

ค่าจลนพลศาสตร์ของการบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นต่ำด้วยเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2565

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Kinetic of Low Concentration Wastewater Treatment with Aerobic Granular Sludge



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

Department of Environmental Engineering

FACULTY OF ENGINEERING

Chulalongkorn University

Academic Year 2022

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ค่าจลนพลศาสตร์ของการบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นต่ำด้วย เม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศ
โดย	น.ส.วีรสุดา รับสิริ
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรัณย์ เตชะเสน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

.....	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)	
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	
.....	ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.เขมรัฐ โอสถาปนัง)	
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรัณย์ เตชะเสน)	
.....	กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ลักษณ์ ฟังรัมย์)	
.....	กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สาโรช บุญยกิจสมบัติ)	

วีรสุตา รับศิริ : ค่าจลนพลศาสตร์ของการบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นต่ำด้วยเม็ดตะกอน
จุลินทรีย์แบบใช้อากาศ. (Kinetic of Low Concentration Wastewater Treatment
with Aerobic Granular Sludge) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ผศ. ดร.ศรัณย์ เตชะเสน

งานวิจัยนี้ศึกษาการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ประสิทธิภาพและอัตราการบำบัดซีโอดี
และค่าจลนพลศาสตร์ของการบำบัดน้ำเสียด้วยเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศที่ความเข้มข้นซี
โอดี 50-1000 มิลลิกรัมต่อลิตร เติในระบบในถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์โดยมีน้ำตาลทรายเป็นแหล่ง
คาร์บอนที่ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้นในระบบ 500 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร และแอมโมเนียมคลอไรด์
เป็นแหล่งไนโตรเจนที่ความเข้มข้นแอมโมเนียมเท่ากับ 100 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร รอบการ
บำบัด 4 ชั่วโมง ความเร็วในการเติมอากาศ 3.5 เซนติเมตรต่อวินาที ระยะเวลาตกตะกอน 15 นาที
และสัดส่วนทดแทนน้ำเสียร้อยละ 60 ผลการทดลองพบว่า หลังจากเดินระบบแล้ว 28 วัน เริ่มพบ
การก่อตัวของเม็ดตะกอนในระบบ หลังจากนั้นเปลี่ยนความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น 1,000 500 250
100 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยคงสัดส่วน C:N เท่ากับ 10:1 โดยเดินระบบเช่นเดียวกับการ
สร้างเม็ดตะกอน พบว่าที่ความเข้มข้นซีโอดีที่สูงที่สุดของระบบ ขนาดเม็ดตะกอนที่พบในระบบจะมี
ขนาดใหญ่กว่าที่ความเข้มข้นซีโอดีที่ต่ำ โดยขนาดเม็ดตะกอนที่ใหญ่ที่สุดมีขนาด 5 มิลลิเมตร ค่า
MLSS เฉลี่ยเท่ากับ $19,195 \pm 5,089$ $7,699 \pm 2,619$ $7,160 \pm 945$ $3,553 \pm 1,259$ และ $1,365 \pm 671$
มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ระบบเม็ดตะกอนดังกล่าวมีค่า SVI5 อยู่ระหว่าง 14-35 มิลลิกรัมต่อ
กรัม และค่า SVI30 อยู่ระหว่าง 12-24 มิลลิกรัมต่อกรัม ตลอดการทดลอง ความหนาแน่นของ
ตะกอนที่ความเข้มข้นซีโอดี 50 100 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ใกล้เคียงกันอยู่ที่ 1.096-1.123
กรัมต่อมิลลิกรัม ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทุกความเข้มข้นมีค่าเฉลี่ยมากกว่าร้อยละ 94 และ
จากการหาอัตราการบำบัดจำเพาะที่ความเข้มข้นซีโอดีต่างๆ พบว่าเป็นไปตามสมการของโมนอด
(Monod's Equation) โดยมีค่าอัตราการบำบัดซีโอดีจำเพาะสูงสุดของระบบ (k_m) เท่ากับ
 15.2 ± 2.88 มิลลิกรัมซีโอดีต่อมิลลิกรัม MLVSS ต่อวัน และความเข้มข้นที่อัตราการบำบัดเท่ากับ
ครึ่งหนึ่งของอัตราบำบัดสูงสุด (K_s) เท่ากับ 121 ± 74 มิลลิกรัมต่อลิตร

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ลายมือชื่อนิสิต

ปีการศึกษา 2565

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

6370271721 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORD: Low concentrations wastewater, Aerobic granular sludge, Kinetic,
High concentration sludge

Weesuda Rubsiri : Kinetic of Low Concentration Wastewater Treatment
with Aerobic Granular Sludge. Advisor: Asst. Prof. SARUN TEJASEN

This research studied the formation of aerobic granular sludge (AGS), treatment efficiency for chemical oxygen demand (COD) removal, removal rates and kinetic parameters during COD concentrations 50-1,000 mg/l in sequencing batch reactor (SBR). Sugar and ammonium chloride (NH_4Cl) were used as carbon and nitrogen sources. The initial sugar and NH_4Cl were 500 mgCOD/l and 100 mgN/l. The reactor operated 4 hours per round with aeration speed of 3.5 cm/s: settling time 15 min and 60% volumetric exchange ratio (VER). Result showed ASG started forming after 28 days with the various influent COD concentrations: 1,000, 500, 250, 100 and 50 mg/l with C:N constant ratio of 10:1. Higher COD resulted in larger AGS. The largest AGS was 5 mm, MLSS average varied at 19,195±5,089 7,699±2,619 7,160±945 3,553±1,259 and 1,365±671 mg/l, respectively. The sludge volume index: SVI₅ were between 14 – 35 ml/g and SVI₃₀ were 12-24 ml/g. The AGS density with 50,100 and 500 mgCOD/l were 1.096-1.123 g/ml. AGS system achieved COD removal of 94 percent in all concentrations. Specific COD removal rates with varied concentrations followed Monod's Equation with specific maximum removal rate (k_m) of 15.2±2.88 mgCOD/mgMLVSS/day and half specific maximum removal rate (K_s) of 121±74 mg/l.

Field of Study: Environmental Engineering Student's Signature

Academic Year: 2022 Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจากบุคคลหลายท่าน ทางผู้วิจัยมีความซาบซึ้งต่อความกรุณาของพวกท่านเป็นอย่างยิ่ง ดังนี้

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ศรีณย์ เตชะเสน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งให้ความรู้ คำชี้แนะที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย ตลอดจนสนับสนุนและผลักดันการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จ ผู้วิจัยตระหนักถึงความตั้งใจจริงและความทุ่มเทของอาจารย์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.เขมรัฐ โอสถาปนธ์ (ประธานกรรมการ) รองศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ลักษณ์ พึ่งรัมย์ (กรรมการ) และ ดร.สาโรช บุญยกิจสมบัติ (กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย) สำหรับคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย และชี้แนะให้งานวิจัยฉบับนี้เกิดความสำเร็จยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการติดตั้งอุปกรณ์ ตลอดจนเครื่องมือในการวิเคราะห์

ขอบคุณ สิริณิศา สุขวิบูลย์ (ใบปอ) และนุกที่คอยช่วยเหลือ เชื้อมนัน และให้กำลังใจต่อผู้วิจัยเสมอมา ท่านเป็นแรงผลักดันที่ยิ่งใหญ่ที่ช่วยให้ผู้วิจัยสามารถประสบความสำเร็จในครั้งนี้ได้

ขอบคุณพี่ชมพู และทุกคนในภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ที่คอยช่วยเหลือ แนะนำ และให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ด้วยดีตลอดมา

และสุดท้ายขอบคุณคุณพ่อและครอบครัวรับสิริที่คอยสนับสนุน ให้กำลังใจ และช่วยแก้ไขปัญหา จนทำให้งานวิจัยนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วีร์สุดา รับสิริ

สารบัญ

	หน้า
.....	ค
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ชื่อวิทยานิพนธ์.....	1
1.2 คำสำคัญ	1
1.3 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.4 วัตถุประสงค์	2
1.5 ขอบเขตงานวิจัย.....	3
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 กระบวนการบำบัดทางชีวภาพ.....	4
2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์แบบใช้อากาศ	4
2.2.1 ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย.....	5
2.2.2 อาหารเสริม (Nutrient)	5
2.2.3 ออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen)	5

2.2.4	ระยะเวลาในการบำบัด (Retention time)	5
2.2.5	พีเอช (pH)	5
2.2.6	สารเป็นพิษ (Toxicity).....	6
2.2.7	อุณหภูมิ (Temperature).....	6
2.2.8	การกวนผสม (Mixing)	6
2.2.9	อัตราการไหลของน้ำ (Flow rate).....	6
2.3	ระบบบำบัดโดยเม็ดตะกอนจุลินทรีย์	6
2.3.1	เม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศ	6
2.3.2	ปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศ.....	9
2.3.2.1	ความเข้มข้นน้ำเสีย	9
2.3.2.2	รอบการบำบัด	9
2.3.2.3	ความเร็วในการเติมอากาศ.....	10
2.3.2.4	ระยะเวลาในการตกตะกอน.....	12
2.3.2.5	อุณหภูมิ.....	13
2.3.2.6	พีเอช.....	13
2.3.2.7	สัดส่วนทดแทนน้ำเสีย.....	14
2.4	จลนพลศาสตร์ของการบำบัดน้ำเสีย	15
2.4.1	ปฏิกิริยาอันดับที่ศูนย์	15
2.4.2	ปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่ง	16
2.4.3	ปฏิกิริยาอันดับที่สอง.....	17
2.4.4	ปฏิกิริยาแบบสมการโมโนต์.....	18
2.5	ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	20
2.5.1	การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการสร้างและปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบ ใช้อากาศ.....	20

2.5.2 การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับประสิทธิภาพในการบำบัดด้วยเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้ อากาศ	25
2.5.3 การเพิ่มความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ด้วยเทคโนโลยีการบำบัดอื่นๆ.....	27
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	34
3.1 วิธีการดำเนินงานวิจัย	34
3.2 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย	38
3.2.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์น้ำเสีย	38
3.2.2 น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลอง	41
3.2.3 หัวเชื้อจุลินทรีย์	42
3.2.4 ถังปฏิกรณ์	42
3.2.5 อัตราการเติมอากาศ.....	43
3.2.6 แผนผังการเดินระบบ	44
3.3 การดำเนินงานวิจัย	46
3.3.1 การสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศ.....	46
3.3.2 ศึกษาอัตราการบำบัดซีโอดีโดยเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศที่ความเข้มข้นต่างๆ	47
3.3.3 การหาค่าจลนพลศาสตร์ของการบำบัดซีโอดีโดยเม็ดตะกอนจุลินทรีย์.....	49
3.3.4 พารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัดและวิเคราะห์.....	52
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	53
4.1 เม็ดตะกอนจุลินทรีย์	53
4.1.1 การสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศ.....	53
4.1.2 ลักษณะของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ความเข้มข้นซีโอดีต่างๆ	54
4.1.3 ขนาดเม็ดตะกอนที่ความเข้มข้นซีโอดีที่แตกต่างกัน.....	62
4.1.4. ลักษณะพื้นผิวเม็ดตะกอน	65

4.2 การวิเคราะห์ทางกายภาพของตะกอน.....	68
4.2.1 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (MLSS) และของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย (MLVSS).....	68
4.2.2 ดัชนีปริมาตรตะกอน (SVI).....	72
4.2.3 ความหนาแน่นของตะกอน (Biomass density) และความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)	75
4.3 การวิเคราะห์ทางเคมีของตะกอน.....	75
4.3.1 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี.....	75
4.3.2 อัตราการบำบัดจำเพาะของระบบ.....	78
4.4 ค่าจลนพลศาสตร์ในการบำบัดซีโอดี.....	79
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	84
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	84
5.1.1 การสร้างเม็ดตะกอน.....	84
5.1.2 ความเข้มข้นซีโอดีที่แตกต่างกันต่อลักษณะเม็ดตะกอนจุลินทรีย์.....	84
5.1.2.1 เม็ดตะกอนและลักษณะของเม็ดตะกอน.....	84
5.1.2.2 ลักษณะพื้นผิวเม็ดตะกอน.....	84
5.1.3 การวิเคราะห์ทางกายภาพ.....	85
5.1.3.1 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (MLSS).....	85
5.1.3.2 ดัชนีปริมาตรตะกอน (SVI)	85
5.1.3.3 ความหนาแน่นของตะกอน.....	85
5.1.4 การวิเคราะห์ทางเคมี.....	86
5.1.3.1 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของเม็ดตะกอน.....	86
5.1.3.2 อัตราการบำบัดจำเพาะของระบบ.....	86
5.1.5 ค่าจลนพลศาสตร์ในการบำบัดซีโอดี.....	86
5.2 คำแนะนำของการนำไปใช้จริง.....	86

5.3 ข้อเสนอแนะของงานวิจัยต่อไป.....	87
5.3.1 ขนาดเม็ดตะกอนต่อความเข้มข้นซีโอดีที่เปลี่ยนไป	87
5.3.2 อายุตะกอน	87
5.3.3 ถังปฏิกิริยาเอสปีอาร์และอุปกรณ์ประกอบ	87
5.3.3.1 ตู้ควบคุมไฟฟ้า.....	87
5.3.3.2 โซรินอยด์วาล์ว	88
บรรณานุกรม.....	89
ภาคผนวก.....	94
ประวัติผู้เขียน.....	114



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ความแตกต่างระหว่าง ฟลื้อระบบเอเอสและเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศ	7
ตารางที่ 2.2 ลักษณะของเม็ดตะกอนที่สร้างจากความเข้มข้นของซีโอดีที่แตกต่างกัน	9
ตารางที่ 2.3 สรุปองค์ความรู้ที่ได้จากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	29
ตารางที่ 3.1 สารอาหารจำเป็นที่เป็นส่วนประกอบของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลอง	42
ตารางที่ 3.2 ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทดลองที่ 1 และ 2	51
ตารางที่ 3.3 พารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัดและวิเคราะห์ในการทดลองที่ 1 และ 2	52
ตารางที่ 4.1 ระยะเวลาในการเดินระบบ	55
ตารางที่ 4.2 ลักษณะของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ต่อความเข้มข้นต่างๆ	57
ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบขนาดตะกอนที่ความเข้มข้นซีโอดีต่างๆ	63
ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบลักษณะของเม็ดตะกอนที่ความเข้มข้นซีโอดีที่แตกต่างกัน	64
ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบลักษณะพื้นผิวตะกอนจากภาพถ่าย SEM	67
ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบค่าจลนพลศาสตร์ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศ	82

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ความเข้มข้นชีวมวลในระบบต่อระยะเวลาในการเดินระบบ	10
รูปที่ 2.2 ลักษณะของเม็ดตะกอนที่ความเร็วอากาศที่แตกต่างกัน	11
รูปที่ 2.3 อิทธิพลของความเร็วลมต่อ SVI และความหนาแน่นของชีวมวล	11
รูปที่ 2.4 ลักษณะของเม็ดตะกอนที่ระยะเวลาในการตกตะกอนแตกต่างกัน	12
รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนเม็ดตะกอนกับระยะเวลาในการตกตะกอน	13
รูปที่ 2.6 อัตราส่วนของเม็ดตะกอนต่อสัดส่วนการทดแทนน้ำเสียที่ระดับต่างๆ	14
รูปที่ 2.7 สัดส่วนการทดแทนน้ำเสียที่ระดับต่างๆ	15
รูปที่ 2.8 ปฏิกริยาอันดับที่ศูนย์	16
รูปที่ 2.9 ปฏิกริยาอันดับที่หนึ่ง	17
รูปที่ 2.10 ปฏิกริยาอันดับที่สอง	18
รูปที่ 2.11 ปฏิกริยาแบบสมการโมนด์	19
รูปที่ 3.1 วิธีการทดลอง	37
รูปที่ 3.2 ถังปฏิกริยาเอสปีอาร์	43
รูปที่ 3.3 แผนผังการเดินระบบในถังปฏิกริยาเอสปีอาร์	44
รูปที่ 3.4 ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าและตัวตั้งเวลาระบบบำบัดถังปฏิกริยา	45
รูปที่ 3.5 การหาอัตราการบำบัดของสารที่ความเข้มข้นต่างๆ	49
รูปที่ 3.6 รูปแบบของจลนพลศาสตร์ในการบำบัดน้ำเสีย	50
รูปที่ 4.1 รูปเม็ดตะกอนที่เกิดขึ้นในระบบ	54
รูปที่ 4.2 ลักษณะพื้นผิวเม็ดตะกอนที่กำลังขยาย 500 เท่า	66
รูปที่ 4.3 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (MLSS) ของระบบในถังปฏิกริยาที่ 1	70
รูปที่ 4.4 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (MLSS) ของระบบในถังปฏิกริยาที่ 2	70

รูปที่ 4.5 อัตราส่วนของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย (MLVSS) ต่อของแข็งแขวนลอย (MLSS)	71
รูปที่ 4.6 ดัชนีปริมาตรตะกอน(SVI) ของระบบในถังปฏิกริยาที่ 1.....	74
รูปที่ 4.7 ดัชนีปริมาตรตะกอน(SVI) ของระบบในถังปฏิกริยาที่ 2.....	74
รูปที่ 4.8 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของระบบในถังปฏิกริยาที่ 1.....	77
รูปที่ 4.9 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของระบบในถังปฏิกริยาที่ 2.....	77
รูปที่ 4.10 การวิเคราะห์อัตราการผลิตซีโอดี	78
รูปที่ 4.11 ตัวอย่างกราฟสำหรับวิเคราะห์หาอัตราการผลิต	79
รูปที่ 4.12 อัตราการผลิตซีโอดีของเม็ดตะกอน.....	80



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ชื่อวิทยานิพนธ์

ชื่อภาษาไทย : ค่าจลนพลศาสตร์ของการบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นต่ำด้วยเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศ

ชื่อภาษาอังกฤษ : Kinetic of Low Concentrations Wastewater Treatment with Aerobic Granular Sludge

1.2 คำสำคัญ

น้ำเสียความเข้มข้นต่ำ (Low concentrations wastewater)

เม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศ (Aerobic granular sludge)

ค่าจลนพลศาสตร์ (Kinetic)

ตะกอนความเข้มข้นสูง (High concentration sludge)

1.3 ที่มาและความสำคัญ

น้ำเสียชุมชนเป็นน้ำเสียที่มีปริมาณสารอินทรีย์ปนเปื้อนหลากหลายประเภท โดยมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียต่ำ ทำให้นิยมใช้ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบใช้อากาศ โดยเฉพาะระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกทิเวตเต็ดสลัดจ์ (Activated sludge: AS) ซึ่งอาศัยจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ระบบนี้มีข้อจำกัดอยู่หลายประการ เช่น ความสามารถในการตกตะกอนที่ไม่ดีหนักของกลุ่มจุลินทรีย์ (Floc) สร้างตะกอนจุลชีพได้น้อยในถังเติมอากาศ ใช้พลังงานในการเดินระบบที่สูง จำเป็นต้องมีถังเติมอากาศและถังตกตะกอนที่แยกกัน ซึ่งทำให้ระบบมีขนาดใหญ่ (Nancharaiah และคณะ, 2018)

ในปัจจุบันมีการพัฒนาเทคโนโลยีในการบำบัดน้ำเสียโดยเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศ ซึ่งถูกค้นพบในปี ค.ศ. 1997 โดย Morgenrouth เมื่อเปรียบเทียบกับการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศในถังยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket; UASB) พบว่าสามารถลดระยะเวลาในการสร้างเม็ดตะกอนและมีประสิทธิภาพในการบำบัดที่สูงเช่นกัน ทำให้ระบบบำบัดโดยเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศได้รับการวิจัยและพัฒนาอย่างกว้างขวางขึ้น โดยเม็ดตะกอน

จุลินทรีย์แบบใช้อากาศมีคุณสมบัติที่ดี ได้แก่ โครงสร้างเม็ดตะกอนมีความหนาแน่นและแข็งแรง ตะกอนชีวภาพมีความเข้มข้นสูงและมีระยะเวลาในการตกตะกอนที่รวดเร็ว รวมถึงความสามารถในการทนต่ออัตราภาระสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate : OLR) (Adav และ คณะ, 2007; Liu และ Tay, 2008) และหากเปรียบเทียบกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอ็กทิเวเต็ดสลัดจ์ในการสร้างตะกอนจุลินทรีย์ พบว่า ระบบเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศสามารถสร้างตะกอนจุลินทรีย์ 8,000-30,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (อริยะ กาญจนโกมุท, 2562) ซึ่งมากกว่าระบบแบบแอ็กทิเวเต็ดสลัดจ์ธรรมดาที่สามารถสร้างตะกอนจุลินทรีย์ได้เพียง 1,500-3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร นอกจากนี้การเพิ่มความเข้มข้นของตะกอนไม่ได้มีเพียงการใช้ระบบเม็ดตะกอนจุลินทรีย์เท่านั้น แต่ยังมีอีกหลากหลายวิธี เช่น การเพิ่มเม็ดเจลโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (Poly Vinyl Alcohol Gel; PVA gel) เป็นเม็ดทรงกลม โครงสร้างภายในคล้ายตาข่ายมีรูพรุนขนาดเล็ก โดยเม็ดพีวีเอเจลทำหน้าที่เปรียบเสมือนตัวพาให้เกิดการรวมตัวของจุลินทรีย์ กระบวนการพามีข้อดีคือ เพิ่มความเข้มข้นของชีวมวลในระบบ สามารถแยกตะกอนกับน้ำได้ดี และประสิทธิภาพในการบำบัดสูง (Wang และ คณะ, 2018) ถึงปฏิบัติการชีวภาพแบบเมมเบรน (Membrane bioreactor; MBR) เป็นกระบวนการที่ผสมผสานระหว่าง การบำบัดตะกอนเร่งและการกรองด้วยเมมเบรน โดยเมมเบรนจะแยกน้ำใสออกจากตะกอนจุลินทรีย์ช่วยให้กักเก็บตะกอนจุลินทรีย์ในระบบได้ ทำให้ความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ในระบบสูงซึ่งระบบ MBR มีความเข้มข้นของตะกอนในถังเติมอากาศ 3,000-15,000 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่การใช้วิธีดังกล่าวข้างต้นก็ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของราคาที่สูงและต้องอาศัยผู้ดูแลและเดินระบบที่ชำนาญ (Wisniewski และ คณะ, 2007) ทั้งนี้หากใช้ระบบเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศซึ่งเป็นการรวมกลุ่มของจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นเองได้ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมสามารถมีความเข้มข้นของตะกอนสูงๆได้ ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดที่สูงและมีแนวโน้มที่จะลดขนาดบ่อบำบัดได้มาก

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจต่อการนำระบบเม็ดตะกอนแบบใช้อากาศมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียชุมชน เพื่อทำการศึกษาประสิทธิภาพและอัตราการบำบัดซีโอดีจากการบำบัดโดยเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศ ซึ่งเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ระบบบำบัดโดยเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศในอนาคตต่อไป

1.4 วัตถุประสงค์

- 1.4.1 การสร้างเม็ดตะกอนแบบใช้อากาศในน้ำเสียชุมชน
- 1.4.2 ศึกษาประสิทธิภาพและอัตราการบำบัดซีโอดีที่ความเข้มข้นต่างๆ โดยเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศ
- 1.4.3 หาค่าจลนพลศาสตร์ของการบำบัดซีโอดีโดยเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศ

1.5 ขอบเขตงานวิจัย

- 1.5.1 ทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ ดำเนินการที่อุณหภูมิตั้ง ณ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- 1.5.2 เลี้ยงเม็ดตะกอนโดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบเอสปีอาร์ (Sequencing Batch Reactor) ซึ่งทำจากอะคริลิครูปทรงกระบอก ปริมาตร 12 ลิตร ความจุน้ำเสีย 8 ลิตร ที่ความสูง 1.3 เมตร และเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1 เมตร
- 1.5.3 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้น้ำตาลทรายเป็นแหล่งคาร์บอน และใช้แอมโมเนียมคลอไรด์เป็นแหล่งไนโตรเจน
- 1.5.4 น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลองมีความเข้มข้นของซีโอดี 500 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร และความเข้มข้นของแอมโมเนียม 100 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร
- 1.5.5 ใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์จากระบบเอสเอสของโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง
- 1.5.6 ควบคุมพีเอชให้อยู่ในช่วง 6.5 - 7.5 ตลอดการทดลอง
- 1.5.7 เติรระบบ Batch Reactor ที่ความเข้มข้นซีโอดีเท่ากับ 50 100 250 500 และ 1,000 มิลลิกรัมซีโอดี/ลิตร โดยคงสัดส่วน COD:N เท่ากับ 10:1 เช่นเดียวกับลักษณะน้ำเสียชุมชน (กรมควบคุมมลพิษ, 2546)
- 1.5.8 พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ได้แก่ ซีโอดี (COD) พีเอช (pH) ของแข็งแขวนลอย (MLSS) ของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย (MLVSS) ดัชนีปริมาตรตะกอน (SVI) ปริมาตรตกตะกอนที่ 30 นาที (SV30) ขนาดเม็ดตะกอน (Granular size) ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) และความหนาแน่นของเม็ดตะกอน

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.6.1 เพื่อทราบประสิทธิภาพและอัตราการบำบัดซีโอดีในน้ำเสียโดยเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศ ณ ความเข้มข้นต่าง ๆ
- 1.6.2 เพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบและประยุกต์ใช้ระบบเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศในระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการบำบัดทางชีวภาพ

การบำบัดทางชีวภาพ (Biological Treatment) เป็นกระบวนการที่อาศัยจุลินทรีย์ในการกำจัดสิ่งเจือปนหรือสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยจุลินทรีย์จะใช้เป็นแหล่งอาหารและพลังงาน เมื่อเกิดการย่อยสลาย สารอินทรีย์ก็จะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และเซลล์จุลินทรีย์จำนวนมาก ทำให้ปริมาณสิ่งเจือปนและสารอินทรีย์ในน้ำลดลง ทั้งนี้ กระบวนการบำบัดทางชีวภาพที่นิยมใช้ในการบำบัดน้ำเสียชุมชน (สิริรัตน์ สุวณิชย์เจริญ และปราโมช เขียวชาญ, 2548) คือ

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ (Aerobic Process)

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ (Aerobic Process) เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่อาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจน (Aerobic bacteria) ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และน้ำ (H₂O) หลักการทำงานของกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศสามารถจำแนกได้ 2 ขั้นตอนตามลำดับ (กรมควบคุมมลพิษ, 2558) ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เป็นกระบวนการที่จุลินทรีย์แบบใช้อากาศจะทำการนำสารอาหารหรือสารอินทรีย์เข้าสู่เซลล์ โดยการส่งเอนไซม์ออกมาย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เกาะติดกับผนังเซลล์เพื่อทำการเปลี่ยนรูปของสารโมเลกุลให้มีความเล็กพอที่จะสามารถซึมผ่านเข้าไปสู่ตัวเซลล์ของจุลินทรีย์ได้

ขั้นตอนที่ 2 เป็นกระบวนการทางชีวเคมีภายในเซลล์ของจุลินทรีย์หลังจากที่ได้ดูดซึมสารอินทรีย์หรือสารอาหารเข้าสู่เซลล์ สารอินทรีย์เหล่านั้นจะถูกใช้เพื่อผลิตเป็นพลังงานนำไปใช้สำหรับกิจกรรมต่างๆ และการสร้างเซลล์ใหม่ โดยสามารถเขียนอยู่ในรูปของสมการได้ ดังนี้



2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์แบบใช้อากาศ

จุลินทรีย์แบบใช้อากาศ (Aerobic microorganisms) ที่ถูกนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียจำเป็นต้องอาศัยปัจจัยสำคัญต่างๆ ในการเจริญเติบโต ได้แก่ ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย อาหารเสริม ออกซิเจนละลายน้ำ ระยะเวลาในการบำบัด ค่าพีเอช สารเป็นพิษ อุณหภูมิ การกวน และอัตราการไหลของน้ำ เพื่อควบคุมให้ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัด

2.2.1 ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

สารอินทรีย์ในน้ำเสียจัดว่าเป็นอาหารของจุลินทรีย์ในระบบ เนื่องจากจุลินทรีย์จะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์เหล่านั้น เพื่อใช้ในการสร้างเซลล์ใหม่ หากความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในระบบมีมากจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์สูง การมีอาหารมากทำให้จุลินทรีย์เพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วและกระจายอยู่ทั่วแทนที่จะจับตัวเป็นก้อน (Floc) ทำให้การตกตะกอนไม่ดี แต่หากความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในระบบมีน้อย จุลินทรีย์จะน้อยลงเกิดตะกอนจุลินทรีย์และตกตะกอนได้เร็ว แต่ไม่สามารถจับตะกอนเล็กๆให้ตกลงมาได้ ส่งผลให้น้ำที่ออกจากถังตกตะกอนขุ่น (กรมควบคุมมลพิษ, 2554)

2.2.2 อาหารเสริม (Nutrient)

จุลินทรีย์ในระบบต้องการอาหารเสริม (Nutrient) ได้แก่ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และเหล็ก ปกติแร่ธาตุเหล่านี้มีอยู่ครบในน้ำเสียชุมชน ซึ่งการขาดอาหารเสริมจะทำให้กลุ่มตะกอนจุลินทรีย์เติบโตได้ไม่ดี และเกิดจุลินทรีย์ชนิดเส้นใยในระบบ ส่งผลให้ตะกอนตกตะกอนได้ยาก ปกติมักควบคุมอัตราส่วนค่า BOD: N: P: Fe เท่ากับ 100: 5: 1: 0.5 (กรมควบคุมมลพิษ, 2554)

2.2.3 ออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen)

ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในน้ำเสียจะต้องมีค่าอยู่ระหว่าง 1 ถึง 2 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์แบบใช้อากาศ ซึ่งค่าออกซิเจนละลายน้ำขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ กล่าวคือ ถ้าอุณหภูมิสูงออกซิเจนจะมีค่าการละลายน้ำอิมตัวต่ำ ทำให้ต้องเติมออกซิเจนมาก และสิ้นเปลืองพลังงานในขณะที่ถ้าอุณหภูมิต่ำออกซิเจนจะมีค่าการละลายน้ำอิมตัวสูงจึงเติมออกซิเจนน้อยกว่าที่อุณหภูมิสูง (กรมควบคุมมลพิษ, 2559)

2.2.4 ระยะเวลาในการบำบัด (Retention time)

ระยะเวลาในการบำบัดในบ่อเติมอากาศต้องมีมากเพียงพอต่อจุลินทรีย์จะใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ หากระยะเวลาในการบำบัดสั้นเกินไป สารบางประเภทที่ย่อยสลายยากจะย่อยสลายไม่ทันจนถึงขั้นตอนสุดท้าย ส่งผลให้ค่าบีโอดีเหลืออยู่ในน้ำเสียมาก (กรมควบคุมมลพิษ, 2559)

2.2.5 พีเอช (pH)

ค่าพีเอชมีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยจุลินทรีย์จะเจริญเติบโตได้ดีในช่วงค่าพีเอชเท่ากับ 6.5-8.5 หากค่าพีเอชมีค่าต่ำกว่า 6.5 ว่าจะเจริญเติบโตได้ดีกว่าแบคทีเรีย ทำให้ตกตะกอนได้ไม่ดีและประสิทธิภาพในการบำบัดลดลง ในขณะเดียวกัน หากค่าพีเอชมีค่าสูงฟอสฟอรัสจะแยกตัว

ออกจากน้ำ (precipitate) ทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ รวมถึงหากค่าพีเอชมีค่าสูงหรือต่ำเกินไปจุลินทรีย์ก็ไม่สามารถดำรงชีวิตต่อไปได้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2559)

2.2.6 สารเป็นพิษ (Toxicity)

สารพิษแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มออกฤทธิ์เฉียบพลัน (Acute Toxicity) เช่น ไซยาไนด์ เป็นต้น ซึ่งมีผลทำให้จุลินทรีย์ตายหมดภายในระยะเวลาไม่กี่ชั่วโมงและกลุ่มออกฤทธิ์ช้า (Chronic Toxicity) เช่น ทองแดง และโลหะหนักต่างๆ เป็นต้น ซึ่งจะแตกต่างจากกลุ่มแรก เนื่องจากใช้เวลานานในการสะสมไว้ในจุลินทรีย์ หลังจากนั้นจุลินทรีย์จะค่อยๆตายลง (ขวัญเนตร สมบัติสมภพ, 2551)

2.2.7 อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งของการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ทัวไปแล้วการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์จะเพิ่มขึ้นสองเท่าในทุกๆการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส จนกระทั่งถึงอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส และหากอุณหภูมิเพิ่มสูงเกินไป จุลินทรีย์จะเจริญเติบโตได้น้อยลง แต่การควบคุมอุณหภูมิเป็นไปได้ยาก ดังนั้นจึงมักใช้การควบคุมความเข้มข้นของตะกอน หรือ MLSS ให้มีค่าน้อยลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและเพิ่มค่า MLSS ให้มากขึ้นเมื่ออุณหภูมิต่ำลง (กรมควบคุมมลพิษ, 2559)

2.2.8 การกวนผสม (Mixing)

ภายในระบบบำบัดน้ำเสียการกวนผสมมีความสำคัญ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดตะกอนจุลินทรีย์ตกตะกอน และให้จุลินทรีย์ได้สัมผัสกับน้ำเสียเพื่อจะได้ใช้สารอาหารในน้ำเสียและลดสารอินทรีย์ รวมถึงช่วยให้การจับตัวเป็นก้อน (Floc) ได้ดี (Arrojo และคณะ, 2006)

2.2.9 อัตราการไหลของน้ำ (Flow rate)

การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำมีผลโดยตรงต่อการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสีย กล่าวคืออัตราการไหลของน้ำเสียสูง ระยะเวลาในการบำบัดจะน้อยลง ทำให้ความเข้มข้นของสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น และระยะเวลาในการตกตะกอนลดลง ทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานลดลง ดังนั้นจึงควรควบคุมให้มีอัตราการไหลของน้ำอย่างสม่ำเสมอ (กรมควบคุมมลพิษ, 2554)

2.3 ระบบบำบัดโดยเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

2.3.1 เม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศ

ระบบบำบัดแเอเอสทั่วไปเป็นเทคโนโลยีในการบำบัดที่มักนิยมใช้ในการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ โดยกลุ่มจุลินทรีย์มักเติบโตในรูปแบบของฟล็อก (Floc) ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำเสีย ปัญหาของ

ระบบเอเอสคือความสามารถในการตกตะกอนที่ต่ำ การเกิดตะกอนเบาในถังเติมอากาศ เมื่อไหลไปยังถังตกตะกอนทำให้ตะกอนเบาหลุดไปกับน้ำทิ้ง อีกทั้งความสามารถในการสร้างตะกอนจุลินทรีย์ในระบบ 1,500-3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อเทียบกับเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศ (Aerobic granular sludge) ที่สามารถสร้างตะกอนจุลินทรีย์ได้ถึง 8,000-30,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ความเข้มข้นสูงส่งผลให้ระบบเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศมีประสิทธิภาพในการบำบัดที่สูง โดยเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ถือเป็นการรวมตัวของกลุ่มจุลินทรีย์ เม็ดตะกอนเหล่านี้จะมีโครงสร้างที่กะทัดรัดเมื่อเปรียบเทียบกับฟล็อกของตะกอนแขวนลอยในระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ เม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศเป็นกระบวนการที่ค่อยเป็นค่อยไปจากหัวเชื้อตะกอน (seed sludge) ไปจนถึงมวลรวมอัดแน่น และสุดท้ายกลายเป็นเม็ดตะกอน เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ดังกล่าวสามารถกำจัดคาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และสารมลพิษอื่นๆ โดย AGS แตกต่างจากตะกอนเร่งในลักษณะทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยา (Nancharaiyah และคณะ, 2018) ในอดีตได้มีการศึกษาคุณสมบัติที่แตกต่างระหว่างกลุ่มจุลินทรีย์แบบฟล็อกและเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ดังนี้

ตารางที่ 2.1 ความแตกต่างระหว่าง ฟล็อกระบบเอเอสและเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศ (Nancharaiyah และคณะ, 2018)

พารามิเตอร์	ฟล็อกระบบเอเอส	เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ แบบใช้อากาศ	หมายเหตุ
รูปร่างและขนาดเฉลี่ย (Shape and average size)	รูปร่างไม่สม่ำเสมอ , ขนาดเล็กน้อยกว่า 0.2 มิลลิเมตร	รูปร่างทรงกลมชัด, ขนาดใหญ่มากกว่า 0.2 มิลลิเมตร	เนื่องด้วยขนาดและความหนาแน่นทำให้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศสามารถตกตะกอนได้อย่างรวดเร็ว
ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)	0.997-1.010	1.010-1.017	เม็ดตะกอนมีความถ่วงจำเพาะสูงช่วยให้แยกของแข็งและของเหลวได้เร็วขึ้น
ความเร็วในการตกตะกอน (Settling velocity)	ความเร็วในการตกตะกอนต่ำ น้อยกว่า 10 เมตรต่อชั่วโมง	ความเร็วในการตกตะกอนต่ำ มากกว่า 10 เมตรต่อชั่วโมง	-

ตารางที่ 2.1 ความแตกต่างระหว่าง ฟลื้อระบบเอเอสและ เม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศ
(Nancharaiyah และคณะ, 2018) (ต่อ)

พารามิเตอร์	ฟลื้อระบบเอเอส	เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ แบบใช้อากาศ	หมายเหตุ
ชั้นโครงสร้าง (Layered structure)		ชั้นหรือสภาพแวดล้อม จุลภาคที่แตกต่าง เช่น โซนแอโรบิก แอนแอโรบิก และแอนนอกซิก	การดำรงชีวิตอยู่ร่วมกัน แบบสภาพแวดล้อม จุลภาคที่ประกอบไปด้วย แอโรบิก แอนแอโรบิก และแอนนอกซิก ช่วยใน การทำงานของ การเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพ
การสังเคราะห์อีพีเอส (EPS)	ต่ำ	สูง	อีพีเอส มีบทบาทสำคัญ ในการรวมตัว สร้างความ เสถียรและการทำงานของ ของเม็ดตะกอน
ความทนทานต่อ สารพิษ (Tolerance to toxic compounds)	ความทนทานต่อ สารพิษต่ำ	ความทนทานต่อ สารพิษสูง	เนื่องจากคุณสมบัติ ไบโอฟิล์ม (biofilm) ทำให้เม็ดตะกอนมีความ ทนทานต่อสารพิษได้สูง
ประสิทธิภาพต่อการ เพิ่มอัตราการ สารอินทรีย์อย่าง กะทันหัน (Shock Load)	กำจัดสารมลพิษในน้ำ ได้ต่ำ เมื่ออยู่ภายใต้ การแปรปรวนหรือ อัตราการไหลที่ผันผวน	กำจัดสารมลพิษในน้ำ ได้ เมื่ออยู่ภายใต้การ แปรปรวนหรืออัตรา การไหลที่ผันผวน	โครงสร้างไบโอฟิล์มแบบ เม็ดช่วยลดความเป็นพิษ ของสารมลพิษ แม้ว่าจะ มีความเข้มข้นสูง

2.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศ

2.3.2.1 ความเข้มข้นน้ำเสีย

ลักษณะทางกายภาพของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของน้ำเสีย (Tay และคณะ, 2003) ที่ความเข้มข้นของน้ำเสียสูง (3,000 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร) พบว่าขนาดของเม็ดตะกอนมีขนาดใหญ่ (1.89 มิลลิเมตร) และเมื่อความเข้มข้นน้ำเสียต่ำ (500 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร) ขนาดเม็ดตะกอนจะเล็กลง (1.57 มิลลิเมตร) ทั้งนี้ การสร้างเม็ดตะกอนโดยใช้ความเข้มข้นที่สูงความแข็งแรงของโครงสร้างจะลดลง โดยพิจารณาความแข็งแรงของเม็ดตะกอนจากค่าสัมประสิทธิ์ความสมบูรณ์ (integrity coefficient, %) ซึ่งแสดงถึงความสามารถการทนทานต่อแรงเฉือนและการสึกกร่อน (Liu และคณะ, 2003)

ตารางที่ 2.2 ลักษณะของเม็ดตะกอนที่สร้างจากความเข้มข้นของซีโอดีที่แตกต่างกัน

Items	Seed sludge	Influent substrate concentration (mg l ⁻¹ COD)			
		500	1000	2000	3000
Size (mm)	0.09	1.57 (±0.14)	1.79 (±0.08)	1.79 (±0.10)	1.89 (±0.11)
Roundness	~	0.69 (±0.025)	0.66 (±0.026)	0.67 (±0.021)	0.64 (±0.017)
Aspect ratio	~	0.65 (±0.09)	0.65 (±0.016)	0.64 (±0.019)	0.66 (±0.018)
Integrity coefficient (%)	~	97.1 (±1.6)	97.4 (±1.7)	95.4 (±1.3)	87.4 (±2.5)
SVI (ml g ⁻¹)	208	41 (±4.6)	43 (±4.3)	36 (±4.6)	34 (±3.1)
Biomass density (g l ⁻¹)	~	54.3 (±6.3)	54.7 (±8.4)	54.6 (±5.5)	56.1 (±7.6)
Specific gravity of sludge (kg l ⁻¹)	1.001	1.010 (±0.001)	1.010 (±0.001)	1.012 (±0.003)	1.012 (±0.002)
Biomass concentration in reactor (g l ⁻¹)	~	8.4 (±1.0)	9.5 (±1.5)	11.2 (±1.3)	12.3 (±1.6)
Cell surface hydrophobicity (%)	49.4	81.1 (±4.1)	84.2 (±5.5)	77.7 (±3.8)	79.1 (±4.2)
Cell polysaccharides (mg g ⁻¹ MLVSS)	60.9	93.6 (±6.1)	91.6 (±3.9)	84.7 (±3.3)	85.2 (±3.9)
Effluent COD concentration (mg l ⁻¹)	~	27 (±9.4)	48 (±12.3)	68 (±15.1)	156 (±35.7)
COD removal efficiency (%)	~	95 (±1.7)	95 (±1.2)	97 (±1.1)	95 (±1.2)

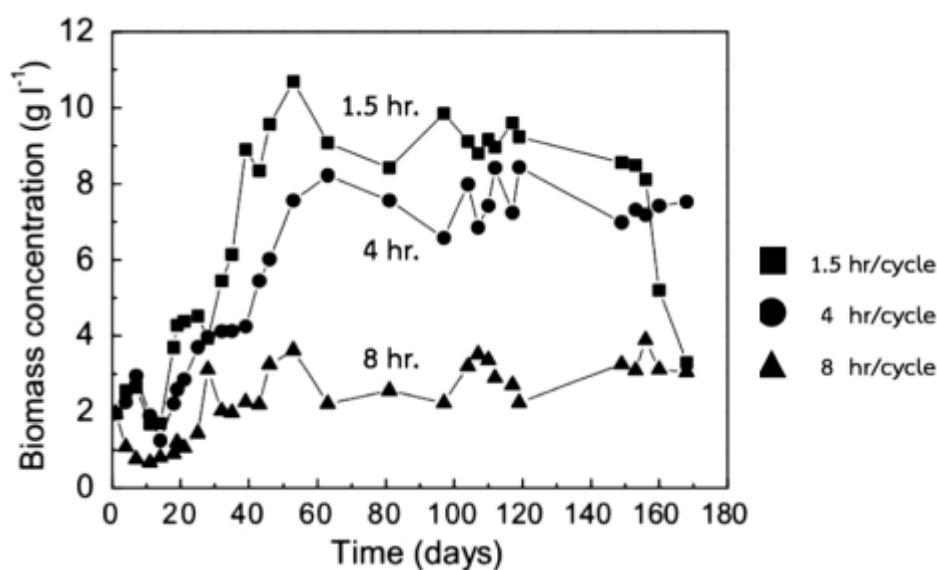
ที่มา Liu และคณะ (2003) ภาลกรณมหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.3.2.2 รอบการบำบัด

รอบการบำบัดของถังปฏิกริยาเอสปีอาร์สัมพันธ์กับระยะเวลาที่เก็บน้ำเสีย (Hydraulic Retention Time, HRT) หากรอบการบำบัดทำงานในระยะเวลาที่สั้นมาก จุลินทรีย์ไม่สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ทัน ส่งผลให้การสูญเสียตะกอนจากการชะล้างออกจากระบบ (Tay และคณะ, 2002) จากการศึกษการเลี้ยงเม็ดตะกอนในถังปฏิกริยาเอสปีอาร์ที่ระยะเวลาการบำบัด 1.5 ชั่วโมง พบว่า สามารถสร้างเม็ดตะกอนได้โดยใช้ระยะเวลาสั้นเพียง 16 วัน ชีวมวลที่เกิดในระบบมีความเข้มข้นที่สูง แต่เมื่อเวลาผ่านไป (60 วัน) เม็ดตะกอนมีแบคทีเรียเส้นใยปรากฏอยู่บนเม็ดตะกอนมาก มีลักษณะเป็นก้อนปุย ส่งผลให้การตกตะกอนไม่ดี ช่วง 160 วัน เกิดการชะล้างตะกอนออกจากระบบ และเม็ดตะกอนไม่เสถียรจนในที่สุดก็แตกไป รอบการบำบัด 8 ชั่วโมง พบรูปร่างของเม็ดตะกอนไม่

สม่าเสมอ การกระจายตัวของขนาดเม็ดตะกอนค่อนข้างกว้าง อีกทั้งใช้ระยะเวลาานานที่สุดสำหรับการสร้างเม็ดตะกอน แต่หากเลี้ยงเม็ดตะกอนที่รอบการบำบัด 4 ชั่วโมง พบว่า เม็ดตะกอนมีความแข็งแรงและรวมกันอัดแน่น ชีวมวลที่เกิดขึ้นในระบบมีความเข้มข้นสูงและเพิ่มขึ้นในอัตราที่คงที่ ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าเม็ดตะกอนจะเติบโตได้เร็วขึ้นโดยระยะเวลาบำบัดสั้น แต่หากระยะเวลาการบำบัดสั้นเกินไปจะทำให้เม็ดตะกอนเกิดความไม่เสถียร ดังรูปที่ 2.1 (Liu และคณะ, 2008)

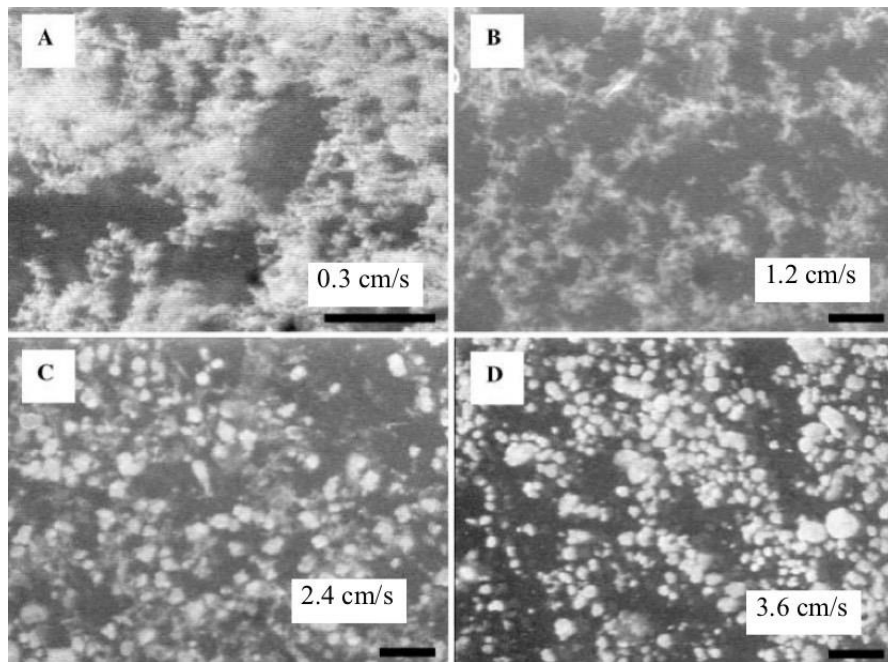


รูปที่ 2.1 ความเข้มข้นชีวมวลในระบบต่อระยะเวลาในการเดินระบบ
(Liu และคณะ, 2008)

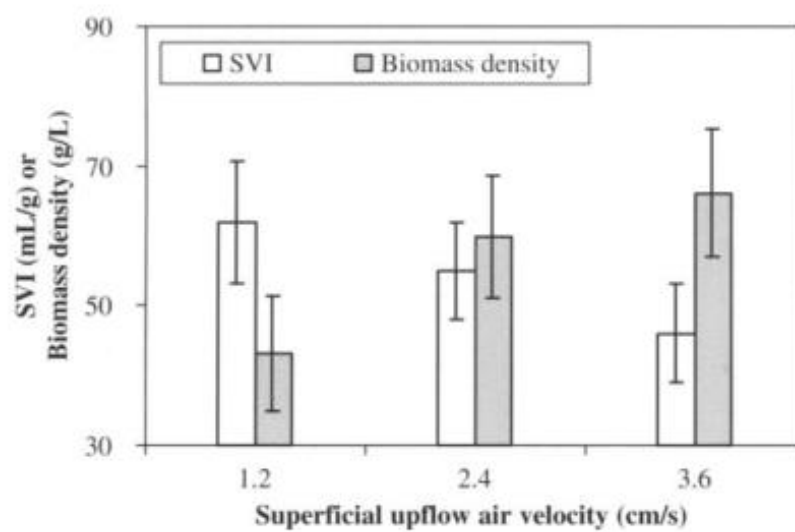
2.3.2.3 ความเร็วในการเติมอากาศ

ช่วงการเติมอากาศจะเกิดแรงเฉือนน้ำ (Hydrodynamic shear force) โดยแรงเฉือนที่สูงจะช่วยให้เม็ดตะกอนมีขนาดกะทัดรัดและมีความหนาแน่นมากขึ้น รวมถึงช่วยกระตุ้นการเกิดอีพีเอสซึ่งเป็นตัวกลางในการยึดติดกันของเซลล์ มีบทบาทอย่างมากต่อการรักษาความสมบูรณ์ของโครงสร้างเม็ดตะกอน (Tay และคณะ, 2001); (Tay และคณะ, 2002) ที่ความเร็วลม 0.3 เซนติเมตรต่อวินาที หรือความเร็วลมที่ต่ำ เม็ดตะกอนจะไม่ก่อตัว และเกิดฟิลาเมนต์สในระบบ แต่เมื่อเพิ่มความเร็วลมเป็น 1.2 เซนติเมตรต่อวินาที เม็ดตะกอนสามารถก่อตัวได้ (ดังรูปที่ 2.2) (Tay และคณะ, 2001) เมื่อใช้ความเร็วลมเพิ่มขึ้น ค่า SVI ของเม็ดตะกอนจะลดลงจาก 62 มิลลิกรัมต่อลิตร (ความเร็วลม 1.2 เซนติเมตรต่อวินาที) เป็น 46 มิลลิกรัมต่อลิตร (ความเร็วลม 3.6 เซนติเมตรต่อวินาที) ในขณะเดียวกันความหนาแน่นของชีวมวลในเม็ดตะกอนเมื่อทำการเพิ่มความเร็วลม พบว่าชีวมวลมีค่า

เพิ่มขึ้น (ดังรูปที่ 2.3) บ่งชี้ว่าการเพิ่มความเร็วลมอากาศจะช่วยให้เม็ดตะกอนมีการจับตัวที่แน่น แข็งแรง และความสามารถในการตกตะกอนดีขึ้น (Tay และคณะ, 2004) แรงเฉือนที่สูงจะทำให้มีอีเอสพีที่สูงขึ้น และสร้างความไม่ชอบน้ำของเม็ดตะกอน ทำให้โครงสร้างของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศมีการเกาะตัวกันที่ดีขึ้น (Zhou และคณะ, 2016)



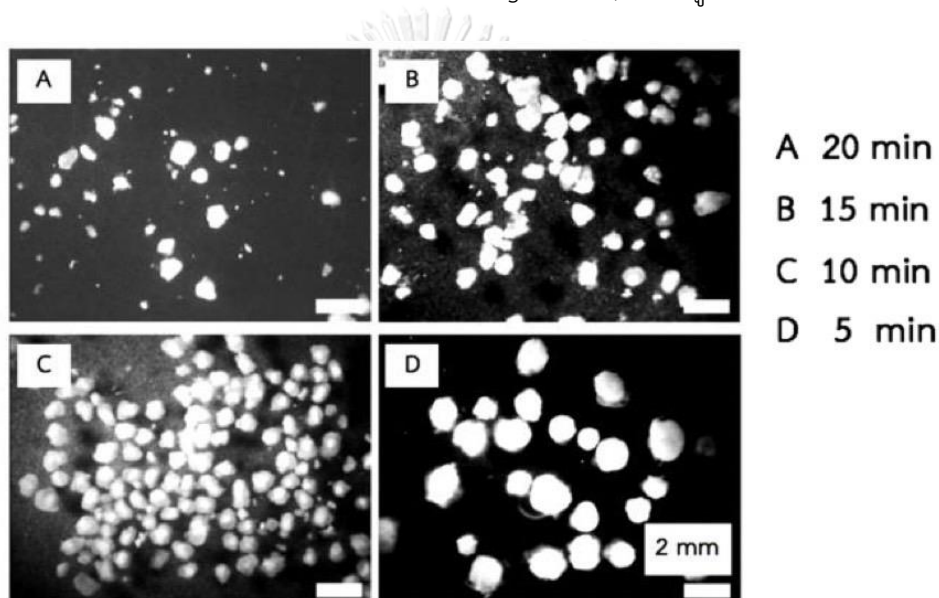
รูปที่ 2.2 ลักษณะของเม็ดตะกอนที่ความเร็วอากาศที่แตกต่างกัน (Tay และคณะ, 2001)



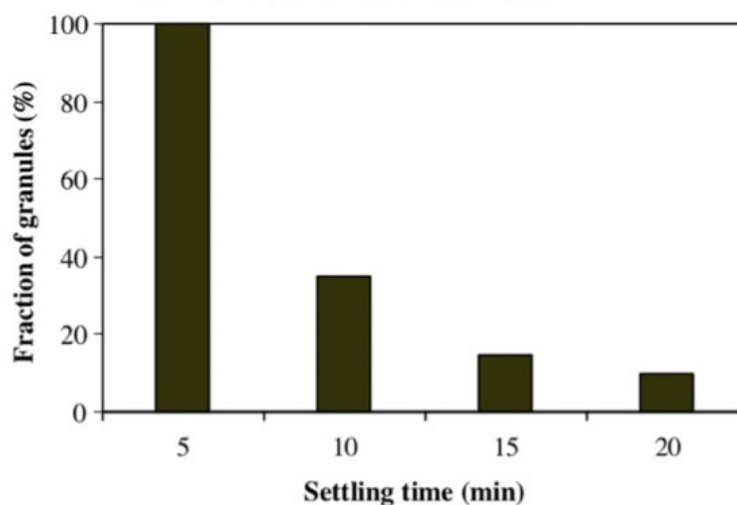
รูปที่ 2.3 อิทธิพลของความเร็วลมต่อ SVI และความหนาแน่นของชีวมวล (Tay และคณะ, 2001)

2.3.2.4 ระยะเวลาในการตกตะกอน

ในถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์ น้ำเสียจะได้รับการบำบัดเป็นรอบ เมื่อสิ้นสุดรอบจะเป็นขั้นตอนการตกตะกอนก่อนที่จะปล่อยน้ำทิ้งออกจากระบบ ตะกอนที่ไม่สามารถตกตะกอนได้ในระยะเวลาที่กำหนดก็จะถูกชะล้างออกจากถังปฏิกรณ์ผ่านทางช่องระบายน้ำ ซึ่งโดยทั่วไประยะเวลาในการตกตะกอนจะมีระยะเวลาเพียงสั้นๆ เพื่อที่คัดเลือกตะกอนที่มีความสามารถในการตกตะกอนได้ดีไว้ในระบบ จากงานวิจัย (Qin และคณะ, 2004) พบว่าที่เวลาตกตะกอน 5 นาที มีความเหมาะสมต่อการสร้างเม็ดตะกอนมากกว่าที่ระยะเวลาตกตะกอน 10 15 และ 20 นาที โดยพิจารณาจากความสมบูรณ์ของเม็ดตะกอนและสัดส่วนเม็ดตะกอน (Fraction of granules,%) ดังรูปที่ 2.4 และ 2.5



รูปที่ 2.4 ลักษณะของเม็ดตะกอนที่ระยะเวลาในการตกตะกอนแตกต่างกัน
(Qin และคณะ, 2004)



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนเม็ดตะกอนกับระยะเวลาในการตกตะกอน
(Qin และคณะ, 2004)

2.3.2.5 อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นหนึ่งในพารามิเตอร์ควบคุมพื้นฐานที่ส่งผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ในการดำรงชีพ คือ 20-25 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่ต่ำเกินไป (อุณหภูมิ < 10 องศาเซลเซียส) จะทำให้เกิดการเจริญเติบโตที่มากเกินไปของแบคทีเรียที่เป็นเส้นใยในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ส่งผลให้เกิดการแตกตัวของอนุภาคและการสูญเสียมวลชีวภาพ ในขณะเดียวกัน หากอุณหภูมิสูง (อุณหภูมิ > 30 องศาเซลเซียส) อาจทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของโปรตีนและแม้กระทั่งการหยุดทำงานของเอนไซม์ ส่งผลให้ทั้งระบบไม่เสถียร (Muñoz-Palazon และคณะ, 2020) เพื่อที่จะขยายความเป็นไปได้ของการประยุกต์ใช้ทางวิศวกรรมของ AGS ในพื้นที่ที่หนาวเย็นหรือร้อนจัด นักวิชาการบางคนประสบความสำเร็จในการปรับเม็ดตะกอนให้เข้ากับสภาพอากาศหนาวเย็น (อุณหภูมิ < 7 องศาเซลเซียส) ซึ่งมีประสิทธิภาพการขจัดสิ่งปนเปื้อนที่ดีและโครงสร้างมีความเสถียร (Gonzalez-Martinez และคณะ, 2017)

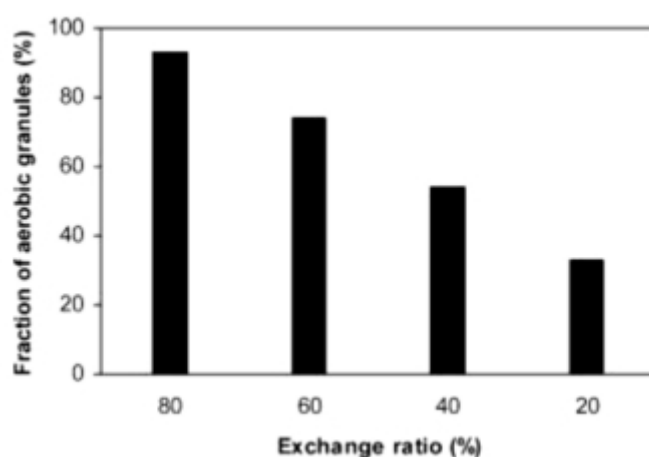
2.3.2.6 พีเอช

เม็ดตะกอนสามารถรักษาเสถียรภาพของโครงสร้างและประสิทธิภาพการตกตะกอนได้ดีในกรดอ่อน ($\text{pH} = 5.5$) และสภาพแวดล้อมที่เป็นกลาง ในขณะที่สภาพแวดล้อมที่เป็นด่างอาจทำให้เกิดผลกระทบต่อโครงสร้างของเม็ดตะกอน (Jiang และคณะ, 2019) ในทำนองเดียวกัน pH ที่ต่ำเกินไป ($\text{pH} = 3.0$) อาจทำให้เกิดการไฮโดรไลซิสฮิวมิค ส่งผลให้เกิดความไม่เสถียรและการแตกตัวของเม็ดตะกอน (Corsino และคณะ, 2018) ดังนั้นควรหลีกเลี่ยงสภาพแวดล้อมที่เป็นด่างและเป็น

กรดอย่างยั้ง และควรใช้สภาพแวดล้อมที่เป็นกลาง ($\text{pH} = 7-7.5$) เพื่อรักษาเสถียรภาพทางโครงสร้างของเม็ดตะกอน (Yu และคณะ, 2014)

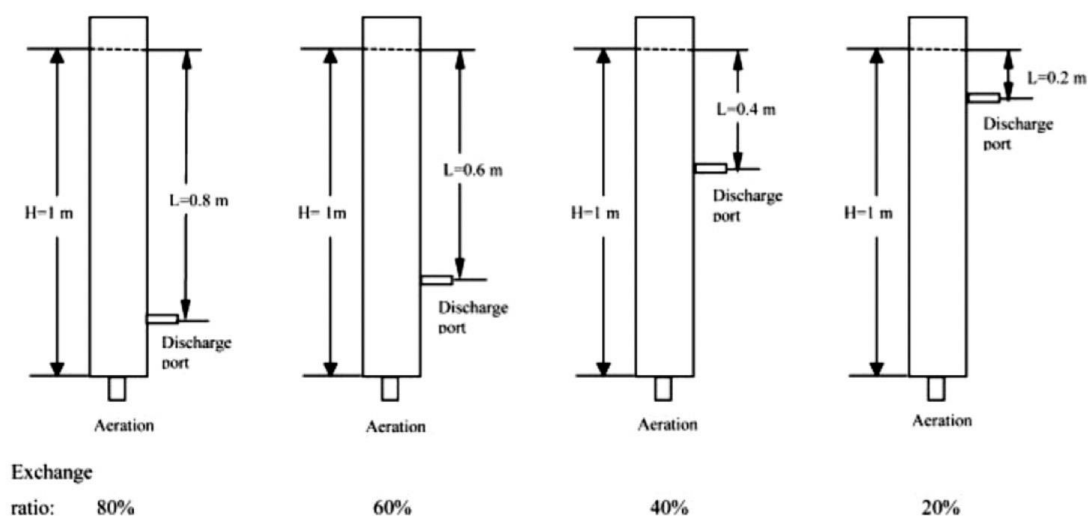
2.3.2.7 สัดส่วนทดแทนน้ำเสีย

สัดส่วนการทดแทนน้ำเสียเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับการคัดเลือกตะกอน จากความเร็วในการตกตะกอน สัดส่วนทดแทนน้ำเสียโดยการทิ้งน้ำที่ระดับต่างๆ ถือว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในถังบำบัด กล่าวคือ ปริมาตรที่ออกจากระบบบำบัดต้องเท่ากับปริมาณน้ำเข้าระบบ โดยต้องควบคุมปริมาณน้ำในระบบบำบัดให้คงที่ตลอดระยะเวลาในการบำบัด งานวิจัยส่วนใหญ่แนะนำให้ใช้สัดส่วนทดแทนน้ำเสียของถังบำบัดระหว่างร้อยละ 40 ถึง 60 (de Sousa Rollemberg และคณะ, 2018) งานวิจัย Wang และคณะ (2006) พบว่าความสามารถในการสร้างเม็ดตะกอนเร็วขึ้นหากปรับสัดส่วนการทดแทนน้ำเสียจากร้อยละ 20 เป็น 80 และที่ระดับสัดส่วนทดแทนน้ำเสียที่ร้อยละ 60-80 มากกว่าร้อยละ 75 ของตะกอนในถังเกิดการรวมตัวเป็นเม็ดตะกอน โดยพิจารณาจากอัตราส่วนของเม็ดตะกอนต่อสัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย (ดังรูปที่ 2.6) จึงสรุปได้ว่า หากต้องการเพิ่มการเจริญเติบโตของเม็ดตะกอนให้เกิดขึ้นได้เร็วและช่วยให้ตะกอนรวมตัว ต้องใช้วิธีการเพิ่มสัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย (ดังรูปที่ 2.7) ทั้งนี้โดยทั่วไปสัดส่วนการทดแทนน้ำเสียที่นิยมจะอยู่ที่ระดับกลางถึงปฏิกิริยา หรือที่สัดส่วนการทดแทนน้ำร้อยละ 50 เนื่องจากการออกแบบที่ง่าย



รูปที่ 2.6 อัตราส่วนของเม็ดตะกอนต่อสัดส่วนการทดแทนน้ำเสียที่ระดับต่างๆ

(Wang และคณะ, 2006)



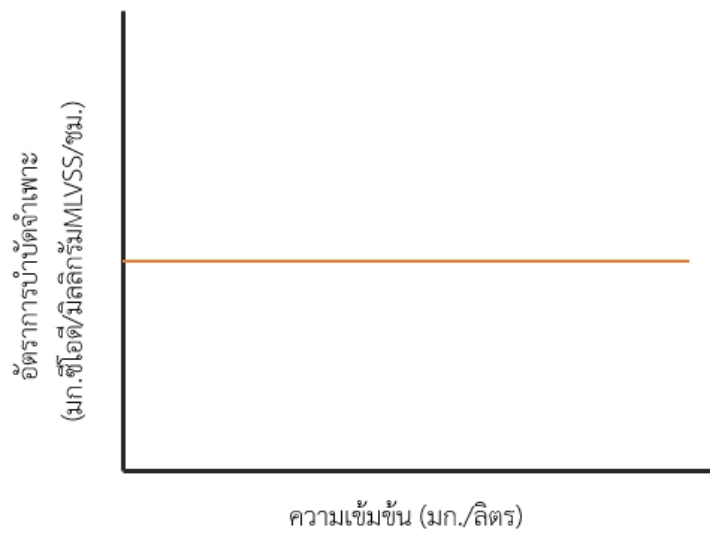
รูปที่ 2.7 สัดส่วนการทดแทนน้ำเสียที่ระดับต่างๆ
(Wang และคณะ, 2006)

2.4 จลนพลศาสตร์ของการบำบัดน้ำเสีย

จลนพลศาสตร์ คือการวัดอัตราของการเกิดปฏิกิริยา ที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบ ซึ่งขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นในน้ำเสีย รวมถึงการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยานั้นๆ เช่น อุณหภูมิ ตัวเร่งปฏิกิริยา เป็นต้น ดังนั้น การศึกษาค่าจลนพลศาสตร์ของการบำบัดน้ำเสียเป็นการศึกษาอัตราการบำบัดของระบบบำบัดน้ำเสียที่ความเข้มข้นต่างๆ โดยรูปแบบของจลนพลศาสตร์สามารถแบ่งได้ ดังนี้

2.4.1 ปฏิกิริยาอันดับที่ศูนย์

ปฏิกิริยาอันดับที่ศูนย์ คือ ปฏิกิริยาที่มีอัตราการบำบัดจำเพาะคงที่โดยไม่เปลี่ยนแปลงตามความเข้มข้นเริ่มต้นของสารตั้งต้น ดังนั้น กราฟความสัมพันธ์ที่ได้จะเป็นแบบคงที่ สามารถเขียนเป็นสมการทั่วไปได้ดังสมการที่ 2.2



รูปที่ 2.8 ปฏิกริยาอันดับที่ศูนย์

$$r_s = k_0 S^0 \quad (2.2)$$

โดย r_s = อัตราการบำบัดจำเพาะ (มิลลิกรัมมลสารต่อมิลลิกรัม MLVSSต่อเวลา)

k_0 = ค่าคงที่อัตราการบำบัด (มิลลิกรัมมลสารต่อมิลลิกรัม MLVSSต่อเวลา)

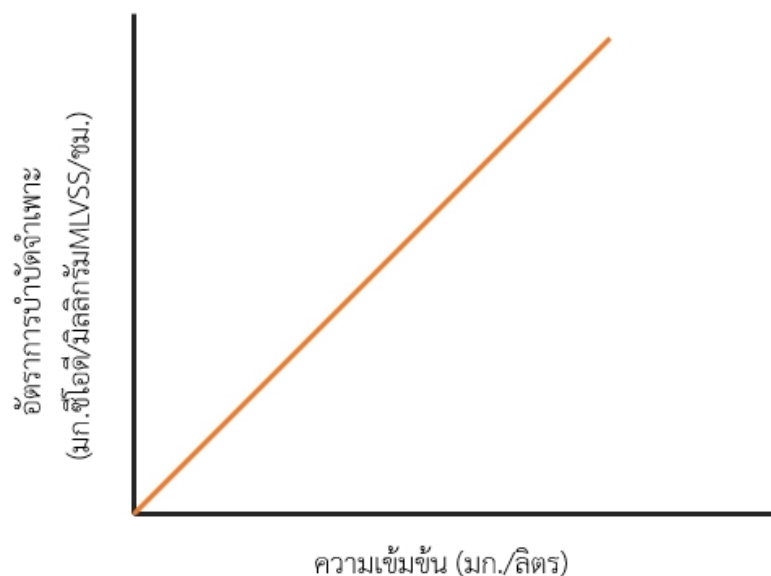
S = ความเข้มข้นของสารตั้งต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.4.2 ปฏิกริยาอันดับที่หนึ่ง

ปฏิกริยาอันดับที่หนึ่ง คือ ปฏิกริยาที่มีอัตราการบำบัดจำเพาะเปลี่ยนแปลงตามความเข้มข้นเริ่มต้นของสารตั้งต้น ดังนั้น กราฟความสัมพันธ์ที่ได้จะเป็นแบบเส้นตรง สามารถเขียนเป็นสมการทั่วไปได้ดังสมการที่ 3.3



รูปที่ 2.9 ปฏิกริยาอันดับที่หนึ่ง

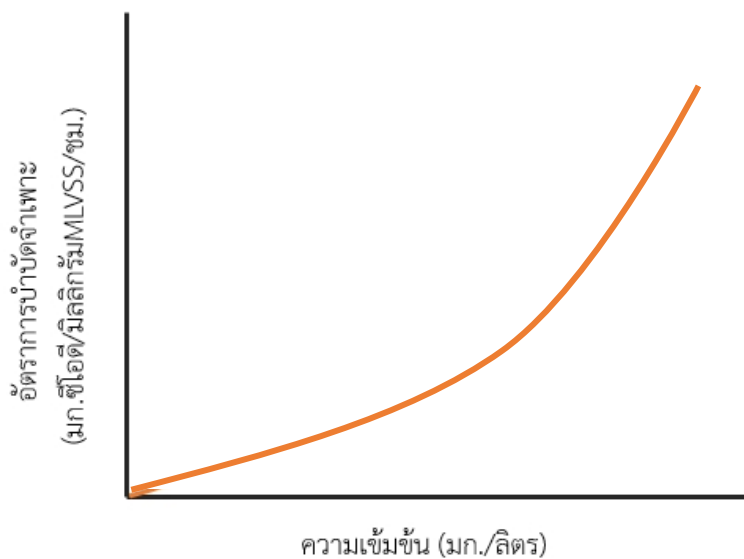
$$r_s = k_1 S^1 \quad (3.3)$$

- โดย r_s = อัตราการบำบัดจำเพาะ (มิลลิกรัมมลสารต่อมิลลิกรัม MLVSSต่อเวลา)
 k_1 = ค่าคงที่อัตราการบำบัด (มิลลิกรัมมลสารต่อมิลลิกรัม MLVSSต่อเวลา)
 S = ความเข้มข้นของสารตั้งต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.4.3 ปฏิกริยาอันดับที่สอง

ปฏิกริยาอันดับที่สอง คือ ปฏิกริยาที่มีอัตราการบำบัดจำเพาะเปลี่ยนแปลงตามความเข้มข้นเริ่มต้นของสารตั้งต้นยกกำลังสอง ดังนั้นกราฟความสัมพันธ์ที่ได้จะเป็นแบบเอกซ์โพเนนเชียล สามารถเขียนเป็นสมการทั่วไปได้ตั้งสมการที่ 3.4



รูปที่ 2.10 ปฏิกริยาอันดับที่สอง

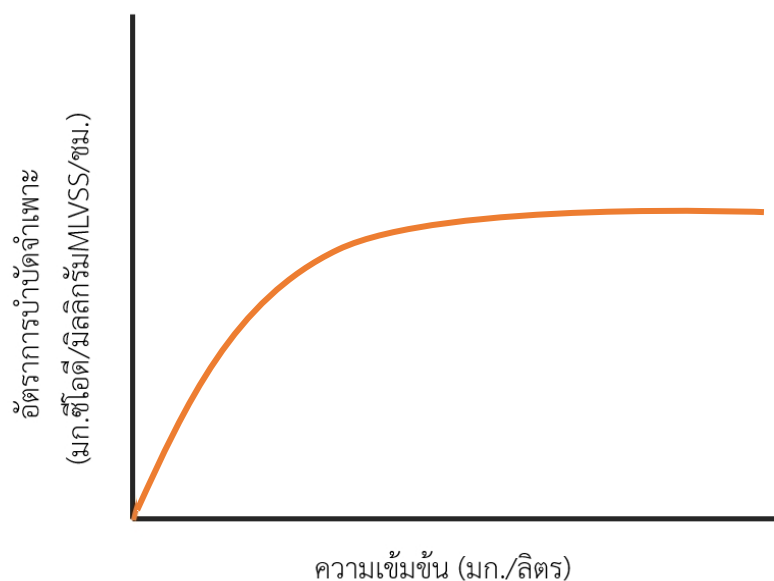
$$r_s = k_2 S^2 \quad (3.4)$$

- โดย r_s = อัตราการบำบัดจำเพาะ (มิลลิกรัมมลสาร/มิลลิกรัม MLVSS/เวลา)
 k_2 = ค่าคงที่อัตราการบำบัด (มิลลิกรัมมลสาร/มิลลิกรัม MLVSS/เวลา)
 S = ความเข้มข้นของสารตั้งต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.4.4 ปฏิกริยาแบบสมการโมนด์

ปฏิกริยาแบบสมการโมนด์ คือ สมการที่ใช้ในการทำนายอัตราการเกิดปฏิกริยาทางชีวภาพ เทียบกับความเข้มข้นของสารตั้งต้น โดยช่วงแรกของกราฟจะมีรูปแบบใกล้เคียงกับปฏิกริยาอันดับที่หนึ่ง และเมื่อความเข้มข้นของสารตั้งต้นสูงขึ้นกราฟจะมีลักษณะคล้ายกับปฏิกริยาอันดับที่ศูนย์ ดังสมการที่ 3.5



รูปที่ 2.11 ปฏิกริยาแบบสมการโมนอด

$$r_s = \frac{k_m S}{K_s + S} \quad (3.5)$$

- โดย
- r_s = อัตราการบำบัดจำเพาะ (มิลลิกรัมมลสารต่อมิลลิกรัม MLVSSต่อเวลา)
 - k_m = อัตราการบำบัดสูงสุด (มิลลิกรัมมลสารต่อมิลลิกรัม MLVSSต่อเวลา)
 - K_s = ความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่อัตราการบำบัดเท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราการบำบัดสูงสุด (มิลลิกรัมต่อลิตร)
 - S = ความเข้มข้นของสารตั้งต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)

2.5 ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนมักนิยมใช้กับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงจากโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากสามารถรองรับน้ำเสียที่มีอัตราภาระสารอินทรีย์สูงหรือการเปลี่ยนแปลงของน้ำเสียอย่างกะทันหันได้ ปริมาณเซลล์เกิดใหม่ต่ำทำให้ความต้องการสารอินทรีย์ต่ำและได้ผลิตภัณฑ์เป็นก๊าซชีวภาพ โดยทั่วไประบบยูเอเอสบีสามารถบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า 3,000 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร ซึ่ง Lettinga และคณะ (1980) ได้มีการวิจัยใช้ระบบบำบัดยูเอเอสบีในการบำบัดน้ำเสียของโรงงานที่มีความเข้มข้นสูง พบว่า ระบบยูเอเอสบีสามารถบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงมากกว่า 5,000 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตรได้ และตะกอนที่เกิดขึ้นในระบบสามารถตกตะกอนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.5.1 การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการสร้างและปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศ

Morgenroth และคณะ (1997) ศึกษาการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศในถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์ เนื่องจากอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์แบบใช้อากาศเร็วกว่าจุลินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศ จึงทำให้ระยะเวลาในการสร้างเม็ดตะกอนน้อยลง โดยในการศึกษาพบว่า สามารถสร้างเม็ดตะกอนด้วยระยะเวลาในการกักเก็บน้ำจาก 22.8 เหลือ 8 ชั่วโมงเท่านั้น เวลาในการตกตะกอน 1 นาที สัดส่วนการทดแทนน้ำเสียร้อยละ 50 โดยช่วงเวลาทิ้งน้ำจะเป็นการคัดเลือกตะกอนเบาออกจากระบบ หลังเดินระบบแล้ว 40 วัน เริ่มพบเม็ดตะกอนเกิดขึ้น หลังจากเดินระบบแล้ว 130 วัน เม็ดตะกอนที่เกิดขึ้นมีขนาดเฉลี่ยที่ 2.35 มิลลิเมตร และขนาดใหญ่ที่สุด 7 มิลลิเมตร และประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีลดลงจากร้อยละ 87 เหลือ ร้อยละ 56

Zheng และคณะ (2006) ศึกษาการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศในถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์ด้วยน้ำเสียสังเคราะห์ซูโครสความเข้มข้น 2,000 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร ระยะเวลาในการบำบัด 4 ชั่วโมงต่อรอบ เวลาตกตะกอน 5 นาที ความเร็วอากาศ 2 เซนติเมตรต่อวินาที และสัดส่วนทดแทนน้ำเสียร้อยละ 50 พบว่าในช่วงแรก พบจุลินทรีย์เส้นใยสีดำบนพื้นผิวของเม็ดตะกอน ทำให้ความสามารถในการตกตะกอนแย่ง ความเข้มข้นจุลินทรีย์ในระบบลดเนื่องจากตะกอนบางส่วนถูกการชะล้างออกจากถังเอสปีอาร์ หลังจากนั้น วันที่ 40 พบเม็ดตะกอนจุลินทรีย์เกิดขึ้นในระบบ และเม็ดตะกอนเริ่มมีประสิทธิภาพในการตกตะกอนและความเข้มข้นของตะกอนเพิ่มขึ้น จนวันที่ 70 พบเม็ดตะกอนมีรูปร่างกลม พื้นผิวเรียบ และพบเม็ดตะกอนสีดำขนาดใหญ่เท่ากับ 10 มิลลิเมตร

Zheng และคณะ (2006) ศึกษาการสร้างเม็ดตะกอนด้วยถังปฏิกริยาแบบเอสปีอาร์โดยใช้ อัตราภาระสารอินทรีย์เท่ากับ 6 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ในระยะเวลา 30 วัน พบว่ามีเม็ด ตะกอนเกิดขึ้นในระบบ มีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 1 มิลลิเมตร อย่างไรก็ตามเม็ดตะกอนขนาดเล็กไม่มีความเสถียร หลังจากเดินระบบต่อไปเรื่อยๆ เม็ดตะกอนค่อยๆกลายเป็นฟิลาเมนตัส

Liu และคณะ (2003) ศึกษาความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่แตกต่างกันต่อการสร้างเม็ดตะกอน จุลินทรีย์แบบใช้อากาศ ดำเนินงานในถังปฏิกริยาเอสปีอาร์ด้วยน้ำเสียสังเคราะห์โซเดียมอะซิเตต รอบ การบำบัด 4 ชั่วโมง ความเร็วลม 2.4 เซนติเมตรต่อวินาที ความเข้มข้นซีโอดีต่างกันที่ 500 1,000 2,000 และ 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า ขนาดของเม็ดตะกอนค่อยๆเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วใน และ คงที่เมื่อดำเนินการแล้ว 3 สัปดาห์ โดยขนาดของเม็ดตะกอนแปรผันตรงกับความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ การสร้างเม็ดตะกอนโดยใช้ความเข้มข้นที่สูงความแข็งแรงของโครงสร้างจะลดลง โดยพิจารณา ความแข็งแรงของเม็ดตะกอนจากค่าสัมประสิทธิ์ความสมบูรณ์ (integrity coefficient, %) พบว่า ที่ ความเข้มข้นซีโอดี 500 มิลลิกรัมต่อลิตร เม็ดตะกอนจะมีความแข็งแรงมากกว่าที่ความเข้มข้นซีโอดี 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

Isanta และคณะ (2012) ศึกษาการนำเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศบำบัดน้ำเสียที่มี ความเข้มข้นต่ำ ดำเนินการในถังปฏิกริยาเอสปีอาร์ด้วยน้ำเสียด้วยน้ำเสียสังเคราะห์โซเดียมอะซิเตต ความเข้มข้นซีโอดี 220 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาในการบำบัด 3 ชั่วโมงต่อรอบ เริ่มแรก(1-6 วัน)ใช้ เวลาในการตกตะกอนที่นิยมใช้คือ 15 นาที เพื่อให้ชีวมวลได้มีการปรับสภาพให้เข้ากับน้ำเสียที่ถูก บ้อนเข้า ความเร็วลมที่ใช้ 0.8 เซนติเมตรต่อวินาที ช่วงวันที่ 6-23 ระยะเวลาในการตกตะกอนเหลือ 3 นาที เพื่อเพิ่มแรงดันไฮดรอลิก (Hydraulic Pressure) คัดเลือกชีวมวลที่มีความสามารถในการ ตกตะกอนที่รวดเร็วไว้ในระบบ อย่างไรก็ตาม เม็ดตะกอนไม่เกิดการรวมตัว และพบฟล็อกขนาดใหญ่ (SVI สูง เท่ากับ 200 มิลลิกรัมต่อกรัม) ดังนั้น จึงได้เพิ่มความเร็วลมจาก 0.8 เป็น 1.6 เซนติเมตรต่อ วินาที (SVI มีค่าลดลงเหลือ 60 มิลลิกรัมต่อกรัม) และพบเม็ดตะกอนหลังจากเดินระบบแล้ว 51 วัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.4 มิลลิเมตร จึงสรุปได้ว่า ระยะเวลาตกตะกอนที่สั้นและความเร็วลมที่ เหมาะสม (1.6 เซนติเมตร) สามารถทำให้เกิดเม็ดตะกอนได้แม้ที่ความเข้มข้นของน้ำเสียที่ต่ำ

Qin และคณะ (2004) ศึกษาระยะเวลาตกตะกอนที่เหมาะสมต่อการสร้างเม็ดตะกอน ใช้น้ำ เสียสังเคราะห์โซเดียมอะซิเตต ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร พบว่าที่เวลาตกตะกอน 5 นาที ตะกอนในระบบมีการรวมตัวเป็นเม็ดทั้งระบบ เม็ดตะกอนมีขนาดใหญ่ที่สุด 2 มิลลิเมตร มี

ลักษณะจับตัวเป็นเม็ดอย่างหนาแน่น พื้นผิวเรียบ จึงมีความเหมาะสมต่อการสร้างเม็ดตะกอนมากกว่าที่ระยะเวลาตกตะกอน 10 15 และ 20 นาที ที่มีลักษณะเม็ดตะกอนพื้นผิวขรุขระ รูปร่างไม่เป็นทรงกลม และเกิดแบคทีเรียจำพวกเส้นใย จึงสรุปได้ว่า เมื่อลดเวลาในการตกตะกอนที่ 20 15 10 และ 5 ตามลำดับ อัตราส่วนเม็ดตะกอนจะเพิ่มขึ้น ขนาดเม็ดตะกอนจะใหญ่ขึ้น และเม็ดตะกอนมีลักษณะเป็นทรงกลมจับตัวกันอย่างหนาแน่น ซึ่งที่การตกตะกอน 5 นาที เป็นระยะเวลาที่ดีที่สุด

Tay และคณะ (2001) ศึกษาผลของความเร็วในการเติมอากาศที่ทำให้เกิดแรงเฉือนซึ่งส่งผลต่อการก่อตัวและโครงสร้างของเม็ดตะกอน โดยทำการศึกษา 4 คอลัมน์ ที่มีปริมาตรการทำงาน 2.3 ลิตร เดินระบบใช้เวลา 6 ชั่วโมง แต่ละคอลัมน์จะใช้ความเร็วลมผิว (superficial air velocity) แตกต่างกัน คือ 0.3, 1.2, 2.4 และ 3.6 เซนติเมตรต่อวินาที ตามลำดับ พบว่า ที่ความเร็วลมผิว 0.3 เซนติเมตรต่อวินาที เม็ดตะกอนจะไม่ก่อตัว แต่เมื่อเพิ่มความเร็วลมเป็น 1.2 2.4 และ 3.6 เซนติเมตรต่อวินาที เม็ดตะกอนสามารถก่อตัวได้ อีกทั้งแรงเฉือนสูงจะช่วยกระตุ้นให้สร้างอีพีเอส เพื่อให้จุลินทรีย์จับตัวกันแน่น และเกิดเม็ดตะกอนได้มากขึ้น โดยที่ความเร็วลม 3.6 เซนติเมตรต่อวินาที ประมาณจุลินทรีย์มากที่สุด (7,000 มิลลิกรัมต่อลิตร) เม็ดตะกอนจะมีการจับตัวที่แน่น แข็งแรง และความสามารถในการตกตะกอนดีที่สุดในที่สุด จึงสรุปได้ว่า ที่ความเร็วลม 3.6 เซนติเมตรต่อวินาที จะทำให้ปริมาณจุลินทรีย์ในระบบมากขึ้นและกระตุ้นให้สร้างอีพีเอส ทำให้เม็ดตะกอนมีการจับตัวที่หนาแน่นและโครงสร้างแข็งแรง

Liu และคณะ (2006) ศึกษาความเร็วในการเติมอากาศ โดยการลดความเร็วในการเติมอากาศ จาก 1.66 เป็น 0.55 เซนติเมตรต่อวินาที หลังจากเกิดเม็ดตะกอน พบว่า ลักษณะภายนอกของเม็ดตะกอนจะค่อยๆ เปลี่ยนจากรูปทรงกลมเป็นรูปร่างยาวโดยมีอัตราส่วนกว้างต่อยาว เท่ากับ 6

Devlin และคณะ (2017) ศึกษาการสร้างเม็ดตะกอนภายใต้แรงเฉือนที่ต่ำและความเข้มข้นของน้ำเสียที่แตกต่างกัน โดยทดลองใช้ความเร็วลมต่ำเพียง 0.41 เมตร/วินาที ที่น้ำเสียความเข้มข้นของซีโอดีต่ำ (<300 มิลลิกรัมต่อลิตร) สามารถสร้างเม็ดตะกอนได้ ในทางกลับกันที่ความเร็วลมเท่ากัน น้ำเสียความเข้มข้นของซีโอดีเพิ่มเป็น 600 มิลลิกรัมต่อลิตร ขึ้นไป ไม่สามารถสร้างเม็ดตะกอนได้

Chen และคณะ (2008) ศึกษาการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศภายใต้ความเร็วลมและความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์ที่แตกต่าง การทดลองจะทำการเดินระบบในถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์ด้วยน้ำเสียสังเคราะห์โซเดียมอะซิเตตความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 2,000 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร

ระยะเวลาบำบัด 4 ชั่วโมง ตกตะกอน 5 นาที และสัดส่วนการทดแทนน้ำเสียที่ร้อยละ 50 ใช้ความเร็วลมที่แตกต่างกัน คือ 2.4 และ 3.2 เซนติเมตรต่อวินาที และความเข้มข้นที่แตกต่างกันโดยเพิ่มแบบขั้นบันไดที่ 3,000 4,000 และ 5,000 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร ตามลำดับ พบว่า ที่ความเข้มข้น 2,000 และ 3,000 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร ความเร็วลม 2.4 และ 3.2 เซนติเมตรต่อวินาที สามารถสร้างเม็ดตะกอนดีรวดเร็ว และเม็ดตะกอนมีความเสถียร แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้น จาก 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น 4,000 และ 5,000 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร พบว่าที่ความเร็วลม 2.4 เซนติเมตรต่อวินาที เม็ดตะกอนไม่สามารถรักษาสมดุลได้และแตกสลายในที่สุด แต่ที่ความเร็วลม 3.2 เซนติเมตรต่อวินาที สามารถคงรูปร่างเม็ดตะกอนและโครงสร้างเม็ดตะกอนมีความแข็งแรง จึงสรุปได้ว่า ความเร็วลม 2.4 เซนติเมตรเหมาะต่อการสร้างเม็ดตะกอนที่ความเข้มข้นน้ำเสียประมาณ 2,000 – 3,000 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร และความเร็วลม 3.2 เซนติเมตรต่อวินาที สามารถสร้างเม็ดตะกอนได้ในน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง 2,000 – 5,000 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร

De Kreuk และคณะ (2005) พบว่า การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิส่งผลต่อกระบวนการทางชีววิทยา โดยหากเริ่มต้นระบบที่อุณหภูมิต่ำ 8 องศาเซลเซียส เม็ดตะกอนจะมีรูปร่างไม่สม่ำเสมอ แต่เมื่อเริ่มทำงานที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส และลดอุณหภูมิลงเหลือ 15 องศาเซลเซียส และ 8 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ไม่ได้มีผลใดๆ ต่อความคงตัวของเม็ดตะกอน

Wang และคณะ (2006) ศึกษาผลของสัดส่วนการทดแทนน้ำเสียต่อการเกิดเม็ดตะกอน จุลินทรีย์แบบใช้อากาศ ใช้น้ำเสียสังเคราะห์โซเดียมอะซิเตตความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร ระยะเวลาในการบำบัด 4 ชั่วโมงต่อรอบ ตกตะกอน 5 นาที อัตราการเติมอากาศ 2.5 เซนติเมตรต่อวินาที และกำหนดสัดส่วนการทดแทนน้ำเสียที่แตกต่างกันคือร้อยละ 20 40 60 และ 80 จากการทดลองพบว่าสัดส่วนการทดแทนน้ำเสียที่ร้อยละ 60 และ 80 มากกว่าร้อยละ 75 ของตะกอนในระบบสามารถรวมตัวเป็นเม็ดตะกอน โดยเมื่อเดินระบบที่สัดส่วนการทดแทนน้ำเสียที่ต่างกันร้อยละ 20 40 60 และ 80 เริ่มพบเม็ดตะกอนโดยใช้ระยะเวลาในการเดินระบบที่ 20 12 6 และ 2 วัน ตามลำดับ สามารถสรุปได้ว่าที่สัดส่วนการทดแทนน้ำเสียที่สูง หรือระดับท่อน้ำทิ้งที่ต่ำ สามารถคัดเลือกตะกอนที่มีคุณสมบัติในการตกตะกอนดีให้อยู่ในระบบเนื่องจากมีน้ำหนักระบบมากและตัดตะกอนเบาออกจากระบบ ส่งเสริมให้เกิดเม็ดตะกอนที่รวดเร็วและมีขนาดใหญ่ขึ้น

Li และคณะ (2011) ศึกษาผลของอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ต่อการสร้างและขนาดของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศ โดยอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ในแต่ละถังปฏิกรณ์(Reactor:

R) เท่ากับ 0.3(R1), 0.7(R2), 1.1(R3) และ 1.1(R4) กรัมซีโอดีต่อกรัมเอสเอสต่อวัน โดยที่ R4 จะใช้อัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์เริ่มต้นที่ 1.1 กรัมซีโอดีต่อกรัมเอสเอสต่อวันหลังจากนั้นจะลดเป็น 0.3 กรัมซีโอดีต่อกรัมเอสเอสต่อวัน พบว่าที่ R4 เม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีขนาดใหญ่ที่สุด เมื่อ F/M เท่ากับ 1.1 กรัมซีโอดีต่อกรัมเอสเอสต่อวัน และมีขนาดเล็กลงเมื่อ F/M เท่ากับ 0.3 กรัมซีโอดีต่อกรัมเอสเอสต่อวัน แต่เม็ดตะกอนมีความหนาแน่นกว่าเม็ดตะกอนที่ถูกสร้างโดยถึงปฏิกริยาอื่นๆ อีกทั้งได้ทำการศึกษาการดูดซับสารอินทรีย์พบว่า เม็ดตะกอนที่ถูกสร้างโดยถึงปฏิกริยาที่ 4 มีความสามารถในการดูดซับสารอินทรีย์ได้มีประสิทธิภาพมากที่สุด

Zhao และคณะ (2012) ศึกษาสัดส่วนระหว่าง C/N โดยใช้สัดส่วน C/N ที่แตกต่างกัน ตั้งแต่ 100:5 ถึง 100:50 พบว่าที่ C/N เท่ากับ 100:10 เม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศมีโครงสร้างที่หนาแน่น ขนาดอนุภาคมีความสม่ำเสมอ ประสิทธิภาพในการตกตะกอนดี ในขณะที่เม็ดตะกอนแบบใช้อากาศที่เกิดขึ้นภายใต้ C/N ต่ำ อนุภาคเม็ดตะกอนจะมีขนาดใหญ่ โครงสร้างหลวม และประสิทธิภาพในการตกตะกอนต่ำ

Nancharaiyah และคณะ (2018) พบว่า เม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศ (AGS) เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่ช่วยให้สามารถกำจัดคาร์บอน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และสารมลพิษอื่นๆ ได้พร้อมกัน เม็ดตะกอนแตกต่างจากตะกอนเร่งในลักษณะทางกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยา อย่างไรก็ตาม การก่อตัวของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศนั้นใช้เวลานานกว่ามากเมื่อบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำ

Guimarães และคณะ (2017) ศึกษาการสร้างเม็ดตะกอนจากน้ำเสียชุมชนที่มีความเข้มข้นต่ำ ดำเนินการในถังปฏิกริยาเอสปีอาร์ด้วยน้ำเสียชุมชนที่มีความเข้มข้นซีโอดีประมาณ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาในการบำบัด 4 ชั่วโมงต่อรอบ อัตราการเติมอากาศ 32 ลิตรต่อนาที สัดส่วนการทดแทนน้ำเสียร้อยละ 56 ตกตะกอน 13 นาที พบเม็ดตะกอนหลังจากเดินระบบ 56 วัน และมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.29 มิลลิเมตร

อริยะ กาญจนโกมุท (2562) ศึกษาการสร้างเม็ดตะกอนโดยใช้เวลาตกตะกอนที่แตกต่างกัน โดยใช้ถังปฏิกริยาเอสปีอาร์ ระยะเวลาในการบำบัด 4 ชั่วโมงต่อรอบ การทำงานของระบบประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือการเติมน้ำเสียสังเคราะห์ ซึ่งใช้ซูโครสเป็นแหล่งคาร์บอน ความเข้มข้นซีโอดีในถังปฏิกริยา 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณแอมโมเนียมคลอไรด์ 380 มิลลิกรัมต่อลิตร ควบคุมความเร็วการเติมอากาศ 3.5 เซนติเมตรต่อวินาที การตกตะกอน และการทิ้งน้ำโดยใช้สัดส่วนการทดแทนน้ำเสียร้อยละ 50 โดยไม่มีการทิ้งตะกอนและเปลี่ยนแปลงเวลาตกตะกอน 60 30 15 5

และ 2 นาที ผลการทดลองค่า MLSS เฉลี่ยที่สูงสุดเท่ากับ 31,600 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่เวลาตกตะกอน 15 นาที ค่า SVI อยู่ในช่วง 13.2-19.5 มิลลิลิตรต่อกรัม ขนาดเม็ดตะกอนในระบบที่เริ่มต้นใช้เวลาตกตะกอน 60 นาที พบเม็ดตะกอนขนาดเล็ก และเมื่อลดเวลาตกตะกอนลงเหลือ 30 15 5 และ 2 นาที เม็ดตะกอนมีขนาดใหญ่ขึ้น และเม็ดตะกอนขนาดใหญ่ที่สุดในระบบมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร การทดลองส่วนที่ 2 เลือกใช้เวลาตกตะกอน 15 นาที และเปลี่ยนแปลงสัดส่วนการทดแทนน้ำเสียร้อยละ 50 60 70 80 และ 90 ที่การเปลี่ยนแปลงสัดส่วนการทดแทนน้ำเสียร้อยละ 60 ผลการทดลองพบว่าค่า MLSS เฉลี่ยที่มีค่ามากที่สุด เท่ากับ 18,590 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า SVI คงที่อยู่ในช่วง 19.5-27.0 มิลลิลิตรต่อกรัม

2.5.2 การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับประสิทธิภาพในการบำบัดด้วยเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศ

Jungles และคณะ (2014) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียโดยเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศ ด้วยถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์ ใช้น้ำเสียสังเคราะห์โซเดียมอะซิเตต ระยะเวลาบำบัด 3 ชั่วโมงต่อรอบ สัดส่วนทดแทนน้ำเสียร้อยละ 50 ความเร็วอากาศ 1.05 เซนติเมตรต่อวินาที พบว่า เมื่อดำเนินระบบแล้ว 30 วัน เริ่มพบเม็ดตะกอนขนาดเล็ก ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 1 มิลลิเมตร และตลอดการดำเนินงานเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเม็ดตะกอนเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (วันที่ 200) พบเม็ดตะกอนมีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 4 มิลลิเมตร ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีช่วงแรกอยู่ที่ร้อยละ 75 (วันที่ 0-60) หลังจากนั้นจะสูงถึงร้อยละ 90 ตลอดการทดลอง

Squanci และคณะ (2019) ศึกษาความเสถียรของเม็ดตะกอนแบบใช้อากาศเมื่อถูกเลี้ยงด้วยน้ำเสียจริงที่มีความเข้มข้นซีโอดีที่ต่ำ ในถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์ โดยแบ่งการดำเนินการเป็น 2 ช่วง ในช่วงแรก (1-50 วัน) จะดำเนินการโดยใช้น้ำเสียจริงผสมกับสารสังเคราะห์โซเดียมอะซิเตตทำให้ความเข้มข้นของซีโอดีเพิ่มขึ้น ซึ่งช่วยในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และลดระยะเวลาในการสร้างเม็ดตะกอน (ความเข้มข้นซีโอดีรวม 290 มิลลิกรัมต่อลิตร) ระยะเวลาในการบำบัด 3 ชั่วโมง เวลาตกตะกอน 3 นาที เพื่อทำการคัดเลือกตะกอนที่ตกตะกอนได้ดีไว้และตะกอนเบาออกจากระบบ ใช้สัดส่วนการทดแทนน้ำเสียร้อยละ 50 ความเร็วในการเติมอากาศ 1.66 เซนติเมตรต่อวินาที พบเม็ดตะกอนทั่วทั้งระบบหลังจากเดินระบบไปแล้ว 50 วัน แต่เม็ดตะกอนมีลักษณะภายนอกปุยเบา เนื่องจากแบคทีเรียกลุ่มเส้นใย ในช่วงที่สอง (51-175 วัน) ดำเนินการโดยใช้น้ำเสียจริง (ความเข้มข้นซีโอดี 115 มิลลิกรัมต่อลิตร) ระยะเวลาในการบำบัด 4 ชั่วโมง เวลาในการตกตะกอน 15 นาที วันที่ 70 พบเม็ดตะกอนทั่วทั้งระบบ ลักษณะเป็นเม็ดละเอียด โครงสร้างสม่ำเสมอ และพื้นผิวเรียบตลอด

ระยะเวลาในการใช้น้ำเสียจริง พบว่าเมื่ตตะกอนมีความเสถียรตลอดการดำเนินการ 4 เดือน โดยพิจารณาจาก SVI5/SVI30 อยู่ประมาณ 1.0 ตลอดการทดลอง และประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี เท่ากับร้อยละ 85±7

Ni และคณะ (2009) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยเมื่ตตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศที่ความเข้มข้นซีโอดีต่ำ (<200 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร) โดยดำเนินการในถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์ ใช้ระยะเวลาในการเดินระบบ 4 ชั่วโมงต่อรอบ ช่วง 10 วันแรก ใช้เวลาตกตะกอน 30 นาที เพื่อป้องกันการชะล้างตะกอนออกจากระบบมากเกินไป และหลังจากนั้นดำเนินการเวลาตกตะกอน 15 นาที และใช้สัดส่วนการทดแทนน้ำเพิ่มขึ้นแบบขั้นบันไดจากร้อยละ 50 60 และ 70 ส่งผลให้อัตราการระสารถีเพิ่มขึ้นตาม พบว่า สัดส่วนการทดแทนน้ำเสียและระยะเวลาในการตกตะกอนเป็นปัจจัยสำคัญในการสร้างเมื่ตตะกอนที่เกิดจากน้ำเสียชุมชนที่มีความเข้มข้นต่ำ แม้ว่าจะมีการปล่อยตะกอนมากขึ้นแต่ความเข้มข้นของตะกอนในระบบยังเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งหมดโดยเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 90

Li และคณะ (2014) ศึกษาการสร้างเมื่ตตะกอนจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์ด้วยน้ำเสียชุมชนผสมกับน้ำเสียอุตสาหกรรม ที่ความเข้มข้นซีโอดีเท่ากับ 200-600 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลาในการบำบัด 4 ชั่วโมง ความเร็วในการเติมอากาศ 1.3 เซนติเมตรต่อวินาที ตกตะกอน 10 นาที และสัดส่วนการทดแทนน้ำเสียที่ร้อยละ 50 พบว่า วันที่ 50 ของการดำเนินการพบเมื่ตตะกอนในระบบที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 0.28 มิลลิเมตร และมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีร้อยละ 88

Tay และคณะ (2004) ศึกษาผลของอัตราการการระสารถีต่อเมื่ตตะกอน โดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบเอสปีอาร์ แต่ละถังจะทดลองใช้อัตราการระสารถี (OLR) ที่แตกต่างกัน คือ 1, 2, 4 และ 8 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ที่อัตราการการระสารถี 1 และ 2 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ไม่สามารถสร้างเมื่ตตะกอนได้ เมื่ตตะกอนถูกสร้างขึ้นที่อัตราการการระสารถี 4 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ซึ่งเมื่ตตะกอนมีความเสถียร MLVSS อยู่ที่ 12,000 มิลลิกรัมต่อลิตร อัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M) เท่ากับ 0.33 ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีเท่ากับร้อยละ 99

Ab Halim และคณะ (2015) ศึกษาการสร้างเมื่ตตะกอนที่อุณหภูมิสูงสำหรับน้ำเสียชุมชนทดลองโดยถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์ เดินระบบ 3 ชั่วโมงต่อรอบ ควบคุมความเร็วลม 2 เซนติเมตรต่อวินาที สัดส่วนการทดแทนน้ำเสียร้อยละ 50 ดำเนินการที่อุณหภูมิต่างกัน คือ 30 40 และ 50 องศา

เซลเซียส พบว่า อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เม็ดตะกอนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 3.36 มิลลิเมตร โดยมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีเท่ากับร้อยละ 98.17

สรายุธ เตยโพธิ์ (2563) ศึกษาประสิทธิภาพ อัตราการบำบัด และค่าจลนพลศาสตร์ของการบำบัดน้ำเสียโดยการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศ เติมน้ำในระบบในถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์ ระยะเวลาในการบำบัด 6 ชั่วโมงต่อรอบ ใช้น้ำตาลทรายเป็นแหล่งคาร์บอนและแอมโมเนียมคลอไรด์เป็นแหล่งไนโตรเจน เลี้ยงเม็ดตะกอนในถังปฏิกรณ์ใช้ความเร็วในการเติมอากาศ 3.5 เซนติเมตรต่อวินาที ใช้ระยะเวลา 5.7 ชั่วโมง เวลาตกตะกอน 15 นาที สัดส่วนการทดแทนน้ำเสียร้อยละ 60 ควบคุมค่าพีเอชระหว่าง 6.8-7.2 และค่าออกซิเจนละลายมากกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร การทดลองหาประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีสูงสุดของระบบที่ระยะเวลาในการบำบัด 6 ชั่วโมงเท่ากับ 98.4% ค่าดัชนีปริมาตรตะกอนเฉลี่ย 7.59 ± 1.077 มิลลิกรัมต่อกรัม ค่าความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ (MLSS) ในถังปฏิกรณ์เฉลี่ย $22,393 \pm 3,080$ มิลลิกรัมต่อลิตร การทดลองหาค่าจลนพลศาสตร์ใช้ความเข้มข้นซีโอดี 100 200 500 1,000 และ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยศึกษาค่าอัตราการบำบัดจำเพาะสูงสุด (k_m) และความเข้มข้นที่อัตราการบำบัดเท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราการบำบัดจำเพาะสูงสุด (k_s) ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศ จะได้ว่า ค่าอัตราการบำบัดในการบำบัดซีโอดีสูงสุดของระบบ (k_m) เท่ากับ 27.917 ± 11.997 มิลลิกรัมซีโอดีต่อมิลลิกรัม MLVSSต่อวัน และความเข้มข้นซีโอดีที่อัตราการย่อยสลายครึ่งหนึ่งของอัตราการย่อยสลายสูงสุด (K_s) เท่ากับ 963.04 ± 685.817 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.5.3 การเพิ่มความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ด้วยเทคโนโลยีการบำบัดอื่นๆ

Wang และคณะ (2018) ศึกษาเม็ดเจลโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ พบว่าการเพิ่มเม็ดเจลโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ที่เป็นลักษณะเม็ดทรงกลม โครงสร้างภายในคล้ายตาข่ายมีรูพรุนขนาดเล็ก โดยเม็ดพีวีเอเจลทำหน้าที่เปรียบเสมือนตัวพาให้เกิดการรวมตัวของจุลินทรีย์ กระบวนการพยานี้สามารถเพิ่มความเข้มข้นของชีวมวลในระบบ สามารถแยกตะกอนกับน้ำได้ดี และประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีสูง

Rajpal และคณะ (2021) ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพเพื่อเพิ่มการกำจัดไนโตรเจนและความหลากหลายของจุลินทรีย์ในกระบวนการที่ใช้เม็ดเจลโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA-gel) สำหรับการบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยมี PVA-gel เป็นตัวพาชีวมวลใน MBBR พบว่าความเข้มข้นของตะกอนสูงและมีประสิทธิภาพการบำบัดที่สูง Total-N (>ร้อยละ 90), COD (>ร้อยละ 90) และ BOD (>ร้อยละ 95)

Wisniewski และคณะ (2007) กล่าวว่าถังปฏิกริยาชีวภาพแบบเมมเบรน (Membrane bioreactor; MBR) เป็นกระบวนการที่ผสมผสานระหว่างการบำบัดตะกอนเร่งและการกรองด้วยเมมเบรน โดยเมมเบรนจะแยกน้ำใสออกจากตะกอนจุลินทรีย์ช่วยให้กักเก็บตะกอนจุลินทรีย์ในระบบได้ ทำให้ความเข้มข้นตะกอนจุลินทรีย์ในระบบสูงซึ่งระบบ MBR มีความเข้มข้นของตะกอนในถังเติมอากาศ 3,000-15,000 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่การใช้วิธีดังกล่าวข้างต้นก็ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของราคาที่สูงและต้องอาศัยผู้ดูแลและเดินระบบที่ชำนาญ



ตารางที่ 2.3 สรุปองค์ความรู้ที่ได้จากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ประเภท	น้ำเสีย		รอบการบำบัด (ชั่วโมง/รอบ)	ความเร็วในการเติมอากาศ (ชม./วินาที) หรืออัตราการเติมอากาศ (ลิตร/นาที)	เวลาในการตกตะกอน (นาที)	สัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย (%)	ขนาดเม็ดตะกอน (มิลลิเมตร)	เริ่มเกิดเม็ดตะกอน	งานวิจัย
	ความเข้มข้น (มก.ซีไอดี/ลิตร)	ความเสียหาย							
น้ำเสียสังเคราะห์ (ไม่กลาส)			4	อากาศ	1	50	2.35-7	40 วัน	(Morgenroth และคณะ, 1997)
น้ำเสียสังเคราะห์ (ซูโครส)	2,000		4	2 cm/s	5	50	10 (วันที่ 70)	40 วัน	(Zheng และคณะ, 2005)
น้ำเสียสังเคราะห์ (โซเดียมอะซิเตต)	600		3	1.05 cm/s	10	50	4 (วันที่ 200)	30 วัน	(Jungles และคณะ, 2014)
น้ำเสียชุมชน+น้ำเสียสังเคราะห์ (โซเดียมอะซิเตต)	290		3	1.66 cm/s	3	50	1.46 (มากกว่า 30% มีขนาดใหญ่กว่า 2 มิลลิเมตร)	60 วัน	(Squanci และคณะ, 2019)
น้ำเสียสังเคราะห์ (โซเดียมอะซิเตต)	3,000		4	2.4 cm/s			1.89	20 วัน	(Liu และคณะ, 2003)

ตารางที่ 2.3 สรุปองค์ความรู้ที่ได้จากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ประเภท	น้ำเสีย		รอบการบำบัด (ชั่วโมง/รอบ)	ความเร็วในการเติมอากาศ (ชม./วินาที) หรืออัตราการเติมอากาศ (ลิตร/นาที)	เวลาในการตกตะกอน (นาที)	สัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย (%)	ขนาดเม็ดตะกอน (มิลลิเมตร)	เริ่มเกิดเม็ดตะกอน	งานวิจัย
	ความเข้มข้น (มก.ซีไอดี/ลิตร)	ความเข้มข้น (มก./วินาที)							
น้ำเสียชุมชน	200		4	32 L/min	13	56	0.29	56 วัน	(Guimarães และคณะ, 2017)
น้ำเสียชุมชน	115		4		15	50-70	0.30	80 วัน	Ni และคณะ (2009)
น้ำเสียชุมชน (30%) + น้ำเสียอุตสาหกรรม (70%)	200-600		4	1.3 cm/s	10	50	0.28	50	(Jungles และคณะ, 2014)
น้ำเสียสังเคราะห์	220		3	1.6 cm/s	3	55	2.4	51	(Isanta และคณะ, 2012)
น้ำเสียสังเคราะห์ (ซูโครส)	2,000		4	3.5	2-60 นาที (ที่ 15 นาที เหมาะสมที่สุด)*	50-90 (ที่ VER 60 เหมาะสมที่สุด)*	5 (ขนาดใหญ่ที่สุดที่พบในระบบ)	30	(อริยะ กาญจน โภษุท, 2562)

ตารางที่ 2.3 สรุปองค์ความรู้ที่ได้จากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ประเภท	น้ำเสีย		รอบการบำบัด (ชั่วโมง/รอบ)	ความเร็วในการ เติมอากาศ (ชม./วินาที) หรืออัตราการ เติมอากาศ (ลิตร/ นาที)	เวลาในการ ตกตะกอน (นาที)	สัดส่วนการ ทดแทนน้ำ เสีย (%)	ขนาดเม็ด ตะกอน (มิลลิเมตร)	เริ่มเกิด เม็ด ตะกอน	งานวิจัย
	ความเข้มข้น (มก.ซีโอดี/ ลิตร)	น้ำเสีย							
น้ำเสียสังเคราะห์ (ซูโครส)	3,400		6	3.5	15	60	3	30	(สรายุทธ เติย โพธิ์, 2563)
น้ำเสียสังเคราะห์ (ซูโครส)	1,000		4	3.5	15	60			งานวิจัยนี้

สรุปองค์ความรู้ที่ได้จากการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจัยสำคัญในการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศ

1. ความเข้มข้นของน้ำเสีย

ความเข้มข้นของน้ำเสียส่งผลต่อขนาดของเม็ดตะกอน โดยที่ความเข้มข้นของน้ำเสียสูง จะทำให้เม็ดตะกอนมีขนาดใหญ่ เนื่องจากความเข้มข้นสูงจะช่วยให้การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และลดระยะเวลาในการสร้างเม็ดตะกอน โดยที่ความเข้มข้นต่ำ (200-600 มิลลิกรัมต่อลิตร) ใช้ระยะเวลาในการสร้างเม็ดตะกอนประมาณ 2 เดือน แต่ที่ความเข้มข้นสูง (มากกว่า 1,000 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร) ใช้ระยะเวลาในการสร้างเม็ดตะกอนประมาณ 1 เดือน แต่ทั้งนี้หากความเข้มข้นสูงจนเกินไป (ประมาณ 5,000 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร) จุลินทรีย์ไม่สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้หมด ทำให้ตายและเมื่อเวลาผ่านไปเม็ดตะกอนจะแตกสลาย

2. รอบการบำบัด

การเลี้ยงเม็ดตะกอนในถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์ที่ระยะเวลาการบำบัด 1.5 ชั่วโมงต่อรอบ พบว่าสามารถสร้างเม็ดตะกอนได้โดยใช้ระยะเวลาสั้น ชีวมวลที่เกิดในระบบมีความเข้มข้นที่สูง แต่เมื่อเวลาผ่านไป เม็ดตะกอนมีแบคทีเรียเส้นใยปรากฏอยู่บนเม็ดตะกอนมาก ส่งผลให้การตกตะกอนไม่ดี เกิดการชะล้างตะกอนออกจากระบบมากและเม็ดตะกอนไม่เสถียรจนในที่สุดก็แตกไป โดยทั่วไปนิยมใช้ระยะเวลาสร้างเม็ดตะกอนที่รอบการบำบัด 4 ชั่วโมงต่อรอบ พบว่า เม็ดตะกอนมีความแข็งแรง และรวมกันอัดแน่น

3. ความเร็วอากาศ

การเติมอากาศจะทำให้เกิดแรงเฉือนน้ำ ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการช่วยกระตุ้นให้สร้างอีพีเอส เพื่อให้จุลินทรีย์จับตัวกันแน่น และเกิดเม็ดตะกอนได้มากขึ้น ช่วงความเร็วในการเติมอากาศที่สามารถสร้างเม็ดตะกอนได้ จะต้องใช้ความเร็วในการเติมอากาศตั้งแต่ 1.2 เซนติเมตรต่อวินาทีขึ้นไป ความเร็วลม 2.4 เซนติเมตรต่อวินาที สามารถสร้างเม็ดตะกอนที่ความเข้มข้นซีโอดีสูงถึง 3,000 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร แต่หากมากกว่านั้นเม็ดตะกอนจะไม่เสถียรและแตกตัวในที่สุด และที่ความเร็วเร็ว 3.6 เซนติเมตรต่อวินาที สามารถสร้างเม็ดตะกอนที่ความเข้มข้นซีโอดีสูงถึง 5,000 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร โดยสรุปได้ว่าที่ความเร็วอากาศสูงๆ สามารถสร้างเม็ดตะกอนที่มีความเข้มข้นสูงได้ และเม็ดตะกอนจะมีโครงสร้างและการจับตัวที่แข็งแรง งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ความเร็วลมที่ 3.5 เซนติเมตรต่อ

วินาที โดยอ้างอิงจากงานวิจัยของอริยะ กาญจนโกมุท (2562) และ Tay และคณะ (2001) ที่ใช้ความเร็วในการเติมอากาศที่สูงจะได้เม็ดตะกอนที่จับตัวกันแน่นและโครงสร้างแข็งแรง

4. เวลาในการตกตะกอน

เวลาในการตกตะกอนมีส่วนสำคัญในการคัดเลือกตะกอนที่มีคุณสมบัติในการตกตะกอนสูงและความหนาแน่นตะกอนมากไว้ในระบบ และจะตัดเอาเบาออกจากระบบ โดยมักจะใช้ระยะเวลาในการตกตะกอนที่ต่ำประมาณ 3-15 นาที งานวิจัยนี้เลือกใช้เวลาตกตะกอนที่ 15 นาที เนื่องจากลักษณะของถังปฏิกริยาเอสปีอาร์มีรูปแบบเดียวกับงานวิจัยของอริยะ กาญจนโกมุท (2562) ซึ่งระยะเวลาตกตะกอนพิจารณาจากปริมาณตะกอนในระบบมากและประมาณตะกอนที่ทิ้งออกจากระบบน้อย

5. สัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย

สัดส่วนการทดแทนน้ำเสียสัมพันธ์กับระดับท่อน้ำทิ้ง และเป็นหนึ่งในปัจจัยสำคัญในการคัดเลือกตะกอนในระบบ จากงานวิจัยจะเห็นได้ว่า ที่สัดส่วนการทดแทนน้ำเสียร้อยละ 60 – 80 จะพบปริมาณเม็ดตะกอนที่เกิดขึ้นในระบบมาก งานวิจัยนี้เลือกใช้สัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย 60 เนื่องจากลักษณะของถังปฏิกริยาเอสปีอาร์มีรูปแบบเดียวกับงานวิจัยของอริยะ กาญจนโกมุท (2562) พิจารณาจากปริมาณตะกอนที่มากในระบบ

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ ดำเนินการที่อุณหภูมิตั้ง ณ ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยการทดลองแบ่งเป็น 3 ช่วง ดังนี้

1. การสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศ
2. ศึกษาอัตราการบำบัดซีโอดีโดยเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศที่ความเข้มข้นต่างๆ
3. การหาค่าจลนพลศาสตร์ของการบำบัดซีโอดีโดยเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

การทดลองช่วงที่ 1 การสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศ

เลี้ยงเม็ดตะกอนในถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์ โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ปริมาตร 8 ลิตร ที่มีน้ำตาลทรายเป็นแหล่งคาร์บอนและมีแอมโมเนียมคลอไรด์เป็นแหล่งไนโตรเจน ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้นในระบบ 500 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตรและความเข้มข้นแอมโมเนียเริ่มต้นในระบบ 100 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร เติบโตแบบที่ละเท โดยเติบโตระบบ 1 รอบ ใช้เวลาในการเติบโตระบบ 4 ชั่วโมง ประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอน ได้แก่ การเติมน้ำเสียสังเคราะห์ 1 นาที เติบโตอากาศโดยใช้ความเร็วในการเติบโตอากาศเท่ากับ 3.5 เซนติเมตรต่อวินาที จนค่าความเข้มข้นซีโอดีในระบบลดลงจนกระทั่ง ระยะเวลาการตกตะกอนที่ 15 นาที ระยะเวลาปล่อยน้ำเสีย 5 นาที ใช้สัดส่วนการทดแทนน้ำเสียร้อยละ 60 ควบคุมภาวะพีเอช เท่ากับ 6.5-7.5 และค่าออกซิเจนละลายน้ำ มากกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เก็บตัวอย่างน้ำและตะกอนมาทำการวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบว่าเกิดเม็ดตะกอนในระบบ โดยทั่วไปพิจารณาจากดัชนีปริมาตรตะกอนที่ลดลง ของแข็งแขวนลอยและของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายที่คงที่ รวมถึงประสิทธิภาพในการบำบัดที่คงที่ พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ ประกอบด้วย ซีโอดี ของแข็งแขวนลอย ของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย ปริมาตรตกตะกอนที่ 5 นาที ปริมาตรตกตะกอนที่ 30 นาที ดัชนีปริมาตรตะกอนที่ 5 นาที ดัชนีปริมาตรตะกอนที่ 30 นาที ขนาดเม็ดตะกอน และลักษณะทางกายภาพของเม็ดตะกอน

การทดลองช่วงที่ 2 ศึกษาอัตราการบำบัดซีโอดีโดยเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศที่ความเข้มข้นต่างๆ

หาประสิทธิภาพและอัตราการบำบัดซีโอดีที่ความเข้มข้นต่างๆ เมื่อของแข็งแขวนลอยในระบบคั่งที่ ทำการทดลองในถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์ โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ปริมาตร 8 ลิตร ที่มีน้ำตาลทรายเป็นแหล่งคาร์บอนและมีแอมโมเนียมคลอไรด์เป็นแหล่งไนโตรเจน ใช้ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้นในระบบของถังปฏิกรณ์ที่ 1 เท่ากับ 1,000 และ 500 ตามลำดับ และในถังปฏิกรณ์ที่ 2 เท่ากับ 250 100 และ 50 ตามลำดับ โดยคงสัดส่วน COD:N เท่ากับ 10:1 เช่นเดียวกับลักษณะน้ำเสียชุมชน (กรมควบคุมมลพิษ, 2546) เดินระบบแบบที่ละเท โดยเดินระบบ 1 รอบ ใช้เวลาในการเดินระบบ 4 ชั่วโมง ประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอน ได้แก่ การเติมน้ำเสียสังเคราะห์ 1 นาที เติมอากาศโดยใช้ความเร็วในการเติมอากาศเท่ากับ 3.5 เซนติเมตรต่อวินาที จนค่าความเข้มข้นซีโอดีในระบบลดลงจนกระทั่ง ระยะเวลาการตกตะกอนที่ 15 นาที ระยะเวลาปล่อยน้ำเสีย 5 นาที ใช้สัดส่วนการทดแทนน้ำเสียร้อยละ 60 ควบคุมภาวะพีเอช (pH) เท่ากับ 6.5-7.5 และค่าออกซิเจนละลายน้ำมากกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เมื่อของแข็งแขวนลอยในระบบคั่งที่ ทดลองหาอัตราการบำบัดซีโอดีที่ความเข้มข้นเดียวกันกับความเข้มข้นที่ทดลองในถังปฏิกรณ์ โดยทำการเก็บตัวอย่างเม็ดตะกอนความเข้มข้น 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เติมน้ำเสียขนาด 2 ลิตร และเติมน้ำเสียที่ความเข้มข้นที่ต้องการให้ปริมาตรรวมในการทดลองเท่ากับ 1 ลิตร ควบคุมพีเอชเท่ากับ 6.5-7.5 และค่าออกซิเจนละลายน้ำมากกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร วิเคราะห์หาความเข้มข้นซีโอดีที่ระยะเวลาในการบำบัด 15 30 45 60 75 และ 90 นาที ทำการทดลองจนอัตราการบำบัดที่ความเข้มข้นต่างๆ คงที่อย่างน้อย 3 ชั่วโมง เพื่อนำค่าที่ได้ไปใช้ในการวิเคราะห์หาค่าจลนพลศาสตร์ต่อไป พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ ซีโอดี ของแข็งแขวนลอย ของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย ปริมาตรตกตะกอนที่ 5 นาที ปริมาตรตกตะกอนที่ 30 นาที ดัชนีปริมาตรตะกอนที่ 5 นาที ดัชนีปริมาตรตะกอนที่ 30 นาที ขนาดเม็ดตะกอน และลักษณะทางกายภาพของเม็ดตะกอน

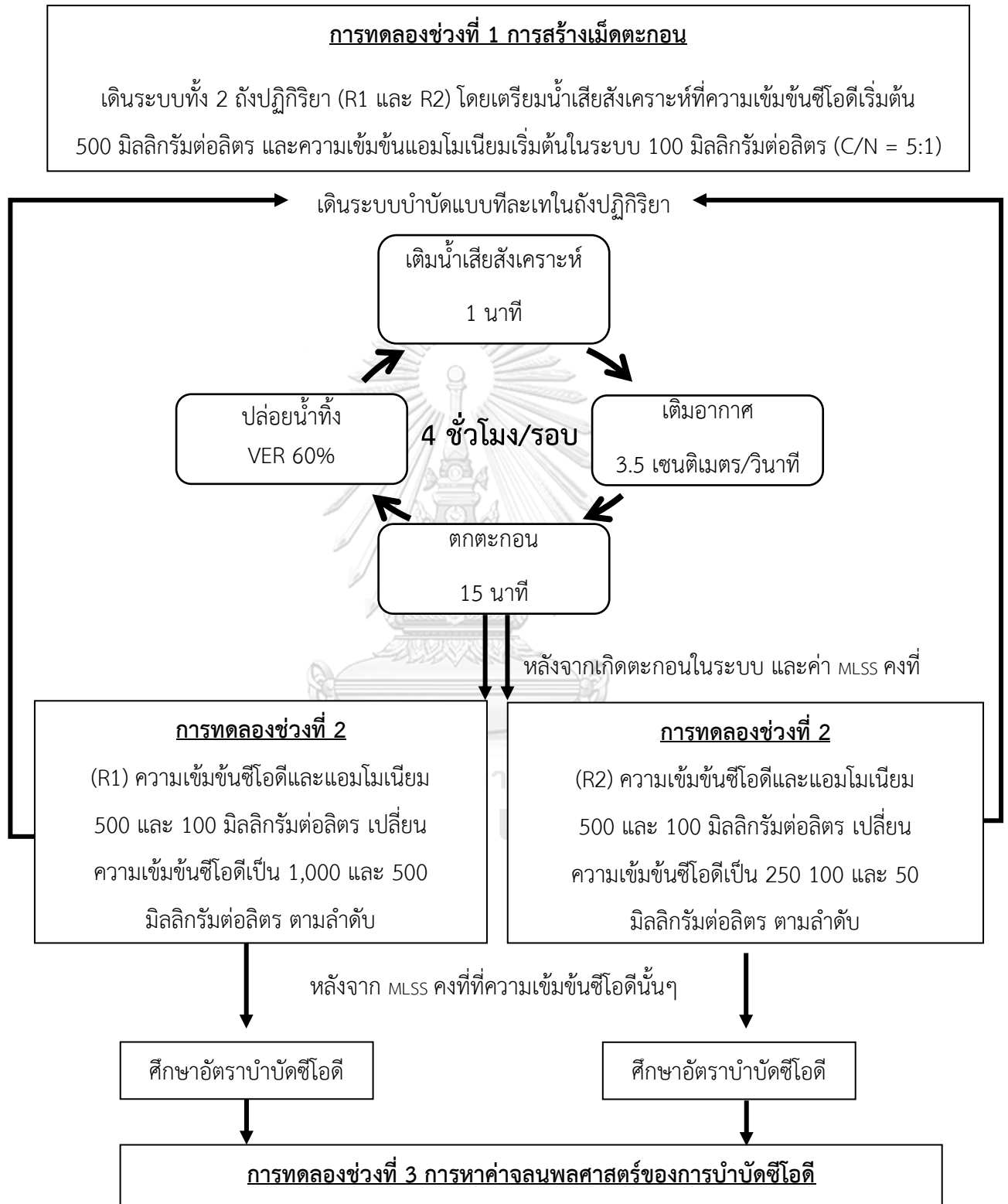
การทดลองช่วงที่ 3 การหาค่าจลนพลศาสตร์ของการบำบัดซีโอดีโดยเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

นำผลการทดลองที่ได้จากการทดลองในช่วงที่ 2 มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับเวลา หาความชันของกราฟในช่วงเริ่มต้นที่อัตราการบำบัดคงที่จะได้อัตราการบำบัด จากนั้นนำค่าที่ได้หารด้วยความเข้มข้นของ MLVSS ของระบบ ค่าที่ได้คืออัตราการบำบัดจำเพาะของระบบ โดยทำเช่นเดียวกันกับทุกค่าความเข้มข้นเริ่มต้นที่ใช้ในการทดลองที่ 2

หลังจากได้อัตราการบำบัดจำเพาะของระบบที่ความเข้มข้นต่างๆ นำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการบำบัดจำเพาะและความเข้มข้นซีโอดี โดยใช้โปรแกรม SPSS จะได้กราฟจลนพลศาสตร์รูปแบบใดรูปแบบหนึ่งพร้อมทั้งค่าจลนพลศาสตร์ต่างๆ



วิธีการทดลอง



รูปที่ 3.1 วิธีการทดลอง

3.2 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

3.2.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์น้ำเสีย

3.2.1.1 ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand)

เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์ซีโอดี (COD)

- หลอดแก้วพร้อมฝาเกลียวปิด (Culture Tube)
- ตู้อบความร้อน (Drying oven) ที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ประมาณ 150

องศาเซลเซียส

- เครื่องชั่งละเอียด
- เครื่องดูด-จ่ายสารละลาย (Dispenser)
- ขวดปรับปริมาตร (Volumetric flask)
- บีกเกอร์ (Beaker)
- แท่งแก้วสำหรับคน
- ปิเปตต์แบบใช้ดวง (graduated pipette)
- ขวดสำหรับฉีดล้างชนิดพลาสติก
- น้ำกลั่น (Distilled Water)
- บิวเรตต์ (burette)
- ที่จับบิวเรตต์ (Burettes Clamp)

สารเคมี

- สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต (Standard Potassium Dichromate Digestion Solution, $K_2Cr_2O_7$) ความเข้มข้น 0.01667 M หรือ 0.1000 N
- กรดซัลฟูริกเข้มข้น (Sulfuric Acid Conc. H_2SO_4)
- ซิลเวอร์ซัลเฟต (Silver Sulfate, $AgSO_4$)

- กรดซัลฟูริกเอเจนต์ (Sulfuric acid reagent)
- สารละลายเฟอร์โรอิน อินดิเคเตอร์ (Ferroun Indicator Solution)
- เฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (Ferrous Ammonium Sulfate, $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)
- สารละลายไตเตรนท์มาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (Standard Ferrous Ammonium Sulfate Solution (FAS) Titrant) ความเข้มข้น 0.10 M หรือ 0.10 N

3.2.1.2 แอมโมเนียม

เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับวิเคราะห์แอมโมเนียม

- เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)
- คิวเวทท์ควอตซ์ (Quartz Cuvette)
- ขวดปรับปริมาตร (Volumetric flask)
- บีกเกอร์ (Beaker)
- น้ำกลั่น (DI water)

สารเคมี

- สารละลายไฮโปคลอไรต์ (Sodium Hypochlorite)
- สารละลายอัลคาไลน์ซิเตรต (Alkaline Citrate Solution)

เตรียมจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ 18.5 กรัม ผสมกับโซเดียมซิเตรต ($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 100 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปริมาตรรวม 1 ลิตร

- สารผสมในอัตราส่วน 9:1 ระหว่างอัลคาไลน์ซิเตรตกับไฮโปคลอไรต์
- สารละลายซาลิไซเลต (Salicylate Catalyst Solution)

เตรียมจากโซเดียมซาลิไซเลต ($\text{C}_7\text{H}_5\text{NaO}_3$) 440 กรัม ผสมกับโซเดียมไนโตรพรัสไซด์ ($\text{Na}_2[\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 0.28 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปริมาตรรวม 1 ลิตร

3.2.1.3 พีเอช (pH)

- เครื่องวัด pH

3.2.1.4 ของแข็งแขวนลอย

- กระดาษกรองใยแก้ว GF/C รูปทูน 1.2 ไมครอน
- อุปกรณ์ชุดกรอง
- เครื่องดูดอากาศ
- เตาอบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ 103-105 องศาเซลเซียส
- โถทำแห้ง (Desiccator) พร้อมสารดูดความชื้น
- เครื่องชั่งละเอียด
- กระดาษอะลูมิเนียม เพื่อทำเป็นภาชนะสำหรับใส่กระดาษกรอง
- กระจกบอทดวง
- คีมหนีบ (Forceps)

3.2.1.5 ออกซิเจนละลาย

- เครื่องวัดออกซิเจนละลาย

3.2.1.6 ปริมาตรการตกตะกอนที่ 5 และ 30 นาที

- กรวยอิมฮอฟฟ์ (Imhoff cone) หรือกระจกบอทดวง 1,000 มิลลิลิตร

3.2.1.7 ดัชนีปริมาณตะกอน

- กรวยอิมฮอฟฟ์ (Imhoff cone) หรือกระจกบอทดวง 1,000 มิลลิลิตร

3.2.1.8 ขนาดเม็ดตะกอน

- จานเพาะเชื้อแก้ว (Petri dish)
- กระดาษกราฟขนาดช่อง 1×1 มิลลิเมตร

- ตะแกรงกรอง ขนาดรูกรอง 0.5×0.5 มิลลิเมตร

3.2.1.9 ความหนาแน่นของตะกอนจุลินทรีย์

- น้ำกลั่น (DI Water)

- กระดาษกรองใยแก้ว (GF/C ขนาดรูพรุน 1.2 ไมโครเมตร)

- ชุดกรวยกรองบุชเนอร์ (Buchner Funnel)

- ตู้อบความร้อนที่มีเครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Drying Oven)

3.2.1.10 ลักษณะทางกายภาพของเม็ดตะกอน

- น้ำกลั่น (DI Water)

- กระดาษกรองใยแก้ว GF/C ขนาดรูพรุน 1.2 ไมโครเมตร

- จานเพาะเชื้อแก้ว (Petri dish)

- กระดาษกราฟขนาดช่อง 1×1 มิลลิเมตร

3.2.2 น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลอง

น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลองมีปริมาตร 8 ลิตรต่อรอบ (เตรียมน้ำเสีย 40 ลิตรต่อวัน) โดยมีน้ำตาลทรายเป็นแหล่งคาร์บอน และมีแอมโมเนียมคลอไรด์เป็นแหล่งไนโตรเจน มีความเข้มข้นของซีไอดี 500 มิลลิกรัมซีไอดีต่อลิตร และความเข้มข้นของแอมโมเนียม 100 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ควบคุมพีเอชในระบบให้อยู่ที่ 6.5-7.5 โดยการใส่บัฟเฟอร์โซเดียมฟอสเฟต (HPO_4)/โซเดียมไบฟอสเฟต (H_2PO_4) แร่ธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย โดยใช้สูตรอาหารอ้างอิงตาม Zheng และคณะ (2006) ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สารอาหารจำเป็นที่เป็นส่วนประกอบของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลอง (Zheng และคณะ, 2006)

สารอาหารที่ไม่ได้ผสมเก็บไว้*		สารอาหารหลัก ทำ Stock 10 เท่า ในปริมาตรน้ำ 1 ลิตร*	
ส่วนประกอบ น้ำเสียสังเคราะห์	กรัม (g)	ส่วนประกอบ	กรัม (g)
น้ำตาลทราย	60.56	$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	10
NH_4Cl	25.48	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	4
KH_2PO_4	20.92	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	8
K_2HPO_4	42.84		
ส่วนประกอบแร่ธาตุที่จำเป็น ทำ Stock 1,000 เท่า ในปริมาตรน้ำ 1 ลิตร*			
ส่วนประกอบ	กรัม (g)	ส่วนประกอบ	กรัม (g)
H_3BO_3	2	$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	2
ZnCl_2	2	AlCl_3	2
CuCl_2	1.2	$\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	2
$\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	2	NiCl_2	2

หมายเหตุ : * สำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ปริมาตร 40 ลิตรต่อวัน

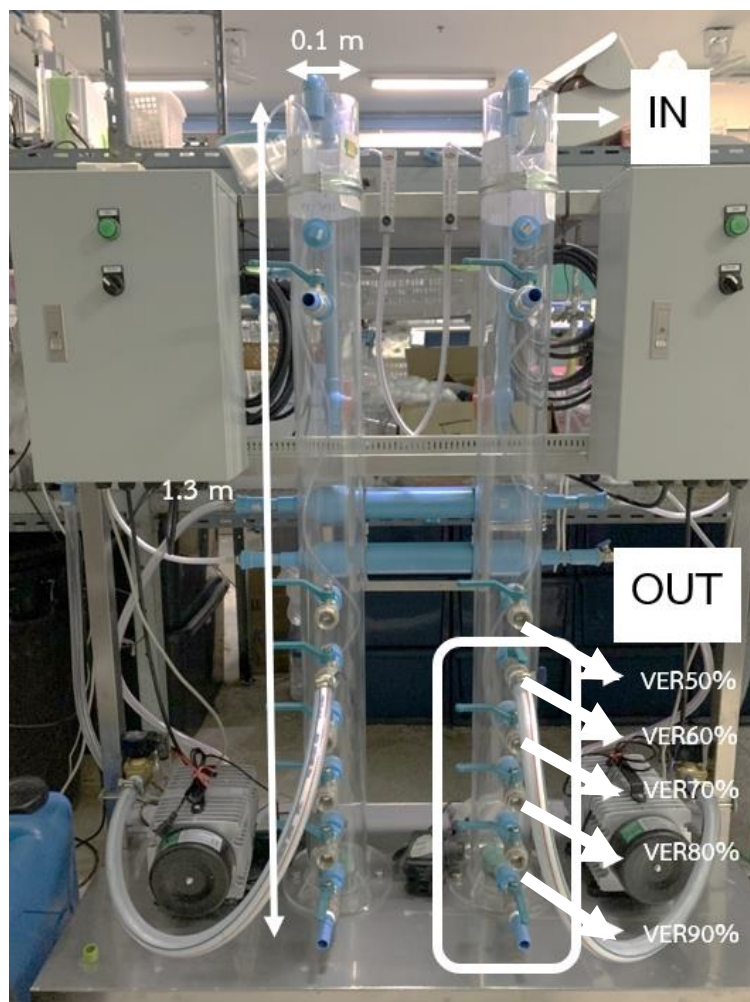
3.2.3 หัวเชื้อจุลินทรีย์

หัวเชื้อจุลินทรีย์นำมาจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง นำเชื้อมาเลี้ยงในถังปฏิกริยาเอสปีอาร์โดยสูตรอาหารดังตาราง 3.1 เติมอากาศที่ความเร็วอากาศ 3.5 เซนติเมตรต่อวินาที ความเข้มข้นของตะกอนเริ่มต้นในระบบ เท่ากับ 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

3.2.4 ถังปฏิกริยา

ถังปฏิกริยาเอสปีอาร์ (Sequencing Batch Reactor) ที่ใช้ในการทดลองเป็นถังปฏิกริยาที่ทำจากวัสดุอะคริลิกทรงกระบอกที่มีความสูง 1.3 เมตรและมีเส้นผ่านศูนย์กลางถัง 0.1 เมตร ปริมาตรน้ำเสียสังเคราะห์ที่รับได้เท่ากับ 8 ลิตร โดยในถังจะมีการเติมอากาศและตกตะกอนภายในถัง ทำการปล่อยน้ำทิ้งจากท่อด้านข้างถังที่สัดส่วนทดแทนน้ำเสีย (Volume exchange ratio : VER) ที่สัดส่วน

ทดแทนน้ำเสียร้อยละ 60 จะมีความสูงจากกันถึงถึงท้องท่อทางออกน้ำทิ้งของระบบเท่ากับ 0.4 เมตร และระดับสัดส่วนทดแทนน้ำเสียอื่นๆ มีระยะห่างระหว่างชั้นเท่ากับ 0.1 เมตร

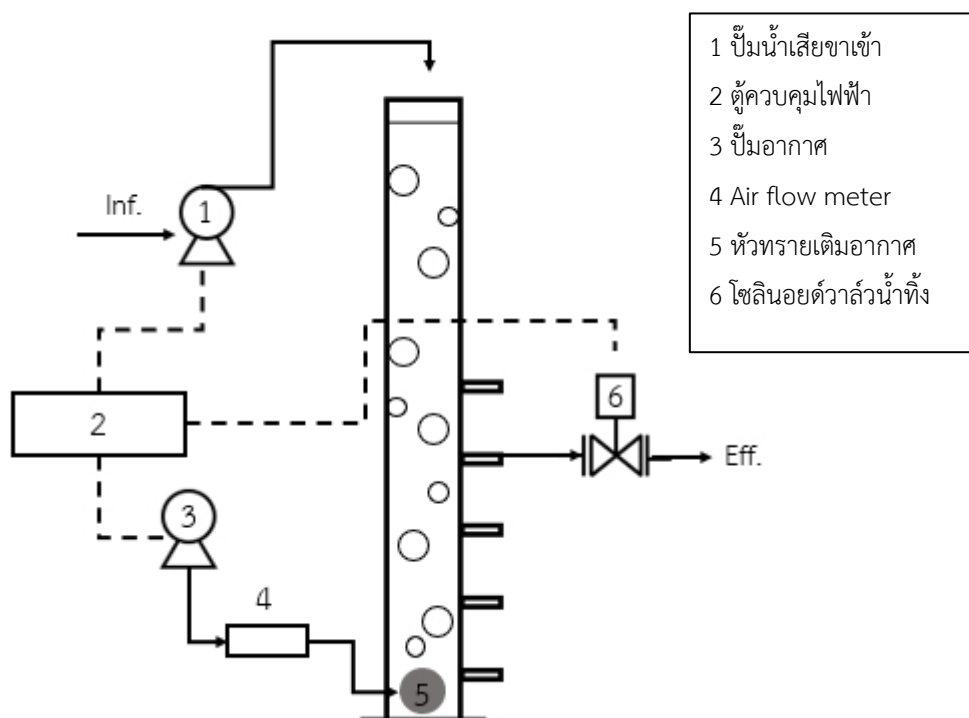


รูปที่ 3.2 ถังปฏิกริยาเอสปีอาร์

3.2.5 อัตราการเติมอากาศ

อัตราการเติมอากาศควบคุมการจ่ายอากาศ (Flow meter) โดยคำนวณจากการนำความเร็วในการเติมอากาศที่ 3.5 เซนติเมตรต่อวินาทีคูณกับพื้นที่หน้าตัดของถังปฏิกริยาซึ่ง หน้าตัดของถังปฏิกริยามีค่าเท่ากับ 78.5 ตารางเซนติเมตร ดังนั้น จะได้อัตราการเติมอากาศของระบบเท่ากับ 16.5 ลิตรต่ออนาที

3.2.6 แผนผังการเดินระบบ



รูปที่ 3.3 แผนผังการเดินระบบในถังปฏิกริยาเอสปีอาร์

เวลาในการเดินระบบ 4 ชั่วโมง รอบการบำบัดของระบบเอสปีอาร์ในการวิจัย ประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอน ดังนี้

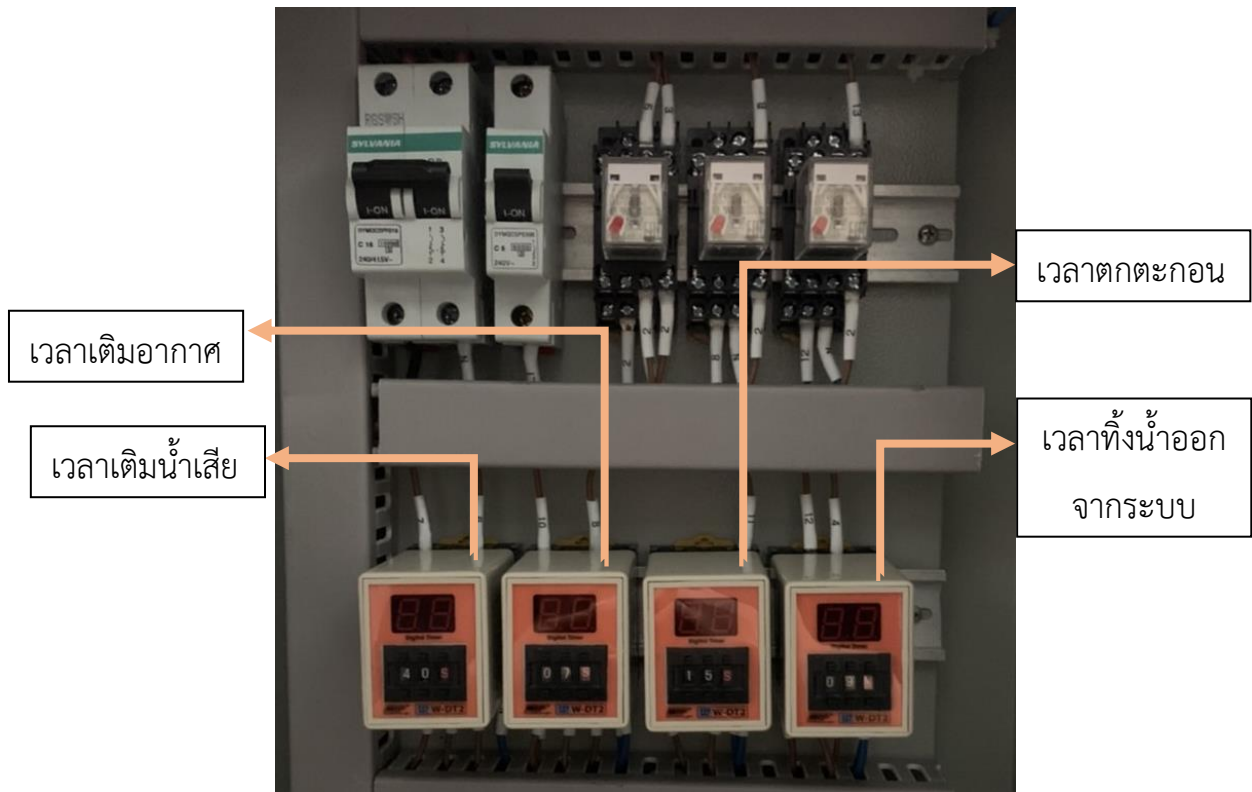
ขั้นตอนที่ 1 เติมน้ำเสียวาส์เคราะห์เข้าระบบโดยใช้ปั๊มน้ำเสียวาเข้า(1) เติมน้ำเสียวาส์เคราะห์ในระบบมีปริมาตรการทำงานที่ 8 ลิตร ใช้ระยะเวลา 1 นาที

ขั้นตอนที่ 2 เติมอากาศโดยปั๊มเติมอากาศ(3) ควบคุมอัตราการเติมอากาศด้วย Air flow meter(4) ที่อัตราการเติมอากาศเท่ากับ 16.5 ลิตรต่อนาที จ่ายอากาศเข้าสู่หัวทรายเติมอากาศ(5) เติมอากาศที่ด้านล่างของถังปฏิกริยาเพื่อให้อากาศกระจายทั่วทั้งถัง ใช้ระยะเวลา 219 นาที

ขั้นตอนที่ 3 การตะกอน ใช้ระยะเวลา 15 นาที

ขั้นตอนที่ 4 การทิ้งน้ำจะทิ้งน้ำออกที่สัดส่วนการทดแทนน้ำเสียวาร้อยละ 60 ผ่านโอลีนอยด์วาล์วน้ำทิ้ง(6) ใช้ระยะเวลา 5 นาที

โดยรอบการบำบัดของระบบเอสปีอาร์จะถูกควบคุมการทำงานด้วยตู้ควบคุมไฟฟ้า (Controller)(2) โดยใช้ตัวตั้งเวลา (Timer) ในการควบคุมแต่ละขั้นตอน ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ตู้ควบคุมระบบไฟฟ้าและตัวตั้งเวลาระบบบำบัดถึงปฏิบัติการ

3.3 การดำเนินงานวิจัย

3.3.1 การสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศ

3.3.1.1 ตัวแปรที่ทำการศึกษา ดังตาราง 3.2

3.3.1.2 ขั้นตอนการทดลอง

การทดลอง

- 1) เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร และความเข้มข้นแอมโมเนียเริ่มต้นในระบบ 100 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร
- 2) การบำบัดของระบบเอสปีอาร์ เป็นรอบการบำบัด โดยใช้เวลา 4 ชั่วโมงต่อรอบการบำบัด ประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอน ได้แก่ การเติมน้ำเสียสังเคราะห์ 1 นาที การเติมอากาศ ใช้ระยะเวลา 219 นาที การตกตะกอน ใช้ระยะเวลา 15 นาที และการทิ้งน้ำใช้ระยะเวลา 5 นาที โดยปล่อยน้ำทิ้งจากระดับสัดส่วนทดแทนน้ำเสียร้อยละ 60 และเติมน้ำเสียสังเคราะห์เข้าสู่ปฏิกรณ์รอบใหม่อีก 4.8 ลิตร ในรอบการบำบัดใหม่
- 3) ตรวจวัดพารามิเตอร์ต่างๆ โดยเก็บตัวอย่างน้ำในถังปฏิกรณ์ขณะเติมอากาศและน้ำทิ้งเพื่อวิเคราะห์หาค่า ซีโอดี พีเอช ค่าออกซิเจนละลาย ของแข็งแขวนลอย ของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย ดัชนีปริมาตรตะกอนที่ 5 และ 30 นาที
- 4) วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของเม็ดตะกอนโดยเก็บตัวอย่างตะกอนจากท่อกลางถึงเพื่อศึกษาขนาดเม็ดตะกอน และลักษณะทางกายภาพของเม็ดตะกอน

3.3.2 ศึกษาอัตราการบำบัดซีโอดีโดยเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศที่ความเข้มข้นต่างๆ

3.3.2.1 ตัวแปรที่ทำการศึกษา ดังตาราง 3.2

3.3.2.2 ขั้นตอนการทดลอง

การทดลอง

- 1) หลังจากเกิดเมื่อดตะกอนในระบบ ความเข้มข้นของตะกอน (MLSS) ในระบบ เอสบีอาร์คงที่
- 2) เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้นในระบบที่แตกต่างกัน โดยถึง ปฏิกริยาที่ 1 จะเปลี่ยนความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น 1,000 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ถึงปฏิกริยาที่ 2 จะเปลี่ยนความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้น 250 100 และ 50 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร ตามลำดับ โดยคงสัดส่วน COD:N เท่ากับ 10:1 เช่นเดียวกับ ลักษณะน้ำเสียชุมชน (กรมควบคุมมลพิษ, 2546) ลงในถังปฏิกริยาเอสบีอาร์
- 3) การบำบัดของระบบเอสบีอาร์ เป็นรอบการบำบัด โดยใช้เวลา 4 ชั่วโมงต่อรอบการบำบัด ประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอน ได้แก่ การเติมน้ำเสียสังเคราะห์ 1 นาที การเติมอากาศ ใช้ระยะเวลา 219 นาที การตกตะกอน ใช้ระยะเวลา 15 นาที และการทิ้งน้ำใช้ระยะเวลา 5 นาที โดยปล่อยน้ำทิ้งจากระดับสัดส่วนทดแทนน้ำเสียร้อยละ 60 และเติมน้ำเสียสังเคราะห์เข้าถังปฏิกริยาอีก 4.8 ลิตร ในรอบการบำบัดใหม่
- 4) หลังจากความเข้มข้นของตะกอนในระบบเอสบีอาร์คงที่
- 5) เก็บตัวอย่างเมื่อดตะกอนจากถังปฏิกริยาที่ความเข้มข้นตะกอน 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เติมในภาชนะขนาด 2 ลิตร เติมน้ำเสียที่ความเข้มข้นที่ต้องการให้ปริมาตรรวมในการทดลองเท่ากับ 1 ลิตร เติมอากาศและเก็บน้ำตัวอย่างจนกว่าปฏิกริยาสิ้นสุด
- 6) ทำการทดลองจนอัตราการบำบัดซีโอดีที่ความเข้มข้นต่างๆ คงที่อย่างน้อย 3 ชั่วโมง
- 7) ตรวจวัดพารามิเตอร์ต่างๆ โดยเก็บตัวอย่างน้ำในถังปฏิกริยาขณะเติมอากาศและน้ำทิ้งเพื่อวิเคราะห์ค่าซีโอดี พีเอช ค่าออกซิเจนละลาย ของแข็งแขวนลอย ของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย ดัชนีปริมาตรตะกอนที่ 5 และ 30 นาที
- 8) วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของเมื่อดตะกอนโดยเก็บตัวอย่างตะกอนจากท่อกลางถึงเพื่อศึกษาขนาดเมื่อดตะกอน และลักษณะทางกายภาพของเมื่อดตะกอน

3.3.2.3 ศึกษาลักษณะและคุณสมบัติของเม็ดตะกอน

3.3.2.3.1 ลักษณะและขนาดเม็ดตะกอน

- 1) เก็บตัวอย่างตะกอน 20 มิลลิลิตรจากท่อกลางของถังปฏิกริยาระหว่างชั้นตอนเดิมอากาศ จากนั้นกรองตะกอนด้วยตะแกรงกรองขนาด 0.5×0.5 มิลลิเมตร เพื่อคัดเลือกเม็ดตะกอนใส่ในจานเพาะเชื้อแก้ว โดยจัดวางตะกอนให้กระจายตัว ไม่เกาะกันเป็นกลุ่ม เพื่อให้การวัดขนาดจะได้ไม่เกิดข้อผิดพลาด
- 2) วัดขนาดโดยการใช้แผ่นกระดาษกราฟที่มีลักษณะเป็นตาราง ซึ่งแต่ละช่องตารางมีขนาด 1×1 มิลลิเมตร วางใต้จานเพาะเชื้อแก้ว เพื่อวัดขนาดของเม็ดตะกอน

หลักเกณฑ์การคัดแยกขนาดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

เม็ดตะกอนที่เกิดขึ้นมีลักษณะที่แตกต่างกันจึงยากต่อการระบุขนาด ดังนั้นการคัดแยกขนาดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จึงอาศัยเกณฑ์ในการคัดแยกเม็ดตะกอนโดยวัดขนาดเม็ดตะกอนจากขนาดความยาวของเส้นทแยงมุมที่ยาวที่สุดของเม็ดตะกอนและแยกเม็ดขนาดตะกอนเป็น 5 กลุ่ม คือ ขนาดเล็กกว่า 1 มิลลิเมตร ขนาด 1-2 มิลลิเมตร ขนาด 2-3 มิลลิเมตร ขนาด 3-4 มิลลิเมตร และขนาดใหญ่กว่า 4 มิลลิเมตร

3.3.2.3.2 ลักษณะผิวเม็ดตะกอน

เก็บตัวอย่างหัวเชื้อตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้ตั้งแต่เริ่มระบบและตัวอย่างเม็ดตะกอนจากการทดลอง ส่วนที่ 2 (เก็บตัวอย่างเม็ดตะกอนที่ความเข้มข้นซีโอดี 1,000 และ 250 มิลลิกรัมต่อลิตร) โดยเลือกเม็ดตะกอนที่สมบูรณ์ เป็นทรงกลมและมีขนาดใหญ่ที่สุด ส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope) เพื่อดูรูปร่างและพื้นผิวของเม็ดตะกอน

3.3.2.3.3 ความหนาแน่นของตะกอนจุลินทรีย์

- 1) นำตัวอย่างตะกอนปริมาตร 20 มิลลิลิตร กรองด้วยกระดาษกรองขนาด 1.2 ไมครอน
- 2) เติมน้ำปราศจากไอออน (Demineralized water) 20 มิลลิลิตรลงในตะกอนที่คัดแยกได้จาก (1) แล้วจึงวัดปริมาตรรวม (ปริมาตรน้ำที่มีตะกอนรวมอยู่)
- 3) จาก (2) กรองเอาแต่ตะกอนไปอบแห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำตะกอนแห้งที่ได้ไปชั่งน้ำหนัก
- 4) ความหนาแน่นของตะกอนจุลินทรีย์หาได้จากการคำนวณ ดังนี้

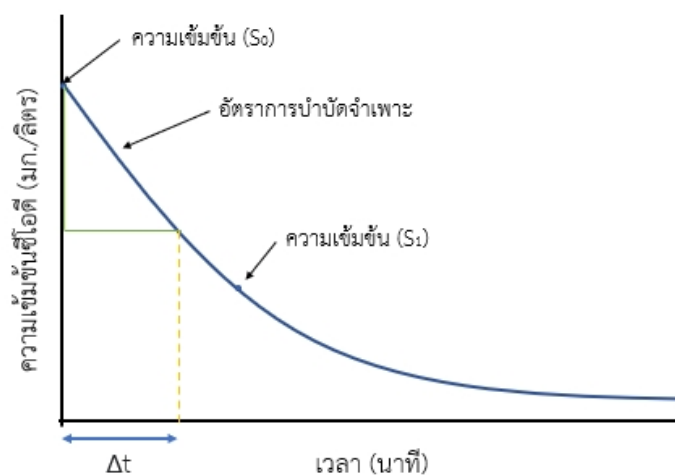
$$\text{ความหนาแน่นของตะกอนจุลินทรีย์ (Biomass density)} = \frac{\text{น้ำหนักแห้งของตะกอน}}{\text{ปริมาตรตะกอน}}$$

*หมายเหตุ ปริมาตรตะกอน = ปริมาตรรวม - ปริมาตรน้ำ 20 มิลลิลิตร

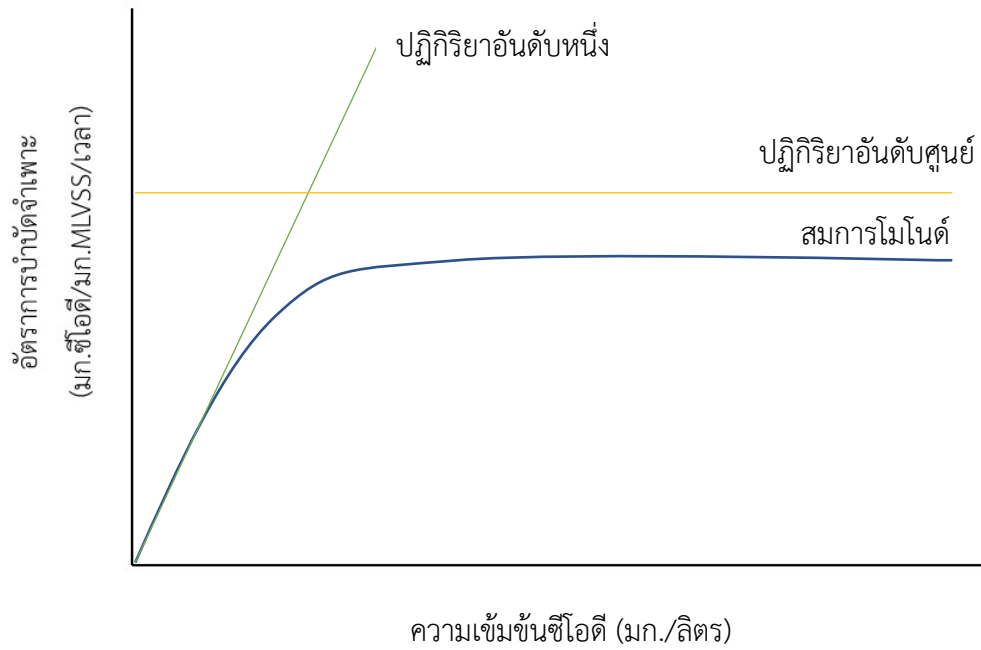
3.3.3 การหาค่าจลนพลศาสตร์ของการบำบัดซีโอติโดยเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

นำผลการทดลองที่ได้จากการทดลองในช่วงที่ 2 มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกับเวลา หาความชันของกราฟในช่วงเริ่มต้นที่อัตราการบำบัดคงที่จะได้อัตราการบำบัด ดังแสดงในรูปที่ 3.5 จากนั้นนำค่าที่ได้หารด้วยความเข้มข้นของ MLVSS ของระบบ ค่าที่ได้คืออัตราการบำบัดจำเพาะของระบบ โดยทำเช่นเดียวกันกับทุกค่าความเข้มข้นเริ่มต้นที่ใช้ในการทดลองที่ 2

หลังจากได้ค่าอัตราการบำบัดจำเพาะของระบบที่ความเข้มข้นต่างๆ นำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการบำบัดจำเพาะและความเข้มข้นซีโอติ โดยใช้โปรแกรม SPSS จะได้กราฟจลนพลศาสตร์รูปแบบใดรูปแบบหนึ่ง ดังรูปที่ 3.6 พร้อมทั้งค่าจลนพลศาสตร์ต่างๆ



รูปที่ 3.5 การหาอัตราการบำบัดของสารที่ความเข้มข้นต่างๆ



รูปที่ 3.6 รูปแบบของจลนพลศาสตร์ในการบำบัดน้ำเสีย



ตารางที่ 3.2 ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทดลองที่ 1 และ 2

ตัวแปรต้น	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
	การทดลองที่ 2
ความเข้มข้นซีโอดี	50 100 250 500 และ 1,000 มิลลิกรัมซีโอดี/ลิตร
ตัวแปรควบคุม	
เวลาเดินระบบ	4 ชั่วโมง/รอบ
ความเข้มข้นเริ่มต้นน้ำเสียสังเคราะห์	ความเข้มข้นซีโอดี 500 มิลลิกรัมซีโอดี/ลิตร และความเข้มข้นแอมโมเนีย 100 มิลลิกรัมไนโตรเจน/ลิตร
ความเร็วอากาศในช่วงเติมอากาศ	3.5 เซนติเมตร/วินาที
เวลาในการเติมอากาศ	219 นาที
เวลาในการเติมน้ำเสียโดยไม่ใช้อากาศ	1 นาที
เวลาดกตะกอน	15 นาที
เวลาในการปล่อยน้ำทิ้ง	5 นาที
สัดส่วนการแทนน้ำเสีย	60%
พีเอช	6.5-7.5
ลักษณะและสมบัติของน้ำทิ้ง	ซีโอดี ค่าออกซิเจนละลาย ของแข็งแขวนลอย ปริมาตรการตกตะกอน 5 นาที ปริมาตรการตกตะกอน 30 นาที ความถ่วงจำเพาะ และดัชนีปริมาณตะกอน
ลักษณะและสมบัติของตะกอน	ขนาดของเม็ดตะกอน ความหนาแน่นของตะกอน และลักษณะทางกายภาพของเม็ดตะกอน

3.3.4 พารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัดและวิเคราะห์

ตารางที่ 3.3 พารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัดและวิเคราะห์ในการทดลองที่ 1 และ 2

พารามิเตอร์	หน่วย	วิธีวิเคราะห์	ความถี่ในการตรวจ
ซีโอดี	มิลลิกรัมซีโอดี/ลิตร	ไทเทรต	1 ครั้ง/สัปดาห์*
พีเอช	-	เครื่องพีเอช	1 ครั้ง/วัน*
ค่าออกซิเจนละลาย	มิลลิกรัมต่อลิตร	เครื่องวัดออกซิเจนละลาย	1 ครั้ง/วัน*
ของแข็งแขวนลอย	มิลลิกรัมต่อลิตร	กรองโดยกระดาษกรองแล้ว อบที่อุณหภูมิ 105 องศา เซลเซียส	3 วัน/ครั้ง*
ปริมาตรการ ตกตะกอนที่ 5 นาที	มิลลิลิตร/กรัม	ตั้งทิ้งไว้ 5 นาที	3 วัน/ครั้ง*
ปริมาตรการ ตกตะกอนที่ 30 นาที	มิลลิลิตร/กรัม	ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที	3 วัน/ครั้ง*
ดัชนีปริมาตรตะกอน	มิลลิลิตร/กรัม	คำนวณจาก MLSS และ ปริมาตรการตกตะกอนที่ 5 และ 30 นาที	3 วัน/ครั้ง*
ขนาดเม็ดตะกอน	มิลลิเมตร	ถ่ายภาพเม็ดตะกอนและวัด ขนาดเม็ดตะกอนด้วย กระดาษกราฟที่มีขนาดช่อง 1x1 มิลลิเมตร	เดือนละครั้ง*
ลักษณะผิวเม็ดตะกอน	-	ส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์	เดือนละครั้ง*
ความหนาแน่นของ เม็ดตะกอนจูลินทรีย์	กรัม/มิลลิลิตร	คำนวณจากความสัมพันธ์ ของน้ำหนักแห้งของเม็ด ตะกอน/ปริมาตรของ ตะกอน	เดือนละครั้ง*

หมายเหตุ * วิเคราะห์หลังจากเกิดเม็ดตะกอนจูลินทรีย์ภายในถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 เม็ดตะกอนจุลินทรีย์

4.1.1 การสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศ

เริ่มเดินระบบโดยใช้หัวเชื้อตะกอนจากระบบบำบัดเอเอสของโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง เลี้ยงด้วยน้ำเสียสังเคราะห์ในถังปฏิกริยาที่มีน้ำตาลทรายเป็นแหล่งคาร์บอนและมีแอมโมเนียมคลอไรด์เป็นแหล่งไนโตรเจน โดยใช้ความเข้มข้นของซีโอดี 500 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร และความเข้มข้นของแอมโมเนียม 100 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ซึ่งมีสัดส่วน C/N เท่ากับ 5:1 คงสัดส่วนดังกล่าว ตั้งแต่วันที่ 1-65 ของการเดินระบบในถังปฏิกริยาที่ 1 และตั้งแต่วันที่ 1-68 ของการเดินระบบในถังปฏิกริยาที่ 2 โดยในถังปฏิกริยาที่ 1 น้ำเสียสังเคราะห์ที่เข้าสู่ระบบมีความเข้มข้นของซีโอดีเฉลี่ย 539.9 ± 100.3 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นของแอมโมเนียม 105.8 ± 8.3 มิลลิกรัมต่อลิตร และในถังปฏิกริยาที่ 2 น้ำเสียสังเคราะห์ที่เข้าสู่ระบบมีความเข้มข้นของซีโอดีเฉลี่ย 548.0 ± 25.3 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นของแอมโมเนียม 115.5 ± 7.8 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อระยะเวลาในการเดินระบบ 28 วัน เริ่มพบเม็ดตะกอนในระบบ มีลักษณะเป็นเม็ดทรงกลมขนาดเล็ก คล้ายเม็ดทราย และเม็ดตะกอนมีสีเหลืองอ่อน ดังรูปที่ 4.1 วิเคราะห์พารามิเตอร์ทางกายภาพและเคมีของถังปฏิกริยาที่ 1 และ 2 พบว่าถังปฏิกริยาที่ 1 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (MLSS) เฉลี่ยเท่ากับ $9,796 \pm 3,994$ มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าดัชนีปริมาตรตะกอนเฉลี่ยที่ 5 นาที (SVI_5) เท่ากับ 37 ± 22 มิลลิตรต่อกรัม และ 30 นาที (SVI_{30}) เท่ากับ 26 ± 16 มิลลิตรต่อกรัม และประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 90 ถังปฏิกริยาที่ 2 ปริมาณของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ $9,606 \pm 3,365$ มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่า SVI_5 และ SVI_{30} เท่ากับ 19 ± 9 และ 16 ± 7 มิลลิตรต่อกรัม ตามลำดับ และประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 95 คุณสมบัติของเม็ดตะกอน พบว่า ขนาดเม็ดตะกอน (Sludge size) ทั้งสองถังปฏิกริยา มีขนาดเล็กกว่า 1 มิลลิเมตร และมีเม็ดตะกอนขนาดมากกว่า 2 มิลลิเมตรปะปนอยู่บ้าง หลังจากเกิดเม็ดตะกอนในระบบและความเข้มข้นตะกอนคงที่ หรือมีค่าเปลี่ยนแปลงไม่เกินร้อยละ 10 จึงเปลี่ยนความเข้มข้นซีโอดี โดยถังปฏิกริยาที่ 1 ใช้ความเข้มข้นซีโอดีเริ่มต้นเท่ากับ 1,000 และ 500 ตามลำดับ และถังปฏิกริยาที่ 2 ใช้ความเข้มข้นซีโอดีเท่ากับ 250 100 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ



รูปที่ 4.1 รูปเม็ดตะกอนที่เกิดขึ้นในระบบ

4.1.2 ลักษณะของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่ความเข้มข้นซีโอดีต่างๆ

เดินระบบด้วยความเข้มข้นซีโอดีที่แตกต่างกันโดยใช้ระยะเวลาในการเดินระบบที่ไม่เท่ากัน เนื่องจากต้องรอให้ระบบคงที่ซึ่งระยะเวลาในการเดินระบบแสดงดังตารางที่ 4.1 จากการทดลองสังเกตเห็นว่าลักษณะของเม็ดตะกอนเปลี่ยนแปลงไปตามตารางที่ 4.2 จากการศึกษาโดยทำการเก็บตัวอย่างตะกอนที่ระดับสัดส่วนทดแทนน้ำเสียร้อยละ 40 ปริมาตร 20 มิลลิลิตร กรองด้วยตะแกรงกรองขนาด 0.5 x 0.5 มิลลิเมตร และนำเม็ดตะกอนบนตะแกรงใส่จานเพาะเชื้อแก้ว เพื่อสังเกตลักษณะของเม็ดตะกอนที่ความเข้มข้นซีโอดีที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4.1 ระยะเวลาในการเดินระบบ

ช่วงการเลี้ยงเม็ดตะกอน	C/N	ระยะเวลาในการเดินระบบ (วัน)	รวมระยะเวลา (วัน)
ถึงปฏิบัติการที่ 1			
การสร้างเม็ดตะกอน	5:1	1-65	65
ซีโอดี 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร	10:1	66-112	47
ซีโอดี 500 มิลลิกรัมต่อลิตร		113-158	46
ถึงปฏิบัติการที่ 2			
การสร้างเม็ดตะกอน	5:1	1-68	68
ซีโอดี 250 มิลลิกรัมต่อลิตร	10:1	69-124	57
ซีโอดี 100 มิลลิกรัมต่อลิตร		125-152	28
ซีโอดี 50 มิลลิกรัมต่อลิตร		153-173	21

หมายเหตุ : เดินระบบ 4 ชั่วโมง/รอบ ความเร็วในการเติมอากาศ 3.5 เซนติเมตรต่อวินาที ตกตะกอน 15 นาที และสัดส่วนทดแทนน้ำเสียร้อยละ 60 เช่นเดียวกัน

เริ่มเดินระบบโดยใช้ตะกอนจากระบบเอเอสของโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง ตะกอนจะมีสีเหลือง ลักษณะฟู ฟุ้ง ไม่จับตัวกันเป็นเม็ดตะกอน เดินระบบด้วยการเปลี่ยนน้ำเสียสังเคราะห์ 6 รอบต่อวัน หลังจากเดินระบบผ่านไปแล้ว 28 วัน ในถึงปฏิบัติการที่ 1 และ 2 เริ่มพบเม็ดตะกอนในระบบมีขนาดเล็กกว่า 1 มิลลิเมตร และมีเม็ดตะกอนขนาดมากกว่า 2 มิลลิเมตรปะปนอยู่บ้าง หลังจากความเข้มข้นของ MLSS เริ่มคงที่ วันที่ 66 ของการเดินระบบในถึงปฏิบัติการที่ 1 เปลี่ยนความเข้มข้นซีโอดีเป็น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากเดินระบบแล้ว 79 วัน ด้วยความเข้มข้นดังกล่าวแล้ว 14 วัน พบเม็ดตะกอนในระบบมีสีเหลืองเข้มอมน้ำตาล เม็ดตะกอนมีขนาดใหญ่ขึ้น โดยพบเม็ดตะกอนขนาดมากกว่าหรือเท่ากับ 2 มิลลิเมตรมีจำนวนเพิ่มจากช่วงสร้างเม็ดตะกอน มีลักษณะภายนอกค่อนข้างกลม หลังจากเดินระบบ 104 วัน ด้วยความเข้มข้นดังกล่าวแล้ว 39 วัน เม็ดตะกอนในระบบเริ่มมีการรวมตัว พบเม็ดตะกอนขนาดใหญ่กว่า 4 มิลลิเมตรในระบบ หลังจาก MLSS ที่ความเข้มข้นซีโอดี 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตรคงที่ วันที่ 113 ของการเดินระบบจึงได้เปลี่ยนความเข้มข้นซีโอดีเป็น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากเดินระบบแล้ว 120 วัน ด้วยความเข้มข้นดังกล่าวแล้ว 8 วัน พบว่าเม็ดตะกอนมีขนาดเป็นเม็ดที่ละเอียดและเล็กกว่าที่เลี้ยงที่ความเข้มข้นซีโอดี 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากเดินระบบแล้ว 133 วัน ด้วยความเข้มข้นดังกล่าวแล้ว 21 วัน เม็ดตะกอนในระบบน้อยลงและเม็ดตะกอนมีขนาดเล็กกว่าวันที่ 120 เนื่องมาจากปริมาณเติมอากาศมีปัญหา ทำให้

ความเร็วเติมอากาศในถังปฏิกรณ์ลดลงจาก 3.5 เซนติเมตร/วินาที เหลือ 2.5 เซนติเมตร/วินาที โดยแรงเฉือนที่ลดลงมีผลต่อขนาดของเม็ดและการก่อตัวของเม็ดตะกอน (Tay และคณะ, 2001) หลังจกแก้ไขปัญหาปั๊มเติมอากาศและกลับมาเติมอากาศที่ความเร็ว 3.5 เซนติเมตร/วินาที ตั้งแต่วันที่ 143 โดยเดินระบบที่ความเข้มข้นดังกล่าวแล้ว 31 วัน หลังจากนั้นพบว่าที่ระยะเวลา 153 วัน ด้วยความเข้มข้นดังกล่าวแล้ว 41 วัน เริ่มพบเม็ดตะกอนรวมตัวกันจนมีขนาดใหญ่ขึ้นมากกว่า 2 มิลลิเมตร สำหรับถังปฏิกรณ์ที่ 2 ที่ความเข้มข้น MLSS คงที่ วันที่ 69 ของการเดินระบบ เปลี่ยนความเข้มข้นซีไอดี 250 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากเดินระบบที่ระยะเวลา 79 วัน ด้วยความเข้มข้นดังกล่าวแล้ว 11 วัน พบว่าเม็ดตะกอนมีขนาดเล็กลงมาอย่างเห็นได้ชัด สีของเม็ดตะกอนมีสีน้ำตาลเข้ม และมีเม็ดตะกอนบางส่วนมีสีดำสนิท หลังจากเดินระบบแล้ว 124 วัน ด้วยความเข้มข้นดังกล่าวแล้ว 56 วัน พบว่าเม็ดตะกอนมีโครงสร้างที่ค่อนข้างหลวม เริ่มพบแบคทีเรียกลุ่มเส้นใย (Filamentous) ในระบบที่ความเข้มข้น MLSS คงที่ วันที่ 125 ของการเดินระบบ เปลี่ยนความเข้มข้นซีไอดี 100 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากเดินระบบที่ระยะเวลาเดินระบบ 139 วัน ด้วยความเข้มข้นดังกล่าวแล้ว 15 วัน เม็ดตะกอนในระบบยังคงมีแนวโน้มที่มีขนาดเล็กลง พบแบคทีเรียจำพวกเส้นใยมากขึ้น ตะกอนที่เกิดขึ้นในระบบเริ่มมีลักษณะไม่เป็นรูปทรงกลม อีกทั้งพบแผ่นตะกอนขนาดใหญ่ประมาณ 5 มิลลิเมตร คาดว่าเกิดจากตะกอนที่ติดอยู่ด้านในขอบถังปฏิกรณ์หลุดออกมา เนื่องจากอัตราเติมอากาศที่สูงที่ 152 วันของการเดินระบบ ด้วยความเข้มข้นดังกล่าวแล้ว 28 วัน ตะกอนในระบบที่มีลักษณะเป็นเม็ดตะกอนทรงกลมมีจำนวนน้อยมาก ขณะที่เริ่มพบการรวมตัวของตะกอนที่มีลักษณะเป็นแท่งและไร้รูปร่าง คาดว่าเกิดจากการรวมตัวของกลุ่มแบคทีเรียเส้นใยในระบบ และวันที่ 153 ของการเดินระบบ เปลี่ยนความเข้มข้นซีไอดี 50 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังเดินระบบที่ 160 วัน ด้วยความเข้มข้นดังกล่าวแล้ว 8 วัน ตะกอนในระบบมีขนาดเล็ก (<1 มิลลิเมตร) ส่วนใหญ่มีลักษณะไม่เป็นเม็ดทรงกลม ที่ 173 วัน ด้วยความเข้มข้นดังกล่าวแล้ว 14 วัน ตะกอนในระบบมีลักษณะไม่เป็นรูปร่างที่แน่ชัด

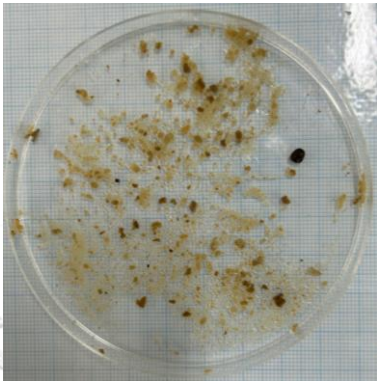
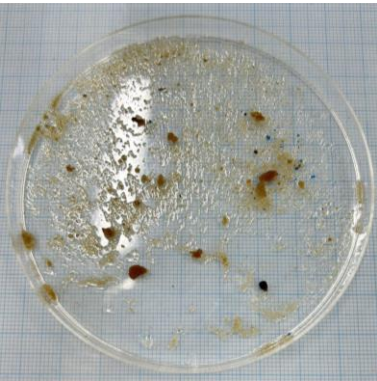
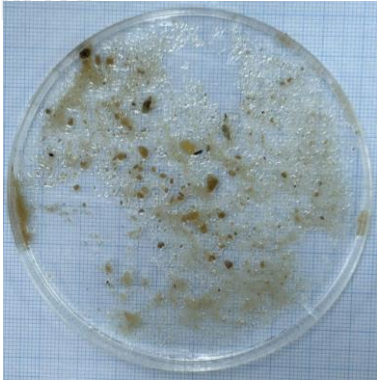
จากการสังเกตจะพบว่าที่ความเข้มข้นซีไอดีที่สูง 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ขนาดเม็ดตะกอนที่ได้จะมีขนาดใหญ่อย่างเห็นได้ชัด และเมื่อลดความเข้มข้นซีไอดีลง เท่ากับ 500 250 100 และ 50 ตามลำดับ เม็ดตะกอนที่พบจะมีขนาดเล็กลงและบางส่วนมีลักษณะไม่เป็นรูปร่างชัดเจน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Liu และคณะ (2003) โดยทดลองสร้างเม็ดตะกอนที่ความเข้มข้นซีไอดี 500 1,000 2,000 และ 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าขนาดเม็ดตะกอนเฉลี่ยเท่ากับ 1.57 ± 0.14 1.79 ± 0.08

1.79±0.10 และ 1.89±0.11 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยที่ความเข้มข้นสูงเม็ดตะกอนจะมีขนาดใหญ่กว่าที่ความเข้มข้นซีไอทีที่ต่ำ

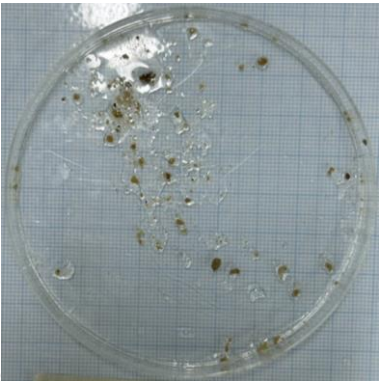

ตารางที่ 4.2 ลักษณะของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ต่อความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้น ซีไอที (มก./ลิตร)	ระยะเวลาในการเดินระบบ (วัน)	ภาพเม็ดตะกอน
	0	
ถังปฏิบัติการที่ 1		
การสร้างเม็ด ตะกอน	28	

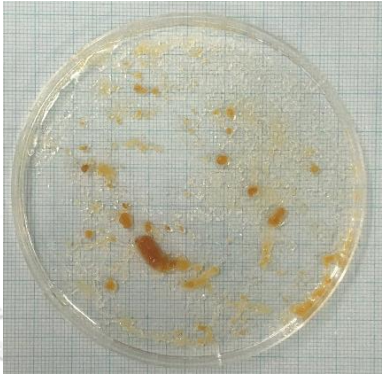
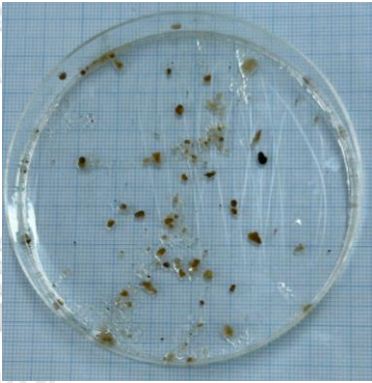

ตารางที่ 4.2 ลักษณะของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ต่อความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้น ซีโอติ (มก./ลิตร)	ระยะเวลาในการเดินระบบ (วัน)	ภาพเม็ดตะกอน
1,000	79	
	104	
500	120	

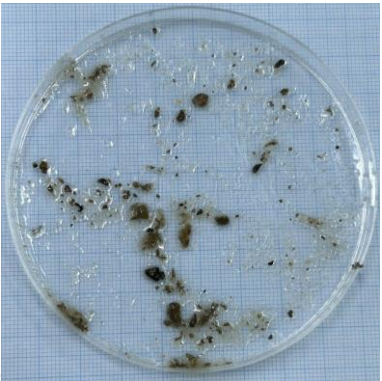
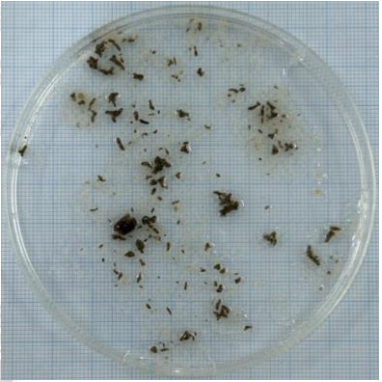
ตารางที่ 4.2 ลักษณะของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ต่อความเข้มข้นต่างๆ (ต่อ)

ความเข้มข้นซีไอดี (มก./ลิตร)	ระยะเวลาในการเดินระบบ (วัน)	ภาพเม็ดตะกอน
500 (ต่อ)	133	
	153	

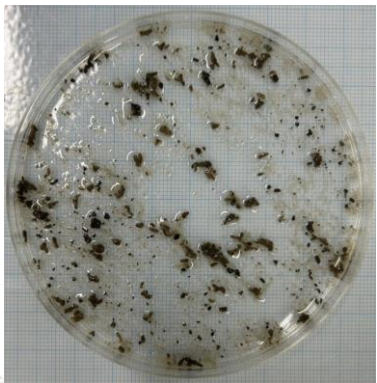

ตารางที่ 4.2 ลักษณะของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ต่อความเข้มข้นต่างๆ (ต่อ)

ความเข้มข้นซีไอดี (มก./ลิตร)	ระยะเวลาในการเดินระบบ (วัน)	ภาพเม็ดตะกอน
ถังปฏิกรณ์ที่ 2		
การสร้างเม็ด ตะกอน	28	
250	79	
	124	

ตารางที่ 4.2 ลักษณะของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ต่อความเข้มข้นต่างๆ (ต่อ)

ความเข้มข้นซีไอดี (มก./ลิตร)	ระยะเวลาในการเดินระบบ (วัน)	ภาพเม็ดตะกอน
100	139	
	152	

ตารางที่ 4.2 การพัฒนาของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ต่อความเข้มข้นต่างๆ (ต่อ)

ความเข้มข้นซีโอติ (มก./ลิตร)	ระยะเวลาในการเดินระบบ (วัน)	ภาพเม็ดตะกอน
50	160	
	173	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.3 ขนาดเม็ดตะกอนที่ความเข้มข้นซีโอติที่แตกต่างกัน

จากการเก็บตัวอย่างเม็ดตะกอนใส่จานเพาะเชื้อในหัวข้อ 4.1.2 นำเม็ดตะกอนที่กรองแล้วใส่จานเพาะเชื้อให้อยู่กระจายตัว สุ่มวัดขนาดเม็ดตะกอนโดยใช้พื้นที่สุ่มวัดขนาดเท่ากับ 2x2 เซนติเมตร และทำการวัดขนาดเม็ดตะกอน ผลการตรวจวัดขนาดแสดง ดังตารางที่ 4.3 พบว่าเม็ดตะกอนที่เลี้ยงด้วยความเข้มข้นซีโอติที่สูงที่สุด 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จะพบเม็ดตะกอนมีขนาดตะกอนที่ใหญ่และเมื่อลดความเข้มข้นซีโอติเป็น 500 250 100 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าขนาดเม็ดตะกอนที่พบมีขนาดเล็กลงตามลำดับ ดังตาราง 4.4 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Liu และคณะ (2003) ที่กล่าวว่า เม็ดตะกอนที่ความเข้มข้นที่สูงจะมีขนาดใหญ่กว่าเม็ดตะกอนที่เลี้ยงในความเข้มข้นที่ต่ำ ดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.1.2 ทั้งนี้ ที่ระดับการเก็บตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ขนาดเม็ดตะกอน มีระดับที่ค่อนข้างสูง อาจทำให้เม็ดตะกอนที่มีขนาดใหญ่ และน้ำหนักตะกอนมาก ไม่สามารถลอยขึ้นในช่วงเดิม



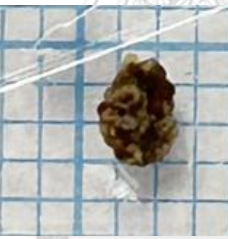


อากาศได้ ส่งผลให้เม็ดตะกอนที่พบส่วนใหญ่มักมีขนาดเล็ก ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงเลือกเม็ดตะกอนที่มีความแตกต่างกันและพบเป็นส่วนใหญ่ในถังปฏิกรณ์ที่เลี้ยงในความเข้มข้นนั้นๆ

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบขนาดตะกอนที่ความเข้มข้นซีโอดีต่างๆ

ความเข้มข้นซีโอดี (มิลลิกรัม/ลิตร)	จำนวนเม็ดตะกอนที่ตรวจวัด	เม็ดตะกอนขนาดเล็กที่สุด (มิลลิเมตร)	เม็ดตะกอนขนาดใหญ่ที่สุด (มิลลิเมตร)	ขนาดเม็ดตะกอนเฉลี่ย (มิลลิเมตร)
1,000	40	1	5	2.62±1.16
500	21	1	4.24	2.25±1.09
250	25	0.5	2.83	1.71±0.74
100	38	0.5	2.83	0.71±0.65
50	15	0.5	1	0.66±0.18

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบลักษณะของเม็ดตะกอนที่ความเข้มข้นซีไอทีที่แตกต่างกัน

หมายเหตุ : แต่ละช่องมีขนาดเท่ากับ 1x1 มิลลิเมตร

ความเข้มข้นซีไอที (มก./ลิตร)	ภาพเม็ดตะกอน	ลักษณะเม็ดตะกอน
1,000		เม็ดตะกอนมีสีน้ำตาลอมเหลือง พื้นผิวเม็ดตะกอนค่อนข้างเรียบ พบเม็ดตะกอนขนาดใหญ่ที่สุด 5 มิลลิเมตร
500		เม็ดตะกอนมีสีออกเหลืองอมน้ำตาลเข้ม พื้นผิวเม็ดตะกอนค่อนข้างเรียบ เม็ดตะกอนมีขนาดเล็กถึง
250		เม็ดตะกอนมีสีออกน้ำตาลเข้ม พื้นผิวเม็ดตะกอนค่อนข้างขรุขระ
100		เม็ดตะกอนมีรูปร่างทรงกลม สีน้ำตาลเข้ม แต่บางส่วนมีรูปร่างไม่เป็นรูปร่างทรงกลม แต่มีการจับตัวลักษณะคล้ายรูปแท่ง
50		ตะกอนส่วนใหญ่ไม่เป็นทรงกลม บางส่วนจับตัวกันมีลักษณะเป็นแท่งยาว และบางส่วนรูปร่างไม่แน่ชัด

4.1.4. ลักษณะพื้นผิวเม็ดตะกอน

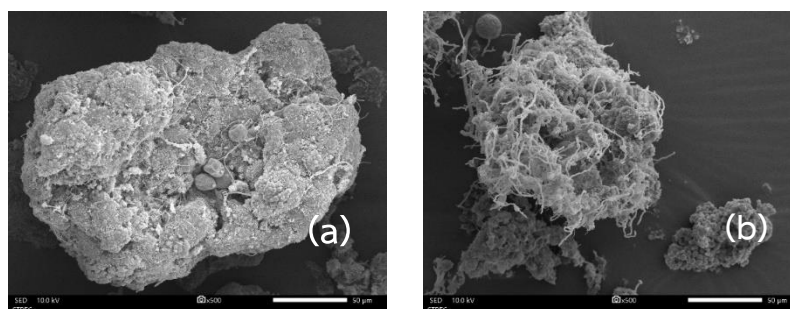
เก็บตัวอย่างตะกอนในระบบทำการส่องโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope: SEM) โดยเก็บตัวอย่าง 2 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 เป็นช่วงเริ่มต้นเดินระบบจะทำการส่องหัวเชื้อตะกอน (Seed) และช่วงที่ 2 จะทำการส่องเม็ดตะกอน (Granular) ที่เลี้ยงที่ความเข้มข้นซีโอดีที่สูงและความเข้มข้นซีโอดีที่ต่ำ

ลักษณะพื้นผิวหัวเชื้อตะกอน (seed)

ลักษณะพื้นผิวหัวเชื้อตะกอนที่กำลังขยาย 50 เท่า พบว่าตะกอนมีขนาดเล็กมากและบางส่วนมีการรวมตัวของกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีรูปร่างคล้ายเม็ดตะกอนขนาดเล็ก และเมื่อเพิ่มกำลังขยายที่ 3,000 และ 10,000 เท่า พบการอยู่รวมกันของกลุ่มจุลินทรีย์หลายประเภท โดยจากการสังเกตจะเห็นว่ากลุ่มจุลินทรีย์ที่เห็นเด่นชัดจะเป็นกลุ่มจุลินทรีย์ประเภทแบคทีเรียกลุ่มรูปร่างกลม (Coccus) และกลุ่มรูปร่างแท่ง (Bacillus) ดังตารางที่ 4.5

ลักษณะพื้นผิวเม็ดตะกอน (Granular)

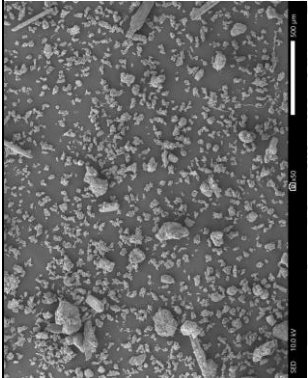
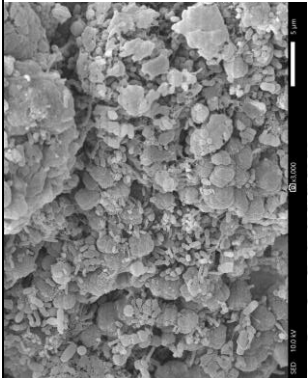
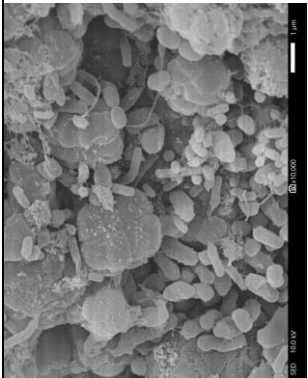
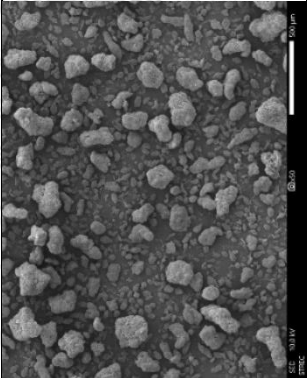
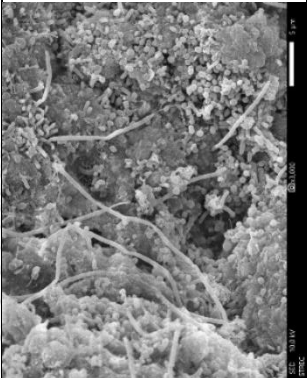
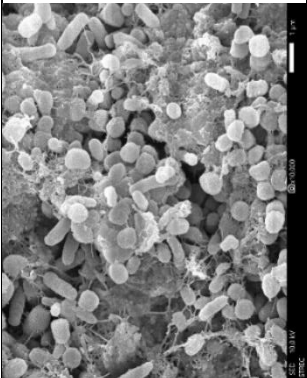
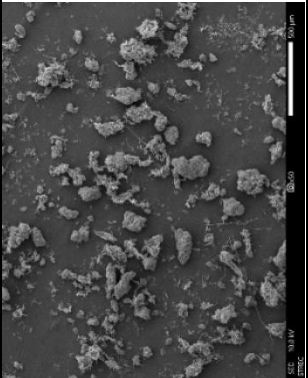
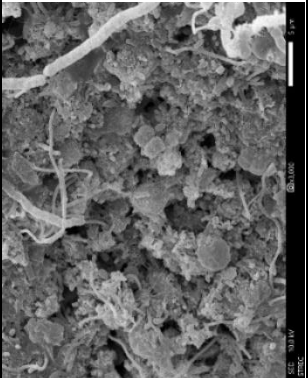
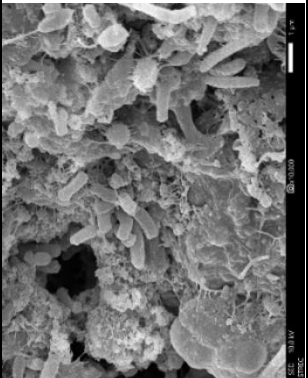
จากภาพถ่ายที่กำลังขยาย 50 เท่า จะพบว่า ตะกอนที่เลี้ยงที่ความเข้มข้นซีโอดีที่สูงและความเข้มข้นซีโอดีที่ต่ำ ตะกอนในระบบเกิดการรวมตัวจนมีขนาดของตะกอนที่ขนาดใหญ่กว่าหัวเชื้อตะกอน แต่ยังคงมีตะกอนขนาดเล็กปะปนอยู่บ้าง เมื่อเปรียบเทียบลักษณะพื้นผิวภายนอกของเม็ดตะกอนที่เลี้ยงที่ความเข้มข้นซีโอดีที่สูงที่กำลังขยาย 500 เท่า ดังรูปที่ 4.2 (a) พบว่าผิวเม็ดตะกอนมีรูปร่างกลมที่ชัดเจนและค่อนข้างสม่ำเสมอซึ่งต่างจากเม็ดตะกอนที่เลี้ยงที่ความเข้มข้นต่ำ ดังรูปที่ 4.2 (b) ที่พื้นผิวด้านนอกเม็ดตะกอนจับตัวกันหลวมๆและพบเส้นใยเป็นจำนวนมากรอบผิวตะกอน เมื่อเพิ่มกำลังขยายที่ 3,000 และ 10,000 เท่า ของเม็ดตะกอนทั้ง 2 ความเข้มข้นซีโอดีที่แตกต่างกัน พบความหลากหลายของกลุ่มจุลินทรีย์ในระบบที่เกาะรวมตัวกันอยู่ คือ จุลินทรีย์ประเภทแบคทีเรียกลุ่มรูปร่างกลม (Coccus) กลุ่มรูปร่างแท่ง (Bacillus) และกลุ่มเส้นใย (Filamentous) ดังตารางที่ 4.5



รูปที่ 4.2 ลักษณะพื้นผิวเม็ดตะกอนที่กำลังขยาย 500 เท่า
กำหนดให้ a) ตะกอนที่เลี้ยงที่ความเข้มข้นซีโอดีที่สูง และ b) ตะกอนที่เลี้ยงที่ความเข้มข้นซีโอดีที่ต่ำ



ตารางที่ 4.5 เปรียบเทียบลักษณะพื้นผิวตะกอนจากภาพถ่าย SEM

ตัวอย่าง	กำลังขยาย 50 เท่า	กำลังขยาย 3,000 เท่า	กำลังขยาย 10,000 เท่า
หัวเชื้อตะกอน			
เมื่ตะกอนที่เลี้ยงด้วย ความเข้มข้นซีโอต์ที่สูง (1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร)			
เมื่ตะกอนที่เลี้ยงด้วย ความเข้มข้นซีโอต์ที่ต่ำ (250 มิลลิกรัมต่อลิตร)			

4.2 การวิเคราะห์ทางกายภาพของตะกอน

4.2.1 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (MLSS) และของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย (MLVSS)

เริ่มต้นเดินระบบที่ความเข้มข้นจุลินทรีย์ (MLSS) 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ในช่วงการสร้างความเค็มตะกอน ซึ่ง C/N เท่ากับ 5:1 ทั้ง 2 ถึงปฏิบัติการ พบว่า MLSS ในระบบมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยในถังปฏิบัติการที่ 1 MLSS อยู่ในช่วง 3,150-16,293 มิลลิกรัมต่อลิตร และถังปฏิบัติการที่ 2 MLSS อยู่ในช่วง 3,114 – 14,643 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลาเดินระบบ 61 วัน ค่า MLSS เท่ากับ 14,017 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่เมื่อตรวจวัดวันที่ 64 พบว่า MLSS เหลือ 7,490 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากเซอรินอยด์วาล์วค้าง ทำให้ท่อน้ำทิ้งเปิดน้ำทิ้งออกตลอดเวลาส่งผลให้ปริมาณตะกอนหลุดออกไปจากระบบจำนวนมาก หลังจาก MLSS ในระบบเริ่มคงที่จึงเปลี่ยนความเข้มข้นซีโอดีที่เข้าระบบโดยใช้ C/N เท่ากับ 10:1 ในถังปฏิบัติการที่ 1 จะเปลี่ยนความเข้มข้นซีโอดีของน้ำเสียสังเคราะห์เป็น 1,000 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ในขณะที่ถังปฏิบัติการที่ 2 จะเปลี่ยนความเข้มข้นซีโอดีของน้ำเสียสังเคราะห์เป็น 250 100 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

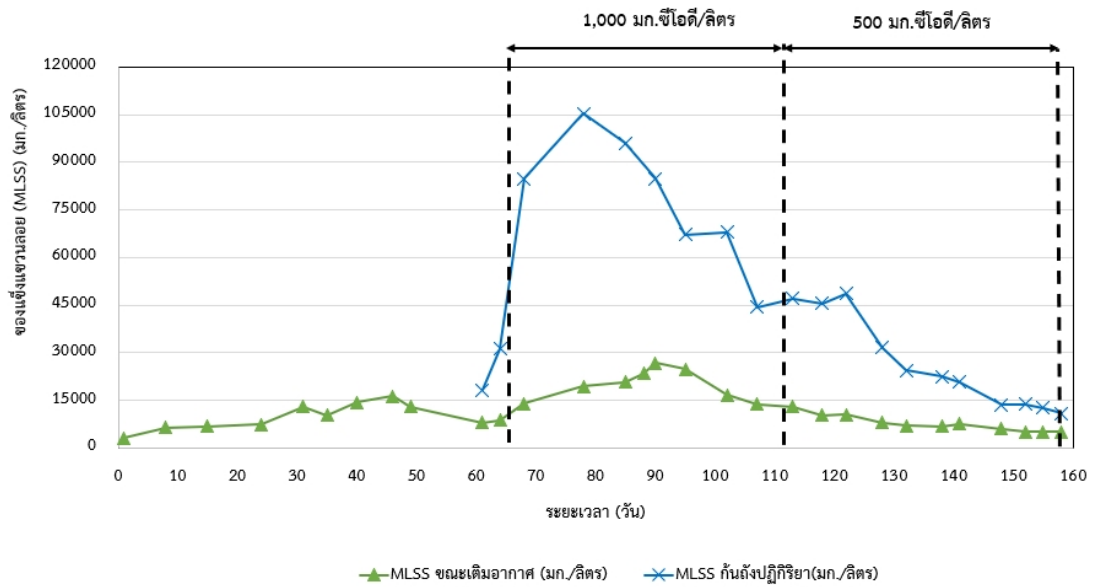
ถังปฏิบัติการที่ 1 เมื่อเปลี่ยนความเข้มข้นของซีโอดีในระบบเป็น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร รวมระยะเวลา 47 วัน MLSS อยู่ในช่วง 13,115 – 26,687 มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ย $19,195 \pm 5,089.2$ มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อลดความเข้มข้นของซีโอดีในระบบเป็น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร รวมระยะเวลา 46 วัน MLSS อยู่ในช่วง 5,015 – 13,115 มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ย $7,699 \pm 2,619.4$ มิลลิกรัมต่อลิตร ดังรูปที่ 4.3

ถังปฏิบัติการที่ 2 เมื่อเปลี่ยนความเข้มข้นของซีโอดีในระบบเป็น 250 มิลลิกรัมต่อลิตร รวมระยะเวลา 56 วัน MLSS อยู่ในช่วง 5,735 – 8,363 มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ย $7,160 \pm 944.9$ มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อลดความเข้มข้นของซีโอดีในระบบเป็น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร รวมระยะเวลา 28 วัน MLSS อยู่ในช่วง 2,505 – 5,865 มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ย $3,553 \pm 1,259.1$ มิลลิกรัมต่อลิตร และที่ความเข้มข้นซีโอดี 50 มิลลิกรัมต่อลิตร รวมระยะเวลา 21 วัน MLSS อยู่ในช่วง 500-2210 มิลลิกรัมต่อลิตร เฉลี่ย $1,365 \pm 671.1$ มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า MLSS ที่ความเข้มข้นซีโอดี 50 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความคาดเคลื่อนได้ เนื่องจากปริมาณตะกอนในถังปฏิริยาน้อยมากและไม่ได้รวมเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำแบบตะกอนในระบบเอเอส ส่งผลให้การตรวจวัดค่า MLSS เกิดการแกว่งและไม่คงที่ ดังรูปที่ 4.4

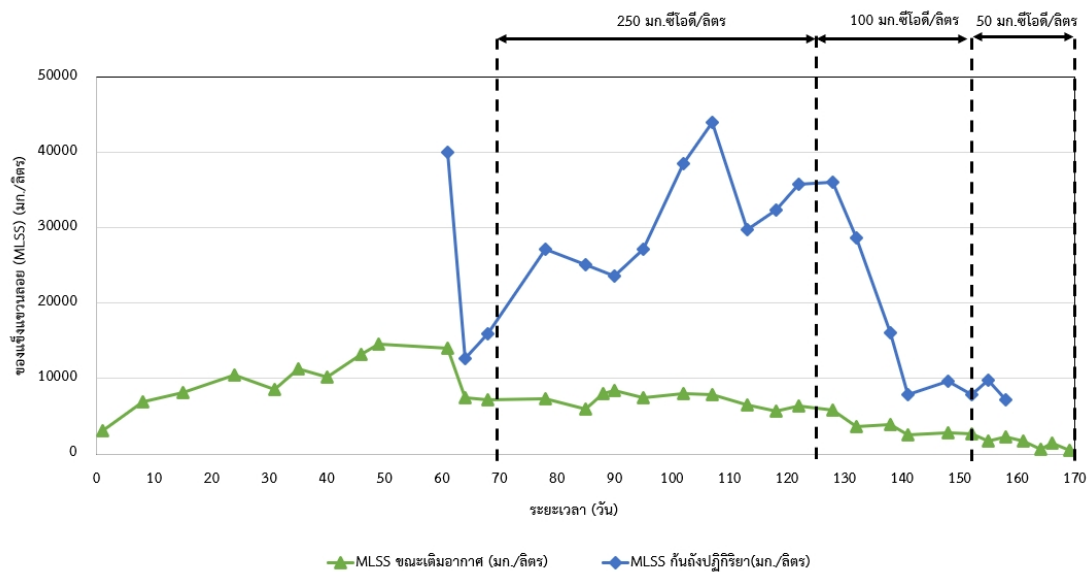
จะเห็นได้ว่าความเข้มข้นซีโอดีมีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบ ที่ความเข้มข้นซีโอดีสูง จุลินทรีย์จะเติบโตอย่างรวดเร็วทำให้ค่า MLSS ในระบบมีค่าที่สูงมาก ขณะเดียวกันเมื่อลดความเข้มข้นซีโอดีลงเป็น 500 250 100 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าค่า MLSS ในระบบมีค่าที่ลดลงตามลำดับ

นอกจากนี้ ในงานวิจัยนี้ยังได้วัดค่า MLSS ที่กั้นถังปฏิกริยาเพื่อศึกษาความเข้มข้นของตะกอนที่ระบบสามารถกักเก็บได้ โดยหลังจากระบบตกตะกอนไปแล้ว 15 นาที ทำการเก็บตะกอนก้นถังปฏิกริยา ที่ความเข้มข้นซีโอดี 1,000 500 250 100 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่า MLSS ที่กั้นถังปฏิกริยา เฉลี่ยของระบบเท่ากับ $74,647 \pm 21,958.8$ $24,440 \pm 13,549.1$ $31,513 \pm 6,773.5$ $17,718 \pm 11,961.0$ และ $8,545 \pm 1,845.6$ มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ทั้งนี้ที่ความเข้มข้นซีโอดี 50 มิลลิกรัมต่อลิตร อาจมีค่าน้อยกว่าที่ระบุ เนื่องจากเมื่อเลี้ยงเม็ดตะกอนที่ความเข้มข้นต่ำ ทำให้ค่า MLSS ในระบบมีค่าที่ต่ำมาก และตะกอนในระบบเมื่อระยะเวลาตกตะกอนแล้ว 15 นาที พบว่าระดับตะกอนต่ำกว่าระดับที่อน้ำขาออกด้านล่างของถังปฏิกริยา จึงไม่สามารถเก็บตัวอย่างมาวิเคราะห์ได้

จากผลการทดลองข้างต้น พบว่าอัตราส่วนระหว่าง MLSS ขณะเติมอากาศกับ MLSS กั้นถังปฏิกริยาของระบบเม็ดตะกอนในงานวิจัยนี้ที่ความเข้มข้นซีโอดีเท่ากับ 1,000 500 250 100 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร มีอัตราส่วนระหว่าง MLSS ขณะเติมอากาศกับ MLSS กั้นถังปฏิกริยาเท่ากับ 0.26 0.32 0.23 0.20 และ 0.16 จะเห็นได้ว่าอัตราส่วนมีค่าลดลง ซึ่งแปรผันตามความเข้มข้นซีโอดีที่ลดลง ทั้งนี้ที่ความเข้มข้นซีโอดี 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าน้อยกว่าที่ความเข้มข้นซีโอดี 500 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องมาจากช่วงการเดินระบบที่ความเข้มข้นซีโอดี 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เกิดข้อผิดพลาดในการเดินระบบ ทำให้สูญเสียตะกอนในระบบจำนวนมาก ส่งผลให้ค่า MLSS ในระบบมีค่าต่ำกว่าแนวโน้มที่ควรจะเป็น และสำหรับระบบเอเอสทั่วไปจะมี MLSS ขณะเติมอากาศ ระหว่าง 1,500 -3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และ MLSS กั้นถังปฏิกริยา 8,000-12,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (Metcalf และ eddy,2003) คิดเป็นอัตราส่วนเท่ากับ 0.19-0.25 เมื่อเปรียบเทียบกับระบบเม็ดตะกอน พบว่าที่ความเข้มข้นซีโอดีที่สูง 1,000 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร อัตราส่วนระหว่าง MLSS ขณะเติมอากาศกับ MLSS กั้นถังปฏิกริยาของระบบเม็ดตะกอน มีค่าสูงกว่าระบบเอเอสทั่วไป ขณะที่ความเข้มข้นต่ำ 250 100 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร อัตราส่วนระหว่าง MLSS ขณะเติมอากาศกับ MLSS กั้นถังปฏิกริยาของระบบเม็ดตะกอน มีค่าใกล้เคียงกับระบบเอเอสทั่วไป



รูปที่ 4.3 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (MLSS) ของระบบในถังปฏิกิริยาที่ 1

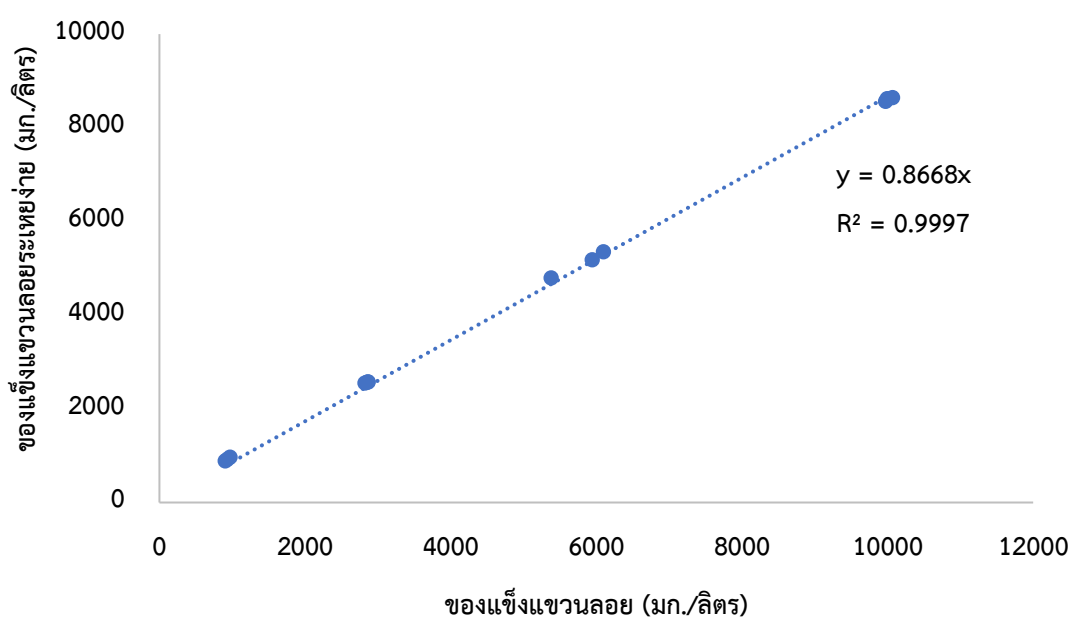


รูปที่ 4.4 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (MLSS) ของระบบในถังปฏิกิริยาที่ 2

อัตราส่วนของแข็งแขวนลอยระเหยง่ายต่อของแข็งแขวนลอย (MLVSS/MLSS) ของระบบเท่ากับร้อยละ 86.68 ดังรูปที่ 4.5 โดยการวิเคราะห์ MLVSS/MLSS ผู้วิจัยได้เลือกเก็บตัวอย่างตะกอนจากถังปฏิกิริยาที่ 1 ทำการเจือจางตัวอย่างตะกอนด้วยน้ำกลั่นที่อัตราปริมาตรของตัวอย่างต่อน้ำกลั่นร้อยละ 60 30 และ 10 ซึ่งทำภายหลังจากจบการทดลอง โดยทำให้การวิเคราะห์ MLVSS/MLSS มีค่าที่แม่นยำกว่า เนื่องจากตะกอนที่เป็นเม็ดตะกอนไม่ได้รวมตัวเป็นเนื้อเดียวกับน้ำ

เสียเหมือนตะกอนแบบฟล็อก ทำให้ค่า MLSS และ MLVSS ค่อนข้างไม่คงที่ ดังนั้น ที่ความเข้มข้นซีโอดี 1,000 500 250 100 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่า MLVSS เฉลี่ย $16,638 \pm 4,411.3$ $6,673 \pm 2,270.5$ $6,206 \pm 819.1$ $3,080 \pm 1,091.4$ และ $1,183 \pm 581.7$ มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

เมื่อเปรียบเทียบกับระบบแอสจะมียค่า MLVSS/MLSS อยู่ระหว่าง 0.7-0.8 หรือร้อยละ 70-80 (Gannett และคณะ, 2014) โดย MLSS หมายถึงของแข็งแขวนลอยทั้งหมดซึ่งรวมถึงสารอินทรีย์เข้าไปด้วย ขณะที่ MLVSS คือปริมาณของแข็งแขวนลอยที่ระเหยได้ ซึ่งแสดงถึงปริมาณสารอินทรีย์หรือความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในถังเติมอากาศทั้งหมดในน้ำเสีย ดังนั้นหาก MLVSS/MLSS มีค่าที่สูง แสดงว่าระบบมีตะกอนจุลินทรีย์มาก โดยระบบเมืงตะกอนในงานวิจัยนี้มีค่าสูง ซึ่ง MLVSS/MLSS มากกว่าร้อยละ 80



รูปที่ 4.5 อัตราส่วนของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย (MLVSS) ต่อของแข็งแขวนลอย (MLSS)

4.2.2 ดัชนีปริมาตรตะกอน (SVI)

ทำการเก็บตัวอย่างตะกอนจากถังปฏิกรณ์ที่สัดส่วนทดแทนน้ำเสียร้อยละ 40 สำหรับการวิเคราะห์ค่า SV_5 SV_{30} และ MLSS เพื่อนำมาคำนวณหาค่า SVI_5 และ SVI_{30} โดยในขั้นตอนการเก็บตัวอย่างไม่ได้ทำการคัดแยกเพียงเม็ดตะกอนออกมาวิเคราะห์เพียงอย่างเดียว แต่เป็นการเก็บตัวอย่างตะกอนจากถังปฏิกรณ์โดยตรง

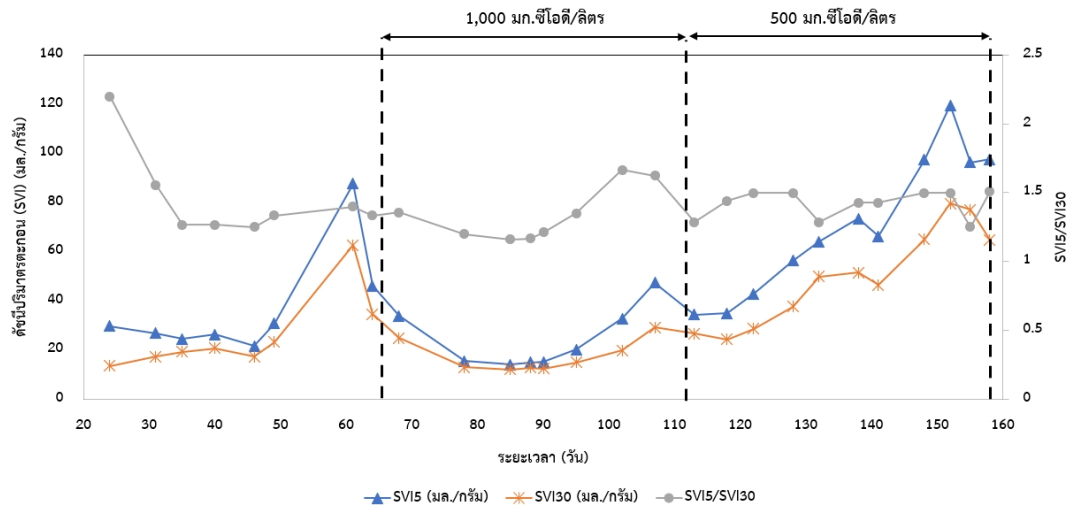
เริ่มตรวจวัดค่า SVI หลังจากเริ่มเดินระบบแล้ว 24 วัน ในช่วงแรกของการสร้างเม็ดตะกอนในถังปฏิกรณ์ที่ 1 แม้ค่า SVI_5 (29.72 มิลลิลิตรต่อกรัม) และ SVI_{30} (13.51 มิลลิลิตรต่อกรัม) จะต่ำ แต่ SVI_5/SVI_{30} สูงเท่ากับ 2.20 กล่าวได้ว่าความสามารถในการตกตะกอนดีกว่าระบบเอเอส ซึ่งโดยทั่วไประบบบำบัดแบบเอเอส จะมีค่า SVI_{30} อยู่ที่ 100-160 มิลลิลิตรต่อกรัม (Kazimierowicz และคณะ, 2022) อย่างไรก็ตาม ค่า SVI ที่ต่ำ ไม่ได้บ่งบอกว่าตะกอนในระบบจะเป็นเม็ดตะกอนที่สมบูรณ์ De Kreuk และคณะ (2007) จึงแนะนำให้ใช้อัตราส่วน SVI_5/SVI_{30} โดยที่อัตราส่วนเข้าใกล้ 1.0 จะบ่งชี้สถานะการก่อตัวของเม็ดตะกอน แสดงว่าเม็ดตะกอนที่อยู่ในระบบมีขนาดกระจัดรัศมีและมีชีวมวลที่รวมตัวกันเป็นเม็ดตะกอนอยู่มากส่งผลให้สามารถตกตะกอนได้อย่างรวดเร็ว และความสมบูรณ์ของเม็ดตะกอนที่เกิดขึ้นในระบบ (Layer และคณะ, 2019) ซึ่งจะแตกต่างจากตะกอนฟล็อกในระบบเอเอสจะมีค่า SVI_5/SVI_{30} อยู่ในช่วง 1.6-2.0 (Figdore และคณะ, 2017) ซึ่งถือว่าตะกอนช่วงแรกของการดำเนินงานเม็ดตะกอนยังไม่เสถียรในระบบ หลังจากเดินระบบจะเห็นได้ว่าค่า SVI_5 และ SVI_{30} มีค่าต่ำกว่า 30 มิลลิลิตรต่อกรัม ในขณะเดียวกัน SVI_5/SVI_{30} ต่ำลงอย่างต่อเนื่องเข้าใกล้ 1.0 ซึ่งสอดคล้องกับการเริ่มพบเม็ดตะกอนในระบบ วันที่ 61 ของการเดินระบบพบว่าค่า SVI_5 และ SVI_{30} สูง เป็นผลจากวันที่ 58-60 ของการเดินระบบ ไม่ได้มีการเติมน้ำเสียสังเคราะห์ ทำให้ประสิทธิภาพการตกตะกอนแยกลง แต่หลังจากกลับมาเดินระบบปกติ พบว่า SVI_5 และ SVI_{30} มีแนวโน้มที่จะลดลงอย่างต่อเนื่อง คาดว่าการเติมน้ำเสียสังเคราะห์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการตกตะกอนในระบบ โดยช่วงการสร้างเม็ดตะกอนค่า SVI_5 และ SVI_{30} มีค่า อยู่ระหว่าง 21-88 มิลลิลิตรต่อกรัมและ 14-63 มิลลิลิตรต่อกรัม ตามลำดับ SVI_5/SVI_{30} เฉลี่ย 1.45 เมื่อเปลี่ยนความเข้มข้นซีโอดี 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตลอดระยะเวลาในการเดินระบบด้วยความเข้มข้นดังกล่าว ค่า SVI_5 มีค่าอยู่ระหว่าง 14-47 มิลลิลิตรต่อกรัม SVI_5 เฉลี่ยเท่ากับ 25.3 ± 12.0 มิลลิลิตรต่อกรัม และ SVI_{30} มีค่าอยู่ระหว่าง 12-29 มิลลิลิตรต่อกรัม SVI_{30} เฉลี่ย 18.4 ± 6.9 มิลลิลิตรต่อกรัม และ SVI_5/SVI_{30} เฉลี่ย 1.34 เมื่อเปลี่ยนความเข้มข้นซีโอดี 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ตลอดระยะเวลาในการเดินระบบด้วยความเข้มข้นดังกล่าว ค่า SVI_5 มีค่าอยู่ระหว่าง 35-120 มิลลิลิตรต่อกรัม SVI_5 เฉลี่ย

เท่ากับ 74.9 ± 27.2 มิลลิลิตรต่อกรัม และ SVI_{30} มีค่าอยู่ระหว่าง 24-79 มิลลิลิตรต่อกรัม SVI_{30} เฉลี่ยเท่ากับ 52.5 ± 19.1 มิลลิลิตรต่อกรัม และ SVI_5/SVI_{30} เฉลี่ย 1.43 ทั้งนี้ที่ค่า SVI มีค่าเพิ่มขึ้น ต่างจากที่เลี้ยงในความเข้มข้นซีโอดี 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากช่วงการเดินระบบ 122 วัน พบว่าป๊มเติมอากาศมีปัญหา ทำให้ไม่สามารถเติมอากาศที่ความเร็ว 3.5 เซนติเมตรต่อวินาที โดยความเร็วที่เติมอากาศลดลงเหลือ 2.5 เซนติเมตร/วินาที ความเร็วในการเติมอากาศที่เปลี่ยนไปส่งผลให้ค่า SVI ในระบบสูงขึ้น (Tay และคณะ, 2004) ในระยะเวลาเดินระบบที่ 152 วัน พบว่าค่า SVI_5 และ SVI_{30} สูงถึง 120 และ 80 มิลลิลิตรต่อกรัม ตามลำดับ หลังจากแก้ไขปัญหาพบว่าระบบมีแนวโน้มที่มีค่า SVI ต่ำลง ที่ 158 วัน พบว่าค่า SVI_5 และ SVI_{30} เท่ากับ 98 และ 64 มิลลิลิตรต่อกรัม ประสิทธิภาพในการตกตะกอนเริ่มมีแนวโน้มที่ดีตามเช่นกัน ดังรูปที่ 4.6

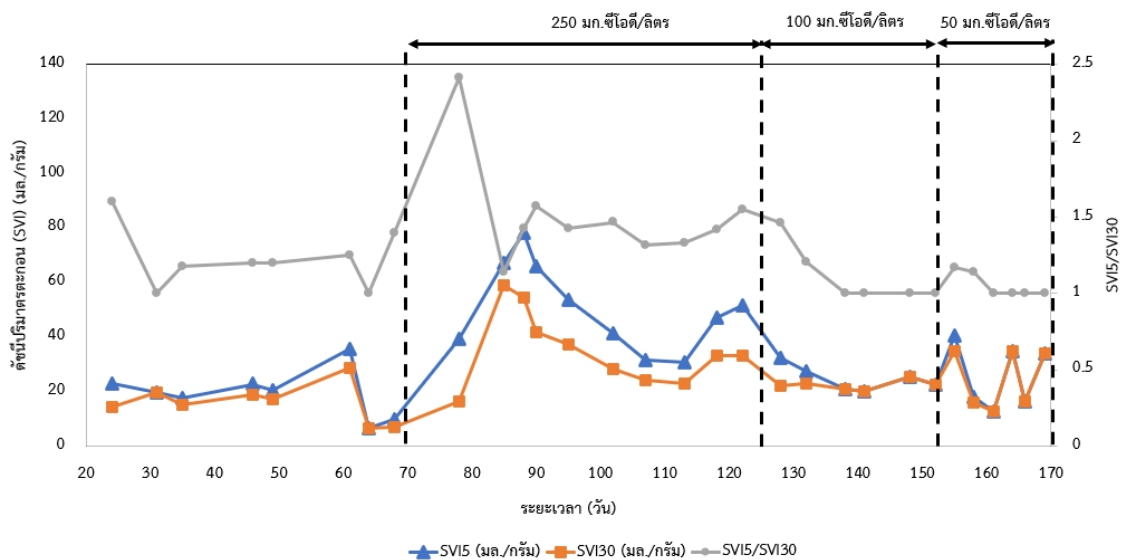
ในถังปฏิบัติการที่ 2 ช่วงการสร้างเม็ดตะกอนค่า SVI_5 และ SVI_{30} มีค่า อยู่ระหว่าง 7-36 มิลลิลิตรต่อกรัม และ 7-29 มิลลิลิตรต่อกรัม ตามลำดับ SVI_5/SVI_{30} เฉลี่ย 1.23 เมื่อเปลี่ยนความเข้มข้นซีโอดี 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า SVI_5 มีค่าอยู่ระหว่าง 31-78 มิลลิลิตรต่อกรัม SVI_5 เฉลี่ยเท่ากับ 50.6 ± 15.8 มิลลิลิตรต่อกรัม และ ค่า SVI_{30} มีค่าอยู่ระหว่าง 16-59 มิลลิลิตรต่อกรัม SVI_{30} เฉลี่ยเท่ากับ 35.1 ± 13.7 มิลลิลิตรต่อกรัม และ SVI_5/SVI_{30} เฉลี่ย 1.51 เมื่อเปลี่ยนความเข้มข้นซีโอดี 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า SVI_5 มีค่าอยู่ระหว่าง 20-25 มิลลิลิตรต่อกรัม SVI_5 เฉลี่ยเท่ากับ 22.2 ± 1.9 มิลลิลิตรต่อกรัม และค่า SVI_{30} มีค่าอยู่ระหว่าง 20-25 มิลลิลิตรต่อกรัม SVI_{30} เฉลี่ยเท่ากับ 22.2 ± 1.9 มิลลิลิตรต่อกรัม และ SVI_5/SVI_{30} เฉลี่ย 1.11 และเมื่อเปลี่ยนความเข้มข้นซีโอดี 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า SVI_5 มีค่าอยู่ระหว่าง 13-40 มิลลิลิตรต่อกรัม SVI_5 เฉลี่ยเท่ากับ 26.1 ± 11.6 มิลลิลิตรต่อกรัม และ SVI_{30} มีค่า อยู่ระหว่าง 13-35 มิลลิลิตรต่อกรัม SVI_{30} เฉลี่ยเท่ากับ 24.7 ± 10.7 มิลลิลิตรต่อกรัม และ SVI_5/SVI_{30} เฉลี่ย 1.05 โดยค่า SVI เป็นพารามิเตอร์ที่ต้องหารด้วย $MLSS$ ของระบบ แต่เนื่องจาก $MLSS$ ที่ความเข้มข้นซีโอดี 50 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าที่ค่อนข้างไม่คงที่ จึงทำให้ค่า SVI ในระบบไม่คงที่ แต่ที่ค่า SVI_5/SVI_{30} มีค่าเข้าใกล้ 1.0 สามารถยืนยันได้ว่าแม้ SVI ในระบบจะมีค่าที่ไม่คงที่ แต่ประสิทธิภาพการตกตะกอนยังคงสูง ดังรูปที่ 4.7 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ We และคณะ (2020) กล่าวว่าเม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีประสิทธิภาพการตกตะกอนสูง โดยที่มีค่า SVI ที่ต่ำกว่า 100 มิลลิลิตร/กรัม

โดยงานวิจัยนี้มีค่า SVI ของระบบเม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีค่าต่ำกว่า SVI จากระบบเอเอสอย่าง มากดังผลการทดลองข้างต้น และจากการศึกษาค่า SVI_5/SVI_{30} โดยทำการวัดค่า SVI ที่ 5 และ 30 นาที ตามลำดับ พบว่าที่ความเข้มข้นที่แตกต่างกัน ค่า SVI_5/SVI_{30} ยังคงมีค่าอยู่ในช่วงที่ต่ำกว่า 1.6

เช่นกัน ทั้งนี้จากการวิเคราะห์ค่า SVI_5/SVI_{30} โดยทั่วไปแล้วสำหรับระบบที่เกิดเม็ดตะกอนในระบบอย่างสมบูรณ์จะมีค่า SVI_5/SVI_{30} เท่ากับ 1.00 แต่ระบบเม็ดตะกอนในงานวิจัยนี้ พบว่ายังคงมีค่าสูงกว่า 1.0 อาจเป็นผลเนื่องจากระบบยังไม่เป็นเม็ดตะกอนโดยสมบูรณ์ ยังคงเหลือตะกอนที่มีลักษณะเป็นฟล็อกอยู่บ้าง



รูปที่ 4.6 ดัชนีปริมาณตะกอน(SVI) ของระบบในถังปฏิกรณ์ที่ 1



รูปที่ 4.7 ดัชนีปริมาณตะกอน(SVI) ของระบบในถังปฏิกรณ์ที่ 2

4.2.3 ความหนาแน่นของตะกอน (Biomass density) และความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)

จากการทดลองวิเคราะห์ความหนาแน่นของตะกอนที่ความเข้มข้นซีโอดี 500 100 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าความหนาแน่นของตะกอนมีค่าใกล้เคียงกันเท่ากับ 1.1229 ± 0.002 1.1180 ± 0.015 และ 1.0960 ± 0.002 กรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ ทั้งนี้ ทางผู้วิจัยไม่ได้วัดความหนาแน่นของตะกอนที่ความเข้มข้นซีโอดีที่ 1,000 และ 250 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่คาดว่าความหนาแน่นของตะกอนจะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน โดยพิจารณาจากแนวโน้มของความหนาแน่นของตะกอนที่รายงานข้างต้น และความถ่วงจำเพาะหาได้จากความหนาแน่นของตะกอนหารด้วยความหนาแน่นของน้ำโดยความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ 1 กรัม/มิลลิลิตร จะได้ว่าที่ความเข้มข้นซีโอดี 500 100 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.1229 ± 0.002 1.1180 ± 0.015 และ 1.0960 ± 0.002 ตามลำดับ

4.3 การวิเคราะห์ทางเคมีของตะกอน

4.3.1 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี

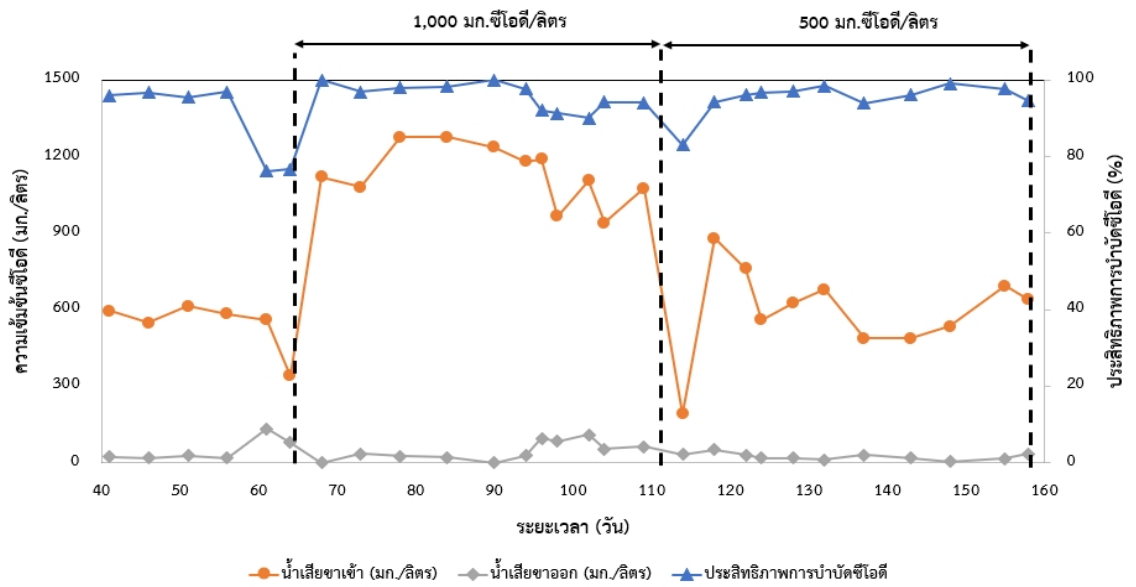
การทดลองนี้ใช้น้ำเสียสังเคราะห์จากซูโครส โดยความเข้มข้นซีโอดีที่แตกต่างกัน กำหนดความเข้มข้นซีโอดีเท่ากับ 1,000 500 250 100 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และคงสัดส่วน C/N เท่ากับ 10:1 ความเข้มข้นของแอมโมเนียม แสดงใน ภาคผนวก ข.1.4 โดยในถังปฏิกริยาที่ 1 จะใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นซีโอดี 1,000 และ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่ถังปฏิกริยาที่ 2 จะใช้ความเข้มข้นซีโอดีที่ 250 100 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

ถังปฏิกริยาที่ 1 หลังจากเกิดเม็ดตะกอนในระบบเปลี่ยนความเข้มข้นซีโอดีเป็น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าค่าซีโอดีที่เข้าระบบอยู่ในช่วง 940-1277 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ย $1,131 \pm 113.5$ มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำเสียขาออกอยู่ในช่วง 0-110 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ย 47 ± 37.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 96 ที่ความเข้มข้นซีโอดีเป็น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าค่าซีโอดีที่เข้าระบบอยู่ในช่วง 192-880 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ย 594 ± 178.3 มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำเสียขาออกอยู่ในช่วง 5-51 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ย 24 ± 12.8 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 95 ดังรูปที่ 4.8

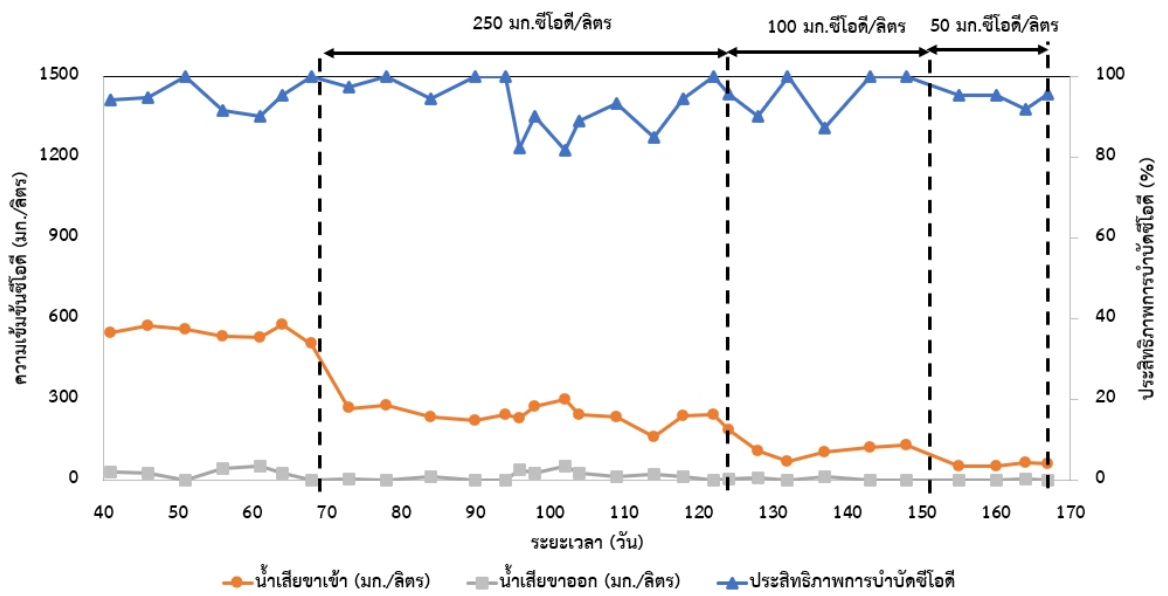
ถังปฏิกริยาที่ 2 หลังจากเกิดเม็ดตะกอนในระบบเปลี่ยนความเข้มข้นซีโอดีเป็น 250 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าค่าซีโอดีที่เข้าระบบอยู่ในช่วง 164-303 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ย 242 ± 36.0

มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำเสียขาออกอยู่ในช่วง 0-55 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ย 17 ± 16.8 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 94 ที่ความเข้มข้นซีโอดีเป็น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าค่าซีโอดีที่เข้าระบบอยู่ในช่วง 73-133 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ย 109 ± 23.0 มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำเสียขาออกอยู่ในช่วง 0-14 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ย 5 ± 6.7 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 95 และที่ความเข้มข้นซีโอดีเป็น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าค่าซีโอดีที่เข้าระบบอยู่ในช่วง 56-67 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ย 60 ± 5.1 มิลลิกรัมต่อลิตร และน้ำเสียขาออกอยู่ในช่วง 3-5 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่าเฉลี่ย 3 ± 1.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 95 ดังรูปที่ 4.9

จากงานวิจัยของ Kim และคณะ (2021) ศึกษาผลของ C/N ต่อประสิทธิภาพและความเสถียรของเมื่อดตะกอน โดยเดินระบบที่มีค่า C/N ที่แตกต่างกัน เท่ากับ 5.0 10.0 15.0 และ 20.0 พบว่าการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วน C/N มีแนวโน้มที่จะนำไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี โดยที่ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์โดยเฉลี่ยภายใต้อัตราส่วน C/N ที่ 5.0, 10.0, 15.0, และ 20.0 คือร้อยละ 78.9, 86.7, 92.7 และ 95.9 ตามลำดับ และจากงานวิจัยของ Kocaturk และคณะ (2016) ศึกษาอัตราส่วนของ C/N ต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและไนโตรเจน โดยทดลองเดินระบบที่อัตราส่วน C/N ต่างกัน คือ 1-30 (1,2,3,5,5,7.5,10,20 และ 30) พบว่าที่อัตราส่วน C/N สูง (7.5-30) ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีสูง ประมาณร้อยละ 92 ขณะที่การบำบัดแอมโมเนียมไนโตรเจนต่ำ ประมาณร้อยละ 33 ในทางกลับกัน อัตราส่วน C/N ที่ต่ำ (2-5) ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียมไนโตรเจนจะสูงถึงร้อยละ 100 ส่วนประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีค่อนข้างที่จะต่ำกว่าร้อยละ 60 ซึ่งงานวิจัยนี้มีการใช้อัตราส่วน C/N ที่สูงถึง 10:1 ในทุกความเข้มข้นที่ใช้ในการทดลอง ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีเฉลี่ยของระบบสูง โดยที่ความเข้มข้นต่างๆมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีเฉลี่ยมากกว่าร้อยละ 94



รูปที่ 4.8 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของระบบในถังปฏิกรณ์ยาที่ 1



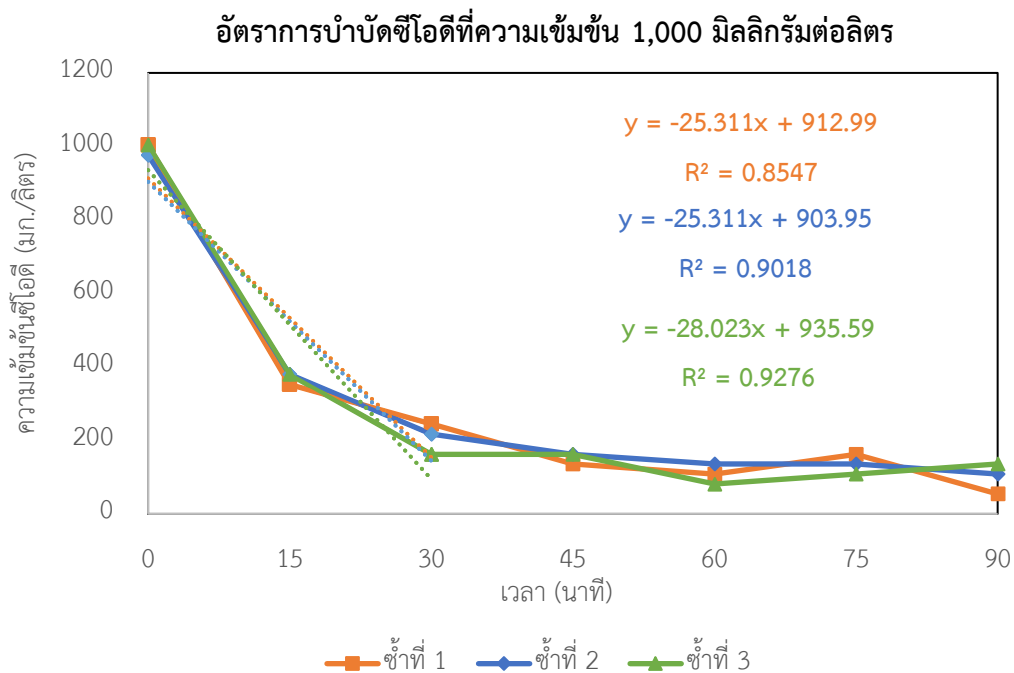
รูปที่ 4.9 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของระบบในถังปฏิกรณ์ยาที่ 2

4.3.2 อัตราการบำบัดจำเพาะของระบบ

เมื่อค่า MLSS ในแต่ละความเข้มข้นคงที่ เก็บตัวอย่างตะกอนจากถังปฏิกรณ์ที่ความเข้มข้นตะกอน 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งนี้ ผู้วิจัยไม่ได้ทำการคัดแยกเม็ดตะกอนมาวิเคราะห์อย่างเดี่ยว เติมอาหารเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์ที่ความเข้มข้นซีโอดีที่แตกต่างกัน 5 ความเข้มข้น คือ 1,000 500 250 100 และ 50 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร นำมาหาอัตราบำบัดจำเพาะที่ความเข้มข้นเท่ากับ ความเข้มข้นซีโอดีที่เลี้ยงเริ่มต้นนั้นๆ โดยวัดค่าซีโอดีเริ่มต้นจนถึงปฏิกรณ์สิ้นสุดที่ 0 นาที 15 30 45 60 75 และ 90 นาที ดังรูปที่ 4.10 พล็อตกราฟหาความชันระหว่างความเข้มข้นซีโอดีที่เปลี่ยนไปต่อเวลา ความชันที่ได้จะเป็นอัตราการบำบัดของระบบ ดังรูปที่ 4.11 นำความชันหารด้วย MLVSS ของระบบ จะได้เป็นอัตราการบำบัดจำเพาะของระบบ พบว่าที่ความเข้มข้นซีโอดีเท่ากับ 1,000 500 250 100 และ 50 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร มีอัตราการบำบัดจำเพาะเฉลี่ยเท่ากับ 13.415 11.607 10.028 6.685 และ 4.917 มิลลิกรัมซีโอดีต่อมิลลิกรัมMLVSSต่อวัน ตามลำดับ



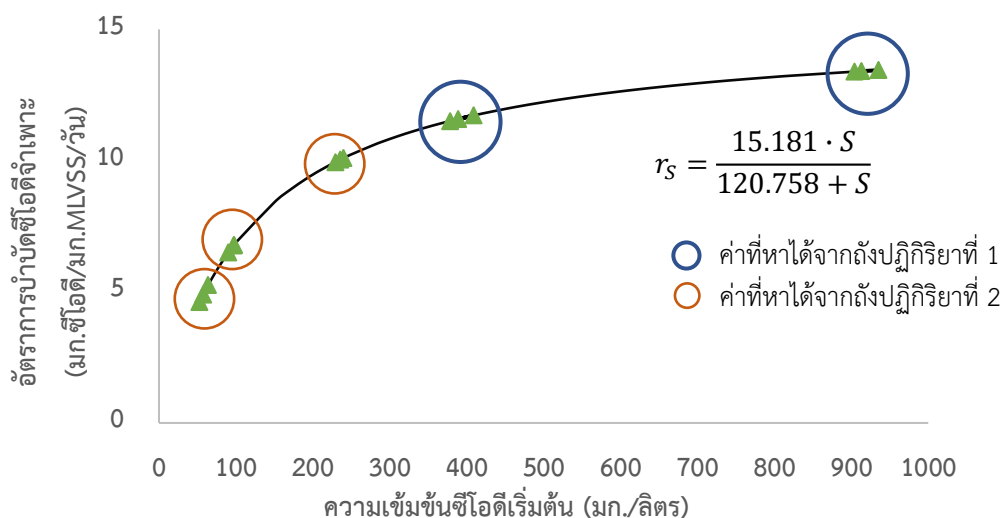
รูปที่ 4.10 การวิเคราะห์อัตราการบำบัดซีโอดี



รูปที่ 4.11 ตัวอย่างกราฟสำหรับวิเคราะห์หาอัตราการบำบัด

4.4 ค่าจลนพลศาสตร์ในการบำบัดซีโอดี

ผลจากการทดลองวิเคราะห์อัตราการบำบัดซีโอดีจำเพาะของระบบที่ความเข้มข้นต่างๆ สามารถนำมาสังเคราะห์ค่าจลนพลศาสตร์ในการบำบัดซีโอดีของระบบได้ด้วยการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการบำบัดซีโอดีจำเพาะและความเข้มข้นซีโอดีที่ได้จากจุดตัดแกน y ดังรูป 4.12 พบว่าอัตราบำบัดซีโอดีจำเพาะที่ความเข้มข้นต่างๆที่ได้จากงานวิจัยมีรูปแบบจำลองจลนพลศาสตร์คล้ายสมการโมนด์ ดังรูปที่ 3.11 จากการสังเคราะห์แบบจำลองในงานวิจัยนี้ พบว่าอัตราการบำบัดซีโอดีสูงสุดของระบบ (k_m) เท่ากับ 15.181 ± 2.884 มิลลิกรัมซีโอดีต่อมิลลิกรัม MLVSSต่อวัน และความเข้มข้นที่อัตราการบำบัดเท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราบำบัดสูงสุด (K_s) เท่ากับ 120.758 ± 74.035 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.12 อัตราการผลิตชีโอดีของเม็ดตะกอน

เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นๆ ที่วิเคราะห์อัตราการบำบัดจำเพาะสูงสุดของระบบโดยเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศ ดังตารางที่ 4.6 พบว่างานวิจัยมีการดำเนินงานที่แตกต่างกัน ซึ่งได้ค่าอัตราการบำบัดจำเพาะสูงสุดของระบบที่แตกต่างกัน โดย Liu และคณะ (2007) กล่าวว่า อัตราการเกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมีของเม็ดตะกอนขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางกายภาพของเม็ดตะกอน โดยเม็ดตะกอนที่มีขนาดใหญ่และความหนาแน่นสูงจะส่งผลให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาช้าลง เนื่องมาจากการถ่ายโอนสารอาหารของเม็ดตะกอน อัตราการบำบัดจำเพาะและอัตราการเติบโตขึ้นอยู่กับขนาดของเม็ดตะกอน กล่าวคือ อัตราที่ลดลงเป็นผลสอดคล้องกับขนาดเม็ดตะกอนที่ใหญ่ (Liu และคณะ, 2005) จากงานวิจัยนี้จะเห็นได้ว่ามีอัตราการบำบัดชีโอดีจำเพาะสูงสุดของระบบที่สูง เมื่อเทียบกับงานวิจัยอื่นๆ ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากขนาดเม็ดตะกอนในระบบที่มีขนาดค่อนข้างเล็ก ทำให้การถ่ายโอนสารอาหารมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า แต่เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของสรายุทธ เตยโพธิ์ (2563) พบว่าอัตราการบำบัดชีโอดีจำเพาะสูงสุดของระบบต่ำกว่า อาจเป็นผลเนื่องมาจากระยะเวลาการบำบัดที่แตกต่างกัน โดยงานวิจัยนี้ใช้ระยะเวลาในการบำบัด 4 ชั่วโมงต่อรอบ รอบการบำบัดจะเป็นตัวกำหนดเวลาการรอดอาหารของจุลินทรีย์สำหรับรอบการเดินระบบแบบกะ (Batch) ที่ระยะเวลาการรอดอาหารนานหมายถึงปริมาณสารอาหารตั้งต้นที่น้อยลงและอัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ลดลง ซึ่งส่งผลให้เม็ดเล็กกว่าเม็ดตะกอนที่เลี้ยงที่รอบการบำบัดที่สั้นกว่า (de Kreuk และคณะ, 2004) งานวิจัยของสรายุทธ เตยโพธิ์ (2563) ใช้ระยะเวลาในการบำบัด 6 ชั่วโมงต่อรอบ ทำให้เม็ดตะกอนที่เล็กมากในส่งผลให้ความสามารถในการถ่ายเทสารอาหารได้ดีกว่า ทั้งนี้ หากเปรียบเทียบกับระบบเอ

เอสของน้ำเสียชุมชนที่มีตะกอนในรูปแบบของฟล็อก ค่าอัตราการบำบัดซีโอดีสูงสุดของระบบอยู่ระหว่าง 2-10 มิลลิกรัมซีโอดีต่อมิลลิกรัมMLVSSต่อวัน และความเข้มข้นที่อัตราการบำบัดเท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราบำบัดสูงสุด เท่ากับ 25-100 มิลลิกรัมต่อลิตร (Metcalf และ eddy,2003) พบว่าระบบเมื่อดตะกอนของงานวิจัยนี้มีค่าอัตราการบำบัดสูงสุดของระบบและค่าความเข้มข้นที่อัตราการบำบัดเท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราการบำบัดสูงสุดสูงกว่าระบบเอเอส จึงสามารถสรุปได้ว่าระบบเมื่อดตะกอนในงานวิจัยนี้มีความสามารถในการบำบัดซีโอดีที่สูงกว่าระบบเอเอสทั่วไป



ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบค่าจลนพลศาสตร์ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศ

น้ำเสีย	ความเข้มข้นซีโอติ (มิลลิกรัม/ลิตร)	รอบการบำบัด	ความเร็วรวม (เซนต์ิเมตร/วินาที)	สัดส่วนทดแทนน้ำเสีย (%)	ขนาดเม็ดตะกอน (มิลลิเมตร)	อัตราการบำบัดซีโอติจำเพาะสูงสุดของระบบ (k_m) (มิลลิกรัมซีโอติ/มิลลิกรัมMLVSS/วัน)	อ้างอิง
น้ำเสียสังเคราะห์ (ไฮเดียมอะซิเตรท)	1,000	การบำบัด 1.5 ชั่วโมง - เต็มอากาศ 65 นาที - ตกตะกอน 15 นาที	2.4	50	0.984 ± 0.04	4.081	(Liu และคณะ, 2007)
		การบำบัด 4 ชั่วโมง - เต็มอากาศ 215 นาที - ตกตะกอน 15 นาที	2.4	50	0.885 ± 0.04	2.402	
		การบำบัด 8 ชั่วโมง - เต็มอากาศ 455 นาที - ตกตะกอน 15 นาที	2.4	50	0.578 ± 0.05	15.538	

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบค่าจลนพลศาสตร์ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศ (ต่อ)

น้ำเสีย	ความเข้มข้น ซีโอดี (มิลลิกรัม/ ลิตร)	รอบการบำบัด	ความเร็วลม (เซนติเมตร/ วินาที)	สัดส่วน ทดแทนน้ำ เสีย (%)	ขนาดเม็ด ตะกอน (มิลลิเมตร)	อัตราการบำบัดซีโอดี จำเพาะสูงสุดของระบบ (K_m) (มิลลิกรัมซีโอดี/ มิลลิกรัมMLVSS/วัน)	อ้างอิง
น้ำเสียสังเคราะห์ (น้ำตาลทราย)	3,400	รอบการบำบัด 6 ชั่วโมง - เต็มอากาศ 342 นาที - ตกตะกอน 15 นาที	3.5	60	ขนาดใหญ่ สุดท้าย 3 มิลลิเมตร	27.917 ± 11.997	(สรายุธ เตย โพธิ์, 2563)
น้ำเสียสังเคราะห์ (น้ำตาลทราย)	1,000-50	รอบการบำบัด 4 ชั่วโมง - เต็มอากาศ 219 นาที - ตกตะกอน 15 นาที	3.5	60	ขนาดใหญ่ สุดท้าย 5 มิลลิเมตร	15.181 ± 2.884	งานวิจัยนี้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 การสร้างเม็ดตะกอน

เม็ดตะกอนจุลินทรีย์สามารถสร้างได้ในถังปฏิกรณ์แบบเอสปีอาร์ โดยน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีน้ำตาลทรายเป็นแหล่งคาร์บอน และมีแอมโมเนียมคลอไรด์เป็นแหล่งไนโตรเจน สัดส่วน C/N เท่ากับ 5:1 ควบคุมความเร็วในการเติมอากาศ 3.5 เซนติเมตร/วินาที ระยะเวลาตกตะกอน 15 นาที สัดส่วนการทดแทนน้ำเสียร้อยละ 60 หลังเดินระบบแล้ว 28 วัน พบเม็ดตะกอนในระบบมีขนาดเล็กกว่า 1 มิลลิเมตร มีลักษณะเป็นทรงกลม เม็ดตะกอนมีสีเหลืองอ่อน ซึ่งมีลักษณะแตกต่างจากตะกอนในรูปแบบฟล็อกที่จะมีลักษณะเป็นตะกอนฟุ้ง ฟู ไม่มีรูปร่าง หลังจากเกิดเม็ดตะกอนในระบบและความเข้มข้นตะกอนในระบบคงที่จึงเปลี่ยนความเข้มข้นซีโอดีที่ 1,000 500 250 100 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้สัดส่วน C/N เท่ากับ 10:1 แม้สัดส่วน C/N ที่เปลี่ยนไป เม็ดตะกอนยังคงสามารถเกิดขึ้นในได้ระบบและการตกตะกอนยังคงมีประสิทธิภาพที่สูง

5.1.2 ความเข้มข้นซีโอดีที่ต่างกันต่อลักษณะเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

5.1.2.1 เม็ดตะกอนและลักษณะของเม็ดตะกอน

เม็ดตะกอนที่เลี้ยงในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นซีโอดีสูง จะมีขนาดใหญ่กว่าเม็ดตะกอนที่ถูกเลี้ยงในความเข้มข้นซีโอดีที่ต่ำ โดยที่ความเข้มข้นซีโอดีที่สูงที่สุดในงานวิจัยนี้ เท่ากับ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าเม็ดตะกอนมีสีน้ำตาลอมเหลือง พื้นผิวเม็ดตะกอนค่อนข้างเรียบ ขนาดเม็ดตะกอนที่พบมีขนาดใหญ่ถึง 5 มิลลิเมตร และเมื่อความเข้มข้นซีโอดีลดลง พบว่าเม็ดตะกอนจะมีขนาดเล็กลงตามลำดับ ที่ความเข้มข้นต่ำสุดของงานวิจัย คือ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าเม็ดตะกอนมีลักษณะที่ไม่เป็นทรงกลม พบเส้นใยในยื่นออกมาจากตัวเม็ดตะกอน ขนาดเม็ดตะกอนเล็กกว่า 1 มิลลิเมตร

5.1.2.2 ลักษณะพื้นผิวเม็ดตะกอน

วิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวเม็ดตะกอนของตะกอนโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope: SEM) จากเม็ดตะกอนที่เลี้ยงในความเข้มข้นซีโอดีสูง และเม็ดตะกอนที่เลี้ยงที่ความเข้มข้นซีโอดีต่ำ ที่กำลังขยาย 50 เท่า พบว่าลักษณะพื้นผิวของเม็ดตะกอนที่เลี้ยงในความเข้มข้นซีโอดีที่สูง มีรูปร่างกลมที่ชัดเจนและค่อนข้างสม่ำเสมอซึ่งต่างจากเม็ด

ตะกอนที่เลี้ยงที่ความเข้มข้นต่ำ ที่พื้นผิวด้านบนนอกเมื่อดตะกอนจับตัวกันหลวมๆและพบเส้นใยเป็นจำนวนมากรอบผิวตะกอน แต่เมื่อส่องที่กำลังขยายที่ 3,000 และ 10,000 เท่า เมื่อดตะกอนทั้ง 2 สภาวะ พบกลุ่มจุลินทรีย์เกาะรวมตัวกันอยู่ได้แก่ แบคทีเรียกลุ่มรูปร่างทรงกลม รูปร่างแท่ง และกลุ่มเส้นใย

5.1.3 การวิเคราะห์ทางกายภาพ

5.1.3.1 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (MLSS)

ที่ความเข้มข้นซีโอดี 1,000 500 250 100 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร MLSS เฉลี่ย $19,195 \pm 5,089.2$ $7,699 \pm 2,619.4$ $7,160 \pm 944.9$ $3,553 \pm 1,259.1$ และ $1,365 \pm 671.1$ มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งนี้ ค่า MLSS อาจมีค่าที่แกว่ง เนื่องจากปริมาณตะกอนในระบบน้อยมาก และตะกอนแยกตัวกับน้ำเสียอย่างชัดเจน ทำให้ค่าในการตรวจวัดไม่คงที่ จะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของซีโอดีมีผลต่อปริมาณตะกอนในระบบโดยที่ความเข้มข้นซีโอดีสูงตะกอนในระบบจะมีปริมาณมากที่สุด

5.1.3.2 ดัชนีปริมาตรตะกอน (SVI)

ดัชนีปริมาตรตะกอน (SVI) ในงานวิจัยนี้ ความเข้มข้นซีโอดีที่ต่างกัน 1,000 500 250 100 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่า SVI_5 เฉลี่ย 25.3 ± 12.0 74.9 ± 27.2 50.6 ± 15.8 22.2 ± 1.9 และ 26.1 ± 11.6 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ค่า SVI_{30} เฉลี่ย 18.4 ± 6.9 52.5 ± 19.1 35.1 ± 13.7 22.2 ± 1.9 และ 24.7 ± 10.7 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับตะกอนในระบบเอเอสทั่วไป ระบบเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศถือว่ามีประสิทธิภาพในการตกตะกอนได้ดีกว่า โดยทั่วไประบบบำบัดแบบเอเอส จะมีค่า SVI_{30} อยู่ที่ 100-160 มิลลิกรัมต่อกรัม

ความเข้มข้นซีโอดี 1,000 500 250 100 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร มีค่า SVI_5/SVI_{30} เฉลี่ย 1.34 1.43 1.51 1.11 และ 1.05 ตามลำดับ โดยทฤษฎีหากระบบเกิดเมื่อดตะกอนโดยสมบูรณ์ ค่า SVI_5/SVI_{30} จะมีค่าเท่ากับ 1.00 แต่ที่ระบบมีค่าสูงกว่า อาจเพราะระบบยังคงมีตะกอนในถังปฏิกิริยาบางส่วนที่ยังเป็นฟล็อกอยู่

5.1.3.3 ความหนาแน่นของตะกอน

ความหนาแน่นของตะกอนที่ความเข้มข้นซีโอดี 500 100 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าความหนาแน่นของตะกอนมีค่าใกล้เคียงกันเท่ากับ 1.1229 ± 0.002 1.1180 ± 0.015 และ 1.0960 ± 0.002 กรัมต่อมิลลิกรัม ตามลำดับ ความถ่วงจำเพาะหาได้จากความหนาแน่นของตะกอนหารด้วยความหนาแน่นของน้ำโดยความหนาแน่นของน้ำเท่ากับ 1 กรัม/มิลลิกรัม จะได้ว่าที่ความ

เข้มข้นซีไอดี 500 100 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.1229 ± 0.002 1.1180 ± 0.015 และ 1.0960 ± 0.002 ตามลำดับ

5.1.4 การวิเคราะห์ทางเคมี

5.1.3.1 ประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีของเม็ตตะคอน

ความเข้มข้นซีไอดีในระบบ 1,000 500 250 100 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดซีไอดีที่ความเข้มข้นซีไอดีที่แตกต่างกัน มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกันที่ร้อยละ 94-96

5.1.3.2 อัตราการบำบัดจำเพาะของระบบ

ความเข้มข้นซีไอดีเท่ากับ 1,000 500 250 100 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร มีอัตราการบำบัดจำเพาะเฉลี่ยเท่ากับ 13.415 11.607 10.028 6.685 และ 4.917 มิลลิกรัม ซีไอดีต่อ มิลลิกรัม MLVSSต่อวัน ตามลำดับ

5.1.5 ค่าจลนพลศาสตร์ในการบำบัดซีไอดี

ปฏิกิริยาในการบำบัดซีไอดีเป็นไปตามสมการของโมโนต์ โดยอัตราการบำบัดซีไอดีจำเพาะสูงสุดของระบบ (k_m) เท่ากับ 15.181 ± 2.884 มิลลิกรัมซีไอดีต่อมิลลิกรัม MLVSSต่อวัน และความเข้มข้นที่อัตราการบำบัดเท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราการบำบัดสูงสุด (K_s) เท่ากับ 120.758 ± 74.035 มิลลิกรัมต่อลิตร

5.2 คำแนะนำของการนำไปใช้จริง

การนำไปใช้สำหรับระบบบำบัดน้ำเสียขนาดใหญ่โดยใช้รูปแบบในการเดินระบบแบบเดียวกับงานวิจัยนี้ จำเป็นต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆต่อการสร้างเม็ตตะคอน ได้แก่ การใช้ความเร็วในการเติมอากาศที่สูง 3.5 เซนติเมตรต่อวินาที และระยะเวลาในการตกตะกอน 15 นาที โดยจากงานวิจัยนี้ ใช้ความเร็วในการเติมอากาศที่สูง เนื่องจากความเร็วในการเติมอากาศที่สูงจะส่งเสริมการก่อตัวของเม็ตตะคอนและดัชนีปริมาตรตะกอนลดลง ถือเป็นแนวโน้มที่ดีต่อความสามารถในการตกตะกอนที่รวดเร็ว นอกจากนี้ที่ระยะเวลาในการตกตะกอน 15 นาที อาจจำเป็นต้องปรับเปลี่ยนตามความเหมาะสมต่อขนาดของระบบ เนื่องจากระบบบำบัดที่ใช้มีขนาดที่ค่อนข้างเล็ก ปริมาณการทำงานเพียง 8 ลิตร เท่านั้น หากระบบมีขนาดใหญ่ขึ้น จำเป็นต้องพิจารณาตามความเหมาะสม เพื่อป้องกันการชะล้างตะกอนออกจากระบบมากเกินไป

จากงานวิจัยจะเห็นได้ว่าระบบเม็ดตะกอนสามารถบำบัดน้ำเสียที่ความเข้มข้นสูง 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จนที่ความเข้มข้นซีโอติต่ำสุด 50 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอติเฉลี่ยมากกว่า 94% และพบว่าที่ความเข้มข้นซีโอติที่ต่ำเม็ดตะกอนยังคงมีความสามารถในการตกตะกอนได้ดี ดังนั้น ระบบเม็ดตะกอนมีแนวโน้มที่สามารถนำไปใช้ได้จริง สำหรับการบำบัดน้ำเสียที่ความเข้มข้นที่หลากหลายได้ รวมถึงน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำอย่างน้ำเสียชุมชน

ค่าจลนพลศาสตร์ในการบำบัดที่ได้จากงานวิจัยนี้ เป็นข้อมูลเพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้สำหรับการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียโดยเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ขนาดใหญ่ กรณีที่มีการควบคุมสถานะและการเดินระบบที่เหมือนกัน อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการวิจัยนี้เป็นเพียงการทดลองที่มีการจำลองระบบบำบัดน้ำเสียขนาดเล็กมาก เมื่อเทียบกับขนาดของระบบบำบัดทั่วไป ทางผู้วิจัยคาดว่าหากนำไปใช้จริงจำเป็นต้องพิจารณาถึงขนาดของระบบและสถานะอื่นๆควบคู่ด้วย

5.3 ข้อเสนอแนะของงานวิจัยต่อไป

5.3.1 ขนาดเม็ดตะกอนต่อความเข้มข้นซีโอติที่เปลี่ยนไป

จากงานวิจัยนี้จะเห็นได้ว่า เม็ดตะกอนไม่ได้ถูกเลี้ยงที่ความเข้มข้นใดความเข้มข้นหนึ่งตลอดการทดลอง ทำให้เม็ดตะกอนที่เกิดขึ้นในระบบนำมาเป็นตัวแทนขนาดส่วนใหญ่ของระบบที่ความเข้มข้นนั้นได้ยาก ดังนั้น หากต้องการเปรียบเทียบความแตกต่างของเม็ดตะกอนที่สร้างได้จากความเข้มข้นซีโอติที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน อาจจำเป็นต้องใช้ความเข้มข้นซีโอติต่อหนึ่งถึงปฏิกิริยา เพื่อง่ายต่อการเปรียบเทียบขนาดเม็ดตะกอนที่แท้จริงที่เกิดขึ้น

5.3.2 อายุตะกอน

ในระบบเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศ เม็ดตะกอนที่ถูกสร้างแล้วจะมีค่าความถ่วงจำเพาะที่สูงและถูกเก็บไว้ในระบบ ในขณะที่ตะกอนที่สร้างใหม่ที่ฟุ้งกระจายจะถูกระบายทิ้งออกจากระบบ ทำให้อายุตะกอนหาได้ยากและไม่น่าจะเป็นปัจจัยสำคัญของระบบนี้

5.3.3 ถึงปฏิกิริยาเอสปีอาร์และอุปกรณ์ประกอบ

5.3.3.1 ตู้ควบคุมไฟฟ้า

งานวิจัยนี้เป็นการดำเนินโดยใช้ระบบอัตโนมัติควบคุมด้วยตู้ควบคุมไฟฟ้า มีองค์ประกอบสำคัญคือ ตัวตั้งเวลา (Timer) จะทำหน้าที่การควบคุมขั้นตอนการเดินระบบ ปัญหาที่พบจากการใช้ตัวตั้งเวลาในงานวิจัยนี้คือ เหตุไฟฟ้าดับและตัวตั้งเวลารวน เนื่องจากตู้ควบคุมเป็นการวางผังวงจรไฟฟ้าโดยให้แต่ละขั้นตอนดำเนินตามตัวตั้งเวลาอย่างเป็นลำดับขั้น เมื่อเกิดเหตุไฟฟ้าดับ

ระบบจะถูกตัดทันที และหลังจากไฟฟ้ากลับมาใช้งานได้ ระบบจะดำเนินในขั้นตอนการเติมน้ำเสียใหม่ ทำให้น้ำในถังปฏิกิริยาล้นออกทางด้านบน และส่งผลให้ตะกอนในระบบหลุดออกไปด้วย ผู้วิจัยแนะนำให้มีระบบไฟฟ้าสำรอง เพื่อป้องกันกรณีดังกล่าว และในบางครั้งตัวตั้งเวลาทำงานผิดปกติ ตัดเวลาไปขั้นตอนต่อไปก่อนถึงเวลาที่ตั้งไว้จริง เช่น ระยะเวลาในการตกตะกอน 15 นาที ก่อนเข้าสู่ขั้นตอนทิ้งน้ำ แต่ระบบตัดตั้งแต่ 4 นาที ทำให้ระยะเวลาตกตะกอนในระบบสั้น ส่งผลให้จำนวนตะกอนในระบบหลุดออกไปอย่างไม่ทราบปริมาณ ผู้วิจัยแนะนำให้ดูแลและตรวจเช็คระบบอย่างสม่ำเสมอ

5.3.3.2 โซลินอยด์วาล์ว

วาล์วมีโซลินอยด์เป็นวาล์วควบคุมด้วยไฟฟ้าที่ถูกติดตั้งอยู่ท่อน้ำขาออกของระบบ ปัญหาขั้นตอนการปล่อยน้ำทิ้งคือมีตะกอนแห้งหลุดออกจากระบบและอุดตันด้านในวาล์ว ทำให้วาล์วเปิดตลอดเวลา จึงสูญเสียมืดตะกอนไปพร้อมกับน้ำทิ้ง ผู้วิจัยแนะนำว่าควรมีตะแกรงสำหรับป้องกันตะกอนแห้งหลุดเข้าไปติดในวาล์ว และคอยนำวาล์วออกมาล้างทำความสะอาด เพื่อลดการเกิดเหตุดังกล่าว

บรรณานุกรม

- กรมควบคุมมลพิษ. (2546). สรุปเกณฑ์แนะนำการออกแบบระบบรวบรวมน้ำเสียและโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำของชุมชน. สมาคมวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย.
- กรมควบคุมมลพิษ. (2554). ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ. กรุงเทพฯ: สำนักงานพระพุทธศาสนาแห่งชาติ.
- กรมควบคุมมลพิษ. (2558). คู่มือความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับระบบบำบัดน้ำเสียเบื้องต้นและการตรวจสอบระบบบำบัดน้ำเสียด้วยตนเอง [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อ 15 มีนาคม 2565 จาก http://cac.pcd.go.th/images/ptechResource/PublishDoc/2558-CAC_treatment/CAC_manual-58.pdf
- กรมควบคุมมลพิษ. (2559). คู่มือความรู้เกี่ยวกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบ AS สำหรับอาคาร[ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อ 17 มีนาคม 2565 จาก http://cac.pcd.go.th/images/ptechResource/PublishDoc/2560-AS/60_-AS.pdf
- อริยะ กาญจนโกมุท. (2562). การสร้างและประสิทธิภาพของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศ. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต). ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย].
- สรายุทธ เตยโพธิ์. (2563). ค่าจลนพลศาสตร์ของการบำบัดน้ำเสียโดยเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศ. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต). ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย].
- ขวัญเนตร สมบัติสมภพ. (2551). การบำบัดไนโตรเจนด้วยระบบเอสปีอาร์-ตัวกลางเคลื่อนที่ [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อ 15 มีนาคม 2565 จาก <https://dric.nrct.go.th/Search/SearchDetail/200210>
- สิริรัตน์ สุวณิชย์เจริญ, & ปราโมช เชี่ยวชาญ. (2548). ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ[ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อ 15 มีนาคม 2565 จาก https://www.stou.ac.th/schools/shs/booklet/6_2548/occhealth.htm
- Ab Halim และคณะ. (2015). Aerobic sludge granulation at high temperatures for domestic wastewater treatment. *Bioresource technology*, 185, 445-449.
- Arrojo และคณะ. (2006). Effects of mechanical stress on Anammox granules in a sequencing batch reactor (SBR). *Journal of Biotechnology*, 123(4), 453-463.
- Chen และคณะ. (2008). Aerobic granulation under the combined hydraulic and loading selection pressures. *Bioresource Technology*, 99(16), 7444-7449.
- Corsino และคณะ. (2018). Aerobic granular sludge treating high strength citrus wastewater: Analysis of pH and organic loading rate effect on kinetics, performance and stability. *Journal of environmental management*, 214, 23-35.
- De Kreuk และคณะ. (2005). Formation of aerobic granules and conversion processes in an

- aerobic granular sludge reactor at moderate and low temperatures. *Water research*, 39(18), 4476-4484.
- De Kreuk และคณะ. (2004). Selection of slow growing organisms as a means for improving aerobic granular sludge stability. *Water Science and Technology*, 49(11-12), 9-17.
- Mk De Kreuk และคณะ. (2007). Aerobic granular sludge—state of the art. *Water Science and Technology*, 55(8-9), 75-81.
- De Sousa Rollemberg และคณะ. (2018). Aerobic granular sludge: Cultivation parameters and removal mechanisms. *Bioresource Technology*, 270, 678-688.
- Devlin และคณะ. (2017). Granulation of activated sludge under low hydrodynamic shear and different wastewater characteristics. *Bioresource Technology*, 224, 229-235.
- Bryce A Figdore และคณะ. (2017). Aerobic Granular Sludge for Biological Nutrient Removal (Report No. NUTR4R14h). Alexandria, VA: Water Environment and Reuse Foundation.
- Gonzalez-Martinez และคณะ. (2017). Start-up and operation of an aerobic granular sludge system under low working temperature inoculated with cold-adapted activated sludge from Finland. *Bioresource technology*, 239, 180-189.
- Guimarães และคณะ. (2017). Microbial pathways of nitrogen removal in aerobic granular sludge treating domestic wastewater. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 92(7), 1756-1765.
- Isanta และคณะ. (2012). Long term operation of a granular sequencing batch reactor at pilot scale treating a low-strength wastewater. *Chemical Engineering Journal*, 198, 163-170.
- Jiang และคณะ. (2019). Response and recovery of aerobic granular sludge to pH shock for simultaneous removal of aniline and nitrogen. *Chemosphere*, 221, 366-374.
- Jungles และคณะ. (2014). Sequencing batch reactor operation for treating wastewater with aerobic granular sludge. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 31, 27-33.
- Kazimierowicz และคณะ. (2022). Aerobic Granular Sludge as a Substrate in Anaerobic Digestion—Current Status and Perspectives. *Sustainability*, 14(17), 10904.
- Manuel Layer และคณะ. (2019). Organic substrate diffusibility governs microbial community composition, nutrient removal performance and kinetics of granulation of aerobic granular sludge. *Water research X*, 4, 100033.

- Lettinga และคณะ. (1980). Use of the upflow sludge blanket (USB) reactor concept for biological wastewater treatment, especially for anaerobic treatment. *Biotechnology and bioengineering*, 22(4), 699-734.
- Li และคณะ. (2011). Effect of the food-to-microorganism (F/M) ratio on the formation and size of aerobic sludge granules. *Process Biochemistry*, 46(12), 2269-2276.
- Jun Li และคณะ. (2014). Aerobic sludge granulation in a full-scale sequencing batch reactor. *BioMed research international*, 2014.
- Liu และคณะ. (2003). Substrate concentration-independent aerobic granulation in sequential aerobic sludge blanket reactor. *Environmental Technology*, 24(10), 1235-1242.
- Liu และคณะ. (2007). Influence of cycle time on kinetic behaviors of steady-state aerobic granules in sequencing batch reactors. *Enzyme and Microbial Technology*, 41(4), 516-522.
- Liu และคณะ. (2008). Influence of starvation time on formation and stability of aerobic granules in sequencing batch reactors. *Bioresource technology*, 99(5), 980-985.
- Liu และคณะ. (2006). Characteristics of aerobic granular sludge in a sequencing batch reactor with variable aeration. *Applied microbiology and biotechnology*, 71(5), 761-766.
- Y-Q Liu และคณะ. (2005). Relationship between size and mass transfer resistance in aerobic granules. *Letters in applied microbiology*, 40(5), 312-315.
- Morgenroth และคณะ. (1997). Aerobic granular sludge in a sequencing batch reactor. *Water research*, 31(12), 3191-3194.
- Muñoz-Palazon และคณะ. (2020). Polar Arctic Circle biomass enhances performance and stability of aerobic granular sludge systems operated under different temperatures. *Bioresource technology*, 300, 122650.
- Nancharaiah และคณะ. (2018). Aerobic granular sludge technology: mechanisms of granulation and biotechnological applications. *Bioresource technology*, 247, 1128-1143.
- Ni และคณะ. (2009). Granulation of activated sludge in a pilot-scale sequencing batch reactor for the treatment of low-strength municipal wastewater. *Water research*,

43(3), 751-761.

- Qin และคณะ. (2004). Effect of settling time on aerobic granulation in sequencing batch reactor. *Biochemical Engineering Journal*, 21(1), 47-52.
- Rajpal และคณะ. (2021). Optimization to maximize nitrogen removal and microbial diversity in PVA-gel based process for treatment of municipal wastewater. *Environmental Technology & Innovation*, 21, 101314.
- Sguanci และคณะ. (2019). Long-term stability of aerobic granular sludge for the treatment of very low-strength real domestic wastewater. *Journal of Cleaner Production*, 222, 882-890.
- Tay และคณะ. (2001). The effects of shear force on the formation, structure and metabolism of aerobic granules. *Applied microbiology and biotechnology*, 57(1), 227-233.
- Tay และคณะ. (2004). The effect of upflow air velocity on the structure of aerobic granules cultivated in a sequencing batch reactor. *Water Science and Technology*, 49(11-12), 35-40.
- Tay และคณะ. (2004). Effect of organic loading rate on aerobic granulation. I: Reactor performance. *Journal of environmental engineering*, 130(10), 1094-1101.
- Tay และคณะ. (2002). Hydraulic selection pressure-induced nitrifying granulation in sequencing batch reactors. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 59(2), 332-337.
- Wang และคณะ. (2018). Study of the treatment of domestic sewage using PVA gel beads as a biomass carrier. *Journal of Water Reuse and Desalination*, 8(3), 340-349.
- Wang และคณะ. (2006). The role of SBR mixed liquor volume exchange ratio in aerobic granulation. *Chemosphere*, 62(5), 767-771.
- Angel Chyi En We และคณะ. (2020). A review of the treatment of low–medium strength domestic wastewater using aerobic granulation technology. *Environmental Science: Water Research & Technology*, 6(3), 464-490.
- Wisniewski และคณะ. (2007). Membrane bioreactor for water reuse. *Desalination*, 203(1-3), 15-19.
- Yu และคณะ. (2014). Study on the impact of do and organic matter on aerobic granular sludge treating municipal sewage. *Advanced Materials Research*,

- Zhao และคณะ. (2012). Research of carbon and nitrogen ratio and sludge stability in aerobic granular sludge bioreactor. *Advanced Materials Research*,
- Zheng และคณะ. (2006). Formation and instability of aerobic granules under high organic loading conditions. *Chemosphere*, 63(10), 1791-1800.
- Zheng และคณะ. (2005). Physical and chemical characteristics of granular activated sludge from a sequencing batch airlift reactor. *Process biochemistry*, 40(2), 645-650.
- Zhou และคณะ. (2016). Optimizing granules size distribution for aerobic granular sludge stability: effect of a novel funnel-shaped internals on hydraulic shear stress. *Bioresource Technology*, 216, 562-570.





ภาคผนวก ก

ก. 1 การคำนวณสารอาหารที่ใช้ในการทดลอง

ปริมาณสารอาหารที่ใช้ตามสูตรของ Zheng (2006) ดังนี้

1. สารที่ไม่ได้ผสมเก็บไว้ สำหรับการเตรียมน้ำที่ 40 ลิตรต่อวัน)

ในงานวิจัยนี้ใช้ความเข้มข้นที่แตกต่างกันถึง 5 ความเข้มข้น ซึ่งความเข้มข้นที่คำนวณเป็นความเข้มข้นที่ใช้ในการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ในถังขาเข้าปริมาตร 40 ลิตรต่อวัน เพื่อให้ได้ความเข้มข้นในถังปฏิกริยา 8 ลิตรต่อรอบการบำบัดเป็นไปตามกำหนด ดังนี้

1.1 น้ำตาลทราย

- ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ในถังปฏิกริยา
น้ำตาลทราย $2,968 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร} \times 40 \text{ ลิตร} = 118.73 \text{ กรัม}$
- ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ในถังปฏิกริยา
น้ำตาลทราย $1,514 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร} \times 40 \text{ ลิตร} = 60.56 \text{ กรัม}$
- ความเข้มข้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ในถังปฏิกริยา
น้ำตาลทราย $534 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร} \times 40 \text{ ลิตร} = 21.38 \text{ กรัม}$
- ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ในถังปฏิกริยา
น้ำตาลทราย $267 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร} \times 40 \text{ ลิตร} = 10.69 \text{ กรัม}$
- ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ในถังปฏิกริยา
น้ำตาลทราย $133 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร} \times 40 \text{ ลิตร} = 5.34 \text{ กรัม}$

1.2 NH₄Cl

- ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ในถังปฏิกริยา
NH₄Cl $637 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร} \times 40 \text{ ลิตร} = 25.48 \text{ กรัม}$
- ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ในถังปฏิกริยา
NH₄Cl $318 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร} \times 40 \text{ ลิตร} = 12.72 \text{ กรัม}$
- ความเข้มข้น 25 มิลลิกรัมต่อลิตร ในถังปฏิกริยา
NH₄Cl $159 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร} \times 40 \text{ ลิตร} = 6.37 \text{ กรัม}$

- ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ในถังปฏิกรณ์

$$\text{NH}_4\text{Cl} \quad 64 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร} \times 40 \text{ ลิตร} = 2.56 \text{ กรัม}$$

- ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ในถังปฏิกรณ์

$$\text{NH}_4\text{Cl} \quad 32 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร} \times 40 \text{ ลิตร} = 1.27 \text{ กรัม}$$

1.3 สารอื่นๆ

$$\text{KH}_2\text{PO}_4 \quad 523 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร} \times 40 \text{ ลิตร} = 20.92 \text{ กรัม}$$

$$\text{K}_2\text{HPO}_4 \quad 1,071 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร} \times 40 \text{ ลิตร} = 42.84 \text{ กรัม}$$

2. สารอาหารหลัก ทำ Stock 10 เท่า สำหรับน้ำเสีย 40 ลิตร ในปริมาตรน้ำ 1 ลิตร

$$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \quad 25 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร} \times 40 \text{ ลิตร} = 10 \text{ กรัม}$$

$$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} \quad 10 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร} \times 40 \text{ ลิตร} = 4 \text{ กรัม}$$

$$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} \quad 20 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร} \times 40 \text{ ลิตร} = 8 \text{ กรัม}$$

3. สารอาหารเสริม ทำ Stock 1,000 เท่า สำหรับน้ำเสีย 40 ลิตร ในปริมาตรน้ำ 1 ลิตร

$$\text{H}_3\text{BO}_3 \quad 0.05 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร} \times 40 \text{ ลิตร} = 2 \text{ กรัม}$$

$$\text{ZnCl}_2 \quad 0.05 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร} \times 40 \text{ ลิตร} = 2 \text{ กรัม}$$

$$\text{CuCl}_2 \quad 0.03 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร} \times 40 \text{ ลิตร} = 1.2 \text{ กรัม}$$

$$\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O} \quad 0.05 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร} \times 40 \text{ ลิตร} = 2 \text{ กรัม}$$

$$\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} \quad 0.05 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร} \times 40 \text{ ลิตร} = 2 \text{ กรัม}$$

$$\text{NiCl}_2 \quad 0.05 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร} \times 40 \text{ ลิตร} = 2 \text{ กรัม}$$

$$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O} \quad 0.05 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร} \times 40 \text{ ลิตร} = 2 \text{ กรัม}$$

$$\text{AlCl}_3 \quad 0.05 \text{ มิลลิกรัมต่อลิตร} \times 40 \text{ ลิตร} = 2 \text{ กรัม}$$

ก. 2 การคำนวณดัชนีปริมาตรตะกอน (SVI)

$$\text{ดัชนีปริมาตรตะกอนที่ 5 นาที (SVI}_5) = \frac{\text{ปริมาตรการตกตะกอนที่ 5 นาที (SV}_5) \times 1,000}{\text{ปริมาตร MLSS ในถังปฏิกิริยา}}$$

$$\text{ดัชนีปริมาตรตะกอนที่ 30 นาที (SVI}_{30}) = \frac{\text{ปริมาตรการตกตะกอนที่ 30 นาที (SV}_{30}) \times 1,000}{\text{ปริมาตร MLSS ในถังปฏิกิริยา}}$$

= คำตอบในหน่วย มิลลิลิตรต่อกรัม

ก. 3 การคำนวณตะกอนแขวนลอย (MLSS)

$$\text{ตะกอนแขวนลอย (MLSS)} = \frac{(A-B) \times 10^6}{\text{ปริมาตรน้ำตัวอย่าง (มิลลิลิตร)}}$$

กำหนดให้ A คือ น้ำหนักกระดาศกรงก่อนอบ + ของแข็งที่เหลือ (กรัม)

B คือ น้ำหนักกระดาศกรงหลังอบ (กรัม)

= คำตอบในหน่วย มิลลิกรัมต่อลิตร

ก. 4 การคำนวณอัตราการบำบัดซีโอดีจำเพาะ

$$\text{อัตราการบำบัดซีโอดีจำเพาะ} = \frac{\text{ความเข้มข้นซีโอดีจากความชันกราฟ (มิลลิกรัมซีโอดี) \times 60 นาที \times 24 ชั่วโมง}}{\text{ความเข้มข้นตะกอนในถังปฏิกิริยา (มิลลิกรัม MLVSS) \times 1 ชั่วโมง \times 1 วัน}}$$

= คำตอบในหน่วย มิลลิกรัม COD ต่อ มิลลิกรัม MLVSS ต่อวัน

ก. 5 การคำนวณความหนาแน่นตะกอนจุลินทรีย์ของเม็ดตะกอน

$$\text{ความหนาแน่นของตะกอน(จากการทดลอง)} = \frac{\text{น้ำหนักแห้งของตะกอน}}{\text{ปริมาตรตะกอน}}$$

*หมายเหตุ ปริมาตรตะกอน = ปริมาตรรวม - ปริมาตรน้ำ 20 มิลลิลิตร

= คำตอบในหน่วย กรัมต่อลิตร

รายงานความหนาแน่นของตะกอนจุลินทรีย์ด้วยค่าที่รวมความหนาแน่นของน้ำ

คือ 1,000 กรัมต่อลิตร ดังนั้น

ความหนาแน่นของตะกอนจุลินทรีย์ = $\frac{\text{ความหนาแน่นน้ำ} + \text{ความหนาแน่นตะกอน (จากการทดลอง)}}{1,000 \text{ มิลลิลิตร}}$

1,000 มิลลิลิตร

= คำตอบในหน่วย กรัมต่อมิลลิลิตร



ภาคผนวก ข

ผลการทดลอง

ข. 1 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ของระบบ

ตาราง ข. 1.1 ค่า MLSS SV และ SVI ของถังปฏิกรณ์ที่ 1

วัน/เดือน/ปี	MLSS		SV ₅	SV ₃₀	SVI ₅	SVI ₃₀	SVI ₅ /SVI ₃₀
	ขณะเต็ม อากาศ	ก้นถัง ปฏิกรณ์					
ช่วงการสร้างเม็ดตะกอน							
19/12/2566	3150						
26/12/2566	6420						
2/1/2566	6904						
11/1/2566	7403		220	100	29.72	13.51	2.20
18/1/2566	13097		350	225	26.72	17.18	1.56
22/1/2566	10367		250	200	22.44	19.29	1.27
27/1/2566	14468		380	300	26.20	20.74	1.27
2/2/2566	16293		350	280	21.48	17.19	1.25
5/2/2566	12977		400	300	30.82	23.12	1.33
17/2/2566	7977	18203	700	500	87.75	62.68	1.40
20/2/2566	8700	31210	400	300	45.98	34.48	1.33
ความเข้มข้นซีโอดีที่ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร							
24/2/2566	14060	84757	475	350	33.78	24.89	1.36
6/3/2566	19350	105227	300	250	15.50	12.92	1.20
13/3/2566	20820	95957	290	250	13.93	12.01	1.16
16/3/2566	23480	N/A	350	300	14.91	12.78	1.17
18/3/2566	26687	84737	400	330	14.99	12.37	1.21
23/3/2566	24755	67135	500	370	20.2	14.095	1.35
30/3/2566	16760	67985	550	330	32.82	19.69	1.67
4/4/2566	13730	44285	650	400	47.34	29.13	1.63

ตาราง ข. 1.1 ค่า MLSS SV และ SVI ของถังปฏิกรณ์ที่ 1 (ต่อ)

วัน/เดือน/ปี	MLSS		SV ₅	SV ₃₀	SVI ₅	SVI ₃₀	SVI ₅ /SVI ₃₀
	ขณะเติม อากาศ	กั้นถึง ปฏิกรณ์					
ความเข้มข้นซีโอดีที่ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (ต่อ)							
10/4/2566	13115	47090	450	350	34.31	26.69	1.29
ความเข้มข้นซีโอดีที่ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร							
15/4/2566	10325	45535	360	250	34.87	24.21	1.44
19/4/2566	10515	48675	450	300	42.80	28.53	1.50
25/4/2566	7990	31580	450	300	56.32	37.55	1.50
29/4/2566	7020	24450	450	350	64.1	49.86	1.29
5/5/2566	6805	22425	500	350	73.48	51.43	1.43
8/5/2566	7540	20700	500	350	66.31	46.42	1.43
15/5/2566	6155	13590	600	400	97.48	64.99	1.50
19/5/2566	5020	13890	600	400	119.52	79.68	1.50
22/5/2566	5185	12575	500	400	96.43	77.15	1.25
25/5/2566	5015	10985	490	325	97.71	64.81	1.51

ตาราง ข. 1.2 ค่า MLSS SV และ SVI ของถังปฏิกิริยาที่ 2

วัน/เดือน/ปี	MLSS		SV ₅	SV ₃₀	SVI ₅	SVI ₃₀	SVI ₅ /SVI ₃₀
	ขณะเต็ม อากาศ	ก้นถัง ปฏิกิริยา					
ช่วงการสร้างเมืตตะกอน							
19/12/2566	3114						
26/12/2566	6970						
2/1/2566	8124						
11/1/2566	10500		240	150	22.89	14.29	1.60
18/1/2566	8613		170	170	19.74	19.74	1.00
22/1/2566	11270		200	170	17.75	15.08	1.18
27/1/2566	10154		200	150	19.70	14.77	1.33
2/2/2566	13223		300	250	22.69	18.91	1.20
5/2/2566	14643		300	250	20.49	17.07	1.20
17/2/2566	14017	39977	500	400	35.67	28.54	1.25
20/2/2566	7493	12660	50	50	6.67	6.67	1.00
24/2/2566	7147	15897	70	50	9.79	7.00	1.40
ความเข้มข้นซีโอดีที่ 250 มิลลิกรัมต่อลิตร							
6/3/2566	7393	27193	290	120	39.23	16.23	2.42
13/3/2566	5943	25143	400	350	67.31	58.89	1.14
16/3/2566	7964	N/A	500	350	78.04	54.63	1.43
18/3/2566	8363	23580	550	350	65.77	41.85	1.57
23/3/2566	7485	27225	400	280	53.44	37.41	1.43
30/3/2566	7965	38475	330	225	41.43	28.25	1.47
4/4/2566	7890	44025	250	190	31.69	24.08	1.32
10/4/2566	6540	29825	200	150	30.58	22.94	1.33
15/4/2566	5735	32425	270	190	47.08	33.13	1.42
19/4/2566	6320	35730	325	210	51.42	33.23	1.55

ตาราง ข. 1.2 ค่า MLSS SV และ SVI ของถังปฏิกรณ์ที่ 2

วัน/เดือน/ปี	MLSS		SV ₅	SV ₃₀	SVI ₅	SVI ₃₀	SVI ₅ /SVI ₃₀
	ขณะเติม อากาศ	กั้นถัง ปฏิกรณ์					
ความเข้มข้นซีโอดีที่ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร							
25/4/2566	5865	36000	190	130	32.40	22.17	1.46
29/4/2566	3645	28710	100	83	27.43	22.77	1.20
5/5/2566	3855	16150	80	80	20.75	20.75	1.00
8/5/2566	2505	7910	50	50	19.96	19.96	1.00
15/5/2566	2765	9630	70	70	25.32	25.32	1.00
19/5/2566	2680	7910	60	60	22.39	22.39	1.00
ความเข้มข้นซีโอดีที่ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร							
22/5/2566	1730	9850	70	60	40.48	34.68	1.17
25/5/2566	2210	7240	40	35	18.10	15.84	1.14
28/5/2566	1715	4835	22	22	12.83	12.83	1.00
31/5/2566	635	N/A	22	22	34.65	34.65	1.00
3/6/2566	1400	N/A	23	23	16.43	16.43	1.00
5/6/2566	500	N/A	17	17	34.00	34.00	1.00

หมายเหตุ : ความเข้มข้นซีโอดีที่ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม่ได้ทำการตรวจวัดค่า MLSS กั้นถังปฏิกรณ์ เนื่องจากตะกอนในถังปฏิกรณ์มีปริมาณน้อยมาก ทำให้ระดับตะกอนอยู่ต่ำกว่าท่อน้ำออกกั้นถัง

ตาราง ข.1.3 ความเข้มข้นซีโอดีของระบบ

ถึงปฏิบัติการที่ 1				ถึงปฏิบัติการที่ 2			
วันที่	COD		%eff	วันที่	COD		%eff
	เข้า	ออก			เข้า	ออก	
ช่วงการสร้างตะกอน				ช่วงการสร้างตะกอน			
28/1/2566	594.1572	24.3333	96	28/1/2566	547.1794	31.3333	94
2/2/2566	547.6667	18.0000	97	2/2/2566	576.1147	29.6667	95
7/2/2566	613.3333	27.6667	96	7/2/2566	560.6667	0.0000	100
12/2/2566	583.3333	18.0000	97	12/2/2566	534.1890	45.1235	92
17/2/2566	560.0000	133.3333	76	17/2/2566	533.3333	53.3333	90
20/2/2566	340.9836	79.6885	77	20/2/2566	577.0492	26.2295	95
ความเข้มข้นซีโอดี 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร				24/2/2566	507.6667	0.0000	100
24/2/2566	1120.0000	0.0000	100	ความเข้มข้นซีโอดี 250 มิลลิกรัมต่อลิตร			
1/3/2566	1080.0000	34.1257	97	1/3/2566	269.0487	7.0541	97
6/3/2566	1276.5957	25.5319	98	6/3/2566	281.8511	0.0000	100
12/3/2566	1275.2105	21.6667	98	12/3/2566	236.0478	13.1147	94
18/3/2566	1235.0877	0.0000	100	18/3/2566	224.5614	0.0000	100
22/3/2566	1179.4286	27.4289	98	22/3/2566	246.8571	0.0000	100
24/3/2566	1189.7436	95.7265	92	24/3/2566	232.4786	41.0256	82
26/3/2566	965.5172	83.7586	91	26/3/2566	275.8621	27.5862	90
30/3/2566	1105.4138	110.3448	90	30/3/2566	303.4483	55.1724	82
1/4/2566	940.4407	54.2373	94	1/4/2566	244.0678	27.1186	89
6/4/2566	1074.1695	63.9661	94	6/4/2566	234.6667	16.0000	93
ความเข้มข้นซีโอดี 500 มิลลิกรัมต่อลิตร				11/4/2566	163.6364	24.5455	85
11/4/2566	191.9091	32.7273	83	15/4/2566	240.0000	13.3333	95
15/4/2566	880.0000	50.6667	94	19/4/2566	244.0678	0.0000	100
19/4/2566	759.3220	29.8305	96	21/4/2566	186.6667	8.0000	96
21/4/2566	560.0000	18.6667	97	ความเข้มข้นซีโอดี 100 มิลลิกรัมต่อลิตร			
25/4/2566	623.7288	18.9831	97	25/4/2566	109.9492	10.8475	90

ตาราง ข.1.3 ความเข้มข้นซีโอดีของระบบ (ต่อ)

ถังปฏิบัติการที่ 1				ถังปฏิบัติการที่ 2			
วันที่	COD		%eff	วันที่	COD		%eff
	เข้า	ออก			เข้า	ออก	
ความเข้มข้นซีโอดี 500 มิลลิกรัมต่อลิตร (ต่อ)				ความเข้มข้นซีโอดี 100 มิลลิกรัมต่อลิตร (ต่อ)			
29/4/2566	677.9661	10.8475	98	29/4/2566	73.2203	0.0000	100
4/5/2566	488.1356	29.8305	94	4/5/2566	105.7627	13.5593	87
10/5/2566	488.1356	18.9831	96	10/5/2566	124.7458	0.0000	100
15/5/2566	533.3333	5.3333	99	15/5/2566	133.3333	0.0000	100
22/5/2566	693.3333	16.0000	98	ความเข้มข้นซีโอดี 50 มิลลิกรัมต่อลิตร			
25/5/2566	640.0000	34.6667	95	22/5/2566	56.0000	2.6667	95
				27/5/2566	56.0000	2.6667	95
				31/5/2566	66.6667	5.3333	93
				3/6/2566	61.3333	2.6667	96

ตาราง ข.1.4 ความเข้มข้นแอมโมเนียมาเข้าของระบบ

ถังปฏิบัติการที่ 1		ถังปฏิบัติการที่ 2	
วันที่	NH ₄ ⁺ -N (มิลลิกรัมต่อลิตร)	วันที่	NH ₄ ⁺ -N (มิลลิกรัมต่อลิตร)
	เข้า		เข้า
ช่วงการสร้างเม็ดตะกอน		ช่วงการสร้างเม็ดตะกอน	
28/1/2566	105.4103	28/1/2566	108.6923
7/2/2566	97.7692	7/2/2566	116.2564
17/2/2566	114.333	17/2/2566	110.7949
ความเข้มข้นแอมโมเนียมา 100 มิลลิกรัมต่อลิตร		24/2/2566	126.2308
24/2/2566	76.4724	ความเข้มข้นแอมโมเนียมา 25 มิลลิกรัมต่อลิตร	
6/3/2566	165.9742	1/3/2566	30.7949
18/3/2566	114.8718	18/3/2566	26.1538
26/3/2566	101.2821	26/3/2566	24.3333
6/4/2566	106.8462	6/4/2566	30.6323

ตาราง ข.1.4 ความเข้มข้นแอมโมเนียมไนเตรตของระบบ (ต่อ)

ถังปฏิบัติการที่ 1		ถังปฏิบัติการที่ 2	
วันที่	NH ₄ ⁺ -N (มิลลิกรัมต่อลิตร)	วันที่	NH ₄ ⁺ -N (มิลลิกรัมต่อลิตร)
	เข้า		เข้า
ความเข้มข้นแอมโมเนียม 50 มิลลิกรัมต่อลิตร		ความเข้มข้นแอมโมเนียม 25 มิลลิกรัมต่อลิตร (ต่อ)	
11/4/2566	69.0769	15/4/2566	21.2051
21/4/2566	56.9231	ความเข้มข้นแอมโมเนียม 10 มิลลิกรัมต่อลิตร	
4/5/2566	60.0769	25/4/2566	8.4123
10/5/2566	55.2308	4/5/2566	11.4513
22/5/2566	54.4256	10/5/2566	11.9487
		ความเข้มข้นแอมโมเนียม 5 มิลลิกรัมต่อลิตร	
		22/5/2566	5.1538
		27/5/2566	5.7436

ตาราง ข. 2 ความหนาแน่นของตะกอนในระบบ

ถัง ปฏิบัติการ	ความเข้มข้นซีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ความหนาแน่นของตะกอน (กรัม/มิลลิลิตร)			เฉลี่ย	ความหนาแน่น ตะกอน
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
1	500	1.1216	1.1219	1.1251	1.1229	1.1229±0.002
2	100	1.1233	1.1026	1.1305	1.1180	1.1180±0.015
	50	1.0981	1.0950	1.0950	1.0960	1.0960±0.002

ตาราง ข. 3 พีเอช (pH) และออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ในระบบ

วันที่	pH ₁	pH ₂	DO ₁	DO ₂	วันที่	pH ₁	pH ₂	DO ₁	DO ₂
15/1/2566	7.45	7.30	7.1	7.4	11/2/2566	6.25	7.03	N/A	N/A
16/1/2566	7.34	7.24	7.3	7.3	12/2/2566	5.85	7.10	N/A	N/A
17/1/2566	7.57	7.42	7.6	7.5	13/2/2566	5.85	6.96	7.0	7.2
18/1/2566	7.30	7.41	6.9	7.4	14/2/2566	N/A	N/A	N/A	N/A
19/1/2566	7.31	7.34	7.0	7.1	15/2/2566	N/A	N/A	N/A	N/A
20/1/2566	N/A	N/A	N/A	N/A	16/2/2566	N/A	N/A	N/A	N/A
21/1/2566	6.98	7.03	7.1	7.1	17/2/2566	6.98	6.87	7.6	7.5
22/1/2566	7.21	7.24	7.4	7.2	18/2/2566	6.83	6.57	7.6	7.6
23/1/2566	7.16	7.21	7.0	6.8	19/2/2566	5.98	7.01	7.5	7.9
24/1/2566	7.36	7.24	7.8	7.5	20/2/2566	6.92	6.99	6.9	7.5
25/1/2566	7.24	7.31	6.7	7.1	21/2/2566	7.58	7.26	7.1	7.0
26/1/2566	7.16	7.12	7.4	7.3	22/2/2566	6.82	7.27	7.2	7.4
27/1/2566	7.17	7.20	7.0	6.8	23/2/2566	7.31	7.13	6.9	7.0
28/1/2566	7.26	7.26	7.1	7.2	24/2/2566	7.18	7.14	7.3	7.3
29/1/2566	N/A	N/A	N/A	N/A	25/2/2566	7.44	7.20	7.5	7.4
30/1/2566	6.95	7.00	6.8	7.1	26/2/2566	7.36	7.06	7.4	7.4
31/1/2566	7.19	7.23	6.9	7.4	27/2/2566	7.45	7.19	7.2	7.4
1/2/2566	7.24	7.41	7.5	7.7	28/2/2566	7.15	7.20	6.9	7.1
2/2/2566	N/A	N/A	N/A	N/A	1/3/2566	N/A	N/A	N/A	N/A
3/2/2566	7.27	7.15	7.2	7.4	2/3/2566	6.96	7.12	6.8	7.1
4/2/2566	7.24	7.45	7.1	7.6	3/3/2566	7.03	7.20	7.0	7.3
5/2/2566	7.37	7.02	7.0	6.8	4/3/2566	6.93	6.78	7.4	7.3
6/2/2566	7.21	7.16	7.2	7.4	5/3/2566	7.44	7.34	7.0	6.9
7/2/2566	7.01	6.94	7.1	7.6	6/3/2566	7.16	7.07	7.5	7.8
8/2/2566	6.93	7.00	6.9	7.1	7/3/2566	6.92	7.05	7.1	7.6
9/2/2566	7.39	7.27	6.4	7.3	8/3/2566	7.07	6.85	N/A	N/A
10/2/2566	6.82	7.00	N/A	N/A	9/3/2566	6.95	7.11	7.3	7.2

ตาราง ข. 3 พีเอช (pH) และออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ในระบบ (ต่อ)

วันที่	pH ₁	pH ₂	DO ₁	DO ₂	วันที่	pH ₁	pH ₂	DO ₁	DO ₂
10/3/2566	7.34	7.01	7.4	7.1	6/4/2566	7.20	7.09	7.1	7.6
11/3/2566	7.04	7.06	6.9	6.9	7/4/2566	7.27	7.12	N/A	N/A
12/3/2566	7.42	7.10	7.0	7.3	8/4/2566	7.21	7.00	7.0	7.0
13/3/2566	7.30	7.16	N/A	N/A	9/4/2566	7.20	6.99	7.1	7.2
14/3/2566	7.17	7.07	7.3	7.1	10/4/2566	7.45	7.21	6.9	7.0
15/3/2566	7.07	6.98	7.4	7.1	11/4/2566	7.41	7.29	7.0	7.0
16/3/2566	7.00	6.92	7.5	7.5	13/4/2566	N/A	N/A	N/A	N/A
17/3/2566	N/A	N/A	N/A	N/A	14/4/2566	7.33	7.13	7.4	7.2
18/3/2566	7.31	7.29	7.0	7.2	15/4/2566	7.31	7.27	7.1	7.1
19/3/2566	7.31	7.53	7.3	7.5	16/4/2566	7.39	7.25	6.9	7.3
20/3/2566	7.21	7.24	7.1	7.2	17/4/2566	7.26	7.27	7.3	7.2
21/3/2566	7.35	7.54	6.9	7.0	18/4/2566	7.25	7.10	7.1	7.0
22/3/2566	N/A	N/A	N/A	N/A	19/4/2566	7.30	7.21	6.6	7.2
23/3/2566	7.26	6.81	N/A	N/A	20/4/2566	7.33	7.22	6.5	7.1
24/3/2566	7.44	7.15	6.9	7.4	21/4/2566	7.38	7.24	7.0	7.1
25/3/2566	7.32	7.53	7.1	7.2	22/4/2566	7.40	6.97	N/A	N/A
26/3/2566	7.36	7.27	7.1	7.1	23/4/2566	7.32	7.00	N/A	N/A
27/3/2566	7.26	7.32	N/A	N/A	24/4/2566	7.35	7.12	6.7	7.0
28/3/2566	7.28	7.34	7.5	7.3	25/4/2566	7.40	6.83	6.8	7.1
29/3/2566	7.24	7.20	7.6	7.0	26/4/2566	7.40	6.95	6.9	7.5
30/3/2566	7.42	7.11	7.8	7.4	27/4/2566	7.37	6.89	6.8	7.3
31/3/2566	7.42	7.07	7.2	7.9	28/4/2566	7.45	7.20	7.0	7.8
1/4/2566	7.12	7.31	7.1	7.2	29/4/2566	7.34	7.15	N/A	N/A
2/4/2566	7.33	7.12	6.8	6.7	30/4/2566	7.41	7.09	7.0	7.4
3/4/2566	7.22	7.21	7.3	7.1	1/5/2566	7.22	7.11	7.0	6.9
4/4/2566	6.60	6.99	N/A	N/A	2/5/2566	7.34	7.04	6.9	7.5
5/4/2566	7.24	7.01	6.9	6.9	3/5/2566	7.45	7.04	6.9	7.4

ตาราง ข. 3 พีเอช (pH) และออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ในระบบ (ต่อ)

วันที่	pH ₁	pH ₂	DO ₁	DO ₂	วันที่	pH ₁	pH ₂	DO ₁	DO ₂
4/5/2566	7.30	7.12	N/A	N/A	31/5/2566	N/A	7.04	N/A	7.0
5/5/2566	7.42	7.00	7.1	8.0	1/6/2566	N/A	7.00	N/A	7.1
6/5/2566	7.33	7.00	7.0	7.5	2/6/2566	N/A	7.02	N/A	7.5
7/5/2566	7.54	7.16	6.9	7.1	3/6/2566	N/A	7.00	N/A	7.2
8/5/2566	7.38	7.04	6.8	7.3	4/6/2566	N/A	7.15	N/A	6.9
9/5/2566	7.25	7.20	7.0	7.0	5/6/2566	N/A	6.99	N/A	7.0
10/5/2566	N/A	N/A	N/A	N/A	6/6/2566	N/A	7.12	N/A	7.1
11/5/2566	7.32	7.15	7.1	6.9	7/6/2566	N/A	7.01	N/A	N/A
12/5/2566	7.28	7.08	7.0	7.1					
13/5/2566	7.41	7.05	7.6	7.2					
14/5/2566	7.29	7.10	N/A	N/A					
15/5/2566	7.23	6.77	7.2	7.5					
16/5/2566	7.34	7.07	7.5	7.6					
17/5/2566	7.30	7.00	7.2	7.2					
18/5/2566	7.29	6.92	N/A	N/A					
19/5/2566	7.33	7.03	7.0	7.1					
20/5/2566	7.44	7.01	7.5	7.0					
21/5/2566	7.37	7.10	7.8	6.9					
22/5/2566	7.30	7.07	N/A	N/A					
23/5/2566	7.45	7.09	N/A	N/A					
24/5/2566	7.51	6.94	6.9	7.2					
25/5/2566	7.32	7.14	7.0	7.1					
26/5/2566	N/A	7.17	N/A	7.1					
27/5/2566	N/A	7.00	N/A	7.4					
28/5/2566	N/A	6.98	N/A	7.2					
29/5/2566	N/A	7.13	N/A	7.3					
30/5/2566	N/A	7.00	N/A	7.1					

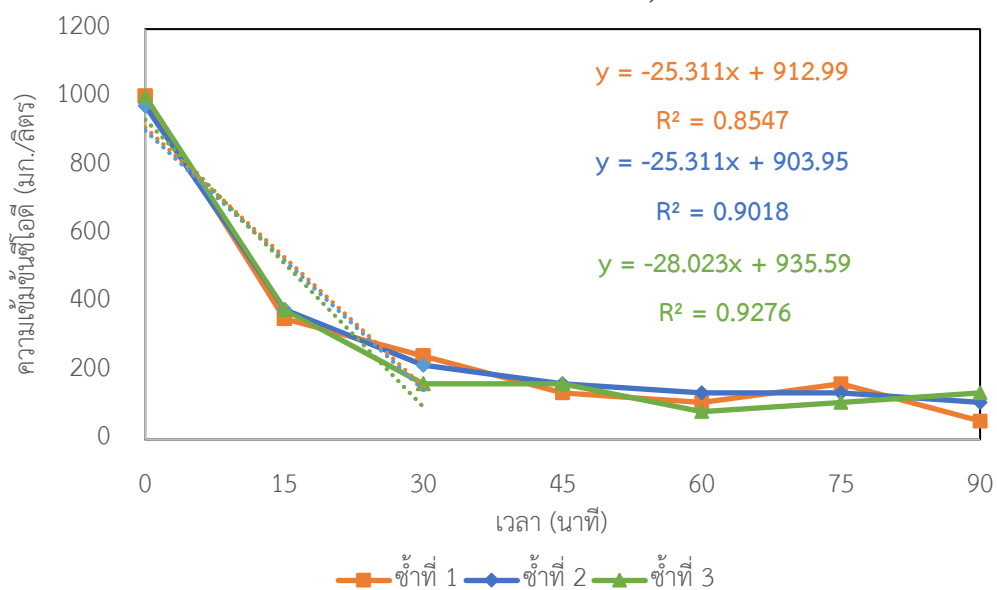
ข. 4 ผลการทดลองค่าจลนพลศาสตร์ที่ความเข้มข้นซีโอดีที่แตกต่างกัน

ตาราง ข.4.1 อัตราการบำบัดซีโอดีที่ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

ระยะเวลาในการบำบัด (นาที)	ความเข้มข้นซีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
0	1003	976	1003
15	353	380	380
30	244	217	163
45	136	163	163
60	108	136	81
75	163	136	106
90	54	108	136

ตะกอนแขวนลอยระเหยง่าย (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3
2,808	3,138	3,172

อัตราการบำบัดซีโอดีที่ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

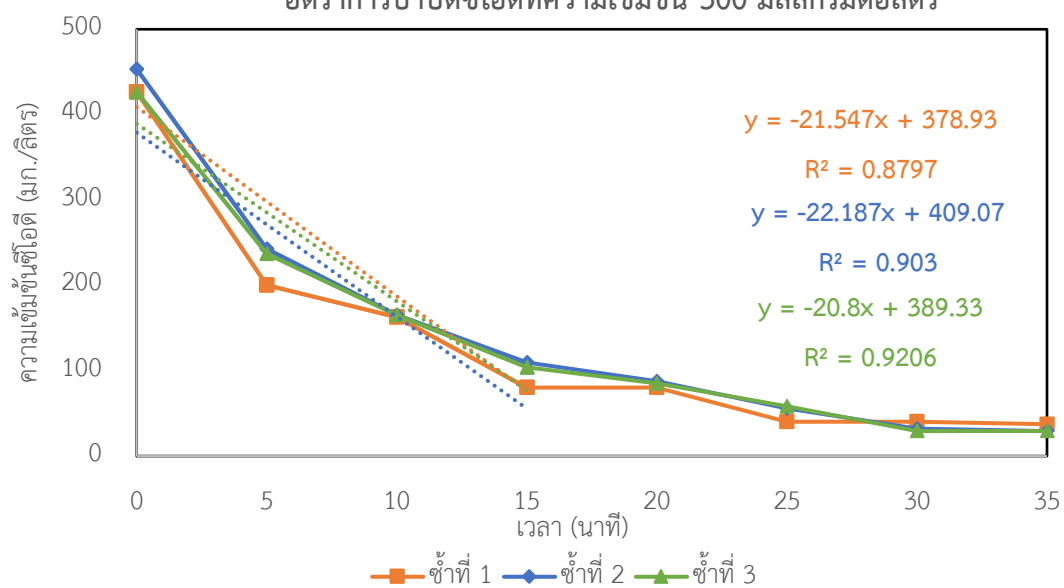


ตาราง ข.4.2 อัตราการบำบัดซีโอดีที่ 500 มิลลิกรัมต่อลิตร

ระยะเวลาในการบำบัด (นาที)	ความเข้มข้นซีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
0	427	453	427
5	200	243	237
10	163	165	165
15	80	109	104
20	80	88	85
25	40	56	59
30	40	32	29
35	37	29	29

ตะกอนแขวนลอยระเหยง่าย (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3
2,548	2,444	2,566

อัตราการบำบัดซีโอดีที่ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัมต่อลิตร

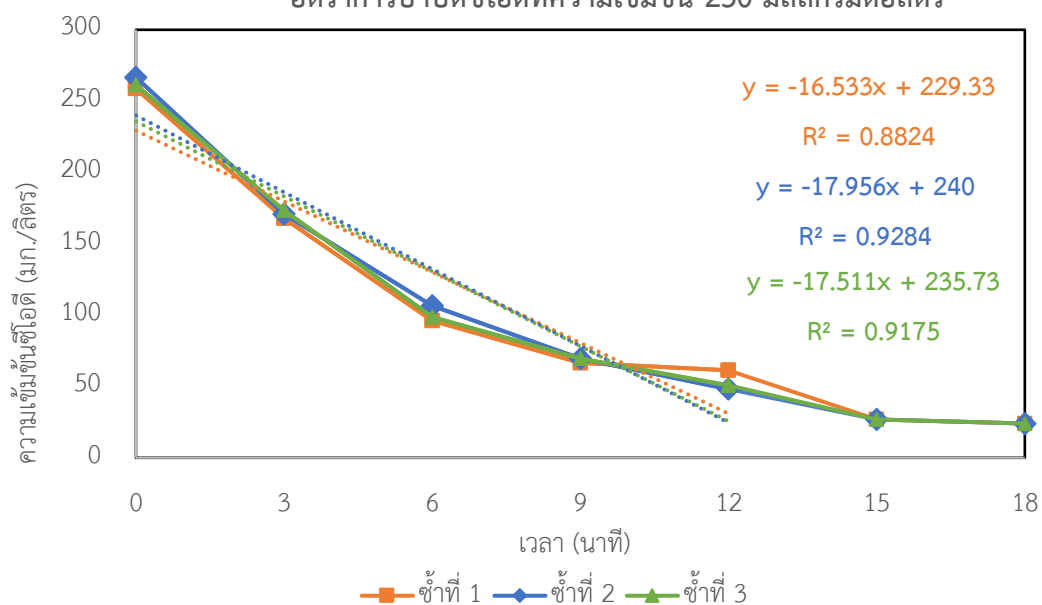


ตาราง ข.4.3 อัตราการบำบัดซีโอดีที่ 250 มิลลิกรัมต่อลิตร

ระยะเวลาในการบำบัด (นาทึ)	ความเข้มข้นซีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
0	259	267	261
3	168	171	173
6	96	107	99
9	67	69	69
12	61	48	51
15	27	27	27
18	24	24	24

ตะกอนแขวนลอยระเหยง่าย (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3
2,271	2,262	2,280

อัตราการบำบัดซีโอดีที่ความเข้มข้น 250 มิลลิกรัมต่อลิตร

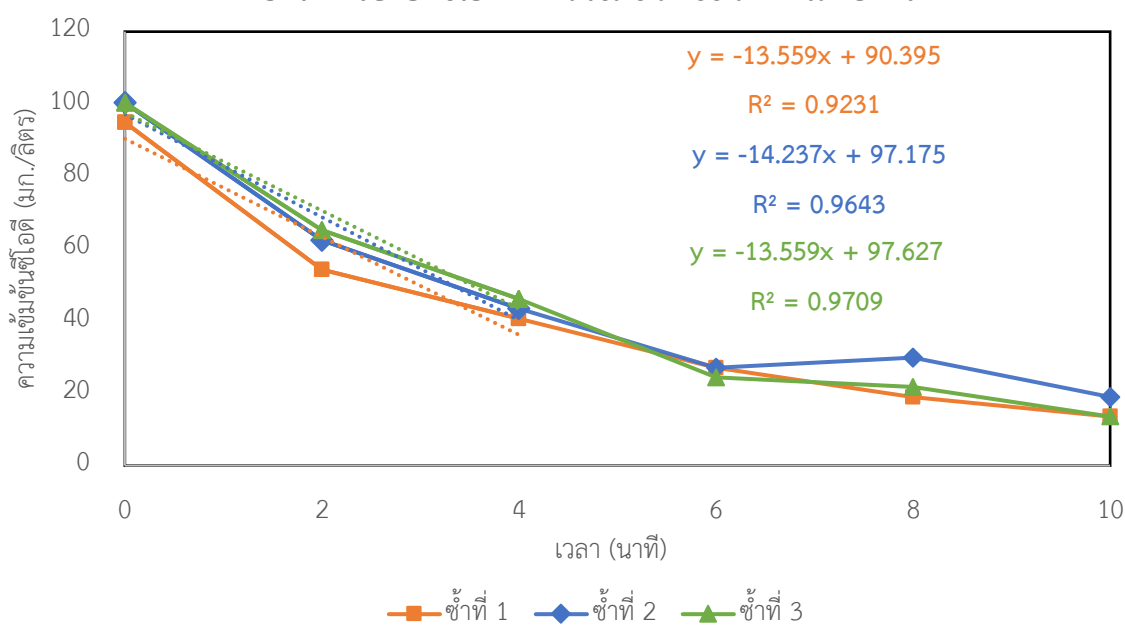


ตาราง ข.4.4 อัตราการบำบัดซีโอดีที่ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

ระยะเวลาในการบำบัด (นาที)	ความเข้มข้นซีโอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
0	95	100	100
2	54	62	65
4	41	43	46
6	27	27	24
8	19	30	22
10	14	19	14

ตะกอนแขวนลอยระเหยง่าย (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3
2,722	2,800	2,652

อัตราการบำบัดซีโอดีที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

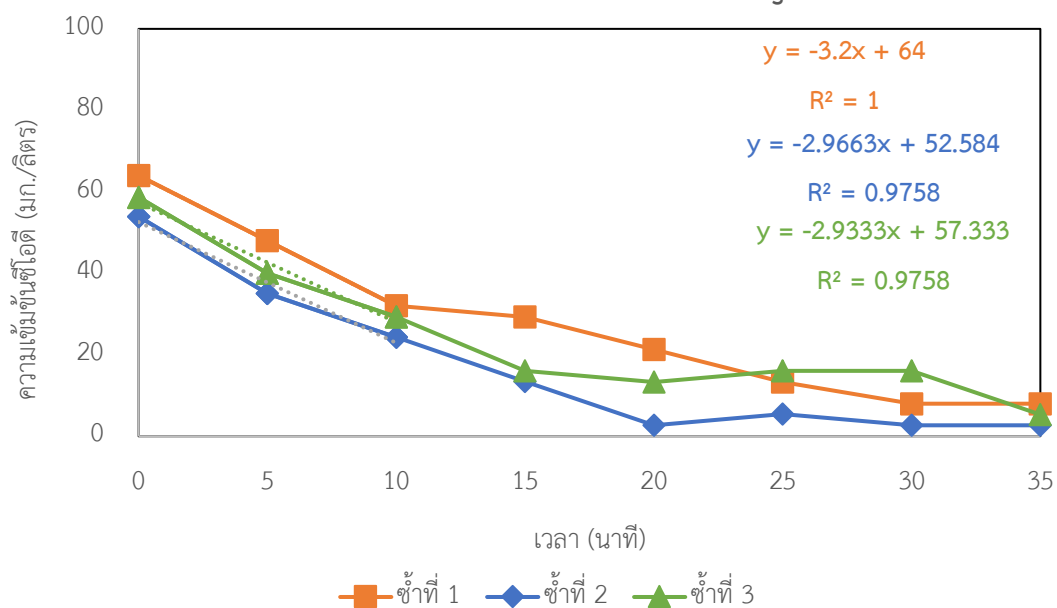


ตาราง ข.4.5 อัตราการบำบัดซีไอดีที่ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร

ระยะเวลาในการบำบัด (นาที)	ความเข้มข้นซีไอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
0	64	54	59
5	48	35	40
10	32	24	29
15	29	13	16
20	21	3	13
25	13	5	16
30	8	3	16
35	8	3	5

ตะกอนแขวนลอยระเหยง่าย (มิลลิกรัมต่อลิตร)		
ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3
1,387	1,387	1,387

อัตราการบำบัด COD ที่ความเข้มข้น 50 mg/l



ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	วีร์สุดา รับสิริ
วัน เดือน ปี เกิด	7 ธันวาคม 2540
สถานที่เกิด	ปทุมธานี
วุฒิการศึกษา	สำเร็จการศึกษาจากคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ปีการศึกษา 2562
ที่อยู่ปัจจุบัน	55/5 หมู่ 3 ตำบล บางเดื่อ อำเภอบึงเมือง จังหวัด ปทุมธานี 12000



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY