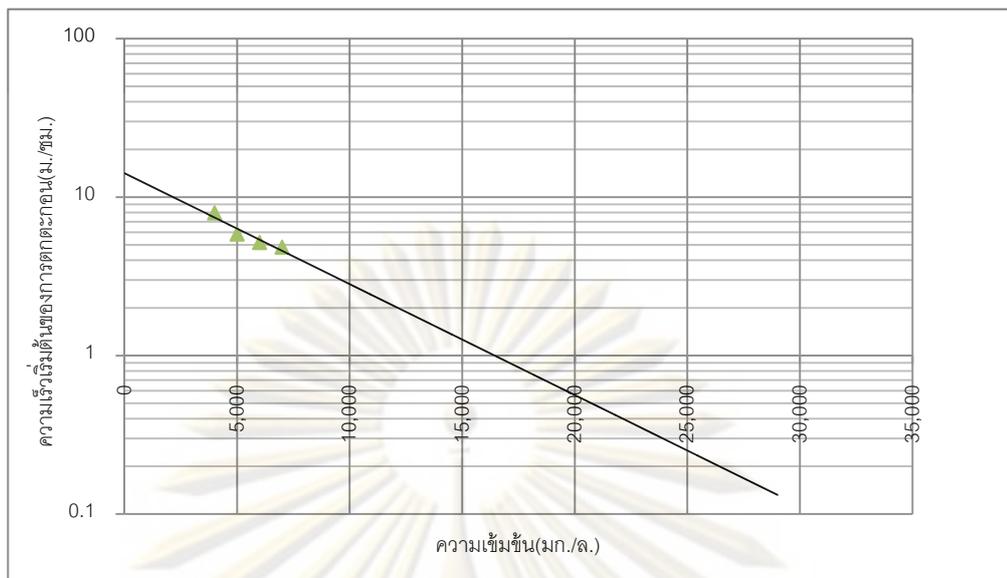
รูปที่ ค.22 โซลิดฟลักซ์ของยางรถยนต์บดละเอียดขนาด 110 ไมโครเมตร



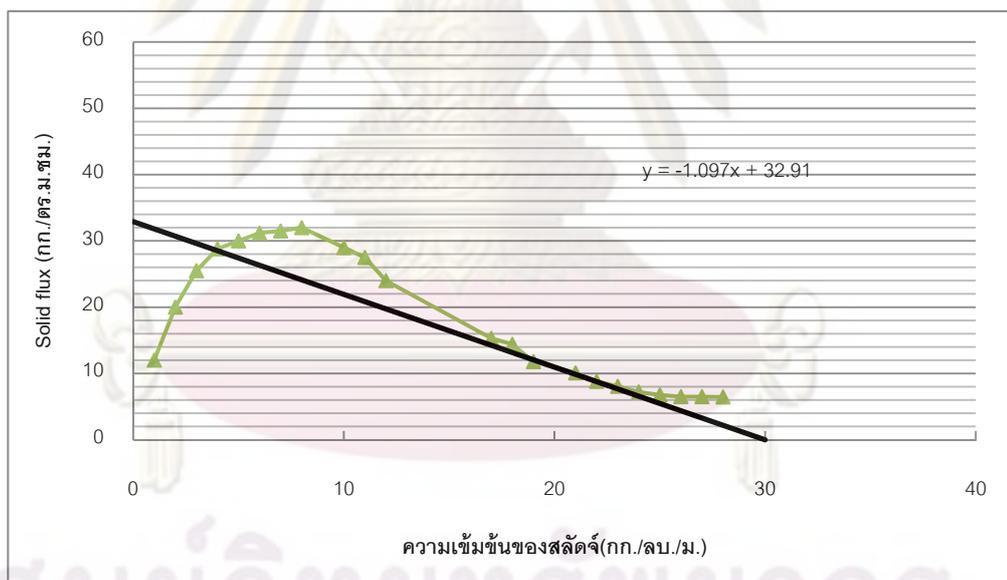
รูปที่ ค.23 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการตกตะกอนและความเข้มข้นของยางรถยนต์บดละเอียดขนาด 242 ไมโครเมตร



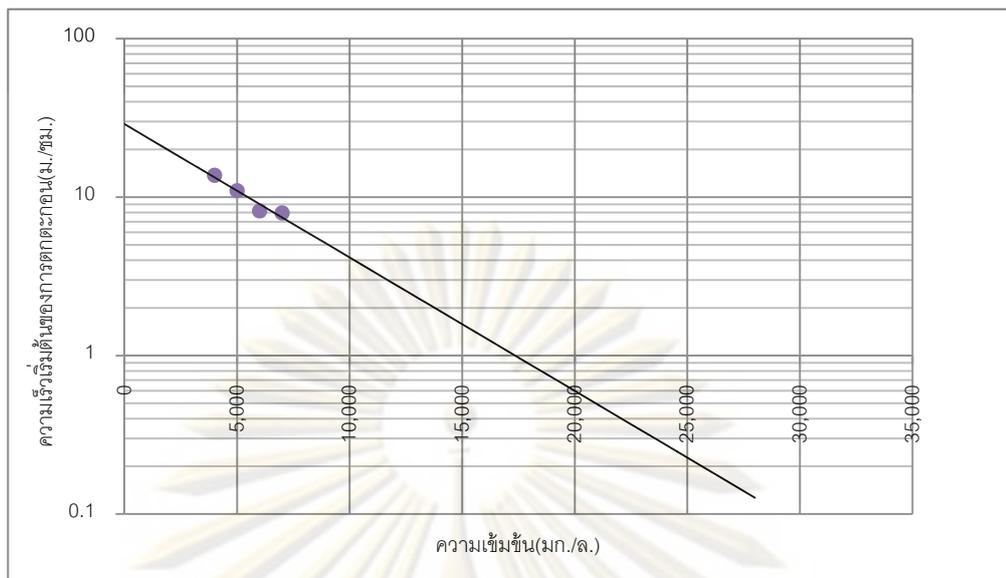
รูปที่ ค.24 โซลิดฟลักซ์ของยางรถยนต์บดละเอียดขนาด 242 ไมโครเมตร



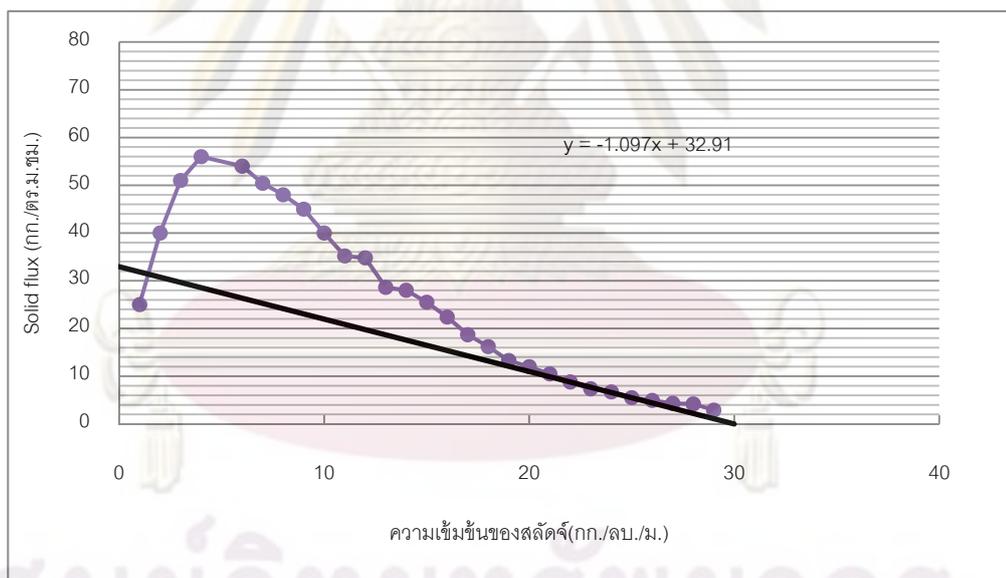
รูปที่ ค.25 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการตกตะกอนและความเข้มข้นของยางรถยนต์บดละเอียดขนาด 656 ไมโครเมตร



รูปที่ ค.26 โซลิดฟลักซ์ของยางรถยนต์บดละเอียดขนาด 656 ไมโครเมตร

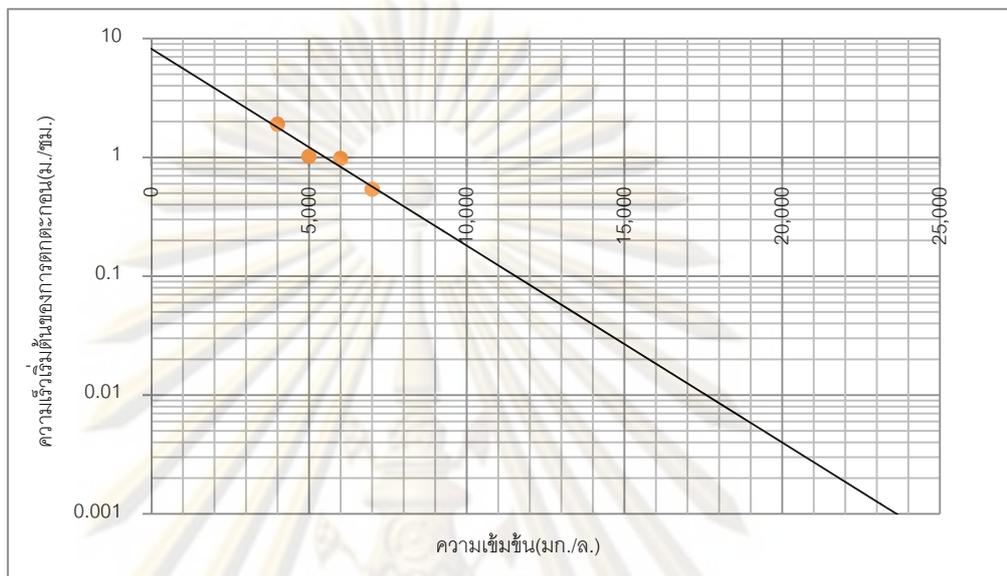


รูปที่ ค.27 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการตกตะกอนและความเข้มข้นของยางรถยนต์บดละเอียดขนาด 848 ไมโครเมตร

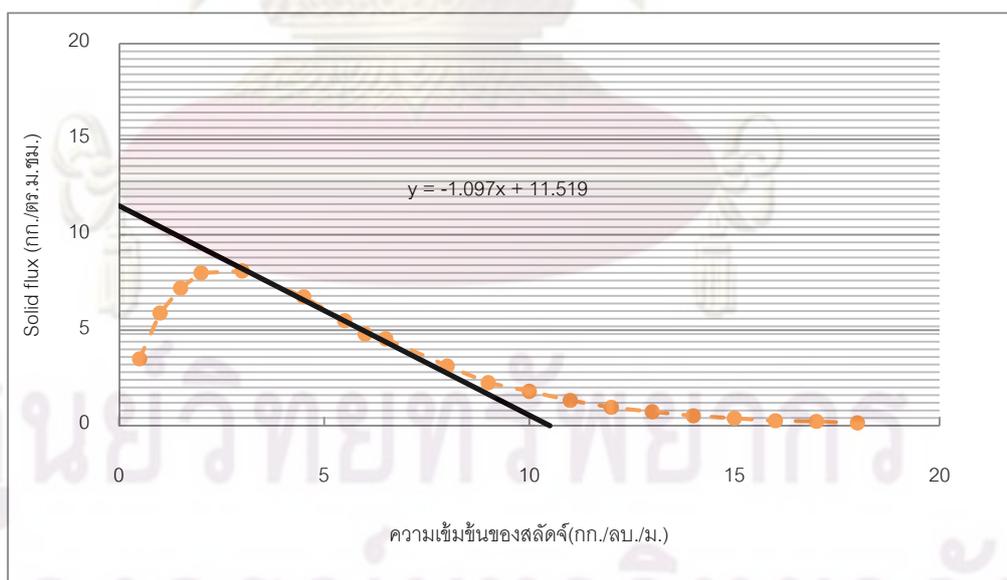


รูปที่ ค.28 โซลิดฟลักซ์ของยางรถยนต์บดละเอียดขนาด 848 ไมโครเมตร

ค.4 การเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการตกตะกอนและความเข้มข้น เพื่อใช้ในการคำนวณโซลิดฟลักซ์ (Solid Flux) ในการออกแบบถังตกตะกอนของสลัดจ์โรงบำบัดน้ำเสียชุมชนดินแดง



รูปที่ ค.29 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการตกตะกอนและความเข้มข้นของสลัดจ์โรงบำบัดน้ำเสียชุมชนดินแดง



รูปที่ ค.30 โซลิดฟลักซ์ของของสลัดจ์โรงบำบัดน้ำเสียชุมชนดินแดง



## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายสถิตรัตน์ รอดอารี เกิดเมื่อวันที่ 2 มิถุนายน พ.ศ.2524 ที่จังหวัดบุรีรัมย์ สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เมื่อปี พ.ศ. 2548 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2549



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย