การบำบัดน้ำเสียจากชุมชนด้วยระบบเอสบีอาร์ร่วมกับยางพื้นรองเท้า

Treatment of Municipal Wastewater by Anaerobic Sequencing Batch Reactor with Shoe Soles

นางสาวสิรินารถ คะระนันท์

นางสาวศิริวรรณ รอดม่วง

นางสาวแพรวพรรณ กองกะแชง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

2561

การบำบัดน้ำเสียจากชุมชนด้วยระบบเอสบีอาร์ร่วมกับยางพื้นรองเท้า

Treatment of Municipal Wastewater by Anaerobic Sequencing Batch Reactor with Shoe Soles

นางสาวสิรินารถ คะระนันท์

นางสาวศิริวรรณ รอดม่วง

นางสาวแพรวพรรณ กองกะแชง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อปริญญานิพนธ์	การบำบัดน้ำเสียจากชุมชนด้วยระบบเอสบีอาร์ร่วมกับยางพื้นรองเท้า
ชื่อ นามสกุล	นางสาวสิรินารถ คะระนันท์
	นางสาวศิริวรรณ รอดม่วง
	นางสาวแพรวพรรณ กองกะแชง
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ
คณะ	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.วรินธร บุญยะโรจน์

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์ได้ให้ความเห็นชอบปริญญานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว

.....ประธานกรรมการ
(ดร. ดวงฤทัย นิคมรัฐ)

.....กรรมการ
(ผศ. ณัฐชมัย ลักษณ์อำนวยพร)

.....กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา
(ดร. วรินธร บุญยะโรจน์)

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
อนุมัติให้นับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ
วันที่ ๑๑ เดือน มีนาคม พ.ศ. ๒๕๖๒

ชื่อปริญญานิพนธ์ การบำบัดน้ำเสียจากชุมชนด้วยระบบเอสบีอาร์ร่วมกับยางพื้นรองเท้า
ชื่อ นามสกุล นางสาวสิรินารถ คะระนันท์
นางสาวศิริวรรณ รอดม่วง
นางสาวแพรวพรรณ กองกะแชง
ชื่อปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ
คณะ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ปีการศึกษา 2561

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นการบำบัดน้ำเสียจากชุมชนด้วยระบบเอสบีอาร์ โดยใช้ยางพื้นรองเท้าเป็นตัวกลาง มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของตะกอนจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงและประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนด้วยจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงในระบบเอสบีอาร์ ซึ่งระบบเอสบีอาร์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วยชุดทดลองบำบัดน้ำเสียที่มีตัวกลางเป็นยางพื้นรองเท้าชนิดยาง ชนิดโฟม ชนิดโฟมยาง และชุดทดลองควบคุมที่ไม่ใส่ตัวกลาง โดยใช้อัตราส่วนสารอาหารต่อจุลินทรีย์เท่ากับ 0.13 และระยะเวลากักพักชลศาสตร์เท่ากับ 5 วัน จากการศึกษา พบว่า ชุดทดลองที่ใช้ยางพื้นรองเท้าชนิดยางมีประสิทธิภาพในการบำบัด BOD, COD, SS, Phosphorus และ Ammonia-Nitrogen ร้อยละ 87, 80, 94, 53 และ 68 ตามลำดับ ชุดทดลองที่ใช้ยางพื้นรองเท้าชนิดโฟมมีประสิทธิภาพในการบำบัด BOD, COD, SS, Phosphorus และ Ammonia-Nitrogen ร้อยละ 89, 81, 95, 20 และ 73 ตามลำดับ ชุดทดลองที่ใช้ยางพื้นรองเท้าชนิดโฟมยางมีประสิทธิภาพในการบำบัด BOD, COD, SS, Phosphorus และ Ammonia-Nitrogen ร้อยละ 91, 86, 95, 56 และ 74 ตามลำดับ ส่วนชุดทดลองควบคุมที่ไม่มีตัวกลางนั้นมีประสิทธิภาพในการบำบัด BOD, COD, SS, Phosphorus และ Ammonia-Nitrogen ร้อยละ 84, 79, 93, 86 และ 67 ตามลำดับ โดยน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยชุดทดลองที่มีตัวกลางจะมีลักษณะค่อนข้างใส มีปริมาณของแข็งแขวนลอยลดลงและไม่มีกลิ่นเหม็น ซึ่งชุดทดลองระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ที่ใช้ตัวกลางเป็นยางพื้นรองเท้าต่างชนิดกันนั้นมีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนไม่แตกต่างกัน

คำสำคัญ : ระบบเอสบีอาร์ ตัวกลาง น้ำเสียชุมชน

Thesis title Treatment of Municipal Wastewater by Anaerobic Sequencing Batch Reactor with Shoe Soles

Author Sirinart Karanan
Siriwan Rodmuang
Preawphan Kongkrashang

Degree Bachelor of Science

Major program Environment Science and Natural Resources
Faculty of Science and Technology

Academic Year 2018

ABSTRACT

This research has studied the treatment of municipal wastewater with shoe soles as a supporting media for Sequencing Batch Reactor. The objectives of this research were the conditions to for optimize growing Photosynthetic Bacteria (PSB) and understand the treatment efficiencies of municipal wastewater treatment with PSB in Sequencing Batch Reactor (SBR). Three types of shoe soles were applied in this research composed of rubber shoe soles, neoprene and EVA, and the control without shoe soles. The experimental factors included the essential parameters such as BOD, COD, SS, MLSS, MLVSS, Phosphorus and Ammonia-Nitrogen. F/M Ratio was adjusted at 0.13 and hydraulic retention time (HRT) was at 5 days. The results indicated that the removal efficiencies of SBR with rubber shoe soles in terms of BOD, COD, SS, phosphorus, and ammonia-nitrogen were 87%, 80%, 94%, 53%, and 68%, respectively. The removal efficiencies of SBR with Neoprene shoe soles in terms of BOD, COD, SS, Phosphorus, and Ammonia-Nitrogen were 89%, 81%, 95%, 20%, and 73%. The removal efficiencies of SBR with EVA shoe soles in terms of BOD, COD, SS, phosphorus, and ammonia-nitrogen were 91%, 86%, 95%, 56%, and 74%. The removal efficiencies of SBR without shoe soles in terms of BOD,

COD, SS, phosphorus, and ammonia-nitrogen were 84%, 79%, 93%, 86%, and 67%, respectively. The treated wastewater was rather clear, low content of suspended solids, and no malodor. From overall results, the treatment of municipal wastewater by anaerobic sequencing batch reactor with different types of shoe soles was not significant for wastewater treatment efficiencies by anaerobic with any 3 types among of shoes soles can be efficiently applied for municipal wastewater treatment.

Keywords : Sequencing Batch Reactor, Media, Municipal Wastewater

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความกรุณาของอาจารย์หลายท่าน ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ดร. วรินธร บุญยะโรจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ดร. ดวงฤทัย นิคมรัฐ ประธานสอบปริญญานิพนธ์ และ ผศ. ณัฐชมัย ลักษณ์อำนวยพร กรรมการสอบปริญญานิพนธ์ ที่ช่วยเหลือให้คำแนะนำ ตลอดจนคำปรึกษาและช่วยแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ซึ่งผู้วิจัยต้องกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณอาจารย์มาโนช หลักฐานดี หัวหน้าสาขาวิชาวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ คณาจารย์และเจ้าหน้าที่ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ทำวิจัยตลอดจนให้ความรู้ทางวิชาการและวิชาชีพแก่คณะผู้วิจัย

ขอขอบพระคุณทุนสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร โครงการส่งเสริมสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมเพื่อคนรุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2562 ที่สนับสนุนทุนสำหรับการวิจัยในครั้งนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่เมตตาอบรมสั่งสอนและช่วยสนับสนุนในทุก ๆ ด้าน รวมถึงเพื่อน ๆ สาขาวิชาวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการศึกษาวิจัยตลอดมา จนกระทั่งปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

สิรินารถ คะระนันท์
ศิริวรรณ รอดม่วง
แพรวพรรณ กองกะแชง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 กรอบแนวความคิด	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.6 นิยามศัพท์	4
1.7 คำสำคัญ	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 น้ำเสีย	5
2.2 ระบบบำบัดน้ำเสีย	10
2.3 จุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสีย	16
2.4 วัสดุตัวกลาง	19
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	22
บทที่ 3 วิธีดำเนินการ	30
3.1 ขั้นตอนการออกแบบระบบเอสบีอาร์	30
3.2 วิธีดำเนินการทดลอง	33
3.3 พารามิเตอร์ที่ตรวจวัด	34

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและอภิปราย	36
4.1 ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย	36
4.2 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียในระบบเอสบีอาร์	37
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	53
5.1 สรุปผลการวิจัย	53
5.2 ข้อเสนอแนะ	54
เอกสารอ้างอิง	55
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก ข้อมูลผลการทดลอง	59
ภาคผนวก ข การตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ	65
ภาคผนวก ค การเผยแพร่องค์ความรู้จากการวิจัยให้กับชุมชน	72
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	76

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
3.1	การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสียที่เข้าระบบและน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด	35
4.1	ลักษณะของน้ำเสียชุมชน	37
4.2	ลักษณะของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบเอสบีอาร์ในระยะเวลา 28 วัน	48
4.3	ลักษณะของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบเอสบีอาร์ร่วมกับตัวกลางยางพื้นรองเท้าชนิดยาง	49
4.4	ลักษณะของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบเอสบีอาร์ร่วมกับตัวกลางยางพื้นรองเท้าชนิดโฟม	50
4.5	ลักษณะของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบเอสบีอาร์ร่วมกับตัวกลางยางพื้นรองเท้าชนิดโฟมยาง	51
4.6	ลักษณะของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบเอสบีอาร์แบบไม่มีตัวกลาง	52
ตารางภาคผนวก ก 1	อุณหภูมิและความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในระบบบำบัด	60
ตารางภาคผนวก ก 2	ค่าความขุ่น (Turbidity) และค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ในระบบบำบัด	60
ตารางภาคผนวก ก 3	การวิเคราะห์สารอินทรีย์คาร์บอนในรูป BOD ในระบบบำบัด	61
ตารางภาคผนวก ก 4	การวิเคราะห์สารอินทรีย์คาร์บอนในรูป COD ในระบบบำบัด	61
ตารางภาคผนวก ก 5	การวิเคราะห์ของแข็งแขวนลอย (SS) ในระบบบำบัด	62
ตารางภาคผนวก ก 6	การวิเคราะห์ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ (MLSS) ในระบบบำบัด	62
ตารางภาคผนวก ก 7	การวิเคราะห์อินทรียสารระเหยได้ (MLVSS) ในระบบบำบัด	63
ตารางภาคผนวก ก 8	การวิเคราะห์ Phosphorus ในระบบบำบัด	63
ตารางภาคผนวก ก 9	การวิเคราะห์ Ammonia-Nitrogen ในระบบบำบัด	64
ตารางภาคผนวก ข 1	แสดงปริมาณตัวอย่างที่จะนำมาทำเจือจางโดยใช้ค่าประมาณบีโอดีและเทียบเปอร์เซ็นต์เจือจาง	67
ตารางภาคผนวก ข 2	แสดงปริมาณตัวอย่างและรีเอเจนต์ที่ใช้สำหรับขนาดต่าง ๆ ของภาชนะที่ใช้ในการย่อยสลาย	68

สารบัญภาพ

ภาพ		หน้า
2.1	ข้อแตกต่างระหว่างกระบวนการใช้อากาศและไม่ใช้อากาศ	14
2.2	ระบบบำบัดน้ำเสียเอสบีอาร์	15
2.3	สูตรโครงสร้างของยางคลอโรพรีน	20
3.1	การสร้างระบบบำบัดเอสบีอาร์	31
3.2	แบบจำลองระบบเอสบีอาร์	32
3.3	วัสดุตัวกลางทรงลูกบาศก์	33
4.1	การเปรียบเทียบค่าบีโอดีจากการบำบัด	38
4.2	ประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดี	39
4.3	การเปรียบเทียบค่าซีโอดีจากการบำบัด	40
4.4	ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี	40
4.5	การเปรียบเทียบค่าของแข็งแขวนลอยจากการบำบัด	41
4.6	ประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็งแขวนลอย	41
4.7	การเปรียบเทียบความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในถัง	43
4.8	การเปรียบเทียบค่าอินทรียสารที่ระเหยได้	44
4.9	การเปรียบเทียบค่าฟอสฟอรัสจากการบำบัด	45
4.10	ประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสฟอรัส	45
4.11	การเปรียบเทียบค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจนจากการบำบัด	46
4.12	ประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจน	47
ภาพภาคผนวก ค 1	ภาพกิจกรรม	73
ภาพภาคผนวก ค 2	เอกสารเผยแพร่ความรู้ (ด้านหน้า)	74
ภาพภาคผนวก ค 3	เอกสารเผยแพร่ความรู้ (ด้านหลัง)	75

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันมีประชากรเพิ่มขึ้นมากทุก ๆ วัน สิ่งที่สำคัญต่อประชากรคือปัจจัย 4 ดังนั้นจึงมีการขยายตัวของเศรษฐกิจที่เติบโตไปพร้อมกับความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี แต่ในทางกลับกันยังมีความเสื่อมโทรมของทรัพยากรธรรมชาติที่มนุษย์นำมาสร้างประโยชน์ให้แก่ตนเอง ซึ่งอาจทำให้เกิดมลพิษสิ่งแวดล้อมตามมาในหลาย ๆ ด้าน เช่น มลพิษทางน้ำ มลพิษทางดิน มลพิษทางอากาศ เป็นต้น ซึ่งมลพิษเหล่านี้อาจก่อให้เกิดปัญหาในการดำรงชีวิตประจำวันของมนุษย์และสัตว์ได้ สิ่งที่จำเป็นมากในการดำรงชีวิตคือน้ำ ที่มนุษย์ใช้ทั้งการอุปโภคและการบริโภค ซึ่งถ้าหากว่าน้ำมีการปนเปื้อนระบายออกสู่คลองสาธารณะมากเกินไปจะเป็นอันตรายต่อมนุษย์และสัตว์ที่อาศัยอยู่ในบริเวณนั้น

ดังนั้นน้ำเสียที่จะระบายออกสู่คลองสาธารณะจำเป็นต้องบำบัดก่อนปล่อย ซึ่งการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพมีด้วยกันหลายระบบ เช่น ระบบแอคติเวทเต็ดสลัดจ์ (Activated Sludge) ระบบโปรยกรอง (Trickling Filters) และระบบแผ่นหมุนชีวภาพ (Rotating Biological Contactor, RBC) เป็นต้น ระบบที่น่าสนใจในการบำบัดน้ำเสียจากชุมชนเป็นอย่างมาก คือ ระบบเอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor, SBR) ซึ่งเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ถังเติมอากาศ ลักษณะเด่นของระบบเอสบีอาร์ คือ ทำหน้าที่เติมอากาศและแยกตะกอนภายในถังเดียวกัน ระบบนี้ใช้พื้นที่ในการบำบัดน้อยเหมาะสำหรับบำบัดน้ำเสียชุมชนและน้ำเสียอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น โรงงานอุตสาหกรรมอาหารแปรรูป โรงงานขนมจีน เป็นต้น

ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นความสำคัญและมีความประสงค์ที่จะใช้ระบบเอสบีอาร์ร่วมกับชนิดของยางพื้นรองเท้าที่แตกต่างกัน สำหรับการบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารในมหาวิทยาลัย โดยจะแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ ยางพื้นรองเท้าชนิดยาง ชนิดโฟม และชนิดโฟมยาง เพื่อศึกษาความแตกต่างของประสิทธิภาพในการบำบัดของตะกอนจุลินทรีย์ที่มีตัวกลางเป็นยางพื้นรองเท้าทั้ง 3 ชนิด

1.2 วัตถุประสงค์งานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของตะกอนจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง

1.2.2 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากชุมชนด้วยจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงในระบบเอสบีอาร์ร่วมกับยางพื้นรองเท้าชนิดต่าง ๆ

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 สร้างแบบจำลองระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Sequencing Batch Reactor (SBR) โดยใช้ตัวกลางยางพื้นรองเท้าในการบำบัดน้ำเสียจากชุมชน

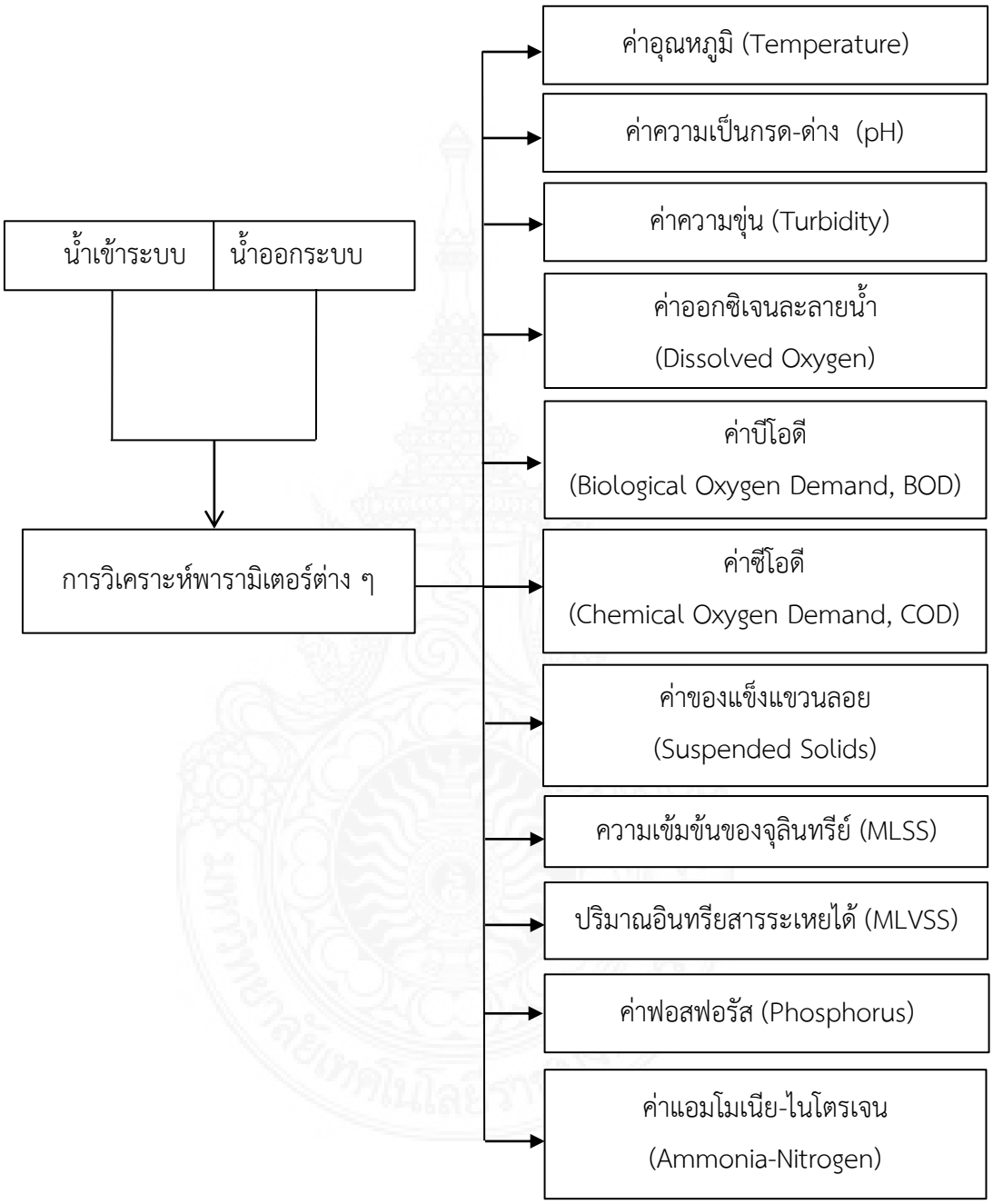
1.3.2 ศึกษาลักษณะของน้ำเสีย

1) ค่าอุณหภูมิ (Temperature)
2) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)
3) ค่าความขุ่น (Turbidity)
4) ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen)
5) ค่าบีโอดี (Biological Oxygen Demand, BOD)
6) ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD)
7) ค่าของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids)
8) ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ (MLSS)
9) ปริมาณอินทรียสารระเหยได้ (MLVSS)
10) ค่าฟอสฟอรัส (Phosphorus)
11) ค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (Ammonia-Nitrogen)

1.3.3 ศึกษาความสามารถในการลดค่าความสกปรกของน้ำเสียจากชุมชนในตัวกลาง 3 ชนิด คือ ยางพื้นรองเท้าชนิดยาง ชนิดโฟม ชนิดโฟมยาง

1.3.4 น้ำเสียที่ใช้บำบัดเป็นน้ำเสียจากโรงอาหารศูนย์พระนครเหนือ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1.4 กรอบแนวความคิด



1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้ทราบสภาวะที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของตะกอนจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง

1.5.2 ได้ทราบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากชุมชนด้วยจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงในระบบเอสบีอาร์ร่วมกับยางพื้นรองเท้า

1.6 นิยามศัพท์

1.6.1 น้ำเสียจากชุมชน หมายถึง น้ำที่มีสารใด ๆ หรือสิ่งปฏิกูลที่ไม่พึงปรารถนาอยู่ การปนเปื้อนของสิ่งสกปรกเหล่านี้ จะทำให้คุณสมบัติของน้ำเปลี่ยนแปลงไปจนอยู่ในสภาพที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้

1.6.2 น้ำเสียจากโรงอาหาร หมายถึง น้ำเสียที่ได้มาจากการประกอบอาหาร การล้างภาชนะ ซึ่งน้ำเสียปนเปื้อนสารอินทรีย์ เช่น เศษอาหาร เป็นต้น และเมื่อปล่อยสู่แหล่งน้ำธรรมชาติจะส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำเป็นอย่างมาก

1.6.3 การบำบัดน้ำเสีย หมายถึง การกำจัดสิ่งปนเปื้อนในน้ำที่เกิดจากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม หรือเกิดจากกิจวัตรประจำวันของประชาชนที่อยู่อาศัยในชุมชนหรือแหล่งที่อยู่อาศัยต่าง ๆ ให้หมดไป หรือมีปริมาณสิ่งปนเปื้อนในน้ำลดลงจนมีคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐาน

1.6.4 ตะกอนจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง หมายถึง จุลินทรีย์ในกลุ่มแบคทีเรีย พบทั่วไปในธรรมชาติทั้งในดิน แหล่งน้ำธรรมชาติ และน้ำเสีย ดำรงชีพอยู่ได้ทั้งในสภาวะมีออกซิเจนและไร้ออกซิเจน โดยในสภาวะไร้ออกซิเจนนั้นมักจะพบอยู่ในกลุ่ม Purple Nonsulfur Bacteria (PNSB) เช่น *Rhodobacter sphaeroides* และ *Rhodopseudomonas palustris*

1.6.5 ระบบเอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor; SBR) หมายถึง ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge) ที่มีการทำงานแบบกะ (Batch) ซึ่งระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ โดยจุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้ออกซิเจนและสามารถแยกสลัดจ์ด้วยการตกตะกอนภายในถังเดียวกัน

1.7 คำสำคัญ

ภาษาไทย : ระบบเอสบีอาร์ ตัวกลาง น้ำเสียชุมชน

ภาษาอังกฤษ : Sequencing Batch Reactor, Media, Municipal Wastewater

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมาประกอบการพิจารณาอ้างอิงและวิเคราะห์ ดังมีรายละเอียดตามหัวข้อต่อไปนี้

2.1 น้ำเสีย (Wastewater)

2.2 ระบบบำบัดน้ำเสีย (WasteWater Treatment System)

2.3 จุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสีย (Biodegradable Organic Compound)

2.4 วัสดุตัวกลาง (Media)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำเสีย (Wastewater)

2.1.1 นิยามและความหมายของน้ำเสีย

น้ำเสีย หมายถึง น้ำที่ผ่านการใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่าง ๆ ตัวอย่างเช่น การใช้ในชีวิตประจำวันของมนุษย์ ได้แก่ การอุปโภคบริโภค ประกอบอาหาร ชำระล้างร่างกาย ใช้ในอุตสาหกรรมได้แก่ การล้างวัตถุดิบ วัสดุอุปกรณ์ การหล่อเย็น ซึ่งทำให้น้ำดังกล่าวมีลักษณะสมบัติต่างไปจากเดิมเนื่องจากการปนเปื้อนสิ่งสกปรก และชนิดของสิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนในน้ำเสียจะขึ้นอยู่กับกิจกรรมที่ใช้ประโยชน์จากน้ำนั้น (สันทัด, 2557)

จากข้อความข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า น้ำเสีย คือ น้ำที่ผ่านการใช้ประโยชน์จากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ มีการปนเปื้อนทำให้น้ำดังกล่าวนั้นมีลักษณะแตกต่างไปจากเดิมจนไม่สามารถนำกลับมาให้ประโยชน์ได้อีก

2.1.2 ลักษณะของน้ำเสีย (Wastewater Characteristics)

1) ลักษณะทางกายภาพ (Physicals Characteristics) ลักษณะทางกายภาพได้แก่ สี กลิ่น อุณหภูมิ ของแข็งต่าง ๆ ความขุ่น และของแข็งทั้งหมดเป็นต้น

1) อุณหภูมิ (Temperature) อุณหภูมิของน้ำมีผลในด้านการเร่งปฏิกิริยาทางเคมีซึ่งจะส่งผลต่อการลดปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ

2) สี (Color) สีของน้ำเกิดจากการสะท้อนแสงของสารแขวนลอยในน้ำ เช่น น้ำตามธรรมชาติจะมีสีเหลืองซึ่งเกิดจากกรดอินทรีย์ น้ำในแหล่งน้ำที่มีใบไม้ทับถมจะมีสีน้ำตาล หรือถ้ามีตะไคร่น้ำก็จะมีสีเขียว

3) กลิ่นและรส กลิ่นและรสของน้ำจะมีคุณสมบัติแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปริมาณสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำ เช่น ซากพืช ซากสัตว์ที่เน่าเปื่อยหรือสารในกลุ่มของฟีนอล เกลือโซเดียมคลอไรด์ซึ่งจะทำให้น้ำมีรสกร่อยหรือเค็ม

4) ความขุ่น (Turbidity) เกิดจากสารแขวนลอยในน้ำ เช่น ดิน ซากพืช ซากสัตว์

5) การนำไฟฟ้า (Electical Conductivity) บอกถึงความสามารถของน้ำที่กระแสไฟฟ้าสามารถไหลผ่าน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของอิออนโดยรวมในน้ำ และอุณหภูมิขณะทำการวัดค่าการนำไฟฟ้า

6) ของแข็งทั้งหมด (Total Solid: TS) คือ ปริมาณของแข็งในน้ำสามารถคำนวณจากการระเหยน้ำออก ได้แก่ ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolved Solids: TDS) จะมีขนาดเล็กผ่านขนาดกรองมาตรฐาน คำนวณได้จากการระเหยน้ำที่กรองผ่านกระดาษกรองออกไป ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids: SS) หมายถึง ของแข็งที่อยู่บนกระดาษกรองมาตรฐานหลังจากการกรอง แล้วนำมาอบเพื่อระเหยน้ำออก ของแข็งระเหยง่าย (Volatile Solids: VS) หมายถึง ส่วนของแข็งที่เป็นสารอินทรีย์แต่ละลายน้ำ สามารถคำนวณได้โดยการนำกระดาษกรองวิเคราะห์เอาของแข็งที่แขวนลอยออก แล้วนำของแข็งส่วนที่ละลายทั้งหมดมาระเหยอุณหภูมิประมาณ 550 ˚C นำน้ำหนักน้ำที่ชั่งหลังการกรองลบด้วยน้ำหนักหลังจากการเผา น้ำหนักที่ได้คือของแข็งส่วนที่ระเหยไป

2) ลักษณะทางเคมี (Chemicals Characteristics) ความเป็นกรด – ด่าง สารอินทรีย์ ไขมัน สารซักฟอก ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ซัลเฟอร์ โลหะหนัก เป็นต้น

1) ความเป็นกรด-ด่าง (pH) แสดงความเป็นกรดหรือเบสของน้ำ (น้ำดื่มควรมีค่า pH ระหว่าง 6.8-7.3) โดยทั่วไปน้ำที่ปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรมมักจะมีค่า pH ที่ต่ำ (pH < 7) ซึ่งหมายถึงมีความเป็นกรดสูงมีฤทธิ์กัดกร่อน การวัดค่า pH ทำได้ง่าย โดยการใช้กระดาษ

ลิตมัสในการวัดค่าความเป็นกรด – ด่าง ซึ่งให้สีตามความเข้มข้นของ [H^+] หรือการวัดโดยใช้ pH meter เมื่อต้องการให้มีความละเอียดมากขึ้น สภาพเบส (Alkalinity) คือสภาพที่น้ำมีสภาพความเป็นด่างสูงจะประกอบด้วยไอออนของ OH^-, CO_3^- , H_2CO_3 ของธาตุแคลเซียม โซเดียม แมกนีเซียม โพแทสเซียม หรือแอมโมเนีย ซึ่งสภาพด่างนี้จะช่วยทำหน้าที่คล้ายบัฟเฟอร์ต้านการเปลี่ยนแปลงค่า pH ในน้ำทิ้ง สภาพกรด (Acidity) โดยทั่วไปน้ำทิ้งจากแหล่งชุมชนจะมีบัฟเฟอร์ในสภาพด่างไม่ทำให้น้ำมีค่า pH ที่ต่ำเกินไป แต่น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมมักจะมีค่า pH ต่ำกว่า 4.5 ซึ่งมาจาก CO_2 ที่ละลายน้ำ

2) ความกระด้าง (Hardness) เป็นการไม่เกิดฟองกับสบู่และเมื่อต้มน้ำกระด้างนี้จะเกิดตะกอน น้ำกระด้างชั่วคราว เกิดจากสารไบคาร์บอเนต (CO_3^{2-}) รวมตัวกับ ไอออนของโลหะ เช่น Ca^{2+}, Mg^{2+} ซึ่งสามารถแก้ได้โดยการต้ม นอกจากนี้แล้วยังมีความกระด้างถาวรซึ่งเกิดจากอิออนของโลหะและสารที่ไม่ใช่พวกคาร์บอเนต เช่น SO_4^{2-}, NO_3^-, Cl^- รวมตัวกับ Ca^{2+}, Fe^{2+},Mg^{2+} เป็นต้น ความกระด้างจึงเป็นข้อเสียในด้านการสิ้นเปลืองทรัพยากร คือต้องใช้ปริมาณสบู่หรือผงซักฟอกในการซักผ้าในปริมาณมาก ซึ่งก็จะเกิดตะกอนมากเช่นกัน

3) ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (Dissolved Oxygen, DO) แบคทีเรียที่เป็นสารอินทรีย์ในน้ำต้องการออกซิเจน (Aerobic Bacteria) ในการย่อยสลายสารอนินทรีย์ ความต้องการออกซิเจนของแบคทีเรียนี้จะทำให้จะทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำลดลง ดังนั้นในน้ำที่สะอาดจะมีค่า DO สูง และน้ำเสียจะมีค่า DO ต่ำ มาตรฐานของน้ำที่มีคุณภาพดีโดยทั่วไปจะมีค่า DO ประมาณ 5-8 ppm หรือปริมาณ O_2 ละลายอยู่ปริมาณ 5-8 mg/L หรือ 5-8 ppm น้ำเสียจะมีค่า DO ต่ำกว่า 3 ppm ค่า DO มีความสำคัญในการบ่งบอกว่าแหล่งน้ำนั้นมีปริมาณออกซิเจนเพียงพอต่อความต้องการของสิ่งมีชีวิตหรือไม่

4) บีโอดี (Biological Oxygen Demand) เป็นปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องการใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ น้ำที่มีคุณภาพดี ควรมีค่าบีโอดีไม่เกิน 6 mg/L ถ้าค่าบีโอดีสูงมากแสดงว่าน้ำนั้นเน่ามาก แหล่งน้ำที่มีค่าบีโอดีสูงกว่า 100 mg/L จะจัดเป็นน้ำเน่าหรือน้ำเสีย พระราชบัญญัติน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม กำหนดไว้ว่า น้ำทิ้งก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ต้องมีค่าบีโอดีไม่เกิน 20 mg/L การหาค่าบีโอดีหาได้โดยใช้แบคทีเรียย่อยสลายอินทรียสารซึ่งจะเป็นไปช้า ๆ ดังนั้นจึงต้องใช้เวลานานหลายสิบวัน ตามหลักสากลใช้เวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิ 20˚C โดยนำตัวอย่างน้ำที่ต้องการหาบีโอดีมา 2 ขวด ขวดหนึ่งนำมาวิเคราะห์เพื่อหาค่า

ออกซิเจนทันที สมมุติว่ามีออกซิเจนอยู่ 6.5 mg/L ส่วนน้ำอีกขวดหนึ่งปิดจุกให้แน่น เพื่อไม่ให้อากาศเข้า นำไปเก็บไว้ในที่มืดที่อุณหภูมิ 20˚C นาน 5 วัน แล้วนำมาวิเคราะห์หาปริมาณออกซิเจน

5) ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand) คือ ปริมาณ O_2 ที่ใช้ในการออกซิไดซ์ในการสลายสารอินทรีย์ด้วยสารเคมีโดยใช้สารละลาย เช่น โพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) ในปริมาณมากเกินพอในสารละลายกรดซัลฟิวริก ซึ่งสารอินทรีย์ในน้ำทั้งหมดทั้งที่จุลินทรีย์ย่อยสลายได้และย่อยสลายไม่ได้ก็จะถูกออกซิไดซ์ภายใต้ภาวะที่เป็นกรดและการให้ความร้อน โดยทั่วไปค่า COD จะมีค่ามากกว่า BOD เสมอ ดังนั้นค่า COD จึงเป็นตัวแปรที่สำคัญตัวหนึ่งที่แสดงถึงความสกปรกของน้ำเสีย

6) ไนโตรเจน (Nitrogen) เป็นธาตุสำคัญสำหรับพืช ซึ่งจะอยู่ในรูปของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไนไตรท ไนเตรท ยิ่งถ้าในน้ำมีปริมาณไนโตรเจนสูง จะทำให้พืชน้ำเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว

7) ฟอสฟอรัส (Phosphorus) ในน้ำจะอยู่ในรูปของสารประกอบพวกออร์โธฟอสเฟต (Orthophosphate) เช่นสาร PO_4^{3-}, HPO_4^{2-}, $H_2PO_4^{-}$ และ H_3PO_4 นอกจากนี้ยังมีสารพวกโพลีฟอสเฟต

8) ซัลเฟอร์ (Sulfer) มีอยู่ในธรรมชาติและเป็นองค์ประกอบภายในของสิ่งมีชีวิต สารประกอบซัลเฟอร์ในน้ำจะอยู่ในรูปของ Organic Sulfur เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟต์ สารซัลเฟต เป็นต้น ซึ่งสารพวกนี้จะทำให้เกิดกลิ่นเหม็นเน่า เช่น ที่เรียกว่าก๊าซไข่เน่า และนอกจากนี้ยังมีฤทธิ์กัดกร่อนในสิ่งแวดล้อมได้

9) โลหะหนัก มีทั้งที่เป็นพิษและไม่เป็นพิษ แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณที่ได้รับถ้ามากเกินไปจะเป็นพิษ ได้แก่ โครเมียม ทองแดง เหล็ก แมงกานีสและสังกะสี บางชนิดไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ได้แก่ แคดเมียม ตะกั่ว ปรอทและนิกเกิล

3) ลักษณะทางชีวภาพ (Biological Characteristics) จุลินทรีย์มีความสำคัญต่อการบำบัดน้ำเสียเป็นอย่างมาก ทั้งนี้เพราะในน้ำเสียมีจุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายต่อชีวิตและสุขภาพของมนุษย์ ในขณะเดียวกันในระบบบำบัดน้ำเสียก็ใช้จุลินทรีย์อีกชนิดหนึ่งเป็นตัวย่อยสลายสิ่งสกปรกต่าง ๆ ได้แก่ แบคทีเรีย ซึ่งเป็นตัวที่ช่วยย่อยสลายสิ่งสกปรกในน้ำเสีย 95 % นอกนั้นก็จะเป็น รา สาหร่าย และโปรโตซัว

2.1.3 น้ำเสียชุมชน (Municipal Wastewater)

น้ำเสียชุมชนหรืออาจจะเรียกอย่างว่าน้ำโสโครก (Sewage) ได้แก่ น้ำทิ้งที่มาจากชุมชนบ้านเรือนที่พักอาศัย อาคาร ร้านค้า ภัตตาคาร โรงแรม เป็นต้น โดยน้ำเสียดังกล่าวมักจะเกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ เช่น การอุปโภคบริโภค การชำระล้างร่างกาย การขับถ่าย การซักล้าง ตลอดจนการประกอบอาหาร เป็นต้น น้ำเสียส่วนมากปนเปื้อนสิ่งสกปรกจำพวกสารอินทรีย์ เช่น เศษอาหาร อุจจาระ ปัสสาวะ นอกจากนี้ยังมีผงซักฟอก สบู่ และสารลดแรงตึงผิวที่เป็นส่วนประกอบในผงซักฟอก สบู่ ตลอดจนจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคและจุลินทรีย์ที่ไม่ก่อให้เกิดโรค (เสริมพล และไชยยุทธ, 2524)

น้ำเสียในโรงอาหาร หมายถึง น้ำเสียที่ได้มาจากการประกอบอาหาร การล้างภาชนะ ซึ่งน้ำเสียปนเปื้อนสารอินทรีย์ เช่น เศษอาหาร เป็นต้น จากการสำรวจของกรมควบคุมมลพิษพบว่าน้ำทิ้งจากโรงอาหารจะมีค่าบีโอดีเฉลี่ยประมาณ 110-400 mg/L ซึ่งจัดว่ามีค่าค่อนข้างสูงและเมื่อปล่อยสู่แหล่งน้ำธรรมชาติจะส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำเป็นอย่างมาก

2.1.4 ผลกระทบของน้ำเสีย

ผลกระทบของน้ำเสียต่อสัตว์น้ำ น้ำเสียเป็นสิ่งที่สร้างปัญหามากมายให้กับสิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับมนุษย์และสัตว์ที่ดำเนินชีวิตโดยส่วนใหญ่จะใช้น้ำในการอุปโภคและบริโภค และถ้าหากน้ำเสียมีค่าที่สูงเกินจะทำให้สัตว์ที่อาศัยอยู่ในน้ำตายเป็นจำนวนมาก (กรมควบคุมมลพิษ, 2561)

ผลกระทบของน้ำเสียต่อสิ่งแวดล้อม

1. เป็นแหล่งแพร่ระบาดของเชื้อโรค เช่น อหิวาตกโรค บิด ท้องเสีย และเป็นแหล่งเพาะพันธุ์ของแมลงนำโรคต่าง ๆ

2. ทำให้เกิดปัญหามลพิษต่อดิน น้ำ และอากาศ

3. ทำให้เกิดเหตุรำคาญ เช่น กลิ่นเหม็นของน้ำโสโครก

4. ทำให้เกิดการสูญเสียทัศนียภาพ เกิดสภาพที่ไม่น่าดู เช่น สภาพน้ำที่มีสีดำคล้ำไปด้วยขยะ และสิ่งปฏิกูล และทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระบบนิเวศในระยะยาว

ผลกระทบของน้ำเสียที่มีต่อสุขภาพ น้ำเสียมีอันตรายต่อสุขภาพและระบบต่าง ๆ ของร่างกาย มีดังนี้

1. ระบบทางเดินอาหาร หากประชาชนนำน้ำที่มีมลพิษไปดื่มอาจทำให้เกิดโรค เช่น

อหิวาตกโรค โรคบิด โรคอุจจาระร่วง ไข้รากสาดน้อย หรือไข้ไทฟอยด์

2. ระบบประสาท น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีสารพิษเจือปน เช่น สารปรอท ซึ่งเป็นสารพิษที่มีอันตรายร้ายแรง ดังเหตุการณ์ในประเทศญี่ปุ่นที่พบผู้ป่วยโรคมินามาตะ สาเหตุเกิดจากการรับประทานปลาจากอ่าวมินามาตะที่มีสารปรอทสูง ทำให้มีอาการเกี่ยวกับระบบประสาท คือ มือและเท้าชา บางรายรุนแรงถึงขั้นทุพพลภาพและเสียชีวิต

3. ผิวหนัง น้ำเสียเป็นอันตรายต่อผิวหนังเป็นอย่างมาก ถ้านำมาอาบชำระล้างร่างกายอาจทำให้เป็นโรคผิวหนังชนิดต่าง ๆ ได้

4. ไต สารพิษในน้ำเมื่อเข้าสู่ร่างกาย ร่างกายจะต้องขับออกโดยผ่านไต ทำให้มีการสะสมตกค้างอยู่ในไตและกระเพาะปัสสาวะ เกิดการอักเสบ เป็นนิ่วที่ไตและกระเพาะปัสสาวะ

5. สุขภาพจิต น้ำเสีย น้ำเน่า หรือน้ำโสโครก มักจะส่งกลิ่นเหม็นและมีสภาพไม่น่ามองทำให้คนเราเกิดความหงุดหงิด รำคาญ และเกิดความตึงเครียดได้

2.1.5 วิธีการบำบัดน้ำเสีย

การบำบัดน้ำเสีย หมายถึง การกำจัดหรือทำลายสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสียให้หมดไป หรือเหลือน้อยที่สุดให้ได้มาตรฐานที่กำหนดและไม่ทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม น้ำเสียจากแหล่งต่างกันจะมีคุณสมบัติไม่เหมือนกัน ดังนั้นกระบวนการบำบัดน้ำจึงมีหลายวิธี โดยระบบบำบัดน้ำเสียทั่วไปมี 3 วิธีคือ การบำบัดทางกายภาพ การบำบัดน้ำเสียทางเคมี และ การบำบัดทางชีวภาพ

2.2 ระบบบำบัดน้ำเสีย (WasteWater Treatment System)

2.2.1 ประเภทของระบบบำบัด

การเลือกระบบบำบัดน้ำเสียขึ้นกับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ลักษณะของน้ำเสีย ระดับการบำบัดน้ำเสียที่ต้องการ สภาพทั่วไปของท้องถิ่น เป็นต้น การบำบัดน้ำเสียสามารถแบ่งตามกลไกการกำจัดสิ่งเจือปนในน้ำเสียเป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ ดังนี้ (เกรียงศักดิ์, 2537)

1) ระบบบำบัดน้ำเสียทางกายภาพ (Physical Treatment)

เป็นวิธีการแยกเอาสิ่งเจือปนออกจากน้ำเสีย เช่น ของแข็งขนาดใหญ่ พลาสติก เศษอาหาร กรวด ทราย ไขมันและน้ำมัน โดยใช้อุปกรณ์บำบัดทางชีวภาพ คือตะแกรงดักขยะ ถังดักกรวดทราย ถังดักไขมันและน้ำมัน และถังตกตะกอน ซึ่งจะเป็นการลดปริมาณของแข็งทั้งหมด

ที่มีในน้ำเสียเป็นหลัก อุปกรณ์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียทางกายภาพ ได้แก่ ตะแกรงหยาบและตะแกรงละเอียด ถังดักกรวดทราย ถังดักไขมัน และถังตกตะกอน เป็นต้น

2) ระบบบำบัดน้ำเสียทางเคมี (Chemical Treatment)

เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียโดยใช้กระบวนการทางเคมี เป็นการใช้สารเคมีหรือการทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีเพื่อบำบัดน้ำเสีย โดยมีวัตถุประสงค์

เพื่อรวมตะกอนหรือของแข็งแขวนลอยขนาดเล็กในน้ำเสียให้โตพอที่จะตกตะกอนได้ง่าย เรียกตะกอนนี้ว่า Floc และกระบวนการนี้ว่าการสร้างตะกอน (Coagulation) และการรวมตะกอน (Flocculation)

เพื่อให้ของแข็งที่ละลายในน้ำเสียให้กลายเป็นตะกอน หรือทำให้ไม่สามารถละลายน้ำได้เรียกกระบวนนี้ว่า การตกตะกอนผลึก (Precipitation) เพื่อทำการปรับสภาพน้ำเสียให้มีความเหมาะสมที่จะนำไปบำบัดด้วยกระบวนการอื่นต่อไป เช่น การทำให้น้ำเสียมีความเป็นกลางก่อนแล้วนำไปบำบัดด้วยวิธีทางชีวภาพ เป็นต้น เพื่อทำลายเชื้อโรคในน้ำเสียก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติ หรือก่อนที่จะบำบัดด้วยวิธีการอื่น ๆ ต่อไป

โดยทั่วไปแล้วการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางเคมีนี้มักจะทำร่วมกันกับหน่วยบำบัดน้ำเสียทางกายภาพ ตัวอย่างเช่น กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางเคมีโดยการใช้สารเคมี เพื่อทำให้ตกตะกอน เป็นต้น ในปัจจุบันมีการใช้หน่วยบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางเคมีหลายอย่างด้วยกัน แต่จะขอกล่าวเฉพาะที่ถูกนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียเป็นส่วนใหญ่ คือ การตกตะกอนโดยใช้สารเคมี การทำให้เป็นกลาง และการทำลายเชื้อโรค

การตกตะกอนโดยใช้สารเคมี (Chemical coagulation/Precipitation) เป็นการใช้สารเคมีช่วยตกตะกอนโดยให้เติมสารเคมี (Coagulant) ลงไป เพื่อเปลี่ยนสถานะทางกายภาพของของแข็งแขวนลอยที่มีขนาดเล็กให้รวมกันมีขนาดใหญ่ขึ้นเรียกกระบวนดังกล่าวว่า Flocculation และเป็นขั้นตอนของการทำให้เป็นกลางโดยการปรับ pH และไปถึงขั้นตอนของการฆ่าเชื้อโรคก่อนปล่อยลงแหล่งน้ำธรรมชาติ

3) ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ (Biological Treatment)

วิธีการบำบัดน้ำเสีย โดยใช้กระบวนการทางชีวภาพหรือใช้จุลินทรีย์ในการกำจัดสิ่งเจือปนในน้ำเสียโดยเฉพาะสารคาร์บอนอินทรีย์ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส โดยความสกปรก

เหล่านี้จะถูกใช้เป็นอาหาร และเป็นแหล่งพลังงานของจุลินทรีย์ในถังเลี้ยงเชื้อเพื่อการเจริญเติบโตทำให้น้ำเสียมีค่าความสกปรกลดลงสามารถแบ่งย่อยตามชนิดแบคทีเรียได้ดังนี้

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ (Aerobic Process) จะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียที่ใช้อากาศ ดังนั้นต้องมีการเติมอากาศตลอดเวลา ระบบที่นิยมใช้ ได้แก่ ระบบแอคติเวทเต็ดสลัดจ์ (Activated Sludge) ระบบบ่อเติมอากาศ (Aerated Lagoon) และระบบบึงประดิษฐ์ (Wetland) เป็นต้น

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Process) เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้แบคทีเรียแบบไม่ใช้อากาศในการย่อยสลายสารอินทรีย์ระบบที่นิยมใช้ ได้แก่ ถังกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter, AF) เป็นต้น

2.2.2 ระบบบำบัดน้ำเสียชีวภาพ (Biological Treatment)

กระบวนการบำบัดทางชีวภาพ สามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ ตามชนิดของจุลินทรีย์ที่มีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ได้แก่ การบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศหรือใช้ออกซิเจน (Aerobic Wastewater Treatment) และการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศหรือไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Wastewater Treatment) (สิริรัตน์ และคณะ, 2548)

กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ (Aerobic Wastewater Treatment) เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยจุลินทรีย์กลุ่มที่ต้องอาศัยออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen) หรือ ออกซิเจนอิสระในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียกลุ่มที่ใช้อากาศ (Aerobic Bacteria) สามารถจำแนกได้เป็น 2 ขั้นตอน ตามลำดับดังนี้ คือ

ขั้นตอนที่ 1 : เป็นกระบวนการนำสารอินทรีย์หรือสารอาหารเข้าไปในเซลล์โดยจุลินทรีย์จะส่งเอนไซม์ (Enzyme) ออกมาย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มาเกาะติดที่ผนังเซลล์เพื่อเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของสารโมเลกุลเล็กที่จะสามารถซึมผ่านเข้าไปในเซลล์ของจุลินทรีย์ได้

ขั้นตอนที่ 2 : เป็นกระบวนการทางชีวเคมีภายในเซลล์จุลินทรีย์ เพื่อที่จะผลิตพลังงานไปใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ และการสร้างเซลล์ใหม่ โดยเขียนอยู่ในรูปของสมการโดยรวมได้ ดังนี้

$$\text{สารอินทรีย์} + N + P \xrightarrow[\text{O}_2\text{ (จากอากาศ)}]{\text{จุลินทรีย์ที่ใช้ } O_2 \text{ อิสระ}} \text{เซลล์ใหม่} + CO_2 + H_2O + \text{พลังงาน}$$

เมื่อสารอินทรีย์ในน้ำเสียถูกเปลี่ยนรูปมาเป็นจุลินทรีย์เซลล์ใหม่ จะรวมตัวกันเป็นฟล็อก (Biological Flocculation) จะมีน้ำหนักมากขึ้น และแยกออกจากน้ำเสียได้ง่ายด้วยการตกตะกอน

กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ จำแนกได้เป็น 2 ประเภทหลัก คือ

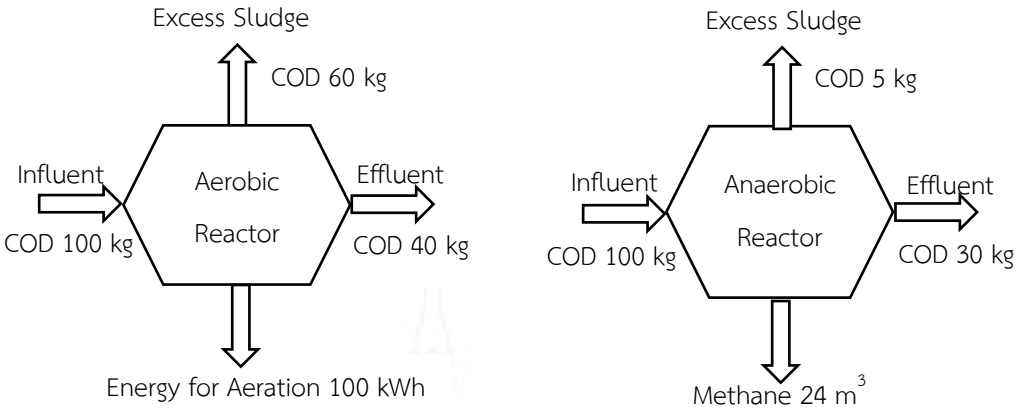
1) ระบบบำบัดที่จุลินทรีย์แขวนลอยอยู่ในระบบ (Suspended System) เช่น บ่อแอโรบิก (Aerobic Pond) บ่อเติมอากาศ (Aerated Lagoon) ระบบแอคติเวทเต็ดสลัดจ์ (Activated Sludge) เป็นต้น

2) ระบบบำบัดที่จุลินทรีย์เกาะติดผิวตัวกลาง หรือ ระบบฟิล์มตรึง (Fixed Film System) เช่น ระบบโปรยกรอง (Trickling Filter) และระบบแผ่นหมุนชีวภาพ (Rotating Biological Contactor) เป็นต้น

กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Wastewater Treatment) เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียในสภาวะไร้ออกซิเจน โดยจุลินทรีย์จะอาศัยสารประกอบอื่นเป็นตัวรับอิเล็กตรอนแทนออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen) หรือออกซิเจนอิสระ

ข้อแตกต่างระหว่างกระบวนการใช้อากาศ และไม่ใช้อากาศ

กรมควบคุมมลพิษ (2561) ได้กล่าวว่า ข้อแตกต่างโดยรวมระหว่าง กระบวนการบำบัดแบบใช้อากาศและไม่ใช้อากาศ กล่าวคือ การย่อยสลายแบบใช้อากาศจะได้น้ำทิ้ง (Effluent) ที่มีคุณภาพดีกว่า คือ มีสารที่ต้องการออกซิเจนเหลืออยู่ในน้ำทิ้งปริมาณเล็กน้อย โดยสารอินทรีย์ตั้งต้นส่วนใหญ่จะถูกเปลี่ยนรูปไปเป็นตะกอนส่วนเกิน (Excess Sludge) ในรูปของมวลชีวภาพของจุลินทรีย์ (Bacterial Biomass) ส่วนการบำบัดแบบไม่ใช้อากาศ จะมีปริมาณของแข็ง และสารที่ต้องการออกซิเจนเหลืออยู่ (Residual Solid) ในน้ำทิ้งปริมาณมากกว่ากระบวนการใช้อากาศโดยทั่วไป แต่จะให้ตะกอนส่วนเกินในปริมาณน้อยกว่าและมีความเสถียร (More Stable) กว่ากระบวนการใช้อากาศ นอกจากนั้น ระบบไม่ใช้อากาศยังให้ผลผลิตสุดท้ายเป็นก๊าซมีเทน ซึ่งใช้เป็นเชื้อเพลิงและแหล่งพลังงานได้



ก) กระบวนการใช้อากาศ ข) กระบวนการไม่ใช้อากาศ

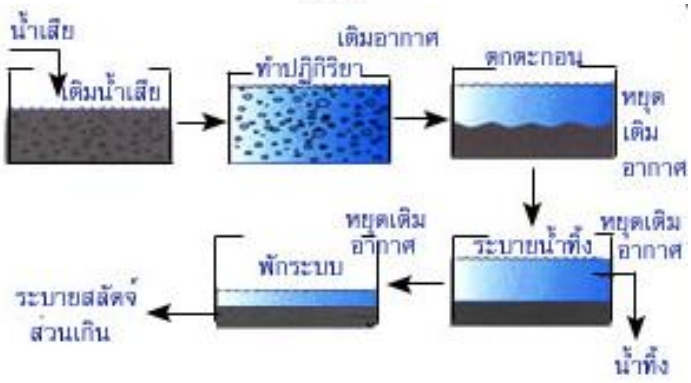
ภาพ 2.1 ข้อแตกต่างระหว่างกระบวนการใช้อากาศ และไม่ใช้อากาศ

2.2.3 ระบบเอสบีอาร์

ระบบเอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor: SBR) เป็นระบบบำบัดทางชีวภาพ ซึ่งประกอบไปด้วยขั้นตอนการบำบัดดังนี้คือ การป้อนน้ำเสีย (Fill) การบำบัด (React) การตกตะกอน (Settle) การถ่ายน้ำทิ้ง (Draw) และ การพัก (Idle) ซึ่งเป็นการทำงานของระบบเอสบีอาร์ ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อการบำบัดด้วยระบบเอสบีอาร์ ซึ่งได้แก่ ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ อาหารเสริม ออกซิเจนละลาย ระยะเวลาการบำบัด เป็นต้น การนำระบบเอสบีอาร์ไปประยุกต์ใช้งานในการบำบัดน้ำเสียทั้งน้ำเสียจากชุมชนและอุตสาหกรรม ประสิทธิภาพความสามารถในการบำบัดของระบบเอสบีอาร์ (ขวัญเนตร, 2551)

ระบบเอสบีอาร์เป็นระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge) ที่มีการทำงานแบบกะ (Batch) ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์และสารอาหารไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่มีอยู่ในน้ำเสีย ระบบเอสบีอาร์ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อให้สามารถควบคุมง่ายและเหมาะสำหรับใช้ในการบำบัดทั้งน้ำเสียจากชุมชนและน้ำเสียจากอุตสาหกรรมขนาดเล็กที่มีน้ำเสียไม่มาก แผนผังแสดงระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ สำหรับระบบบำบัดน้ำเสีย ขนาดเล็กและน้ำเสียไหลเป็นบางช่วง เช่น น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ซึ่งอาจมีน้ำเสียไหลเพียง 4-8 h/day การใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไหลต่อเนื่อง (Continuous Flow Process)

จำเป็นต้องมีบ่อเก็บกักน้ำเสียขนาดใหญ่เพื่อควบคุมให้น้ำเสียเข้าสู่ระบบอย่างสม่ำเสมอ ระบบเอสบีอาร์เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ถังเติมอากาศ ทำหน้าที่ทั้งเติมอากาศเพื่อให้จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์และทำหน้าที่แยกสลัดจ์ด้วยการตกตะกอนภายในถังเดียวกัน โดยขั้นตอนการทำงานจะปล่อยให้น้ำเสียไหลเข้าถังที่มีจุลินทรีย์อยู่ภายในถังแล้วและเติมอากาศอยู่ เมื่อถึงเวลาที่กำหนด (ประมาณ 22 h) จะหยุดเติมอากาศเพื่อทิ้งให้ตกตะกอน (ประมาณ 2 h) ซึ่งจะได้น้ำใสส่วนบนซึ่งสามารถปล่อยทิ้งออกไปได้เป็นการเสร็จสิ้นกระบวนการบำบัด จากนั้นจะเริ่มกระบวนการใหม่ การทำงานแบบไม่ติดต่อกันของระบบนี้ทำให้ระบบมีความเหมาะสมกับโรงงานที่มีขนาดเล็กและมีปริมาณน้ำเสียน้อย ในทางปฏิบัติอาจมีการใช้ถังบำบัดน้ำเสียมากกว่า 2 ถังขึ้นไป เพื่อให้การดำเนินการบำบัดน้ำเสียเป็นไปได้อย่างต่อเนื่อง



ภาพ 2.2 ระบบบำบัดน้ำเสียเอสบีอาร์ (ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ, 2561)

วิธีควบคุมการทำงานของระบบเอสบีอาร์

การควบคุมอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ จุลินทรีย์ที่มีสมรรถภาพในการทำงานจะต้องมีปริมาณอาหารที่เหมาะสม ซึ่งควบคุมได้โดยการรักษาอัตราส่วนของน้ำหนักบีโอดีที่ส่งเข้ามาบำบัดต่อน้ำหนักของจุลินทรีย์ ซึ่งวัดในรูปของแข็งแขวนลอย (MLSS) ให้มีค่าตามที่ต้องการ และเรียกค่าที่ใช้ควบคุมนี้ว่า อัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ (Food to Microorganism Ratio; F/M ratio)

ในทางปฏิบัติการควบคุมปริมาณอาหาร หรือบีโอดีในน้ำเสียที่เข้านั้นจะควบคุมได้ยาก ดังนั้นการที่จะควบคุมค่า F/M ให้เหมาะสมจะอาศัยการเปลี่ยนแปลงค่าน้ำหนักของจุลินทรีย์ซึ่งวัดในรูป MLSS โดยการเพิ่มหรือลดการนำสลัดจ์ส่วนเกินไปทิ้ง รูปแบบของกระบวนการเอเอสสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ตามอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ธรรมดา (Conventional Rate) และอัตราการบำบัดต่ำ (Low Rate หรือ Extended Aeration) โดยช่วงการทำงานตาม

ค่า F/M คือ 0.5-2.0 0.2-0.5 และ 0.05-0.15 /day ตามลำดับ ในทางปฏิบัติผู้ควบคุมต้องปรึกษาผู้ออกแบบว่าได้ออกแบบระบบไว้ในช่วงใด เพื่อที่จะควบคุมระบบให้ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ

ข้อดีและข้อเสียของระบบเอสบีอาร์

ข้อดี เป็นวิธีการบำบัดน้ำเสียที่ใช้พื้นที่ในการก่อสร้างระบบน้อย สะดวก ประหยัดและใช้ต้นทุนต่ำ เพราะถังเติมอากาศและถังตกตะกอนอยู่ในถังเดียวกัน มีประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ในรูปบีโอดี ร้อยละ 80–95 ซึ่งปกติจะอยู่ที่ร้อยละ 80 การเดินระบบสามารถเปลี่ยนแปลงระยะเวลาในแต่ละช่วงได้ง่ายขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการบำบัด ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความยืดหยุ่นของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์

ข้อเสีย ระบบเอสบีอาร์ ใช้พลังงานสูง การเดินระบบมีความยุ่งยากซับซ้อน ต้องมีการดูแลและกำจัดตะกอนในระบบอย่างสม่ำเสมอ และมีกากตะกอนในระบบจำนวนมากที่ต้องนำไปกำจัดอย่างถูกต้อง มีตะกอนปนมากับน้ำใส และเกิดตะกอนลอยในบางครั้ง (มั่นสิน, 2542)

2.3 จุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสีย (Biodegradable Organic Compound)

จุลินทรีย์ที่ดำรงชีวิตอยู่ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพ มีหน้าที่สำคัญในการย่อยสลายสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในน้ำ โดยใช้เป็นอาหารเพื่อการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนประชากร เป็นผลทำให้สารอินทรีย์ในน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมีปริมาณลดลง น้ำเสียมีคุณภาพดีขึ้นสามารถระบายสู่แหล่งน้ำสาธารณะได้ โดยจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในระบบบำบัดน้ำเสียมีหลากหลายสายพันธุ์ ซึ่งบางสายพันธุ์มีความแข็งแรงบางสายพันธุ์ไม่มีความทนทานหรือในบางระบบบำบัดน้ำเสียประชากรของจุลินทรีย์มีจำนวนไม่เพียงพอ จึงทำให้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วยังไม่ได้มาตรฐาน โดยมีนักวิจัยที่มีการทดลองใช้จุลินทรีย์สายพันธุ์คัดเลือกในการบำบัดน้ำเสีย โดยมีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิด ได้แก่ Heterotrophic Bacteria และ Autotrophic Bacteria (พรชนก และภัชราภรณ์, 2554)

2.3.1 Heterotrophic Bacteria

แบคทีเรีย Heterotrophic พึ่งพาสิ่งมีชีวิตอื่นเป็นอาหาร สามารถจำแนกตามประเภทของ ชีวมวลที่กินสัตว์หลายชนิดกินทั้งพืชและสัตว์ แต่แบคทีเรียชนิดนี้เป็นสัตว์กินพืช ปรสิตในสัตว์เป็นสัตว์กินเนื้อชนิดพิเศษที่มักจะมีขนาดเล็กกว่าเหยื่อของแบคทีเรีย

2.3.2 Autotrophic Bacteria

แบคทีเรีย Autotrophic สร้างอาหารด้วยตัวเองได้ใช้แสงอาทิตย์มาเป็นพลังงานสังเคราะห์แสงและมีคลอโรฟิลล์ซึ่งทำการสังเคราะห์ด้วยแสง แบคทีเรียชนิดนี้รวบรวมพลังงานจาก

แหล่งอนินทรีย์เช่นสารเคมีหรือดวงอาทิตย์และแปลงเป็นรูปแบบที่สัตว์อื่นสามารถใช้ได้ พลังงานถูกถ่ายโอนจาก Autotrophs ไปยังพวกที่กินแบคทีเรียชนิดนี้

2.3.3 จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง (Photosynthetic Bacteria; PSB)

เป็นจุลินทรีย์ในกลุ่มแบคทีเรีย พบทั่วไปในธรรมชาติทั้งในดิน แหล่งน้ำธรรมชาติและน้ำเสีย ดำรงชีพอยู่ได้ทั้งในสภาวะมีออกซิเจนและไร้ออกซิเจน โดยในสภาวะไร้ออกซิเจนนั้นมักจะพบ PSB ที่อยู่ในกลุ่ม Purple Nonsulfur Bacteria (PNSB) เช่น *Rhodobacter sphaeroides* และ *Rhodopseudomonas palustris* สำหรับเงื่อนไขของการสังเคราะห์แสงพบว่า ในสภาวะไม่มีแสง PSB ทำหน้าที่เป็น Chemoheterotroph โดยมีสารอินทรีย์เป็นแหล่งคาร์บอนและตัวจ่ายอิเล็กตรอนมีก๊าซออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็กตรอน ส่วนในสภาวะที่มีแสง PSB ทำหน้าที่เป็นได้ทั้ง Photoautotroph โดยมีก๊าซไฮโดรเจนเป็นตัวจ่ายอิเล็กตรอน และมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวรับอิเล็กตรอนและแหล่งคาร์บอนและเป็น Photoheterotroph โดยมีน้ำตาลและกรดอินทรีย์เป็นตัวจ่ายอิเล็กตรอนและแหล่งคาร์บอน

แบคทีเรียสังเคราะห์แสง (Photosynthetic Bacteria; PSB) พบกระจายทั่วไปในธรรมชาติตามแหล่งน้ำจืด น้ำเค็ม ทะเลสาบน้ำเค็ม น้ำทะเลสาบที่มีความเป็นด่าง น้ำที่มีความเป็นกรด น้ำพุร้อน น้ำทะเลบริเวณขั้วโลกเหนือ นอกจากนี้ยังพบตามแหล่งน้ำเสีย บ่อบำบัดน้ำ บทบาทของแบคทีเรียสังเคราะห์แสงมีความสำคัญในกระบวนการนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปใช้ (CO_2 – Assimilation) และการตรึงไนไตรเจน (Nitrogen Fixation) นอกจากนี้ยังมีบทบาทสำคัญในห่วงโซ่อาหารซึ่งสัตว์ขนาดเล็ก ปลา กุ้ง หอย และปู สามารถนำแบคทีเรียสังเคราะห์แสงมาใช้เป็นอาหารได้ นอกจากนี้ในน้ำเสียจากบ้านเรือนและน้ำเสียจากการทำปศุสัตว์สามารถบำบัดด้วยแบคทีเรียสังเคราะห์แสงได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การจัดจำแนก (Classification) โดยทั่วไปจะแบ่งแบคทีเรียสังเคราะห์แสงออกเป็น 2 กลุ่ม คือ แบคทีเรียสังเคราะห์แสงสีม่วง (Purple Photosynthetic Bacteria) และ แบคทีเรียสังเคราะห์แสงสีเขียว (Green Photosynthetic Bacteria)

แบคทีเรียสังเคราะห์แสงสีม่วง (Purple Photosynthetic Bacteria) แบคทีเรียสังเคราะห์แสงในวงศ์ Chromatiaceae ซึ่งเป็นแบคทีเรียสังเคราะห์สีม่วง พบว่า สามารถเจริญได้ดีในสภาพโฟโตออโตโทรฟ (Photoautotroph) ซึ่งสามารถใช้สารประกอบซัลเฟอร์ ซัลไฟต์ และ

ไทโอซัลเฟตเป็นตัวรับอิเล็กตรอนเพื่อรีดิวซ์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปเป็นสารอาหารภายในเซลล์ได้ แสดงสมการดังนี้ และแบคทีเรียสังเคราะห์แสงในวงศ์ Chromatiaceae จะสะสมกำมะถันไว้ในเซลล์

$$CO_2 + 2H_2S \xrightarrow{\text{แสงสว่าง}} (CH_2O) + H_2O + 2S \qquad \text{สมการที่ 1}$$

$$S + CO_2 + 3H_2O \xrightarrow{\text{แสงสว่าง}} (CH_2O) + H_2SO_4 + H_2 \qquad \text{สมการที่ 2}$$

$$2CO_2 + Na_2S_2O_3 + 3H_2O \xrightarrow{\text{แสงสว่าง}} 2(CH_2O) + Na_2SO_4 + H_2SO_4 \qquad \text{สมการที่ 3}$$

แบคทีเรียสังเคราะห์แสงในวงศ์ Rhodospirillaceae เป็นแบคทีเรียในกลุ่มที่ไม่สามารถใช้ซัลไฟด์เป็นตัวให้อิเล็กตรอนเพื่อรีดิวซ์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปเป็นสารอาหารภายในเซลล์ได้ และมีการสันดาป (Metabolism) ดีกว่าแบคทีเรียม่วงที่ใช้ซัลเฟอร์เนื่องจากสามารถเจริญได้ทั้งแบบ Photoheterotroph และ Photoautotroph โดยใช้ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นตัวให้อิเล็กตรอน ซึ่งส่วนใหญ่แบคทีเรียกลุ่มนี้จะทนต่อสภาพที่มีออกซิเจน จึงสามารถเจริญได้ภายใต้สภาวะแบบ Heterotroph ที่มีอากาศ-ไมมีแสง มีแบคเทอริโอคลอโรฟิลล์เอ และแคโรทีนอยด์หลายชนิดในการสังเคราะห์แสง

แบคทีเรียสังเคราะห์แสงสีเขียว (Green Photosynthetic Bacteria) แบคทีเรียกลุ่มนี้จะอยู่ในวงศ์ Chlorobiaceae ซึ่งเป็นแบคทีเรียสังเคราะห์แสงสีเขียว มีลักษณะเซลล์เป็นแบบเส้นสาย ไม่มีระบบอินตราไซโตพลาสมิกเมมเบรน (Intracytoplasmic Membrane System) มีโครงสร้างพิเศษ คือ คลอโรเบียม (Chlorobium Vesicle) จะพบอยู่ภายในไซโตพลาสมิกหรือติดอยู่ที่ผิวของ ไซโตพลาสมิกเมมเบรน คลอโรโซม มีขนาดใหญ่ประกอบด้วย แบคเทอริโอคลอโรฟิลล์ซีดีและอี มีโครงสร้างในการจับพลังงานแสง (Light-Harvesting) ศูนย์กลางของปฏิกิริยาของแบคทีเรียกลุ่มนี้จะพบอยู่ในไซโตพลาสมิกเมมเบรนอยู่ติดกับคลอโรโซม และจะไม่สะสมกำมะถันไว้ในเซลล์ (ธรรมนูญ และคณะ, 2559)

วิธีควบคุมการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบเอสบีอาร์

1.การควบคุมอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ จุลินทรีย์ที่มีสมรรถภาพในการทำงานจะต้องมีปริมาณอาหารที่เหมาะสม ซึ่งควบคุมได้โดยการรักษาอัตราส่วนของน้ำหนักบีโอดีที่ส่งเข้ามา

บำบัดต่อน้ำหนักของจุลินทรีย์ ซึ่งวัดในรูปของแข็งแขวนลอย (MLSS) ให้มีค่าตามที่ต้องการ และเรียกค่าที่ใช้ควบคุมนี้ว่า อัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ (Food to Microorganism Ratio; F/M ratio)

ในทางปฏิบัติการควบคุมปริมาณอาหาร หรือบีโอดีในน้ำเสียที่เข้านั้นจะควบคุมได้ยาก ดังนั้นการที่จะควบคุมค่า F/M ให้เหมาะสมจะอาศัยการเปลี่ยนแปลงค่าน้ำหนักของจุลินทรีย์ซึ่งวัดในรูป MLSS โดยการเพิ่มหรือลดการนำสลัดจ์ส่วนเกินไปทิ้ง

รูปแบบของกระบวนการเอเอสสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ตามอัตราส่วนของอาหารต่อจุลินทรีย์ หรือภาระอินทรีย์ คือ อัตราการบำบัดสูง (High Rate) อัตราการบำบัดธรรมดา (Conventional Rate) และอัตราการบำบัดต่ำ (Low Rate หรือ Extended Aeration) โดยช่วงการทำงานตามค่า F/M คือ 0.5-2.0,0.2-0.5 และ 0.05-0.15 /day ตามลำดับ ในทางปฏิบัติ ผู้ควบคุมต้องปรึกษาผู้ออกแบบว่าได้ออกแบบระบบไว้ในช่วงใด เพื่อที่จะควบคุมระบบให้ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ

2.4 วัสดุตัวกลาง (Media)

วัสดุตัวกลางเป็นวัสดุสำหรับติดตั้งในระบบบำบัดน้ำเสียทั้งแบบเติมอากาศ และไม่เติมอากาศ ทำหน้าที่เป็นตัวกลางให้จุลินทรีย์ยึดเกาะ เมื่อมีน้ำเสียไหลผ่านตัวกลางพลาสติก จุลินทรีย์จะทำการย่อยสลายสิ่งสกปรกที่มากับน้ำเสีย น้ำที่ผ่านการบำบัด มีคุณภาพดีขึ้นอีกทั้งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากเป็นการช่วยกระจายน้ำที่เข้าสู่ระบบบำบัดและป้องกันไม่ให้จุลินทรีย์ในระบบบำบัดหลุดออกจากระบบไปกับน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว

2.4.1 โฟมนีโอพรีน

เป็นยางฟองน้ำนุ่มยืดหยุ่นและแข็งแรงทนทาน เป็นฉนวนกันความร้อนที่ดี ทนต่อโอโซน แสงแดด ออกซิเดชั่น สารเคมีจำนวนมากและอนุพันธ์ปิโตรเลียม โฟมนีโอพรีน สามารถต้านทานการสลายตัวด้วยน้ำและอากาศและสามารถแยกตัวออกจากโครงสร้างโมเลกุลได้ Neoprene มีความหนาแน่นที่คงตัวและมีคุณภาพสูง

คุณสมบัติและประโยชน์ของโฟม Neoprene

- ยางฟองน้ำที่มีความยืดหยุ่นและทนทานต่อความร้อนที่ดีและฉนวนกันความร้อนและความชื้นได้ดี

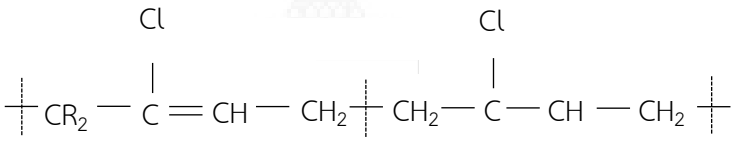
- ทนต่อรังสี UV, โอโซน, แสงแดดและมีความสามารถทนต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นได้ดี

- ทนต่อสารหน่วงไฟ ฉนวนกันความร้อนที่ยอดเยี่ยม

- ทนต่อความต้านทานต่อน้ำมันและอนุพันธ์ปิโตรเลียมและสารเคมีต่าง ๆ ได้ดี

2.4.2 ยาง Rubber

ยางคลอโรพรีน (Chloroprene Rubber) มีชื่อทางการค้าที่เรียกกันโดยทั่วไปว่า ยางนีโอพรีน (Neoprene Rubber) เป็นยางที่สังเคราะห์มาจากมอนอเมอร์ของคลอโรพรีน (Chloroprene Rubber) โดยโมเลกุลของยางชนิดนี้มีการจัดเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ ทำให้ยางชนิดนี้สามารถตกผลึกได้เมื่อถูกยืด ยางชนิดนี้จึงทนต่อแรงดึง และแรงฉีกขาดได้ดีเยี่ยม และนอกจากนี้ยางชนิดนี้ยังมีคุณสมบัติที่หลากหลาย อาทิเช่น สามารถทนต่อสภาพอากาศ ความร้อน และโอโซน อีกทั้งยังป้องกันการลามไฟได้ดีอีกด้วย



ภาพ 2.3 สูตรโครงสร้างของยางคลอโรพรีน (Chloroprene Rubber)

คุณสมบัติโดยทั่วไปของยางคลอโรพรีน (Chloroprene Rubber)

- อุณหภูมิการใช้งาน ยางคลอโรพรีน (Chloroprene Rubber) สามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิ -30 ºC ถึง +140 ºC ความเหนียวติดกัน (Tack) ยางคลอโรพรีน (Chloroprene Rubber) มีสมบัติดีเยี่ยมในด้านความเหนียวติดกัน จึงไม่เกิดปัญหารอยต่อของชิ้นงานระหว่างการขึ้นรูป

- ความทนต่อแรงดึงและแรงฉีกขาด (Tensile and Tear Strength) เนื่องจากโมเลกุลของยางคลอโรพรีน (Chloroprene Rubber) มีความเป็นระเบียบสูง จึงทำให้สามารถตกผลึกได้ง่ายเมื่อถูกยืด ยางชนิดนี้จึงสามารถทนต่อแรงดึงได้ดี

- การติดไฟ (Flammability) ยางชนิดนี้มีคุณสมบัติเด่นในด้านการลามไฟ นั่นคือเปลวจะดับเอง หลังจากที่นำเปลวไฟออกไป (Self-Extinguish) เนื่องจากยางชนิดนี้มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ (ทั้งนี้การดับไฟจะขึ้นกับปริมาณของคลอรีน)

- ความทนต่อการเสื่อมสภาพ (Aging properties) ยางคลอโรพรีน (Chloroprene Rubber) สามารถทนต่อการเสื่อมสภาพเนื่องจากอากาศ โอโซน ความร้อน และ แสงแดด ได้ดี เนื่องจากยางชนิดนี้มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ

- ความเป็นฉนวน (Insulation) ยางชนิดนี้มีค่าความเป็นฉนวนต่ำ ไม่เหมาะกับการนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์จำพวก สายไฟ หรือสายเคเบิ้ล แต่เหมาะสมในการออกแบบมาเป็นแผ่นยางนำไฟฟ้า หรือกึ่งนำไฟฟ้าความทนต่อน้ำมันและสารเคมี (Oil and Chemical Resistance) ยางคลอโรพรีน (Chloroprene Rubber) สามารถทนการบวมพองต่อน้ำมัน และกรด-ด่าง เจือจางได้ปานกลางถึงดี

2.4.3 โฟมยาง

โฟมยาง หรือ ยาง EVA ย่อมาจาก ethylene vinyl acetate เป็นโพลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่ได้จากการทำโพลิเมอร์ไรเซชั่น (polymerization) ของสารเอทิลีนโมโนเมอร์ (ethylene monomer) กับสารไวนิลอะซีเตดโมโนเมอร์ (vinyl acetate monomer - VAM)

EVA หรือที่นิยมเรียกกันติดปากว่า แผ่นโฟม EVA หรือ EVA Foam เป็นวัตถุดิบสำคัญที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมภาคต่าง ๆ เช่น วัตถุดิบในการทำรองเท้า พื้นรองเท้า แผ่นรองเม้าส์ ทำกระเป๋า บรรจุภัณฑ์ อุปกรณ์กีฬาทางน้ำ เสื่อโยคะ ของเล่นเด็ก แผ่นรองคลาน แผ่นกันกระแทก ฉนวนหุ้มกันไฟฟ้า เป็นต้น

คุณสมบัติแผ่นยาง EVA

- ความต้านทานน้ำ โครงสร้างหลุมฟองสบู่ปิดผนึกดูดซึมน้ำความต้านทานต่อความชื้นความต้านทานต่อน้ำได้ดี
- ความต้านทานการกัดกร่อน ความต้านทานการกัดกร่อนของน้ำทะเล น้ำมัน กรด-ด่างและสารเคมีอื่น ๆ ต้านเชื้อแบคทีเรีย ปลอดสารพิษ และปราศจากมลภาวะ
- การประมวลผล ไม่มีการอัดและกาวตัดง่ายกาวติดตั้งและกระบวนการอื่น ๆ
- ป้องกันการสั่นสะเทือน มีความยืดหยุ่นสูงและป้องกันแรงดึงความเหนียว ทนต่อแรงกระแทกได้ดี
- ฉนวนความร้อนและทนต่ออุณหภูมิต่ำทนต่อความหนาวเย็น

ข้อดี EVA มีความนุ่ม ยืดหยุ่น น้ำหนักเบา ทนทาน ทนต่อแรงกระแทก ทำความสะอาดง่าย สามารถปั๊มเป็นลวดลายต่าง ๆ ได้ด้วยระบบ Hot Press และ Cold Press สามารถนำไปแปรรูปเป็นสินค้าเพื่อเพิ่มมูลค่า และนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้หลากหลาย

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธัญญรัตน์ และคณะ (2552) ได้ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์โดยระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ โดยใช้รอบกวน 50 รอบ/นาที ความเข้มข้นซีโอดี 1000 mg/L มีระยะเวลากักพักชลศาสตร์ (HRT) เพื่อเลี้ยงเชื้อตั้งแต่ 24, 20, 16, 12, 8 และ 6 h ตามลำดับ ตลอดการทดลองระบบสามารถบำบัดค่าซีโอดีได้มากกว่าร้อยละ 80 ซึ่งความเข้มข้นของซีโอดีในน้ำเข้าตลอดการทดลองอยู่ในช่วง 250-2,000 mg/L และความเข้มข้นของซีโอดีในน้ำออกอยู่ในช่วง 8-284.18 mg/L การทดลองสามารถกำจัดซีโอดีได้ดี อาจมีบางช่วงที่ประสิทธิภาพลดลง เนื่องจาก MLSS มีค่าสูงเกินจากค่าควบคุมของการเดินระบบที่กำหนดไว้ซึ่งเกิดจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยมีการแก้ไขโดยการปล่อยตะกอนออกจนได้ค่าตามที่กำหนด และในช่วงที่มีการลดลงของตะกอนจะเป็นการปรับตัวของจุลินทรีย์ในช่วงของการเริ่มต้นเดินระบบและจากการเพิ่มความเข้มข้นซีโอดีของน้ำเข้าและการลดระยะเวลากักชลศาสตร์ ทำให้ภาระบรรทุกซีโอดีของระบบเพิ่มขึ้นด้วย และเมื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจนที่ระยะกักพักชลศาสตร์ 6 h พบว่าสามารถบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจนได้ร้อยละ 50-90 ซึ่งความเข้มข้นของแอมโมเนียของน้ำเข้าระบบอยู่ในช่วง 1.4-8.4 mg/L ความเข้มข้นแอมโมเนียของน้ำออกอยู่ในช่วง 0.28-2.8 mg/L

ปริญญา และอัจฉรา (2558) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของวัสดุตัวกลางในการบำบัดน้ำเสียแบบโปรยกรอง มีจุดประสงค์เพื่อหาวัสดุตัวกลางที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด โดยศึกษาประสิทธิภาพของวัสดุตัวกลาง 3 ชนิดคือ ใยกรอง (Filter Matte) ไบโอบอล (Bioball) และหินกรวด จากการศึกษาวิจัยพบว่าตัวกลางที่เป็นใยกรองสามารถบำบัดได้ดีกว่าไบโอบอลและหินกรวด โดยมีประสิทธิภาพในการบำบัด COD, BOD และ TKN ได้มากถึงร้อยละ 91.7, 79.0 และ 80.4 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับไบโอบอลซึ่งมีประสิทธิภาพในการบำบัด COD, BOD และ TKN ร้อยละ 80.0, 23.8 และ 72.9 ตามลำดับ ส่วนหินกรวดมีความสามารถในการบำบัด COD, BOD และ TKN เท่ากับร้อยละ 74.0, 19.5 และ 67.2 ตามลำดับ จากนั้นนำใยกรองมาทำการศึกษาอัตราการเติมน้ำเสียเข้าสู่ระบบในอัตราต่ำ กลาง และสูง คือ 2, 4 และ 8 L/h ตามลำดับ และทำการเก็บตัวอย่างเพื่อนำมาวิเคราะห์สมบัติของน้ำเสีย พบว่า อัตราการไหลของน้ำเสียที่ 4 L/h มีประสิทธิภาพในการบำบัด COD, BOD และ TKN ได้ดีที่สุดถึงร้อยละ 91.7, 79.0 และ 80.4 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเทียบค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภทและบางขนาดพบว่าผ่านมาตรฐานที่ได้กำหนดไว้

กรองกาญจน์ (2550) ได้ทำการตรวจสอบและปรับปรุงกระบวนการซีเควนซิ่งแบตช์โดยใช้น้ำเสียจากอาคารกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ซึ่งมีพื้นที่อาคารทั้งหมด 34,817 m^2 ให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยเริ่มจากการตรวจสอบอัตราการเกิดน้ำเสีย พบว่าปริมาณน้ำเสียที่วัดได้โดยใช้กล่องเวียร์ในระยะเวลา 3 วันทำการ มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 70 ของน้ำเสียทีคำนวณจากพื้นที่อาคาร (3 L/m^2-day) โดยค่าสูงสุดและค่าเฉลี่ยที่วัดจากกล่องเวียร์เท่ากับ 95.6 และ 70 m^3/day ตามลำดับ และเมื่อคำนวณน้ำเสียจากร้อยละ 80 ของน้ำใช้พบว่ามีค่า 95 และ 101 m^3/day จากการวัดน้ำใช้ในท่อและจากมาตรวัดน้ำใช้ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงกว่า 85 m^3 ที่เป็นปริมาตรน้ำที่รับได้สิ่งปฏิกูลในหนึ่งกะ จึงได้ปรับปรุงการเดินระบบโดยเปลี่ยนจากการดำเนินงานจาก 1 วัฏจักรต่อวัน เป็นสองวัฏจักรต่อวัน โดยวัฏจักรแรกรับน้ำประมาณร้อยละ 65 ของปริมาตรน้ำเสียทั้งหมด หลังการปรับปรุงสามารถลดการปล่อยน้ำทิ้งที่ไม่ผ่านการบำบัดและเสถียรภาพของการบำบัดดีขึ้นโดยมีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 40-55 mg/L และสารแขวนลอยทั้งหมดอยู่ในช่วง 22-29 mg/L ส่วนบีโอดีละลายน้ำ อยู่ในช่วง 9.1-11.4 mg/L การลดบีโอดีทั้งหมดให้ได้ตามมาตรฐาน 30 mg/L อาจทำได้โดยการปรับเปลี่ยนระบบระบายน้ำออก จากการใช้เครื่องสูบน้ำที่ติดตั้งไว้ที่ก้นถัง ซึ่งมีผลให้มีการฟุ้งของตะกอนและทำให้น้ำเสียที่ระบายออกในช่วงต้นมีค่าสารแขวนลอยสูง เป็นอุปกรณ์ระบายน้ำที่ตำแหน่งระบายน้ำเคลื่อนที่ขึ้นลงตามระดับน้ำ

อาภาวรรณ และคณะ (2555) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบชนิดของตัวกลางที่เหมาะสมต่อการเกิดเมือกชีวภาพในการบำบัดไนเตรท ในน้ำเสียสังเคราะห์จากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่งที่ระดับความเค็ม 15 ppt ด้วยระบบการทดลองแบบกะ โดยใช้ตัวกลาง 4 ชนิดคือ ไบโอบอล หินภูเขาไฟ เปลือกหอยนางรม และแผ่นอวนไนลอนชนิดทอไม่มีปม เปรียบเทียบกับชุดควบคุม ติดตามประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทางเคมีร่วมกับการตรวจลักษณะของเมือกชีวภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบฉากสว่างและแบบส่องกราด และตรวจสอบชนิดและปริมาณของแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องด้วยเทคนิค *Fluorescence In Situ Hybridization* (FISH) และการนับปริมาณแบคทีเรียดีไนตริไฟอิงด้วยเทคนิค MPN แบบไมโครเทคนิค ผลการศึกษาพบว่าแผ่นอวนไนลอนที่ตัดเป็นชิ้นสี่เหลี่ยมขนาด 1×1 นิ้ว มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการบำบัดไนเตรท มีลักษณะโครงสร้างของตัวกลางเหมาะสมต่อการยึดเกาะของจุลินทรีย์ ระบบสามารถเข้าสู่สภาวะคงที่ได้เร็วที่สุดสอดคล้องกับผลการนับปริมาณแบคทีเรียดีไนตริไฟอิง ในช่วงแรกของการทดลองพบการเกิดเมือกชีวภาพบาง ๆ แต่เมื่อ

ระบบดำเนินไปอย่างต่อเนื่องพบว่าเมือกชีวภาพเริ่มหนาและจับเกาะตัวกันเป็นกลุ่ม ตรวจพบปริมาณแบคทีเรียในไฟลัม Proteobacteria คลาส Gammaproteobacteria เป็นกลุ่มเด่น

สุเทพ (2546) ได้ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารกลาง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ด้วยระบบไร้อากาศสามารถเพิ่มขึ้นได้โดยการใช้ตัวกลางเป็นที่ยึดเกาะของเมือกจุลินทรีย์ น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบมีค่า BOD ระหว่าง 430-1,190 mg/L ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3.27-6.41 g-BOD/m^2-day ที่ระยะเวลาเก็บกัก 1-3 วัน ที่ระยะเวลาเก็บกักและภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่าง ๆ กัน พบว่าถังปฏิกิริยา Anaerobic Packed Bed มีประสิทธิภาพสูงสุดที่ระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน ภาระบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย 3.27 g-BOD/m^2-day ลดค่า BOD ได้ถึง 75.03% หลังจากน้ำเสียผ่านถังปฏิกิริยา Anaerobic Packed Bed แล้วไหลเข้าสู่ถังเติมอากาศที่มีค่า DO 3.60 mg/L จะได้น้ำทิ้งมีค่า BOD เฉลี่ย 138.38 mg/L คิดเป็นประสิทธิภาพรวมของระบบเท่ากับ 85.97% ระบบชั้นตัวกรองอัดบรรจุไร้อากาศให้ประสิทธิภาพในการบำบัดค่อนข้างสูง และเป็นระบบที่ประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำบัดเมื่อเทียบกับระบบที่ใช้อากาศ

ระยะเวลาเก็บกักและภาระบรรทุกสารอินทรีย์มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของถังปฏิกิริยา Anaerobic Packed Bed โดยที่ประสิทธิภาพในการกำจัด BOD สูงขึ้นเมื่อค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์มีค่าน้อย และระยะเวลาเก็บกักมาก การทดลองพบว่า เมื่อเติมสารเคมีเพื่อปรับ pH ของน้ำเสียให้มีค่าประมาณ 7.5 ก่อนเข้าสู่ระบบเมื่อระยะเวลาเก็บกัก 3 วัน ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3.27 g-BOD/m^2-day ถังปฏิกิริยา Anaerobic Packed Bed มีประสิทธิภาพในการกำจัดค่า BOD สูงสุดคือ 75.03% แต่เมื่อทำการทดลองโดยไม่ปรับค่า pH ของน้ำเสียแต่ลด ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ให้เหลือเพียง 2.12 g-BOD/m^2-day ที่ระยะเวลาเก็บกัก 3 วันเท่ากัน พบว่าให้ประสิทธิภาพในการลดค่า BOD สูงถึง 81.11% ทั้งนี้เพราะถังปฏิกิริยารับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่ำและมีระยะเวลาเก็บกักนานพอที่จะเกิดสภาพบัฟเฟอร์ ดังนั้นการที่ไม่ปรับ pH ของน้ำเสียก่อนเข้าถังปฏิกิริยาจะไม่ส่งผลกระทบให้กับการเปลี่ยนแปลงลดลงของ pH ในถังปฏิกิริยาไม่มากนัก ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ของระบบแบบตัวกลางบรรจุไร้อากาศค่อนข้างสูง ประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำบัด และมีปัญหาน้อยในการดำเนินงาน

สุเทพ (2547) ได้ศึกษาการกำจัดไนโตรเจนจากน้ำทิ้งโรงอาหารกลางมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยใช้ระบบเอสบีอาร์ที่มีตัวกลางสัมผัส (Sequencing Batch Reactor with Contact Media) ควบคุมค่า COD ประมาณ 300 mg/L และ TKN 30 mg/L ผลการศึกษา

เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบโดยเปลี่ยนตัวแปร คือ สัดส่วนการเติมอากาศ (Aeration : Anoxic : Aeration) ทั้งหมด 9 สัดส่วน ดังนี้ 1.5:2:0.5, 1.5:5:0.5, 1.5:8:0.5, 4:2:1, 4:5:1, 4:8:1, 6:2:2, 6:5:2 และ 6:8:2 ด้วยภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 0.10–0.20 kg-COD/kg MLSS/day จากการศึกษาพบว่าสัดส่วนการเติมอากาศที่เหมาะสมในการกำจัดไนโตรเจน คือ 4:5:1 ภาระบรรทุกสารอินทรีย์เฉลี่ย 0.14 kg-COD/kg MLSS/day มีประสิทธิภาพในการลดค่า COD, ไนโตรเจนทั้งหมด และ SS เฉลี่ยร้อยละ 92.17, 84.91 และ 90.86 ตามลำดับ และศึกษาความสามารถในการกำจัด TKN และ ไนโตรเจนทั้งหมด เฉลี่ย 62.58 g-N/m^3-day และ 57.55 g-N/m^3-day

ผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพการลดค่า COD และ SS จะขึ้นอยู่กับระยะเวลาเติมอากาศมากกว่าสัดส่วนการเติมอากาศต่อหยุดเติมอากาศ ประสิทธิภาพการลดค่า NH3 และTKN จะขึ้นอยู่กับขบวนการ Nitrification หรือระยะเวลาเติมอากาศมากกว่าระยะเก็บกัก และประสิทธิภาพขบวนการ Denitrification จะขึ้นอยู่กับระยะเวลาหยุดเติมอากาศ สวนประสิทธิภาพการเกิด Total Denitrification จะขึ้นอยู่กับสัดส่วนการเติมอากาศต่อหยุดเติมอากาศ ประสิทธิภาพการลดค่าไนโตรเจนทั้งหมดจะขึ้นอยู่กับขบวนการ Nitrification และ Denitrification หรือขึ้นอยู่กับสัดส่วนการเติมอากาศต่อหยุดเติมอากาศต้องมีสัดส่วนที่เหมาะสมใกล้เคียงกัน

ดุจนภา (2548) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียของจุลินทรีย์แบบเคลื่อนที่โดยอิสระและจุลินทรีย์ที่มีตัวยึดเกาะในระบบบำบัดน้ำเสียจำลองแบบ Contact Stabilization Activated Sludge (CSAS) Sequencing Batch Reactor (SBR) และ Bio-SAN Compact (BSC) ซึ่งตัวกลางที่นำมาศึกษาครั้งนี้ คือ โรลม้วนผม ออกซิบอล ไม้ไผ่ ไม้ระกำ รังบวบ และตลอดระยะเวลาทำการ ทั้งสิ้น 100 วัน โดยมีการควบคุมค่า MLSS ของแต่ละระบบให้อยู่ระหว่าง 1500-2000 mg/L พารามิเตอร์ที่ทำการศึกษาคือค่าซีโอดี ชีวมวล แอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไนไตรท์-ไนโตรเจน ไนเตรท-ไนโตรเจน และออโธฟอสเฟต-ฟอสฟอรัส ผลการวิจัยพบว่าระบบบำบัดน้ำเสีย SCAR SBR และ BSC สามารถบำบัดซีโอดี เฉลี่ยได้ประมาณ 98% 94% และ 95% ตามลำดับ ส่วนการบำบัดไนโตรเจนพบว่า ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ SCAS และ SBR ไม่สามารถบำบัดค่าไนโตรเจนได้ เนื่องจากในระบบมีการสะสมปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจนอยู่ในปริมาณมาก ซึ่งระบบบำบัดน้ำเสีย SBR เกิดปฏิกิริยา Nitrification อย่างไม่สมบูรณ์ ทำให้ระบบมีการสะสมค่าไนไตรท์-ไนโตรเจนสูง แต่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ BSC เกิดปฏิกิริยา Nitrification ควบคู่กันทำให้

สามารถบำบัดปริมาณไนโตรเจนได้ จากการวิจัยพบว่าตัวกลางแต่ละชนิดมีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียต่างกัน โดยวันสุดท้ายของการทดลองมีค่าเฉลี่ยการบำบัดไนโตรเจนดังนี้ โรลม้วนผมมีค่าเฉลี่ยความเข้มข้นของแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ไนไตรท์-ไนโตรเจน และไนเตรท-ไนโตรเจนต่ำกว่า 20±0.5 และ 3 mg/L ตามลำดับ ออกซิบอลมีค่าเฉลี่ยต่ำกว่า 18 0.5 และ 15 mg/L ตามลำดับ ไม้ไผ่มีค่าเฉลี่ยต่ำกว่า 20±0.2 และ 10 mg/L ตามลำดับ ไม้ระกำมีค่าเฉลี่ยต่ำกว่า 20±0.5 และ 2 mg/L ตามลำดับ รังบวบมีค่าเฉลี่ยต่ำกว่า 20±0.5 และ 15 mg/L ตามลำดับ และหลอดมีค่าเฉลี่ยต่ำกว่า 15±0.5 และ 15 mg/L ตามลำดับ ซึ่งระบบบำบัดน้ำเสียทั้ง 3 แบบไม่สามารถบำบัดค่าฟอสฟอรัสได้ เมื่อสิ้นสุดการทดลองจึงมีค่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสเท่ากับ 100 mg/L และตัวกลางที่เหมาะสมการยึดเกาะของจุลินทรีย์มากที่สุดคือ รังบวบ ซึ่งมีปริมาณของจุลินทรีย์ที่เจริญบนตัวกลางมากที่สุด

รังสี (2546) ได้ศึกษาวิจัยออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียชนิดไม่เติมอากาศแบบใช้พลาสติกเป็นตัวกลางในการทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียเมื่อเทียบเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งจากอาคาร กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ระบบบำบัดน้ำเสียออกเป็นระบบตะกอนท่อเอียง ต่ออนุกรมกับระบบกรองไม่เติมอากาศ ใช้ 8 PVC มีค่าสัดส่วนความยาวท่อและเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ 20 โดยทำมุมเอียงราบ 45 ˚C และใช้ตัวกลางพลาสติกแบบวงแหวน (Pall Ring) ขนาดผิวสัมผัส (Specific Surface Area) 102 m^2/m^3 ของตัวกลาง ความสูงของชั้นตัวกลาง 0.60 m ผลการประกอบสร้างตามแบบและทดสอบประสิทธิภาพสามารถกักน้ำเสียได้ตามระยะเวลาทดลอง และสามารถบำบัดน้ำเสียชุมชนจากอาคารโรงอาหารและบ้านพักอาศัยได้ ระบบบำบัดน้ำเสียทดสอบกับน้ำเสียชุมชนจากอาคารโรงอาหารและบ้านพักอาศัย ที่ปริมาณน้ำเสีย 0.537 m^3/day ใช้เวลากักเก็บน้ำเสียในส่วนตะกอนท่อเอียง และส่วนกรองไร้อากาศ ส่วนละ 12 h ผลการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียในรูปค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแล้ว สำหรับน้ำเสียจากโรงอาหารและบ้านพักอาศัยเมื่อเทียบมาตรฐาน

ทวีป (2555) ได้ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวกลาง 2 ชนิดที่เป็นวัสดุเหลือใช้ในท้องถิ่น ได้แก่ เศษเครื่องปั้นดินเผา และซังข้าวโพดเผา ในการบำบัดน้ำเสียแบบถังกรองไร้อากาศ เพื่อลดความสกปรกของน้ำเสียจากการผลิตเส้นขนมจีนโดยพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษาได้แก่ กรดด่าง (pH) บีโอดี (BOD) ซีโอดี (COD) ไนโตรเจนรวม (TKN) และปริมาณของแข็งแขวนลอย (TSS) เมื่อทำการศึกษาระยะเวลาในการกักเก็บน้ำเสียที่เหมาะสมของถังกรองไร้อากาศ เวลาที่ทำการศึกษาคือ 12, 24, 36 และ 48 h จากการศึกษาพบว่าค่าความเป็นกรด-ด่าง ระหว่าง

ตัวกลางชุดเศษเครื่องปั้นดินเผา และชุดซังข้าวโพดเผา ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ทุกระยะเวลา กักเก็บ เมื่อศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัด BOD การใช้ซังข้าวโพดเผาเป็นตัวกลาง ที่ระยะเวลาการกักเก็บ 36 h (3494±2.99%) จะบำบัดได้ดีกว่า เศษเครื่องปั้นดินเผา (28.18 ±2.25%) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ประสิทธิภาพในการบำบัด COD การใช้เศษเครื่องปั้นดินเผา (46.084 ±1.48%) ที่ระยะเวลาการกักเก็บ 36 h ดีกว่าซังข้าวโพดเผา (42.00±2.06%) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) นอกจากนั้น ชุดซังข้าวโพดเผาที่ระยะเวลาการกักเก็บ 24 และ 36 h มีประสิทธิภาพในการบำบัด TKN ได้ดีกว่า ชุดเศษเครื่องปั้นดินเผาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และประสิทธิภาพในการบำบัด TSS ในการใช้ตัวกลางทั้ง 2 ชนิด ที่ระยะเวลากักเก็บ 12 h มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุด แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ระหว่างตัวกลางทั้งสองชนิด หลังจากระยะกักเก็บ 12 h ระบบไม่สามารถบำบัด TSS ได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากผลการวิจัยในครั้งนี้จะสรุปได้ว่าประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของทั้ง 2 ตัวกลาง จะแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับค่า BOD และ COD พบว่าตัวกลางจากเศษเครื่องปั้นดินเผา และจากซังข้าวโพดเผามีประสิทธิภาพในการบำบัดที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ที่ระยะเวลากักเก็บ 36 h

ยุทธชัย (2544) ศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ในการบำบัดค่าซีโอดี ของแข็งแขวนลอย และไนโตรเจน เมื่อน้ำเสียชุมชนปนเปื้อนนิคเกิล โดยใช้น้ำเสียจากโรงพยาบาลราชวิถีเป็นตัวแทนของน้ำเสียชุมชน กำหนดช่วงเวลาการเติมน้ำเสีย 5 h ช่วงทำปฏิกิริยา 16 h ช่วงตกตะกอน 1.5 h ช่วงระบายน้ำทิ้ง 0.5 h และช่วงพักระบบ 1 h โดยใช้อายุตะกอน 30 day การทดลองแบ่งออกเป็น 3 ชุด การทดลองชุดที่ 1 ควบคุมความเข้มข้นของนิคเกิลในน้ำเสียชุมชน ประมาณ 1 mg/L

ผลการทดลองพบว่า การทดลองชุดที่ 1 มีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี ของแข็งแขวนลอย และไนโตรเจน ร้อยละ 87.22, 89.06 และ 92.16 ตามลำดับ การทดลองชุดที่ 2 มีประสิทธิภาพการบัดบัดซีโอดี ของแข็งแขวนลอย และไนโตรเจน ร้อยละ 84.06, 88.36 และ 67.69 ตามลำดับ และการทดลองชุดที่ 3 มีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี ของแข็งแขวนลอย และไนโตรเจน ร้อยละ 72.86, 63.91 และ 20.17 ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยชุดการทดลองที่ 1 และ 2 มีประสิทธิภาพการบำบัดไม่แตกต่างกัน แต่จะมีประสิทธิภาพการบำบัดสูงกว่าชุดการทดลองที่ 3

อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) สำหรับประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งแขวนลอย การทดลองทั้ง 3 ชุด มีประสิทธิภาพการบำบัดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยชุดการทดลองที่ 1 และ 2 มีประสิทธิภาพการบำบัดไม่แตกต่างกัน แต่จะมีประสิทธิภาพการบำบัดสูงกว่าชุดการทดลองที่ 3 อย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และสำหรับประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนระบบบำบัดน้ำเสียทั้ง 3 ชุดการทดลอง มีประสิทธิภาพการบำบัดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p <0.05$) โดยชุดการทดลองที่ 1 มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงกว่าชุดการทดลองที่ 2 และ 3 ตามลำดับ

ยุวดี (2548) ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เถ้าแกลบเป็นตัวกลางในระบบบำบัดน้ำเสียแบบ กรองไร้ออกซิเจนร่วมกับการเติมออกซิเจนในการบำบัดน้ำเสียสารอินทรีย์สูงทำการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการ โดยมีค่า BOD Loading อยู่ในช่วง 0.68-2.18 kgBODm^3- day เมื่อผ่านถังกรองไร้ออกซิเจนตัวกลางเถ้าแกลบดำ มีประสิทธิภาพในการบำบัดค่า BOD, COD, SS โดยเฉลี่ยร้อยละ 42.23±15.86, 45.41±20.23, 35.75±52.88 ตามลำดับ ส่วนตัวกลางเถ้าแกลบขาวมีประสิทธิภาพในการบำบัดโดยเฉลี่ยร้อยละ 41.18±15.29, 38.98±20.04, 27.91±63.54 ตามลำดับ และเมื่อใช้เถ้าแกลบดำเป็นตัวกลางในระบบบำบัดน้ำเสียร่วมแบบตัวกลางไว้ออกซิเจนร่วมกับการเติมออกซิเจน พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดค่า BOD, COD, SS โดยเฉลี่ยร้อยละ 8.58±8.92, 64.00±18.79, 61.77±32.58 ตามลำดับ

อดิศักดิ์ (2543) ในการทดลองบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารปรากฏว่าช่วงเวลาการเติมน้ำเสีย 2 h ช่วงเวลาการเติมอากาศ 20 h ช่วงเวลาตกตะกอนและรินน้ำใส 0.5 และ 0.5 h ตามลำดับ ที่ค่าอายุตะกอน 2.5, 5, 10, 15, 20 และ 25 day ในการหาค่าอายุตะกอนที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมระบบ พบว่า ค่าอายุตะกอนที่เหมาะสม ค่าภาระบรรทุกเชิงปริมาตร, F/M ratio และดัชนีปริมาตรสลัดจ์ มีค่าเป็น 5 day 0.119 kg BOD/m^3-d, 0.34 kg BOD/kg, MLSS-d และ 134.38 ตามลำดับ ประสิทธิภาพการบำบัด COD, BOD, SS, TKN และ TP เป็นร้อยละ 90.79, 98.09, 95.21, 93.28 ตามลำดับอัตราส่วน BOD : COD ของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าเฉลี่ย 0.107 น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่า BOD ต่ำกว่า 20 mg/L

ขจร (2538) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ถังปฏิกิริยาแบบตัวกลางพลาสติกจมน้ำใช้ออกซิเจน-น้ำไหลขึ้นโดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ชุด เป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบเลี้ยงตะกอน ชุดที่ 1 ไม่บรรจุตัวกลางพลาสติกในถังปฏิกิริยา โดยชุดที่ 2-4 บรรจุตัวกลาง

พลาสติกโดยใช้จุกขวดน้ำปลาเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.5 cm ยาว 3.0 cm 25% 50% และ 75% ตามลำดับ โดยหลักการทำงานของระบบนี้ จะมีการเติมอากาศให้กับน้ำเสียก่อนที่น้ำเสียจะเข้าถังปฏิกิริยา และน้ำเสียเข้าทางด้านล่างของถังปฏิกิริยา (Reactor) ซึ่งมีขนาด ความสูง 120 cm เส้นผ่าศูนย์กลาง 10 cm ภายในถังปฏิกิริยาบรรจุด้วยตัวกลาง ซึ่งตัวกลางที่ใช้คือ จุกขวดน้ำปลาที่มีช่องว่าง (Void) จะทำให้น้ำเสียไหลผ่านได้ โดยน้ำเสียจะไหลจากด้านล่างขึ้นบน (Up flow) ตัวกลางจะช่วยกระจายการไหลของน้ำเสียที่ไหลเข้าระบบให้สัมผัสกับเมือกจุลินทรีย์อย่างทั่วถึง ระดับน้ำในถังปฏิกิริยาต้องสูงกว่าระดับตัวกลาง โดยในถังปฏิกิริยาจะมีจุลินทรีย์ 2 พวก คือ จุลินทรีย์ที่อยู่ในลักษณะแขวนลอยและจุลินทรีย์ที่ยึดเกาะอยู่บนตัวกลาง ซึ่งจะทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียและทำลายของแข็งแขวนลอยที่อยู่ในน้ำเสียหรือของแข็งแขวนลอยอันเกิดจากปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกิดในถังปฏิกิริยาด้วยน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจะไหลออกทางด้านบนของถังปฏิกิริยา

ผลการศึกษา พบว่า ชุดการทดลองที่ 4 ซึ่งมีความสูงของตัวกลาง 75% มีประสิทธิภาพการลดค่าปริมาณสารอินทรีย์ ของแข็งแขวนลอยได้ดีที่สุด

บทที่ 3

วิธีดำเนินการ

ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากชุมชนด้วยระบบเอสบีอาร์ร่วมกับยางพื้นรองเท้า โดยมีรายละเอียดการศึกษาทดลองดังต่อไปนี้

3.1 ขั้นตอนการออกแบบระบบเอสบีอาร์

3.2 วิธีดำเนินการทดลอง

3.3 พารามิเตอร์ที่ใช้ตรวจวัด

3.1 ขั้นตอนการออกแบบระบบเอสบีอาร์

3.1.1 ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัย

1) เตรียมระบบบำบัดน้ำเสียและเตรียมตัวกลางที่ใช้สำหรับทดลอง ตั้งแต่เดือนตุลาคม – เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2561

2) ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง ศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียจากชุมชนด้วยระบบเอสบีอาร์ร่วมกับยางพื้นรองเท้า ตั้งแต่ ธันวาคม พ.ศ. 2561 – กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2562

3.1.2 การสร้างระบบบำบัด มีวัสดุและอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

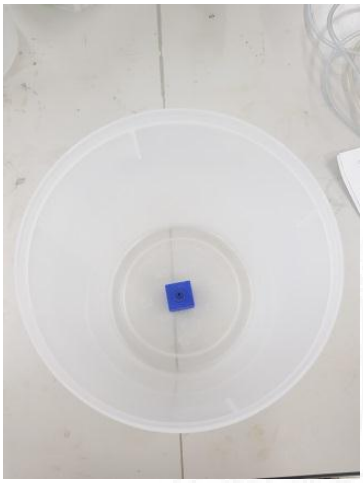
- ถังพลาสติกบรรจุ 4 L (เส้นผ่าศูนย์กลาง 17 cm x สูง 20 cm) จำนวน 4 ถัง
- ปั๊มอากาศสำหรับตู้ปลา จำนวน 2 เครื่อง
- นาฬิกาจับเวลา จำนวน 1 เครื่อง
- สายยางยาว 1 m จำนวน 5 เส้น
- หัวทรายแบบเหลี่ยม (หัวฟู่) จำนวน 4 ชิ้น
- วาล์วปรับลม 3 ทาง จำนวน 2 ชิ้น

1) การสร้างระบบบำบัด มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- นำหัวทรายแบบเหลี่ยมติดกับก้นถังพลาสติกบรรจุ 4 L ด้วยกาวซิลิโคน ทำเหมือนกัน 4 ถังและต่อสายยางใสกับหัวทราย

- นำสายยางที่ต่อกับหัวทรายต่อกับวาล์วปรับลม 3 ทาง

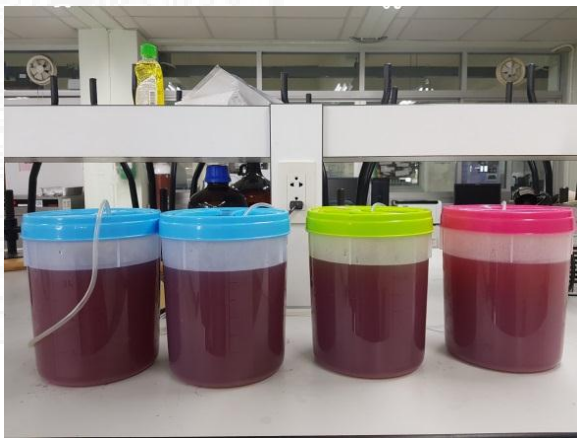
-ต่อสายยางเข้ากับเครื่องเติมอากาศสำหรับเลี้ยงปลาให้ครบทั้ง 4 ถัง (ภาพ 3.1)



ก) การติดตั้งหัวทราย

ข) การเติมอากาศ

ค) ใส่จุลินทรีย์ น้ำเสีย และตัวกลาง



ง) ชุดระบบบำบัด SBR

ภาพ 3.1 การสร้างระบบบำบัดเอสบีอาร์

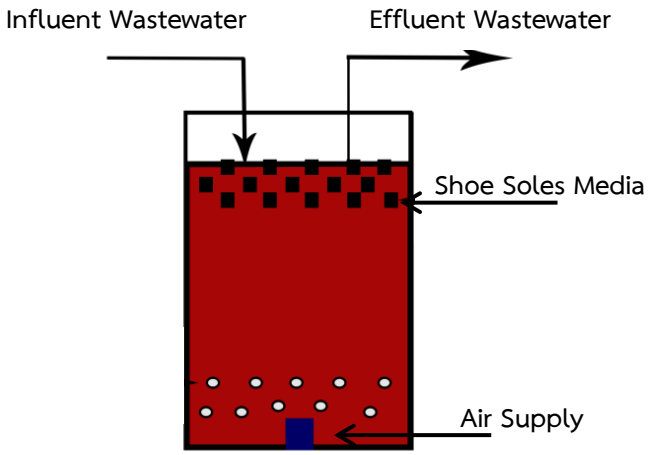
แบบจำลองระบบบำบัดน้ำเสียประกอบด้วย ถังบำบัดน้ำเสียแบบระบบเอสบีอาร์จำนวน 4 ถัง คือ

ถังที่ 1 ใช้ตัวกลางชนิดยาง จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง และ น้ำเสีย

ถังที่ 2 ใช้ตัวกลางชนิดโฟม จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง และ น้ำเสีย

ถังที่ 3 ใช้ตัวกลางชนิดโฟมยาง จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง และ น้ำเสีย

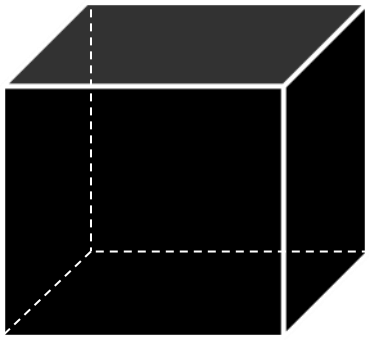
ถังที่ 4 ใช้จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง และ น้ำเสีย



ภาพ 3.2 แบบจำลองระบบเอสบีอาร์

3.1.3 การเตรียมวัสดุตัวกลาง (Media)

วัสดุตัวกลางทั้งหมดตัดเป็นทรงลูกบาศก์ขนาด 1 cm^3 โดยในการทดลองครั้งนี้ใช้ตัวกลางทั้งสิ้น 100 ชิ้นต่อ 1 ถัง โดยมีตัวกลาง 3 ชนิดได้แก่ ยาง โฟม โฟมยาง



ภาพ 3.3 วัสดุตัวกลางทรงลูกบาศก์

ชนิดที่ 1 ยางพื้นรองเท้าชนิดยาง มีความหนาแน่น 29.9454 g/cm^3

ชนิดที่ 2 ยางพื้นรองเท้าชนิดโฟม มีความหนาแน่น 7.9954 g/cm^3

ชนิดที่ 3 ยางพื้นรองเท้าชนิดโฟมยาง มีความหนาแน่น 4.2329 g/cm^3

3.2 วิธีดำเนินการทดลอง

3.2.1 ขั้นเตรียมจุลินทรีย์

การศึกษาครั้งนี้ใช้จุลินทรีย์สังเคราะห์แสงที่ทำการเลี้ยงไว้เป็นเวลา 2 เดือน วัดปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ในเชิงปริมาตร (SV_{30}) ได้ 0.65 mL/L นำมาใส่ในถังบำบัดน้ำเสียที่มีตัวกลางชนิดยาง ชนิดโฟม ชนิดโฟมยาง และ ถังที่ไม่มีตัวกลาง ปริมาณถังละ 1 L เติมน้ำ 1 L และเติมน้ำเสีย 1 L ทิ้งให้จุลินทรีย์ปรับสภาวะให้เข้ากับน้ำเสียเป็นเวลา 7 วัน

3.2.2 น้ำเสียที่ใช้ในการศึกษา

น้ำเสียที่ใช้ในการศึกษาเป็นน้ำเสียชุมชนของโรงอาหารศูนย์พระนครเหนือ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

3.3 พารามิเตอร์ที่ตรวจวัด

3.3.1 การเก็บตัวอย่างน้ำเสีย

น้ำเสียก่อนเข้าระบบ (Infulent Wastewater: Inf) จุดเก็บน้ำเสียอยู่ด้านหลังโรงอาหารศูนย์พระนครเหนือ โดยทำการเก็บทุกสัปดาห์ ๆ ละ 1 วัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์

3.3.2 การเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดและการตรวจวิเคราะห์

การเก็บน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดมีด้วยกัน 4 จุด คือ

ถังที่มีตัวกลางยางพื้นรองเท้าชนิดยาง ใช้สัญลักษณ์ Eff_R

ถังที่มีตัวกลางยางพื้นรองเท้าชนิดโฟม ใช้สัญลักษณ์ Eff_F

ถังที่มีตัวกลางยางพื้นรองเท้าชนิดโฟมยาง ใช้สัญลักษณ์ Eff_E

ถังที่ไม่มีตัวกลางยางพื้นรองเท้า ใช้สัญลักษณ์ Eff_C

จะทำการเก็บตัวอย่างน้ำต่อเนื่องเป็นเวลา 4 สัปดาห์ โดยทำการวิเคราะห์สัปดาห์ละ 1 ครั้ง แผนการเก็บตัวอย่างน้ำได้แสดงไว้ในตาราง 3.1

ตาราง 3.1 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสียที่เข้าระบบและน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด

พารามิเตอร์	**หน่วย**	**วิธีวิเคราะห์**	**ความถี่ในการวิเคราะห์**
อุณหภูมิ	℃	Thermometer	สัปดาห์ละ
ความเป็นกรด-ด่าง(pH)	-	pH Meter	1 ครั้ง
ความขุ่น (Turbidity)	NTU	Visible Spectrophotometer	
ออกซิเจนละลายน้ำ (DO)	mg/L	DO Meter	
บีโอดี (BOD)	mg/L	Azide Modification (Dilution Method)	
ซีโอดี (COD)	mg/L	Close Reflux Method	
ของแข็งแขวนลอย (SS)	mg/L	Dried at 103-105°C	
ปริมาณจุลินทรีย์ในถัง (MLSS)	mg/L	Dried at 103-105°C	
ปริมาณอินทรียสารที่ระเหยได้ (MLVSS)	mg/L	Ignited at 550°C	
ฟอสฟอรัส (Phosphorus)	mg/L	Ascorbic Acid Method	
แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (Ammonia-Nitrogen)	mg/L	Titration	

หมายเหตุ : วิธีการวิเคราะห์อ้างอิงตาม Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APWA, 1992)

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและอภิปราย

การทดลองมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของตัวกลางจากยางพื้นรองเท้า ซึ่งมี ชนิดยาง ชนิดโฟม และ ชนิดโฟมยาง ในการบำบัดน้ำเสียจากชุมชนด้วยระบบเอสบีอาร์ โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัดค่าบีโอดี ค่าซีโอดี ของแข็งแขวนลอย ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ ปริมาณอินทรียสารที่ระเหยได้ ฟอสฟอรัส แอมโมเนียและไนโตรเจน ผู้วิจัยแบ่งการนำเสนอผลการศึกษาเป็น 2 ส่วนดังนี้

4.1 ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย

4.2 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียในระบบเอสบีอาร์

4.1 ประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย

4.1.1 การเริ่มต้นเดินระบบ (Start period)

การเริ่มต้นเดินระบบได้นำตะกอนจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงวัดปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ในเชิงของปริมาตร (SV_{30}) ได้ 0.65 mL/L และวัดปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ในเชิงของน้ำหนัก (MLSS) ได้ 745 mg/L นำมาใส่ถังเติมอากาศที่มีตัวกลางชนิดยาง ชนิดโฟม ชนิดโฟมยาง และ ไม่มีตัวกลาง ปริมาณ 1 L ทำการเติมอากาศและน้ำเสีย 1 L และน้ำกลั่น 1 L ทิ้งให้จุลินทรีย์ปรับสภาวะให้เข้ากับน้ำเสียเป็นเวลา 7 วัน

ช่วงเริ่มต้นให้ความสนใจการเกาะยึดตัวกลางของจุลินทรีย์ในระบบเอสบีอาร์ พบว่าในช่วงเริ่มต้นการทดลองนั้นไม่มีจุลินทรีย์เกาะติดตัวกลางแต่เมื่อเวลาผ่านไป 7 วันเริ่มมีจุลินทรีย์เกาะตัวกลางชนิดยาง ชนิดโฟม และชนิดโฟมยาง และเมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้นปริมาณจุลินทรีย์เกาะตัวกลางมากขึ้น

4.1.2 การวิเคราะห์คุณลักษณะน้ำเสียจากชุมชน

ช่วงเริ่มต้นการทดลองได้ทำการวิเคราะห์คุณลักษณะน้ำเสียจากชุมชน นำมาวิเคราะห์หาอุณหภูมิ, ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH), ค่าความขุ่น (Turbidity), ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO), บีโอดี (BOD), ซีโอดี (COD), ของแข็งแขวนลอย (SS), ปริมาณจุลินทรีย์ในถัง (MLSS), ปริมาณอินทรียสารที่ระเหยได้ (MLVSS), ฟอสฟอรัส (Phosphorus) และแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (Ammonia-Nitrogen) สามารถสรุปลักษณะสมบัติของน้ำเสียชุมชนได้ดังตาราง 4.1

ตาราง 4.1 ลักษณะของน้ำเสียชุมชน

พารามิเตอร์	หน่วย	ช่วงค่า
อุณหภูมิ	°C	26.8-27.3
ความเป็นกรด-ด่าง	-	6.13-6.21
ความขุ่น	NTU	456-477
ออกซิเจนละลายน้ำ	mg/L	1.90-2.05
บีโอดี	mg/L	86-130
ซีโอดี	mg/L	312
ของแข็งแขวนลอย	mg/L	3,020
ความเข้มข้นของจุลินทรีย์	mg/L	3,725
อินทรียสารที่ระเหยได้	mg/L	2,920
ฟอสฟอรัส	mg/L	1,740
แอมโมเนีย-ไนโตรเจน	mg/L	178

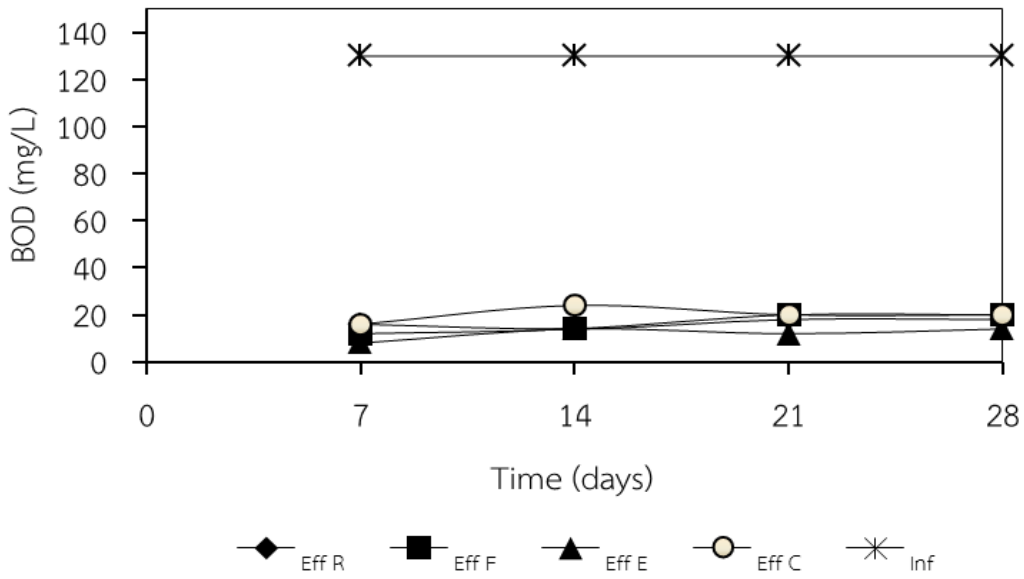
4.2 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียในระบบเอสบีอาร์

4.2.1 ประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดี (BOD)

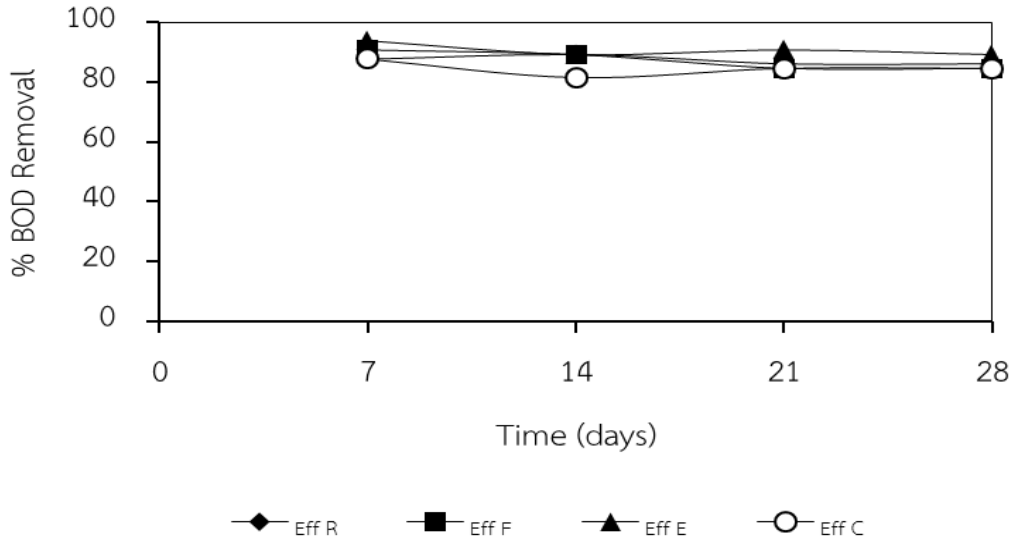
บีโอดีเป็นค่าที่บ่งชี้ถึงค่าความสกปรกของน้ำเสียและเป็นตัวแปรสำคัญในการก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำตามมาตรฐานน้ำทิ้งได้ควบคุมค่าบีโอดีในน้ำทิ้งให้มีค่าได้ไม่เกิน 20 mg/L ผลการศึกษาพบว่าถังระบบเอสบีอาร์ที่ใส่ตัวกลางชนิดโฟมยางบำบัดได้ดีที่สุด รองลงมาเป็นถังที่มีตัวกลางชนิดโฟม ชนิดยางและไม่มีตัวกลางตามลำดับ สามารถแสดงค่าได้ดังภาพ 4.1 และ 4.2

ถังระบบเอสบีอาร์ที่ใส่ตัวกลางชนิดโฟมยางมีประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 91 % และ น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าบีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 12 mg/L ถังระบบเอสบีอาร์ที่มีตัวกลางชนิดโฟม มีประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 87 % และน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าบีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 17 mg/L ถังระบบเอสบีอาร์ที่มีตัวกลางชนิดยางมีประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 87 % และน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าบีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 16.5 mg/L และถังระบบเอสบีอาร์ที่ไม่มีตัวกลางมีประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 85 % และน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าบีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 20 mg/L

จากการเปรียบเทียบค่าบีโอดีในน้ำจากระบบบำบัดที่มีตัวกลางต่างกัน 3 ชนิดกับไม่มีตัวกลางพบว่ามีค่าบีโอดีต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนดไว้คือ 20 mg/L



ภาพ 4.1 การเปรียบเทียบค่าบีโอดีจากการบำบัด



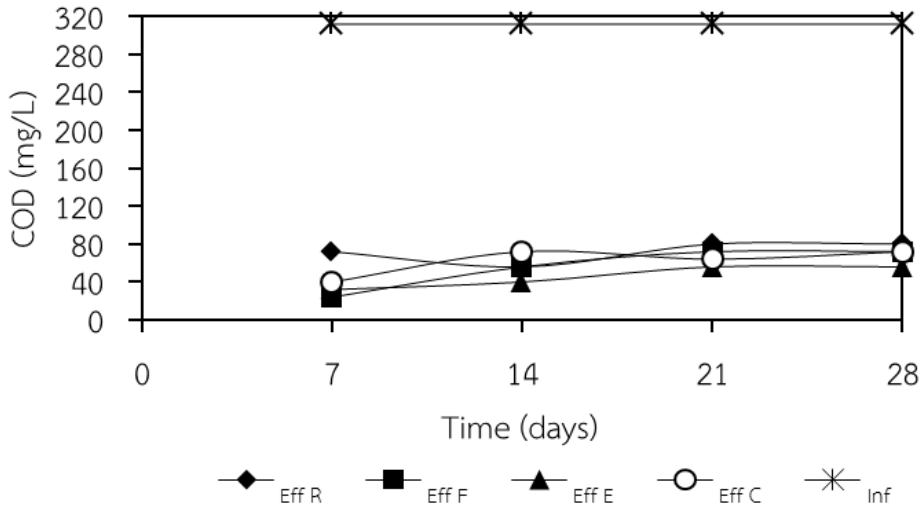
ภาพ 4.2 ประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดี

4.2.2 ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี (COD)

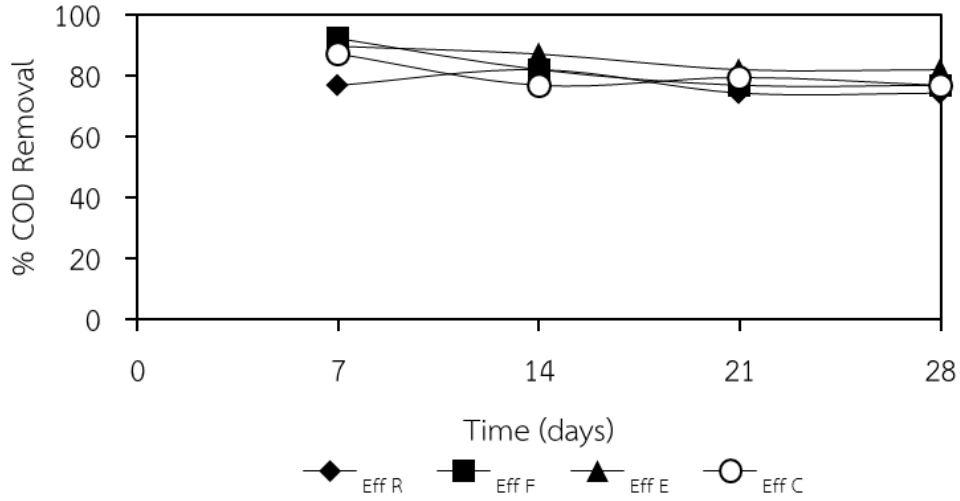
ซีโอดีเป็นค่าที่บ่งชี้ถึงความสกปรกของน้ำเสียและเป็นตัวแปรสำคัญในการก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำ ตามมาตรฐานน้ำทิ้งได้ควบคุมค่าซีโอดีในน้ำทิ้งให้มีค่าได้ไม่เกิน 120 mg/L ผลการศึกษาพบว่า ถังระบบเอสบีอาร์ที่ใส่ตัวกลางชนิดโฟมยางบำบัดได้ดีที่สุด รองลงมาเป็นถังที่มีตัวกลางชนิดโฟม ชนิดยางและไม่มีตัวกลางตามลำดับ สามารถแสดงค่าได้ดังภาพ 4.3 และ 4.4

น้ำที่ผ่านการบำบัดจากถังระบบเอสบีอาร์ที่ใส่ตัวกลางชนิดโฟมยางมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีเฉลี่ยอยู่ในช่วง 85 % และน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 46 mg/L ถังระบบเอสบีอาร์ที่มีตัวกลางชนิดโฟมมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีเฉลี่ยอยู่ในช่วง 82 % และน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 56 mg/L ถังระบบเอสบีอาร์ที่มีตัวกลางชนิดยางมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีเฉลี่ยอยู่ในช่วง 77 % และน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 72 mg/L และ ถังระบบเอสบีอาร์ที่ไม่มีตัวกลางมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีเฉลี่ยอยู่ในช่วง 80 % และน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 62 mg/L

จากการเปรียบเทียบค่าซีโอดีในน้ำจากระบบบำบัดที่มีตัวกลางต่างกัน 3 ชนิดกับไม่มีตัวกลางพบว่ามีค่าซีโอดีต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนดไว้คือ 120 mg/L



ภาพ 4.3 การเปรียบเทียบค่าซีโอดีจากการบำบัด



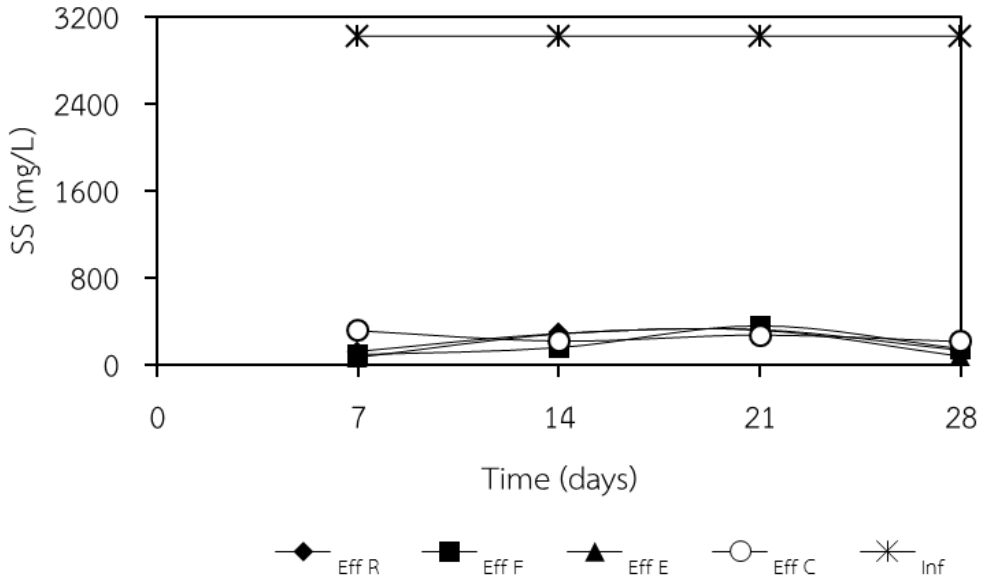
ภาพ 4.4 ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี

4.2.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็งแขวนลอย (SS)

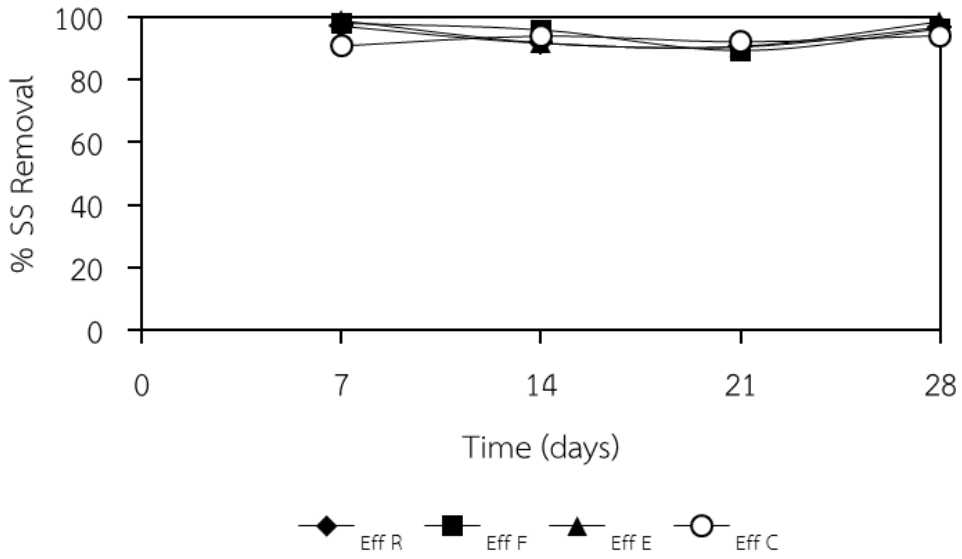
จากการศึกษาพบว่า ถังระบบเอสบีอาร์ที่ใส่ตัวกลางชนิดโฟมยางบำบัดได้ดีที่สุด รองลงมาเป็นถังที่มีตัวกลางชนิดโฟม ชนิดยางและไม่มีตัวกลางตามลำดับ สามารถแสดงค่าได้ดังภาพ 4.5 และ 4.6

น้ำที่ผ่านการบำบัดจากถังระบบเอสบีอาร์ที่ใส่ตัวกลางชนิดโฟมยางมีประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 95 % และน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 183 mg/L ถังระบบเอสบีอาร์ที่มีตัวกลางชนิดโฟมมีประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็ง

แขวนลอยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 95 % และน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 186 mg/L ถังระบบเอสบีอาร์ที่มีตัวกลางชนิดยางมีประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 94 % และน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 213 mg/L และถังระบบเอสบีอาร์ที่ไม่มีตัวกลางมีประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 93 % และน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 251 mg/L



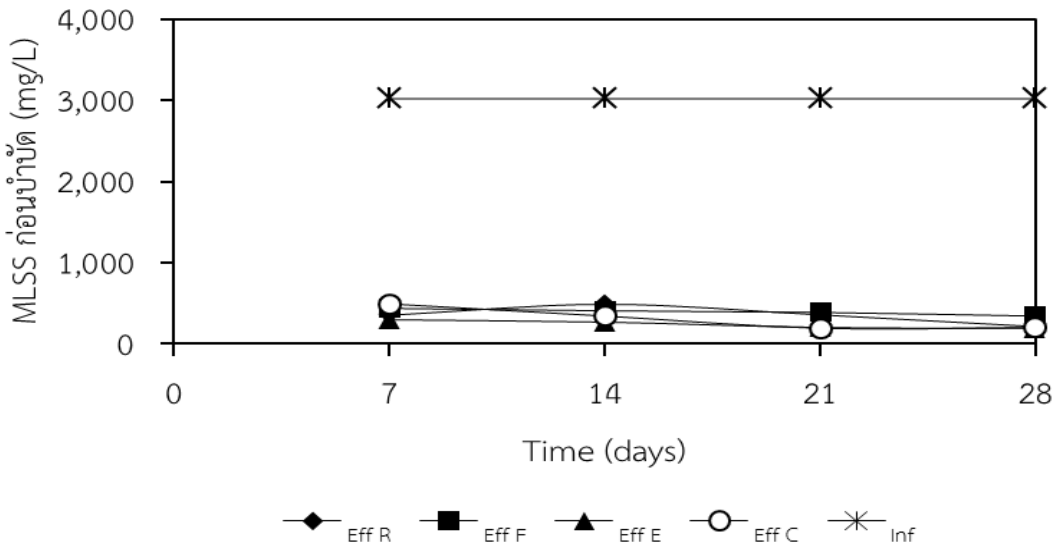
ภาพ 4.5 การเปรียบเทียบค่าของแข็งแขวนลอยจากการบำบัด



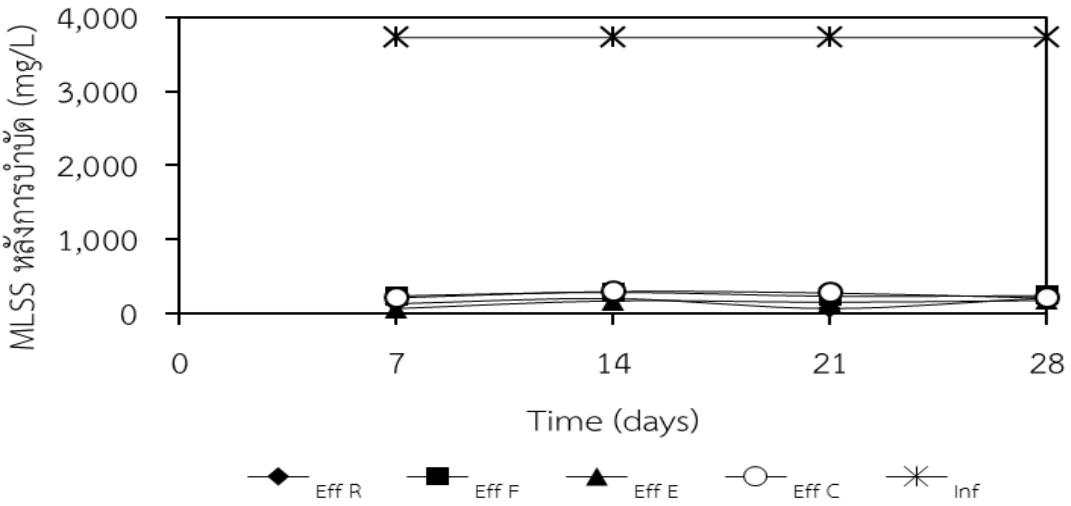
ภาพ 4.6 ประสิทธิภาพในการบำบัดของแข็งแขวนลอย

4.2.4 ประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ในถัง (MLSS)

ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในถังระบบเอสบีอาร์ที่ใส่ตัวกลางชนิดยาง มีค่าความเข้มข้นก่อนบำบัดอยู่ที่ 462 mg/L หลังจากบำบัดจุลินทรีย์ในถังบำบัดมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 151 mg/L ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในถังระบบเอสบีอาร์ที่ใส่ตัวกลางชนิดโฟม มีค่าความเข้มข้นก่อนบำบัดอยู่ที่ 396 mg/L หลังจากบำบัดจุลินทรีย์ในถังบำบัดมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 247 mg/L ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในถังระบบเอสบีอาร์ที่ใส่ตัวกลางชนิดโฟมยาง มีค่าความเข้มข้นก่อนบำบัดอยู่ที่ 245 mg/L หลังจากบำบัดจุลินทรีย์ในถังบำบัดมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 140 mg/L ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในถังระบบเอสบีอาร์ที่ไม่มีตัวกลางมีค่าความเข้มข้นก่อนการบำบัดอยู่ที่ 310 mg/L หลังจากบำบัดจุลินทรีย์ในถังบำบัดมีค่าความเข้มข้นเฉลี่ยเท่ากับ 266 mg/L โดยสามารถแสดงค่าได้ดังภาพ 4.7



ก) ค่าความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในถังก่อนบำบัด

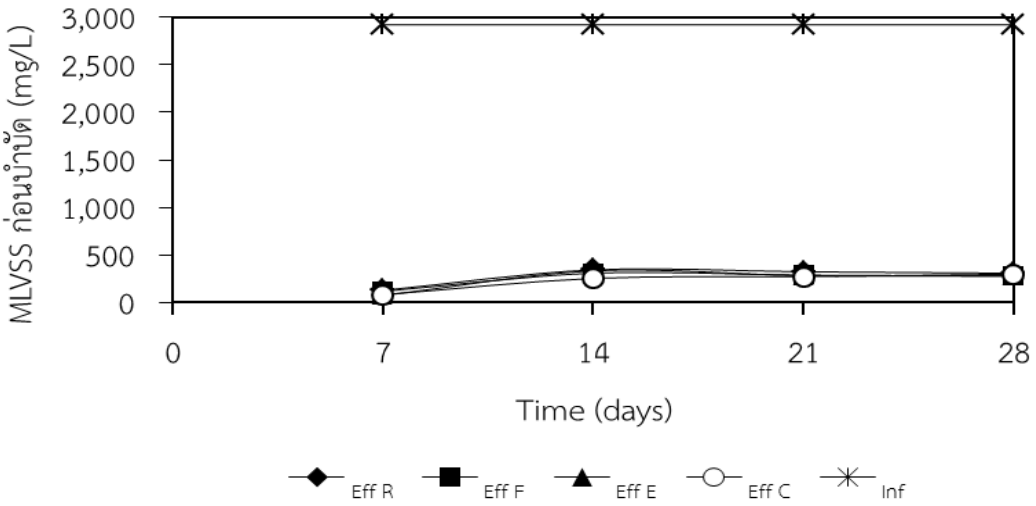


ข) ค่าความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในถังหลังบำบัด

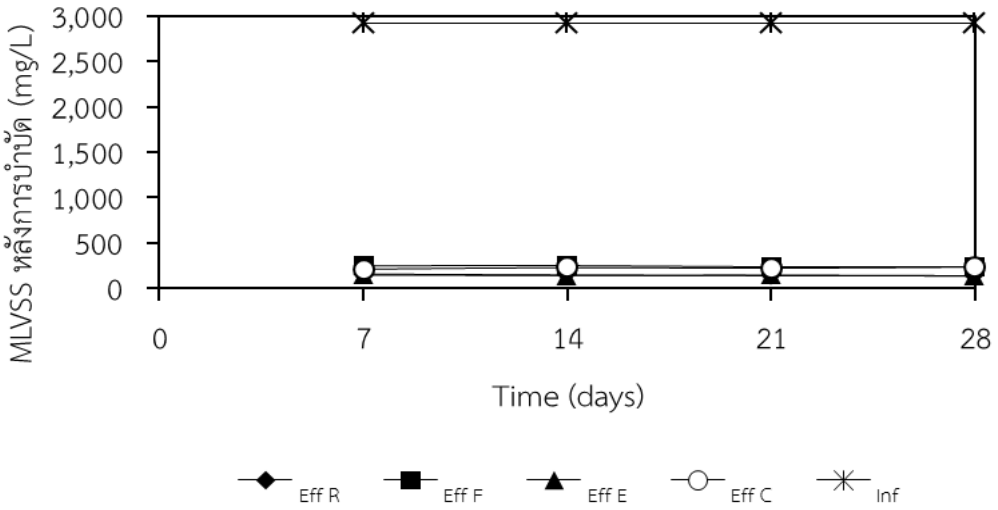
ภาพ 4.7 การเปรียบเทียบความเข้มข้นของจุลินทรีย์ในถัง

4.2.5 ประสิทธิภาพของอินทรียสารที่ระเหยได้ (MLVSS)

อินทรียสารที่ระเหยในถังระบบเอสบีอาร์ที่ใส่ตัวกลางชนิดยาง มีค่าก่อนบำบัดอยู่ที่ 277.5mg/L หลังจากบำบัดอินทรียสารที่ระเหยได้ในถังบำบัดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 144 mg/L อินทรียสารที่ระเหยในถังระบบเอสบีอาร์ที่ใส่ตัวกลางชนิดโฟมมีค่าก่อนบำบัดอยู่ที่ 250 mg/L หลังจากบำบัดอินทรียสารที่ระเหยได้ในถังบำบัดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 242 mg/L อินทรียสารที่ระเหยในถังระบบเอสบีอาร์ที่ใส่ตัวกลางชนิดโฟมยาง มีค่าก่อนบำบัดเฉลี่ยอยู่ที่ 243 mg/L หลังจากบำบัดอินทรียสารที่ระเหยได้ในถังบำบัดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 142 mg/L อินทรียสารที่ระเหยในถังระบบเอสบีอาร์ที่ไม่มีตัวกลางมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 228 mg/L หลังจากบำบัดอินทรียสารในถังบำบัดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 223 mg/L โดยสามารถแสดงค่าได้ดังภาพ 4.8



ก) อินทรียสารที่ระเหยได้ในถังก่อนบำบัด



ข) อินทรียสารที่ระเหยได้ในถังหลังบำบัด

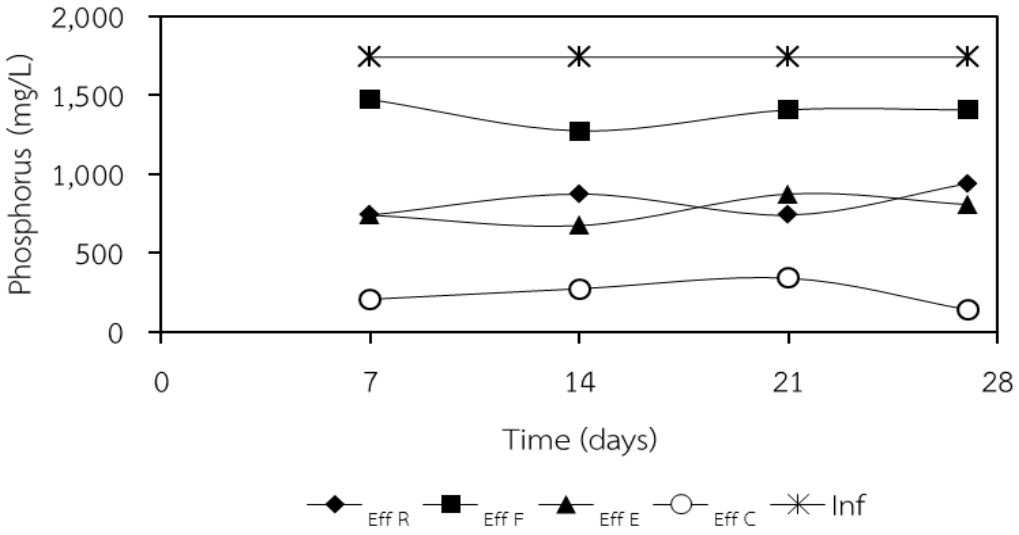
ภาพ 4.8 การเปรียบเทียบค่าอินทรียสารที่ระเหยได้

4.2.6 ประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสฟอรัส (Phosphorus)

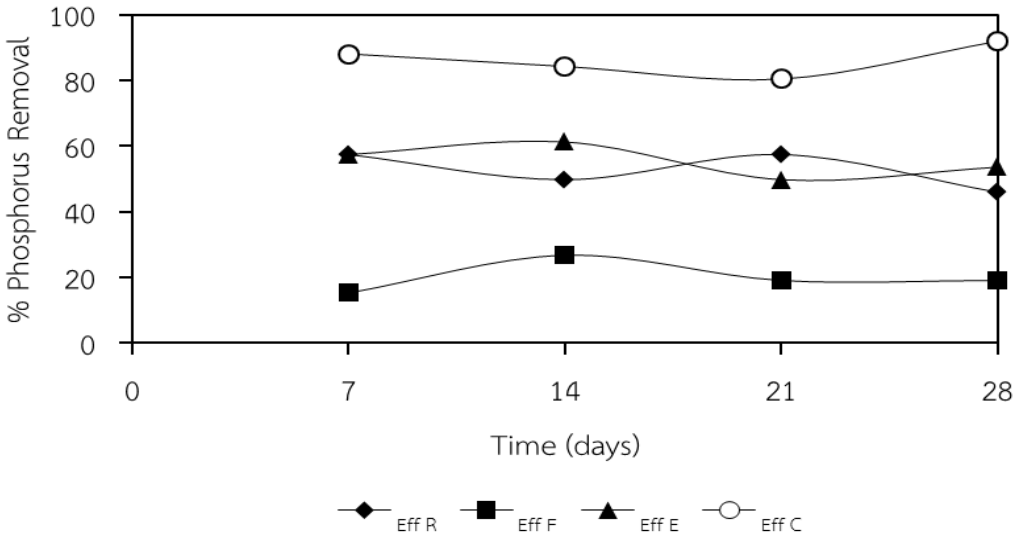
จากการศึกษาพบว่าถังระบบเอสบีอาร์ที่ไม่มีตัวกลาง รองลงมาคือชนิดโฟมยาง ชนิดยางและชนิดโฟมตามลำดับ สามารถแสดงค่าได้ดังภาพ 4.9 และ 4.10

น้ำที่ผ่านการบำบัดจากถังระบบเอสบีอาร์ที่ไม่ใส่ตัวกลางมีประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสฟอรัสเฉลี่ยอยู่ในช่วง 86 % และน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าฟอสฟอรัสเฉลี่ยเท่ากับ 240 mg/L

ถังระบบเอสบีอาร์ที่มีตัวกลางชนิดโฟมยางมีประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสฟอรัสเฉลี่ยอยู่ในช่วง 56 % และน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าฟอสฟอรัสเฉลี่ยเท่ากับ 773 mg/L ถังระบบเอสบีอาร์ที่มีตัวกลางชนิดยางมีประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสฟอรัสเฉลี่ยอยู่ในช่วง 53 % และน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าฟอสฟอรัสเฉลี่ยเท่ากับ 823 mg/L และถังระบบเอสบีอาร์ที่ตัวกลางชนิดโฟมมีประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสฟอรัสเฉลี่ยอยู่ในช่วง 20 % และน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าฟอสฟอรัสเฉลี่ยเท่ากับ 1,407 mg/L



ภาพ 4.9 การเปรียบเทียบค่าฟอสฟอรัสจากการบำบัด

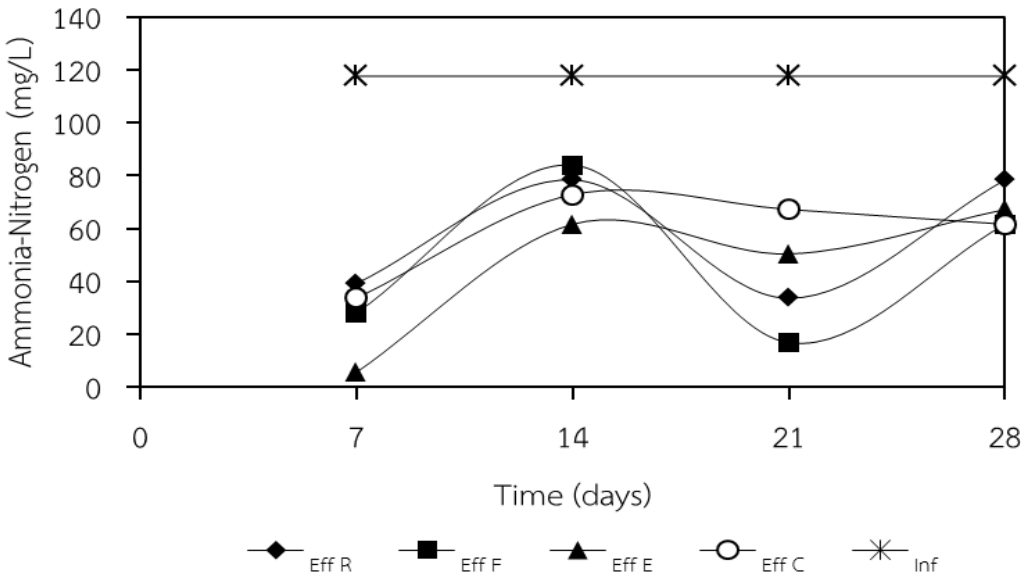


ภาพ 4.10 ประสิทธิภาพในการบำบัดฟอสฟอรัส

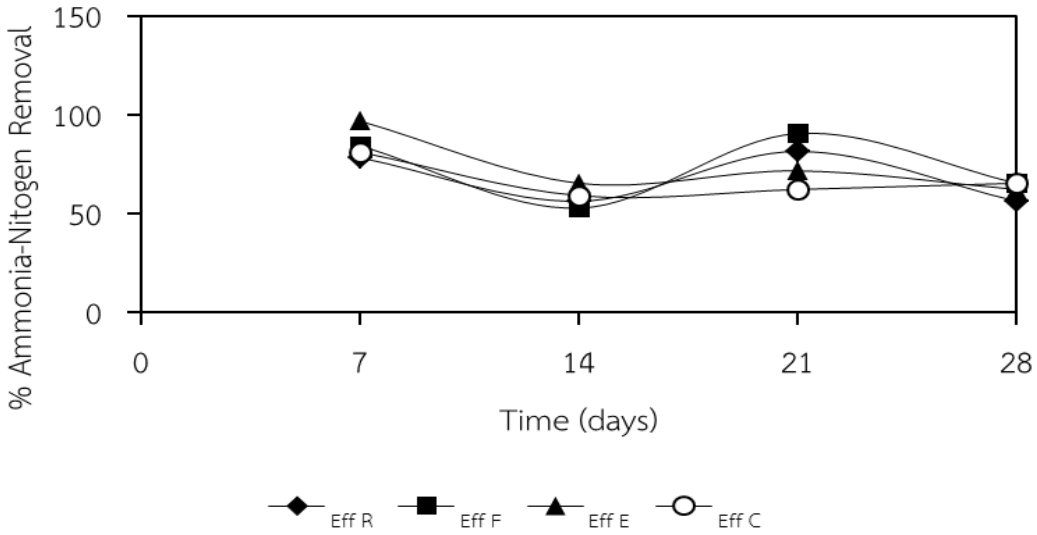
4.2.7 ประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจน

จากการศึกษาพบว่า ถังระบบเอสบีอาร์ที่ใส่ตัวกลางชนิดโฟมยางบำบัดได้ดีที่สุด รองลงมาเป็นถังที่มีตัวกลางชนิดโฟม ชนิดยางและไม่มีตัวกลางตามลำดับ สามารถแสดงค่าได้ดังภาพ 4.11 และ 4.12

น้ำที่ผ่านการบำบัดจากถังระบบเอสบีอาร์ที่ใส่ตัวกลางชนิดโฟมยางมีประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 61 % และน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจนเฉลี่ยเท่ากับ 46 mg/L น้ำที่ผ่านการบำบัดจากถังระบบเอสบีอาร์ที่ใส่ตัวกลางชนิดโฟมมีประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 60 % และน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจนเฉลี่ยเท่ากับ 48 mg/L น้ำที่ผ่านการบำบัดจากถังระบบเอสบีอาร์ที่ใส่ตัวกลางชนิดยางมีประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 51 % และน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจนเฉลี่ยเท่ากับ 57 mg/L น้ำที่ผ่านการบำบัดจากถังระบบเอสบีอาร์ที่ไม่มีตัวกลางมีประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 60 % และน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจนเฉลี่ยเท่ากับ 46 mg/L



ภาพ 4.11 การเปรียบเทียบค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจนจากการบำบัด



ภาพ 4.12 ประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนีย-ไนโตรเจน

น้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบเอสบีอาร์ร่วมกับยางพื้นรองเท้าในช่วงระยะเวลา 28 วันมีลักษณะดังตาราง 4.2 เมื่อทำการแยกประเภทของชนิดตัวกลางสามารถบอกลักษณะน้ำที่ผ่านการบำบัดโดยมียางพื้นรองเท้าชนิดยางได้ดังตาราง 4.3 ชนิดโฟมดังตาราง 4.4 ชนิดโฟมยางดังตาราง 4.5 และไม่มีตัวกลางดังตาราง 4.6 ตามลำดับดังนี้

ตาราง 4.2 ลักษณะของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบเอสบีอาร์ในระยะเวลา 28 วัน

พารามิเตอร์	น้ำเสียเข้าระบบ Inf	ตัวกลางชนิดยาง Eff_R	ตัวกลางชนิดโฟม Eff_F	ตัวกลางชนิดโฟมยาง Eff_E	ไม่มีตัวกลาง Eff_C
อุณหภูมิ (°C)	26.8 – 27.3	26.6 – 28.2	26.3 – 27.8	26.2 – 27.6	26.4 – 27.7
ความเป็นกรด-ด่าง	6.13 – 6.21	6.71 – 6.91	6.50 – 6.92	6.70 – 7.04	6.73 – 6.97
ความขุ่น(NTU)	456 – 477	65.4 – 343.3	51.1 – 369.3	61.0 – 312.6	61.6 – 307.6
ออกซิเจนละลายน้ำ (mg/L)	1.90 – 2.05	0.21 – 4.54	0.1 – 4.17	0.07 – 5.09	0.06 – 3.64
บีโอดี (mg/L)	86 – 130	14 - 18	12 - 20	8 – 14	16 – 24
ซีโอดี (mg/L)	312	48-80	40 - 72	32 – 56	56 – 72
ของแข็งแขวนลอย (mg/L)	3,020	120 - 320	90 - 335	65 – 315	210 – 310
ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ (mg/L)	396	65 - 210	230 - 285	65 – 175	205 -295
อินทรียสารที่ระเหยได้ (mg/L)	250	135 - 146	235 - 247	138 – 146	210 – 234
ฟอสฟอรัส (mg/L)	1,740	740 - 940	1,407 – 1,473	673 – 873	140 – 340
แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (mg/L)	178	33 - 78	17 – 62	6 - 67	33 - 72

ตาราง 4.3 ลักษณะของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบเอสบีอาร์ร่วมกับตัวกลางยางพื้นรองเท้าชนิดยาง

พารามิเตอร์	หน่วย	ช่วงค่า		ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	S.D. (±)
		น้ำเสียเข้าระบบบำบัด	น้ำเสียออกระบบบำบัด		
อุณหภูมิ	℃	26.8 – 27.3	26.6 - 28.2	-	0.08
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	6.13 – 6.21	6.71 – 6.91	-	0.68
ความขุ่น (Turbidity)	NTU	456 – 477	65.4 – 343.3	-	33.73
ออกซิเจนละลายน้ำ (DO)	mg/L	1.90 – 2.05	0.21 – 4.54	-	121.42
บีโอดี (BOD)	mg/L	86 – 130	14 – 18	87	1.77
ซีโอดี (COD)	mg/L	312	48 – 80	80	10.47
ของแข็งแขวนลอย (SS)	mg/L	3,020	120 – 320	94	95.87
ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ (MLSS)	mg/L	335	65 - 210	-	62.61
อินทรียสารที่ระเหยได้ (MLVSS)	mg/L	278	135 - 146	-	8.52
ฟอสฟอรัส (Phosphorus)	mg/L	1,740	740 – 940	53	92.58
แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (Ammonia-Nitrogen)	mg/L	178	33 – 78	68	22.55

ตาราง 4.4 ลักษณะของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบเอสบีอาร์ร่วมกับตัวกลางยางพื้นรองเท้าชนิดโฟม

พารามิเตอร์	หน่วย	ช่วงค่า		ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	S.D. (±)
		น้ำเสียเข้าระบบบำบัด	น้ำเสียออกระบบบำบัด		
อุณหภูมิ	°C	26.8 – 27.3	26.3 – 27.8	-	0.16
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	6.13 – 6.21	6.5 – 6.92	-	0.73
ความขุ่น (Turbidity)	NTU	456 – 477	51.1 – 369.3	-	44.29
ออกซิเจนละลายน้ำ (DO)	mg/L	1.90 – 2.05	0.1 – 4.17	-	136.67
บีโอดี (BOD)	mg/L	86 – 130	12 – 20	89	3.82
ซีโอดี (COD)	mg/L	312	40 – 72	81	20.95
ของแข็งแขวนลอย (SS)	mg/L	3,020	90 – 335	95	107.46
ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ (MLSS)	mg/L	396	230 – 285	-	23.47
อินทรียสารที่ระเหยได้ (MLVSS)	mg/L	250	235 – 247	-	7.05
ฟอสฟอรัส (Phosphorus)	mg/L	1,740	1,407 – 1,473	20	77.52
แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (Ammonia-Nitrogen)	mg/L	178	17 – 62	73	28.55

ตาราง 4.5 ลักษณะของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบเอสบีอาร์ร่วมกับตัวกลางยางพื้นรองเท้าชนิดโฟมยาง

พารามิเตอร์	หน่วย	ช่วงค่า		ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	S.D. (±)
		น้ำเสียเข้าระบบบำบัด	น้ำเสียออกระบบบำบัด		
อุณหภูมิ	℃	26.8 – 27.3	26.2 – 27.6	-	0.15
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	6.13 – 6.21	6.70 – 7.04	-	0.60
ความขุ่น (Turbidity)	NTU	456 – 477	61.0 – 312.6	-	39.93
ออกซิเจนละลายน้ำ (DO)	mg/L	1.90 – 2.05	0.07 – 5.09	-	108.42
บีโอดี (BOD)	mg/L	86 – 130	8 – 14	91	2.62
ซีโอดี (COD)	mg/L	312	32 – 56	86	11.11
ของแข็งแขวนลอย (SS)	mg/L	3,020	65 – 315	95	122.38
ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ (MLSS)	mg/L	243	65 – 175	-	47.36
อินทรียสารที่ระเหยได้ (MLVSS)	mg/L	244	138 – 146	-	3.58
ฟอสฟอรัส (Phosphorus)	mg/L	1,740	673 – 873	56	79.69
แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (Ammonia-Nitrogen)	mg/L	178	6 - 67	74	25.88

ตาราง 4.6 ลักษณะของน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบเอสบีอาร์แบบไม่มีตัวกลาง

พารามิเตอร์	หน่วย	ช่วงค่า		ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	S.D. (±)
		น้ำเสียเข้าระบบบำบัด	น้ำเสียออกระบบบำบัด		
อุณหภูมิ	℃	26.8 – 27.3	26.4 – 27.7	-	0.10
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	-	6.13 – 6.21	6.73 – 6.97	-	0.32
ความขุ่น(Turbidity)	NTU	456 – 477	61.6 – 307.6	-	41.17
ออกซิเจนละลายน้ำ (DO)	mg/L	1.90 – 2.05	0.06 – 3.64	-	105.42
บีโอดี (BOD)	mg/L	86 – 130	16 – 24	84	3.02
ซีโอดี (COD)	mg/L	312	56 – 72	79	14.02
ของแข็งแขวนลอย (SS)	mg/L	3,020	210 – 310	93	44.14
ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ (MLSS)	mg/L	266	205 -295	-	42.15
อินทรียสารที่ระเหยได้ (MLVSS)	mg/L	229	210 – 234	-	9.54
ฟอสฟอรัส (Phosphorus)	mg/L	1,740	140 – 340	86	79.67
แอมโมเนีย-ไนโตรเจน (Ammonia-Nitrogen)	mg/L	178	33 - 72	67	16.12

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากชุมชนด้วยระบบเอสบีอาร์ร่วมกับยางพื้นรองเท้าต่างชนิดกัน 3 ชนิด ได้แก่ ยางพื้นรองเท้าชนิดยาง ชนิดโฟม ชนิดโฟมยาง และแบบไม่มีตัวกลาง ซึ่งการบำบัดค่าบีโอดี ซีโอดี ของแข็งแขวนลอย ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ อินทรียสารที่ระเหยได้ ฟอสฟอรัส และแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากผลการปฏิบัติและการตรวจวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ผลจากการวิจัยพบว่า

ระบบบำบัดแบบเอสบีอาร์ที่ใช้ยางพื้นรองเท้าชนิดยาง สามารถบำบัดค่าบีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 16.5 mg/L ค่าซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 72 mg/L ของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 214 mg/L ฟอสฟอรัสเฉลี่ยเท่ากับ 823 mg/L แอมโมเนีย-ไนโตรเจนเฉลี่ยเท่ากับ 57 mg/L และในส่วนของอุณหภูมิอยู่ในช่วง 27.1˚C ค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ที่ 6.80 ความขุ่นอยู่ในช่วง 173.57 NTU ค่าออกซิเจนละลายน้ำอยู่ที่ 2.22 mg/L และชุดทดลองที่ใช้ยางพื้นรองเท้าชนิดยางมีประสิทธิภาพในการบำบัด BOD, COD, SS, Phosphorus และ Ammonia-Nitrogen ร้อยละ 87, 80, 94, 53 และ 68 ตามลำดับ ระบบบำบัดแบบเอสบีอาร์ที่ใช้ยางพื้นรองเท้าชนิดโฟมสามารถบำบัดค่าบีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 16.5 mg/L ค่าซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 56 mg/L ของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 186 mg/L ฟอสฟอรัสเฉลี่ยเท่ากับ 1,407 mg/L แอมโมเนีย-ไนโตรเจนเฉลี่ยเท่ากับ 48 mg/L และในส่วนของอุณหภูมิอยู่ในช่วง อยู่ที่ 27.8˚C ค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ที่ 6.52 ความขุ่นอยู่ในช่วง 183.65 NTU ค่าออกซิเจนละลายน้ำอยู่ที่ 1.53 mg/L และชุดทดลองที่ใช้ยางพื้นรองเท้าชนิดโฟมมีประสิทธิภาพในการบำบัด BOD, COD, SS, Phosphorus และ Ammonia-Nitrogen ร้อยละ 89, 81, 95, 20 และ 73 ตามลำดับ ระบบบำบัดแบบเอสบีอาร์ที่ใช้ยางพื้นรองเท้าชนิดโฟมยางสามารถบำบัดค่าบีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 12 mg/L ค่าซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 72 mg/L ของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 184 mg/L ฟอสฟอรัสเฉลี่ยเท่ากับ 773 mg/L แอมโมเนีย-ไนโตรเจนเฉลี่ยเท่ากับ 46 mg/L และในส่วนของอุณหภูมิอยู่ในช่วง 26.9 °C ค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ที่ 6.87 ค่าความขุ่นอยู่ในช่วง 154.55 NTU ค่าออกซิเจนละลายน้ำอยู่ที่ 2.83 mg/L และชุดทดลองที่ใช้ยางพื้นรองเท้าชนิดโฟมยางมีประสิทธิภาพในการบำบัด BOD, COD, SS, Phosphorus และ Ammonia-Nitrogen ร้อยละ 91,

86, 95, 56 และ 74 ตามลำดับ ระบบบำบัดแบบเอสบีอาร์ที่ไม่มีตัวกลางสามารถบำบัดค่าบีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 20 mg/L ค่าซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ 62 mg/L ของแข็งแขวนลอยเฉลี่ยเท่ากับ 251 mg/L ฟอสฟอรัสเฉลี่ยเท่ากับ 240 mg/L แอมโมเนีย-ไนโตรเจนเฉลี่ยเท่ากับ 59 mg/L และในส่วนของอุณหภูมิอยู่ในช่วง 27.1 ˚C ค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ที่ 6.87 ความขุ่นอยู่ในช่วง 167.62 NTU ค่าออกซิเจนละลายน้ำอยู่ที่ 1.66 mg/L และชุดทดลองควบคุมที่ไม่มีตัวกลางนั้นมีประสิทธิภาพในการบำบัด BOD, COD, SS, Phosphorus และ Ammonia-Nitrogen ร้อยละ 84, 79, 93, 86 และ 67 ตามลำดับ โดยน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยชุดทดลองที่มีตัวกลางจะมีลักษณะค่อนข้างใส มีปริมาณของแข็งแขวนลอยลดลงและไม่มีกลิ่นเหม็น ซึ่งชุดทดลองระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ที่ใช้ตัวกลางเป็นยางพื้นรองเท้าต่างชนิดกันนั้นมีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนไม่แตกต่างกัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีระบบอื่น ๆ เพิ่มเติม เช่นถังตกตะกอน ถังกรอง หลังจากบำบัดเนื่องจากค่า MLSS ที่ออกจากระบบควรมีค่าไม่เกินหรือเท่ากับ 30 mg/L (ในกรณีที่ MLSS หลุดออกมามาก)

5.2.2 ควรติดตั้งใบกวนเพื่อให้ตะกอนมีการกวนสัมผัสกับน้ำเสียอย่างทั่วถึง

5.2.3 หากต้องการบำบัดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนมากควรเพิ่มปริมาตรของถังบำบัดน้ำเสียให้มีขนาดใหญ่ขึ้น

5.2.4 ถ้าต้องการให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงขึ้นควรเพิ่มระยะเวลาการกักเก็บตามมาตรฐานการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งทั่วไปให้มีค่าอยู่ในช่วง 5-10 วัน

5.2.5 ควรปรับสภาพระบบบำบัดเอสบีอาร์ โดยการค่อย ๆ เติมน้ำเสียความเข้มข้นต่ำ ๆ เพื่อให้จุลินทรีย์ในระบบปรับสภาพได้

เอกสารอ้างอิง

กฤษฎา สุชีวะ. 2533. **การพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตโฟม EVA และโฟมยางผสมจาก EVA.** สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, ปทุมธานี.

กรองกาญจน์ เสาหะสกุล. 2550. **“ประสิทธิภาพระบบบำบัดน้ำเสียแบบปฏิกรณ์ซีเควนซิ่งแบตช์ที่รับน้ำเสียจากอาคารกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม”** วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2546. **ของเสียอันตราย.** พิมพ์ครั้งที่ 1. มิตรนรา การพิมพ์, กรุงเทพฯ.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2537. **การบำบัดน้ำเสีย.** พิมพ์ครั้งที่ 2. สยามสเตชั่นเนอรี่ ซัพพลายส์, กรุงเทพฯ.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2535. **วิศวกรรมการกำจัดน้ำเสีย.** พิมพ์ครั้งที่ 2. มิตรนรา การพิมพ์, กรุงเทพฯ.

กองจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ. 2561. **ระบบบำบัดน้ำเสีย.** กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ

กองจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ. 2561. **น้ำเสียชุมชน.** กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ

ขจร สมสาย. 2538. **“การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ถังปฏิกิริยาแบบตัวกลางพลาสติกจมน้ำใช้ออกซิเจน – น้ำไหลขึ้น.”** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.

ขวัญเนตร สมบัติสมภพ. 2551. **“การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบเอสบีอาร์.”** วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ดุจนภา คำเพชร. 2548. **“การบำบัดน้ำเสียด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบจุลินทรีย์แขวนลอยด้วยตัวกลางยึดเกาะ.”** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยบูรพา.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

ทวีป ณ ระนอง. 2555. **“การพัฒนาตัวกลางในระบบบำบัดน้ำเสียแบบถังกรองไร้อากาศเพื่อบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตเส้นขนมจีน.”** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. ภาควิชาเทคโนโลยีการจัดการสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา.

เทพกัลยา แพงมา. 2553. **“การศึกษาเบื้องต้นสำหรับการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม.”** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ธรรมนูญ ม้าวิเศษ, ทรงยศ มงคลพิศ, และ เพชร เพ็งชัย. 2559. **“ผลของการเติมจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงในถังกรองไร้อากาศแบบไหลขึ้นที่มีผลต่อการบำบัดซีโอดี.”** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

ธัญญรัตน์ เบญจกุล, สมชาย ดารารัตน์, และฐิติยา แซ่ปัง. **“ประสิทธิภาพการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์โดยระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์.”** การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 6. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปริญญา ไกรวุฒินันท์ และ อัจฉรา โลราช. 2558. **“ประสิทธิภาพวัสดุตัวกลางในการบำบัดน้ำเสียระบบโปรยกรอง.”** วิทยานิพนธ์ปริญญาตรี. ภาควิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์.

พรชนก วงศ์ผดุงเกียรติ และ ภัชราภรณ์ สุวรรณวิทยา. 2554. **“จุลินทรีย์ทางการค้าในกระบวนการบำบัดน้ำเสียโรงงานปลาป่น.”** มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มนัสวี พานิชนอก. 2552. **“ความสามารถของระบบบำบัดน้ำเสียชนิดเอสบีอาร์ในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียจากโรงงานผลิตเอทานอล.”** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. ภาควิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. 2543. **เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม**. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

ยุทธชัย สาระไทย. 2544. **“ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียชุมชนที่ปนเปื้อนนิคเกิลโดยระบบบำบัดน้ำเสียเอสบีอาร์.”** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. ภาควิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยมหิดล.

ยุวดี ไชยเชษฐ์. 2548. **“การศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้เถ้าแกลบเป็นตัวกลางในระบบบำบัดน้ำเสียแบบตัวกลางไร้ออกซิเจนร่วมกับการเติมอากาศในระบบบำบัดน้ำเสียสารอินทรีย์.** มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.

รังสี ปัตลี. 2546. **“ออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียชนิดไม่เติมอากาศแบบใช้พลาสติกเป็นตัวกลาง.”** ปริญญานิพนธ์. อุตสาหกรรมศึกษา, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

เสริมพล รัตสุข และ ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. 2524**. การกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและชุมชน**. พิมพ์ครั้งที่ 2. สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

สุบัณฑิต นิ่มรัตน์. 2548. **จุลชีววิทยาของน้ำเสีย.** พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

สุเทพ สิริวิทยาปกรณ์. 2547. **“การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบชั้นตัวกลางอัดบรรจุไร้อากาศ.”** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน.

สุเทพ สิริวิทยาปกรณ์. 2546. **“การกำจัดไนโตรเจนโดยกระบวนการแอนน็อกซิกของเอสบีอาร์.”** การประชุมวิชาการ ครั้งที่ 41. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 3 – 5 กุมภาพันธ์ 2546.

สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์. 2549. **ระบบบำบัดน้ำเสีย.** พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์ท้อป จำกัด, กรุงเทพฯ.

สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์. 2557. **ระบบบำบัดน้ำเสีย.** พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์ท็อป จำกัด, กรุงเทพฯ.

อดิศักดิ์ นุสิทธิ์. 2543. **“การศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารโดยระบบเอสบีอาร์.”** ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

อาภาวรรณ และ คณะ. 2555. **“การคัดเลือกตัวกลางที่เหมาะสมต่อการยึดเกาะของเมือกชีวภาพเพื่อบำบัดไนเตรทจากน้ำทิ้งการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำชายฝั่ง.”** มหาวิทยาลัยทักษิณ.

APHA-AWWA-WPCF. (1992). **“Standard methods for the examination of water and wasterwater.”** 18th ed. New York : APHA. Inc.

Metcalf & Eddy. (2004). **“Wastewater Engineering: Treatment and Reuse.”** 4th Ed. McGraw-Hill, New York.

ภาคผนวก ก

ข้อมูลผลการทดลอง

ตาราง ก.1 อุณหภูมิและความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในระบบบำบัด

Date	อุณหภูมิ (°C)					ความเป็นกรด-ด่าง(pH)				
	Inf	Eff_R	Eff_F	Eff_E	Eff_C	Inf	Eff_R	Eff_F	Eff_E	Eff_C
28/12/61	26.8	28.2	27.8	27.6	27.7	6.13	6.91	6.92	6.89	6.91
4/01/62	27.4	26.6	26.7	26.6	26.8	6.21	6.71	6.51	6.70	6.73
11/01/62	27.3	26.6	26.3	26.6	26.8	6.19	6.78	6.66	7.04	6.97
18/01/62	26.8	27.1	26.1	26.3	27.2	6.23	6.82	6.71	6.72	6.80
ค่าเฉลี่ย	27.1	27.1	26.9	26.9	27.1	6.17	6.80	6.69	6.87	6.87

ตาราง ก.2 ค่าความขุ่น (Turbidity) และค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ในระบบบำบัด

Date	ความขุ่น (NTU)					DO (mg/L)				
	Inf	Eff_R	Eff_F	Eff_E	Eff_C	Inf	Eff_R	Eff_F	Eff_E	Eff_C
28/12/61	458	343	369	312	347	2.05	0.21	0.10	0.07	0.06
4/01/62	489	112	80	90	93	1.90	1.91	2.86	3.35	1.28
11/01/62	455	65	51	61	61	1.97	4.54	4.17	5.09	3.64
18/01/62	465	75	98	89	90	1.95	5.01	4.86	4.98	2.67
ค่าเฉลี่ย	467	173	167	154	167	1.97	2.22	2.37	2.83	1.66

ตาราง ก.3 การวิเคราะห์สารอินทรีย์คาร์บอนในรูป BOD ในระบบบำบัด

Date	BOD (mg/L)				
	Inf	Eff_R	Eff_F	Eff_E	Eff_C
28/12/61	120	16	12	8	16
4/01/62	120	14	14	14	24
11/01/62	120	18	20	12	20
18/01/62	120	18	20	14	20
ค่าเฉลี่ย	120	16	16	12	20
S.D. (±)	0	1.77	3.82	2.62	3.02
Removal (%)	-	87	89	91	84

ตาราง ก.4 การวิเคราะห์สารอินทรีย์คาร์บอนในรูป COD ในระบบบำบัด

Date	COD (mg/L)				
	Inf	Eff_R	Eff_F	Eff_E	Eff_C
28/12/61	312	72	24	32	40
4/01/62	312	56	56	40	72
11/01/62	312	80	72	56	64
18/01/62	312	80	72	56	72
ค่าเฉลี่ย	312	72	56	46	62
S.D. (±)	0	10.47	20.95	11.11	14.02
Removal (%)	-	80	81	86	79

ตาราง ก.5 การวิเคราะห์ของแข็งแขวนลอย (SS) ในระบบบำบัด

Date	SS (mg/L)				
	Inf	Eff_R	Eff_F	Eff_E	Eff_C
28/12/61	3,020	120	90	65	310
4/01/62	3,020	285	155	280	215
11/01/62	3,020	320	355	315	270
18/01/62	3,020	130	145	75	210
ค่าเฉลี่ย	3,020	213	186	183	251
S.D. (±)	0	95.87	107.46	122.38	44.14
Removal (%)	-	94	95	95	93

ตาราง ก.6 การวิเคราะห์ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ (MLSS) ในระบบบำบัด

Date	MLSS (mg/L) ก่อนการบำบัด					MLSS (mg/L) หลังการบำบัด			
	Inf	Eff_R	Eff_F	Eff_E	Eff_C	Eff_R	Eff_F	Eff_E	Eff_C
28/12/61	3,725	355	440	300	495	130	235	165	210
4/01/62	3,725	490	410	270	345	200	285	170	295
11/01/62	3,725	360	390	205	195	65	230	150	275
18/01/62	3,725	215	345	195	205	210	240	175	205
ค่าเฉลี่ย	3,725	355	396	242	310	151	247	165	246

ตาราง ก.7 การวิเคราะห์อินทรียสารระเหยได้ (MLVSS) ในระบบบำบัด

Date	MLVSS (mg/L) ก่อนการบำบัด					MLVSS (mg/L) หลังการบำบัด			
	Inf	Eff_R	Eff_F	Eff_E	Eff_C	Eff_R	Eff_F	Eff_E	Eff_C
28/12/61	2,920	130	120	75	85	156	247	146	210
4/01/62	2,920	345	310	335	255	146	250	140	228
11/01/62	2,920	325	290	285	275	139	236	145	221
18/01/62	2,920	310	280	280	300	135	235	138	234
ค่าเฉลี่ย	2,920	277	250	243	228	144	242	142	223

ตาราง ก.8 การวิเคราะห์ Phosphorus ในระบบบำบัด

Date	Phosphorus (mg/L)				
	Inf	Eff_R	Eff_F	Eff_E	Eff_C
28/12/61	1,740	740	1,473	740	207
4/01/62	1,740	873	1,273	673	273
11/01/62	1,740	740	1,407	873	340
18/01/62	1,740	940	1,406	807	140
ค่าเฉลี่ย	1,740	823	1,406	773	240
S.D. (±)	0	92.58	77.52	79.69	79.67
Removal (%)	-	53	20	56	86

ตาราง ก.9 การวิเคราะห์ Ammonia-Nitrogen ในระบบบำบัด

Date	Ammonia-Nitrogen (mg/L)				
	Inf	**Eff $_R$**	**Eff $_F$**	**Eff $_E$**	**Eff $_C$**
28/12/61	117	39	28	5	34
4/01/62	117	78	84	62	73
11/01/62	117	34	17	50	67
18/01/62	117	78	67	67	61
ค่าเฉลี่ย	117	57	48	46	59
S.D. (±)	0	22.55	28.55	25.88	16.12
Removal (%)	-	68	73	74	67

ภาคผนวก ข

การตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

1. วิธีตรวจวิเคราะห์บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand : BOD)

บีโอดี คือ ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน บีโอดีจัดเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในการบ่งบอกความสกปรก การปนเปื้อนสารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการทางชีววิทยาของแหล่งน้ำนั้น ๆ โดยจุลินทรีย์จะดำเนินการไปอย่างช้าและย่อยสลายได้ 95 – 99% ในเวลา 20 – 30 วัน ซึ่งเป็นระยะเวลาที่นาน อย่างไรก็ตามพบว่าเมื่อการย่อยสลายดำเนินไปประมาณ 5 วัน จะสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ประมาณ 60 – 70% ในการกำหนดพารามิเตอร์ที่ใช้บ่งบอกถึงปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ย่อยสลายสารอินทรีย์ จึงนิยมใช้เป็น BOD_5 หรือ 5-day BOD เนื่องจากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นแล้วภายหลังระยะเวลา 5 วัน จุลินทรีย์กลุ่ม Nitrifying Bacteria จะมีการเจริญเติบโตและใช้ออกซิเจนเพื่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ทำค่าบีโอดีที่ได้สูงกว่าความจริง

1.1 วิธีการวิเคราะห์บีโอดีโดยการเจือจางตัวอย่างน้ำ

สำหรับตัวอย่างน้ำที่มีค่าบีโอดีสูงกว่า 7 mg/L ซึ่งจำเป็นต้องเจือจางน้ำตัวอย่างด้วยน้ำเจือจางเพื่อให้น้ำมีความสกปรกลดลงและใช้ออกซิเจนในขวดบีโอดีไม่เกิน 7 mg/L ซึ่งต้องเตรียมเจือจางหลาย ๆ ความเข้มข้น เนื่องจากยังไม่ทราบค่าบีโอดีที่แน่นอน โดยการคำนวณจากค่าประมาณบีโอดีเท่ากับ 60% ของค่าซีโอดี เช่น น้ำเสียมีค่าซีโอดีประมาณ 1,000 mg/L จะประมาณค่าบีโอดีได้เท่ากับ (60x1,000)/100 = 600 mg/L แล้วนำค่าประมาณบีโอดีไปเทียบกับตารางที่ 1 ว่าจะต้องเจือจางที่กี่เปอร์เซ็นต์

ตาราง ข.1 แสดงปริมาณตัวอย่างที่จะนำมาทำเจือจางโดยใช้ค่าประมาณบีโอดีและเทียบเปอร์เซ็นต์เจือจาง

% การเจือจาง	ปริมาตรน้ำตัวอย่างที่ใช้ (mL)	ช่วงบีโอดี (mg/L)
0.01	0.1	20,000 - 70,000
0.02	0.2	10,000 - 35,000
0.05	0.5	4,000 - 14,000
0.1	1.0	2,000 - 7,000
0.2	2.0	1,000 - 3,500
0.5	5.0	400 - 1,400
1.0	10.0	200 - 700
2.0	20.0	100 - 350
5.0	50.0	40 - 140
10.0	100	20 - 70
20.0	200	10 - 35
50.0	500	4 - 14
100	1000	0 - 7

1.2 การเตรียมน้ำสำหรับใช้เจือจาง

1. ตวงน้ำกลั่นตามปริมาตรที่ต้องการใช้ ปรับอุณหภูมิไว้ที่ประมาณ 20˚C

2. เติมอากาศเพื่อเพิ่มออกซิเจนละลายน้ำในน้ำอย่างน้อย 1 h

3. เติมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ แมกนีเซียมซัลเฟต แคลเซียมคลอไรด์ และเฟอริคคลอไรด์อย่างละ 1 mL ต่อน้ำเจือจาง 1,000 mL

4. เลือกอัตราการเจือจางที่คาดว่าบีโอดีอยู่ในช่วงที่กำหนด

5. ทำการเจือจางตัวอย่างน้ำแล้วถ่ายลงขวดบีโอดีขนาด 300 mL

6. นำไปวิเคราะห์ค่าออกซิเจนละลายน้ำที่เริ่มต้น (DO_0) และค่าออกซิเจนละลายน้ำที่เหลืออยู่ (DO_5)

การคำนวณ

$$BOD\ (mg/L) = \frac{(DO_0 - DO_5) \times 100}{\%\ Diluttion}$$

2. วิธีตรวจวิเคราะห์ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand : COD)

การวิเคราะห์หาค่าซีโอดีเป็นการวัดความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสีย โดยคิดเปรียบเทียบในรูปของปริมาณออกซิเจนที่ต้องการใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ โดยใช้สารเคมีซึ่งมีอำนาจในการออกซิไดซ์ในสารละลายที่เป็นกรด

2.1 วิธีการวิเคราะห์ค่าซีโอดี

1. ล้างหลอดย่อยสลาย (Digestion Tubes) และฝาจุกด้วยกรดซัลฟิวริก เพื่อป้องกันการปนเปื้อนของสารอินทรีย์

2. เลือกใช้ปริมาณน้ำตัวอย่างตามตาราง ข.2

ตาราง ข.2 แสดงปริมาณตัวอย่างและรีเอเจนต์ที่ใช้สำหรับขนาดต่าง ๆ ของภาชนะที่ใช้ในการย่อยสลาย

ขนาดของภาชนะย่อยสลาย	ตัวอย่างน้ำ (mL)	สารละลายในการย่อยสลาย (mL)	กรดซัลฟิวริกรีเอเจนต์ (mL)	ปริมาตรทั้งหมด (mL)
หลอดย่อยสลาย				
16 x 100 mm	2.5	1.5	3.5	7.5
20 X 150 mm	5.0	3.0	7.0	15.0
25 X 150 mm	10.0	6.0	14.0	30.0
แอมพูลมาตรฐาน				
10 mm	2.5	1.5	3.5	7.5

3. นำตัวอย่างน้ำมาใส่หลอดย่อยสลายที่เตรียมไว้ เติมสารละลายที่ใช้ในการย่อยสลาย ได้แก่ สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต

4. เติมกรดซัลฟิวริกรีเอเจนต์

5. ปิดจุกหลอดแก้วแล้วคว่ำหลอดแก้วไปมาหลาย ๆ ครั้งเพื่อให้ผสมกัน

6. นำหลอดแก้วไปใส่ในเครื่องย่อยสลาย (Block Digestion) ที่อุณหภูมิ 150 ˚C เป็นเวลา 2 h และทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

7. เทใส่ในขวดรูปชมพู่เพื่อทำการไทเทรต จุดยุติจะเปลี่ยนจากสีฟ้าอมเขียวเป็นสีส้ม

8. นำไปวิเคราะห์ค่า COD ในสูตรต่อไปนี้

การคำนวณค่าซีโอดี

$$COD\ (mg/L) = \frac{(A-B) \times N \times 8000}{C}$$

เมื่อ

COD = ค่าซีโอดี หน่วยเป็น mg/L

A = ปริมาตรของสารละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรต Blank หน่วยเป็น mL

B = ปริมาตรของสารละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้ในการไทเทรตตัวอย่างหน่วยเป็น mL

N = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต หน่วยเป็น M

C = ปริมาตรตัวอย่างที่ใช้ หน่วยเป็น mL

3. การวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ (Suspended Solids : SS)

3.1 วิธีการหาปริมาณของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ โดยใช้วิธี Graviametric Method

เป็นการหาส่วนของของแข็งแขวนลอยที่เหลืออยู่บนกระดาษกรองใยแก้วหลังจากการกรองตัวอย่างแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 103-105˚C

การวิเคราะห์

1. ทำการกรองกระดาษกรองด้วยน้ำกลั่นปริมาณ 10 mL ด้วยชุดกรองบุชเนอร์นำกระดาษกรองไปอบที่อุณหภูมิ 103-105˚C ที่ 1 h
2. นำกระดาษกรองที่ผ่านการอบแล้วไปไว้ในตู้ดูดความชื้น 1 h
3. นำกระดาษกรองไปชั่งน้ำหนัก จดค่าเป็นน้ำหนักก่อนกรอง (B)
4. เขย่าตัวอย่างน้ำให้เข้ากัน เทตัวอย่างน้ำลงกระบอกตวงให้ได้ตามปริมาตรที่ต้องการแล้วจดบันทึกปริมาตร
5. นำกระดาษกรองที่ทำการกรองน้ำเสียแล้วไปอบที่อุณหภูมิ 105˚C ที่ 1 h และนำกระดาษกรองที่ผ่านการอบแล้วไปไว้ในตู้ดูดความชื้น 1 h
6. นำกระดาษกรองไปชั่งน้ำหนัก จดค่าเป็นน้ำหนักหลังกรอง (A)
7. นำไปเข้าสูตรคำนวณเพื่อหาค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมด

การคำนวณหาค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมด

$$\text{ของแข็งละลายทั้งหมด (mg/L)} = \frac{(A-B) \times 10^6}{\text{Volume (mL)}}$$

เมื่อ

A = น้ำหนักของกระดาษกรองหลังกรอง หน่วยเป็น mg

B = น้ำหนักของกระดาษกรองก่อนกรอง หน่วยเป็น mg

Volume = ปริมาตรตัวอย่าง หน่วยเป็น mL

4. วิธีตรวจวิเคราะห์ตะกอนหนัก (Mixed Liquor Volatile Suspended Solids : MLVSS)

หลักการวิเคราะห์สารระเหยง่าย (Volatile Solids) หมายถึง ปริมาณของแข็งที่กลายเป็นไอได้เมื่อนำไปเผาที่อุณหภูมิ 550±50 ˚C ในระยะเวลาที่กำหนดซึ่งสารที่ระเหยไปส่วนใหญ่จะเป็นสารอินทรีย์ส่วนของแข็งที่เหลือจากการเผาก็คือสารคงตัว (Fixed Solids) นั่นเอง

วิธีการวิเคราะห์

1. เผาของแข็งที่ได้จากการหา Total solids ในเตาเผาอุณหภูมิ 550±50˚C (ให้อุณหภูมิของเตาเผาถึงที่ต้องการก่อนจึงใส่ตัวอย่างเข้าไป) เป็นเวลา 15-20 นาที

2. ทิ้งให้ชามระเหยเย็นลงแล้วจึงเก็บในเดสิกเคเตอร์จนเย็นเท่าอุณหภูมิห้องแล้วจึงชั่งน้ำหนัก

3. น้ำหนักที่เหลืออยู่ คือ ปริมาณของแข็งคงตัวทั้งหมดและน้ำหนักที่หายไปในการเผาเป็นของแข็งระเหยทั้งหมด

การคำนวณ

$$\text{Volatile Solids (mg/L)} = \frac{(A-B) \times 1000}{\text{Volume (mL)}}$$

$$\text{Fixed Solids (mg/L)} = \frac{(BxC) \times 1000}{\text{Volume (mL)}}$$

เมื่อ

A = น้ำหนักของชามระเหยและของแข็งทั้งหมดก่อนเผา หน่วยเป็น mg

B = น้ำหนักของชามระเหยและเถ้าหลังเผา หน่วยเป็น mg

C = น้ำหนักของชามระเหย หน่วยเป็น mg

ภาคผนวก ค

การเผยแพร่องค์ความรู้จากการวิจัยให้กับชุมชน

การเผยแพร่องค์ความรู้จากการวิจัยให้กับชุมชน ณ วัดสะแก ต.บางเลน อ.บางใหญ่ จ.นนทบุรี วันอังคารที่ 27 พฤศจิกายน 2561

ภาพ ค.1 ภาพกิจกรรม

เอกสารเผยแพร่องค์ความรู้จากการวิจัยให้กับชุมชน

ภาพ ค.2 เอกสารเผยแพร่ความรู้ (ด้านหน้า)

พารามิเตอร์ \ Day	1 day	7 day
pH	7.02	7.14
Temp (°C)	25.8	26
DO (ppm)	0.27	0.59
ความขุ่น (NTU)	144	153
SS (mg/L)	0.70	0.75
SV 30 (ml/L)	1.5	2

ภาพ ค.3 เอกสารเผยแพร่ความรู้ (ด้านหลัง)

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อนามสกุล นางสาวสิรินารถ คะระนันท์

วัน เดือน ปีเกิด 17 สิงหาคม พ.ศ. 2539

ภูมิลำเนา อำเภอพยุหะคีรี จังหวัดนครสวรรค์

ประวัติการศึกษา

วุฒิการศึกษา	**ชื่อสถาบัน**	**ปีการศึกษา**
วท.บ.	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	พ.ศ. 2561
มัธยมศึกษาปีที่ 6	โรงเรียนเมืองพัทยา 11 (มัธยมสาธิตพัทยา)	พ.ศ. 2557

ทุนการศึกษา

ทุนอุดหนุนงบประมาณจากโครงการส่งเสริมสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมเพื่อคนรุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2562 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อนามสกุล นางสาวศิริวรรณ รอดม่วง

วัน เดือน ปีเกิด 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2540

ภูมิลำเนา อำเภอดำเนินสะดวก จังหวัดราชบุรี

ประวัติการศึกษา

วุฒิการศึกษา	**ชื่อสถาบัน**	**ปีการศึกษา**
วท.บ.	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	พ.ศ. 2561
มัธยมศึกษาปีที่ 6	โรงเรียนนนทรีวิทยา	พ.ศ. 2557

ทุนการศึกษา

ทุนอุดหนุนงบประมาณจากโครงการส่งเสริมสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมเพื่อคนรุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2562 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อนามสกุล นางสาวแพรวพรรณ กองกะแชง

วัน เดือน ปีเกิด 18 พฤษภาคม พ.ศ.2540

ภูมิลำเนา เขตบางพลัด จังหวัดกรุงเทพมหานคร

ประวัติการศึกษา

วุฒิการศึกษา	**ชื่อสถาบัน**	**ปีการศึกษา**
วท.บ.	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร	พ.ศ. 2561
มัธยมศึกษาปีที่ 6	โรงเรียนสุวรรณารามวิทยาคม	พ.ศ. 2557

ทุนการศึกษา

ทุนอุดหนุนงบประมาณจากโครงการส่งเสริมสิ่งประดิษฐ์และนวัตกรรมเพื่อคนรุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2562 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร