

การสร้างและประสิทธิภาพของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจน



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2562

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

AEROBIC GRANULAR SLUDGE FORMATION AND TREATMENT EFFICIENCY



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 2019

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสร้างและประสิทธิภาพของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้ ออกซิเจน
โดย	น.ส.อริยะ กาญจนโกมุท
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรัณย์ เตชะเสน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

.....	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)	
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	
.....	ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริมา ปัญญาเมธีกุล)	
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรัณย์ เตชะเสน)	
.....	กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ลักษณ์ พิ๊งรัมย์)	
.....	กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สาโรช บุญยกิจสมบัติ)	

อริยะ กาญจนโกมุท : การสร้างและประสิทธิภาพของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจน. (AEROBIC GRANULAR SLUDGE FORMATION AND TREATMENT EFFICIENCY) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ผศ. ดร.ศรัณย์ เตชะเสน

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการสร้างเม็ดตะกอนโดยใช้เวลาดกตะกอนที่แตกต่างกัน โดยใช้ถังปฏิกริยาแบบที่ละเท การทำงานของระบบเป็นรอบการบำบัด ซึ่งประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือการเติมน้ำเสียสังเคราะห์จากซูโครสความเข้มข้นซีไอดี ในถังปฏิกริยา 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณแอมโมเนียมคลอไรด์ 380 มิลลิกรัมต่อลิตร การเติมอากาศโดยควบคุมความเร็ว การเติมอากาศ 3.5 เซนติเมตรต่อวินาที การตกตะกอน และการทิ้งน้ำโดยใช้สัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย 50% โดยไม่มีการทิ้งตะกอนและเปลี่ยนแปลงเวลาดกตะกอน 60 30 15 5 และ 2 นาที ผลการทดลองค่า MLSS เฉลี่ยที่ 30,200 31,600 26,750 15,733 และ 9,770 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ค่า SVI คงที่อยู่ในช่วง 13.2-19.5 มิลลิตรต่อกรัม มีอัตราการบำบัดซีไอดีจำเพาะคงที่ 6.29-10.81 มิลลิกรัมซีไอดีต่อมิลลิกรัม MLSS ต่อวัน ขนาดเม็ดตะกอนในระบบที่เริ่มต้นใช้เวลาดกตะกอน 60 นาที พบเม็ดตะกอนขนาดเล็กเป็นส่วนมาก ซึ่งเม็ดตะกอนดังกล่าวมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางน้อยกว่า 1 มิลลิเมตร และเมื่อลดเวลาดกตะกอนลงเหลือ 30 15 5 และ 2 นาที เม็ดตะกอนมีขนาดใหญ่ขึ้น และเม็ดตะกอนขนาดใหญ่ที่สุดในระบบมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร โดยมีความหนาแน่นของตะกอนจุลินทรีย์อยู่ในช่วง 1.025-1.342 g/mL ต่อมาการทดลองส่วนที่ 2 เลือกใช้เวลาดกตะกอน 15 นาที และเปลี่ยนแปลงสัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย 50% 60% 70% 80% และ 90% ผลการทดลองค่า MLSS เฉลี่ยที่ 17,240, 18,590, 10,207, 7,293 และ 4,030 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ค่า SVI คงที่อยู่ในช่วง 19.5-27.0 มิลลิตรต่อกรัม มีอัตราการบำบัดซีไอดีจำเพาะคงที่ 6.29-10.39 มิลลิกรัมซีไอดีต่อมิลลิกรัม MLSS ต่อวัน ขนาดเม็ดตะกอนในระบบที่สัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย พบเม็ดตะกอนขนาดเล็กเป็นส่วนมาก เมื่อเพิ่มสัดส่วนการทดแทนน้ำเสียพบว่าเม็ดตะกอนมีขนาดใหญ่ขึ้น และเม็ดตะกอนขนาดใหญ่ที่สุดในระบบมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร โดยมีความหนาแน่นของตะกอนจุลินทรีย์อยู่ในช่วง 1.086-1.197g/mL

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ลายมือชื่อนิสิต

ปีการศึกษา 2562

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

6070376121 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORD: Aerobic granular sludge, Sequencing batch reactor, Settling time,
Volumetric exchange ratio

Ariya Kanjanagomut : AEROBIC GRANULAR SLUDGE FORMATION AND
TREATMENT EFFICIENCY. Advisor: Asst. Prof. SARUN TEJASEN, Ph.D.

This study investigated the formation of aerobic granular sludge by using sequencing batch reactor (SBR) operating under 2000 mg/l COD glucose concentration, 2 cycles per day, 4 hours aeration with 3.5 cm/s air velocity, and 50% volumetric exchange ratio (VER). During 170 days of operation. Results showed granular sludge was successfully formed within a month. At the beginning seed sludge were floc and fluffy having concentration of MLSS and SVI of 3,000 mg/l and 296 ml/g, respectively. When decreased settling time to 60, 30, 15, 5, and 2 minutes, MLSS in reactor were increased to 6,500, 31,600, 26,750, 15,733, and 9,770 mg/l, SVI was 13.2-19.5 ml/g. COD specific rate was 6.29-10.81 mg-MLSS/mg-COD day. Size of aerobic granules of 60 minutes settling time was size around 1 mm. Reducing settling time to 30, 15, 5, and 2 minutes resulted in larger sizes and the biggest size was 5 mm. The biomass density of sludge at various settling time was around 1.025-1.342 g/ml. Then, 15 minutes of settling time was used to varied VER from 50%, 60%, 70%, 80%, and 90%, MLSS in reactor were increased to 17,240, 18,590, 10,207, 7,293, and 4,030 mg/l, SVI was 19.5-27.0 ml/g. COD specific rate was 6.29-10.39 mg-MLSS/mg-COD day. The size of aerobic granules of 50% VER was small size around 1 mm. The biomass density of sludge at various VER was around 1.086-1.197 g/ml.

Field of Study: Environmental Engineering Student's Signature

Academic Year: 2019

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ศรัณย์ เตชะเสน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งให้ความรู้ คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย ตลอดจนให้การสนับสนุนและช่วยเหลือในด้านต่างๆ

ขอขอบพระคุณ ดร.กิตติคุณ ตรุยานนท์ กรรมการนอกที่ดีที่สุดในชีวิตของผู้วิจัย

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่กรุณาให้คำแนะนำรวมทั้งตรวจทาน วิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์

ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ได้มอบความรู้ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อตัวผู้วิจัยและทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้

ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ในการติดตั้งอุปกรณ์ เดินระบบ และทำวิจัย

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณเพื่อน ๆ นิสิตปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้คำแนะนำ ให้บทเรียนที่ยิ่งใหญ่ และให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ ด้วยดีตลอดมา

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ครอบครัว ที่สนับสนุนการศึกษา อดทนรอ และเป็นกำลังใจที่สำคัญอย่างยิ่งยวดทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

อริยะ กาญจนโกมุท

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 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 เม็ดตะกอนจุลินทรีย์.....	4
2.1.1 เม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน.....	4
2.1.2 เม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจน.....	7
2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจน.....	8
2.2.1 สารอินทรีย์ในน้ำเสีย (Organic matter).....	8

2.2.2 ธาตุอาหาร (Nutrient)	9
2.2.3 อัตราการไหลของน้ำเสีย (Flow rate)	9
2.2.4 ค่าพีเอช (pH)	9
2.2.5 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved oxygen, DO).....	10
2.2.6 อุณหภูมิ (Temperature)	11
2.2.7 ระยะเวลาการบำบัด (Detention Time).....	12
2.2.8 สารพิษ (Toxic).....	12
2.2.9 การกวน (Mixing).....	12
2.3 ปัจจัยหลักที่มีผลต่อการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนในระบบบำบัดแอสปีอาร์ 13	
2.3.1 ความเข้มข้นน้ำเสีย	13
2.3.2 รอบการบำบัด (Cycle time).....	14
2.3.3 ความเร็วอากาศ (Superficial air velocity)	15
2.3.4 เวลาตกตะกอน (Settling time).....	16
2.3.5 สัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย (Volumetric exchange ratio).....	17
2.4 ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	18
2.4.1 สรุปองค์ความรู้ที่ได้จากการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	25
บทที่ 3 แผนการทดลองและการดำเนินงานวิจัย.....	31
3.1 แผนการทดลอง	31
3.2 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย.....	32
3.2.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์น้ำเสีย	32
3.2.2 น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลอง	34
3.2.3 หัวเชื้อจุลินทรีย์	35
3.2.4 ถังปฏิกรณ์	36
3.3 การดำเนินงานวิจัย.....	38

3.3.1 การศึกษาผลของเวลาตกตะกอนต่อการสร้างเม็ดตะกอน.....	38
3.3.2 การศึกษาผลของสัดส่วนทดแทนน้ำที่เวลาตกตะกอนที่เหมาะสมต่อการสร้างเม็ด ตะกอน.....	39
3.3.3 การศึกษาลักษณะและคุณสมบัติของเม็ดตะกอน	40
3.3.4 พารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัดและวิธีวิเคราะห์.....	43
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล.....	44
4.1 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลาตกตะกอนต่อการสร้างเม็ดตะกอน.....	44
4.1.1 การวิเคราะห์ทางกายภาพและทางเคมีของตะกอน	44
4.1.2 ลักษณะและคุณสมบัติของเม็ดตะกอน.....	49
4.2 ผลการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนการทดแทนน้ำเสียต่อการสร้างเม็ดตะกอนที่เวลาตกตะกอน 15 นาที่.....	53
4.2.1 การวิเคราะห์ทางกายภาพและทางเคมีของตะกอน	53
4.2.2 ลักษณะและคุณสมบัติของเม็ดตะกอน.....	57
4.3 ลักษณะพื้นผิวตะกอน.....	61
4.3.1 ลักษณะพื้นผิวตะกอนหัวเชื้อเริ่มระบบ (Seed).....	61
4.3.2 ลักษณะพื้นผิวเม็ดตะกอน (Aerobic granules).....	61
4.4 สรุปกลไกการเกิดเม็ดตะกอน.....	63
การเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนโดยอาศัยกระบวนการบำบัดแบบแอสปีอาร์ ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน คือ.....	63
1. การเติมน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้น้ำตาลทราย ความเข้มข้นเริ่มต้นภายในถังปฏิกรณ์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ในการทดลองนี้น้ำเสียสังเคราะห์มีความเข้มข้นสูงเมื่อเทียบกับระบบแอส ทั่วไป (Zheng, 2006) โดยความเข้มข้นของน้ำเสียที่ใช้ส่งผลต่อการเกิดเม็ดตะกอนเนื่องจาก จุลินทรีย์สามารถใช้เป็นอาหาร ย่อยสลายได้ง่าย ทำให้เจริญเติบโตได้ดี สอดคล้องกับค่า MLSS ที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการทดลองส่วนที่ 1 ที่ใช้เวลาตกตะกอน 60 นาที จากความเข้มข้นตะกอนเริ่มต้น 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น 31,600 มิลลิกรัมต่อลิตร ภายใน ระยะเวลา 71 วัน.....	63

2. การเติมอากาศด้วยความเร็วอากาศ 3.5 เซนติเมตรต่อวินาที แรงเฉือนจากการเติมอากาศจะ
ช่วยกระตุ้นให้จุลินทรีย์สร้างสารอีพีเอส ทำให้ตะกอนจับกันแน่นจนกลายเป็นเม็ดตะกอน
(Tay และคณะ, 2001 และ franca, 2018) เม็ดตะกอนจากการทดลองมีขนาดที่แตกต่างกัน
ทั้งเม็ดเล็กและใหญ่ (เม็ดตะกอนที่มีมิติ มีทรงกลม ขนาดเล็กกว่า 1 เซนติเมตรไปจนถึงขนาด
5 เซนติเมตร)..... 63

3. การตกตะกอน เป็นการคัดตะกอนเบาออกจากระบบพร้อมน้ำทิ้งและเหลือตะกอนที่มีสมบัติการ
ตกตะกอนที่ดีในระบบ จากค่า SVI ที่ลดลงจากตอนเริ่มระบบ 296 มิลลิลิตรต่อกรัม เหลือ
เพียง 13.23 มิลลิลิตรต่อกรัม เมื่อเวลาผ่านไป 14 วัน และเมื่อเริ่มการบำบัดรอบใหม่ แรง
เฉือนจากการเติมอากาศจะทำให้ตะกอนเม็ดเล็กมีขนาดใหญ่ขึ้น และการคัดตะกอนจาก
ชั้นตอนนี้อาศัยการลดลงของเวลาตกตะกอนจาก 60 นาที เหลือ 30 15 5 และ 2 นาที
ตามลำดับ (Qin และคณะ, 2004)..... 63

4. การทิ้งน้ำ เป็นการคัดตะกอนเบาออกจากระบบพร้อมน้ำทิ้งโดยเพิ่มสัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย
จาก 50% เป็น 60 70 80 และ 90% ซึ่งสัมพันธ์กับระดับท่อน้ำทิ้งที่ลดต่ำลง (Wang และ
คณะ, 2006) ดังนั้นการสูญเสียตะกอนไปกับน้ำทิ้งจึงเป็นการจำกัดปริมาณตะกอนในถังจาก
ระดับท่อน้ำทิ้ง ทำให้เม็ดตะกอนที่ตกตะกอนได้ดีและยังอยู่ในระบบมีโอกาสมีขนาดใหญ่ขึ้น
จากแรงเฉือนในขั้นตอนการเติมอากาศในรอบบำบัดถัดไป..... 63

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 64

5.1 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลาตกตะกอนต่อการสร้างเม็ดตะกอน..... 64

5.1.1 การวิเคราะห์ทางกายภาพและทางเคมีของตะกอน..... 64

5.1.2 ลักษณะทางกายภาพของเม็ดตะกอน..... 65

5.2 ผลการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนการทดแทนน้ำเสียต่อการสร้างเม็ดตะกอนที่เวลาตกตะกอน 15
นาที..... 66

5.2.1 การวิเคราะห์ทางกายภาพและทางเคมีของตะกอน..... 66

5.2.2 ลักษณะทางกายภาพของเม็ดตะกอน..... 67

5.3 ลักษณะพื้นผิวตะกอน..... 68

5.4 คำแนะนำของการนำไปใช้จริง..... 68

สำหรับการนำไปใช้จริงกับระบบบำบัดขนาดใหญ่ที่เป็นแบบแผนเดียวกันกับการทดลองนี้..... 68

การเติมอากาศ.....	68
ควบคุมการเติมอากาศที่ความเร็วมากกว่า 3.5 เซนติเมตร เพื่อให้ตะกอนรวมเป็นเม็ด.....	68
เวลาดกตะกอน.....	68
ระบบบำบัดควรใช้เวลาตกตะกอน 15 นาที และดูปริมาณตะกอนในถังปฏิกรณ์หลังตกตะกอน ควบคุม เพื่อสะสมตะกอนในระบบให้ได้ปริมาณมากอาจมีการปรับเปลี่ยนเวลาดกตะกอน ข้อดีจากการใช้เวลาตกตะกอนสั้นจะช่วยให้รอบการบำบัดของระบบรวดเร็วมากขึ้น ส่งผลให้ระบบสามารถทำงานได้หลายรอบการบำบัดต่อวัน คือสามารถรับปริมาณน้ำเสียต่อวันได้มากขึ้น . 68	
<u>สัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย (VER).....</u>	68
เลือกใช้สัดส่วนการทดแทนน้ำเสียที่ VER 60% และดูปริมาณตะกอนในถังปฏิกรณ์หลังตกตะกอน ควบคุม ที่ระดับ VER 60% สัมพันธ์กับระดับท่อน้ำทิ้งที่อยู่ช่วงกลางถึง (สูง 40 เซนติเมตรจากพื้นถังปฏิกรณ์) ระดับท่อน้ำทิ้งต่ำเกินไป (เนื่องจาก VER 90% สูงจากพื้นถังปฏิกรณ์เพียง 10 เซนติเมตร) จึงรักษาตะกอนในระบบได้ มีปริมาณตะกอนในระบบสูง (MLSS เฉลี่ย 18,590 มิลลิกรัมต่อลิตร) และเป็นระดับที่สามารถคัดตะกอนเบาไปพร้อมทั้งได้ในปริมาณที่เหมาะสม	68
5.4 ข้อเสนอแนะของงานวิจัยต่อไป	69
5.4.1 ปัจจัยสำคัญในการเกิดเม็ดตะกอน	69
จากงานวิจัยต่าง ๆ ก่อนหน้านี้พบว่า ปัจจัยสำคัญในการเกิดเม็ดตะกอน คือ เวลาดกตะกอน สัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย (VER) ความเข้มข้นน้ำเสีย และการเติมอากาศ ดังนั้นความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในระบบและความเร็วในการเติมอากาศที่มีผลต่อการสร้างเม็ดตะกอนจึงเป็นอีกความน่าสนใจ ที่ใช้ในการหาข้อสรุปและกลไกของการเกิดเม็ดตะกอนที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้น เนื่องจากปัญหาเกิดตะกอนเส้นใยปนกับเม็ดตะกอนในการทดลองส่วนที่ 1 ขั้นตอนที่ใช้เวลาดกตะกอน 5 และ 2 นาที และการทดลองส่วนที่ 2 ขั้นตอนที่ใช้ VER 80 และ 90%.....	69
5.4.2 ถังปฏิกรณ์เอสปีอาร์และอุปกรณ์ประกอบ	69
ในงานวิจัยนี้ใช้ตู้ควบคุมไฟฟ้าในการควบคุมในแต่ละขั้นตอนของการบำบัด เพื่อให้ระบบดำเนินไปอย่างต่อเนื่องและเป็นแบบอัตโนมัติ แต่เนื่องจากเกิดปัญหาในขั้นตอนการปล่อยน้ำทิ้ง คือ โซลินอยด์วาล์ว (Soleniod valve) มีตะกอนแข็งอุดตัน ซึ่งโซลินอยด์วาล์วเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมการปล่อยน้ำทิ้ง มีตำแหน่งติดตั้งบริเวณท่อทิ้งน้ำซึ่งอยู่ด้านล่างของถังปฏิกรณ์	

กล่าวคือในการเริ่มเดินระบบครั้งแรกนั้นสามารถใช้งานโซลินอยด์วาล์วได้ดี ไม่มีปัญหาใด ๆ และระบบบำบัดเป็นแบบ อัตโนมัติทั้งระบบ เมื่อเวลาผ่านไปในรอบการบำบัดที่ 3-4 เกิด ปัญหาตะกอนบางส่วนที่มาพร้อมน้ำทิ้ง ค้างและอุดตันอยู่ในโซลินอยด์วาล์ว ทำให้ ปริมาณน้ำที่ทิ้งออกจากถังไม่สัมพันธ์กับปริมาตร น้ำเสียสังเคราะห์ใหม่ที่เติมเข้าระบบและ ล้นออกทางด้านบนถึงปฏิกริยา จึงสูญเสียตะกอนและ เม็ดตะกอนไปพร้อมน้ำทิ้งโดยไม่ทราบ ปริมาณ..... 69

ภาคผนวก ก รายการคำนวณ 71

ภาคผนวก ข ผลการทดลอง 73

บรรณานุกรม..... 87

ประวัติผู้เขียน 96



สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของระบบแอนแอโรบิกฟลูอิดไดซ์เบด	6
ตารางที่ 2.2 คุณลักษณะของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่สร้างจากน้ำเสียความเข้มข้นซีโอดีแตกต่างกัน .	13
ตารางที่ 2.3 สรุปองค์ความรู้ที่ได้จากการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	27
ตารางที่ 3.1 สารอาหารจำเป็นที่เป็นส่วนประกอบของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลอง	34
ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัดและวิธีวิเคราะห์ในการทดลองส่วนที่ 1 และ 2.....	43



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ระบบบำบัดยูเอเอสบี	4
รูปที่ 2.2 ระบบแอนแอโรบิกฟลูอิดไดซ์เบด.....	5
รูปที่ 2.3 ระบบเอสปีอาร์	8
รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะตะกอนและพื้นผิวตะกอนจากการส่อง SEM ที่ pH 3 (A) และ pH 8 (B) ...	10
รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะตะกอนจุลินทรีย์เมื่อค่า DO ต่ำว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร (ซ้าย) และ (ขวา) เมื่อควบคุมค่า DO ให้อยู่ในช่วง 8-8.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (Sturm, 2008)	11
รูปที่ 2.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการบำบัดซีโอดีกับเวลาที่อุณหภูมิแตกต่างกันที่ 35 40 และ 45 องศาเซลเซียสของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจน (Gobi, 2014).....	12
รูปที่ 2.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นจุลินทรีย์ในระบบบำบัด กับระยะเวลาเดินระบบบำบัด (Liu และ Tay, 2008).....	15
รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะตะกอนจุลินทรีย์เมื่อใช้ความเร็วอากาศที่แตกต่างกัน (Tay, 2001).....	16
รูปที่ 2.9 แสดงลักษณะตะกอนจุลินทรีย์เมื่อใช้เวลาดกตะกอนที่แตกต่างกัน (Qin, 2004)	17
รูปที่ 2.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนเม็ดตะกอนจุลินทรีย์และเวลาดกตะกอน (Qin, 2004).....	17
รูปที่ 2.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเม็ดตะกอนกับสัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย	18
รูปที่ 2.12 แสดงระดับท่อน้ำทิ้งที่แตกต่างกันในแต่ละสัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย (Wang, 2006)....	18
รูปที่ 3.1 แผนการทดลอง.....	32
รูปที่ 3.2 ถังเอสปีอาร์ (Sequencing Batch Reactor).....	36
รูปที่ 4.1 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (MLSS) ที่เวลาตะกอนต่าง ๆ	45
รูปที่ 4.2 ค่าดัชนีปริมาตรตะกอน (SVI) ที่เวลาดกตะกอนต่าง ๆ	46
รูปที่ 4.3 ค่าดัชนีปริมาตรตะกอน (SVI) แบบขยาย ตั้งแต่วันที่ 6 ของการเดินระบบ	46
รูปที่ 4.4 ค่าซีโอดีน้ำเข้าและน้ำออก ตั้งแต่วันที่ 10 ของการเดินระบบ	47

รูปที่ 4.5 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี ตั้งแต่วันที่ 10 ของการเดินระบบ	47
รูปที่ 4.6 อัตราการบำบัดซีโอดีจำเพาะที่เวลาตกตะกอนต่าง ๆ	48
รูปที่ 4.7 การกระจายตัวของขนาดเม็ดตะกอนที่เวลาตกตะกอนต่าง ๆ	49
รูปที่ 4.8 ความหนาแน่นของตะกอนที่เวลาตกตะกอนต่าง ๆ	50
รูปที่ 4.9 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (MLSS) ที่สัดส่วนการทดแทนน้ำเสียต่าง ๆ	54
รูปที่ 4.10 ค่าดัชนีปริมาตรตะกอน (SVI) ที่สัดส่วนการทดแทนน้ำเสียต่าง ๆ	54
รูปที่ 4.11 ค่าดัชนีปริมาตรตะกอน (SVI) แบบขยาย ตั้งแต่วันที่ 119 ของการเดินระบบ	54
รูปที่ 4.12 ค่าซีโอดีน้ำเข้าและน้ำออก ตั้งแต่วันที่ 119 ของการเดินระบบ	55
รูปที่ 4.13 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี ตั้งแต่วันที่ 119 ของการเดินระบบ	55
รูปที่ 4.14 อัตราการบำบัดซีโอดีจำเพาะที่สัดส่วนการทดแทนน้ำเสียต่าง ๆ	56
รูปที่ 4.15 การกระจายตัวของขนาดเม็ดตะกอนที่สัดส่วนการทดแทนน้ำเสียต่าง ๆ	57
รูปที่ 4.16 ความหนาแน่นของตะกอนที่สัดส่วนการทดแทนน้ำเสียต่าง ๆ	58

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ชื่อวิทยานิพนธ์

ภาษาไทย : การสร้างและประสิทธิภาพของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจน

ภาษาอังกฤษ : Aerobic Granular Sludge Formation and Treatment Efficiency

1.2 คำสำคัญ

เม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจน (Aerobic granular sludge)

ระบบเอสปีอาร์ (Sequencing batch reactor)

เวลาดกตะกอน (Settling time)

สัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย (Volumetric exchange ratio)

1.3 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ระบบบำบัดที่จำแนกตามการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์สามารถแบ่งได้เป็นระบบบำบัดแบบฟิล์มตรึง (Biofilm system หรือ Fixed film system) เช่น ระบบโปรยกรอง (Trickling filter) และระบบบำบัดแบบแขวนลอย (Suspended growth system) เช่น ระบบเอเอส (Activated sludge) ระบบเอเอสเป็นระบบที่นิยมใช้มากเนื่องจากบำบัดได้ทั้งน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม จนทำให้มีการพัฒนาระบบเอเอสรูปแบบต่าง ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียและเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ในระบบเช่น ระบบแบบกวนสมบูรณ์ (Completely mixed) กระบวนการปรับเสถียรสัมผัส (Contact stabilization process) ระบบคลองวนเวียน (Oxidation ditch) หรือระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสปีอาร์ (Sequencing batch reactor) เป็นต้น ระบบเอเอสต่าง ๆ เหล่านี้มีความเข้มข้นจุลินทรีย์ในระบบ 1,500-3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งความเข้มข้นจุลินทรีย์นี้ถือว่าต่ำ ถ้าเปรียบเทียบกับระบบเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนที่มีความเข้มข้นจุลินทรีย์มากถึง 20,000-100,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นถ้าหากสามารถสร้างตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจน ให้เป็นเม็ดตะกอนที่มีความเข้มข้นสูงๆจะทำให้การบำบัดมีประสิทธิภาพสูงขึ้นและลดขนาดถังเดิมอากาศลงได้

การสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์เริ่มมาจากกลุ่มจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนและเป็นที่ยอมรับแต่ใช้เวลานานมากในการสร้างเม็ดตะกอน งานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าขั้นตอนการเติมอากาศสร้างแรงเฉือนน้ำช่วยรวมตะกอนให้เป็นเม็ดไวขึ้นและสามารถระยะเวลาพักเก็บน้ำได้ จึงพัฒนามาสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจน (Aerobic granular sludge) ซึ่งจัดเป็นเทคโนโลยีขั้นสูง ข้อดีคือสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ความหนาแน่นสูงที่มีสมบัติการตกตะกอนดีและอยู่ในระบบบำบัดได้นานโดยไม่หลุดไปพร้อมน้ำทิ้ง โดยใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสปีอาร์ (Sequencing batch reactor) ระบบเป็นแบบที่ละเทไม่เวียนตะกอน ซึ่งเป็นระบบที่ก่อสร้างง่าย ต้นทุนไม่สูง เติมอากาศและตกตะกอนภายในถังเดียวกันทำให้ระบบมีขนาดเล็กลงจากระบบเอเอส

สำหรับงานวิจัยนี้สนใจศึกษากลไกการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนและประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียโดยทำการศึกษาในระบบบำบัดแบบเอสปีอาร์ เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยไปประยุกต์ใช้ในงานบำบัดน้ำเสียจริง

1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.4.1 เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการเกิดเม็ดตะกอน
- 1.4.2 เพื่อศึกษาผลกระทบของเวลาตกตะกอนต่อขนาดเม็ดตะกอน
- 1.4.3 เพื่อศึกษาผลกระทบของสัดส่วนการทดแทนน้ำต่อขนาดเม็ดตะกอน
- 1.4.4 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพและอัตราการบำบัดซีโอดีของเม็ดตะกอน

1.5 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ ดำเนินการที่อุณหภูมิตั้ง ณ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีขอบเขตของงานวิจัยดังนี้

- 1.5.1 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีแหล่งคาร์บอนคือน้ำตาลทราย โดยมีความเข้มข้นของซีโอดี 2,000 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร และแร่ธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย (Zheng และคณะ, 2006)

1.5.2 หัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้นำมาจากโรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง

1.5.3 ใช้ถังเอสปีอาร์ (Sequencing Batch Reactor) ทำจากอะคริลิกที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.10 เมตร สูง 1.20 เมตร

1.5.4 เติกระบบแบบทีละเท (Batch process) ปริมาตร 12 ลิตร จุน้ำเสีย 8 ลิตร

1.5.5 ควบคุมพีเอชให้อยู่ในช่วง 6.5 - 7.5 ตลอดจนการทดลองด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3)

1.5.6 ทดลองเปลี่ยนเวลาดกตะกอน 5 ค่า คือ 60 30 15 5 และ 2 นาที

1.5.7 ทดลองเปลี่ยนสัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย 5 ค่า คือ 50 60 70 80 และ 90%

1.5.8 พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์คือ ค่าซีโอดี (COD) พีเอช (pH) ของแข็งแขวนลอย (MLSS) ของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย (MLVSS) ดัชนีปริมาตรตะกอน (SVI) ปริมาตรการตกตะกอนที่ 30 นาที (SV_{30}) ขนาดเม็ดตะกอน (Sludge size) และลักษณะทางกายภาพของเม็ดตะกอน (Physical properties of sludge)

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 เพื่อทราบถึงเวลาดกตะกอนและสัดส่วนการทดแทนน้ำเสียที่เหมาะสมต่อการสร้างเม็ดตะกอน

1.6.2 เพื่อทราบถึงขนาดเม็ดตะกอน ความเข้มข้นของตะกอน และประสิทธิภาพในการบำบัด

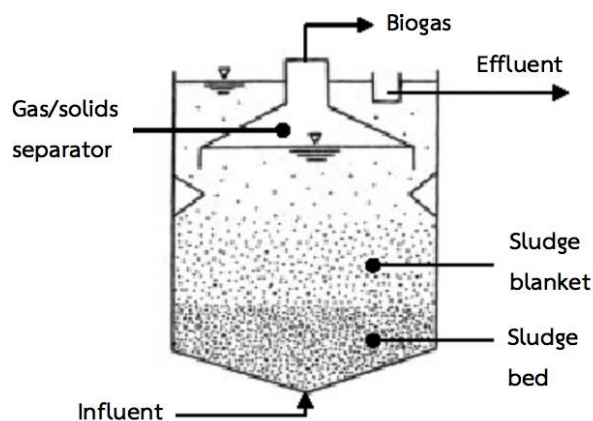
บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เม็ดตะกอนจุลินทรีย์

2.1.1 เม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน

ระบบบำบัดยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) เป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่นิยมมานาน โดยสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จากลักษณะถังสูง 4.0-7.5 เมตร เวียนน้ำเสียขึ้นจากก้นถึงผ่านชั้นตะกอนหนาและมีการดักตะกอนไม่ให้ลอยออกจากระบบไปกับน้ำทิ้ง มีตัวแยก Gas Solids Separator (GSS) เพื่อแยกก๊าซออกจากระบบด้านบนของถังบำบัด การเวียนน้ำทำให้เกิดตะกอนเป็นเม็ดขนาด 1-5 มิลลิเมตรโดยไม่ต้องเกาะกับตัวกลางใด ๆ สารอินทรีย์ในน้ำเสียจะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์แบบที่ไม่ใช้ออกซิเจนภายใต้สภาวะไร้อากาศระหว่างที่น้ำเสียสัมผัสชั้นตะกอน เกิดผลิตภัณฑ์เป็นแก๊สชีวภาพต่าง ๆ ได้แก่ มีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น (ธนารัตน์ วรสูตร, 2546 และ Lettinga, 1980)

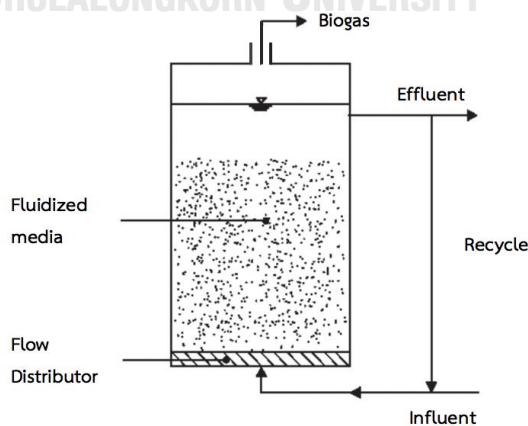


รูปที่ 2.1 ระบบบำบัดยูเอเอสบี

ที่มา: <http://web.deu.edu.tr/atiksu/ana07/epa04.html> [2018, November 23]

ระบบบำบัดยูเอเอสบีสามารถลดความสกปรกของน้ำเสียความเข้มข้นสูงในรูปซีโอดี 5,000-15,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ 75-85% ใช้เวลาเพียง 4-12 ชั่วโมง โดยควบคุมความเร็วน้ำเสียเข้าให้อยู่ในช่วง 0.6-0.9 เมตรต่อชั่วโมง หากความเร็วน้ำสูงเกินไปจะทำให้สูญเสียตะกอนไปกับน้ำทิ้ง และความเร็วน้ำต่ำจะทำให้ตะกอนนอนกันถึงและมีประสิทธิภาพในการบำบัดลดลง (สมชาย ดารารัตน์, 2536 และ Metcalf & Eddy, 1991)

การบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพโดยใช้ระบบชั้นลอยตัวแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Fluidized Bed) อาศัยตัวกลาง เช่น ทราย แอนทราไซต์ ถ่านกัมมันต์ และเม็ดเซรามิก เป็นต้น สารตัวกลางมีขนาดเล็กและพื้นที่ผิวมากเพื่อให้จุลินทรีย์ยึดเกาะได้ปริมาณมาก ควบคุมความหนาของชั้นจุลินทรีย์ที่ยึดเกาะได้โดยควบคุมการขยายตัวของชั้นตะกอน สามารถใช้อัตราการไหลน้ำเสียสูงขึ้นได้โดยอาศัยความถ่วงจำเพาะของตัวกลางถ่วงให้จุลินทรีย์ไม่ลอยออกจากระบบ ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียสูง รับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้สูงกว่าและใช้เวลากักเก็บน้ำเสียต่ำกว่าระบบถังกรองไร้ออกซิเจน (Anaerobic Filter) ซึ่งระบบถังกรองไร้ออกซิเจนเป็นระบบแรกๆ ที่ให้จุลินทรีย์ยึดเกาะและเจริญเติบโตบนตัวกลาง แต่มีข้อจำกัดคือตัวกลางอุดตันในระยะยาว และระบบถังกรองไร้ออกซิเจนเป็นต้นแบบในการพัฒนามาเป็นระบบแอนแอโรบิกฟลูอิดไดซ์เบด แต่ระบบแอนแอโรบิกฟลูอิดไดซ์เบดก็ยังไม่เป็นที่นิยมใช้ในประเทศไทยอันเนื่องมาจากความยุ่งยากในการออกแบบและควบคุมระบบ นอกจากนี้ยังสิ้นเปลืองพลังงานในการทำให้ตัวกลางในระบบเคลื่อนที่ตลอดเวลาและไม่ตกค้างอุดตันระบบ



รูปที่ 2.2 ระบบแอนแอโรบิกฟลูอิดไดซ์เบด

ที่มา: <http://web.deu.edu.tr/atiksu/ana07/epa04.html> [2018, November 23]

สภาวะฟลูอิดไดซ์เซชัน (Fluidization) คือสภาวะที่เพิ่มความเร็วของเหลวที่ไหลผ่านชั้นอนุภาคของแข็งที่หยุดนิ่งจนถึงระดับที่ความเร็วที่ทำให้อนุภาคของแข็งเคลื่อนที่และแขวนลอยอยู่ในของไหล และฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidize bed) คือสภาวะที่ของไหลมีสภาพคล้ายกับความหนาแน่นที่เกิดจากการแขวนลอยอย่างสม่ำเสมอของอนุภาคของแข็ง องค์ประกอบสำคัญที่ส่งผลต่อสภาวะฟลูอิดไดซ์เซชัน ได้แก่ความเร็วต่ำสุด (Minimum fluidizing velocity) ความเร็วสุดท้าย (Terminal velocity of fluidization) และลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคของไหล เพื่อควบคุมไม่ให้ตัวกลางในระบบหลุดออกจากถังปฏิกรณ์ (พัชรียา รุ่งกิจพัฒนานุกุล, 2553)

ระบบแอนแอโรบิกฟลูอิดไดซ์เบดมีประสิทธิภาพในการบำบัดชีโอดีสูง เมื่อน้ำเสียมีอัตราภาระสารอินทรีย์เข้าระบบ 10-20 กิโลกรัมชีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน พบว่าระบบบำบัดมีประสิทธิภาพในการบำบัดชีโอดีมากกว่าร้อยละ 90 ซึ่งประสิทธิภาพการบำบัดนั้นก็ขึ้นกับชนิดของน้ำเสียที่เข้าระบบด้วยเช่นกัน (Metcalf และ Eddy, 2003) ดังตารางที่ 2.1 ซึ่งเป็นผลการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ 2.1 ประสิทธิภาพการบำบัดชีโอดีของระบบแอนแอโรบิกฟลูอิดไดซ์เบด

ชนิดน้ำเสีย	อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	อัตราภาระสารอินทรีย์ (กก.ชีโอดี/ลบ.ม.-วัน)	เวลากักเก็บน้ำ (ชั่วโมง)	ประสิทธิภาพ การบำบัดชีโอดี (%)
กรดซिटริก	35	42	24	70
แป้ง	35	8.2	105	99
นม	35	3-5	12-18	71-85
กากน้ำตาล	35	12-30	3-8	50-95
กลูโคส	35	10	12	95
เยื่อกระดาษ	35	3-18	3-62	60-80

ที่มา: Metcalf และ Eddy, 2003

มีการทดลองเพื่อเทียบประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีระหว่างระบบถังกรองไร้ออกซิเจน ระบบยูเอเอสบี และระบบแอนแอโรบิกฟลูอิดไดซ์เบด (Tay และ Zhang, 2000) โดยใช้น้ำเสียจากกลูโคสควบคุมอัตราการสารอินทรีย์ 10 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 เดือน โดยน้ำเสียที่เข้าระบบมีความเข้มข้น 5,000 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร เวลาพักเก็บน้ำ 12 ชั่วโมง พบว่าระบบแอนแอโรบิกฟลูอิดไดซ์เบดมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีร้อยละ 96 ซึ่งดีกว่าระบบยูเอเอสบีและระบบถังกรองไร้ออกซิเจนที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีร้อยละ 95 และ 90 ตามลำดับ

2.1.2 เม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจน

ระบบบำบัดเอสแบบทั่วไปมีความเข้มข้นตะกอน 1,500-3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปัญหาของระบบคือเกิดตะกอนเบาในถังเติมอากาศ เมื่อไหลไปยังถังตกตะกอนจะทำให้ตะกอนเบาหลุดออกจากระบบไปพร้อมน้ำทิ้ง ต่อมาจึงพัฒนาใช้ระบบทีละเท (Batch) หรือระบบเอสปีอาร์ (Sequencing Batch Reactor) ในการสร้างตะกอนจุลินทรีย์ เพื่อกักตะกอนเบาให้ใช้เวลาในการรวมเป็นเม็ดและไม่หลุดออกจากระบบไปพร้อมน้ำทิ้ง โดยใช้ความเข้มข้นน้ำเสียและความเร็วอากาศในช่วงการเติมอากาศเพื่อสร้างแรงเฉือนน้ำช่วยในการรวมตะกอนให้เป็นเม็ดแน่น ยากต่อการแตกสลาย และใช้ระยะเวลาในช่วงการตกตะกอนสั้นเพียง 5-15 นาทีเพื่อคัดตะกอนที่มีความเร็วในการตกตะกอนต่ำหรือตะกอนเบาออกจากระบบพร้อมน้ำทิ้ง พบว่าระบบเอสปีอาร์สามารถสร้างตะกอนที่มีความเข้มข้นจุลินทรีย์ได้มากขึ้นถึง 20,000-100,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (Morgenroth, 1997 และ Tijhuis, 1994 และ Kwok, 1996 และ Van Benthum, 1996)

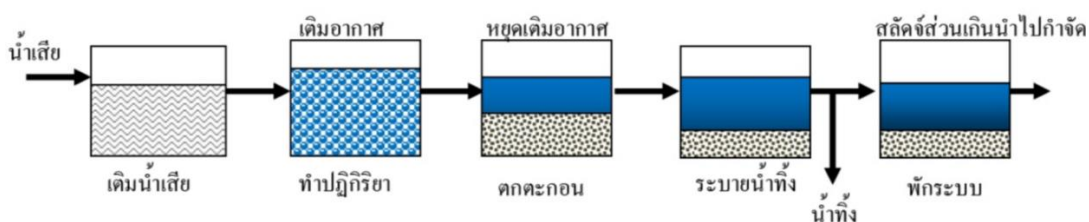
2.1.2.1 ระบบเอสปีอาร์ (Sequencing Batch Reactor)

ระบบเอสปีอาร์เป็นระบบบำบัดประเภทเติมเข้า-ถ่ายออก (Fill and Draw Activated Sludge) เป็นรอบการบำบัด ซึ่งมีขั้นตอนการเติมอากาศและตกตะกอนเป็นลำดับภายในถังเดียว เป็นระบบเลี้ยงตะกอนจึงไม่ต้องมีขั้นตอนในการสูบตะกอนกลับ สามารถรับน้ำเสียที่มีภาระบรรทุกแปรปรวนได้ดี สามารถบำบัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้โดยไม่ต้องเติมสารเคมีในระบบ จากปฏิกิริยา Nitrification และ Denitrification (Topnik, 1983 และ Arora, 1985)

รอบการทำงานของถังบำบัด แบ่งเป็น 5 ช่วง คือ

1. เติมน้ำเสีย (Feed) เพื่อเพิ่มสารอินทรีย์ในระบบบำบัด
2. ทำปฏิกิริยา (React) เพื่อให้จุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

3. ตกตะกอน (Settle) เพื่อแยกชั้นตะกอนออกจากน้ำที่ ตั้ง ตะกอนจะตกกลับลงถึงบ่อบำบัด
 4. ระบายน้ำที่ (Draw) เพื่อปล่อยน้ำที่ผ่านการบำบัดออกจากระบบ
 5. ช่วงพักระบบ (Idle) เพื่อซ่อมแซมหรือพักระบบเตรียมรับน้ำเสียใหม่
- (Metcalf & Eddy,1991)



รูปที่ 2.3ระบบเอสปีอาร์

ที่มา: <http://cac.pcd.go.th/index.php/ourservices/2017-02-05-14-04-09/2017-06-20-03-12-02/277-activated-sludge-process-4> [2018,November 23]

2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจน

จุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจน (Aerobic bacteria) ในระบบบำบัดน้ำเสียต้องอาศัยปัจจัยสำคัญต่าง ๆ ในการเจริญเติบโต โดยใช้สารอินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบของน้ำเสียในการสร้างเซลล์ใหม่ โดยมีปัจจัยแวดล้อมอื่น ๆ ได้แก่ ลักษณะน้ำเสีย ธาตุอาหาร โลหะหนัก สารพิษ พีเอช และอุณหภูมิ รวมถึงสภาวะในระบบบำบัด ได้แก่ การกวนผสม ระยะเวลาบำบัด และการเติมอากาศในระดับที่เหมาะสมเพื่อสร้างออกซิเจนละลายน้ำให้เพียงพอต่อจุลินทรีย์ในการรวมตัวเป็นกลุ่มฟล็อกที่มีน้ำหนัก จึงจะสามารถดำรงอยู่ได้ในระบบบำบัดและมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย

2.2.1 สารอินทรีย์ในน้ำเสีย (Organic matter)

สารอินทรีย์ในน้ำเสียเป็นอาหารของจุลินทรีย์ในระบบ หากมีมากเกินไปจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ทำให้รวมเป็นกลุ่มฟล็อกยาก ตกตะกอนได้ไม่ดี ส่งผลให้น้ำที่ทิ้งจากระบบมีลักษณะขุ่นเนื่องจากมีสารอินทรีย์เหลืออยู่มาก และทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียต่ำ (ขวัญเนตร สมบัติสมภพ, 2551)

2.2.2 ธาตุอาหาร (Nutrient)

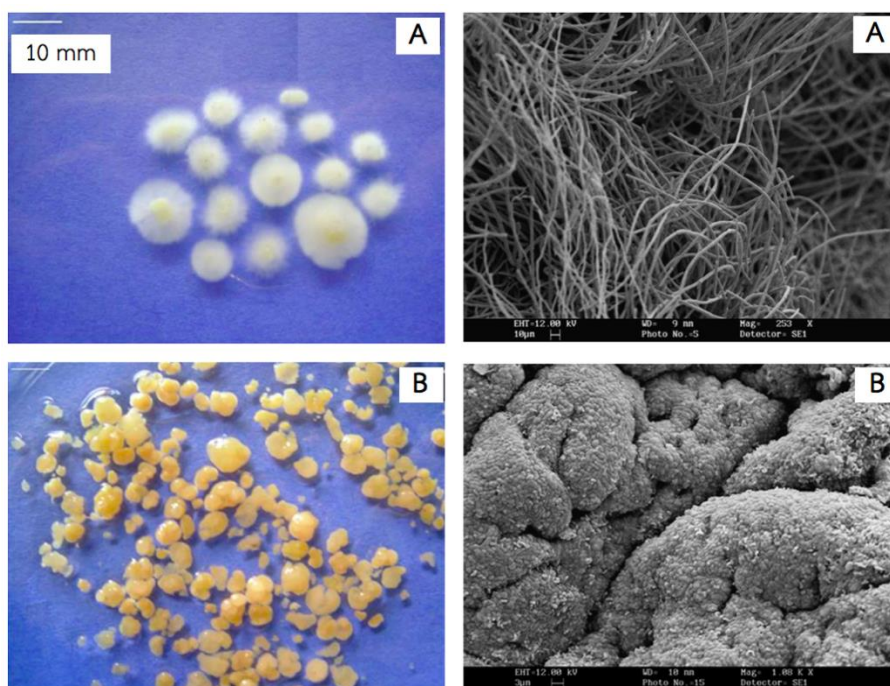
ธาตุอาหารหลักที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจน คือ คาร์บอน ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในอัตราส่วน COD:N:P เท่ากับ 150:5:1 นอกจากนั้นยังต้องการ S K Mg Ca Fe และ Cl ในปริมาณเล็กน้อยเพื่อสร้างเซลล์จุลินทรีย์ ($C_5H_7O_2N$) ส่วนอาหารเสริมที่ต้องเติมเพิ่ม ได้แก่ Mn Co Zn Cu และ Mo หากขาดธาตุอาหารจะทำให้จุลินทรีย์กลุ่มเส้นใย (Filamentous) เจริญเติบโตได้ดี ทำให้ตะกอนไม่จมตัว ตกตะกอนยาก น้ำทิ้งคุณภาพไม่ดีมีตะกอนปะปน (Jalali และ คณะ, 2015 และ Metcalf และ Eddy, 2003)

2.2.3 อัตราการไหลของน้ำเสีย (Flow rate)

อัตราการไหลของน้ำเสียควรเข้าระบบอย่างสม่ำเสมอ เพื่อรักษาประสิทธิภาพในการบำบัดให้คงที่ หากมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลจะส่งผลกระทบต่อระยะเวลาการบำบัด การตกตะกอนและกระบวนการทางชีววิทยา (Sirianuntapiboon and Manoonpong, 2001)

2.2.4 ค่าพีเอช (pH)

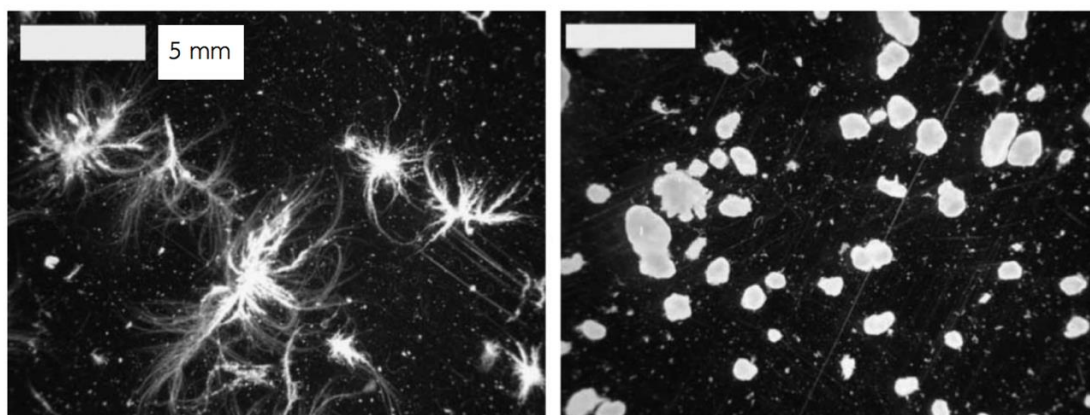
จุลินทรีย์กลุ่มฟังไจพบมากในระบบเมื่อภายในถังบำบัดมีพีเอช 3 เม็ดตะกอนที่สร้างได้มีขนาดใหญ่ 7 มิลลิเมตร จับตัวหลวม แดกสลายง่าย ขณะที่พีเอช 8 พบแบคทีเรียมาก เกิดเม็ดตะกอนขนาด 4.8 มิลลิเมตร จับตัวแน่น ไม่มีเส้นใยฟิลาเมนต์ที่ผิวตะกอน ดังนั้นควรควบคุมพีเอชให้อยู่ในช่วง 6-7 ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย เนื่องจากในงานวิจัยดังกล่าวพบว่า เม็ดตะกอนที่มีแบคทีเรียเป็นองค์ประกอบนั้นมีความสามารถในการบำบัดซีโอดี (มากกว่าร้อยละ 95) ที่ดีกว่าและปริมาณจุลินทรีย์ในระบบ (8,000 มิลลิกรัมเอ็มแอลเอสเอสต่อลิตร) ที่มากกว่าเม็ดตะกอนที่มีองค์ประกอบหลักเป็นจุลินทรีย์กลุ่มฟังไจ โดยการใช้การเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) ควบคุมพีเอชในการทดลอง (Yang, 2008)



รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะตะกอนและพื้นผิวตะกอนจากการส่อง SEM ที่ pH 3 (A) และ pH 8 (B)
(Yang, 2008)

2.2.5 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved oxygen, DO)

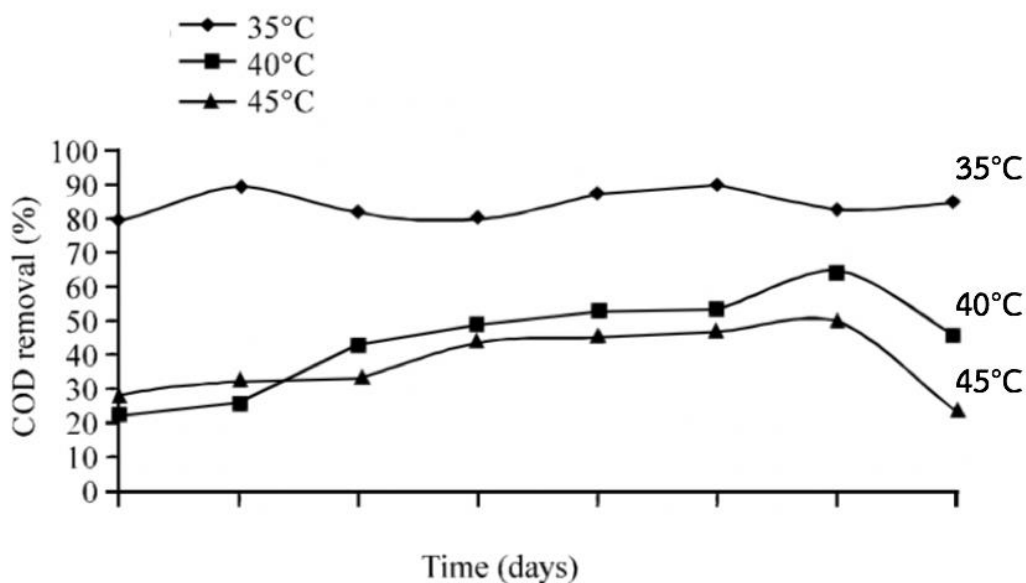
เม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนสามารถเจริญได้ด้วยการเติมอากาศเพื่อควบคุมค่าดีโอให้อยู่ในช่วง 2-6 มิลลิกรัมต่อลิตร (Yang, 2003 และ Qin, 2004a และ Tsuneda, 2004) และจากการทดลองสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนในระบบบำบัดแอสปีอาร์พบว่า เมื่อค่าดีโอต่ำกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ MLSS ในระบบน้อยกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร กลุ่มฟล็อกไม่จับตัวเป็นเม็ดและมีเส้นใยพิวลาเมนต์ส เมื่อเทียบกับค่าดีโอที่อยู่ในช่วง 8-8.5 มิลลิกรัมต่อลิตร พบตะกอนจับตัวเป็นเม็ด (Sturm, 2008) แสดงดังรูปที่ 2.5 แสดงลักษณะตะกอนเมื่อระบบเข้าสู่ภาวะสมดุลในวันที่ 90 หลังเริ่มต้นระบบ



รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะตะกอนจุลินทรีย์เมื่อค่า DO ต่ำว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร (ซ้าย) และ (ขวา) เมื่อควบคุมค่า DO ให้อยู่ในช่วง 8-8.5 มิลลิกรัมต่อลิตร (Sturm, 2008)

2.2.6 อุณหภูมิ (Temperature)

ลักษณะเมื่อดตะกอนขึ้นกับชนิดจุลินทรีย์และอัตราการเจริญเติบโตของกลุ่มจุลินทรีย์นั้น ๆ ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อจุลินทรีย์จึงเป็นสิ่งสำคัญ อุณหภูมิที่ต่ำเกินไป (ต่ำกว่า 8 องศาเซลเซียส) จะทำให้ตะกอนเกิดเส้นใยฟิลาเมนต์ส มีน้ำหนักรเบา ทำให้ตะกอนหลุดออกจากระบบพร้อมน้ำทิ้ง ขณะเดียวกันสภาวะที่อุณหภูมิสูงขึ้น (20-35 องศาเซลเซียส) จะส่งผลให้เมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์สูงขึ้น ทำให้กระบวนการเกิดเมื่อดตะกอนเร็วขึ้นจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ในกระบวนการบำบัดช่วงที่ไม่ใช้ออกซิเจน (de Kreuk, 2005) แต่ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไป (มากกว่า 35 องศาเซลเซียส) จะทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีลดลงดังกราฟที่ 2.6 (Gobi, 2014)



รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างการบำบัดซีโอดีกับเวลาที่อุณหภูมิแตกต่างกันที่ 35 40 และ 45 องศาเซลเซียสของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจน (Gobi, 2014)

2.2.7 ระยะเวลาการบำบัด (Detention Time)

ระยะเวลาที่น้ำเสียอยู่ในถังบำบัดต้องเหมาะสมและมากพอที่จุลินทรีย์จะย่อยสลายสารอินทรีย์ หากระยะเวลาการบำบัดน้อยไปจะทำให้น้ำทิ้งมีสารอินทรีย์หลงเหลือ โดยทั่วไปนิยมกักเก็บน้ำในถังบำบัด 4-12 ชั่วโมง (Ndegwa, 2008 และ Liu, 2015)

2.2.8 สารพิษ (Toxic)

สารพิษแบ่งเป็นกลุ่มออกฤทธิ์เฉียบพลัน (Acute Toxicity) เช่น ไซยาไนด์ ทำให้จุลินทรีย์ตายทันที และกลุ่มออกฤทธิ์ช้า (Chronic Toxicity) เช่น โลหะหนัก ค่อยๆสะสมในเซลล์จุลินทรีย์จนเป็นพิษและตาย (ขวัญเนตร สมบัติสมภพ, 2551)

2.2.9 การกวน (Mixing)

ในถังเติมอากาศมีการกวนผสมเพื่อให้ตะกอนจุลินทรีย์สัมผัสกับน้ำเสียและบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้ดี ช่วยรวมตะกอนให้เป็นกลุ่มฟล็อก ซึ่งการกวนผสมจะสร้างแรงเฉือนน้ำ (Hydrodynamic shear force) และทำให้เกิดการชนกันของอนุภาคฟล็อกรวมตัวกันจนเกิดเม็ดตะกอน แต่จากงานวิจัยที่ใช้น้ำเสียความเข้มข้นไนโตรเจนสูงเพื่อสร้างเม็ดตะกอนพบว่า หากกวนผสมแรงจะส่งผลต่อกระบวนการอนาโมกซ์ (Anammox process) ที่เป็นกระบวนการบำบัดไนโตรเจนโดย

การออกซิไดซ์แอมโมเนียในสภาวะขาดแคลนออกซิเจน ดังนั้นการเพิ่มความเร็วในการกวนส่งผลให้ปฏิกิริยาทางชีวภาพและขนาดเม็ดตะกอนลดลงเนื่องจากการแตกสลายของเม็ดตะกอนและทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนลดลง (Arrojo, 2006)

2.3 ปัจจัยหลักที่มีผลต่อการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนในระบบบำบัดเอสปีอาร์

เม็ดตะกอนจุลินทรีย์เกิดจากกลุ่มฟล็อกที่จับตัวกันแน่น มีน้ำหนักมากขึ้น ตกตะกอนได้ดีจึงทำให้อยู่ในระบบบำบัดได้นาน ไม่หลุดไปพร้อมน้ำทิ้ง ดังนั้นปัจจัยสำคัญในการสร้างสภาวะให้เหมาะสมต่อการรวมตัวกันของเม็ดตะกอน ได้แก่ ความเข้มข้นน้ำเสียที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยมีการเติมอากาศในระดับที่เหมาะสมเพื่อสร้างแรงเฉือนน้ำช่วยให้จุลินทรีย์รวมตัวเป็นตะกอนแน่นจนกลายเป็นเม็ดในที่สุด นอกจากนี้ยังอาศัยการคัดตะกอนเบาออกจากระบบด้วยเวลาตกตะกอนสั้น และระดับท่อน้ำทิ้งที่พอเหมาะต่อทั้งตะกอนเบาและการรักษาตะกอนเม็ดไว้ในระบบ

2.3.1 ความเข้มข้นน้ำเสีย

ความเข้มข้นน้ำเสียส่งผลต่อการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจน เมื่อเพิ่มความเข้มข้นน้ำเสียสูงขึ้น (3,000 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร) พบว่าเม็ดตะกอนในระบบมีขนาดใหญ่ (1.89 มิลลิเมตร) แต่ความแข็งแรงของเม็ดตะกอนลดลง โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ความสมบูรณ์ (integrity coefficient, %) ที่แสดงถึงความสามารถในการต้านทานแรงเฉือนและการสึกกร่อนที่เกิดจากน้ำ ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 คุณลักษณะของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่สร้างจากน้ำเสียน้ำความเข้มข้นซีโอดีแตกต่างกัน

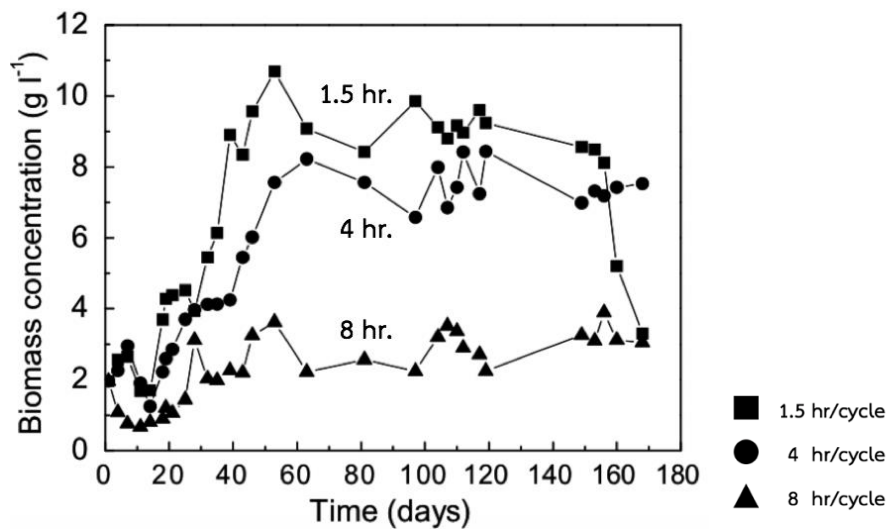
Items	Seed sludge	Influent substrate concentration (mg l ⁻¹ COD)			
		500	1000	2000	3000
Size (mm)	0.09	1.57 (±0.14)	1.79 (±0.08)	1.79 (±0.10)	1.89 (±0.11)
Roundness	~	0.69 (±0.025)	0.66 (±0.026)	0.67 (±0.021)	0.64 (±0.017)
Aspect ratio	~	0.65 (±0.09)	0.65 (±0.016)	0.64 (±0.019)	0.66 (±0.018)
Integrity 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, 2003

2.3.2 รอบการบำบัด (Cycle time)

รอบการบำบัดของระบบเอสปีอาร์ (Sequencing Batch Reactor) ในการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนประกอบด้วย การเติมน้ำเสียเข้าระบบ เติมอากาศ ตกตะกอน และปล่อยน้ำทิ้ง ซึ่งในรอบการบำบัด 1 รอบ หมายถึงระยะเวลาที่น้ำเสียอยู่ในระบบหรือระยะเวลาที่เก็บน้ำในถังปฏิกิริยา โดยในขั้นตอนของการเติมอากาศจะใช้เวลาเป็นส่วนมากเมื่อเทียบกับขั้นตอนอื่น ๆ เนื่องจากการสร้างเม็ดตะกอนโดยมากมักใช้เวลาตกตะกอนสั้น (5-15 นาที) ส่วนเวลาการเติมน้ำเสียและปล่อยน้ำทิ้งไม่มีนัยสำคัญ ทั้ง 2 ขั้นตอนนิยมใช้เวลาขั้นตอนละ 5 นาที (Tay, 2001 และ Chen, 2008)

สำหรับกระบวนการบำบัดระบบเอสปีอาร์ ถ้าระยะเวลาที่เก็บน้ำน้อยกว่า 1.5 ชั่วโมงต่อรอบบำบัด เม็ดตะกอนที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะเป็นตะกอนปุย เบา สมบัติการตกตะกอนไม่ดี เกิดเส้นใยพิลานเมตัสที่ผิวเม็ดตะกอนและแตกสลายในที่สุด หากระยะเวลาที่เก็บน้ำนานเกิน 8 ชั่วโมงต่อรอบบำบัด จะส่งผลต่อการจับตัวกันของเม็ดตะกอนเนื่องจากจุลินทรีย์ตาย (Liu และ Tay, 2008 และ Zhou, 2004) โดยในงานวิจัย (Liu และ Tay, 2008) พบว่าระยะเวลาที่เก็บน้ำ 4 ชั่วโมงต่อรอบบำบัดมีปริมาณจุลินทรีย์มากที่สุด (8,000 มิลลิกรัมต่อลิตร) ดังรูปที่ 3.7 และจากงานวิจัย (Liu, 2015) พบว่า ระยะเวลาที่เก็บน้ำในถังบำบัด 4 ชั่วโมง เม็ดตะกอนมีดัชนีปริมาตรตะกอน (SVI) สูงกว่าระยะเวลาที่เก็บน้ำในถัง 6 และ 8 ชั่วโมง (9.6 และ 5 มิลลิกรัมต่อกรัมตามลำดับ) ซึ่งดัชนีปริมาตรตะกอนสัมพันธ์กับความแน่นของตะกอน ดังนั้นระยะเวลาที่เก็บน้ำในถังบำบัด 4 ชั่วโมงจึงเหมาะสมต่อการสร้างเม็ดตะกอนที่ตะกอนจับตัวกันแน่นมากกว่าเม็ดตะกอนจากระบบบำบัดที่มีระยะเวลาที่เก็บน้ำในถังบำบัดที่ 6 และ 8 ชั่วโมง

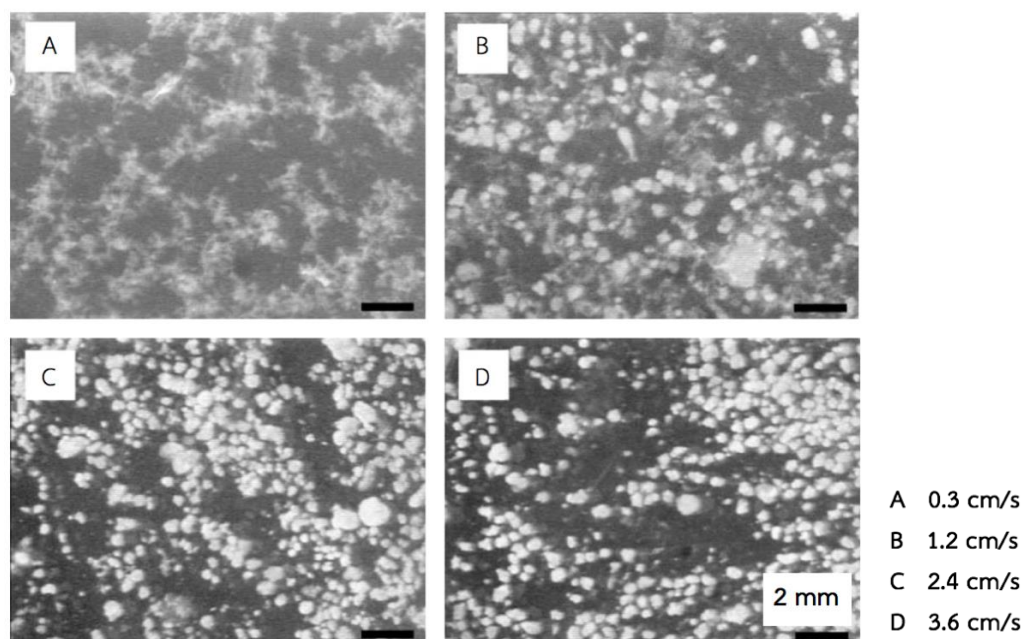


รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นจุลินทรีย์ในระบบบำบัด
กับระยะเวลาเดินระบบบำบัด (Liu และ Tay, 2008)

2.3.3 ความเร็วอากาศ (Superficial air velocity)

ในช่วงการเติมอากาศจะเกิดแรงเฉือนน้ำ (Hydrodynamic shear force) จากการใช้ความเร็วในการเติมอากาศ ซึ่งใช้การเติมอากาศจากด้านล่างของถังปฏิกรณ์ ดังนั้นความเร็วอากาศที่เกิดขึ้นจึงเป็น ความเร็วอากาศไหลขึ้น (Superficial upflow air velocity) ซึ่งควบคุมความเร็วอากาศในท่อด้วยอุปกรณ์วัดอัตราการไหล (Flow meter) สำหรับใช้กับอากาศ และปรับวาล์วควบคุมให้ได้ระดับความเร็วอากาศที่ต้องการ

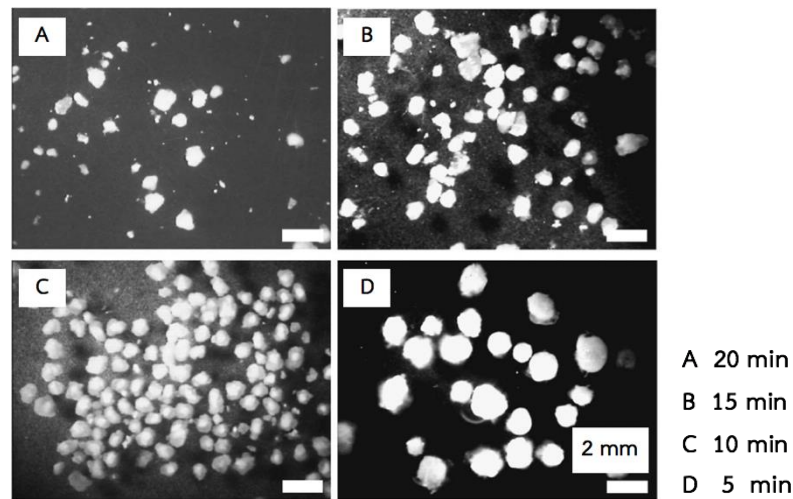
ความเร็วอากาศในช่วงการเติมอากาศในช่วง 2-4 เซนติเมตรต่อวินาที จะสร้างแรงเฉือนให้น้ำที่เหมาะสม ส่งผลให้ตะกอนรวมตัวกันเป็นเม็ดตะกอนแน่นและแตกสลายยาก หากใช้ความเร็วอากาศต่ำกว่า 1.2 เซนติเมตรต่อวินาที พบว่าไม่เกิดเม็ดตะกอนในระบบ และตะกอนในระบบเป็นเพียงกลุ่มฟล็อก (Tay, 2001) และเมื่อเพิ่มความเร็วอากาศจาก 0.3 เซนติเมตรต่อวินาทีขึ้น เป็น 1.2 2.4 และ 3.6 เซนติเมตรต่อวินาทีจะเห็นว่าเม็ดตะกอนโดยรวมของระบบมีขนาดใหญ่ขึ้น แสดงดังรูปที่ 2.8



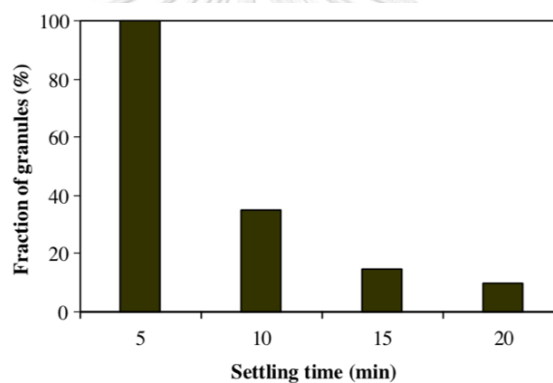
รูปที่ 2.8 ลักษณะตะกอนจุลินทรีย์เมื่อใช้ความเร็วอากาศที่แตกต่างกัน (Tay, 2001)

2.3.4 เวลาตกตะกอน (Settling time)

โดยทั่วไปการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนในกระบวนการบำบัดระบบ เอสบีอาร์ ใช้เวลาตกตะกอนสั้น ต่อรอบการบำบัดประมาณ 5-15 นาที เพื่อคัดเลือกตะกอนน้ำหนักรวมเก็บไว้ในระบบ ซึ่งตะกอนเหล่านั้นจะรวมเป็นเม็ดแน่นขึ้นและมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย (Qin, 2004 และ Wang, 2004) และจากงานวิจัย (Qin, 2004) พบว่า 5 นาทีเป็นเวลาตกตะกอนที่เหมาะสมต่อการสร้างเม็ดตะกอนมากกว่า 20 15 และ 10 นาที เมื่อพิจารณาจากสัดส่วนเม็ดตะกอน (Fraction of granules, %) เวลาตกตะกอน 5 นาที ตะกอนในระบบทั้งหมดกลายเป็นเม็ดตะกอน แสดงดังรูปที่ 2.9 และ 2.10



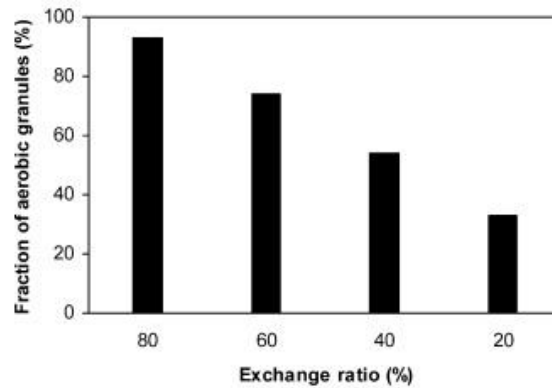
รูปที่ 2.9 ลักษณะตะกอนจุลินทรีย์เมื่อใช้เวลาดตกตะกอนที่แตกต่างกัน (Qin, 2004)



รูปที่ 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนเม็ดตะกอนจุลินทรีย์และเวลาดตกตะกอน (Qin, 2004)

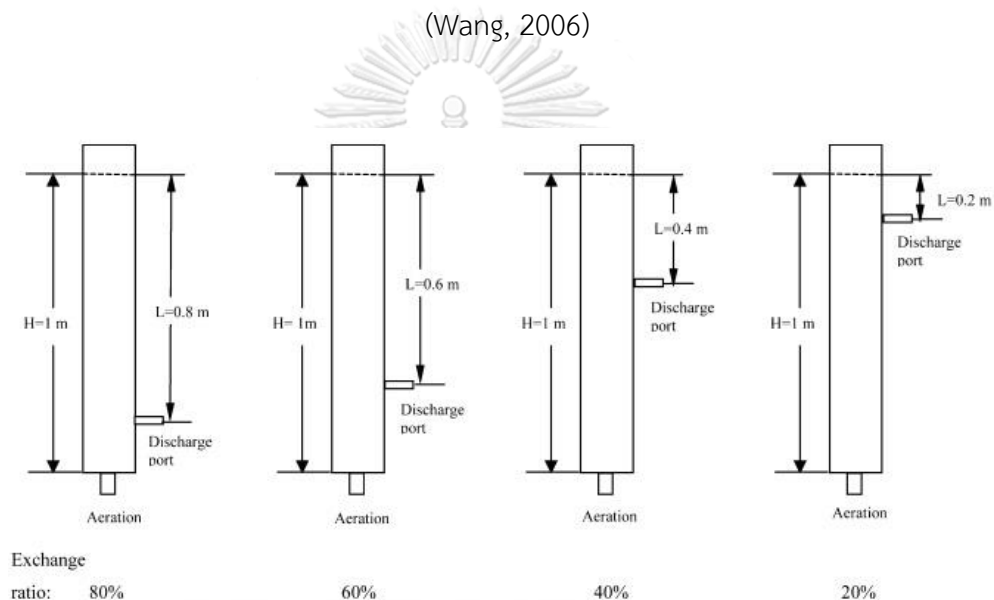
2.3.5 สัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย (Volumetric exchange ratio)

ระดับท่อในการปล่อยน้ำทิ้งเป็นปัจจัยสำคัญในการคัดเลือกตะกอนจากความเร็วในการตกตะกอน และสัมพันธ์กับสัดส่วนทดแทนน้ำเสียโดยการทิ้งน้ำที่ตำแหน่งท่อในระดับต่าง ๆ คือ การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในถังบำบัด กล่าวคือปริมาณน้ำทิ้งที่ออกจากระบบจะต้องเท่ากับปริมาณน้ำเสียที่เติมเข้าระบบ เนื่องจากควบคุมปริมาณน้ำในถังบำบัดให้คงที่ตลอดระยะเวลาบำบัด จากงานวิจัยพบว่าระดับท่อน้ำทิ้งที่ 60-80% (ซึ่งท่ออยู่ระดับต่ำลงมา) ปริมาณตะกอนในถังมากกว่าร้อยละ 75 รวมตัวเป็นเม็ดตะกอน (Wang, 2006) ดังกราฟที่ 2.11 และรูปที่ 2.12 โดยทั่วไปนิยมใช้สัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย 50% หรือท่อระดับกลางถึงเนื่องจากง่ายต่อการออกแบบระบบบำบัด



รูปที่ 2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเม็ดตะกอนกับสัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย

(Wang, 2006)



รูปที่ 2.12 ระดับท่อน้ำทิ้งที่แตกต่างกันในแต่ละสัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย (Wang, 2006)

2.4 ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในอดีตกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศนิยมใช้กับน้ำเสียความเข้มข้นสูงจากโรงงานเนื่องจากรับน้ำเสียอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงหรือเปลี่ยนแปลงรวดเร็วได้ มีปริมาณเซลล์เกิดใหม่ต่ำจึงต้องการสารอาหารอินทรีย์น้อย และได้ก๊าซมีเทนเป็นผลิตภัณฑ์ โดยทั่วไประบบยูเอเอสบีสามารถบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศที่มีความเข้มข้นต่ำได้ (ต่ำกว่า 3,000 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร) (Lettinga, 1980) ซึ่งในงานวิจัยของ Lettinga และคณะ (1980) ประยุกต์ใช้ระบบบำบัดยูเอเอสบีเพื่อบำบัดน้ำเสียจากโรงงานหัตถ์ปีทและมันฝรั่ง พบว่าสามารถใช้บำบัดน้ำเสียความเข้มข้นสูง (มากกว่า 5,000 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร) ได้ และตะกอนในระบบมีสมบัติการตกตะกอนที่ดี

โดยความสูงของชั้นตะกอน ความเข้มข้นตะกอน และตำแหน่งของตะกอนในถังปฏิกริยาส่งผลต่อความหนาแน่นของชั้นตะกอน ฟล็อกหรืออนุภาคจะเจริญเติบโตจับตัวเป็นกลุ่มและการลดความปั่นป่วนในถังปฏิกริยาและควบคุมให้คงที่จะช่วยรักษากลุ่มฟล็อกเหล่านั้นไม่ให้แตกสลาย ต่อมา Dague (1967) ศึกษาการเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนในถังปฏิกริยาโดยใช้กระบวนการบำบัดด้วยระบบเอเอสแบบแอนแอโรบิก (Anaerobic activated sludge) ที่มีการเติมน้ำเสียเข้าถังปฏิกริยาแบบที่ละเท แยกตะกอนและปล่อยน้ำทิ้งภายในถังเดียวกัน Dague และคณะ (1966, 1970) พบว่าสามารถกักตะกอนไว้ในระบบได้นานในขณะที่ใช้ระยะเวลาที่เก็บน้ำน้อยและเกิดกลุ่มฟล็อกจุลินทรีย์ที่ตกตะกอนดีภายในถัง เรียกว่า การสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ Hulshoff Pol และคณะ (1986) ศึกษาโครงสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน พบว่าเม็ดตะกอนมีข้อดีคือกลุ่มจุลินทรีย์จับตัวกันแน่น ไม่มีสารอินทรีย์อื่น ๆ เจือปน และตกตะกอนได้ดี นอกจากเม็ดตะกอนจุลินทรีย์กลุ่มเมทาโนเจน ยังมีการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ชนิดอื่น ๆ เช่น แบบที่เรียกกลุ่มสร้างกรด (Beefink, 1987) ไนโตรฟายอิงแบคทีเรีย (De Beer และคณะ, 1993) ดีไนโตรฟายอิงแบคทีเรีย (Van der Hoek, 1988) และแบคทีเรียแบบใช้ออกซิเจนประเภทเฮเทอโรโทรฟ (Aerobic heterotrophs) (Tijhuis และคณะ, 1994; Van Benthum และคณะ, 1996)

ต่อมา Morgenroth และคณะ (1997) จึงสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนเพื่อลดขนาดถังปฏิกริยา และเนื่องจากอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนเร็วกว่าจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนจึงใช้เวลาในการสร้างเม็ดตะกอนน้อยลงด้วย โดยศึกษาการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนจากกระบวนการบำบัดระบบเอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor) พบว่าสามารถสร้างเม็ดตะกอนได้ด้วยการลดระยะเวลาที่เก็บน้ำ (HRT) จาก 22.8 เหลือ 8 ชั่วโมง ใช้เวลาตกตะกอน 1 นาที สัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย 50% ช่วงการปล่อยน้ำทิ้งจะเป็นการคัดเอากลุ่มตะกอนเบาออกไปจากถังปฏิกริยา แต่เมื่อผ่านไป 130 วัน เม็ดตะกอนมีขนาด 2.35 มิลลิเมตรโดยเฉลี่ย และขนาดใหญ่ที่สุด 7 มิลลิเมตร คุณภาพของเม็ดตะกอนและประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี (Chemical Oxidation Demand) ลดจากร้อยละ 87 เหลือร้อยละ 56 จากนั้น Beun และคณะ (1999) ศึกษาการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนประเภท Heterotrophic จากกระบวนการบำบัดระบบเอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor) พบว่า เมื่อลดระยะเวลาที่เก็บน้ำ (HRT) สั้นลงจาก 8 เหลือ 6.75 ชั่วโมง ใช้เวลาตกตะกอน 2 นาที สัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย 50% และใช้ความเร็วในการเติมอากาศ 4.1 เซนติเมตรต่อวินาที สามารถเกิดเม็ดตะกอนได้ ซึ่งต่อมา

Chen และคณะ (2008) ศึกษาความเข้มข้นน้ำเสียและความเร็วเติมอากาศที่มีผลต่อการสร้างเม็ดตะกอน พบว่าการเติมอากาศด้วยความเร็วสูง 3.2 เซนติเมตรต่อวินาที เหมาะสมกับน้ำเสียความเข้มข้น 2,000-5,000 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร ในขณะที่ความเร็วการเติมอากาศ 2.4 เซนติเมตรต่อวินาทีเหมาะสมที่จะใช้กับน้ำเสียความเข้มข้นต่ำกว่า คือช่วง 2,000-3,000 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร เนื่องจากน้ำเสียความเข้มข้นสูงจะทำให้จุลินทรีย์ในเม็ดตะกอนเจริญเติบโตมากผิดปกติ และหากในระบบบำบัดมีแรงเฉือน (Hydraulic shear force) น้อยเกินไป จุลินทรีย์จะหลุดจากเม็ดตะกอนทำให้ความหนาแน่นจุลินทรีย์ของเม็ดตะกอนลดลงและแตกสลายไปในที่สุด

- Lettinga และคณะ (1980) ศึกษาเม็ดตะกอนจากกระบวนการบำบัดระบบยูเอเอสบีแบบไร้อากาศ (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) พบว่าอัตราภาระอินทรีย์สูง (15-40 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน) เกิดเม็ดตะกอนขนาด 1-3 มิลลิเมตร ซึ่งสามารถเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) และสร้างกรดในระบบบำบัดแบบไร้อากาศได้ ผู้วิจัยแนะนำให้ใช้น้ำเสียที่มีองค์ประกอบคาร์โบไฮเดรตจึงจะเกิดเม็ดตะกอน

- Wirtz และ Dague (1996) ศึกษาการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนจากกระบวนการบำบัดระบบเอเอสบีอาร์ (Anaerobic Sequencing Batch Reactor) โดยใช้ น้ำเสียความเข้มข้น 2,000 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร ใช้เวลาตกตะกอน 39 นาที สัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย 50% เกิดเม็ดตะกอนขนาด 0.5 มิลลิเมตรโดยเฉลี่ย

- Stephenson และคณะ (1999) ศึกษาผลการเติมออกซิเจนและการเพิ่มความเร็วน้ำขาเข้าในกระบวนการบำบัดระบบยูเอเอสบีแบบไร้อากาศ (Upflow Anaerobic Sludge Bed) พบว่าการเติมออกซิเจนจะเพิ่มความเข้มข้นของออกซิเจนละลายและเพิ่มค่าโออาร์พี (Oxidation reduction potential) โดยทั่วไปเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนจะถูกจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนเคลือบชั้นนอกกรอบ ๆ เม็ดตะกอน ซึ่งการเติมออกซิเจนตลอดการทดลอง ในช่วงแรกเกิดมีเทนจากจุลินทรีย์กลุ่มเมทาโนเจนที่ไม่ใช้อากาศ เพราะปริมาณออกซิเจนน้อยเกินไปกว่าจะแพร่ผ่านชั้นจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนเข้าไปถึงจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนที่อยู่ภายใน เมื่อเวลาผ่านไปมีเทนที่ผลิตได้จะค่อยๆ ลดปริมาณทำให้ขนาดเม็ดตะกอนเล็กลง การเพิ่มความเร็วน้ำขาเข้าทำให้เม็ดตะกอนส่วนหนึ่งที่มีขนาดเล็กหลุดออกจากระบบ จากการทดลองสรุปได้ว่าการเติมออกซิเจนไม่ส่งผลกระทบต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศ แต่เมื่อระดับออกซิเจนสูงมากเกินไปจะทำให้การสร้างมีเทนของจุลินทรีย์กลุ่มดังกล่าวแย่ง

- Tay และคณะ (2001) ศึกษาผลของแรงเฉือนน้ำต่อการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจน โดยงานวิจัยใช้ความเร็วอากาศในการสร้างแรงเฉือนน้ำในระบบบำบัดเอสปีอาร์ ที่ใช้เวลา 6 ชั่วโมงต่อรอบบำบัด ตกตะกอน 5 นาที และปล่อยน้ำทิ้งจากท่อกลางถึง งานวิจัยพบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วอากาศขึ้นจาก 0.3 เป็น 1.2 2.4 และ 3.6 เซนติเมตรต่อวินาที ปริมาณจุลินทรีย์ในระบบมีแนวโน้มมากขึ้นตามความเร็วอากาศที่เพิ่มขึ้น และที่ความเร็วอากาศ 3.6 เซนติเมตรต่อวินาที ปริมาณจุลินทรีย์ในระบบมีมากที่สุด (7,000 มิลลิกรัมต่อลิตร) และยังพบปริมาณสารอีพีเอสเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณจุลินทรีย์ด้วย ดังนั้นสรุปได้ว่า เมื่อเพิ่มความเร็วอากาศจะทำให้ปริมาณจุลินทรีย์ในระบบมากขึ้นและสร้างสารอีพีเอสเพื่อจับตัวกันแน่น ทำให้มีโอกาสเกิดเม็ดตะกอนมากขึ้น

- Tsuneda และคณะ (2003) ศึกษาการเกิดเม็ดตะกอนจากแบคทีเรียชนิดไนโตรฟายอิงจากกระบวนการบำบัดระบบเออูเอฟพีแบบใช้อากาศ (Aerobic Upflow Fluidized Bed) โดยใช้น้ำเสียอนินทรีย์ที่มีแอมโมเนียมไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ เริ่มพบเม็ดตะกอนไนโตรฟายอิงกลุ่มไนโตรโซโมนแนสขนาดเล็ก 364 ไมโครเมตรที่กั้นถึงปฏิกิริยาหลังจากเดินระบบ 100 วัน และการลดระยะเวลาเก็บน้ำ (HRT) จาก 5 วัน เหลือ 7.6 ชั่วโมง ภายใน 1 ปี ส่งผลให้เกิดประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนีย 98% ตลอดการทดลอง ซึ่งแสดงถึงปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันที่มีประสิทธิภาพ

- Qin และคณะ (2004) ศึกษาเวลาตกตะกอนที่เหมาะสมต่อการเกิดเม็ดตะกอนในระบบบำบัดแบบเอสปีอาร์ (Sequencing Batch Reactor) โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีโซเดียมอะซิเตทเป็นองค์ประกอบหลัก ความเข้มข้นน้ำเสียเข้าระบบ 1,000 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร พบว่าเวลาตกตะกอน 5 นาที ตะกอนในระบบบำบัดเป็นเม็ดตะกอนทั้งหมด เม็ดตะกอนขนาดใหญ่ (2 มิลลิเมตร) มีลักษณะเป็นเม็ดแน่น พื้นผิวตะกอนเรียบ ไม่มีเส้นใย เทียบกับเม็ดตะกอนที่เกิดจากเวลาตกตะกอน 10 15 และ 20 นาที พบว่าเม็ดตะกอนพื้นผิวขรุขระ รูปร่างไม่เป็นทรงกลม และมีเส้นใย และสรุปการทดลองได้ว่า เมื่อลดเวลาตกตะกอนลงจาก 20 15 10 และ 5 นาที ตามลำดับ ปริมาณเม็ดตะกอนเพิ่มมากขึ้น ขนาดเม็ดตะกอนใหญ่ขึ้น และเม็ดตะกอนมีรูปร่างเป็นทรงกลมจับตัวแน่นมากขึ้น

- de Kreuk และ van Loosdrecht (2006) ประสบความสำเร็จในการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ประเภทใช้อากาศจากน้ำเสียความเข้มข้น 369 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร ด้วยกระบวนการบำบัดระบบเอสปีอาร์ (Sequencing Batch Reactor) โดยใช้เวลาตกตะกอนสั้น 6-10 นาที (ลดจากเวลาตกตะกอนตอนเริ่มระบบ 20-30 นาที) และใช้ความเร็วอากาศ 2.5 เซนติเมตรต่อวินาที

- Zheng และคณะ (2006) ประสบความสำเร็จในการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนจากน้ำเสียสังเคราะห์ซูโครสความเข้มข้น 2,000 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร โดยใช้ระบบบำบัดเอสปีอาร์ (Sequencing Batch Reactor) ที่ใช้เวลา 4 ชั่วโมงต่อรอบบำบัด ตกตะกอน 5 นาที ความเร็วอากาศ 2 เซนติเมตรต่อวินาที และสัดส่วนทดแทนน้ำเสีย 50% พบว่าตะกอนเริ่มรวมเป็นเม็ด ในวันที่ 40 และเกิดเม็ดตะกอนสีดำขนาดใหญ่ 10 มิลลิเมตร ในวันที่ 70 ของการเดินระบบ

- Wang และคณะ (2006) ศึกษาาระดับท่อน้ำทิ้งซึ่งสัมพันธ์กับสัดส่วนทดแทนน้ำเสียที่มีผลต่อการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจน โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์จากโซเดียมอะซิเตท ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร ใช้เวลา 4 ชั่วโมงต่อรอบบำบัด เวลาตกตะกอน 5 นาที ความเร็วอากาศ 2.5 เซนติเมตรต่อวินาที สัดส่วนทดแทนน้ำเสีย 20 40 60 และ 80% โดยกำหนดสัดส่วนทดแทนน้ำเสียจากระดับท่อน้ำทิ้งที่แตกต่างกัน จากการทดลองพบว่าสัดส่วนทดแทนน้ำเสีย 60-80% ตะกอนมากกว่าร้อยละ 75 รวมตัวเป็นเม็ดตะกอน จึงกล่าวได้ว่าท่อน้ำทิ้งที่มีระดับต่ำช่วยคัดตะกอนเบาออกจากระบบ ดังนั้นตะกอนที่เหลือในระบบจึงเป็นตะกอนที่มีน้ำหนักมาก มีสมบัติการตกตะกอนที่ดี จึงไม่หลุดออกไปพร้อมน้ำทิ้ง และมีโอกาสเกิดเป็นเม็ดตะกอนที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

- Li และคณะ (2008) ศึกษาการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนจากกระบวนการบำบัดระบบเอสปีอาร์ (Sequencing Batch Reactor) ที่อัตราภาระอินทรีย์แตกต่างกัน โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์จากกลูโคส ระบบบำบัดใช้เวลา 4 ชั่วโมงต่อรอบบำบัด ตกตะกอน 5 นาที ความเร็วอากาศ 2.4 เซนติเมตรต่อวินาที และสัดส่วนทดแทนน้ำเสีย 50% พบว่าเมื่อใช้น้ำเสียซีโอดีสูง (1500 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร) จะเกิดเม็ดตะกอนขนาดใหญ่ (4-5 มิลลิเมตร) แต่จับตัวกันหลวม ความหลากหลายจุลินทรีย์ต่ำกว่าเม็ดตะกอนที่เกิดจากน้ำเสียซีโอดีต่ำ (500 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร) ที่มีเม็ดตะกอนขนาดเล็ก (2 มิลลิเมตร) และจับตัวกันอย่างแน่นหนา

- Chen และคณะ (2008) ศึกษาความเร็วอากาศที่มีผลต่อการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจน งานวิจัยใช้น้ำเสียสังเคราะห์จากโซเดียมอะซิเตท ความเข้มข้น 2,000 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร และใช้ระบบบำบัดเอสปีอาร์ ที่มีเวลา 4 ชั่วโมงต่อรอบบำบัด ตกตะกอน 5 นาที และสัดส่วนทดแทนน้ำเสีย 50% พบว่าเม็ดตะกอนที่เกิดจากการเติมอากาศด้วยความเร็ว 3.2 เซนติเมตรต่อวินาที มีโครงสร้างเม็ดตะกอนที่หนาแน่น (Density) และแข็งแรง (Strength) มากกว่าเม็ดตะกอนที่ใช้ความเร็ว 2.4 เซนติเมตรต่อวินาทีในขั้นตอนการเติมอากาศ

- Yang และคณะ (2008) ศึกษาการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนในระบบบำบัด เอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor) โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์กลูโคส ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร ใช้เวลา 4 ชั่วโมงต่อรอบบำบัด ตกตะกอน 2 นาที ความเร็วอากาศ 2.4 เซนติเมตรต่อวินาที และปล่อยน้ำทิ้งที่ท่อระดับกลางถึง พบว่าวันที่ 70 ของการเดินระบบ เกิดเม็ดตะกอนขนาด 4.8 มิลลิเมตร

- Ni และคณะ (2009) ศึกษาการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนจากกระบวนการ บำบัด ระบบ เอส บี อาร์ (Sequencing Batch Reactor) โดยใช้น้ำเสีย ความเข้มข้น น้อยกว่า 200 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร พบว่าสัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย 50-70% และการลดเวลา ตกตะกอนสั้นลง (จาก 30 เหลือ 15 นาที) เป็นปัจจัยสำคัญในการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ขนาด 0.2-0.8 มิลลิเมตรที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย

- Adav และคณะ (2010) ศึกษาการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จากน้ำเสียสังเคราะห์ที่มี อะซิเตทเป็นองค์ประกอบหลัก ใช้เวลา 4 ชั่วโมงต่อรอบบำบัด ตกตะกอน 5 นาที ความเร็วอากาศ 3.4 เซนติเมตรต่อวินาที สัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย 50% พบว่าเกิดเม็ดตะกอนขนาด 4.1 มิลลิเมตร และน้ำเสียเข้าระบบที่มีความเข้มข้น 2,000 ซีโอดีต่อลิตร มีค่า Auto-aggregation index สูงที่สุด หมายความว่าจุลินทรีย์ในระบบมีความสามารถในการรวมตัวกันด้วยตัวเองจากการสร้างสารอีพีเอส เพื่อยึดจับกันให้แน่นและกลายเป็นเม็ดตะกอนในที่สุด ดังนั้นจากงานวิจัยจึงสรุปว่าน้ำเสีย ความเข้มข้น 2,000 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร มีโอกาสเกิดเม็ดตะกอนจากการรวมตัวเองกันของ จุลินทรีย์มากที่สุด

- Bindhu และคณะ (2013) ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียด้วยเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ แบบใช้ออกซิเจนโดยใช้ถังเอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor) 3 ถังในการทดลอง โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์จากโซเดียมอะซิเตท ที่มีความเข้มข้นแตกต่างกันในแต่ละถัง คือ 1,000 2,000 และ 3,000 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร เดินระบบ 4 ชั่วโมงต่อรอบการบำบัด โดยใช้เวลาดตกตะกอน 5 นาที และสัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย 50% จากการทดลองเมื่อน้ำเสียเข้าระบบมีความเข้มข้นซีโอดีสูงขึ้น พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (มากกว่าร้อยละ 90) และปริมาณจุลินทรีย์ในระบบมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน (4,000-10,000 มิลลิกรัมเอ็มแอลเอสเอสต่อลิตร)

- Niu และคณะ (2013) ศึกษาผลการเติมสารอนินทรีย์ตัวกลาง 3 ชนิด คือ เฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl_3) โพลีลูมินัมคลอไรด์ (PAC) และ โพลีลูมินัมคลอไรด์คุณภาพสูง (HPAC) เพื่อรวมตะกอนขนาดเล็กในน้ำเสียให้เป็นกลุ่มฟล็อก พบว่าเกิดตะกอนได้ไวจากสมบัติทางเคมีของสารตัวกลาง กลุ่มฟล็อกที่เกิดขึ้นมีขนาดใหญ่และรวมกันหนาแน่นมากขึ้นเมื่อเทียบกับการไม่เติมสารตัวกลาง

- Liu และคณะ (2014) ศึกษาประสิทธิภาพการเติมสารอนินทรีย์ตัวกลางโพลีลูมินัมคลอไรด์ (PAC) ในการสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนจากกระบวนการบำบัดระบบเอสปีอาร์ (Sequencing Batch Reactor) เทียบกับการไม่เติมสารตัวกลาง พบว่าทำให้ประสิทธิภาพของระบบดีขึ้น ลดเวลาในการเกิดเม็ดตะกอนจาก 17 วันเป็น 7 วัน เม็ดตะกอนที่ได้มีลักษณะเป็นเม็ดแน่น แข็งแรง มีองค์ประกอบของสารอีพีเอส (Extracellular Polysaccharide, EPS) สูง (44 มิลลิกรัมต่อกรัม MLSS) เทียบกับตะกอนหัวเชื้อเริ่มต้น (16.8 มิลลิกรัมต่อกรัม MLSS) และมีสมบัติในการตกตะกอนดี

- Jungle และคณะ (2014) ศึกษาการใช้เม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนในการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ถังเอสปีอาร์ (Sequencing Batch Reactor) ใช้น้ำเสียสังเคราะห์จากอะซิเตทเข้มข้น 200 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร ใช้เวลา 3 ชั่วโมงต่อรอบบำบัด ตกตะกอน 10 นาที ความเร็วเติมอากาศ 1.05 เซนติเมตรต่อวินาที และสัดส่วนทดแทนน้ำเสีย 50% งานวิจัยประสบความสำเร็จในการสร้างเม็ดตะกอน พบว่าวันที่ 200 ของการเดินระบบ เม็ดตะกอนมีขนาด 4 มิลลิเมตร

- Derlon และคณะ (2016) ศึกษาการเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนจากกระบวนการบำบัดระบบเอสปีอาร์ (Sequencing Batch Reactor) โดยใช้น้ำเสียชุมชนความเข้มข้นต่ำที่ความเร็วน้ำขาเข้าถึงปฏิกิริยาสูงและต่ำ พบว่าเมื่อใช้ความเร็วน้ำขาเข้าต่ำ (1 เมตร/ชั่วโมง) จะไม่เกิดเม็ดตะกอนขนาดเล็ก (<0.1 มิลลิเมตร) ที่ต้องสูญเสียไปกับน้ำทิ้ง น้ำทิ้งมีคุณภาพดี นอกจากนั้นพบว่าเม็ดตะกอนมีจุลินทรีย์ 2 กลุ่ม กลุ่มที่ใช้ออกซิเจนอยู่ที่ผิว และกลุ่มที่ไม่ใช้ออกซิเจนอยู่ที่แกนกลางของเม็ดตะกอน โดยไม่เกิดสภาวะเอสเอ็นดี (Simultaneous Nitrification and Denitrification) เพราะซีโอดีเข้าไปไม่ถึงแกนกลางของเม็ดตะกอน

2.4.1 สรุปองค์ความรู้ที่ได้จากการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

รูปแบบของถังปฏิบัติการ

การสร้างเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้อากาศจากถังเอสปีอาร์ ซึ่งเป็นถังลักษณะทรงกระบอกสูง เติมน้ำแบบที่ละเท เติมน้ำและเติมอากาศและเติมตะกอนภายในถังเดียว โดยเติมน้ำจากด้านล่างของถังเพื่อสร้างแรงเฉือนน้ำที่กระตุ้นให้กลุ่มจุลินทรีย์สร้างสารอีพีเอส ซึ่งสารอีพีเอสจะทำให้ตะกอนเบาหรือฟล็อกรวมตัวกันจนเป็นเม็ดตะกอนแน่น จากนั้นจึงหยุดเติมน้ำเพื่อปล่อยให้ตะกอนและปล่อยน้ำทิ้งโดยอาศัยความสูงของระดับท่อน้ำทิ้งหรือสัดส่วนทดแทนน้ำเสียที่เหมาะสมเพื่อคัดตะกอนเบาออกจากระบบ ข้อดีของเม็ดตะกอนได้แก่ ความหนาแน่นจุลินทรีย์มาก ตกตะกอนได้ดีทำให้เม็ดตะกอนอยู่ในระบบได้นานและไม่หลุดออกจากระบบไปพร้อมน้ำทิ้ง

ปัจจัยที่กระตุ้นให้เกิดการรวมตัวกันของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจน

- ความเข้มข้นน้ำเสีย

ความเข้มข้นน้ำเสียส่งผลต่อขนาดเม็ดตะกอน คือความเข้มข้นน้ำเสียมากจะเกิดเม็ดตะกอนขนาดใหญ่ขึ้นแต่ความแข็งแรงของเม็ดตะกอนลดลง จึงมีโอกาสที่เม็ดตะกอนจะแตกสลายได้ง่าย ซึ่งความเข้มข้นน้ำเสียที่เหมาะสมต่อการรวมตัวกันเองของกลุ่มจุลินทรีย์คือ 2,000 มิลลิกรัมซีไอดีต่อลิตร โดยน้ำเสียความเข้มข้นต่ำกว่า 1,000 มิลลิกรัมซีไอดีต่อลิตร จำเป็นต้องใช้เวลาเดินระบบนานกว่า 1 ปีในการสร้างเม็ดตะกอน และหากน้ำเสียความเข้มข้นมากกว่า 5,000 มิลลิกรัมซีไอดีต่อลิตร จะส่งผลให้จุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียไม่ทันและตาย เม็ดตะกอนจึงแตกสลายเมื่อเวลาผ่านไป

- รอบการบำบัด

รอบการบำบัดสัมพันธ์กับระยะเวลาที่เก็บน้ำ ซึ่งส่งผลต่อการรวมตัวกันของจุลินทรีย์และลักษณะของตะกอนที่เกิดขึ้นในระบบ หากระยะเวลาที่เก็บน้ำเสียน้อยกว่า 1.5 ชั่วโมงต่อรอบตะกอนส่วนมากจะเป็นตะกอนเบาเนื่องจากจุลินทรีย์ส่วนมากเป็นเส้นใยฟิลาเมนตัส แต่ถ้าระยะเวลาที่เก็บน้ำเสียมากเกินไปจะทำให้จุลินทรีย์ตาย โดยทั่วไปนิยมใช้ระยะเวลาที่เก็บน้ำหรือรอบการบำบัด 4 ชั่วโมงต่อรอบ

- ความเร็วอากาศ

ขั้นตอนการเติมอากาศจะสร้างแรงเฉือนน้ำ โดยมากใช้ความเร็วในการเติมอากาศช่วง 2-4 เซนติเมตรต่อวินาที เพื่อกระตุ้นจุลินทรีย์ในการสร้างสารอีพีเอสให้รวมตัวกันเป็นเม็ดตะกอนแน่น และพบว่าสำหรับน้ำเสียเข้าระบบที่มีความเข้มข้น 2,000 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร ใช้ความเร็วอากาศในช่วง 3-4 เซนติเมตรต่อวินาที เกิดเม็ดตะกอนขนาด 2-4 มิลลิเมตร

- เวลาตกตะกอน

เวลาตกตะกอนสัมพันธ์กับปริมาณเม็ดตะกอนในระบบ เมื่อเวลาตกตะกอนน้อย ตะกอนเบา จะออกไปพร้อมน้ำทิ้ง ส่วนตะกอนที่มีความหนาแน่นมากจะยังอยู่ในระบบและมีขนาดใหญ่ขึ้น ดังนั้น เม็ดตะกอนที่เกิดในระบบจึงมีขนาดใหญ่และมีปริมาณมากกว่าเมื่อเทียบกับการใช้เวลาตกตะกอนที่เพิ่มมากขึ้น โดยทั่วไปใช้เวลาตกตะกอน 5-15 นาที จากงานวิจัยพบว่า 5 นาทีเป็นเวลาที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากปริมาณตะกอนทั้งหมดในระบบกลายเป็นเม็ดตะกอน

- สัดส่วนทดแทนน้ำเสีย

สัดส่วนทดแทนน้ำเสียสัมพันธ์กับระดับท่อน้ำทิ้ง และเป็นอีกปัจจัยที่ช่วยคัดตะกอนเบา จากงานวิจัยพบว่าท่อน้ำทิ้งที่อยู่ต่ำใกล้กันถึง (VER 60-80%) จะมีปริมาณเม็ดตะกอนในระบบมากกว่า 70% โดยทั่วไปใช้ระดับท่อน้ำทิ้งกลางถึง (VER 50%) เนื่องจากป้องกันตะกอนหลุดออกจากระบบ มากเกินไป และง่ายต่อการเก็บตัวอย่างน้ำเพื่อนำไปวิเคราะห์

ตารางที่ 2.3 สรุปองค์ความรู้ที่ได้จากการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัย	น้ำเสีย		รายละเอียดระบบบำบัดที่ใช้ในงานวิจัย	รอบบำบัด (ชม./รอบ)	ความเร็วอากาศ (ชม./วินาที)	เวลาตกตะกอน (นาที)	สัดส่วนทดแทนน้ำเสีย (VER)	ขนาดเม็ดตะกอน (มม.)
	ชนิด	ความเข้มข้น (มก.ซีไอดี/ล.)						
Morgenroth 1997	น้ำเสียสังเคราะห์ (ไมลัส)		SBR H 1.0m D 0.2m HRT 8 hr.	4	-	1	50%	(วันที่ 70) 2.35-7
Beun 1999	น้ำเสียสังเคราะห์ (เอทานอล)		SBR H 1.5m D 0.056m HRT 6.75 hr.	3	4.1	2	50%	3.3
Tay 2001	น้ำเสียสังเคราะห์ (CH ₃ COONa)	2,000	SBR H 0.8m D 0.06m working volume 2.3L	6	3.6	5	ท่อกลางถึง	-
Tsuneda 2003	น้ำเสียสังเคราะห์แอมโมเนียมสูง	NH ₄ ⁺ -N 500 g/m ³	Aerobic Upflow Fluidized Bed H 3.2m D 0.05m HRT 7.6 hr.	Continuous flow	0.85	-	-	เม็ดตะกอนไนตริฟายอิง 0.346

ตารางที่ 2.3 สรุปองค์ความรู้ที่ได้จากการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัย	น้ำเสีย		รายละเอียดระบบบำบัดที่ใช้ในงานวิจัย	รอบบำบัด (ชม./รอบ)	ความเร็วอากาศ (ชม./วินาที)	เวลาตกตะกอน (นาที)	สัดส่วนทดแทนน้ำเสีย (VER)	ขนาดเม็ดตะกอน (มม.)
	ชนิด	ความเข้มข้น (มก.ซีโอดี/ล.)						
Qin 2004	น้ำเสียสังเคราะห์ (CH ₃ COONa)	1,000	SBR H 1.27m D 0.05m working volume 2.5L	4	2.5	5	พอ กลางถึง	0.35-2
de Kreuk และ van Loosdrecht 2006	น้ำเสียชุมชน	369	Sequencing Batch Airlift Reactor HRT 5.6 hr.	2	2.5	6-10	พอ กลางถึง	1
Zheng 2006	น้ำเสียสังเคราะห์ (ซูโครส)	2,000	SBR H 1.1m D 0.07m working volume 4L	4	4.6	5	50%	(วันที่ 70) 10
Wang 2006	น้ำเสียสังเคราะห์ (CH ₃ COONa)	1,000	SBR D 0.05m working volume 1.96L	4	2.5	5	60-80%	2.21-3.67
Li 2008	น้ำเสียสังเคราะห์ (กลูโคส)	1,500	SBR D 0.06m H 0.8m working volume 2.4L	4	2.4	5	50%	4-5

ตารางที่ 2.3 สรุปองค์ความรู้ที่ได้จากการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัย	น้ำเสีย		รายละเอียดระบบบำบัดที่ใช้ในงานวิจัย	รอบบำบัด (ชม./รอบ)	ความเร็วอากาศ (ชม./วินาที)	เวลาตกตะกอน (นาที)	สัดส่วนทดแทนน้ำเสีย (VER)	ขนาดเม็ดตะกอน (มม.)
	ชนิด	ความเข้มข้น (มก.ซีไอดี/ล.)						
Chen 2008	น้ำเสียสังเคราะห์ (CH ₃ COONa)	2,000	SBR D 0.052m working volume 1.1L	4	3.2	5	50%	0.34
Yang 2008	น้ำเสียสังเคราะห์ (กลูโคส)	1,000	SBR H 0.8m D 0.06m working volume 2.4L	4	2.4	2	ท่อกลางถึง	4.8
Ni 2009	น้ำเสียชุมชน	< 200	SBR H 6m D 0.5m working volume 1000L HRT 6-8 hr.	3	-	15-30	70%	0.2-0.8
Adav 2010	น้ำเสียสังเคราะห์ (CH ₃ COONa)	2,000	SBR H 1.2m D 0.06m working volume 2L	4	3.4	5	50%	4.1
Bindhu 2013	น้ำเสียสังเคราะห์ (CH ₃ COONa)	2,000	SBR H 0.603m D 0.065m working volume 9L	4	3	5	50%	2.4

ตารางที่ 2.3 สรุปองค์ความรู้ที่ได้จากการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัย	น้ำเสีย		รายละเอียดระบบบำบัดที่ใช้ในงานวิจัย	รอบบำบัด (ชม./รอบ)	ความเร็วอากาศ (ชม./วินาที)	เวลาตกตะกอน (นาที)	สัดส่วนทดแทนน้ำเสีย (VER)	ขนาดเม็ดตะกอน (มม.)
	ชนิด	ความเข้มข้น (มก.ซีโอดี/ล.)						
Liu 2014	น้ำเสีย สังเคราะห์ (กลูโคส)	1,000	SBR H 1.5m D 0.05m working volume 2L	6	1.7	5	50%	2.7
Jungle 2014	น้ำเสีย สังเคราะห์ (CH ₃ COONa)	160-200	SBR H 1.9m D 0.95m working volume 9L	3	1.05	10	50%	(วันที่ 200) 4
Derton 2016	น้ำเสียชุมชน	304	SBR H 4m D 0.25m working volume 190L	3	-		50%	0.25-0.63
งานวิจัยนี้	น้ำเสีย สังเคราะห์ (ซูโครส)	2,000	SBR H 1.5m D 0.1m working volume 8L	4	3.5	5	50%	-

บทที่ 3

แผนการทดลองและการดำเนินงานวิจัย

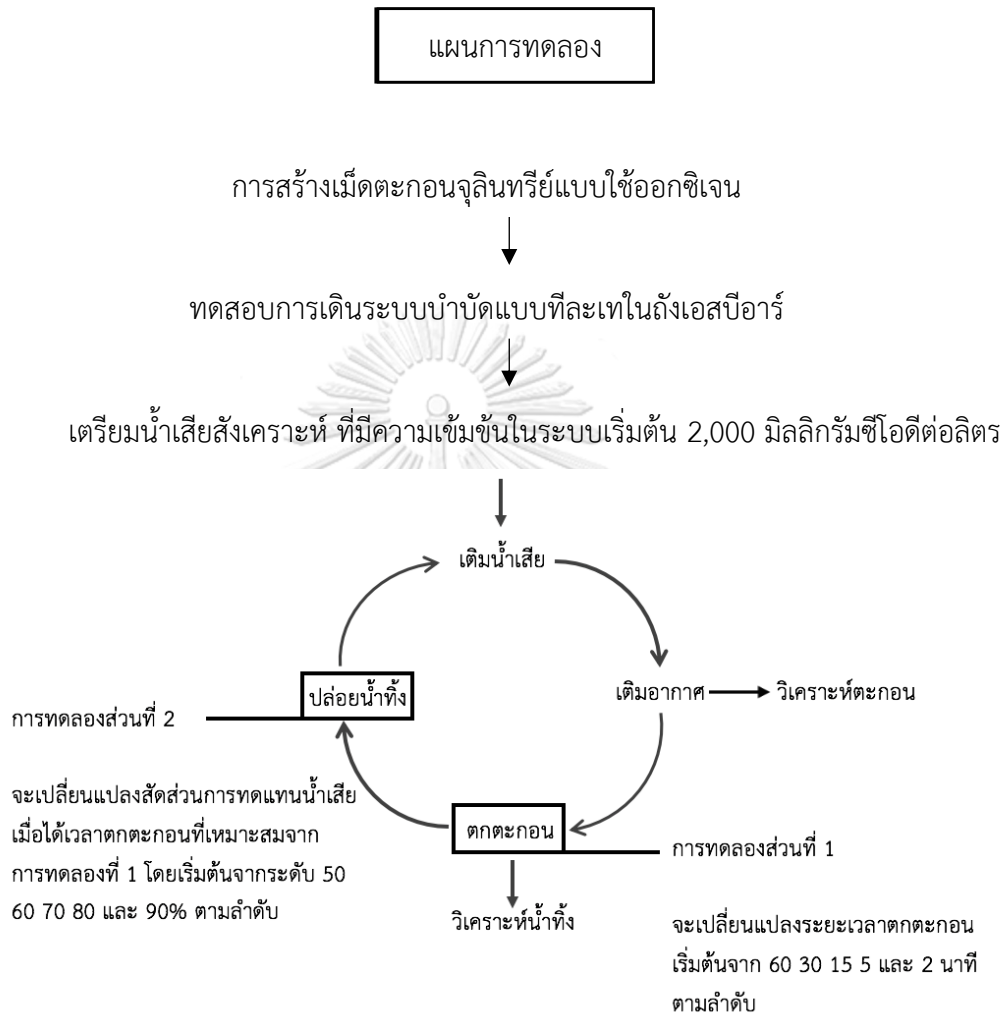
3.1 แผนการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ ดำเนินการที่อุณหภูมิตั้งที่ ๓๐ องศาเซลเซียส ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยการทดลองแบ่งเป็น 2 ส่วน ดังนี้

การทดลองส่วนที่ 1 การศึกษาผลของเวลาตกตะกอนต่อการสร้างเม็ดตะกอน ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ปริมาตร 8 ลิตร ที่มีน้ำตาลทรายเป็นแหล่งคาร์บอน ความเข้มข้นในถังปฏิกรณ์ 2,000 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร เติมน้ำในระบบแบบที่ละเท (Batch process) ในถังเอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor) เติมน้ำในระบบเป็นรอบ ซึ่งแบ่งเป็นช่วงเวลาเติมน้ำเสียประมาณ 5 นาที เติมน้ำอากาศจนค่าซีโอดีลดลงจนคงที่ ทดลองระยะเวลาตกตะกอน 60 30 15 5 และ 2 นาที และปล่อยน้ำทิ้งประมาณ 5 นาที โดยมีสัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย 50% ภายใต้สภาวะที่มีค่าพีเอช (pH) 6.5 - 7.5 ควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำให้มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์คือ ค่าซีโอดี (COD) ของแข็งแขวนลอย (MLSS) ดัชนีปริมาตรตะกอน (SVI) ปริมาตรการตกตะกอนที่ 30 นาที (SV_{30}) ขนาดเม็ดตะกอน (Sludge size) ความหนาแน่นของตะกอนจุลินทรีย์ (Biomass density) และลักษณะทางกายภาพของเม็ดตะกอน (Physical characteristics of sludge)

การทดลองส่วนที่ 2 การศึกษาผลของสัดส่วนการทดแทนน้ำเสียที่เวลาตกตะกอนที่เหมาะสมต่อการสร้างเม็ดตะกอน ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ปริมาตร 8 ลิตร ที่มีน้ำตาลทรายเป็นแหล่งคาร์บอน ความเข้มข้นในถังปฏิกรณ์ 2,000 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร เติมน้ำในระบบแบบที่ละเท (Batch process) ในถังเอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor) เติมน้ำในระบบเป็นรอบ ซึ่งแบ่งเป็นช่วงเวลาเติมน้ำเสียประมาณ 5 นาที โดยใช้ระยะเวลาเติมน้ำอากาศและตกตะกอนที่เหมาะสมจากการทดลองส่วนที่ 1 และปล่อยน้ำทิ้งประมาณ 5 นาที ทดลองสัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย 50 60 70 80 และ 90% ภายใต้สภาวะที่มีค่าพีเอช (pH) 6.5 - 7.5 ควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำให้มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์คือ ค่าซีโอดี (COD) ของแข็งแขวนลอย (MLSS) ดัชนีปริมาตรตะกอน (SVI) ปริมาตรการตกตะกอนที่ 30 นาที (SV_{30}) ขนาดเม็ดตะกอน (Sludge size) ความหนาแน่นของ

ตะกอนจุลินทรีย์ (Biomass density) และลักษณะทางกายภาพของเมืตตะกอน (Physical properties of sludge)



รูปที่ 3.1 แผนการทดลอง

3.2 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

3.2.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์น้ำเสีย

3.2.1.1 ซีโอดี

- หลอดแก้วพร้อมฝาปิด
- ตู้อบความร้อนที่มีเครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Drying oven)

- น้ำย่าย่อยสลายสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต (Potassium dichromate digestion solution) ความเข้มข้น 0.0167 โมลาร์
- กรดซัลฟิวริก รีเอเจนต์ (Sulfuric acid reagent)
- เฟอโรอิน อินดิเคเตอร์ (Ferroun indicator)
- สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลทและ/หรือสารละลายมาตรฐานกลูโคส (Potassium hydrogen phthalate standard solution/Glucose standard solution)

3.2.1.2 พีเอช

- เครื่องวัดพีเอช (pH meter)

3.2.1.3 ของแข็งแขวนลอย

- กระดาษกรองใยแก้ว (GF/C รูพรุน 1.2 ไมครอน)
- ชุดกรวยกรองบุชเนอร์ (Buchner funnel)
- เครื่องดูดสูญญากาศ (Suction pump)
- จานระเหย (Evaporation dish)
- คีมคีบ (Forcept)
- ตู้อบความร้อนที่มีเครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Drying oven)
- โถดูดความชื้น (Desiccator)
- เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Balance)
- น้ำกลั่น (Distilled water)

3.2.1.4 ปริมาตรการตกตะกอนที่ 30 นาที

- กรวยอิมฮอฟฟ์ (Imhoff cone) หรือกระบอกตวง 1,000 มิลลิลิตร

3.2.1.5 ดัชนีปริมาตรตะกอน

- กรวยอิมฮอฟฟ์ (Imhoff cone) หรือกระบอกตวง 1,000 มิลลิลิตร

3.2.1.6 ขนาดเมล็ดตะกอน

- จานเพาะเชื้อแก้ว (Petri dish)
- กระดาษกราฟขนาดช่อง 1x1 มิลลิเมตร
- ตะแกรงกรอง ขนาดรูกรอง 0.5x0.5 มิลลิเมตร

3.2.1.7 ความหนาแน่นของตะกอนจุลินทรีย์

- กระดาษกรองใยแก้ว (GF/C รูปรูน 1.2 ไมครอน)
- น้ำกลั่น (Distilled water)
- ชุดกรวยกรองบุชเนอร์ (Buchner funnel)
- ตู้อบความร้อนที่มีเครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Drying oven)

3.2.1.8 ลักษณะทางกายภาพของเม็ดตะกอน

- จานเพาะเชื้อแก้ว (Petri dish)
- กระดาษกราฟขนาดช่อง 1x1 มิลลิเมตร
- น้ำปราศจากไอออน (Demineralization water)
- กระดาษกรองใยแก้ว (GF/C รูปรูน 1.2 ไมครอน)

3.2.2 น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลอง

น้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลองปริมาตร 8 ลิตร ที่มีน้ำตาลทรายเป็นแหล่งคาร์บอน ความเข้มข้น 2,000 มิลลิกรัมซีไอต่อลิตรและแร่ธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย 1 มิลลิกรัมต่อลิตรน้ำเสียสังเคราะห์ (Zheng, 2006) ดังแสดงตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สารอาหารจำเป็นที่เป็นส่วนประกอบของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลอง

ส่วนประกอบ น้ำเสียสังเคราะห์	ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/ลิตร)	ส่วนประกอบ แร่ธาตุที่จำเป็น	ความเข้มข้น (มิลลิกรัม/ลิตร)
น้ำตาลทราย	1,780	H ₃ BO ₃	0.05
NH ₄ Cl	380	ZnCl ₂	0.05
KH ₂ PO ₄	30	CuCl ₂	0.03
K ₂ HPO ₄	30	MnSO ₄ .H ₂ O	0.05
CaCl ₂ .2H ₂ O	25	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ .4H ₂ O	0.05
MgSO ₄ .7H ₂ O	10	AlCl ₃	0.05
FeSO ₄ .7H ₂ O	20	CoCl ₂ .6H ₂ O	0.05
		NiCl ₂	0.05

การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ในงานทดลองส่วนที่ 1 : ศึกษาผลของเวลาดกตะกอน

เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ดังแสดงตามตาราง 3.2 เพื่อให้ได้ความเข้มข้นเริ่มต้นในถังปฏิกริยา มีค่า 2,000 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร สำหรับรอบการบำบัดแรกเมื่อเริ่มระบบ ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ ปริมาตร 8 ลิตร และในขั้นตอนการทิ้งน้ำใช้สัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย 50% จึงสูญเสียน้ำในระบบ เป็นปริมาตร 4 ลิตร จึงต้องเติมน้ำเสียสังเคราะห์ใหม่ปริมาตร 4 ลิตร เพื่อให้ได้ปริมาตรรวมในระบบ ก่อนเริ่มรอบการบำบัดเท่ากับ 8 ลิตร

การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ในงานทดลองส่วนที่ 2 : ศึกษาผลของสัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย

เริ่มต้นระบบบำบัดเช่นเดียวกับการทดลองส่วนที่ 1 โดยมีจุดมุ่งหมายคือความเข้มข้นเริ่มต้น ในถังปฏิกริยาเท่ากับ 2,000 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร และเพิ่มเติมคือในการทดลองนี้มีการเปลี่ยนแปลง ระดับท่อน้ำทิ้งเนื่องจากความสัมพันธ์กันของสัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย ส่งผลให้ปริมาตรน้ำที่เติม เพิ่มขึ้นตามลำดับ ดังแสดงตามตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนของน้ำเสียสังเคราะห์ระหว่างน้ำและน้ำตาลทราย

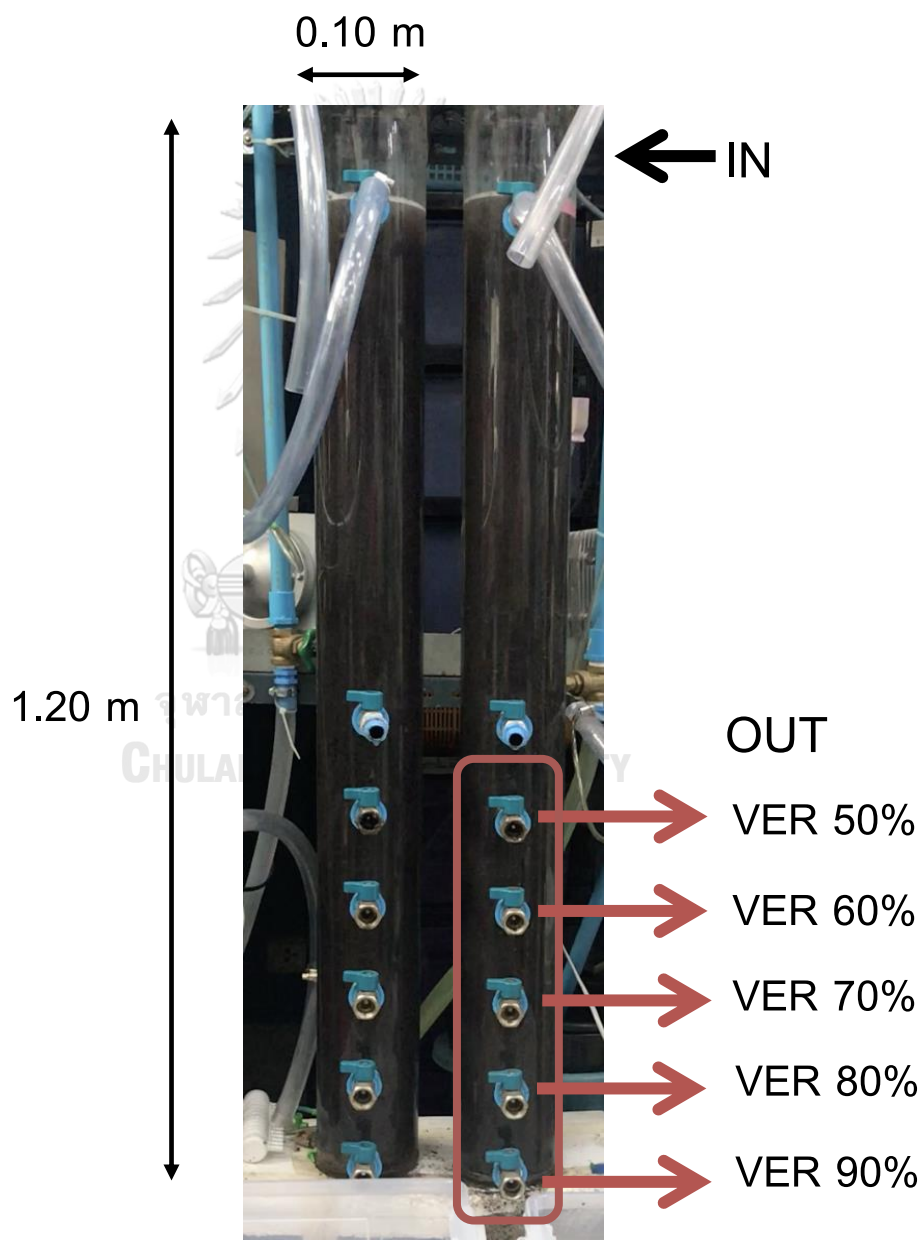
การทดลองส่วนที่ 1		การทดลองส่วนที่ 2		
น้ำ (ลิตร)	น้ำตาลทราย (กรัม)	VER	น้ำ (ลิตร)	น้ำตาลทราย (กรัม)
8	14.24	50%	8	14.28
4	14.24	50%	4	14.28
		60%	4.8	14.28
		70%	5.6	14.28
		80%	6.4	14.28
		90%	7.2	14.28

3.2.3 หัวเชื้อจุลินทรีย์

นำหัวเชื้อจุลินทรีย์จากโรงควบคุมคุณภาพน้ำชองนนทรีมาวัดค่า MLSS เริ่มต้น ต่อไปจึง นำมาเลี้ยงด้วยสูตรอาหารชนิดเดียวกับน้ำเสียสังเคราะห์ดังตารางที่ 3.1 เติมาอากาศและเปลี่ยนอาหาร ทุกวันโดยไม่ทิ้งตะกอนออก เป็นเวลา 30 วัน จนมีค่า MLSS 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงนำมาใช้งาน กับระบบบำบัด

3.2.4 ถังปฏิกรณ์

ถังเอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor : SBR) ทำจากวัสดุอะคริลิกเป็นทรงกระบอกสูง 1.20 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางในถัง 0.10 เมตร ปริมาณน้ำเสียที่ระบบทำงาน 8 ลิตร เต็มอากาศ และตกตะกอนในถังเดียวกัน และปล่อยน้ำทิ้งจากท่อด้านข้างถึงที่ติดตั้งการทิ้งน้ำต่าง ๆ ดังรูป 3.2 โดยที่ VER 50% มีความสูงจากก้นถังปฏิกรณ์ถึงท้องท่อทางออกน้ำทิ้งเป็นระยะ 0.50 เมตร และที่ระดับ VER ต่าง ๆ มีระยะห่างกัน 0.10 เมตร

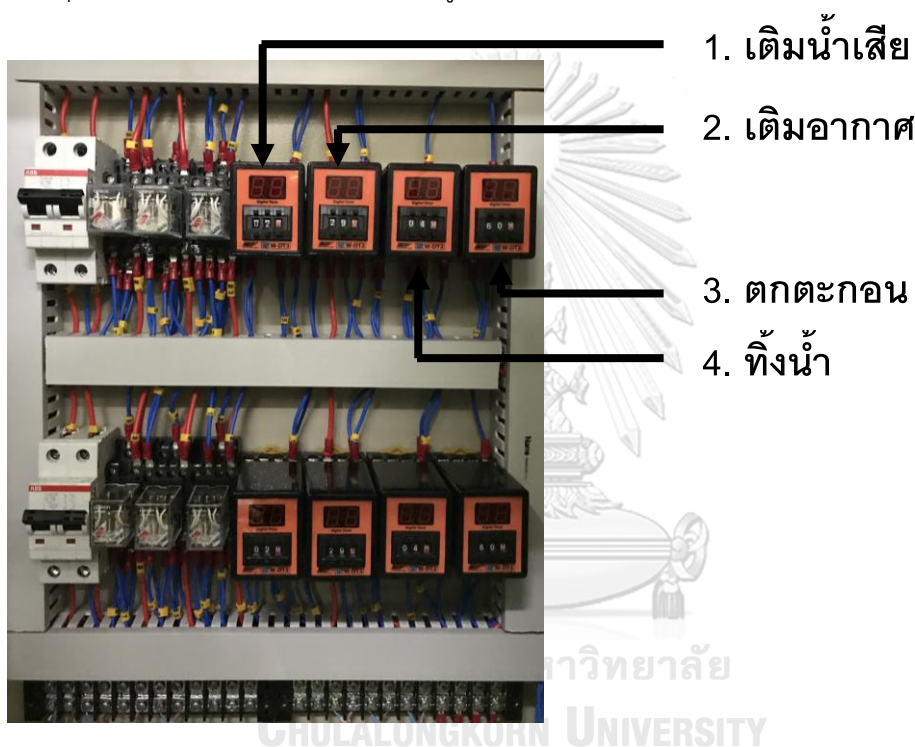


รูปที่ 3.2 ถังเอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor)

รอบการบำบัดของระบบ SBR ในงานทดลอง ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน

1. การเติมน้ำเสียสังเคราะห์ เป็นเวลา 5 นาที
2. การเติมอากาศ เป็นเวลาประมาณ 4 ชั่วโมง
3. การตกตะกอน อยู่ในช่วง 2-60 นาที
4. การทิ้งน้ำ เป็นเวลา 5 นาที

ควบคุมการทำงานโดยตู้ควบคุมไฟฟ้า (Controller) โดยใช้ตัวตั้งเวลา (Timer) ในการควบคุมการทำงานของแต่ละขั้นตอน ดังรูป 3.3



รูปที่ 3.3 ภายในตู้ควบคุมไฟฟ้าและตัวตั้งเวลา

งานทดลองเดินระบบ 6 รอบการบำบัดต่อวัน เริ่มระบบรอบแรกที่เวลา 10.00 น. รอบที่ 2 3 4 5 และ 6 ที่เวลา 14.00 18.00 22.00 02.00 06.00 น. ตามลำดับ ซึ่งปฏิบัติงานจริงครบรอบการบำบัดทั้ง 4 ขั้นตอนได้เพียง 2 รอบแรกเนื่องจากโซลินอยด์วาล์วที่ควบคุมการเปิด-ปิดน้ำทิ้งมีขนาดเล็กทำให้เกิดปัญหาตะกอนอุดตันจึงไม่สามารถเดินระบบแบบอัตโนมัติได้ ส่งผลให้ในขั้นตอนการเติมน้ำเสียสังเคราะห์เข้าระบบและการทิ้งน้ำต้องดำเนินการโดยผู้ทำแลป ดังนั้นรอบที่ 3-6 จึงไม่มีการทิ้งน้ำและเติมน้ำเสียใหม่เข้าระบบ แต่ระบบมีการเติมอากาศและตกตะกอนเนื่องจากควบคุมด้วยตัวตั้งเวลาอัตโนมัติ กล่าวคือ รอบบำบัดดำเนินตามปกติแต่ไม่มีการเติมและทิ้งน้ำ

3.3 การดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน คือ

3.3.1 การศึกษาผลของเวลาตกตะกอนต่อการสร้างเม็ดตะกอน

3.3.1.1 ตัวแปรที่ทำการศึกษา ดังตาราง 3.3

3.3.1.2 ขั้นตอนการทดลอง

การทดลอง

(1) เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้น 2,000 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร ดังตาราง 3.2 ในหัวข้องานทดลองส่วนที่ 1 ศึกษาผลของเวลาตกตะกอน

(2) เติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ให้มีความเข้มข้นจุลินทรีย์เริ่มต้นในระบบมีค่า 3,000 มิลลิกรัม MLSS ต่อลิตร

(3) การบำบัดของระบบ SBR เป็นรอบการบำบัด โดยใช้เวลาประมาณ 4 ชั่วโมง/รอบการบำบัด ประกอบด้วย การเติมน้ำเสียสังเคราะห์ 5 นาที เติมอากาศประมาณ 4 ชั่วโมง ตกตะกอนเริ่มต้น 60 นาที และทิ้งน้ำ 5 นาที โดยปล่อยน้ำทิ้งจากท่อกลางถัง (VER 50%) 4 ลิตร และเติมน้ำเสียสังเคราะห์ใหม่เข้าถังปฏิกริยาอีก 4 ลิตร เพื่อเริ่มการบำบัดรอบใหม่

(4) ตรวจวัดพารามิเตอร์ต่าง ๆ

- เก็บตัวอย่างน้ำในถังปฏิกริยาขณะเติมอากาศเพื่อวิเคราะห์ค่าซีโอดี พีเอช ปริมาตรการตกตะกอนที่ 30 นาที ดัชนีปริมาตรตะกอน

- เก็บตัวอย่างน้ำทิ้งเพื่อวิเคราะห์ค่าซีโอดี ปริมาณของแข็งแขวนลอย ปริมาตรการตกตะกอนที่ 30 นาที ดัชนีปริมาตรตะกอน

(5) ตรวจวัดลักษณะและคุณสมบัติตะกอนโดยเก็บตัวอย่างตะกอนจากท่อถังถึงปฏิกริยาเพื่อวิเคราะห์ขนาดเม็ดตะกอน ความหนาแน่นของตะกอน และลักษณะทางกายภาพของเม็ดตะกอน

(6) เริ่มต้นระบบใช้เวลาตกตะกอนต่อรอบการบำบัด 60 นาที เมื่อ MLSS ในระบบคงที่ จึงลดเวลาตกตะกอนลงเหลือ 30 15 5 และ 2 นาที ตามลำดับ

(7) พิจารณาเวลาตกตะกอนที่เหมาะสมจากน้ำทิ้งที่มีตะกอนหลุดออกจากระบบน้อย มีตะกอนในระบบมาก และอัตราการบำบัดซีโอดีจำเพาะ

3.3.2 การศึกษาผลของสัดส่วนทดแทนน้ำที่เวลาตกตะกอนที่เหมาะสมต่อการสร้างเม็ดตะกอน

3.3.2.1 ตัวแปรที่ทำการศึกษา ดังตาราง 3.3

3.3.2.2 ขั้นตอนการทดลอง

การทดลอง

- (1) เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้น 2,000 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร ดังตาราง 3.2 ในหัวข้อการทดลองส่วนที่ 2 ศึกษาผลของสัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย
- (2) เติมน้ำเสียเข้าถังปฏิกริยา 8 ลิตร และเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์
- (3) การบำบัดของระบบ SBR เป็นรอบการบำบัด โดยใช้เวลาประมาณ 4 ชั่วโมง/รอบ การบำบัด ประกอบด้วย การเติมน้ำเสียสังเคราะห์ 5 นาที เติมอากาศประมาณ 4 ชั่วโมง ตกตะกอน เริ่มต้น 60 นาที และทิ้งน้ำ 5 นาที โดยปล่อยน้ำทิ้งปริมาตร 4 ลิตร จากท่อด้านข้างถึงระดับต่าง ๆ โดยเริ่มจากระดับสัดส่วนทดแทนน้ำเสีย 50% และเติมน้ำเสียสังเคราะห์ใหม่เข้าถังปฏิกริยาอีก 4 ลิตร เพื่อเริ่มการบำบัดรอบใหม่ โดยใช้เวลาตกตะกอนที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองส่วนที่ 1 (4.3.1)
- (4) ตรวจวัดพารามิเตอร์ต่าง ๆ
 - เก็บตัวอย่างน้ำในถังปฏิกริยาขณะเติมอากาศเพื่อวิเคราะห์ค่าซีโอดี พีเอช ปริมาตรการตกตะกอนที่ 30 นาที ดัชนีปริมาตรตะกอน
 - เก็บตัวอย่างน้ำทิ้งเพื่อวิเคราะห์ค่าซีโอดี ปริมาณ ของแข็งแขวนลอย ปริมาตรการตกตะกอนที่ 30 นาที ดัชนีปริมาตรตะกอน
- (5) ตรวจวัดลักษณะและคุณสมบัติตะกอนโดยเก็บตัวอย่างตะกอนจากท่อกันถังปฏิกริยาเพื่อวิเคราะห์ขนาดเม็ดตะกอนและลักษณะทางกายภาพของเม็ดตะกอน
- (6) เริ่มต้นระบบปล่อยน้ำทิ้งจากท่อด้านข้างถึงปฏิกริยา 50% (ท่อกลางถึงปฏิกริยา) เมื่อ MLSS ในระบบคงที่จึงเพิ่มสัดส่วนการทิ้งน้ำเป็น 60 70 80 และ 90% ตามลำดับ (ไล่ระดับลงมาจนถึงท่อด้านล่างสุดของถังปฏิกริยา)
- (7) พิจารณาสัดส่วนการทดแทนน้ำเสียที่เหมาะสมจากน้ำทิ้งที่มีตะกอนหลุดออกจากระบบน้อย มีตะกอนในระบบมาก และอัตราการบำบัดซีโอดีจำเพาะ

3.3.3 การศึกษาลักษณะและคุณสมบัติของเม็ดตะกอน

3.3.3.1 ขนาดเม็ดตะกอน

(1) เก็บตัวอย่างตะกอน 5 มิลลิลิตรจากท่อด้านล่างของถังปฏิกริยาขณะเต็มอากาศ จากนั้นกรองตะกอนด้วยตะแกรงกรองขนาดรูกรอง 0.5×0.5 มิลลิเมตรเพื่อคัดแยกเอาแต่เม็ดตะกอนใส่ในจานแก้ว โดยจัดวางให้เม็ดตะกอนกระจายตัวทั่ว ๆ กัน ไม่เกาะเป็นกลุ่มก้อนเนื่องจากจะทำให้วัดขนาดได้ยากและอาจเกิดความผิดพลาดของขนาดเม็ดตะกอนจริง

(2) วัดขนาดโดยใช้แผ่นกระดาษกราฟที่มีลักษณะเป็นตาราง ช่องละ 1×1 มิลลิเมตร วางใต้จานแก้วที่มีเม็ดตะกอนเพื่อเทียบวัดขนาดเม็ดตะกอน

หลักเกณฑ์การคัดแยกขนาดของเม็ดตะกอน

เนื่องจากเม็ดตะกอนที่เกิดขึ้นมีรูปร่างลักษณะแตกต่างกันจึงยากต่อการระบุขนาด ดังนั้นต้องอาศัยเกณฑ์ในการคัดแยกขนาดของเม็ดตะกอน ดังนี้

- เม็ดตะกอนที่มีมิติ มีทรงกลม และมีขนาดเล็กกว่า 1 มิลลิเมตรจัดเป็นเม็ดตะกอน
- แยกเม็ดขนาดตะกอนเป็น 5 กลุ่ม คือ ขนาดเล็กกว่า 1 มิลลิเมตร ขนาด 1-2 มิลลิเมตร ขนาด 2-3 มิลลิเมตร ขนาด 3-4 มิลลิเมตร และขนาดใหญ่กว่า 4 มิลลิเมตร
- การวัดขนาดเม็ดตะกอน พิจารณาจากขนาดความยาวของเส้นทแยงมุมที่ยาวที่สุดของเม็ดตะกอน

3.3.3.2 ลักษณะพื้นผิวเม็ดตะกอน

นำตัวอย่างตะกอนหัวเชื้อที่ใช้เริ่มระบบและเม็ดตะกอนที่ได้จากการทดลองส่วนที่ 1 โดยเลือกเม็ดตะกอนที่สมบูรณ์ เป็นทรงกลมและมีขนาดใหญ่ที่สุด ส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope) เพื่อดูรูปร่างและพื้นผิวของเม็ดตะกอน

3.3.3.3 ความหนาแน่นของตะกอนจุลินทรีย์

(1) นำตัวอย่างตะกอนปริมาตร 20 มิลลิลิตร กรองด้วยกระดาษกรองขนาด 1.2 ไมครอน

(2) เติมน้ำปราศจากไอออน (Demineralized water) 20 มิลลิลิตรลงในตะกอนที่คัดแยกได้จาก (1) แล้วจึงวัดปริมาตรรวม (ปริมาตรน้ำที่มีตะกอนรวมอยู่ด้วย)

(3) จาก (2) กรองเอาแต่ตะกอนไปอบแห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำตะกอนแห้งที่ได้ไปชั่งน้ำหนัก

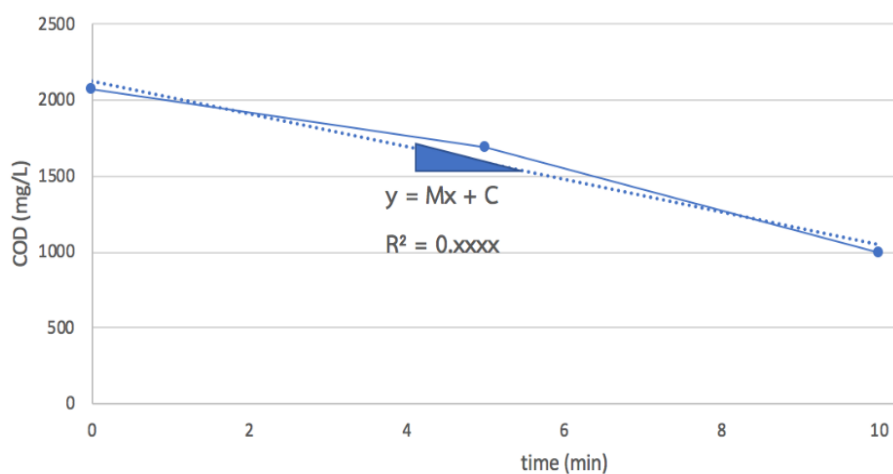
(4) ความหนาแน่นของตะกอนจุลินทรีย์หาได้จากการคำนวณ

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

*หมายเหตุ ปริมาตรตะกอน = ปริมาตรรวม - ปริมาตรน้ำ 20 มิลลิลิตร

3.3.4 อัตราการบำบัดซีโอดีจำเพาะ

เป็นการทดลองด้วยวิธีเดียวกับการหาค่าซีโอดี โดยเลือกเก็บตัวอย่างน้ำในถังปฏิกิริยาที่เวลา 0 นาที 5 นาที และ 10 นาที จากนั้นวัดค่าซีโอดีเพื่อหาปริมาณซีโอดีที่ลดลงต่อเวลาพลอตกราฟดังรูปที่ 3.3 ซึ่งอัตราการบำบัดซีโอดีจำเพาะสามารถคำนวณได้จากพื้นที่ใต้กราฟ ดังรูป 3.4 โดยใช้ค่า M/MLSS (คำนวณดังภาคผนวก ก.2)



รูปที่ 3.4 กราฟแสดงอัตราการบำบัดซีโอดีจำเพาะที่เวลาตกตะกอนต่าง ๆ

ตารางที่ 3.3 ตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทดลองส่วนที่ 1 และ 2

ตัวแปรต้น	ค่าที่ใช้ในการทดลอง	
	การทดลองส่วนที่ 1	การทดลองส่วนที่ 2
เวลาตกตะกอน	60 30 15 5 และ 2 นาที	-
สัดส่วนการทดแทนน้ำ	-	50 60 70 80 และ 90%
ตัวแปรควบคุม		
ความเข้มข้นเริ่มต้นน้ำเสียสังเคราะห์	2,000 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร	
ความเร็วอากาศในช่วงการเติมอากาศ	3.5 เซนติเมตรต่อวินาที	
เวลาเดินระบบต่อรอบ	4 ชั่วโมงต่อรอบ	
เวลาเติมอากาศ	ค่าคงที่ 4 ชั่วโมง	
เวลาเติมน้ำเสียโดยไม่ใช้อากาศ	5 นาที	
เวลาเติมอากาศ	-	เลือกเวลาที่เหมาะสมต่อการเกิดเมืงตะกอนจากการทดลองส่วนที่ 1 ซึ่งเวลาเติมอากาศจะสอดคล้องกับเวลาตกตะกอน
เวลาตกตะกอน	-	
เวลาปล่อยน้ำทิ้ง	5 นาที	
สัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย	50%	-
พีเอชภายในถัง	6.5-7.5	
ลักษณะสมบัติของน้ำเสียหลังการทดลอง	ซีโอดี พีเอช ของแข็งแขวนลอย ปริมาตรการตกตะกอนที่ 30 นาที และดัชนีปริมาตรตะกอน	
ลักษณะและคุณสมบัติของตะกอน	ขนาดเมืงตะกอน ความหนาแน่นของตะกอน และลักษณะทางกายภาพของเมืงตะกอน	

3.3.4 พารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัดและวิธีวิเคราะห์

ตารางที่ 3.4 พารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัดและวิธีวิเคราะห์ในการทดลองส่วนที่ 1 และ 2

พารามิเตอร์	หน่วย	วิธีวิเคราะห์	ความถี่ในการตรวจ
ซีโอดี	มิลลิกรัม ต่อลิตร	ไทเทรต	1 ครั้งต่อสัปดาห์*
อัตราการบำบัดซีโอดี จำเพาะ	มิลลิกรัม ซีโอดีต่อ มิลลิกรัม MLSS ต่อวัน	ไทเทรต	เมื่อระบบคงที่*
พีเอช	-	เครื่องวัดพีเอช	เป็นประจำ*
ของแข็งแขวนลอย	มิลลิกรัม ต่อลิตร	กรองด้วยกระดาษกรอง แล้วอบที่ อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส	3 วันต่อครั้ง*
ปริมาตรการตกตะกอนที่ 30 นาที	มิลลิลิตร ต่อกรัม	ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที	3 วันต่อครั้ง*
ดัชนีปริมาตรตะกอน	มิลลิลิตร ต่อกรัม	คำนวณจากความสัมพันธ์ของแข็ง แขวนลอยและปริมาตรการ ตกตะกอนที่ 30 นาที	3 วันต่อครั้ง*
ขนาดเม็ดตะกอน	มิลลิเมตร	ถ่ายภาพเม็ดตะกอนและวัดขนาด เม็ดตะกอนด้วยกระดาษกราฟที่มี ขนาดช่อง 1x1 มิลลิเมตร	เมื่อระบบคงที่*
ลักษณะผิวเม็ดตะกอน	-	ส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์	เมื่อระบบคงที่*
ความหนาแน่น ของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์	กรัมต่อ มิลลิลิตร	คำนวณจากความสัมพันธ์ของ น้ำหนักแห้งเม็ดตะกอน ต่อปริมาตรของตะกอน	เมื่อระบบคงที่*

หมายเหตุ * เริ่มวิเคราะห์หลักจากระบบเกิดเม็ดตะกอน

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

4.1 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลาตกตะกอนต่อการสร้างเม็ดตะกอน

เริ่มต้นเดินระบบโดยใช้เวลาตกตะกอน 60 นาที เมื่อระบบเข้าสู่สมดุลคือปริมาณของแข็งแขวนลอย (MLSS) ในระบบคงที่ อัตราการบำบัดซีโอดีคงที่ จึงลดเวลาตกตะกอนลงเป็น 30 15 5 และ 2 นาที โดยพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ประกอบการทดลอง คือ การวิเคราะห์ทางกายภาพและทางเคมีของตะกอน ได้แก่ ปริมาณของแข็งแขวนลอย (MLSS) ดัชนีปริมาตรตะกอน (SVI) ค่าซีโอดี (COD) ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี (COD removal efficiency) อัตราการบำบัดซีโอดีจำเพาะ (Specific COD Removal Rates) และลักษณะและคุณสมบัติของเม็ดตะกอน ได้แก่ ขนาดเม็ดตะกอน (Sludge size) ความหนาแน่นของตะกอน (Biomass density)

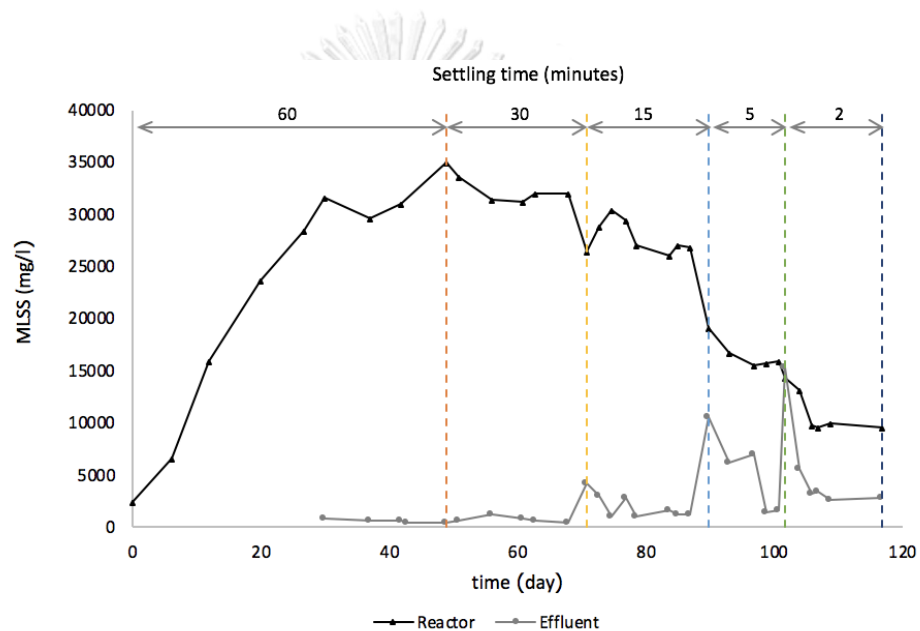
4.1.1 การวิเคราะห์ทางกายภาพและทางเคมีของตะกอน

4.1.1.1 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (MLSS) และดัชนีปริมาตรตะกอน (SVI)

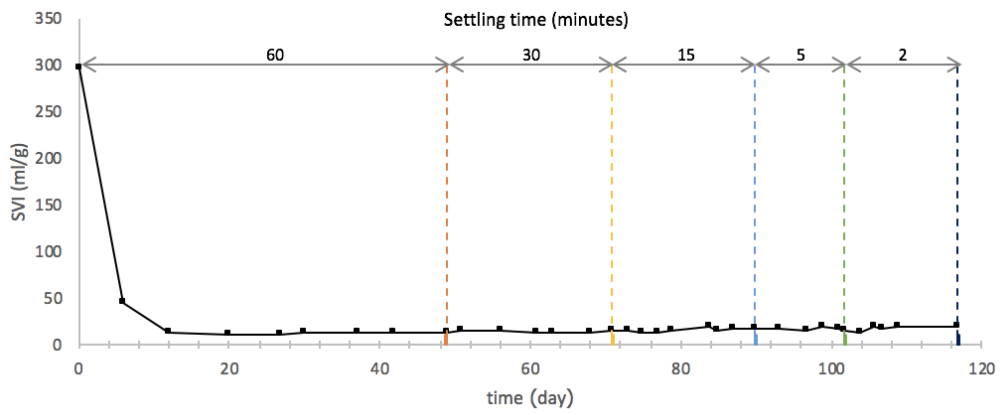
เริ่มต้นระบบมีเชื้อจุลินทรีย์ (MLSS) เข้มข้น 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกที่ใช้เวลาตกตะกอน 60 นาที รวมระยะเวลา 49 วัน MLSS เฉลี่ย 30,200 มิลลิกรัมต่อลิตร ต่อมาเมื่อลดเวลาตกตะกอนลงเป็น 30 นาที รวมระยะเวลา 71 วัน พบว่า MLSS เฉลี่ยเพิ่มขึ้นเล็กน้อย 31,600 มิลลิกรัมต่อลิตร และที่เวลาตกตะกอน 15 นาที รวมระยะเวลา 90 วัน เวลาตกตะกอน 5 นาที รวมระยะเวลา 102 วัน และเวลาตกตะกอน 2 นาที รวมระยะเวลา 119 วัน มี MLSS เฉลี่ยลดลงเหลือ 26,750 15,733 และ 9,770 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เมื่อลดเวลาตกตะกอน MLSS ในระบบลดลงมีแนวโน้มลดลง สอดคล้องกับค่า MLSS เฉลี่ยในน้ำทิ้งที่มีแนวโน้มสูงขึ้นดังนี้ 553 490 1,260 1,570 และ 2,660 ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.1 เนื่องจากในช่วงที่ตกตะกอน 60 นาที เป็นเวลามากพอที่ตะกอนทั้งหมดในระบบจะตกลงมาต่ำกว่าระดับปล่อยน้ำทิ้ง ทำให้รักษาตะกอนไว้ในระบบได้และน้ำที่ปล่อยทิ้งมีลักษณะใส ตะกอนปะปนน้อย ต่อมาลดเวลาตกตะกอนลงเป็น 30 15 5 และ 2 นาที น้ำทิ้งจะมีตะกอนปะปนมากขึ้นตามลำดับ เนื่องจากการคัดตะกอนเบาจากเวลาตกตะกอนที่น้อยลง สำหรับตะกอนที่ตกช้าจะหลุดไปพร้อมน้ำทิ้ง สอดคล้องกับค่า SVI เริ่มต้นระบบ 296 มิลลิกรัมต่อกรัม ที่ SVI เฉลี่ยลดลงเหลือ 13.23 มิลลิกรัมต่อกรัม อย่างรวดเร็ว

ในช่วงที่ใช้เวลาตกตะกอน 60 นาที และเมื่อลดเวลาตกตะกอน SVI เพิ่มขึ้นเป็น 14.0 16.84 18.20 และ 19.45 มิลลิลิตรต่อกรัม ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.2 และ 4.3

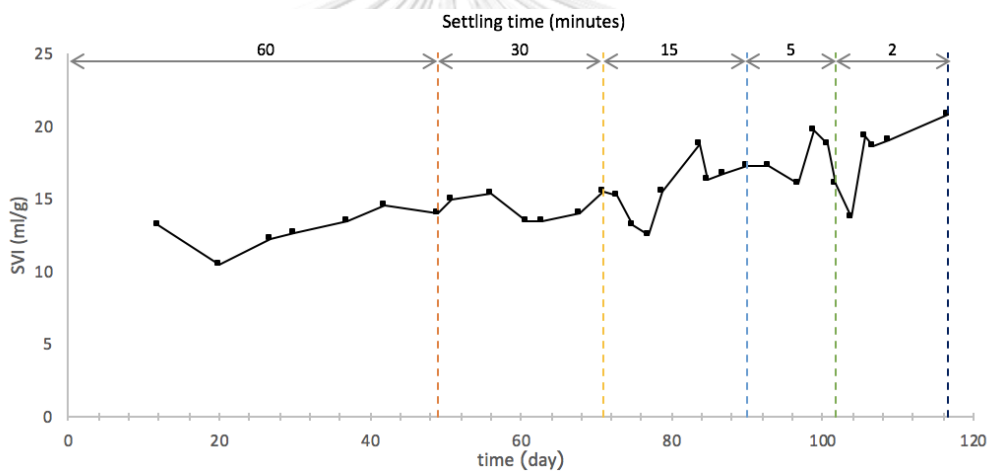
ค่า SVI คือดัชนีปริมาตรตะกอนที่เวลาตกตะกอนแตกต่างกัน เพื่อทดสอบความสามารถการตกตะกอนของระบบบำบัด โดยคำนวณจากอัตราส่วนของ SV30 และ MLSS ดังภาคผนวก ก. 2 เทียบกับระบบเอเอสทั่วไป ตะกอนที่ตกตะกอนได้ดี มีค่า SV30 อยู่ในช่วง 90-120 มิลลิลิตรต่อกรัม และตะกอนที่มีค่า SVI มากกว่า 150 มิลลิลิตรต่อกรัม จัดเป็นปัญหาของระบบ คือ ตะกอนจมด้วยยาก ดังนั้นค่า SVI น้อยจึงแสดงถึงตะกอนในระบบตกตะกอนได้ดี



รูปที่ 4.1 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (MLSS) ที่เวลาตะกอนต่าง ๆ



รูปที่ 4.2 ค่าดัชนีปริมาตรตะกอน (SVI) ที่เวลาตกตะกอนต่าง ๆ

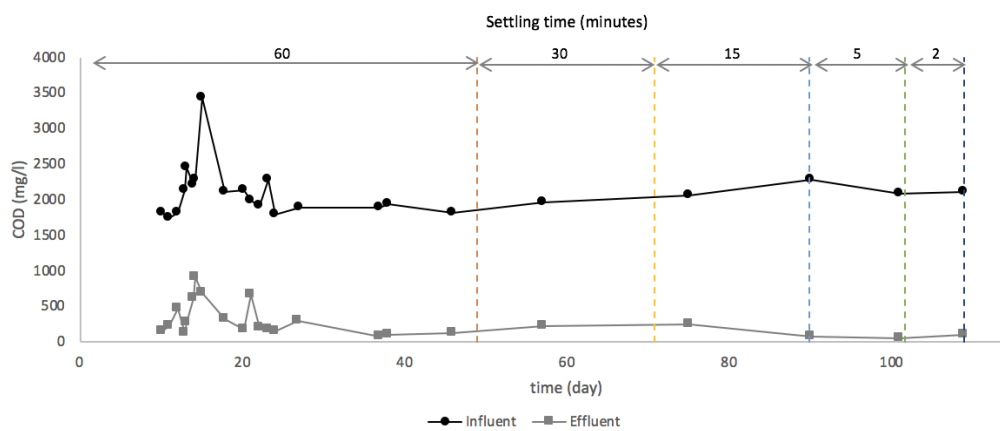


CHULALONGKORN UNIVERSITY

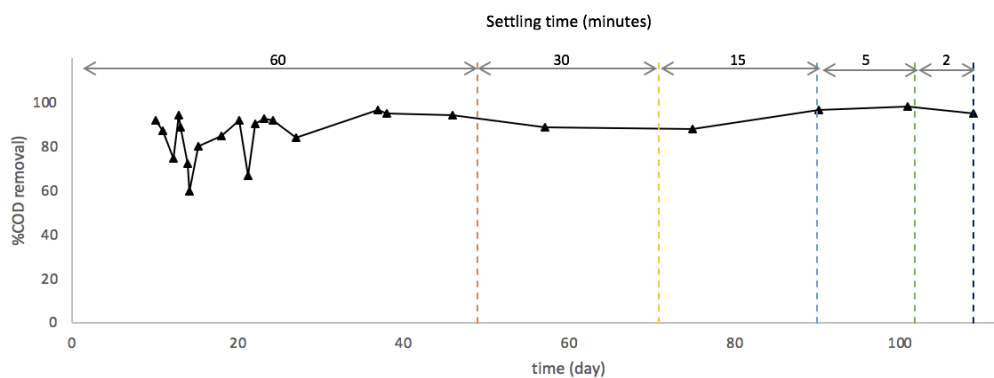
รูปที่ 4.3 ค่าดัชนีปริมาตรตะกอน (SVI) แบบขยาย ตั้งแต่วันที่ 6 ของการเดินระบบ

4.1.1.2 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี (COD removal efficiency)

การทดลองนี้ใช้น้ำเสียสังเคราะห์จากซูโครส กำหนดความเข้มข้นซีโอดี 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เริ่มต้นเดินระบบโดยใช้เวลาดกตะกอน 60 นาที พบว่าค่าซีโอดีน้ำเข้าและน้ำออกจากระบบช่วง 21 วันแรกไม่คงที่ และค่าซีโอดีเข้าระบบสูงสุด 3,431 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตรในวันที่ 15 และมีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี 80% เนื่องจากการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ที่ละ 96 ลิตร มีปริมาณมากต้องใช้ซูโครสในปริมาณมากเช่นกัน ทำให้เมื่อเวลาผ่านไป 2 วันหลังจากเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ใหม่พบเมือกที่ก้นถังและเกาะที่ปั้มน้ำเสียซึ่งในช่วงเวลานั้นความเข้มข้นซูโครสที่เข้าระบบเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน ต่อมาจึงแก้ไขโดยการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ใหม่วันต่อวัน ทำให้ค่าซีโอดีของน้ำเข้าระบบคงที่ในวันที่ 23 และตลอดการทดลองมีค่าซีโอดีของน้ำเข้าในระบบอยู่ในช่วง 1,874-2,117 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร ค่าซีโอดีของน้ำที่ออกจากระบบอยู่ในช่วง 39-236 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร และประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของระบบอยู่ในช่วง 84-98% ดังแสดงในรูปที่ 4.4 และ 4.5



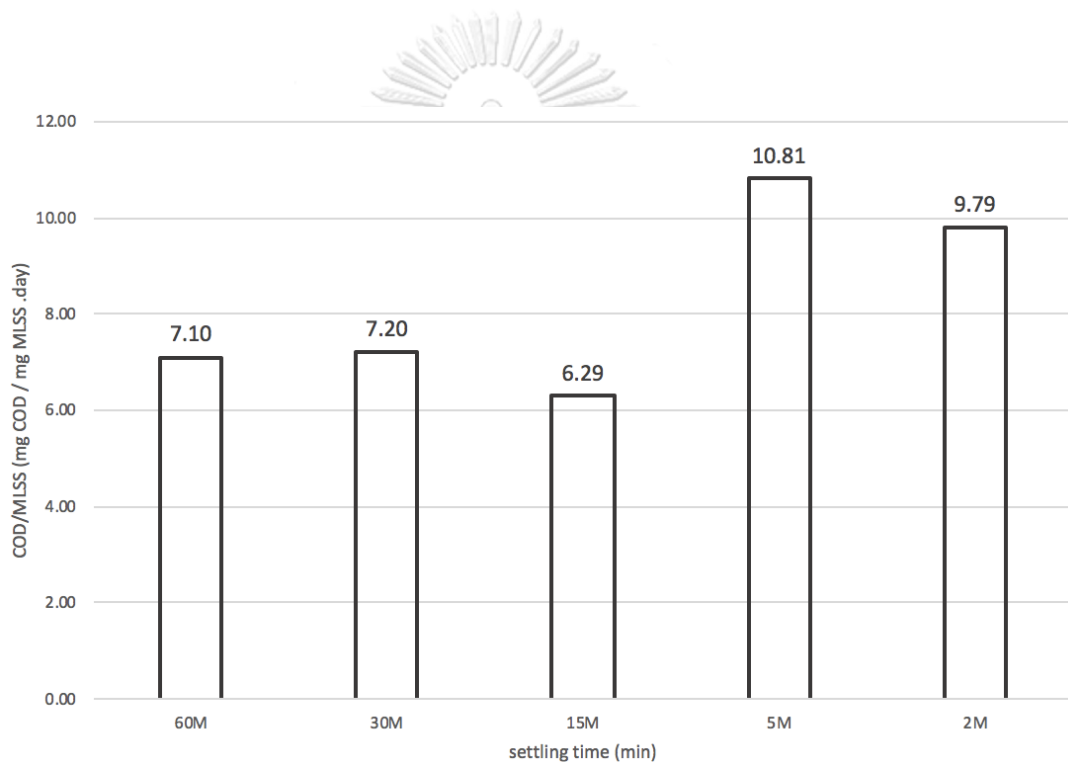
รูปที่ 4.4 ค่าซีโอดีน้ำเข้าและน้ำออก ตั้งแต่วันที่ 10 ของการเดินระบบ



รูปที่ 4.5 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี ตั้งแต่วันที่ 10 ของการเดินระบบ

4.1.1.3 อัตราการบำบัดซีโอดีจำเพาะ (Specific COD Removal Rates)

เติมอาหารเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์เข้มข้น 2,000 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร จากนั้นวัดค่าซีโอดีเริ่มต้นที่ 0 นาที และค่าซีโอดีที่ลดลง 5 และ 10 นาที พบว่าที่เวลาดกตะกอน 60 30 15 5 และ 2 นาที มีอัตราการบำบัดซีโอดีจำเพาะ 7.098 7.2 6.29 10.81 และ 9.27 มิลลิกรัมซีโอดีต่อมิลลิกรัม MLSS ต่อวันตามลำดับ ดังรูปที่ 4.6 และอัตราการบำบัดซีโอดีจำเพาะที่สูงที่สุดคือที่เวลาดกตะกอน 5 นาที จากการทดลองพบว่าอัตราการบำบัดซีโอดีจำเพาะที่เวลาดกตะกอนต่าง ๆ มีค่าคงที่อยู่ในช่วง 6.29 – 10.81 มิลลิกรัมซีโอดีต่อมิลลิกรัม MLSS ต่อวัน ซึ่งมีความสูงกว่าค่าแนะนำในระบบเอเอสทั่วไปคือ 5 มิลลิกรัมซีโอดีต่อมิลลิกรัม MLSS ต่อวัน (Metcalf & Eddy,1991)



รูปที่ 4.6 อัตราการบำบัดซีโอดีจำเพาะที่เวลาดกตะกอนต่าง ๆ

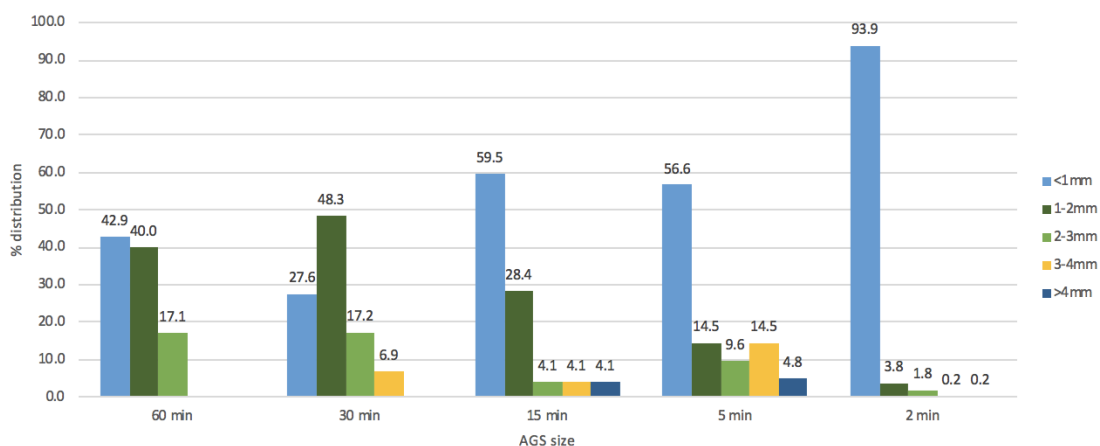
4.1.2 ลักษณะและคุณสมบัติของเม็ดตะกอน

การวิเคราะห์ลักษณะและคุณสมบัติของเม็ดตะกอน ได้แก่ ขนาดเม็ดตะกอน (Sludge size) และความหนาแน่นของตะกอน (Biomass density)

4.1.2.1 ขนาดเม็ดตะกอน (Sludge size)

เริ่มต้นใช้เวลาตกตะกอน 60 นาที พบเม็ดตะกอนขนาดเล็ก (<1 มิลลิเมตร) 2 และ 3 มิลลิเมตร 42.9% 40% และ 17.1% ตามลำดับ เวลาตกตะกอน 30 นาที พบเม็ดตะกอนขนาดเล็ก 2 3 และ 4 มิลลิเมตร 27.6% 48.3% 17.2% และ 6.9% ตามลำดับ เวลาตกตะกอน 15 นาที พบเม็ดตะกอนขนาดเล็ก 2 3 และ 4 มิลลิเมตร และเม็ดตะกอนขนาดใหญ่ (>4 มิลลิเมตร) 59.5% 28.4% 4.1% 4.1% และ 4.1% ตามลำดับ เวลาตกตะกอน 5 นาที พบเม็ดตะกอนขนาดเล็ก 2 3 และ 4 มิลลิเมตร และเม็ดตะกอนขนาดใหญ่ (>4 มิลลิเมตร) 56.6% 14.5% 9.6% 14.5% และ 4.8% ตามลำดับ สุดท้ายเวลาตกตะกอน 2 นาที พบเม็ดตะกอนขนาดเล็ก 2 3 และ 4 มิลลิเมตร และเม็ดตะกอนขนาดใหญ่ (>4 มิลลิเมตร) 93.9% 3.8% 1.8% 0.2% และ 0.2% ตามลำดับ เนื่องจากเริ่มต้นระบบ ตะกอนมีลักษณะเบา ไม่รวมเป็นเม็ด ต่อมาในช่วงแรกของการเดินระบบโดยใช้เวลาตกตะกอน 60 นาที เกิดเม็ดตะกอนขนาดเล็กในช่วง 2 สัปดาห์แรก และมีแนวโน้มเกิดเม็ดขนาดใหญ่มากขึ้นเมื่อลดเวลาตกตะกอนลงเป็น 30 15 และ 5 นาที ตามลำดับ จนกระทั่งลดเวลาตกตะกอนเหลือ 2 นาที

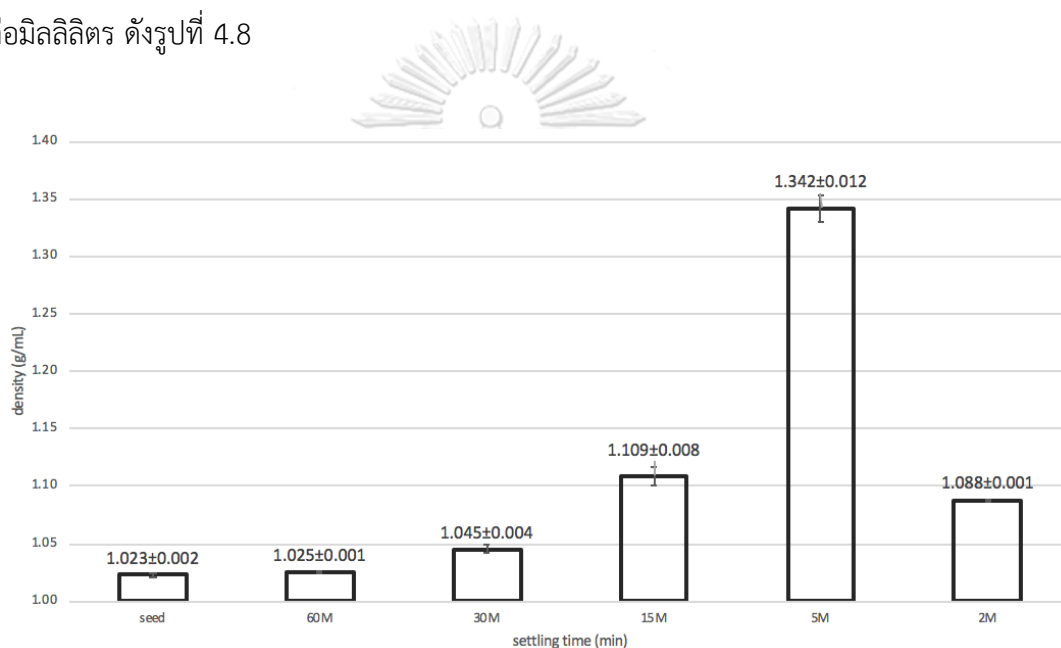
การลดเวลาตกตะกอนเป็นการคัดตะกอนเบาออกไปกับน้ำทิ้ง เพื่อให้ตะกอนที่มีน้ำหนักและความหนาแน่นมากที่อยู่ภายในระบบมีขนาดใหญ่ขึ้นจากการจับตัวกันของตะกอน ซึ่งในขั้นตอนการเติมอากาศจะเป็นการสร้างแรงเฉือนน้ำกระตุ้นให้จุลินทรีย์สร้างสารอีพีเอส (EPS) จับตัวกันหนาแน่นและกลายเป็นเม็ดตะกอนในที่สุด เนื่องจากพบว่าตะกอนหลุดออกจากระบบมากและมีเม็ดตะกอนหลุดออกไปด้วยบางส่วน ทำให้ในระบบเหลือตะกอนขนาดใหญ่ลดลง ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 การกระจายตัวของขนาดเม็ดตะกอนที่เวลาตกตะกอนต่าง ๆ

4.1.2.2 ความหนาแน่นของตะกอน (Biomass density)

จากการทดลองพบว่า เมื่อเริ่มต้นระบบ หัวเชื้อจุลินทรีย์มีความหนาแน่น 1.028 ± 0.002 กรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อเดินระบบต่อไปโดยใช้เวลาดกตะกอน 60 นาที ความหนาแน่นจุลินทรีย์ 1.025 ± 0.001 กรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งใกล้เคียงกับในช่วงเริ่มระบบเนื่องจากตะกอนในระบบยังไม่มี การเปลี่ยนแปลงรูปร่างมากนักและต่อมาลดเวลาดกตะกอนเป็น 30 15 และ 5 นาที ที่เริ่มเกิดเม็ดตะกอน และเม็ดตะกอนมีขนาดใหญ่มากขึ้น ความหนาแน่นของตะกอนเพิ่มขึ้นเป็น 1.045 ± 0.004 1.109 ± 0.008 และ 1.342 ± 0.012 กรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ เมื่อลดเวลาดกตะกอนลงเหลือ 2 นาที ตะกอนในระบบบางส่วนหลุดไปพร้อมน้ำทิ้งทำให้ความหนาแน่นลดลงเหลือ 1.088 ± 0.001 กรัมต่อมิลลิลิตร ดังรูปที่ 4.8



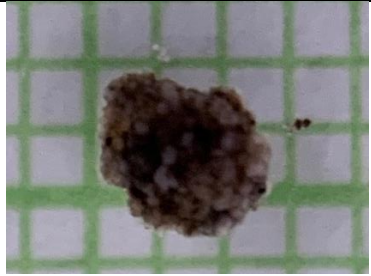


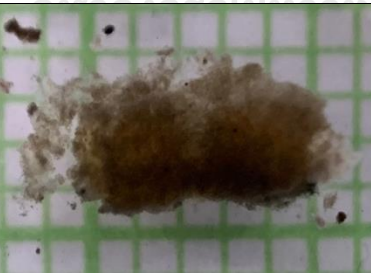

CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 4.8 ความหนาแน่นของตะกอนที่เวลาดกตะกอนต่าง ๆ

4.1.2.3 ลำดับขั้นการเกิดเม็ดตะกอนจากผลการเปลี่ยนแปลงเวลาตกตะกอน

เริ่มต้นระบบบำบัด ตะกอนหัวเชื้อในถังปฏิกริยามีความเข้มข้นตะกอน 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีลักษณะเป็นกลุ่มฟล็อก สีน้ำตาลเข้ม และมีค่า SVI 296 มิลลิตรต่อกรัม ซึ่งตะกอนที่มีสมบัติการตกตะกอนที่ดีในระบบเอเอสทั่วไป กำหนด SVI อยู่ในช่วง 90-120 มิลลิตรต่อกรัม ดังนั้นในการทดลองจึงเริ่มต้นระบบด้วยสมบัติในการตกตะกอนที่แยกว่าระบบเอเอสทั่วไป ในช่วงแรกของการทดลองที่ใช้เวลาตกตะกอน 60 นาที พบตะกอนกลายเป็นเม็ดเม็ดตะกอนขนาดเล็กภายใน 30 วันแรกของการเดินระบบ ค่า SVI ลดลงอยู่ในช่วง 10-15 มิลลิตรต่อกรัม แสดงถึงการตกตะกอนที่ดีกว่าตะกอนในระบบเอเอสทั่วไป เม็ดตะกอนที่พบมีลักษณะแตกต่างกันและส่วนมากมีลักษณะเป็นทรงกลม สีน้ำตาลเข้ม ขนาดประมาณ 0.5-3 มิลลิเมตร ต่อมาเมื่อลดเวลาตกตะกอนเหลือ 30 นาที พบเม็ดตะกอนในระบบมีขนาดใหญ่ขึ้นไปจนถึง 4 มิลลิเมตร เม็ดตะกอนลักษณะทรงกลมมีปริมาณเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและเม็ดตะกอนส่วนมากมักมีลักษณะไร้รูปร่าง เมื่อลดเวลาตกตะกอนเหลือ 15 5 และ 2 นาที พบเม็ดขนาดใหญ่มากกว่า 4 มิลลิเมตร และที่เวลาตกตะกอน 5 นาที ตะกอนในระบบเริ่มมีค่า SVI สูงขึ้นอยู่ในช่วง 15-20 มิลลิตรต่อกรัม แสดงถึงการตกตะกอนในระบบเริ่มแยลงจากเดิม จากการใช้กล้องมือถือเลนส์ขยายถ่ายภาพเม็ดตะกอน เริ่มเห็นเส้นใยที่พื้นผิวเม็ดตะกอน เม็ดตะกอนมีสีน้ำตาลอ่อนลงเล็กน้อย ต่อมาเมื่อลดเวลาตกตะกอนเหลือ 2 นาที พบว่าเม็ดตะกอนบางส่วนเป็นเส้นใยยาวขึ้นและเห็นได้ชัดเจนด้วยตาเปล่า แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตารางเปรียบเทียบลักษณะภาพถ่ายตะกอนที่เวลาตกตะกอนต่าง ๆ

เวลาตกตะกอน	ภาพเม็ดตะกอน	ลักษณะเม็ดตะกอน
60 นาที		เม็ดตะกอนขนาดเล็ก 0.5-3 มม. สีน้ำตาลเข้ม พื้นผิวไม่สม่ำเสมอ ขรุขระเล็กน้อย
30 นาที		เม็ดตะกอนมีขนาดใหญ่ขึ้นถึง 4 มม. สีน้ำตาลเข้ม พื้นผิวเรียบมากขึ้น
15 นาที		เม็ดตะกอนบางส่วนมีขนาดใหญ่ขึ้น และมีลักษณะเป็นทรงกลมมากขึ้น สีน้ำตาลเข้ม พื้นผิวเรียบ
5 นาที		เม็ดตะกอนบางส่วนมีสีอ่อนลง เริ่มพบเส้นใยบนพื้นผิวเม็ดตะกอน
2 นาที		เม็ดตะกอนส่วนมากมีสีอ่อนลง พื้นผิวเม็ดตะกอนมีเส้นใยยาวขึ้น มองเห็นได้ชัดเจน

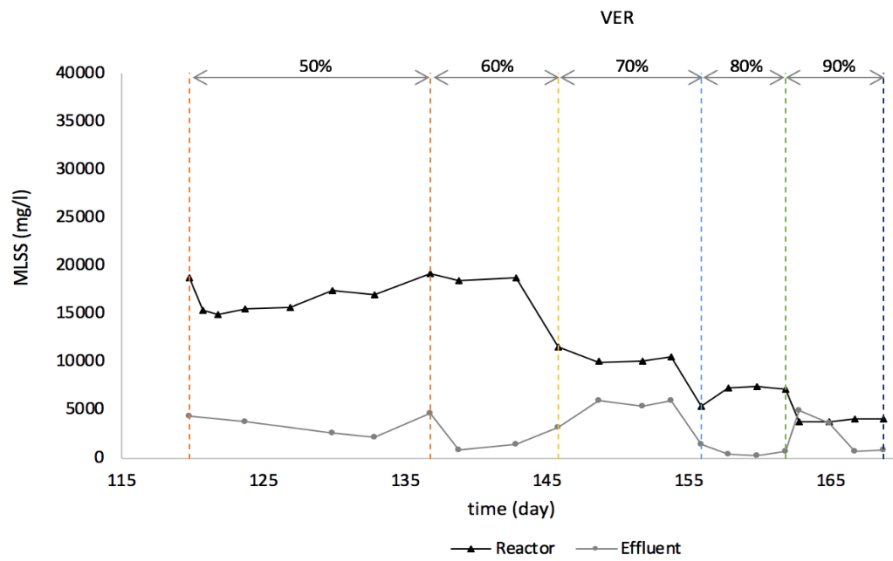
4.2 ผลการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนการทดแทนน้ำเสียต่อการสร้างเม็ดตะกอนที่เวลาตกตะกอน 15 นาที

จากการทดลองส่วนแรก que ศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงเวลาตกตะกอนต่อการสร้างเม็ดตะกอน เลือกใช้เวลาตกตะกอน 15 นาที เป็นเวลาตกตะกอนที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้กับการทดลองส่วนที่ 2 คือการศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนการทดแทนน้ำเสียต่อการสร้างเม็ดตะกอน เนื่องจากตะกอนในระบบมีปริมาณมากกว่าระบบเอเอสทั่วไป และตะกอนส่วนมากมีลักษณะเป็นเม็ดและเม็ดตะกอน บางส่วนขนาดใหญ่ >4 มิลลิเมตร โดยการทดลองส่วนที่ 2 เป็นการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนการทดแทนน้ำเสียเริ่มต้นที่ 50% และเพิ่มขึ้นเป็น 60% 70% 80% และ 90%

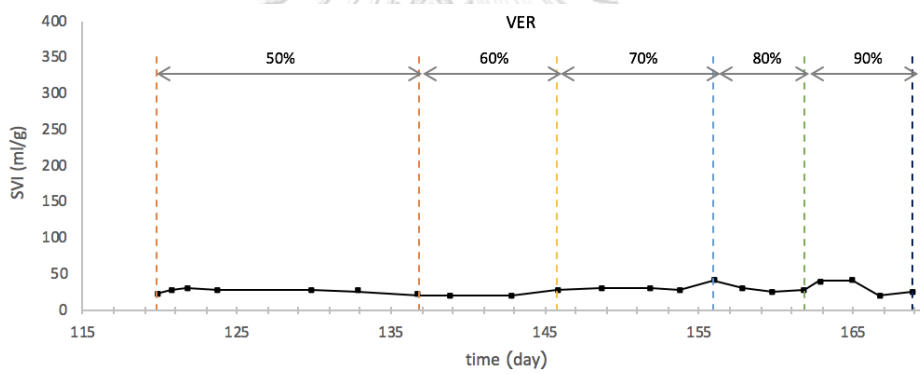
4.2.1 การวิเคราะห์ทางกายภาพและทางเคมีของตะกอน

4.2.1.1 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (MLSS) และดัชนีปริมาตรตะกอน (SVI)

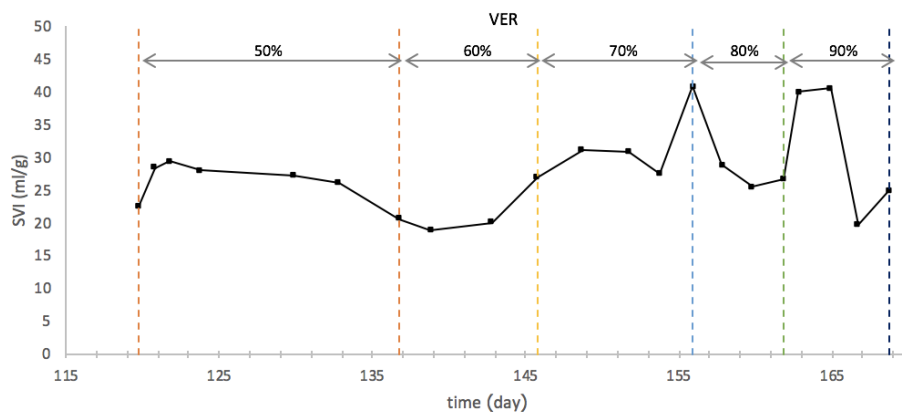
จากการศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงเวลาตกตะกอน เลือกใช้เวลาตกตะกอน 15 นาทีในการศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย โดยทำการทดลองต่อจากการทดลองส่วนแรก มีเชื้อจุลินทรีย์ (MLSS) เข้มข้น 18,700 มิลลิกรัมต่อลิตร ในช่วงแรกที่ใช้สัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย 50% MLSS เฉลี่ย 17,240 มิลลิกรัมต่อลิตร ต่อมาเมื่อเพิ่มสัดส่วนการทดแทนน้ำเสียเป็น 60% พบว่า MLSS เฉลี่ยเพิ่มขึ้นเล็กน้อย 18,590 มิลลิกรัมต่อลิตร และที่สัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย 70% 80% และ 90% มี MLSS เฉลี่ยลดลง 10,207 7,293 และ 4,030 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.10 เนื่องจากการเพิ่มสัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย เป็นการลดระดับท่อน้ำทิ้งต่ำลงทำให้ตะกอนหลุดออกไปพร้อมกับน้ำทิ้งมากขึ้น และการใช้เวลาตกตะกอนเพียง 15 นาที จะช่วยคัดตะกอนเบาบางส่วนออกจากระบบ ทำให้ในช่วงที่ใช้สัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย 90% ตะกอนในระบบส่วนมากคือ เม็ดตะกอน ที่สัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย 50% ค่า SVI เฉลี่ย 26.68 เมื่อเพิ่มสัดส่วนการทดแทนน้ำเสียเป็น 60% ค่า SVI เฉลี่ยลดลง 19.50 มิลลิกรัมต่อลิตร ต่อมาเพิ่มสัดส่วนการทดแทนน้ำเสียเป็น 70% ค่า SVI เฉลี่ยเพิ่มขึ้น 29.76 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากตะกอนเบาบางส่วนกลายเป็นตะกอนแบบเส้นใย เมื่อเพิ่มสัดส่วนการทดแทนน้ำเสียเป็น 80% และ 90% จึงช่วยคัดตะกอนเบาเหล่านั้นทิ้งไป ทำให้ค่า SVI ลดลงเป็น 26.98 และ 22.35 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.10 และ 4.11



รูปที่ 4.9 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (MLSS) ที่สัดส่วนการทดแทนน้ำเสียต่าง ๆ



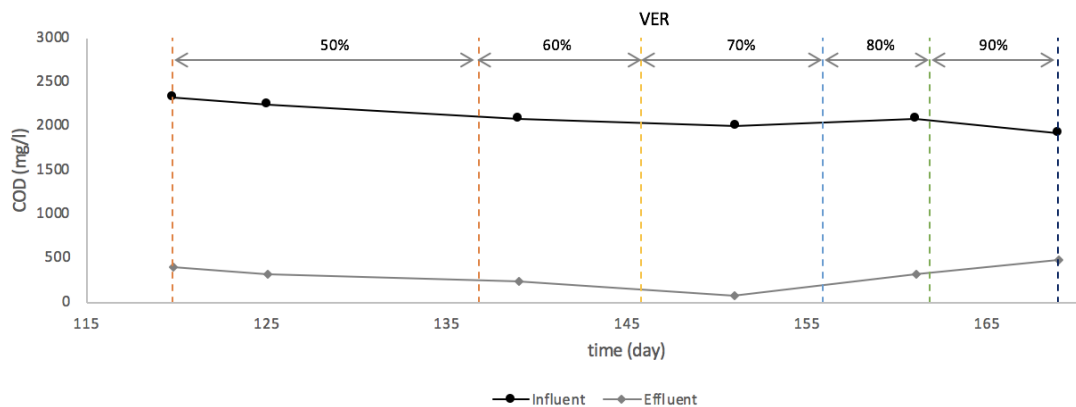
รูปที่ 4.10 ค่าดัชนีปริมาตรตะกอน (SVI) ที่สัดส่วนการทดแทนน้ำเสียต่าง ๆ



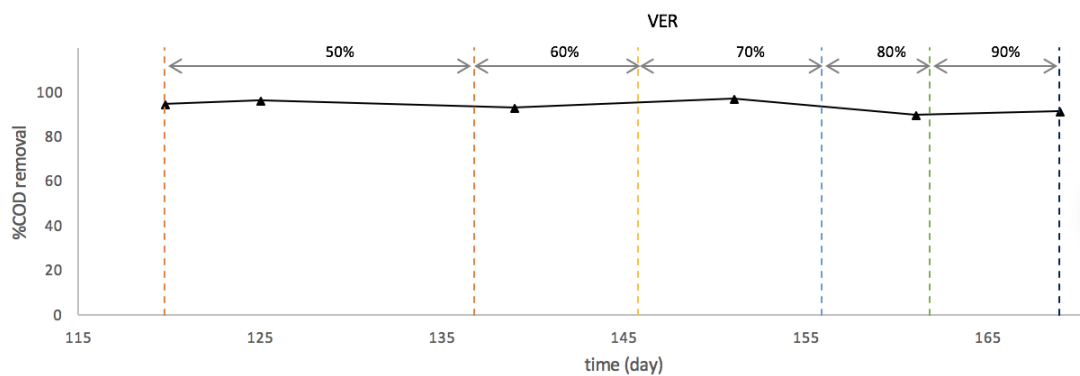
รูปที่ 4.11 ค่าดัชนีปริมาตรตะกอน (SVI) แบบขยาย ตั้งแต่วันที่ 119 ของการเดินระบบ

4.2.1.2 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี (COD removal efficiency)

น้ำเสียสังเคราะห์เข้าระบบมีค่าซีโอดีคงที่อยู่ในช่วง 1,900-2,200 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร ตลอดการทดลอง และเมื่อเปลี่ยนแปลงสัดส่วนการทดแทนน้ำเสียจาก 50% เป็น 60% และ 70% ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของระบบคือ 97% 93% และ 98% หลังจากเพิ่มสัดส่วนการทดแทนน้ำเสียเป็น 80% และ 90% ตะกอนเบาหลุดไปพร้อมน้ำทิ้งเนื่องจากระดับปล่อยน้ำทิ้งอยู่ในตำแหน่งที่ต่ำ และตะกอนที่เหลือในระบบบางส่วนเริ่มเป็นตะกอนแบบเส้นใย ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีลดลงเหลือ 90% และ 92% ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.12 และ 4.13



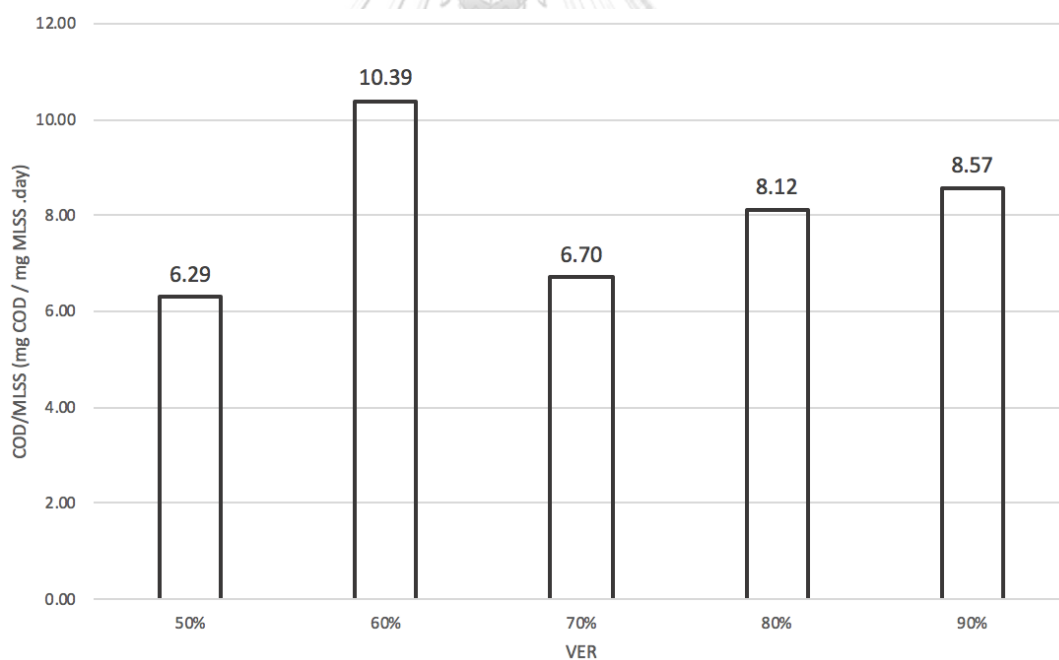
รูปที่ 4.12 ค่าซีโอดีน้ำเข้าและน้ำออก ตั้งแต่วันที่ 119 ของการเดินระบบ



รูปที่ 4.13 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี ตั้งแต่วันที่ 119 ของการเดินระบบ

4.2.1.3 อัตราการบำบัดซีโอดีจำเพาะ (Specific COD Removal Rates)

เติมอาหารเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์เข้มข้น 2,000 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตร จากนั้นวัดค่าซีโอดีเริ่มต้นที่ 0 นาที และค่าซีโอดีที่ลดลง 5 และ 10 นาที พบว่าที่สัดส่วนทดแทนน้ำเสีย 50% 60% 70% 80% และ 90% มีอัตราการบำบัดซีโอดีจำเพาะ 6.29 10.39 6.70 8.12 และ 8.57 มิลลิกรัมซีโอดีต่อ มิลลิกรัม MLSS ต่อวันตามลำดับ จากการทดลองพบว่าในช่วงแรกที่ใช้สัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย 50% มีปริมาณ MLSS ในระบบมาก ต่อมาเมื่อเพิ่มสัดส่วนการทิ้งน้ำเสียซึ่งเป็นการลดระดับท้อปลอย น้ำทิ้งให้ต่ำลงตามลำดับ ทำให้ทั้งตะกอนเบาและเม็ดตะกอนหลุดออกจากระบบในปริมาณมาก เมื่อ MLSS ในระบบลดลง ทำให้อัตราการบำบัดซีโอดีจำเพาะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.14 จากการทดลองพบว่าอัตราการบำบัดซีโอดีจำเพาะที่เวลาตกตะกอนต่าง ๆ มีค่าคงที่อยู่ในช่วง 6.29 – 10.39 มิลลิกรัมซีโอดีต่อมิลลิกรัม MLSS ต่อวัน ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าแนะนำในระบบเอเอสทั่วไปคือ 5 มิลลิกรัมซีโอดีต่อมิลลิกรัม MLSS ต่อวัน (Metcalf & Eddy, 1991)



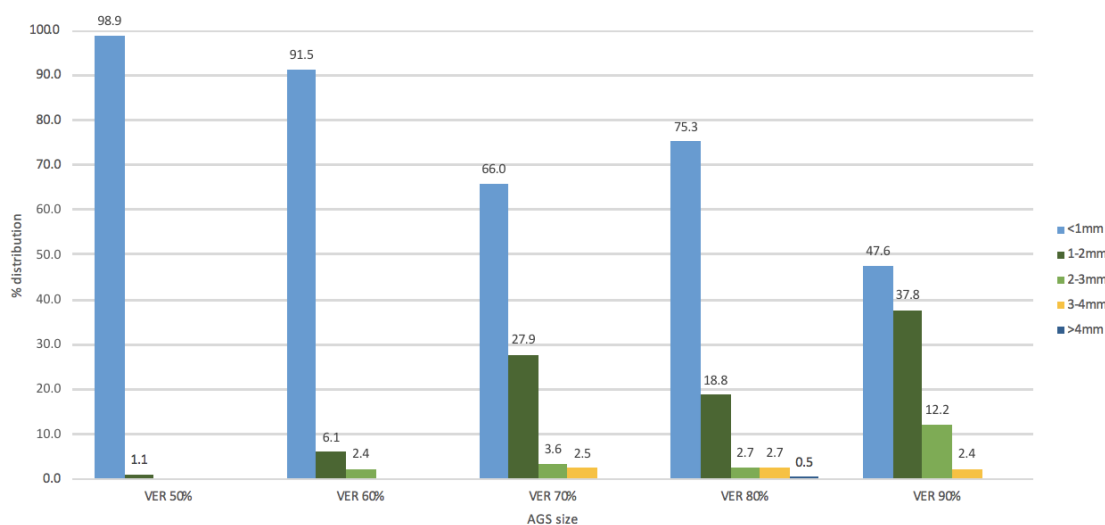
รูปที่ 4.14 อัตราการบำบัดซีโอดีจำเพาะที่สัดส่วนการทดแทนน้ำเสียต่าง ๆ

4.2.2 ลักษณะและคุณสมบัติของเม็ดตะกอน

การวิเคราะห์ลักษณะและคุณสมบัติของเม็ดตะกอน ได้แก่ ขนาดเม็ดตะกอน (Sludge size) และความหนาแน่นของตะกอน (Biomass density)

4.2.2.1 ขนาดเม็ดตะกอน (Sludge size)

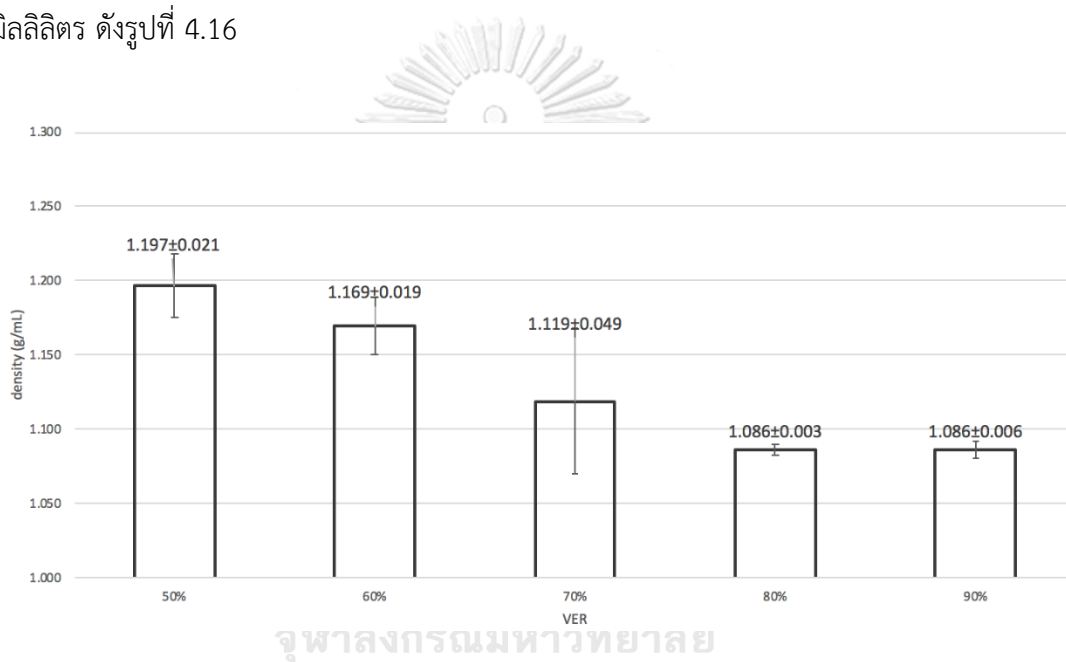
ที่สัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย 50% พบเม็ดตะกอนขนาดเล็ก (<1 มิลลิเมตร) และ 2 มิลลิเมตร 98.9% และ 1.1% ตามลำดับ เมื่อเพิ่มสัดส่วนการทดแทนน้ำเสียเป็น 60% พบเม็ดตะกอนขนาดเล็ก 2 และ 3 มิลลิเมตร 91.5% 6.1% และ 2.4% ตามลำดับ สัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย 70% พบเม็ดตะกอนขนาดเล็ก 2 3 และ 4 มิลลิเมตร 66% 27.9% 3.6% และ 2.5% ตามลำดับ สัดส่วนการทดแทนน้ำเสียเป็น 80% พบเม็ดตะกอนขนาดเล็ก 2 3 และ 4 มิลลิเมตร และเม็ดตะกอนขนาดใหญ่ (>4 มิลลิเมตร) 75.3% 18.8% 2.7% 2.7% และ 0.5% ตามลำดับ สุดท้ายสัดส่วนการทดแทนน้ำเสียเป็น 90% พบเม็ดตะกอนขนาดเล็ก 2 3 และ 4 มิลลิเมตร 47.6% 37.8% 12.2% และ 2.4% ตามลำดับ เนื่องจากในช่วงแรกของระบบที่ใช้สัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย 50% ตะกอนส่วนมากเป็นเม็ดขนาดเล็ก ต่อมาเมื่อลดสัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย พบเม็ดตะกอนมีแนวโน้มขนาดใหญ่ขึ้นและพบเม็ดตะกอนขนาดใหญ่ที่สุดขนาด 5 มิลลิเมตร เนื่องจากการลดระดับท่อปล่อยน้ำทิ้งต่ำลง ทำให้ในตอนที่ทำการทดลองที่ใช้สัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย 90% ซึ่งระดับท่อปล่อยน้ำทิ้งมีความสูงเพียง 10 เซนติเมตรจากกันถึงปฏิกรณ์ ระบบจึงสูญเสียเม็ดตะกอนขนาดใหญ่บางส่วนไปพร้อมน้ำทิ้ง ดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 การกระจายตัวของขนาดเม็ดตะกอนที่สัดส่วนการทดแทนน้ำเสียต่าง ๆ

4.2.2.2 ความหนาแน่นของตะกอน (Biomass density)

ในช่วงที่ใช้สัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย 50% มีความหนาแน่นจุลินทรีย์ 1.197 ± 0.021 กรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อเดินระบบต่อไปโดยลดสัดส่วนการทดแทนน้ำเสียเป็น 60% 70% 80% และ 90% ความหนาแน่นจุลินทรีย์มีแนวโน้มลดลง 1.169 ± 0.019 1.119 ± 0.049 1.086 ± 0.003 และ 1.086 ± 0.006 กรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ เนื่องจากสูญเสียตะกอนในระบบเพราะลดระดับท่อปล่อยน้ำทิ้ง และในช่วงท้ายการทดลองที่ใช้สัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย 80% และ 90% ตะกอนบางส่วนเริ่มเปลี่ยนแปลงเป็นตะกอนแบบเส้นใย ทำให้ความหนาแน่นของตะกอนลดลงถึง 1.086 ± 0.006 กรัมต่อมิลลิลิตร ดังรูปที่ 4.16




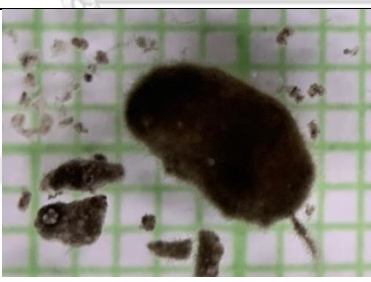
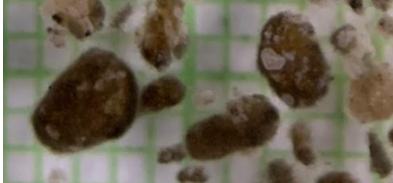


รูปที่ 4.16 ความหนาแน่นของตะกอนที่สัดส่วนการทดแทนน้ำเสียต่าง ๆ

4.2.2.3 ลำดับขั้นการเกิดเม็ดตะกอนจากผลการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย

เริ่มต้นระบบบำบัดของการทดลองส่วนที่ 2 โดยมีความเข้มข้น ตะกอนเริ่มต้นในถังปฏิกริยา 18,700 มิลลิกรัมต่อลิตร ในช่วงแรกของการทดลองที่ใช้สัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย(VER) 50% ตะกอนในถังประกอบด้วยเม็ดตะกอนขนาดเล็ก 0.5-2 มิลลิเมตรและกลุ่มฟล็อกสีน้ำตาลเข้ม ต่อมาเมื่อเพิ่ม VER 60% พบเม็ดตะกอนขนาดใหญ่ขึ้นจนถึง 3 มิลลิเมตร ในช่วงที่ใช้ VER 70% ตะกอนในระบบเริ่มเป็นเส้นใย และมีค่า SVI เฉลี่ยสูงขึ้นประมาณ 30 มิลลิกรัมต่อกรัม แสดงให้เห็นถึงการตกตะกอนของระบบที่แย่งลงและสูญเสียตะกอนเบาไปพร้อมน้ำทิ้งเนื่องจากระดับที่ต่ำลง แก้ปัญหาเส้นใยที่เกิดขึ้นโดยเดินระบบบำบัดเพียง 2 รอบต่อวัน ในรอบที่ 3-6 หยุดระบบและตู้ควบคุมไฟฟ้า เนื่องจากขั้นตอนการเติมอากาศโดยไม่มีซีโอดีในระบบจะทำให้แบคทีเรียประเภทเส้นใยเติบโตได้ดี ต่อมาเพิ่ม VER 80% และ 90% พบว่าพื้นผิวตะกอนมีเส้นใยน้อยลง ค่า SVI เฉลี่ยลดลงประมาณ 26 มิลลิกรัมต่อกรัม แต่การลดระดับที่น้ำทิ้งลงต่ำทำให้ปริมาณ MLSS ในระบบลดลงเพราะสูญเสียตะกอนและเม็ดตะกอนไปกับน้ำทิ้ง ที่ VER 80% เม็ดตะกอนมีขนาดใหญ่ถึง 5 มิลลิเมตร แสดงดังตารางที่ 4.2 มีค่า SVI เฉลี่ยอยู่ในช่วง 20-30 มิลลิกรัมต่อกรัมตลอดการทดลอง ซึ่งตะกอนที่มีสมบัติการตกตะกอนที่ดีในระบบเอเอสทั่วไป กำหนด SVI อยู่ในช่วง 90-120 มิลลิกรัมต่อกรัม ดังนั้นในการทดลองส่วนที่ 2 จึงเริ่มต้นระบบด้วยสมบัติในการตกตะกอนที่ดีกว่าระบบเอเอสทั่วไป

ตารางที่ 4.2 ตารางเปรียบเทียบลักษณะภาพถ่ายตะกอนที่เวลาตกตะกอนต่าง ๆ

VER	ภาพเม็ดตะกอน	ลักษณะเม็ดตะกอน
50%		เม็ดตะกอนขนาดเล็ก 0.5-3 มม. สีน้ำตาลเข้ม พื้นผิวเรียบ
60%		เม็ดตะกอนมีขนาดใหญ่ขึ้นถึง 4 มม. สีน้ำตาลเข้ม พื้นผิวขรุขระเล็กน้อย ตะกอนในระบบส่วนมากไร้รูปร่าง
70%		เม็ดตะกอนบางส่วนมีขนาดใหญ่ขึ้น และมีสีน้ำตาลเข้ม เริ่มพบเส้นใยบนพื้นผิวเม็ดตะกอน
80%		เส้นใยบนพื้นผิวเม็ดตะกอนลดลง เม็ดมีลักษณะเป็นทรงกลมมากขึ้น
90%		เม็ดตะกอนส่วนมากมีสีอ่อนลง ตะกอนในระบบเหลือน้อย สูญเสียเม็ดตะกอนขนาดใหญ่ไป พร้อมน้ำทิ้ง

4.3 ลักษณะพื้นผิวตะกอน

การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวตะกอน โดยใช้การวิเคราะห์ด้วยการส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM)

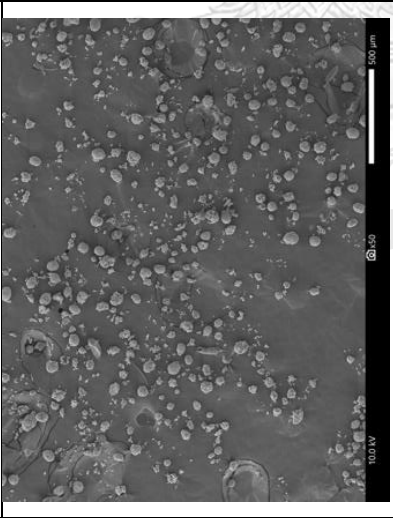
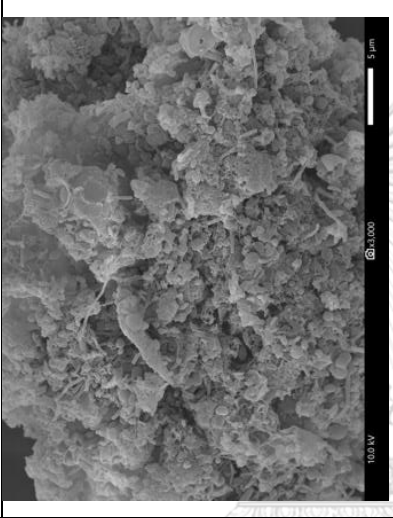
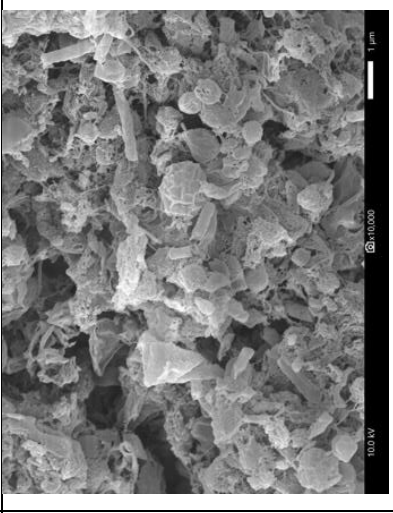
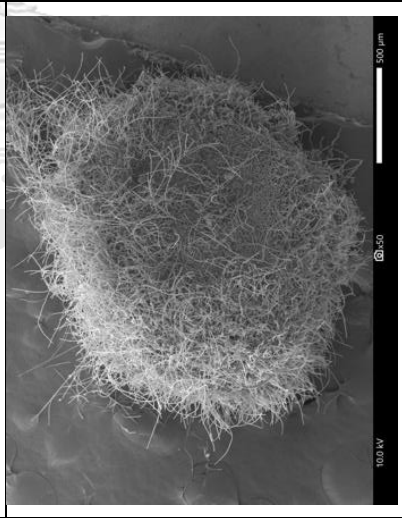
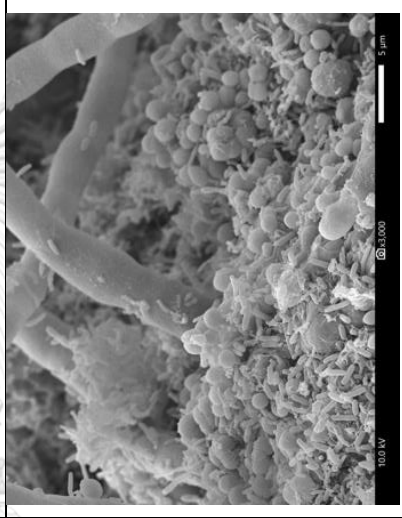
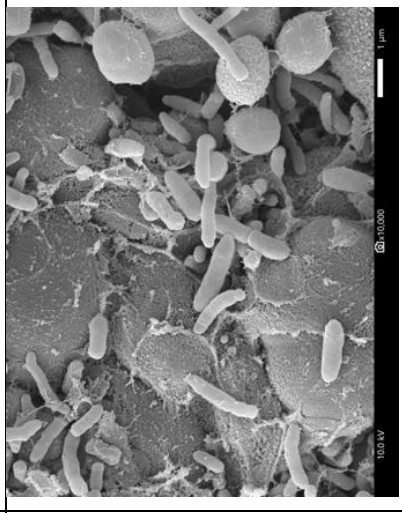
4.3.1 ลักษณะพื้นผิวตะกอนหัวเชื้อเริ่มระบบ (Seed)

ตะกอนหัวเชื้อเริ่มระบบใช้ตะกอนจากถังเดิมอากาศ จากโรงควบคุมคุณภาพน้ำเสียช่องนนทรี นำมาเลี้ยงด้วยสูตรอาหารชนิดเดียวกับน้ำเสียสังเคราะห์ และเก็บตัวอย่างตะกอนวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวก่อนนำไปใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียในงานทดลอง จากภาพที่ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดกำลังขยาย 50 เท่า พบตะกอนมีขนาดเล็กมากและรวมกันเป็นกลุ่มคล้ายเม็ดเล็ก และเมื่อเพิ่มกำลังขยายเป็น 3,000 และ 10,000 เท่า พบจุลินทรีย์ขนาดเล็กหลากหลายประเภทอยู่รวมกันและอาจมีสารอนินทรีย์บางประเภทรวมอยู่ในตะกอน ดังตารางที่ 4.3

4.3.2 ลักษณะพื้นผิวเม็ดตะกอน (Aerobic granules)

เม็ดตะกอนที่นำไปส่อง SEM มีขนาด 5 มิลลิเมตร เป็นเม็ดตะกอนที่อยู่ในช่วงการทดลองส่วนที่ 1 ศึกษาผลของเวลาตกตะกอนให้การสร้างเม็ดตะกอน โดยใช้เวลาตกตะกอน 2 นาที จากภาพที่ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดกำลังขยาย 50 เท่า พบเส้นใย (filamentous) มากมากบนพื้นผิวเม็ดตะกอน และเมื่อเพิ่มกำลังขยายเป็น 3,000 และ 10,000 เท่า พบจุลินทรีย์ประเภทแบคทีเรียกลุ่ม coccus ที่มีลักษณะกลมและกลุ่ม bacillus ที่มีลักษณะเป็นแท่งสั้น เกาะกลุ่มอยู่รวมกับเส้นใย ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ตารางเปรียบเทียบลักษณะภาพถ่าย SEM ของตะกอนหัวเชื้อและเม็ดตะกอน

ตัวอย่าง	กำลังขยาย 50 เท่า	กำลังขยาย 3,000 เท่า	กำลังขยาย 10,000 เท่า
ตะกอนหัวเชื้อ			
เม็ดตะกอน			

4.4 สรุปกลไกการเกิดเม็ดตะกอน

การเกิดเม็ดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนโดยอาศัยกระบวนการบำบัดแบบเอสปีอาร์ ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน คือ

1. การเติมน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้น้ำตาลทราย ความเข้มข้นเริ่มต้นภายในถังปฏิกริยา 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ในการทดลองนี้น้ำเสียสังเคราะห์มีความเข้มข้นสูงเมื่อเทียบกับระบบเอเอสทั่วไป (Zheng, 2006) โดยความเข้มข้นของน้ำเสียที่ใช้ส่งผลต่อการเกิดเม็ดตะกอนเนื่องจากจุลินทรีย์สามารถใช้เป็นอาหาร ย่อยสลายได้ง่าย ทำให้เจริญเติบโตได้ดี สอดคล้องกับค่า MLSS ที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการทดลองส่วนที่ 1 ที่ใช้เวลาตกตะกอน 60 นาที จากความเข้มข้นตะกอนเริ่มต้น 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็น 31,600 มิลลิกรัมต่อลิตร ภายในระยะเวลา 71 วัน
2. การเติมอากาศด้วยความเร็วอากาศ 3.5 เซนติเมตรต่อวินาที แรงเฉือนจากการเติมอากาศจะช่วยกระตุ้นให้จุลินทรีย์สร้างสารอีพีเอส ทำให้ตะกอนจับกันแน่นจนกลายเป็นเม็ดตะกอน (Tay และคณะ, 2001 และ franca, 2018) เม็ดตะกอนจากการทดลองมีขนาดที่แตกต่างกันทั้งเม็ดเล็กและใหญ่ (เม็ดตะกอนที่มีมิติ มีทรงกลม ขนาดเล็กกว่า 1 เซนติเมตรไปจนถึงขนาด 5 เซนติเมตร)
3. การตกตะกอน เป็นการคัดตะกอนเบาออกจากระบบพร้อมน้ำทิ้งและเหลือตะกอนที่มีสมบัติการตกตะกอนที่ดีในระบบ จากค่า SVI ที่ลดลงจากตอนเริ่มระบบ 296 มิลลิกรัมต่อกรัม เหลือเพียง 13.23 มิลลิกรัมต่อกรัม เมื่อเวลาผ่านไป 14 วัน และเมื่อเริ่มการบำบัดรอบใหม่ แรงเฉือนจากการเติมอากาศจะทำให้ตะกอนเม็ดเล็กมีขนาดใหญ่ขึ้น และการคัดตะกอนจากขั้นตอนนี้อาศัยการลดของเวลาตกตะกอนจาก 60 นาที เหลือ 30 15 5 และ 2 นาที ตามลำดับ (Qin และคณะ, 2004)
4. การทิ้งน้ำ เป็นการคัดตะกอนเบาออกจากระบบพร้อมน้ำทิ้งโดยเพิ่มสัดส่วนการทดแทนน้ำเสียจาก 50% เป็น 60 70 80 และ 90% ซึ่งสัมพันธ์กับระดับท่อน้ำทิ้งที่ลดต่ำลง (Wang และคณะ, 2006) ดังนั้นการสูญเสียตะกอนไปกับน้ำทิ้งจึงเป็นการจำกัดปริมาณตะกอนในถังจากระดับท่อน้ำทิ้ง ทำให้เม็ดตะกอนที่ตกตะกอนได้ดีและยังอยู่ในระบบมีโอกาสมีขนาดใหญ่ขึ้นจากแรงเฉือนในขั้นตอนการเติมอากาศในรอบบำบัดถัดไป

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการทดลองสร้างและประสิทธิภาพเมื่อดตะกอนจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจน เป็นเวลา 170 วัน โดยใช้ถังปฏิกรณ์แบบที่ละเท น้ำเสียสังเคราะห์จากซูโครสความเข้มข้นซีโอดี 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณแอมโมเนียมคลอไรด์ 380 มิลลิกรัมต่อลิตร ควบคุมความเร็วการเติมอากาศ 3.5 เซนติเมตรต่อวินาที สัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย 50% โดยไม่มีการทิ้งตะกอน ภายใต้สภาวะที่มีค่าพีเอช (pH) 6.5 - 7.5 ควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำให้มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร การทดลอง

แ บ บ ใ บ ง เ ป็ น

2 ส่วน คือการศึกษาผลของเวลาตกตะกอนต่อการสร้างเมื่อดตะกอน และการศึกษาผลของสัดส่วนการทดแทนน้ำเสียโดยเลือกเวลาตกตะกอนที่เหมาะสมต่อการสร้างเมื่อดตะกอนจากการทดลองในส่วนแรก โดยพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์คือ ของแข็งแขวนลอย (MLSS) ดัชนีปริมาตรตะกอน (SVI) ค่าซีโอดี (COD) ปริมาตรการตกตะกอนที่ 30 นาที (SV30) ขนาดเมื่อดตะกอน (Sludge size) ความหนาแน่นของตะกอน (Biomass density) และลักษณะทางกายภาพของเมื่อดตะกอน (Physical characteristics of sludge)

5.1 ผลการเปลี่ยนแปลงเวลาตกตะกอนต่อการสร้างเมื่อดตะกอน

เริ่มต้นเดินระบบโดยใช้เวลาตกตะกอน 60 นาที เมื่อระบบเข้าสู่สมดุลคือปริมาณของแข็งแขวนลอย (MLSS) ในระบบคงที่ อัตราการบำบัดซีโอดีคงที่ จึงลดเวลาตกตะกอนลงเป็น 30 15 5 และ 2 นาที โดยใช้เวลาทำการทดลอง 119 วัน

5.1.1 การวิเคราะห์ทางกายภาพและทางเคมีของตะกอน

5.1.1.1 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (MLSS) และดัชนีปริมาตรตะกอน (SVI)

ที่เวลาตกตะกอน 60 30 15 5 และ 2 นาที MLSS เฉลี่ย 30,200 31,600 26,750 15,733 และ 9,770 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ และค่า SVI เฉลี่ย 13.23 14.0 16.84 18.20 และ 19.45 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ และค่า SVI เฉลี่ย 13.23 14.0 16.84 18.20 และ 19.45 มิลลิกรัมต่อลิตร เวลาตกตะกอนน้อยลงส่งผลให้ตะกอนที่มีน้ำหนักรวม ตกตะกอนได้ดีคงเหลืออยู่ในถังปฏิกรณ์ และตะกอนที่มีน้ำหนักรวมตกตะกอนได้ไม่ดีจะหลุดออกจากระบบไปพร้อมกับน้ำทิ้ง ทำให้ตะกอนในระบบลดลง สรุปได้ว่าเวลาที่ใช้ในการตกตะกอนเป็นปัจจัยสำคัญช่วยคัดเลือกตะกอนที่มี

น้ำหนักรวมที่เก็บไว้ในระบบและเวลาตกตะกอนที่เหมาะสมที่สุดจากการทดลองคือ 15 นาที โดยพิจารณาจากตะกอนในน้ำที่มีปริมาณ (น้ำทิ้งมีค่า MLSS เฉลี่ย 1,260 มิลลิกรัมต่อลิตร) ตะกอนในระบบมีปริมาณมาก (ในถังปฏิบัติการมีค่า MLSS เฉลี่ย 26,750 มิลลิกรัมต่อลิตร) และพิจารณาร่วมกับขนาดเม็ดตะกอน (พบเม็ดตะกอนขนาดใหญ่ที่สุด 5 มิลลิเมตร ร้อยละ 4.1 ของเม็ดตะกอนกลุ่มตัวอย่าง)

5.1.1.2 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี (COD removal efficiency)

เมื่อเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์เข้าระบบความเข้มข้นคงที่ในช่วง 1,900-2,200 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการทดลองพบว่าระบบบำบัดมีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีสูงกว่า 80% คงที่ตลอดการทดลอง

5.1.1.3 อัตราการบำบัดซีโอดีจำเพาะ (Specific COD Removal Rates)

อัตราการบำบัดซีโอดีจำเพาะของระบบตลอดการทดลองส่วนที่ 1 อยู่ในช่วง 6.29-10.81 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตรต่อมิลลิกรัม MLSS ต่อลิตรต่อวัน โดยในช่วงแรกที่ใช้เวลาตกตะกอน 60 30 และ 15 นาที มีอัตราการบำบัดซีโอดีจำเพาะต่ำในช่วง 6.29-7.098 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตรต่อมิลลิกรัม MLSS ต่อลิตรต่อวัน เนื่องจากตะกอนในระบบส่วนมากเป็นตะกอนเบาและเม็ดตะกอนขนาดเล็ก ต่อมาลดเวลาตกตะกอน อัตราการบำบัดซีโอดีจำเพาะสูงขึ้น และสูงที่สุด 10.81 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตรต่อมิลลิกรัม MLSS ต่อลิตรต่อวัน เมื่อใช้เวลาตกตะกอน 5 นาที จากค่าแนะนำของระบบเอเอสทั่วไป อัตราการบำบัดซีโอดีจำเพาะควรมีค่า 5 มิลลิกรัมซีโอดีต่อมิลลิกรัม MLSS ต่อวัน จึงสรุปได้ว่าในงานทดลอง เม็ดตะกอนมีอัตราการบำบัดซีโอดีมากกว่าตะกอนในระบบเอเอสทั่วไป

5.1.2 ลักษณะทางกายภาพของเม็ดตะกอน

5.1.2.1 ขนาดเม็ดตะกอน (Sludge size)

ตะกอนเริ่มเป็นเม็ดในสัปดาห์ที่ 2 หลังจากเริ่มต้นระบบ และมีขนาดเล็กกว่า 1 มิลลิเมตร ในช่วงที่ใช้เวลาตกตะกอน 60 นาที พบเม็ดตะกอนขนาด 1-3 มิลลิเมตร เวลาตกตะกอน 30 นาที พบเม็ดตะกอนขนาด 1-4 มิลลิเมตร เวลาตกตะกอน 15, 5 และ 2 นาที พบเม็ดตะกอนขนาด 1-มากกว่า 4 มิลลิเมตร เมื่อลดเวลาตกตะกอนลงพบว่าเม็ดตะกอนขนาดเล็ก (>1มิลลิเมตร) มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่เม็ดตะกอนขนาดใหญ่ที่สุดมีขนาด 5 มิลลิเมตร พบมาก 4.1% และ 4.8% เมื่อใช้เวลาตกตะกอน 15 และ 5 นาที

5.1.2.2 ความหนาแน่นของตะกอน (Biomass density)

เมื่อลดเวลาดกตะกอนจาก 60 เป็น 30 15 และ 5 นาที ความหนาแน่นจุลินทรีย์ของเม็ดตะกอนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในช่วงท้ายของการทดลองที่ใช้เวลาดกตะกอน 5 นาที พบตะกอนแบบเส้นใยในระบบ ทำให้ตะกอนในระบบตกตะกอนแย่งและมีความหนาแน่นลดลง จากการทดลองพบว่าเวลาดกตะกอน 5 นาที ตะกอนในระบบมีความหนาแน่นสูงที่สุด 1.342 ± 0.012 กรัมต่อมิลลิลิตร

5.2 ผลการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนการทดแทนน้ำเสียต่อการสร้างเม็ดตะกอนที่เวลาดกตะกอน 15 นาที

เดินระบบโดยใช้เวลาดกตะกอน 15 นาที เริ่มต้นใช้สัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย 50% เมื่อระบบเข้าสู่สมดุลคือปริมาณของแข็งแขวนลอย (MLSS) ในระบบคงที่ อัตราการบำบัดซีโอดีคงที่ จึงเพิ่มสัดส่วนการทดแทนน้ำเสียเป็น 60% 70% 80% และ 90% โดยใช้เวลาทำการทดลอง 51 วัน

5.2.1 การวิเคราะห์ทางกายภาพและทางเคมีของตะกอน

5.2.1.1 ปริมาณของแข็งแขวนลอย (MLSS) และดัชนีปริมาตรตะกอน (SVI)

สัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย 50% 60% 70% 80% และ 90% พบ MLSS เฉลี่ย 17,240 18,590 10,207 7,293 และ 4,030 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ และค่า SVI เฉลี่ย 26.68 19.50 29.76 26.98 และ 22.35 มิลลิตรต่อกรัม การเพิ่มสัดส่วนการทดแทนน้ำเสียคือการลดระดับท่อปล่อยน้ำทิ้งให้ต่ำลงส่งผลให้สูญเสียตะกอนปริมาณมากไปกับน้ำทิ้งและตะกอนที่หลุดออกจากระบบมีทั้งตะกอนเบาและเม็ดตะกอนและสัดส่วนการทิ้งน้ำที่เหมาะสมที่สุดจากการทดลองคือ 60% โดยพิจารณาจากตะกอนในน้ำทิ้งมีปริมาณ (น้ำทิ้งมีค่า MLSS เฉลี่ย 1,140 มิลลิกรัมต่อลิตร) ตะกอนในระบบมีปริมาณมาก (ในถังปฏิกริยามีค่า MLSS เฉลี่ย 18,590 มิลลิกรัมต่อลิตร)

5.2.1.2 ค่าซีโอดี (COD) และประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี (COD removal efficiency)

เมื่อเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์เข้าระบบความเข้มข้นคงที่ในช่วง 1,900-2,200 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการทดลองพบว่าระบบบำบัดมีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีสูงกว่า 90% คงที่ตลอดการทดลอง

5.2.1.3 อัตราการบำบัดซีโอดีจำเพาะ (Specific COD Removal Rates)

อัตราการบำบัดซีโอดีจำเพาะของระบบตลอดการทดลองอยู่ในช่วงอัตราการบำบัดสูง 6.29-10.39 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตรต่อมิลลิกรัม MLSS ต่อลิตรต่อวัน โดยในช่วงแรกที่ใช้สัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย 50% มีอัตราการบำบัดซีโอดีจำเพาะ 6.29 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตรต่อมิลลิกรัม MLSS ต่อลิตรต่อวัน ต่อมาเพิ่มสัดส่วนการทดแทนน้ำเสียพบว่าอัตราการบำบัดซีโอดีจำเพาะสูงขึ้นและสูงที่สุด 10.39 มิลลิกรัมซีโอดีต่อลิตรต่อมิลลิกรัม MLSS ต่อลิตรต่อวัน เมื่อใช้สัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย 60% เนื่องจากที่เหลือในระบบเป็นเม็ด อัตราการบำบัดซีโอดีจำเพาะควรมีค่า 5 มิลลิกรัมซีโอดีต่อมิลลิกรัม MLSS ต่อวัน จึงสรุปได้ว่าในงานทดลอง เม็ดตะกอนมีอัตราการบำบัดซีโอดีมากกว่าตะกอนในระบบเอเอสทั่วไป

5.2.2 ลักษณะทางกายภาพของเม็ดตะกอน

5.2.2.1 ขนาดเม็ดตะกอน (Sludge size)

เริ่มการทดลองส่วนที่ 2 เม็ดตะกอนในระบบมีขนาดเล็กกว่า 1 มิลลิเมตร ตลอดการทดลองในระบบบำบัดมีเม็ดตะกอนขนาดเล็กจำนวนมาก และมีแนวโน้มเพิ่มขนาดขึ้นเมื่อเพิ่มสัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย โดยใช้การคัดตะกอนออกไปพร้อมน้ำทิ้งจากระดับท่อปล่อยน้ำทิ้งที่ต่ำลงและแรงเหวี่ยงน้ำจากการเติมอากาศด้วยความเร็วสูง 3.5 เซนติเมตรต่อวินาที ทำให้ตะกอนขนาดเล็กที่เหลือในระบบมีขนาดใหญ่ขึ้น ดังนั้นการเพิ่มสัดส่วนการทดแทนน้ำเสียมีผลต่อขนาดเม็ดตะกอนและเม็ดตะกอนขนาดใหญ่ที่สุดมีขนาด 5 มิลลิเมตร ซึ่งพบเมื่อใช้สัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย 80%

5.2.2.2 ความหนาแน่นจุลินทรีย์ของเม็ดตะกอน (Biomass density)

เมื่อเพิ่มสัดส่วนการทดแทนน้ำเสียจาก 50% เป็น 60% 70% 80% และ 90% ความหนาแน่นจุลินทรีย์ของเม็ดตะกอนมีแนวโน้มลดลง ในช่วงท้ายของการทดลองที่ใช้สัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย 80% และ 90% พบตะกอนแบบเส้นใยในระบบ ทำให้ตะกอนในระบบตกตะกอนแย่งลงและมีความหนาแน่นลดลง จากการทดลองพบว่า การใช้สัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย 50% ตะกอนในระบบมีความหนาแน่นสูงที่สุด 1.197 ± 0.021 กรัมต่อมิลลิลิตร

5.3 ลักษณะพื้นผิวตะกอน

การวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวตะกอนโดยใช้การส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (SEM) สามารถดูได้เพียงรูปร่างของจุลินทรีย์ ไม่สามารถระบุถึงประเภทหรือชนิดของจุลินทรีย์ได้จากภาพที่เห็น จากการทดลองใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดกำลังขยาย 50 เท่า พบเม็ดตะกอนมีลักษณะเป็นเส้นใยม้วนพันเป็นก้อนกลม และเมื่อเพิ่มกำลังขยาย 3,000 เท่า และ 10,000 เท่า พบจุลินทรีย์หลากหลายรูปร่างภายในเม็ดตะกอน

5.4 คำแนะนำของการนำไปใช้จริง

สำหรับการนำไปใช้จริงกับระบบบำบัดขนาดใหญ่ที่เป็นแบบแผนเดียวกันกับการทดลองนี้

การเติมอากาศ

ควบคุมการเติมอากาศที่ความเร็วมากกว่า 3.5 เซนติเมตร เพื่อให้ตะกอนรวมเป็นเม็ด

เวลาตกตะกอน

ระบบบำบัดควรใช้เวลาตกตะกอน 15 นาที และดูปริมาณตะกอนในถังปฏิริยาหลังตกตะกอนควบคู่ เพื่อสะสมตะกอนในระบบให้ได้ปริมาณมากอาจมีการปรับเปลี่ยนเวลาตกตะกอน ข้อดีจากการใช้เวลาตกตะกอนสั้นจะช่วยให้รอบการบำบัดของระบบรวดเร็วมากขึ้น ส่งผลให้ระบบสามารถทำงานได้หลายรอบการบำบัดต่อวัน คือสามารถรับปริมาณน้ำเสียต่อวันได้มากขึ้น

สัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย (VER)

เลือกใช้สัดส่วนการทดแทนน้ำเสียที่ VER 60% และดูปริมาณตะกอนในถังปฏิริยาหลังตกตะกอนควบคู่ ที่ระดับ VER 60% สัมพันธ์กับระดับท่อน้ำทิ้งที่อยู่ช่วงกลางถัง (สูง 40 เซนติเมตร จากพื้นถังปฏิริยา) ระดับท่อน้ำทิ้งไม่ต่ำจนเกินไป (เนื่องจาก VER 90% สูงจากพื้นถังปฏิริยาเพียง 10 เซนติเมตร) จึงรักษาตะกอนในระบบได้ มีปริมาณตะกอนในระบบสูง (MLSS เฉลี่ย 18,590 มิลลิกรัมต่อลิตร) และเป็นระดับที่สามารถคัดตะกอนเบาไปพร้อมทิ้งได้ในปริมาณที่เหมาะสม

5.4 ข้อเสนอแนะของงานวิจัยต่อไป

5.4.1 ปัจจัยสำคัญในการเกิดเม็ดตะกอน

จากงานวิจัยต่าง ๆ ก่อนหน้านี้พบว่า ปัจจัยสำคัญในการเกิดเม็ดตะกอน คือ เวลาตกตะกอน สัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย (VER) ความเข้มข้นน้ำเสีย และการเติมอากาศ ดังนั้นความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ในระบบและความเร็วในการเติมอากาศที่มีผลต่อการสร้างเม็ดตะกอนจึงเป็นอีกความน่าสนใจ ที่ใช้ในการหาข้อสรุปและกลไกของการเกิดเม็ดตะกอนที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้น เนื่องจากปัญหาเกิดตะกอนเส้นใยปนกับเม็ดตะกอนในการทดลองส่วนที่ 1 ขั้นตอนที่ใช้เวลาตกตะกอน 5 และ 2 นาที และการทดลองส่วนที่ 2 ขั้นตอนที่ใช้ VER 80 และ 90%

5.4.2 ถึงปฏิบัติการเอสปีอาร์และอุปกรณ์ประกอบ

ในงานวิจัยนี้ใช้ตู้ควบคุมไฟฟ้าในการควบคุมในแต่ละขั้นตอนของการบำบัด เพื่อให้ระบบดำเนินไปอย่างต่อเนื่องและเป็นแบบอัตโนมัติ แต่เนื่องจากเกิดปัญหาในขั้นตอนการปล่อยน้ำทิ้ง คือ โซลินอยด์วาล์ว (Solenoid valve) มีตะกอนแข็งอุดตัน ซึ่งโซลินอยด์วาล์วเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมการปล่อยน้ำทิ้ง มีตำแหน่งติดตั้งบริเวณท่อทิ้งน้ำซึ่งอยู่ด้านล่างของถังปฏิบัติการ กล่าวคือในการเริ่มเดินระบบครั้งแรกนั้นสามารถใช้งานโซลินอยด์วาล์วได้ดี ไม่มีปัญหาใด ๆ และระบบบำบัดเป็นแบบอัตโนมัติทั้งระบบ เมื่อเวลาผ่านไปในรอบการบำบัดที่ 3-4 เกิดปัญหาตะกอนบางส่วนที่มาพร้อมน้ำทิ้งค้างและอุดตันอยู่ในโซลินอยด์วาล์ว ทำให้ปริมาณน้ำที่ทิ้งออกจากถังไม่สัมพันธ์กับปริมาณน้ำเสียสังเคราะห์ใหม่ที่เติมเข้าระบบและล้นออกทางด้านบนถังปฏิบัติการ จึงสูญเสียตะกอนและเม็ดตะกอนไปพร้อมน้ำทิ้งโดยไม่ทราบปริมาณ



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก

รายการคำนวณ

ก. 1 การคำนวณสารอาหารที่ใช้ในการทดลอง

ปริมาณสารอาหารที่ใช้ตามสูตรสารอาหารของ Zheng (2006) และเตรียมสารเพื่อความสะดวกในการใช้งานดังนี้

1. สารที่ไม่ได้ผสมเก็บไว้ (เตรียมน้ำเสีย 16 ลิตร/วัน)

ใช้น้ำตาลทราย 1,780 มิลลิกรัม/ลิตร × 16 ลิตร = 28.48 กรัม

2. สารอาหารหลัก ทำ Stock 1,000 เท่า ในปริมาตรน้ำ 1 ลิตร

NH ₄ Cl	380	มิลลิกรัม/ลิตร × 16 ลิตร	=	6.080	กรัม
KH ₂ PO ₄	30	มิลลิกรัม/ลิตร × 16 ลิตร	=	0.480	กรัม
K ₂ HPO ₄	30	มิลลิกรัม/ลิตร × 16 ลิตร	=	0.480	กรัม
CaCl ₂ ·2H ₂ O	25	มิลลิกรัม/ลิตร × 16 ลิตร	=	0.400	กรัม
MgSO ₄ ·7H ₂ O	10	มิลลิกรัม/ลิตร × 16 ลิตร	=	0.160	กรัม
FeSO ₄ ·7H ₂ O	20	มิลลิกรัม/ลิตร × 16 ลิตร	=	0.320	กรัม

3. สารอาหารเสริมรอง (แร่ธาตุที่จำเป็น) ทำ Stock 1,000 เท่า ในปริมาตรน้ำ 1 ลิตร

H ₃ BO ₃	0.05	มิลลิกรัม/ลิตร × 16 ลิตร	=	0.800	มิลลิกรัม
ZnCl ₂	0.05	มิลลิกรัม/ลิตร × 16 ลิตร	=	0.800	มิลลิกรัม
CuCl ₂	0.03	มิลลิกรัม/ลิตร × 16 ลิตร	=	0.480	มิลลิกรัม
MnSO ₄ ·H ₂ O	0.05	มิลลิกรัม/ลิตร × 16 ลิตร	=	0.800	มิลลิกรัม
(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ ·4H ₂ O	0.05	มิลลิกรัม/ลิตร × 16 ลิตร	=	0.800	มิลลิกรัม
AlCl ₃	0.05	มิลลิกรัม/ลิตร × 16 ลิตร	=	0.800	มิลลิกรัม
CoCl ₂ ·6H ₂ O	0.05	มิลลิกรัม/ลิตร × 16 ลิตร	=	0.800	มิลลิกรัม
NiCl ₂	0.05	มิลลิกรัม/ลิตร × 16 ลิตร	=	0.800	มิลลิกรัม

ก. 2 การคำนวณดัชนีปริมาตรตะกอน

$$\text{ดัชนีปริมาตรตะกอน (SVI)} = \frac{\text{ปริมาตรการตกตะกอนที่ 30 นาที (SV30)} \times 1,000}{\text{ปริมาณ MLSS ในถังปฏิกรณ์}}$$

= ค่าตอบในหน่วย มิลลิลิตรต่อกรัม

ก. 3 การคำนวณอัตราการบำบัดซีโอดีจำเพาะ

$$\frac{\text{ความเข้มข้นซีโอดีจากความชันกราฟ (มิลลิกรัม COD) \times 60 นาที \times 24 ชั่วโมง}}{\text{ความเข้มข้นตะกอนในถังปฏิกรณ์ (มิลลิกรัม MLSS) \times 1 ชั่วโมง \times 1 วัน}}$$

= ค่าตอบในหน่วย มิลลิกรัม COD ต่อ มิลลิกรัม MLSS ต่อวัน

ก. 4 การคำนวณความหนาแน่นจุลินทรีย์ของเม็ดตะกอน

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

*หมายเหตุ ปริมาตรตะกอน = ปริมาตรรวม - ปริมาตรน้ำ 20 มิลลิลิตร

= ค่าตอบในหน่วย กรัมต่อลิตร

รายงานผลความหนาแน่นของตะกอนจุลินทรีย์ด้วยค่าที่รวมความหนาแน่นของน้ำ

คือ 1,000 กรัมต่อลิตร ดังนั้น ความหนาแน่นของตะกอนจุลินทรีย์

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

= ค่าตอบในหน่วย กรัมต่อมิลลิลิตร

ภาคผนวก ข

ผลการทดลอง

ข. 1 ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในการทดลองส่วนที่ 1 ที่เวลาตกตะกอนต่าง ๆ

ตาราง ข. 1.1 ค่า MLSS และ SVI ของเชื้อจุลินทรีย์ในระบบบำบัดและน้ำทิ้ง

วัน/เดือน/ปี	MLSS (มิลลิกรัม/ลิตร)		SV30	SVI	วัน/เดือน/ปี	MLSS (มิลลิกรัม/ลิตร)		SV30	SVI
	ในระบบ	น้ำทิ้ง				ในระบบ	น้ำทิ้ง		
เวลาตกตะกอน 60 นาที					เวลาตกตะกอน 15 นาที (ต่อ)				
8/5/2019	2500		740	296.0000	26/7/2019	27100	1100	420	15.4982
14/5/2019	6500		300	46.1538	31/7/2019	26000	1570	490	18.8462
20/5/2019	15900		210	13.2075	1/8/2019	27000	1240	440	16.2963
28/5/2019	23700		250	10.5485	3/8/2019	26900	1280	450	16.7286
4/6/2019	28500		350	12.2807	เวลาตกตะกอน 5 นาที				
7/6/2019	31600	860	400	12.6582	6/8/2019	19100	10500	330	17.2775
14/6/2019	29700	600	400	13.4680	9/8/2019	16800	6120	290	17.2619
19/6/2019	31000	560	450	14.5161	13/8/2019	15500	6980	250	16.1290
เวลาตกตะกอน 30 นาที					15/8/2019	15700	1420	310	19.7452
26/6/2019	34900	510	490	14.0401	เวลาตกตะกอน 2 นาที				
28/6/2019	33500	660	500	14.9254	17/8/2019	16000	1720	300	18.7500
3/7/2019	31300	1220	480	15.3355	18/8/2019	14320	15360	230	16.0615
8/7/2019	31200	760	420	13.4615	20/8/2019	13040	5540	180	13.8037
10/7/2019	31900	540	430	13.4796	22/8/2019	9840	3260	190	19.3089
15/7/2019	32000	440	450	14.0625	23/8/2019	9640	3340	180	18.6722
เวลาตกตะกอน 15 นาที					25/8/2019	10000	2560	190	19.0000
18/7/2019	26500	4140	410	15.4717	2/9/2019	9600	2760	200	20.8333
20/7/2019	28800	2940	440	15.2778					
22/7/2019	30300	980	400	13.2013					
24/7/2019	29500	2740	370	12.5424					

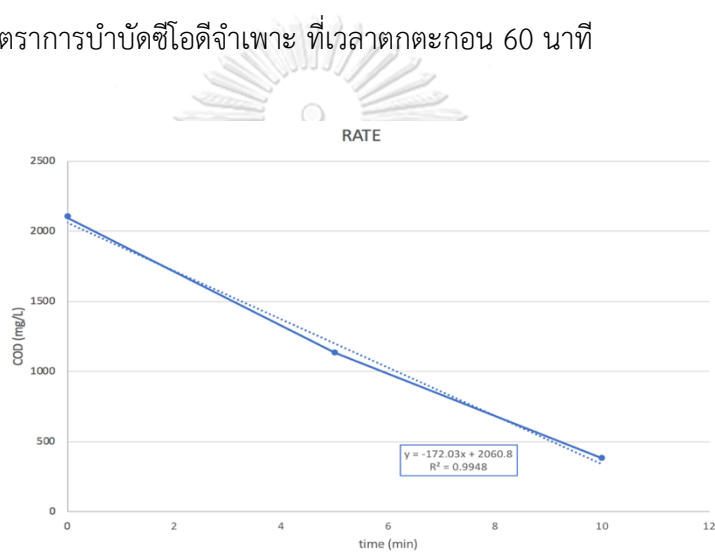
ตาราง ข. 1.2 ค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของเชื้อจุลินทรีย์ในระบบบำบัด

วัน/เดือน/ปี	COD (มิลลิกรัม/ลิตร)		%eff	วัน/เดือน/ปี	MLSS (มิลลิกรัม/ลิตร)		%eff
	น้ำเข้า	น้ำทิ้ง			น้ำเข้า	น้ำทิ้ง	
เวลาดกตะกอน 60 นาที				เวลาดกตะกอน 30 นาที			
18/5/2019	1814.2857	151.1905	91.67	4/7/2019	1963.4400	218.1600	88.89
19/5/2019	1738.6905	226.7857	86.96	เวลาดกตะกอน 15 นาที			
20/5/2019	1814.2857	453.5714	75.00	22/7/2019	2045.9016	236.0656	88.46
20/5/2019	2134.7200	114.3600	94.64	เวลาดกตะกอน 5 นาที			
21/5/2019	2439.6800	270.6520	88.91	6/8/2019	2281.9672	78.6885	96.55
22/5/2019	2210.9600	609.9200	72.41	เวลาดกตะกอน 2 นาที			
22/5/2019	2287.2000	914.8800	60.00	17/8/2019	2073.7327	38.4025	98.15
23/5/2019	3430.8000	686.1600	80.00	25/8/2019	2116.6667	98.2738	95.36
26/5/2019	2096.6400	322.5600	84.62				
28/5/2019	2125.1200	164.8800	92.24				
29/5/2019	1978.5600	659.5200	66.67				
30/5/2019	1905.2800	183.2000	90.38				
31/5/2019	2271.6800	164.8800	92.74				
1/6/2019	1795.8400	136.6400	92.39				
4/6/2019	1873.9200	292.8000	84.38				
14/6/2019	1873.9200	58.5600	96.88				
15/6/2019	1935.4840	96.7742	95.00				
23/6/2019	1818.0000	109.0800	94.00				

ตาราง ข. 1.3 ค่าซีโอดีที่ลดลงในช่วงเวลาที่ 0 นาที 5 นาที และ 10 นาที

เวลา (นาที)	COD (มิลลิกรัม/ลิตร)				
	60 นาที	30 นาที	15 นาที	5 นาที	2 นาที
0	2096.64	1935.484	2124.59017	2073.73271	2116.666675
5	1128.96	903.2258667	1259.016397	1689.708134	1587.500006
10	376.32	335.4838933	944.2622976	998.4638976	1436.30953

กราฟ ข. 1.3.1 อัตราการบำบัดซีโอดีจำเพาะ ที่เวลาดกตะกอน 60 นาที



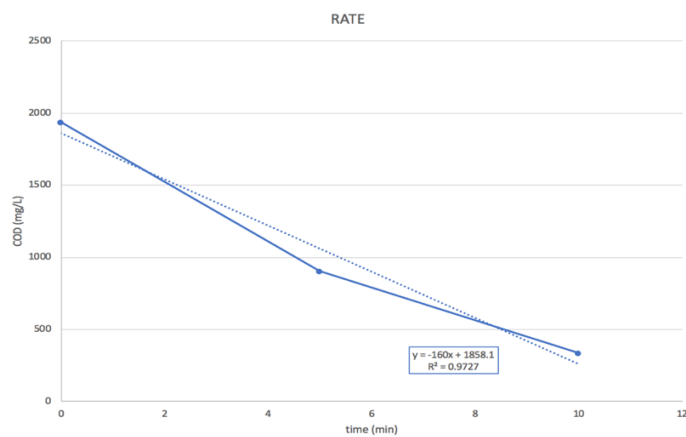
รายการคำนวณหาอัตราการบำบัดซีโอดีจำเพาะ

$172.03 \text{ มิลลิกรัม COD} \times 60 \text{ นาที} \times 24 \text{ ชั่วโมง}$

$34,900 \text{ มิลลิกรัม MLSS}$

$= 7.098 \text{ มิลลิกรัม COD ต่อ มิลลิกรัม MLSS ต่อวัน}$

กราฟ ข. 1.3.2 อัตราการบำบัดซีไออดีจำเพาะ ที่เวลาดกตะกอน 30 นาที



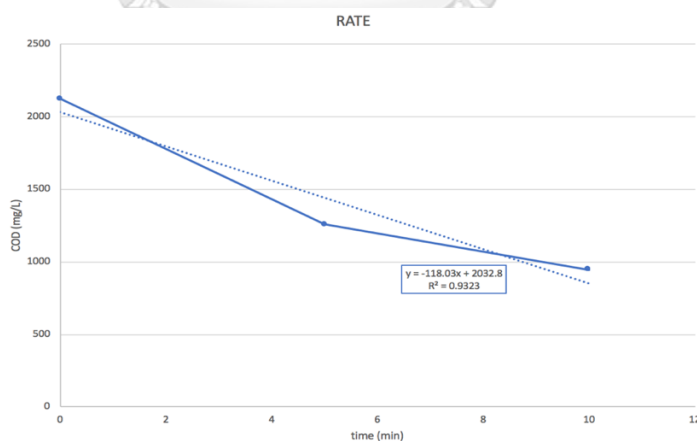
รายการคำนวณหาอัตราการบำบัดซีไออดีจำเพาะ

$\frac{160 \text{ มิลลิกรัม COD} \times 60 \text{ นาที} \times 24 \text{ ชั่วโมง}}$

$32,000 \text{ มิลลิกรัม MLSS}$

$= 7.2 \text{ มิลลิกรัม COD ต่อ มิลลิกรัม MLSS ต่อวัน}$

กราฟ ข. 1.3.3 อัตราการบำบัดซีไออดีจำเพาะ ที่เวลาดกตะกอน 15 นาที



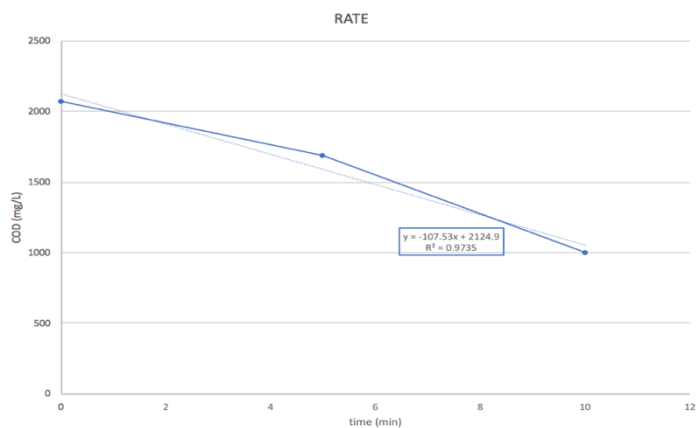
รายการคำนวณหาอัตราการบำบัดซีไออดีจำเพาะ

$\frac{118.03 \text{ มิลลิกรัม COD} \times 60 \text{ นาที} \times 24 \text{ ชั่วโมง}}$

$27,000 \text{ มิลลิกรัม MLSS}$

$= 6.29 \text{ มิลลิกรัม COD ต่อ มิลลิกรัม MLSS ต่อวัน}$

กราฟ ข. 1.3.4 อัตราการบำบัดซีโอดีจำเพาะ ที่เวลาตกตะกอน 5 นาที



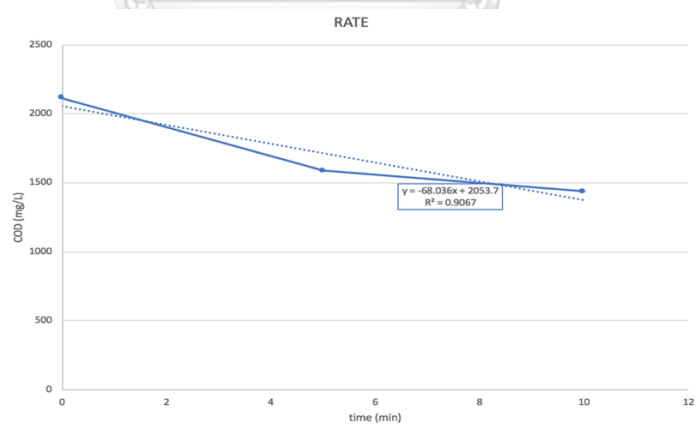
รายการคำนวณหาอัตราการบำบัดซีโอดีจำเพาะ

$107.53 \text{ มิลลิกรัม COD} \times 60 \text{ นาที} \times 24 \text{ ชั่วโมง}$

$14,320 \text{ มิลลิกรัม MLSS}$

$= 10.81 \text{ มิลลิกรัม COD ต่อ มิลลิกรัม MLSS ต่อวัน}$

กราฟ ข. 1.3.5 อัตราการบำบัดซีโอดีจำเพาะ ที่เวลาตกตะกอน 2 นาที



รายการคำนวณหาอัตราการบำบัดซีโอดีจำเพาะ

$68.036 \text{ มิลลิกรัม COD} \times 60 \text{ นาที} \times 24 \text{ ชั่วโมง}$

$10,000 \text{ มิลลิกรัม MLSS}$

$= 9.79 \text{ มิลลิกรัม COD ต่อ มิลลิกรัม MLSS ต่อวัน}$

ตาราง ข. 1.4 ปริมาณและขนาดเม็ดตะกอน

วัน/เดือน/ปี	ขนาดเม็ดตะกอน	จำนวน	ร้อยละ	วัน/เดือน/ปี	ขนาดเม็ดตะกอน	จำนวน	ร้อยละ
เวลาดกตะกอน 60 นาที				เวลาดกตะกอน 5 นาที			
19/6/2019	<1 มิลลิเมตร	15	42.9	15/8/2019	<1 มิลลิเมตร	47	56.6
	2mm	14	40.0		2 มิลลิเมตร	12	14.5
	3mm	6	17.1		3 มิลลิเมตร	8	9.6
	4mm				4 มิลลิเมตร	12	14.5
	>4mm				>4 มิลลิเมตร	4	4.8
	รวม	35			รวม	83	
เวลาดกตะกอน 30 นาที				เวลาดกตะกอน 2 นาที			
15/7/2019	<1 มิลลิเมตร	8	27.6	2/9/2019	<1 มิลลิเมตร	788	93.9
	2 มิลลิเมตร	14	48.3		2 มิลลิเมตร	32	3.8
	3 มิลลิเมตร	5	17.2		3 มิลลิเมตร	15	1.8
	4 มิลลิเมตร	2	6.9		4 มิลลิเมตร	2	0.2
	>4 มิลลิเมตร				>4 มิลลิเมตร	2	0.2
	รวม	29			รวม	839	
เวลาดกตะกอน 15 นาที							
3/8/2019	<1 มิลลิเมตร	44	59.5				
	2 มิลลิเมตร	21	28.4				
	3 มิลลิเมตร	3	4.1				
	4 มิลลิเมตร	3	4.1				
	>4 มิลลิเมตร	3	4.1				
	รวม	74					

ตาราง ข. 1.5 ค่าความหนาแน่นจูลินทรีย์ของเม็ดตะกอน

เวลา ตกตะกอน	ความหนาแน่นรวมของตะกอน (กรัมต่อมิลลิเมตร)				SD	ความหนาแน่นตะกอน
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย		
หัวเชื้อจุลินทรีย์	1.0215	1.0253	1.0222	1.023	0.002	1.023±0.002
60 นาที	1.0254	1.0256	1.0239	1.025	0.001	1.025±0.001
30 นาที	1.0450	1.0485	1.0412	1.045	0.004	1.045±0.004
15 นาที	1.1053	1.1182	1.1033	1.109	0.008	1.109±0.008
5 นาที	1.3306	1.3537	1.3429	1.342	0.012	1.342±0.012
2 นาที	1.0878	1.0889	1.0877	1.088	0.001	1.088±0.001

ข. 2 ผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในการทดลองส่วนที่ 1 ที่สัดส่วนการทดแทนน้ำเสียต่าง ๆ
 ตาราง ข. 2 ค่า MLSS ของเชื้อจุลินทรีย์ในระบบบำบัดและน้ำทิ้งที่สัดส่วนการทดแทนน้ำเสียต่าง ๆ

วัน/เดือน/ปี	MLSS (มิลลิกรัม/ลิตร)		SV30	SVI	วัน/เดือน/ปี	MLSS (มิลลิกรัม/ลิตร)		SV30	SVI
	ในระบบ	น้ำทิ้ง				ในระบบ	น้ำทิ้ง		
50% VER					70% VER (ต่อ)				
5/9/2019	18700	4400	420	22.4599	7/10/2019	10080	5440	310	30.7540
6/9/2019	15300	6010	435	28.4314	9/10/2019	10540	6000	290	27.5142
7/9/2019	14980	6680	440	29.3725					
9/9/2019	15540	3720	435	27.9923	80% VER				
15/9/2019	17460	2560	475	27.205	11/10/2019	5400	1440	220	40.7407
18/9/2019	17020	2100	445	26.1457	13/10/2019	7280	420	210	28.8462
60% VER					15/10/2019	7460	280	190	25.4692
22/9/2019	19220	4640	395	20.5515	17/10/2019	7140	620	190	26.6106
24/9/2019	18460	840	350	18.9599	90% VER				
28/9/2019	18720	1440	375	20.0321	18/10/2019	3760	4980	150	39.8936
70% VER					20/10/2019	3700	3660	150	40.5405
1/10/2019	11540	3160	310	26.8631	22/10/2019	4060	700	80	19.7044
4/10/2019	10000	5980	310	31.0000	24/10/2019	4000	840	100	25.0000

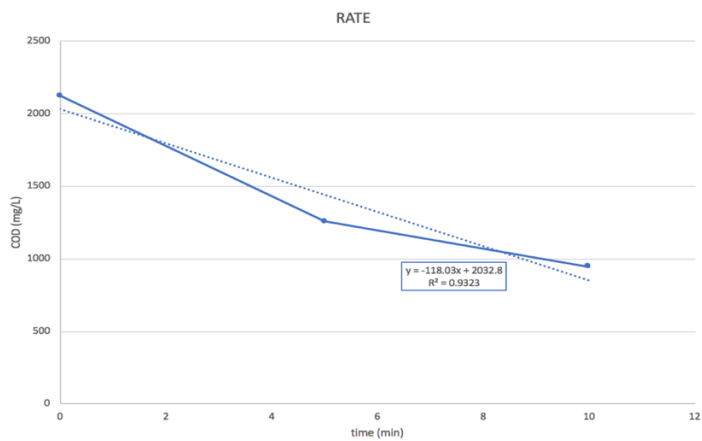
ตาราง ข. 2.2 ค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของเชื้อจุลินทรีย์ในระบบบำบัด

วัน/เดือน/ปี	COD (มิลลิกรัม/ลิตร)		%eff
	น้ำเข้า	น้ำทิ้ง	
50% VER			
5/9/2019	2192.2619	113.3929	94.83
15/9/2019	2237.7189	72.1845	96.77
60% VER			
24/9/2019	2149.2537	143.2836	93.33
70% VER			
6/10/2019	2242.4552	52.5575	97.66
80% VER			
16/10/2019	2102.3018	210.2302	90.00
90% VER			
24/10/2019	1983.6066	158.6885	92.00

ตาราง ข. 2.3 ค่าซีโอดีที่ลดลงในช่วงเวลาที่ 0 นาที 5 นาที และ 10 นาที

เวลา (นาที)	COD (มิลลิกรัม/ลิตร)				
	50% VER	60% VER	70% VER	80% VER	90% VER
0	2149.253712	2242.455245	2102.301792	2102.301792	1983.60656
5	2005.970131	1051.150896	1751.91816	1821.994886	1824.918035
10	1719.40297	910.9974432	1611.764707	1681.841434	1745.573773

กราฟ ข. 2.3.1 อัตราการบำบัดซีโอดีจำเพาะ ที่สัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย 50%



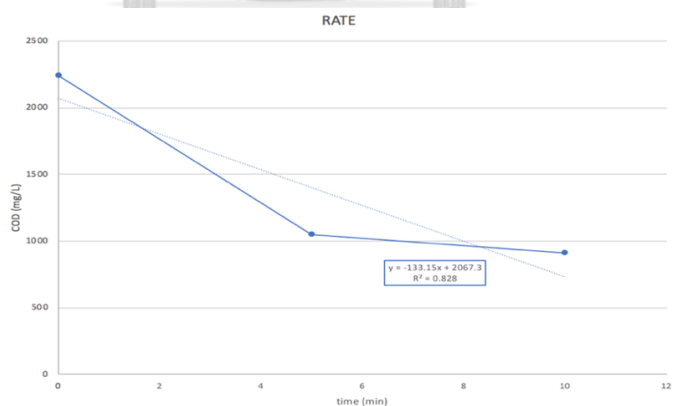
รายการคำนวณหาอัตราการบำบัดซีโอดีจำเพาะ

$118.03 \text{ มิลลิกรัม COD} \times 60 \text{ นาที} \times 24 \text{ ชั่วโมง}$

$27,000 \text{ มิลลิกรัม MLSS}$

$= 6.29 \text{ มิลลิกรัม COD ต่อ มิลลิกรัม MLSS ต่อวัน}$

กราฟ ข. 2.3.2 อัตราการบำบัดซีโอดีจำเพาะ ที่สัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย 60%



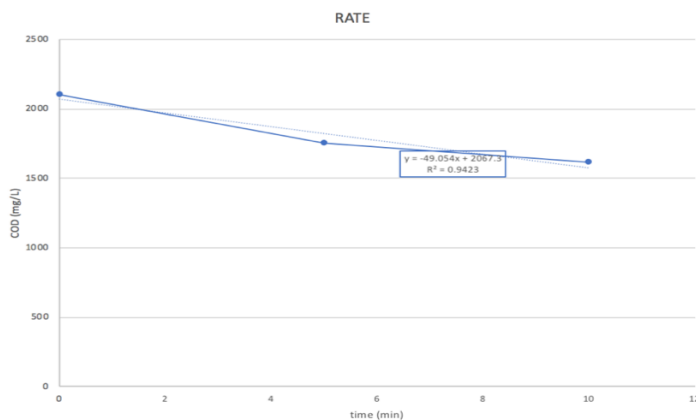
รายการคำนวณหาอัตราการบำบัดซีโอดีจำเพาะ

$133.15 \text{ มิลลิกรัม COD} \times 60 \text{ นาที} \times 24 \text{ ชั่วโมง}$

$18,460 \text{ มิลลิกรัม MLSS}$

$= 10.3865 \text{ มิลลิกรัม COD ต่อ มิลลิกรัม MLSS ต่อวัน}$

กราฟ ข. 2.3.3 อัตราการบำบัดซีไอดีจำเพาะ ที่สัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย 70%



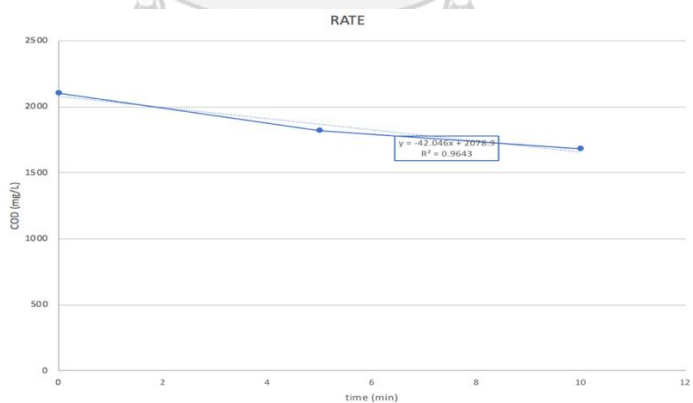
รายการคำนวณหาอัตราการบำบัดซีไอดีจำเพาะ

$$\frac{49.054 \text{ มิลลิกรัม COD} \times 60 \text{ นาที} \times 24 \text{ ชั่วโมง}}{10,540 \text{ มิลลิกรัม MLSS}}$$

$$= 6.70187 \text{ มิลลิกรัม COD ต่อ มิลลิกรัม MLSS ต่อวัน}$$

$$= 6.70187 \text{ มิลลิกรัม COD ต่อ มิลลิกรัม MLSS ต่อวัน}$$

กราฟ ข. 2.3.4 อัตราการบำบัดซีไอดีจำเพาะ ที่สัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย 80%



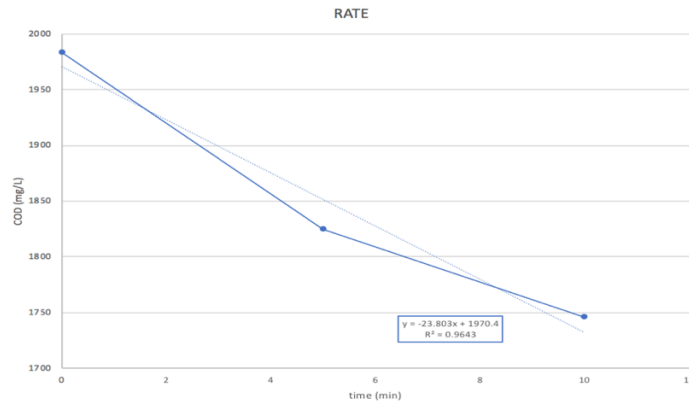
รายการคำนวณหาอัตราการบำบัดซีไอดีจำเพาะ

$$\frac{42.046 \text{ มิลลิกรัม COD} \times 60 \text{ นาที} \times 24 \text{ ชั่วโมง}}{7,460 \text{ มิลลิกรัม MLSS}}$$

$$= 8.11611 \text{ มิลลิกรัม COD ต่อ มิลลิกรัม MLSS ต่อวัน}$$

$$= 8.11611 \text{ มิลลิกรัม COD ต่อ มิลลิกรัม MLSS ต่อวัน}$$

กราฟ ข. 2.3.5 อัตราการบำบัดซีไอดีจำเพาะ ที่สัดส่วนการทดแทนน้ำเสีย 90%



รายการคำนวณหาอัตราการบำบัดซีไอดีจำเพาะ

$23.803 \text{ มิลลิกรัม COD} \times 60 \text{ นาที} \times 24 \text{ ชั่วโมง}$

$4,000 \text{ มิลลิกรัม MLSS}$

$= 8.56908 \text{ มิลลิกรัม COD ต่อ มิลลิกรัม MLSS ต่อวัน}$

ตาราง ข. 2.4 ปริมาณและขนาดเม็ดตะกอน

วัน/เดือน/ปี	ขนาดเม็ดตะกอน	จำนวน	ร้อยละ	วัน/เดือน/ปี	ขนาดเม็ดตะกอน	จำนวน	ร้อยละ
50% VER				80% VER			
18/9/2019	<1 มิลลิเมตร	86	98.9	17/10/2019	<1 มิลลิเมตร	140	75.3
	2 มิลลิเมตร	1	1.1		2 มิลลิเมตร	35	18.8
	3 มิลลิเมตร				3 มิลลิเมตร	5	2.7
	4 มิลลิเมตร				4 มิลลิเมตร	5	2.7
	>4 มิลลิเมตร				>4 มิลลิเมตร	1	0.5
	รวม	87			รวม	186	
60% VER				90% VER			
28/9/2019	<1 มิลลิเมตร	150	91.5	24/10/2019	<1 มิลลิเมตร	39	47.6
	2 มิลลิเมตร	10	6.1		2 มิลลิเมตร	31	37.8
	3 มิลลิเมตร	4	2.4		3 มิลลิเมตร	10	12.2
	4 มิลลิเมตร				4 มิลลิเมตร	2	2.4
	>4 มิลลิเมตร				>4 มิลลิเมตร		
	รวม	164			รวม	82	
70% VER							
9/10/2019	<1 มิลลิเมตร	130	66.0				
	2 มิลลิเมตร	55	27.9				
	3 มิลลิเมตร	7	3.6				
	4 มิลลิเมตร	5	2.5				
	>4 มิลลิเมตร						
	รวม	197					

ตาราง ข. 2.5 ค่าความหนาแน่นจูลินทรีย์ของเม็ดตะกอน

สัดส่วน ทดแทนน้ำเสีย	ความหนาแน่นรวมของตะกอน (กรัมต่อมิลลิลิตร)				SD	ความหนาแน่นตะกอน
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย		
50%	1.1966	1.2176	1.1753	1.197	0.021	1.197±0.021
60%	1.1701	1.1495	1.1881	1.169	0.019	1.169±0.019
70%	1.1158	1.1691	1.0716	1.119	0.049	1.119±0.049
80%	1.0863	1.0893	1.0826	1.086	0.003	1.086±0.003
90%	1.0856	1.0918	1.0802	1.086	0.006	1.086±0.006

ตาราง ข. 2.6 ค่า pH ของการทดลองส่วนที่ 1 ที่เวลาดกตะกอนต่าง ๆ กัน

วัน/เดือน/ ปี	pH	วัน/เดือน/ ปี	pH	วัน/เดือน/ ปี	PH	วัน/เดือน/ ปี	PH
เวลาดกตะกอน 60 นาที			เวลาดกตะกอน 30 นาที		เวลาดกตะกอน 15 นาที		
9/5/2019	7.06	4/6/2019	7.41	27/6/2019	7.29	5/8/2019	7.79
10/5/2019	7.36	5/6/2019	7.37	30/6/2019	7.56	เวลาดกตะกอน 5 นาที	
11/5/2019	7.56	7/6/2019	7.54	2/7/2019	7.32	7/8/2019	7.77
13/5/2019	7.24	11/6/2019	7.24	8/7/2019	7.69	13/8/2019	7.26
14/5/2019	7.38	12/6/2019	7.46	14/7/2019	7.96	15/8/2019	6.90
15/5/2019	7.69	13/6/2019	7.31	15/7/2019	7.77	เวลาดกตะกอน 2 นาที	
19/5/2019	7.46	14/6/2019	6.99	เวลาดกตะกอน 15 นาที		18/8/2019	7.94
20/5/2019	7.41	16/6/2019	6.59	18/7/2019	7.34	20/8/2019	7.54
21/5/2019	7.19	17/6/2019	7.33	20/7/2019	7.43	24/8/2019	7.02
22/5/2019	7.23	19/6/2019	7.81	23/7/2019	7.95	25/8/2019	7.87
23/5/2019	7.23	21/6/2019	7.59	25/7/2019	7.56	27/8/2019	7.49
28/5/2019	8.06	23/6/2019	7.42	31/7/2019	7.88	2/9/2019	6.98
1/6/2019	7.58	25/6/2019	6.92	1/8/2019	7.42		

ตาราง ข. 2.7 ค่า pH ของการทดลองส่วนที่ 2 ที่สัดส่วนการทดแทนน้ำเสียต่าง ๆ กัน

วัน/เดือน/ปี	pH	วัน/เดือน/ปี	pH
50% VER		80% VER	
5/9/2019	7.68	10/10/2019	7.56
6/9/2019	8.24	11/10/2019	7.94
7/9/2019	7.58	13/10/2019	7.35
9/9/2019	7.23	15/10/2019	7.01
17/9/2019	7.38	17/10/2019	7.82
18/9/2019	7.97	90% VER	
60% VER		21/10/2019	7.23
24/9/2019	7.77	22/10/2019	7.11
28/9/2019	8.56	23/10/2019	7.86
70% VER		24/10/2019	7.23
1/10/2019	8.45		
4/10/2019	8.23		
7/10/2019	7.74		
9/10/2019	8.14		

บรรณานุกรม

- สมชาย ดารารัตน์. เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียแบบ UASB. [ออนไลน์]. 2536. แหล่งที่มา:
http://reo13.go.th/KM_reo13/data_know/55-01-31_UASB-1.pdf [27 ตุลาคม 2561]
- ธนารัตน์ วรสูตร. โครงการสนับสนุนการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมด้วยระบบ UASB. กรุงเทพฯ: กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2546. (เอกสารไม่ตีพิมพ์)
- ขวัญเนตร สมบัติสมภพ. การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบเอสบีอาร์. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 18 (กันยายน - ธันวาคม 2551) : 96-103
- พัชรียา รุ่งกิจพัฒนานุกุล. การบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยระบบแอนแอโรบิกฟลูอิดไดซ์เบดที่ใช้เม็ดยาง เป็นวัสดุตัวกลาง : ผลของอัตราภาระสารอินทรีย์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาสิ่งแวดล้อม ภาควิชาสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.
- Adav, S. S., Lee, D. J. and Lai, J. Y. 2010. Potential cause of aerobic granular sludge breakdown at high organic loading rates. Applied Microbiology and Biotechnology 85 (5): 1601-1610.
- Arora, M. L., Barth, E. F. and Umphres, M. B. 1985. Technology evaluation of sequencing batch reactors. Water Pollution Control Federation 57: 867-875.
- Arrojo, B., Mosquera-Corral, A., Garrido, J. M. and Mendez, R. 2004. Aerobic granulation with industrial wastewater in sequencing batch reactors. Water Research 38 (14-15): 3389-3399.
- Arrojo, B., Mosquera-Corral, A., Campos, J. L. and Mendez, R. 2006. Effects of mechanical stress on Anammox granules in a sequencing batch reactor (SBR).

Journal of Biotechnology 123 (4): 453-463.

Beefink H. H. 1987. Anaerobic Bacterial Aggregates. Ph.D. thesis, University of Amsterdam, The Netherlands.

Beun, J. J., Hendriks, A., van Loosdrecht, M. C. M., Morgenroth, M., Wilderer, P. A. and Heijnen, J. J. (1999). Aerobic granulation in a sequencing batch reactor. Water Research 33 (10): 2283–2290.

Bindhu, B. K., and Madhu, G. 2013. Influence of organic loading rates on aerobic granulation process for the treatment of wastewater. Journal of Clean Energy Technologies 1: 84-87.

Chen, Y., Jiang, W. J., Liang, D. T. and Tay, J. H. 2008. Aerobic granulation under the combined hydraulic and loading selection pressures. Bioresource Technology 99 (16): 7444–7449.

Dague, R. R. 1967. Solids Retention in Anaerobic Waste Treatment Systems. Doctoral Dissertation, Univ. of Kansas, Lawrence.

Dague, R. R., McKinney, R. E. and Pfeffer, J. T. 1966. Anaerobic Activated Sludge. Journal of the Water Pollution Control Federation 38 (2): 220-226.

Dague, R. R., McKinney, R. E., and Pfeffer, J.T. (1970) Solids Retention in Anaerobic Waste Treatment Systems. Journal of the Water Pollution Control Federation 42 (2): R29-R46.

De Beer, D., Heuvel, J. C. and Van Ottengra S. P. P. 1993. Microelectrode measurement

in nitrifying aggregates. Applied Microbiology and Biotechnology 59: 573–579.

De Kreuk, M. K., Pronk, M., and van Loosdrecht, M. C. M. 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 M. K. and van Loosdrecht M. C.M. 2006. Formation of aerobic granules with domestic sewage. Journal of Environmental Engineering 132: 694–697.

Derlon, N., Wagner, J., da Costa, R.H. and Morgenroth, E. 2016. Formation of aerobic granules for the treatment of real and low-strength municipal wastewater using a sequencing batch reactor operated at constant volume. Water Research 105: 341–350.

Gobi, K., Lim, X. J. and Vadivelu, V. M. 2014. Temperature and pH Effect on the Aerobic Granules Developed in Palm Oil Mill Effluent. Journal of Applied Sciences 14: 1397-1402.

Hulshoff Pol, L. W., Van de Worp, J. J. M., Lettinga, G. and Beverloo, W. A. 1986. Physical characterization of anaerobic granular sludge. Proceedings of the NVA/EWPCA conference Anaerobic Treatment a Grown-Up Technology, 15-19 September, 1986, Amsterdam, The Netherlands, 89-101.

Jalali, S., Shayegan, J. and Rezasoltani, S. 2015. Rapid start-up and improvement of granulation in SBR. Journal of environmental health science and engineering 13: 36.

- Jungles, M. K., Campos, J. L. and Costa, R. H. R. 2014. Sequencing batch reactor operation for treating wastewater with aerobic granular sludge. Brazilian Journal of Chemical Engineering 31: 27–33.
- Kwok, W. K., Van Loosdrecht, M. C. M. and Heijnen, J. J. 1996. Application of a biofilm airlift suspension reactor for acetic acid removal. Internal report, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands.
- Lettinga, G., Van Velsen, A. F. M., Hobma, S. W., De Zeeuw, W. and Klapwijk, A. 1980. Use of the Upflow Sludge Blanket (USB) reactor concept for biological waste treatment, Especially for anaerobic treatment. Biotechnology bioengineering 22: 699–734.
- Li, A. J., Yang, S. F., Li, X. Y. and Gu, J. D. 2008. Microbial population dynamics during aerobic sludge granulation at different organic loading rates. Water Research 42 (13): 3552–3560.
- Liu, Q. S., Tay, J. H. and Liu, Y. 2003. Substrate concentration-independent aerobic granulation in sequential aerobic sludge blanket reactor. Environmental Technology 24: 1235–1242.
- Liu, Y. Q. and Tay, J. H. 2008. Influence of starvation time on formation and stability of aerobic granules in sequencing batch reactors. Bioresource Technology 99 (5): 980–985.
- Liu, Z., Liu, Y., Zhang, A., Zhang, C. and Wan, X. 2014. Study on the process of aerobic

granule sludge rapid formation by using the poly aluminum chloride (PAC).

Chemical Engineering Journal 250: 319–325.

Liu, Y. Q., Zhang, X., Zhang, R., Liu, W. T. and Tay. J. H. 2015. Effects of hydraulic retention time on aerobic granulation and granule growth kinetics at steady state with a fast start-up strategy. Applied Microbiology and Biotechnology 100: 469–477.

Metcalf & Eddy, Inc. 1991. Wastewater Engineering: Treatment Disposal Reuse. (3rd ed). Singapore: McGraw-Hill.

Metcalf & Eddy, Inc. 2003. Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. (4th ed). McGraw-Hill, Boston: Montreal.

Morgenroth, E., Sherden, T., van Loosdrecht, M. C. M., Heijnen, J. J. and Wilderer, P. A. 1997. Aerobic granular sludge in a sequencing batch reactor. Water Research 31 (12): 3191–3194.

Ndegwa, P. M., Hamilton, D. W., Lalman, J. A. and Cumba, H. J. 2008. Effects of cycle-frequency and temperature on the performance of anaerobic sequencing batch reactors (ASBRs) treating swine waste. Bioresource Technology 99: 1972-1980.

Ni, B. J., Xie, W. M., Liu, S. G., Yu, H. Q., Wang, Y. Z., Wang, G. and Dai, X. L. 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.

- Niu, M. Q., Zhang, W. J., Wang, D.S., Chen, Y. and Chen, R. L. 2013. Correlation of physicochemical properties and sludge dewaterability under chemical conditioning using inorganic coagulants. Bioresource Technology 144: 337–343.
- Qin, L., Liu, Y. and Tay, J.-H. 2004. Effect of settling time on aerobic granulation in sequencing batch reactor. Biochemical Engineering Journal 21 (1): 47-52.
- Sirianuntapiboon, S. and Manoonpong, K. 2001. Application of granular activated carbon sequencing batch reactor (GAC-SBR) system for treating wastewater from slaughterhouse, Thammasat International Journal of Science and Technology 6: 16-25.
- Stephenson, R. J., Patoine, M. A. & Guiot, S. R. 1999. Effects of oxygenation and upflow liquid velocity on a coupled anaerobic/aerobic reactor system. Water Research 33 (12): 2855–2863.
- Sturm, B. S. and Irvine, R. L. 2008. Dissolved oxygen as a key parameter to aerobic granule formation. Water Science Technology 58 (4): 781-787.
- Tay, J. H. and Zhang X. 2000. Stability of high-rate anaerobic systems. I: performance under shocks. Journal of Environmental Engineering 126: 713-725.
- Tay, J. H., Liu, Q. S. and Liu, Y. 2001. The effects of shear force on the formation, structure and metabolism of aerobic granules. Applied Microbiology and Biotechnology 57 (1-2): 227– 233.
- Tijhuis, L., Van Loosdrecht, M. C. M. and Heijnen, J. J. 1994. Formation and growth of

heterotrophic aerobic biofilms on small suspended particles in airlift reactors.

Biotechnol. Bioeng. 44: 595-608.

Tonik, H. 1983. Operating Experiences with the Batch Aeration Process. Manitoba, Canada:Topnik and Associates, Ltd.

Tsuneda, S. 2003. Characterization of nitrifying granules produced in an aerobic upflow fluidized bed reactor. Water Research 37 (20): 4965-4973.

Van Benthum, W., Garrido, A. J., Tijhuis, J. M., Loosdrecht M. C. M. van and Heijnen, J. J. 1996. Formation and detachment of biofilms and granules in a nitrifying biofilm airlift suspension reactor. Biotechnology Progress 12: 764-772.

Van der Hoek, J.P. 1988. Granulation of denitrifying sludge. Granular Aerobic Sludge, G. Lettinga, A.J.B.Zehnder, J.T.C. Grotenhuis and L.W. Hulshoff Pol (eds), Pudoc, Wageningen, The Netherlands, 203-210

Wang, Q., Du, G. and Chen, J. 2004. Aerobic granular sludge cultivated under the selective pressure as a driving force. Process Biochemistry 39: 557-563.

Wang, Z. W., Liu, Y. and Tay, J. H. 2006. The Role of SBR Mixed Liquor Volume Exchange Ratio in Aerobic Granulation. Chemosphere 62: 767-771.

Wirtz, R. A. and Dague, R. R. 1996. Enhancement of granulation and start-up in the anaerobic sequencing batch reactor. Water Research 68 (5): 883-892.

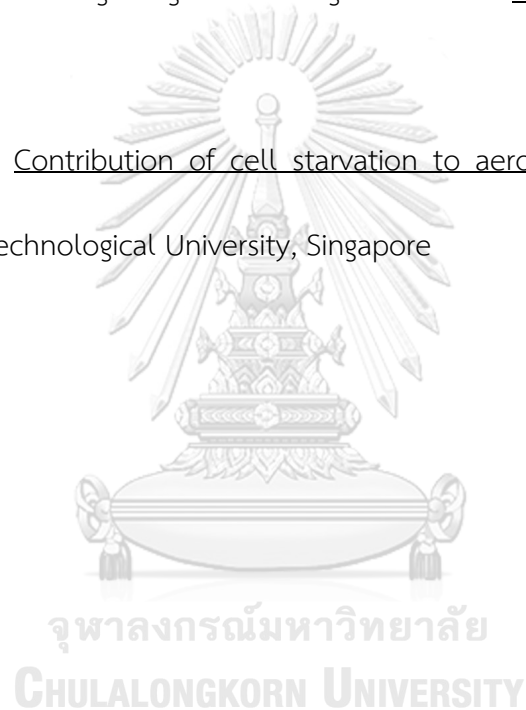
Yang, S. F., Tay, J. H. and Liu, Y. 2003. A novel granular sludge sequencing batch reactor for removal of organic and nitrogen from wastewater. Journal of Biotechnology

106(1): 77-86.

Yang, S. F., Li, X. Y. and Yu, H. Q. 2008. Formation and characterisation of fungal and bacterial granules under different feeding alkalinity and pH conditions. Process Biochemistry 43(1): 8-14.

Zheng, Y. M., Yu, H. Q., Liu, S. J. and Liu, X.Z. 2006. Formation and instability of aerobic granules under high organic loading conditions. Chemosphere 63 (10): 1791–1800.

Zhou, J. Q. 2004. Contribution of cell starvation to aerobic granulation. MSc thesis, Nanyang Technological University, Singapore





จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาวอริยะ กาญจนโกมุท
วัน เดือน ปี เกิด	27 ธันวาคม 2534
สถานที่เกิด	จังหวัดแม่ฮ่องสอน
วุฒิการศึกษา	ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ที่อยู่ปัจจุบัน	161/365 ซอยจรัญสนิทวงศ์ 27 แขวงบางขุนศรี เขตบางกอกน้อย กรุงเทพฯ 10700



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY