หัวข้อการศึกษาค้นคว้าอิสระ	ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียด้วยจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงและจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร
ชื่อและนามสกุล	นางสาววิจิตรา พิกุลแก้ว
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
วิชาเอก	การจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตรจารย์ ดร. สิริรัตน์ สุวณิชย์เจริญ

การศึกษาค้นคว้าอิสระนี้ ได้รับความเห็นชอบให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรระดับปริญญาโท เมื่อวันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2563

คณะกรรมการสอบการศึกษาค้นคว้าอิสระ

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตรจารย์ ดร. สิริรัตน์ สุวณิชย์เจริญ)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ศริศักดิ์ สุนทรไชย)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. อารยา ประเสริฐชัย)
ประธานกรรมการประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ

ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียด้วยจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง และจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร

นางสาววิจิตรา พิกุลแก้ว

การศึกษาค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
วิชาเอกการจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม สาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
พ.ศ. 2562

Efficiencies in Wastewater Treatment with Effective Microorganisms and Sludge Microbes from a Canteen Wastewater Treatment System

Ms. Wichittra Phikunkeaw

An Independent Study Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for

the Degree of Master of Science in Industrial Environmental Management

School of Health Science

Sukhothai Thammathirat Open University

2019

หัวข้อการศึกษาค้นคว้าอิสระ	ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียด้วยจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงและจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร
ชื่อและนามสกุล	นางสาววิจิตรา พิกุลแก้ว
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
วิชาเอก	การจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตรจารย์ ดร. สิริรัตน์ สุวณิชย์เจริญ

การศึกษาค้นคว้าอิสระนี้ ได้รับความเห็นชอบให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรระดับปริญญาโท เมื่อวันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2563

คณะกรรมการสอบการศึกษาค้นคว้าอิสระ

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตรจารย์ ดร. สิริรัตน์ สุวณิชย์เจริญ)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ศริศักดิ์ สุนทรไชย)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. อารยา ประเสริฐชัย)
ประธานกรรมการประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ

ชื่อการศึกษาค้นคว้าอิสระ ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียด้วยจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง และจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร

ผู้ศึกษา นางสาววิจิตรา พิกุลแก้ว **รหัสนักศึกษา** 2605000112

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม)

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิริรัตน์ สุวณิชย์เจริญ **ปีการศึกษา** 2562

บทคัดย่อ

งานวิจัยกึ่งทดลองนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ประเมินประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง และจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารในการลดปริมาณน้ำมัน/ไขมัน และซีโอดี และ (2) เปรียบเทียบประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ทั้งสองชนิดในการลดปริมาณน้ำมัน/ไขมัน และซีโอดี

การศึกษาครั้งนี้เก็บตัวอย่างน้ำเสียจากบ่อปรับเสถียรของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารของโรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่ง มาทดสอบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมัน/ไขมัน และซีโอดีในแบบจำลองถังย่อยไขมัน โดยแบ่งเป็น 4 ชุดการทดลอง แต่ละชุดการทดลองบรรจุน้ำเสียปริมาณ 2 ลิตร ชุดทดลองที่ 1 ไม่มีการเติมอากาศและจุลินทรีย์ ชุดทดลองที่ 2 เติมอากาศ แต่ไม่เติมจุลินทรีย์ ชุดทดลองที่ 3 เติมอากาศและจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง 3 สูตรการเจือจาง (1:25, 1:15 และสูตรเข้มข้น) และชุดทดลองที่ 4 เติมอากาศและจุลินทรีย์จากตะกอน 3 สูตรการเจือจาง (1:25, 1:15 และสูตรเข้มข้น) ข้อมูลที่รวบรวมได้จากการทดลองจะนำมาวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้การทดสอบความแปรปรวน

ผลการวิจัยพบว่า (1) ชุดทดลองที่ 4 จุลินทรีย์จากตะกอนที่สูตรการเจือจาง 1:15 มีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมัน/ไขมันสูงสุดร้อยละ 58.2 รองลงมาคือชุดทดลองที่ 3, 2 และ 1 ร้อยละ 56.6, 35.9 และ 26.4 ตามลำดับ สำหรับการลดปริมาณซีโอดี ชุดทดลองที่ 3 จุลินทรีย์จากตะกอนที่สูตรการเจือจาง 1:25 มีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีสูงสุดร้อยละ 43.4 รองลงมาคือชุดทดลองที่ 4, 2 และ 1 ร้อยละ 42.7, 27.0 และ 12.8 ตามลำดับ (2) เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมัน/ไขมัน และซีโอดี ทั้ง 4 ชุดทดลอง พบว่า แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของจุลินทรีย์และชนิดของจุลินทรีย์ที่แตกต่างกัน ไม่มีผลทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้น จึงสามารถใช้จุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารทดแทนจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงได้

คำสำคัญ ระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง จุลินทรีย์จากตะกอน

Independent Study Title: Efficiencies in Wastewater Treatment with Effective Microorganisms and Sludge Microbes from a Canteen Wastewater Treatment System

Author: Ms. Wichittra Phikunkeaw; **ID:** 2605000112;

Degree: Master of Science (Industrial Environmental Management);

Independent Study Advisor: Dr. Sirirat Suwanichcharoen, Associate Professor;

Academic year: 2019

Abstract

This quasi-experimental research aimed: (1) to assess the efficiencies of effective microorganisms (EM) and sludge microbes from a canteen wastewater treatment system in reducing the amounts of oil/grease and COD; and (2) to compare the efficiencies of both types of microbes in reducing the amounts of oil/grease and COD.

For this study, wastewater samples were collected from the equalization tank of the canteen wastewater treatment system of an industrial factory. To assess the efficiencies in oil/grease and COD removal, four experimental grease digestion sets were set up, each containing about 2 liters of wastewater: Set 1 with neither aeration nor microbes; Set 2 with aeration but no microbes; Set 3 with aeration and EM in three dilutions (1:25, 1:15, and full concentration); and Set 4 with aeration and sludge microbes in three dilutions (1:25, 1:15 and full concentration). Data were collected and then analyzed with the analysis of variance.

The results showed that: (1) The experimental Set 4, with 1:15 sludge microbe dilution, had the highest efficiency in oil/grease reduction at 58.2%, followed by Sets 3, 2, and 1 at 56.6%, 35.9% and 26.4% reduction, respectively. As for COD reduction, Set 3, with 1:25 sludge microbe dilution, had the highest COD reduction efficiency at 43.4%, followed by Sets 4, 2, and 1 at 42.7%, 27.0%, and 12.8% reduction, respectively; and (2) Comparing the efficiencies in oil/grease and COD reduction, all four experimental sets exhibited significantly different reductions; but different microbe concentrations and microbe types did not exert any significant differences in treatment efficiencies. Thus, sludge microbes from the canteen wastewater treatment system can be used in lieu of effective microorganisms.

Keywords: Canteen wastewater treatment, Effective microorganism, Sludge microbes

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาค้นคว้าอิสระฉบับนี้สามารถดำเนินสำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาเป็นอย่างยิ่งจากผู้ช่วยศาสตรจารย์ ดร. สิริรัตน์ สุวณิชย์เจริญ อาจารย์ที่ปรึกษา และรองศาสตราจารย์ ดร.ศริศักดิ์ สุนทรไชย กรรมการสอบการศึกษาค้นคว้าอิสระ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช ที่ได้ให้ความกรุณาให้คำแนะนำและติดตามการทำการศึกษาค้นคว้าอิสระครั้งนี้อย่างใกล้ชิดตลอดมา นับตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งสำเร็จเรียบร้อยสมบูรณ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของท่านเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณผู้บริหารและเจ้าหน้าที่โรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่งในเขตอำเภอพานทอง จังหวัดชลบุรี ที่ให้การสนับสนุนและความอนุเคราะห์ข้อแนะนำและข้อมูลต่างๆ เกี่ยวกับระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารของโรงงาน และอนุมัติงบประมาณในการทำการศึกษาค้นคว้าอิสระครั้งนี้

นอกจากนี้ ผู้ทำการศึกษาค้นคว้าอิสระขอขอบพระคุณคณาจารย์สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช เพื่อนนักศึกษาและผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการทำการศึกษาค้นคว้าอิสระครั้งนี้ทุกท่านที่ได้กรุณาให้การสนับสนุน ช่วยเหลือ และให้กำลังใจตลอดมา

วิจิตรา พิกุลแก้ว

กุมภาพันธ์ 2563

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย		ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		จ
กิตติกรรมประกาศ		ฉ
สารบัญตาราง		ฌ
สารบัญภาพ		ญ
บทที่ 1	บทนำ	1
	ความสำคัญและความเป็นมา	1
	วัตถุประสงค์การศึกษา	2
	กรอบแนวคิดการวิจัย	3
	สมมติฐานในการศึกษา	4
	ประเภทของการศึกษาค้นคว้า	4
	ขอบเขตการศึกษา	4
	ข้อตกลงเบื้องต้น	5
	นิยามศัพท์เฉพาะ	6
	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	7
บทที่ 2	วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	8
	การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพ	8
	ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศชนิดฟิล์มตรึง	16
	การบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารของโรงงานอุตสาหกรรม	29
	จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง	33
	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	42
บทที่ 3	วิธีดำเนินการวิจัย	53
	รูปแบบการวิจัย	53
	ประชากร/กลุ่มตัวอย่าง	54
	อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	55
	วิธีดำเนินการทดลอง	59
	การเก็บรวบรวมข้อมูล	65

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
	การวิเคราะห์ข้อมูล	67
บทที่ 4	ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	68
	ลักษณะน้ำเสีย	68
	การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมัน	72
	การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี	78
บทที่ 5	สรุปการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	84
	สรุปการวิจัย	84
	อภิปรายผล	88
	ข้อเสนอแนะ	92
	บรรณานุกรม	94
ภาคผนวก		99
	ก ข้อมูลผลการทดลอง	100
	ข ภาพการผลิตจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง	103
	ค มาตรฐานคุณภาพน้ำเสีย	105
ประวัติผู้ศึกษา		107

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 เกณฑ์ที่ใช้ในการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียด้วยระบบตะกอนเร่ง..... 17
ตารางที่ 2.2 ความหนาแน่นของจุลชีพในเมือกจุลินทรีย์ในถังปฏิกิริยาที่ชั้นความหนาต่างๆ. 23
ตารางที่ 2.3 การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศชนิดฟิล์มตรึง..... 32
ตารางที่ 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงในการบำบัดน้ำเสีย..... 50
ตารางที่ 3.1 รายละเอียดเครื่องมือวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย..... 56
ตารางที่ 3.2 รายการตรวจสอบ วิธีการตรวจสอบ และเกณฑ์กำหนดคุณภาพจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง..... 59
ตารางที่ 3.3 รายการค่าการออกแบบชุดจำลองถังย่อยไขมันตามค่าการออกแบบจากผู้เชี่ยวชาญระบบบำบัดน้ำเสียโรงอาหารของโรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่ง..... 61
ตารางที่ 3.4 รายละเอียดการเก็บและการรักษาตัวอย่างน้ำเสีย/น้ำทิ้ง 66
ตารางที่ 3.5 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย..... 66
ตารางที่ 4.1 ลักษณะน้ำเสียก่อนการทดลอง..... 69
ตารางที่ 4.2 ค่าพีเอชในตัวอย่างน้ำเสียของแต่ละชุดการทดลอง..... 69
ตารางที่ 4.3 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำของแต่ละชุดการทดลองที่เติมอากาศ..... 71
ตารางที่ 4.4 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมัน..... 73
ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมัน ทั้ง 4 ชุดการทดลอง ด้วย Kruskal-Wallis One-Way analysis of Variance..... 75
ตารางที่ 4.6 การเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมัน ด้วย Mann-Whitney U Test……..…. 76
ตารางที่ 4.7 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี..... 79
ตารางที่ 4.8 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี ทั้ง 4 ชุดการทดลอง ด้วย Kruskal-Wallis One-Way analysis of Variance..... 81
ตารางที่ 4.9 การเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี ด้วย Mann-Whitney U Test……..…… 82

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 ลักษณะการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในถังปฏิกิริยาแบบทำงานเป็นช่วงๆ..... 14
ภาพที่ 2.2 ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบตะกอนเร่ง..... 18
ภาพที่ 2.3 ขบวนการสลายตัวของอินทรียสารในสภาพที่มีอากาศและเชื้อจุลินทรีย์..... 20
ภาพที่ 2.4 ความหนาแน่นของจุลชีพในเมือกจุลินทรีย์ที่ชั้นความหนาต่างๆ..... 24
ภาพที่ 2.5 กระบวนการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่ไหลผ่านระบบฟิล์มตรึง..... 25
ภาพที่ 2.6 สภาพขาดสารอินทรีย์และออกซิเจนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบฟิล์มตรึง..... 26
ภาพที่ 2.7 ถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูปแบบฟิล์มตรึง..... 28
ภาพที่ 2.8 แผนภูมิกระบวนการบำบัดน้ำเสียโรงอาหารของโรงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่ง..... 31
ภาพที่ 3.1 แผนผังการทดลอง..... 64
ภาพที่ 4.1 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมัน..... 74
ภาพที่ 4.2 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี..... 80

บทที่ 1
บทนำ

1. ความสำคัญและความเป็นมา

น้ำเสียจากอุตสาหกรรมเป็นน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนสิ่งสกปรกที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทของอุตสาหกรรม วัตถุดิบที่ใช้ และกระบวนการผลิต โดยปกติแล้วน้ำเสียอุตสาหกรรมจะเกิดจากกิจกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้นในโรงงาน เช่น กระบวนการผลิต กระบวนการล้างวัตถุดิบ กระบวนการหล่อเย็น และน้ำเสียจากกิจกรรมต่างๆ ของพนักงานในโรงงาน เช่น สำนักงาน อาคารที่พัก และโรงอาหาร เป็นต้น น้ำเสียที่เกิดขึ้นเป็นแหล่งมลพิษที่สำคัญที่สามารถส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ ในปัจจุบันอุตสาหกรรมมีการเติบโตเพิ่มมากขึ้น การระบายน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำต่างๆ มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นจนเกินความสามารถในการทำความสะอาดตัวเองโดยธรรมชาติของแหล่งน้ำ (Self-purification) จนทำให้เกิดปัญหาน้ำเน่าเสีย การระบายน้ำเสียที่ไม่ได้ผ่านการบำบัดก่อนหรือน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแต่คุณภาพน้ำทิ้งไม่ผ่านตามมาตรฐานที่กฎหมายกำหนดจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อประชาชนและระบบนิเวศทางน้ำอย่างมหาศาล

การจัดการน้ำเสียในโรงงานอุตสาหกรรมให้มีประสิทธิภาพจะต้องมีการวางแผนและดำเนินการให้ครอบคลุมทุกประเด็นอย่างเป็นระบบ โดยการสำรวจลักษณะและขนาดของพื้นที่ใช้สอยของโรงงานเพื่อใช้พิจารณาประกอบการตัดสินใจในการใช้ที่ดินให้คุ้มค่าและเหมาะสมต่อการสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย การสำรวจปริมาณและลักษณะน้ำเสียที่เกิดขึ้นในโรงงานซึ่งเป็นข้อมูลที่สำคัญในการออกแบบและคัดเลือกระบบบำบัดน้ำเสีย ตลอดจนการควบคุม ติดตาม ตรวจสอบและดูแลระบบบำบัดน้ำเสียให้อยู่ในสภาพที่สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

น้ำเสียจากโรงอาหารของโรงงานอุตสาหกรรมมักปนเปื้อนสารอินทรีย์ น้ำมันและไขมัน ซึ่งหากไม่มีการจัดการอย่างถูกวิธีก็จะเป็นปัญหาที่สำคัญที่ก่อให้เกิดมลพิษทางน้ำได้ เนื่องจากสารอินทรีย์เป็นสารที่สามารถย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ระดับออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen: DO) ของแหล่งน้ำลดลงจนเกิดสภาพเน่าเสีย น้ำมันและไขมันเป็นอุปสรรคต่อการส่องผ่านของแสงลงสู่ลำน้ำ การสังเคราะห์แสงของพืชน้ำ และกีดขวางการกระจายออกซิเจนลงสู่น้ำซึ่งมีผลต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ การแยกสารปนเปื้อนดังกล่าวออกจากน้ำเสียส่วนใหญ่จะใช้ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ เป็นระบบที่ใช้จุลินทรีย์ที่อยู่ในธรรมชาติย่อย

สลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย โดยใช้เป็นอาหารเพื่อการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนประชากร เป็นผลทำให้สารอินทรีย์ในน้ำเสียมีปริมาณลดลงและมีคุณภาพดีขึ้น จุลินทรีย์ที่มีอยู่ในระบบบำบัดน้ำเสียมักจะพัฒนามาจากบ่อเกรอะ มีหลากหลายสายพันธุ์ บางสายพันธุ์มีความแข็งแรง บางสายพันธุ์ไม่มีความทนทาน หรือในบางระบบบำบัดน้ำเสียมีจำนวนประชากรของจุลินทรีย์ไม่เพียงพอ ทำให้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ดังนั้นการบำบัดน้ำเสียโดยอาศัยจุลินทรีย์ในน้ำเสียเพียงอย่างเดียวระบบบำบัดน้ำเสียอาจไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้เนื่องจากน้ำเสียมีสารอินทรีย์หลากหลายชนิด และมีความเข้มข้นที่แตกต่างกัน อีกทั้งจุลินทรีย์แต่ละชนิดมีความจำเพาะต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่แตกต่างกัน มีงานวิจัยหลายการทดลองที่ใช้จุลินทรีย์สายพันธุ์คัดเลือกมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย เช่น การคัดเลือกแบคทีเรียที่สามารถย่อยสลายไขมันได้ดี โดยพบว่า แบคทีเรียกลุ่มบาซิลลัส (*Bacillus sp.*) สามารถย่อยสลายไขมันได้ร้อยละ 98.99 นอกจากนี้ยังมีบริษัทผู้ผลิตจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงสำเร็จรูป (Effective Microorganism: EM) ทำการคัดเลือกสายพันธุ์จุลินทรีย์ที่มีความทนทาน แข็งแรง และมีความสามารถในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้ดี การใช้จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงสำเร็จรูปจะช่วยลดปัญหาในการจัดหาจุลินทรีย์ที่มีลักษณะใกล้เคียงกับจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสีย ทำให้ผู้ดูแลระบบมีความสะดวกเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการใช้จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงสำเร็จรูปจะเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย งานวิจัยนี้จึงได้จำลองถังย่อยไขมัน (Grease Digestion Tank) ของระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบเติมอากาศชนิดฟิล์มตรึง (Fixed Film Aeration) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการลดปริมาณน้ำมันและไขมัน (Oil and Grease) และซีโอดี (COD) ในน้ำเสียจากโรงอาหาร โดยเปรียบเทียบจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงสำเร็จรูปกับจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร และใช้เป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้สำหรับการบำบัดน้ำเสียขั้นต้นก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียต่อไป

2. วัตถุประสงค์การศึกษา

2.1 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการลดปริมาณน้ำมันและไขมัน และซีโอดี ด้วยจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง

2.2 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการลดปริมาณน้ำมันและไขมัน และซีโอดี ด้วยจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร

2.3 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดปริมาณน้ำมันและไขมัน และซีโอดีของจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง และจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร

3. กรอบแนวคิดการวิจัย

4. สมมติฐานในการศึกษา

4.1 จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงและจุลินทรีย์จากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารสามารถนำไปใช้ลดปริมาณน้ำมันและไขมัน และซีโอดีในน้ำเสียจากโรงอาหารได้

4.2 ชนิดของจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงและจุลินทรีย์จากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารที่ต่างกันมีผลต่อประสิทธิการบำบัดน้ำมันและไขมัน และซีโอดีแตกต่างกัน

4.3 ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองที่ต่างกันมีผลต่อประสิทธิการบำบัดน้ำมันและไขมัน และซีโอดีแตกต่างกัน

5. ประเภทของการศึกษาค้นคว้า

การวิจัยแบบเชิงกึ่งทดลอง โดยการทดลองบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารด้วยจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงและจุลินทรีย์จากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร เพื่อลดปริมาณน้ำมันและไขมัน และปริมาณซีโอดีในน้ำเสียจากโรงอาหาร

6. ขอบเขตการศึกษา

ตัวอย่างน้ำเสียที่ใช้ในการศึกษาเป็นน้ำเสียจากโรงอาหารของโรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่งในเขตอำเภอพานทอง จังหวัดชลบุรี ซึ่งมีระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบเติมอากาศชนิดฟิล์มตรึง โดยเก็บตัวอย่างน้ำเสียก่อนเข้าชุดจำลองจากถังปรับเสถียร (Equalization Tank) และเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดด้วยจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงและจุลินทรีย์จากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียโรงอาหารในถังย่อยไขมัน

ตัวแปรต้น	⇨	ตัวแปรตาม
1. ชนิดของจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง 2. ความเข้มข้นของจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง 3. สภาวะในการทดลอง (ใช้และไม่ใช้ออกซิเจน)		1. ค่าความสกปรกของน้ำเสียหลังผ่านการบำบัด (น้ำมันและไขมัน และซีโอดี) 2. ต้นทุนของจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสีย

7. ข้อตกลงเบื้องต้น

7.1 ตัวอย่างน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง เก็บจากบ่อปรับสเถียรของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารของโรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่ง ในช่วงเดือนกันยายน-ตุลาคม พ.ศ. 2562 เป็นตัวอย่างน้ำเสียที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อโรค ยังคงมีจุลินทรีย์ตามธรรมชาติเดิมอยู่ ในแต่ละชุดการทดลองทำการสุ่มตัวอย่างน้ำเสียมา 1 ตัวอย่าง เพื่อวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันและไขมัน และซีโอดี โดยถือว่าตัวอย่างนั้นผสมเป็นเนื้อเดียวกัน

7.2 จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงที่ใช้ในการทดลอง เป็นจุลินทรีย์จากโรงงานผู้ผลิตที่มีการคัดเลือกสายพันธุ์สำหรับย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ มีเอนไซม์ที่จำเป็นในการย่อยสลายและสารอาหารที่จำเป็นของจุลินทรีย์ ประกอบด้วยจุลินทรีย์ 2 ชนิด ได้แก่ ชนิดที่ใช้อากาศ (Aerobic Microorganism) และชนิดแฟคคัลเททีฟ (Facultative Microorganism) ทั้งนี้ไม่ได้มีการระบุความเข้มข้นของหัวเชื้อจุลินทรีย์ไว้ว่าเป็นเท่าใด

7.3 จุลินทรีย์จากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารที่ใช้ในการทดลองเป็นจุลินทรีย์ที่ผลิตขึ้นเอง โดยใช้ตะกอนจากถังเติมอากาศและน้ำเสียจากถังปรับเสถียรเป็นแหล่งของจุลินทรีย์ และกากน้ำตาลเป็นแหล่งอาหารให้กับจุลินทรีย์ ทั้งนี้ไม่สามารถระบุชนิดของจุลินทรีย์และความเข้มข้นของหัวเชื้อจุลินทรีย์ได้ว่าเป็นเท่าใด

7.4 ระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารมีการเติมจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงลงในถังย่อยไขมันต่อปริมาตรน้ำเสียในอัตราส่วนเท่ากับ 1:5,000 แต่ในการทดลองจะกำหนดอัตราส่วนการเติมจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงหรือจุลินทรีย์จากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียโรงอาหารต่อน้ำเสียเท่ากับ 1:1,000 (ปริมาณจุลินทรีย์ฯ 2 มิลลิลิตรต่อน้ำเสียจากถังปรับเสถียร 2 ลิตร) เนื่องจากมีข้อจำกัดด้านอุปกรณ์ที่ใช้ในการตวงจุลินทรีย์ฯ

7.5 ถังย่อยไขมันของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารของโรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่ง มีระยะเวลากักเก็บสูงสุดไม่เกิน 12 ชั่วโมง จึงกำหนดระยะเวลาทำการทดลอง 12 ชั่วโมง

7.6 เนื่องจากข้อจำกัดในการวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการ การทดลองนี้จึงไม่สามารถควบคุมชนิดของจุลินทรีย์และความเข้มข้นของจุลินทรีย์เริ่มต้นที่เติมลงในชุดการทดลอง แต่ได้มีการควบคุมสภาวะในการทดลองแต่ละชุดให้เหมือนกัน

8. นิยามศัพท์เฉพาะ

8.1 น้ำเสีย หมายถึง น้ำที่เกิดจากกิจกรรมการประกอบอาหาร การชำระล้างภาชนะและสิ่งสกปรกภายในโรงอาหารของโรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่ง ซึ่งผ่านตะแกรงดักขยะลงสู่ถังดักไขมัน และเข้าสู่ถังปรับเสถียรของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร

8.2 จุลินทรีย์ หมายถึง จุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง มีด้วยกัน 2 ชนิด ได้แก่ จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง และจุลินทรีย์จากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร

8.3 จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง หมายถึง หัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงชนิดสำเร็จรูปจากโรงงานผลิตหรือผู้จำหน่ายที่ยังไม่ได้แปรสภาพ

8.4 จุลินทรีย์จากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร หมายถึง หัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ขยายพันธุ์โดยวิธีการหมักตะกอน (Sludge) จากถังเติมอากาศชนิดฟิล์มตรึงถังที่ 1 และน้ำเสียจากถังปรับเสถียรของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารเป็นแหล่งของจุลินทรีย์ และใช้กากน้ำตาลเป็นแหล่งอาหารให้กับจุลินทรีย์

8.5 จุลินทรีย์ขยายจากจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง หมายถึง หัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง ชนิดสำเร็จรูปจากโรงงานผลิต (ข้อ 8.3) ปริมาตร 1 ส่วน นำมาผสมกับกากน้ำตาล 1 ส่วน และน้ำสะอาด 20 ส่วน หมักเป็นเวลา 7 วัน เพื่อให้ได้ปริมาณจุลินทรีย์ที่เพิ่มมากขึ้น

8.6 จุลินทรีย์ขยายจากจุลินทรีย์จากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร หมายถึง หัวเชื้อจุลินทรีย์จากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร (ข้อ 8.4) ปริมาตร 1 ส่วน นำมาผสมกับกากน้ำตาล 1 ส่วน และน้ำสะอาด 20 ส่วน หมักเป็นเวลา 7 วัน เพื่อให้ได้ปริมาณจุลินทรีย์ที่มากขึ้น

8.7 จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง สูตรเจือจาง หมายถึง จุลินทรีย์ขยายจากจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง (ข้อ 8.5) นำมาผสมกับน้ำสะอาดในอัตราส่วน 2 สูตร ได้แก่ 1:25 และ 1:15

8.8 จุลินทรีย์จากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร สูตรเจือจาง หมายถึง จุลินทรีย์ขยายจากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร (ข้อ 8.6) นำมาผสมกับน้ำสะอาดในอัตราส่วน 2 สูตร ได้แก่ 1:25 และ 1:15

8.9 จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง สูตรเข้มข้น หมายถึง จุลินทรีย์ขยายจากจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง (ข้อ 8.5) ที่ไม่ได้ผสมกับน้ำสะอาดก่อนนำไปใช้เติมลงในชุดทดลอง

8.10 จุลินทรีย์จากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร สูตรเข้มข้น หมายถึง จุลินทรีย์ขยายจากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร (ข้อ 8.6) ที่ไม่ได้ผสมกับน้ำสะอาดก่อนนำไปใช้เติมลงในชุดทดลอง

8.11 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศชนิดฟิล์มตรึง หมายถึง วิธีบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพโดยใช้จุลินทรีย์ชนิดใช้ออกซิเจนเป็นตัวหลักในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย จุลินทรีย์จะยึดเกาะตัวกลางพลาสติก (Plastic media) และเจริญเติบโตขึ้นจนเป็นแผ่นฟิล์มหรือเมือกจุลินทรีย์

8.12 ถังย่อยไขมัน หมายถึง บ่อย่อยสลายไขมันที่รับน้ำเสียมาจากถังปรับเสถียร มีการเติมจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง สูตรเจือจาง 1:25 เพื่อช่วยย่อยสลายไขมัน ภายในถังมีการเติมอากาศ เพื่อช่วยให้จุลินทรีย์สามารถสัมผัสกับสิ่งสกปรกในน้ำเสียได้อย่างทั่วถึง

8.13 ประสิทธิภาพ หมายถึง ความสามารถของจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงและจุลินทรีย์จากตะกอน (Sludge) ระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารที่จะลดค่าความสกปรกได้ ซึ่งใช้ค่าน้ำมันและไขมัน และค่าซีโอดี เป็นตัวบ่งชี้ ตามประกาศการนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย ที่ 76/2560 เรื่อง กำหนดมาตรฐานทั่วไปในการระบายน้ำเสียลงสู่ระบบบำบัดส่วนกลางในนิคมอุตสาหกรรม โดยคิดเป็นร้อยละของการบำบัด (%Removal) ดังนี้

$$\%\text{Removal} = \frac{\text{(ความเข้มข้นเริ่มต้น – ความเข้มข้นที่เหลือ)}}{\text{ความเข้มข้นเริ่มต้น}} \times 100$$

9. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

9.1 ทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง และจุลินทรีย์จากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารในการลดปริมาณน้ำมันและไขมัน และซีโอดีในน้ำเสียจากโรงอาหาร

9.2 ระบบบำบัดน้ำเสียมีประสิทธิภาพมากขึ้น และมีคุณภาพผ่านเกณฑ์มาตรฐานตามกฎหมายกำหนด น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

9.3 ช่วยลดค่าใช้จ่ายในการเดินระบบบำบัดน้ำเสีย

9.4 สามารถนำจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง และ/หรือจุลินทรีย์จากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารไปประยุกต์ใช้กับน้ำเสียที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันได้

บทที่ 2
วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงแนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและเป็นแนวทางเพื่อการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ โดยได้รวบรวมแนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวกับน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม การบำบัดน้ำเสีย และแนวคิดเรื่องการใช้จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง (Effective Microorganism: EM) ในการบำบัดน้ำเสีย

จากทฤษฎีแนวคิดที่ได้เกริ่นมานั้น ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้นำมาอธิบายเป็นรายการแต่ละเรื่องแต่ละทฤษฎี แนวคิด ที่เกี่ยวข้องมีทั้งหมด 5 ทฤษฎีและแนวคิดดังต่อไปนี้

1. การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพ
2. ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศชนิดฟิล์มตรึง (Fixed Film Aeration)
3. การบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารของโรงงานอุตสาหกรรม
4. จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง (Effective Microorganism: EM)
5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพ

ในการบำบัดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ นิยมใช้กระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพ เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูง และค่าใช้จ่ายในการเดินระบบต่ำกว่ากระบวนการทางเคมีหรือทางกายภาพ การบำบัดด้วยวิธีนี้จะอาศัยกิจกรรมของจุลินทรีย์เป็นหลัก โดยจุลินทรีย์ที่มีบทบาทมากที่สุด คือ แบคทีเรีย เนื่องจากแบคทีเรียมีวิธีดำรงชีพที่แบ่งได้กว้างๆ ออกเป็น 2 พวก คือ พวกที่ใช้ออกซิเจน และพวกที่ไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งทำหน้าที่ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้อยู่ในสภาพคงตัวกว่าเดิม สำหรับกลุ่มแบคทีเรียพวกอยู่ในสภาพที่มีและไม่มีออกซิเจน (Facultative Bacteria) ได้นั้นสามารถปรับตัวอยู่ได้กับทั้ง 2 สภาวะ ระบบบำบัดทางชีวภาพจะใช้ร่วมกับระบบบำบัดทางกายภาพในการบำบัดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์สูง

1.1 จุลชีววิทยาในระบบบำบัดน้ำเสีย

จุลินทรีย์ขนาดเล็ก เช่น แบคทีเรียจะใช้สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในน้ำเสียเป็นแหล่งอาหาร และพลังงานในการดำรงชีวิต หากย่อยสลายสารอินทรีย์/อนินทรีย์แล้วจะเกิดเป็น

ตะกอน (Sludge) และน้ำส่วนใส ตะกอนจะมีทั้งเซลล์ของแบคทีเรียที่ตาย และสารประกอบต่างๆ และน้ำส่วนใสจะมีปริมาณสารอินทรีย์ลดลง

1.1.1 แบคทีเรีย (Bacteria) คือ จุลินทรีย์กลุ่มหนึ่ง ลักษณะเป็นเซลล์เดียวขนาดเล็กมองด้วยตาเปล่าไม่เห็น มีผนังหุ้มเซลล์ 2 ชั้น ไม่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส (Nucleus) ส่วนใหญ่ไม่มีคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) พบว่ามีอยู่ทั่วๆ ไปในสิ่งแวดล้อม แม้แต่ภายในร่างกายของคนและสัตว์

1) รูปร่าง, ขนาด และการจับกลุ่มของเซลล์ มีหลายลักษณะดังนี้

(1) ยูแบคทีเรีย (Eubacteria) หรือทรูแบคทีเรีย (True Bacteria) มีรูปร่างได้ต่างๆ กันดังนี้

ก. ค็อกคัส (Coccus) หรือค็อกไค (Cocci) ลักษณะทรงกลมหรือเกือบกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5-11.0 ไมครอน อาจอยู่ติดกันเป็นกลุ่มในแบบต่างๆ กัน เช่น ค็อกคัส 2 เซลล์เรียงติดกันเรียกว่า ดิโพลค็อกคัส (Diplococcus) สี่เซลล์เรียงต่อกันเรียกว่า เทเทรด (Tetrad) หลายเซลล์ที่เรียงกันเป็นสายยาวเรียกว่า สเตรปโตค็อกคัส (Streptococcus) หลายเซลล์เรียงต่อกันเป็นกลุ่มคล้ายพวงองุ่นเรียกว่า สแตฟฟิโลค็อกคัส (Staphylococcus) และแปดเซลล์เรียงเป็นลูกบาศก์เรียกว่า ซาสินา (Sarcina)

ข. บาซิลลัส (Bacillus) หรือบาซิลไล (Bacilli) เป็นทรงกระบอกขนาดกว้าง 0.5-1.0 ไมครอน และยาว 1.5-3.0 ไมครอน ถ้าอยู่ติดกันเป็นเส้นยาว เรียกว่า สเตรปโต-บาซิลลัส (Streptobacillus)

ค. วิบริโอ (Vibrio) ลักษณะเป็นแท่งโค้งงอ

ง. สไปริลลัม (Spirillum) หรือสไปริลไล (Spirilli) เป็นแท่งยาวโค้งงอหลายโค้ง คล้ายงูเลื้อย

(2) แอกติโนไมซีท (Actinomycetes) ลักษณะเป็นเส้นยาวแตกกิ่งก้านคล้ายกิ่งไม้ ได้แก่ สเตรปโตมัยซิส (Streptomyces) และโนคาร์เดีย (Nocardia) ซึ่งย่อยสลายคาร์โบไฮเดรต และไฮโดรคาร์บอนได้ดี

(3) สไปโรคีท (Spirochaete) เป็นแท่งยาวบิดเป็นเกลียวคล้ายดอกสว่าน

(4) ไมโคพลาสมา (Mycoplasma) ลักษณะไม่แน่นอน เพราะไม่มีผนังเซลล์ (Cell wall)

(5) ริคเค็ทเซีย (Ricketsia) และคามัยเดีย (Chlamydia) รูปร่างไม่แน่นอน

(6) แบคทีเรียชั้นสูง (Higher Bacteria) รูปร่างต่างๆ กันได้หลายแบบ บางพวกมีเยื่อหุ้มเป็นเส้นยาวๆ เช่น แบคทีเรียสายใยจำพวก *Sphaerotilus Natans* บางชนิดมีก้านติดกับเซลล์ เช่น แบคทีเรียจำพวกที่ใช้เหล็ก (Iron Bacteria)

2) โครงสร้างของเซลล์แบคทีเรีย โครงสร้างของเซลล์แบคทีเรียมีความซับซ้อนไม่มากนัก แต่ละส่วนของโครงสร้างมักมีเอนไซม์ (Enzyme) ต่างชนิดกัน ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาชีวเคมีต่างๆ ในการย่อยสลายอินทรียสารและอนินทรียสาร และเพื่อการดำรงชีวิต แบคทีเรียบางชนิดโดยเฉพาะบาซิลลัส มักจะมีขนเส้นเล็กๆ (Flagella) ติดอยู่กับเซลล์ช่วยให้แบคทีเรียเคลื่อนที่ได้ โครงสร้างที่สำคัญที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับน้ำเสีย คือ แคปซูล (Capsule) ซึ่งเป็นเยื่อกเมือกหนาๆ หุ้มรอบเซลล์ หากน้ำเสียมีแบคทีเรียจำพวกนี้เป็นจำนวนมาก น้ำเสียนั้นจะมีลักษณะเป็นเมือกๆ เช่น น้ำเสียจากโรงงานทำเยื่อกระดาษ หรือน้ำเสียที่มีคาร์โบไฮเดรตสูง

3) การสืบพันธุ์ แบคทีเรียจำพวกทรูแบคทีเรีย จะสืบพันธุ์โดยการแบ่งตัวจาก 1 เป็น 2 จาก 2 เป็น 4 เซลล์ ไปเรื่อยๆ (Binary Fission) ส่วนการสร้างสปอร์นั้น ส่วนใหญ่จะสร้างโดยแบคทีเรียกลุ่มที่มีรูปร่างเป็นแท่ง ซึ่งไม่จัดว่าเป็นการสืบพันธุ์ สปอร์ของแบคทีเรีย เรียกว่า เอนโดสปอร์ (Endospore) แบคทีเรีย 1 เซลล์จะสร้างได้สปอร์เดียวอยู่ภายในเซลล์ และสปอร์จะเป็นอิสระก็ต่อเมื่อเซลล์เดิมสลายตัวไปแล้ว จำนวนจึงไม่เพิ่มขึ้นและไม่ถือเป็นการสืบพันธุ์ แบคทีเรียที่ไม่ได้อยู่ในช่วงมีสปอร์ เรียกว่า เวเจเททีฟ เซลล์ (Vegetative Cell) ซึ่งเป็นเซลล์ที่มีกิจกรรมต่างๆ ตามแต่ละชนิดของแบคทีเรีย

4) การดำรงชีพ การดำรงชีพของแบคทีเรียต้องใช้พลังงานและสารประกอบต่างๆ ทั้งในรูปของอินทรียสารและอนินทรียสาร ธาตุที่สำคัญในสารประกอบคือ คาร์บอน ฉะนั้นจึงแบ่งแบคทีเรียตามแหล่งของพลังงานและคาร์บอนที่ได้มา ได้กว้างๆ ดังนี้

(1) อาศัยแหล่งของพลังงาน

ก. แบคทีเรียสังเคราะห์แสง (Photosynthetic Bacteria) ได้พลังงานจากแสงอาทิตย์และธาตุคาร์บอนจากคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ซึ่งเป็นสารอนินทรีย์ เช่น สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน หรือจากสารอินทรีย์ ได้แก่ กรีนซัลเฟอร์แบคทีเรีย (Green Sulfur Bacteria) และเพอเพิลซัลเฟอร์แบคทีเรีย (Purple Nonsulfur Bacteria)

ข. แบคทีเรียที่ใช้พลังงานจากปฏิกิริยาเคมี (Chemosynthetic Bacteria) ได้พลังงานจากการออกซิเดชัน (Oxidation) ของสารอินทรีย์และอนินทรีย์ และได้คาร์บอนจากคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นสารอนินทรีย์หรือสารอินทรีย์อื่นๆ พวกที่ได้คาร์บอนจากสารอินทรีย์นี้ก็คือ กลุ่มที่ไม่สามารถสร้างอาหารเองได้ (Heterotroph) ซึ่งมีบทบาทในการบำบัดน้ำเสีย

(2) อาศัยแหล่งของคาร์บอน

ก. แบคทีเรียออโตโทรฟิก (Autotrophic Bacteria) ถือเป็นพวกที่สร้างอาหารได้เอง คาร์บอนได้จากอนินทรียสารคือคาร์บอนไดออกไซด์ และได้พลังงานจาก

แสงอาทิตย์หรือออกซิเดชันของสารอนินทรีย์ เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟล์ (H_2S) แอมโมเนีย (NH_3) ไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) เป็นต้น

ข. เฮเทอโรโทรฟิกแบคทีเรีย (Heterotrophic Bacteria) ได้คาร์บอนจากสารอินทรีย์และพลังงานจากแสงอาทิตย์ หรือ ออกซิเดชันของสารอินทรีย์ เป็นแบคทีเรียกลุ่มที่ทำให้ซากสิ่งมีชีวิตและอินทรียสารเน่าเปื่อย หรือถูกย่อยสลาย

5) ความต้องการเพื่อการเจริญของแบคทีเรีย ในทางแบคทีเรียวิทยาได้ให้ความหมายของคำว่า การเจริญ (Growth) ซึ่งหมายถึง การแบ่งเซลล์ทำให้มีปริมาณเพิ่มมากขึ้น (Population growth) ในการบำบัดน้ำเสียโดยใช้กิจกรรมของแบคทีเรียจำเป็นต้องทำให้แบคทีเรียมีการเจริญสูงสุด เพื่อให้การบำบัดน้ำเสียมีประสิทธิภาพสูงสุด

(1) ความต้องการสารอาหาร แบคทีเรียต้องการสารอาหารคล้ายๆ กับสิ่งมีชีวิตอื่นๆ คือ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน เกลือแร่ วิตามิน และน้ำ สำหรับเกลือแร่นั้นได้แก่ โปแตสเซียม (K) แมกนีเซียม (Mg) แมงกานีส (Mn) เหล็ก (Fe) ฟอสฟอรัส (P) กำมะถัน (S) โซเดียม (Na) และแคลเซียม (Ca) เป็นต้น บางธาตุต้องการในจำนวนที่น้อยมาก เช่น โคบอลต์ (Co) และโมลิบดีนัม (Mo) เป็นต้น

(2) อุณหภูมิ แบคทีเรียจะเจริญเติบโตได้ดีเมื่ออุณหภูมิเหมาะสม แบคทีเรียที่เจริญได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ (Psychrophilic) อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 15-20°C แบคทีเรียที่เจริญได้ดีที่อุณหภูมิปานกลาง (Mesophilic) อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 20-45°C และแบคทีเรียที่เจริญได้ดีที่อุณหภูมิสูง (Thermophilc) อุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 45-55°C

(3) พีเอช (pH) การที่แบคทีเรียจะเจริญได้ดีต้องอยู่ในสภาวะที่มีค่าพีเอชเหมาะสม ค่าพีเอชควรอยู่ในช่วง 4.5-9 ส่วนใหญ่มักจะอยู่ใกล้กับ 7 ยกเว้นบางชนิดที่ชอบความเป็นกรดหรือด่างมากๆ

1.1.2 รา (Fungi) ราเป็นจุลินทรีย์ที่ประกอบด้วยเซลล์หลายเซลล์ ไม่มีคลอโรฟิลล์ ลักษณะทั่วไปมักเป็นเส้นใยยาวๆ ไม่มีผนังกั้น และมีนิวเคลียส ได้หลายอัน เส้นใยราเรียก ไฮฟา (Hypha) เมื่อรวมกันเป็นกระจุกเรียกว่า ไมซีเลียม (Mycelium) มีราบางชนิดอาศัยอยู่ในน้ำ และส่วนใหญ่มักพบอยู่ในที่ที่มีความชื้นสูง รามีลักษณะที่แตกต่างจากแบคทีเรียคือ

1) เจริญได้ดีที่ค่าพีเอชต่ำกว่า 6 แต่แบคทีเรียส่วนมากอยู่ระหว่าง 7.0-7.6

2) สืบพันธุ์โดยสร้างสปอร์ สปอร์มีแบบต่างๆ กันได้หลายแบบ

3) ราย่อยสลายอินทรียสารพวกคาร์โบไฮเดรตได้ดี (แป้ง น้ำตาล เซลลูโลส) และสารอื่นๆ ที่มีโครงสร้างซับซ้อนได้ดีกว่าแบคทีเรีย

4) ราเจริญได้ดีกว่าแบคทีเรียในที่ที่มีไนโตรเจนน้อย

5) ราบางชนิดอยู่ร่วมกับสาหร่ายและพึ่งพาอาศัยกัน รวมเรียกว่า ไลเคนส์ (Lichens) ในระบบบำบัดน้ำเสียบางระบบ ราแสดงบทบาทในการย่อยสลายอินทรียสารได้มากพอสมควร เช่น ระบบโปรยกรอง (Trickling Filter)

1.1.3 สาหร่าย (Algae) สาหร่ายเป็นจุลินทรีย์ที่มีเซลล์เดียว มีนิวเคลียสขนาดใหญ่เห็นได้ชัดเจนกว่าแบคทีเรีย มีคลอโรฟิลล์อยู่ในคลอโรพลาสต์ (Chloroplast) มีรงควัตถุ (Pigment) ซึ่งอาจใช้ในการจำแนกชนิดได้ พบอยู่ตามที่ชื้นๆ หรือในน้ำทิ้ง, น้ำจืด และน้ำเค็ม สาหร่ายสามารถแบ่งได้หลายชนิด แต่ชนิดที่มีความสำคัญทางด้านวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมได้แก่

1) สาหร่ายสีเขียว (Green Algae) ที่พบบ่อยและสำคัญคือ สไปโรไจรา (*Spirogyra Spp*.) เป็นเส้นยาวๆ สีเขียว ลื่นๆ ขนาดประมาณเส้นผม

2) สาหร่ายที่เคลื่อนที่ได้ (Flagellated Algae) มีขนเป็นเส้นยาวๆ เรียกว่าแฟลกเจลลา (Flagella) ทำให้เคลื่อนที่ได้ พบในน้ำจืด เช่น ยูกลีนา (*Euglena* Spp.) และฟากัส (*Phacus* Spp.)

3) ไดอะตอม (Diatom) เซลล์ประกอบด้วย 2 ฝา ผนังเซลล์มีสารประกอบซิลิกา (Silica) หากมีจุลินทรีย์ชนิดนี้มาก เมื่อตายลงจะทับถมกันจนกลายเป็นดินลักษณะหนึ่งที่เรียกว่า ไดอะตอมเมเชียสเอิร์ท (Diatomaceous Earth)

สาหร่ายมีบทบาทในระบบบำบัดน้ำเสียบางระบบ เช่น ระบบบ่อผึ่ง (Oxidation pond) ถ้ามีมากเกินไปจะทำให้เกิดปัญหาในระบบบำบัดได้ แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อสาหร่ายเหล่านี้ตายไปซากของสาหร่ายจะกลายเป็นสารอินทรีย์ที่เป็นสารอาหารของแบคทีเรียต่อไป และในขณะที่สาหร่ายมีชีวิตอยู่จะได้รับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของแบคทีเรียและแบคทีเรียก็จะได้รับก๊าซออกซิเจนซึ่งเกิดจากการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย

1.1.4 โปรโตซัว (Protozoa) เป็นจุลินทรีย์ที่มีเซลล์เดียว มองด้วยตาเปล่าไม่เห็น มีขนาดใหญ่กว่าแบคทีเรีย บางชนิดอยู่รวมกันเป็นกลุ่ม เรียกว่า โคโลนี (Colony) เซลล์มักมีรูปร่างคงที่ไม่ค่อยเปลี่ยนแปลง ยกเว้นกลุ่มคลาสซาโคดินา (Class sarcodina) เช่น อะมีบา (Amoeba) เป็นต้น มีนิวเคลียส เห็นได้ชัด และอาจมีมากกว่า 1 นิวเคลียส บางชนิดเคลื่อนไหวด้วยแฟลกเจลลาหรือซีเลีย (Cilia) หรือซูโดโพเดียม (Pseudopodium) โปรโตซัวแบ่งได้หลายชนิดตามส่วนของเซลล์ที่ใช้ทำให้เคลื่อนไหวได้ ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึง 3 ชนิดเท่านั้น

1) ซาโคดินา (*Sarcodina)* ใช้ซูโดโพเดียม เช่น อะมีบาอาศัยอยู่ได้ในน้ำที่มีค่าออกซิเจนละลายน้ำต่ำ

2) แฟลกเจลลาตา (Flagellata) ใช้แฟลกเจลลา เช่น เพอรานีมา (*Peranema* Spp.) โกเนียม (*Gonium* Spp.) พบในน้ำเสียของระบบตะกอนเร่ง (Activated sludge)

3) ซีเลียตา (Ciliata) ใช้ซีเลีย เช่น พารามีเซียม (*Paramecium* Spp.), *Coleps* Spp., *Colpidium* Spp. พบในน้ำเสียระบบตะกอนเร่ง

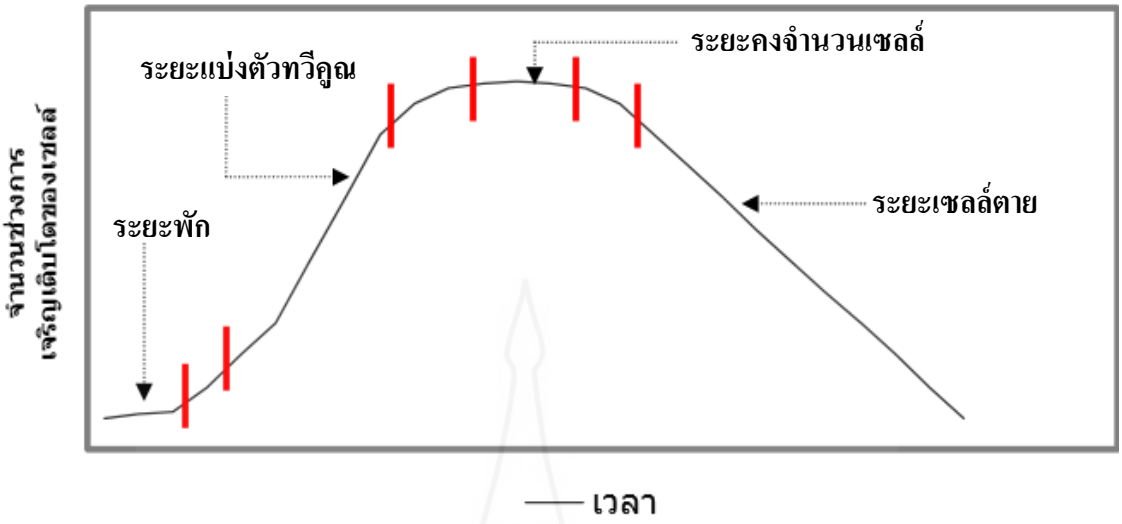
ในระบบบำบัดน้ำเสียบทบาทของโปรโตซัวนั้นมีไม่ค่อยเด่นชัดมากนัก ส่วนมากจะกินแบคทีเรียทั้งที่มีชีวิตและตายแล้ว

1.1.5 ไวรัส (Virus) นับเป็นสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่สุด ไม่มีลักษณะเป็นเซลล์ ถือเป็นอนุภาคที่มีชีวิต เรียกว่า ไวเรียน (Virion) ดำรงชีพแบบปรสิต ทำให้เกิดโรคแก่คน สัตว์และพืช มีการเพิ่มจำนวนโดยการเจาะเข้าสู่เซลล์เจ้าบ้าน (Host) และเพิ่มจำนวนอยู่ภายในเซลล์ มีไวรัสบางชนิดทำลายเซลล์ของแบคทีเรีย เรียกว่า แบคเทอริโอฟาจ (Bacteriophage) หรือเรียกสั้นๆ ว่าฟาจ (Phage) ซึ่งชนิดนี้มีความจำเพาะในการทำลายเซลล์ของแบคทีเรียแต่ละชนิด เช่น เซลล์ของอีโคไล (E. Coli) เรียกว่า คอลิฟาจไวรัส (Coliphage virus) และฟาจพบในน้ำเสีย

ในระบบบำบัดน้ำเสียบทบาทของไวรัสนั้นมีไม่ค่อยเด่นชัดมากนัก ส่วนมากจะกินแบคทีเรีย ซึ่งจะช่วยในการย่อยสลายอินทรียสารหรืออนินทรียสารในน้ำเสีย

1.2 การเจริญเติบโตของแบคทีเรีย

แบคทีเรียที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย โดยทั่วไปจะมีอยู่ตามธรรมชาติในลักษณะหลายชนิดรวมกัน ซึ่งในตอนเริ่มต้นของระบบบางครั้งอาจจะต้องเพาะเลี้ยงขึ้นมา แต่เมื่อระบบเดินไปคงที่แล้ว แบคทีเรียจะเกิดและตายตามวัฏจักร และเพิ่มจำนวนขึ้นจนมีปริมาณมากเกินไปต้องกำจัดออกจากระบบในรูปของตะกอนเป็นครั้งคราวตามประเภทของระบบบำบัดน้ำเสีย ลักษณะการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในถังปฏิกิริยาแบบทำงานเป็นช่วงๆ มีสารอาหารเริ่มต้นค่าหนึ่งจะมีการเพิ่มจำนวนมวลของแบคทีเรียดังแสดงในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 ลักษณะการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในถังปฏิกิริยาแบบทำงานเป็นช่วงๆ

ที่มา: พงศ์พิษณุ บุญดา (2547, น.17)

ขั้นตอนการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย แบ่งออกเป็น 4 ช่วง ดังนี้

1.2.1 ระยะพัก (Lag phase) เป็นช่วงแรกที่แบคทีเรียมีการปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อม และสารอาหาร จึงมีการเจริญเติบโตน้อย

1.2.2 ระยะแบ่งตัวทวีคูณ (Log growth phase) แบคทีเรียจะเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ในลักษณะเอกโปเนนเชียล (Exponential) มีร้อยละของการขยายตัวคงที่ จะเกิดในสภาวะที่มีสารอาหารมากเกินพอ

1.2.3 ระยะคงจำนวนเซลล์ (Stationary phase) หลังจากการขยายตัวของเซลล์แบคทีเรียมีมากขึ้นระยะหนึ่ง สารอาหารจะลดลง ทำให้อัตราการเพิ่มของแบคทีเรียลดลง และอัตราตายมากขึ้น ทำให้จำนวนเซลล์ของแบคทีเรียค่อนข้างคงที่ ในช่วงนี้จะมีสารอาหารเหลือน้อยลง

1.2.4 ระยะเซลล์ตาย (Death phase หรือ Endogeneous phase) เป็นขั้นตอนที่สารอาหารเหลือน้อยมาก แบคทีเรียจะต้องย่อยสลายโปรโตพลาสซึมในเซลล์เพื่อการสร้างพลังงาน แบคทีเรียส่วนหนึ่งจะตายเกิดไลซีส (Lysis) คือ การที่สารอาหารจากเซลล์ที่ตายแพร่ซึมไปเป็นอาหารแก่เซลล์ที่เหลืออยู่ จำนวนเซลล์แบคทีเรียโดยรวมจะลดลงตามเวลาการเกิดปฏิกิริยา

ในระบบบำบัดน้ำเสียจริง นิยมให้ระบบทำงานในช่วงระยะคงจำนวนเซลล์ตอนต้นๆ ของช่วงระยะเซลล์ตาย สำหรับระบบบำบัดแบบต่อเนื่อง (Continue) จะจัดให้มีจำนวน

แบคทีเรียและเวลาการเกิดปฏิกิริยาที่อยู่ในช่วงดังกล่าว ซึ่งทำให้มีสารอาหารเหลือในระบบน้อย และระบบมีแบคทีเรียที่ยังแข็งแรงเป็นส่วนใหญ่

1.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายทางชีวภาพ (Factor effecting biodegradation) ก่อนที่การย่อยสลายทางชีวภาพจะเริ่มต้นขึ้น จุลินทรีย์จะต้องมีการปรับตัวเข้ากับสารชีวภาพแปลกปลอม (Xenobiotic compound) นั้นๆ เสียก่อน ช่วงนี้จะเกิดการคัดเลือกและการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์จำเพาะที่สามารถย่อยสลายสารชีวภาพแปลกปลอม นั้นๆ ในขณะเดียวกันก็จะมีการผลิตเอนไซม์ที่ใช้เพื่อการย่อยสลายขึ้นมาด้วย การเจริญของจุลินทรีย์ในช่วงนี้จัดอยู่ในระยะพัก ซึ่งมีอัตราการเจริญเติบโตค่อนข้างต่ำ ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายทางชีวภาพพอสรุปได้ดังนี้ (กรรณิการณ์ ชูเกียรติวัฒนา, 2543)

1.3.1 สภาพแวดล้อมของการเจริญของจุลินทรีย์ ปัจจัยเพื่อการเจริญของจุลินทรีย์ เช่น สารอาหารที่มีคุณสมบัติเป็นแหล่งพลังงาน แหล่งธาตุคาร์บอน แหล่งธาตุไนโตรเจน แหล่งเกลือแร่ แหล่งวิตามิน แหล่งสารส่งเสริมการเจริญ ก๊าซต่างๆ อุณหภูมิ และพีเอชที่เหมาะสมต่อการเจริญ เป็นต้น ทั้งนี้ปัจจัยทางสภาพแวดล้อมของการเจริญที่สำคัญ ได้แก่

1) ปริมาณออกซิเจนโดยทั่วไป อัตราการย่อยสลายทางชีวภาพภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน (Aerobic) ยกเว้นสารชีวภาพแปลกปลอมบางชนิดที่เกิดการย่อยสลายทางชีวภาพภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจนจะเกิดขึ้นในอัตราที่เร็วกว่าสภาวะที่มีออกซิเจน ดังนั้นการเติมอากาศหรือการเพิ่มปริมาณออกซิเจน จึงสามารถเร่งอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพได้ การย่อยสลายอัลเคน (Alkane) และสารประกอบอะโรมาติกอย่างสมบูรณ์จะต้องขึ้นกับโมเลกุลออกซิเจน

2) ปริมาณสารอินทรีย์ ในสภาพแวดล้อมที่มีปริมาณสารอินทรีย์สูงจะพบจุลินทรีย์ในปริมาณที่สูง และส่งผลให้อัตราการย่อยสลายทางชีวภาพสูงขึ้น เนื่องจากจุลินทรีย์ได้รับสารอาหารในการเจริญอย่างเพียงพอ

3) ปริมาณไนโตรเจน ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารอีกชนิดหนึ่งที่จำเป็นต่อการเจริญของจุลินทรีย์ การที่มีปริมาณไนโตรเจนอย่างเพียงพอต่อการเจริญของจุลินทรีย์จะเป็นการช่วยเพิ่มอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพ

1.3.2 การเคยสัมผัสกับสารชีวภาพแปลกปลอม การที่จุลินทรีย์เคยสัมผัสกับสารชีวภาพแปลกปลอม นั้นๆ มาก่อน เป็นการลดระยะเวลาในการปรับตัวที่เรียกว่า เมตาโบลิก-อแดปเทชัน (Metabolic adaptation) ในระยะพักโดยการเปลี่ยนแปลง จะทำให้การผลิตเอนไซม์ที่จะใช้เพื่อการย่อยสลายดำเนินไปได้ดี และเป็นการเร่งอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพให้เร็วขึ้น

1.3.3 ปริมาณเริ่มต้นของจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่าย ในสภาพแวดล้อมอย่างเดียวกัน จุลินทรีย์จะเลือกย่อยสลายสิ่งที่ย่อยสลายได้ง่ายกว่าก่อน ดังนั้นการที่มีแหล่งคาร์บอนที่

ย่อยสลายได้ง่ายกว่าอยู่ด้วย จะทำให้จุลินทรีย์มีการปรับตัวให้เข้ากับสารชีวภาพแปลกปลอมนั้นๆ ได้ช้าลง การผลิตเอนไซม์ที่จำเพาะต่อการย่อยสลายจึงช้าลง และทำให้อัตราการย่อยสลายสารชีวภาพแปลกปลอมเกิดขึ้นได้ช้ากว่าที่ควร จุลินทรีย์แต่ละชนิดจะมีระดับความเข้มข้นของสารชีวภาพแปลกปลอมที่ยอมรับได้ หากสารชีวภาพแปลกปลอมสูงกว่าระดับที่ยอมรับได้จะเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ แต่ในทางตรงกันข้าม และหากระดับความเข้มข้นของสารชีวภาพแปลกปลอมต่ำเกินไป การปรับตัวของจุลินทรีย์ต่อสารชีวภาพแปลกปลอมนั้นๆ ก็จะไม่เกิดขึ้น

1.3.4 ลักษณะสมบัติของสารชีวภาพแปลกปลอม ลักษณะสมบัติของสารชีวภาพแปลกปลอมที่มีผลต่ออัตราการย่อยสลายคือ ลักษณะสมบัติทางเคมี เช่น โครงสร้างโมเลกุลและมวลโมเลกุล เป็นต้น และลักษณะสมบัติทางกายภาพ เช่น การละลายน้ำ การระเหยและความสามารถในการถูกดูดซับโดยของแข็ง ลักษณะสมบัติที่สำคัญที่สุดที่มีผลต่ออัตราการย่อยสลายคือ โครงสร้างทางเคมี และการละลายน้ำ สารชีวภาพแปลกปลอมที่มีโครงสร้างทางเคมีคล้ายคลึงกับสารที่มีอยู่ในธรรมชาติจะเกิดการย่อยสลายได้ง่าย

2. ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศชนิดฟิล์มตรึง (Fixed film aeration)

2.1 ทฤษฎีของระบบตะกอนเร่ง หรือระบบเอเอส

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งเริ่มใช้ครั้งแรกที่ประเทศอังกฤษตั้งแต่ปี ค.ศ. 1900 และมีการปรับปรุงให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสูงขึ้นตามลำดับ โดยได้ศึกษาเกี่ยวกับการทำน้ำเสียให้สะอาด (Waste purification) โดยการผ่านน้ำเสียเข้าไปในถังเติมอากาศที่มีจุลินทรีย์จำนวนมากเกาะกันเป็นกลุ่มตะกอน จุลินทรีย์จะทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียนั้น เพื่อใช้ในการเจริญเติบโต ต่อมาได้ทดลองหาวิธีปรับปรุงระบบเดิมโดยให้น้ำเสียผ่านเข้าสู่ถังเติมอากาศที่มีจุลินทรีย์ เพื่อให้มีการย่อยสลายสารอินทรีย์ และเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ให้มากขึ้น จากนั้นจึงทำให้ตะกอนจุลินทรีย์ที่มีชีวิต เกิดการรวมตัวและตกตะกอน และนำตะกอนบางส่วนย้อนกลับเข้ามาในระบบอีกครั้งหนึ่ง เพื่อเป็นการเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายและยังเป็นการเก็บจุลินทรีย์ไว้ในระบบบำบัดแทนที่จะปล่อยทิ้งไปกับน้ำทิ้ง ระบบตะกอนเร่งเป็นระบบที่ใช้กันอย่างแพร่หลายและเหมาะสมในกรณีที่มีที่ดินจำกัดและราคาแพง รวมทั้งต้องการน้ำทิ้งที่มีคุณภาพสูง ซึ่งเกณฑ์ที่ใช้ในการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียด้วยระบบตะกอนเร่งแสดงไว้ในตารางที่ 2.1

ระบบตะกอนเร่งมีส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือ ถังเติมอากาศและถังตกตะกอนโดยน้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดเบื้องต้น (Preliminary Primary Treatment; PT) ก่อนแล้วจะไหลเข้าถังเติมอากาศ (Aeration Tank; AT) ซึ่งจะต้องเติมอากาศอยู่นาน 6-24 ชั่วโมง การเติมอากาศนี้เป็นการเร่ง

ปฏิกิริยาของเชื้อจุลินทรีย์ในการสันดาปกับสารอินทรีย์ และสารอื่นๆ ที่มีอยู่ในน้ำเสีย เพื่อให้ผลพลอยได้สุดท้ายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) น้ำ (H_2O) ไนเตรต (NO_3^-) ซัลเฟต (SO_4^{2-}) ฟอสเฟต (PO_4^{3-}) รวมทั้งจำนวนจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นในสภาวะที่มีการเติมอากาศเข้าไป

ตารางที่ 2.1 เกณฑ์ที่ใช้ในการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียด้วยระบบตะกอนเร่ง

Process Modification	**SRT (Day)**	**F/M ratio (g.BOD/g.MLSS)**	**Volumetric Loading (kg.BOD/m^3*day)**	**MLSS (mg/l)**	**HRT (hr.)**
1. Conventional	5-15	0.20-0.4	0.32-0.64	1500-3000	4-8
2. Complete-mix	5-15	0.2-0.6	0.80-1.92	2500-4000	3-5
3. Step-Feed Aeration	5-15	0.2-0.4	0.64-0.96	2000-2500	3-5
4. Modified Aeration	0.2-0.5	1.5-5.0	1.20-2.40	200-1000	1.5-3
5. Contact Stabilization	5-15	0.2-0.6	0.96-1.20	1000-3000[a]	0.5-1.0[a]
				4000-10000[b]	3-6[b]
6. Extended Aeration	20-30	0.05-0.15	0.16-0.40	3000-6000	18-36
7. High-Rate Aeration	5-10	0.4-1.5	1.60-16.0	4000-10000	2-4
8. Krans Process	5-15	0.3-0.8	0.64-1.60	2000-3000	4-8
9. High-Purity Oxygen	3-10	0.25-1.0	1.60-3.20	2000-5000	1-3
10. Oxidation Ditch	10-30	0.05-0.30	0.08-0.48	3000-5000	8-36
11. Sequencing Batch Reactor	N/A	0.5-0.6	0.08-0.24	1500-5000	12-50
12. Deep Shat Reactor	N/A	0.5-5.0	N/A	N/A	0.5-5
13. Single-State Nitrification	8-20	0.10-0.25	0.80-0.32	2000-3000	6-15
14. Separated Stage Nitrification	15-100	0.50-0.20	0.50-0.14	2000-3500	3-6

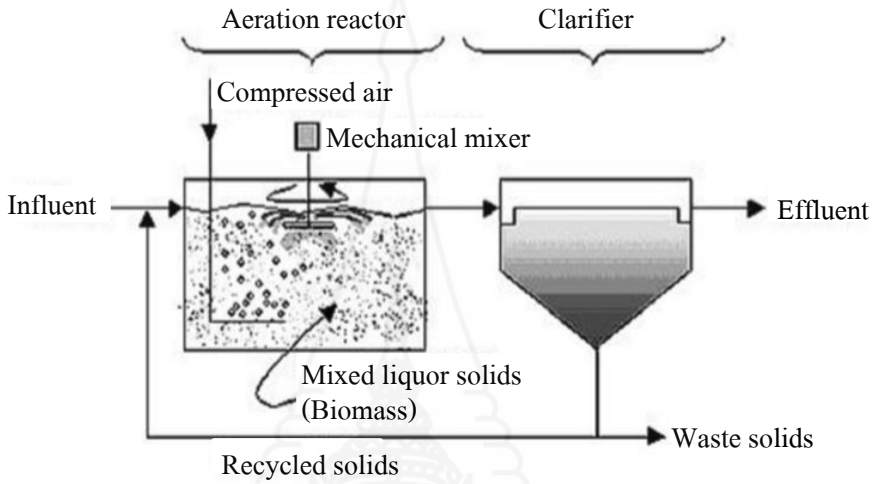
หมายเหตุ. [a] ถัง Contact, [b] ถัง Stabilization

SRT = Sludge Retention Time (อายุตะกอน)

HRT = Hydraulic Retention Time (ระยะเวลาในการบำบัด)

ที่มา : วีระพล วงษ์ประพันธ์ (2547, น.6-7)

เมื่อเชื้อจุลินทรีย์มีจำนวนเพิ่มมากขึ้นในถังเติมอากาศก็จะมีการปล่อยให้ตกตะกอนในถังตกตะกอนเพื่อแยกเอาส่วนใสที่ผ่านการบำบัดแล้วปล่อยลงแหล่งน้ำสาธารณะต่อไป ตะกอนจากถังตกตะกอนก็จะหมุนเวียนกลับไปยังถังเติมอากาศ และสูบตะกอนส่วนเกินไปกำจัดต่อไปดังแสดงดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพแบบตะกอนเร่ง

ที่มา : วีระพล วงษ์ประพันธ์ (2547, น.8)

ระบบตะกอนเร่งมีลักษณะแตกต่างกันหลายรูปแบบ แต่ทุกแบบจะมีหลักการเหมือนกันกล่าวคือ ระบบจะต้องประกอบด้วยถังปฏิกิริยาซึ่งเป็นถังเติมอากาศ และถังตกตะกอน (Sedimentation tank) น้ำเสียจะถูกสูบมาเข้าถังเติมอากาศเพื่อทำปฏิกิริยากับแบคทีเรีย อัตราการย่อยสลายบีโอดีโดยแบคทีเรียจะถูกเร่งให้เร็วขึ้นโดยการเพิ่มปริมาณออกซิเจน และปริมาณแบคทีเรีย ดังนั้นแบคทีเรียจะย่อยสลายบีโอดีในน้ำเสียและเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็ว ปริมาณแบคทีเรียในถังเติมอากาศจะมีมากจนจับกันเป็นตะกอนชิ้นใหญ่ มีสีน้ำตาลเข้มซึ่งเรียกว่า สลัดจ์ (Sludge) น้ำผสมระหว่างน้ำเสียกับตะกอนแบคทีเรียในถังเติมอากาศเรียกว่า มิกซ์ ลิเคอร์ (Mixed Liquor) ในถังเติมอากาศจะมีระบบเติมอากาศเพื่อทำหน้าที่ให้ออกซิเจนแก่แบคทีเรียและกวนน้ำผสมระหว่างน้ำเสียกับตะกอนแบคทีเรียในถังเติมอากาศ เพื่อให้ตะกอนแบคทีเรียอยู่ในลักษณะแขวนลอยกระจายไปทั่วถังเติมอากาศ หลังจากถูกกักอยู่ในถังเติมอากาศเป็นเวลาหลายชั่วโมง น้ำผสมระหว่างน้ำเสียกับตะกอนแบคทีเรียจะไหลจากถังเติมอากาศเข้าสู่ถังตกตะกอนเพื่อแยก

ตะกอนแบคทีเรียออกจะได้น้ำทิ้งที่ใสสะอาดและมีค่าบีโอดีลดลง ส่วนตะกอนแบคทีเรียที่จมอยู่ก้นถังตกตะกอนส่วนใหญ่จะถูกสูบไปเข้าถังเติมอากาศอีกครั้ง เพื่อรักษาปริมาณแบคทีเรียในถังเติมอากาศให้คงที่ โดยตะกอนควรมีอายุหรือระยะการเจริญของแบคทีเรียอยู่ในระยะแบ่งตัวทวีคูณ เพื่อจะทำให้การย่อยสลายเกิดขึ้นได้เร็ว ส่วนตะกอนแบคทีเรียส่วนเกินจะนำไปกำจัด ปริมาณหรือความเข้มข้นของแบคทีเรียในถังเติมอากาศคิดเป็นปริมาณตะกอนแขวนลอยของน้ำผสมระหว่างน้ำเสียกับตะกอนแบคทีเรีย (Mixed Liquor Suspended Solids, MLSS) หรือส่วน MLSS ที่เป็นสารอินทรีย์ (Mixed Liquor Volatile Suspended Solids, MLVSS) ส่วนอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M ratio) คิดจากอัตราส่วนระหว่างปริมาณบีโอดีที่เข้าสู่ถังเติมอากาศกับปริมาณ MLSS หรือ MLVSS ที่อยู่ในถังเติมอากาศ

นอกจากแบคทีเรียแล้วในระบบตะกอนเร่งยังมีจุลินทรีย์อื่นๆ ปนอยู่ ที่สำคัญได้แก่ โปรโตซัว ซึ่งแม้จะไม่มีส่วนช่วยโดยตรงในการย่อยสลายบีโอดี แต่จะช่วยกินแบคทีเรียที่อยู่เป็นอิสระทำให้น้ำใสขึ้น

2.2 จุลินทรีย์ในระบบตะกอนเร่ง

2.2.1 ถังเติมอากาศ จุลินทรีย์ส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรีย ซึ่งสามารถแบ่งจุลินทรีย์ตามการทำงานในระบบได้ 4 จำพวก คือ

1) กลุ่มสร้างตะกอน (Floc forming microorganisms) ได้แก่ Zooglea Ramigera แบคทีเรียในสกุลซูโดโมแนส (Genus Pseudomonas) ฟลาโวแบคทีเรียม (Flavobacterium) และ Alcaligenes

2) กลุ่มหลักย่อยสลายสารอินทรีย์ (Saprophyte) ทั้งนี้บางจำพวกอาจสร้างหรือไม่ช่วยในการสร้างตะกอน

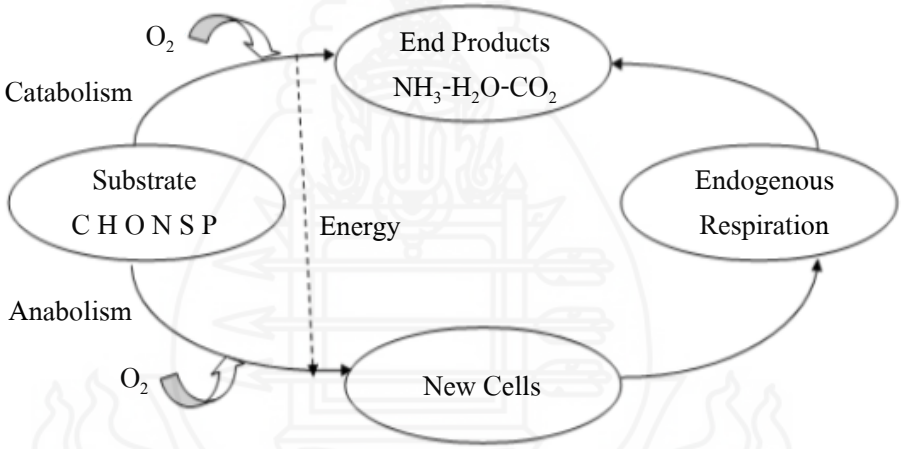
3) กลุ่มจุลินทรีย์ที่ทำลายจุลินทรีย์ด้วยกัน (*Predator)* มักมีขนาดใหญ่กว่าจำพวกอื่น เช่น โปรโตซัวกินแบคทีเรีย

4) กลุ่มจุลินทรีย์ก่อกวน (Nuisance icroorganisms) ได้แก่ แบคทีเรียที่เป็นเส้นใยและราบางพวกที่ทำให้เกิดปัญหาตะกอนลอย (Bulking)

2.2.2 ถังตกตะกอน มักพบแบคทีเรียที่เป็นเส้นใยที่ทำให้เกิดปัญหาตะกอนลอย คือ *Sphaerotilus natans* มีรูปร่างเป็นแท่งเป็นเส้นยาว นอกจากนี้มักพบ *Thiothrix, Beggiatoa, Leptothrix และ Leptomitus* เป็นต้น

2.3 ปฏิกิริยาชีวเคมีในระบบ (Biochemical reaction in process)

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้มากกว่าร้อยละ 90 ซึ่งส่วนที่ถูกบำบัดไปส่วนใหญ่ได้แก่ สารอินทรีย์ การบำบัดจะอาศัยปฏิกิริยาทางชีวเคมี (Biochemical reaction) เป็นส่วนใหญ่ ขบวนการในการบำบัดของระบบนี้ ดังแสดงในภาพที่ 2.3 การที่แบคทีเรียจะเจริญเติบโตได้ดีต้องอาศัยสารต่างๆ เช่น เอนไซม์ และโคเอนไซม์ ซึ่งจะไปช่วยในกระบวนการสังเคราะห์ (Synthesis) ของแบคทีเรีย สารที่ประกอบเป็นตัวแบคทีเรียส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ที่อยู่ในธรรมชาติ เช่น คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ออกซิเจน (O) ไนโตรเจน (N) กำมะถัน (S) และฟอสฟอรัส (P) อาจจะมีสารอนินทรีย์อื่นที่แบคทีเรียจำเป็นต้องใช้ในขบวนการสังเคราะห์ เช่น ไอออนบวก (Cation) ต่าง ๆ ได้แก่ โซเดียม (Na) แคลเซียม (Ca) และแมกนีเซียม (Mg) จะช่วยให้เกิดการถ่ายเทพลังงานของเอนไซม์ สารจำพวกไนโตรเจนแบคทีเรียจะนำเอาไปสร้างกรดอะมิโนและเซลล์ของแบคทีเรีย



ภาพที่ 2.3 ขบวนการสลายตัวของอินทรียสารในสภาพที่มีอากาศและเชื้อจุลินทรีย์

ที่มา: วีระพล วงษ์ประพันธ์ (2547, น.9)

ดังนั้นการบำบัดน้ำเสียต้องอาศัยพื้นฐานทางด้านชีวเคมีเป็นสำคัญ ข้อมูลที่จำเป็นของระบบตะกอนเร่ง มีดังต่อไปนี้

2.3.1 ภาวะสมดุล น้ำเสีย จุลินทรีย์ และอากาศมีความจำเป็นที่จะต้องเลือกใช้อย่างพอเหมาะตามอัตราส่วนที่ระบบตะกอนเร่งต้องการ ซึ่งทั้งสามอย่างนี้จะอยู่รวมกันในถังเติม

อากาศ ถ้าหากมีการควบคุมทั้งสามสิ่งนี้ให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมแล้วปฏิกิริยาต่างๆ ในการบำบัดน้ำทิ้งจะเกิดได้เร็ว และประสิทธิภาพในการบำบัดสูง

2.3.2 อินทรียสาร (Organic waste) เนื่องจากระบบบำบัดทางชีววิทยาจะไปย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ค่าความสกปรกของน้ำเสียมักจะวัดออกมาในรูปของบีโอดี แต่การวัดค่าความสกปรกในรูปของบีโอดี ต้องใช้เวลา 5 วันจึงทราบผล ดังนั้นจึงนิยมใช้ค่าซีโอดีแทน โดยปกติแล้ว COD:BOD ของน้ำเสียชุมชนประมาณ 2-4 เท่า และน้ำเสียจากโรงอาหารของโรงงานอุตสาหกรรม ประมาณ 2 เท่า

2.3.3 จุลินทรีย์ปฏิกิริยา (Active microorganism) ในการบำบัดน้ำเสียโดยใช้กระบวนการทางชีววิทยา ค่าของความสกปรกจะใช้เป็นอาหารให้กับจุลินทรีย์กลุ่มเฮทเทอร์โร-จีเนียส (Heterogeneous microorganism) และมีกลุ่มอื่นๆ ปะปนอยู่บ้าง มีทั้งพืชและสัตว์ที่อาศัยอยู่ในน้ำและดิน โดยทั่วไปในระบบบำบัดน้ำเสียจะเรียกรวมกันว่า ตะกอนจุลินทรีย์ (Biological sludge) ซึ่งวิเคราะห์เป็นค่าที่เรียกว่า เอ็มแอลเอสเอส (MLSS)

2.3.4 ตะกอนส่วนเกิน (Waste sludge) ในการบำบัดน้ำเสียเมื่อมีการเพิ่มอาหาร (Load) ให้กับจุลินทรีย์ จุลินทรีย์จะเพิ่มปริมาณมากขึ้นและใช้อาหารในการเจริญเติบโตมาก เมื่ออัตราการเกิดมาก ปริมาณอาหารก็จะลดลง หรือถ้าหากเติมอาหารให้กับระบบตลอดเวลา จุลินทรีย์จะเพิ่มมากขึ้นจนเกินความจำเป็นที่จะคงไว้ในระบบบำบัด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องเอาออกจากระบบ หรือเรียกส่วนนี้ว่า ตะกอนส่วนเกินของระบบ

2.3.5 ออกซิเจน (Oxygen) จุลินทรีย์จะใช้โมเลกุลของออกซิเจนในปฏิกิริยาที่เรียกว่า ออกซิเดชัน (Oxidation) ซึ่งปริมาณของออกซิเจนในระบบบำบัดจะต้องมีเพียงพออย่างสม่ำเสมอ เพื่อที่จะใช้ในกระบวนการสังเคราะห์เซลล์และออกซิเดชัน ซึ่งปริมาณความต้องการออกซิเจนของระบบบำบัดนั้น น้ำเสียแต่ละชนิดจะมีความต้องการที่ไม่เท่ากัน

2.4 การทำงานของระบบฟิล์มตรึง (Fixed film system)

2.4.1 ลักษณะของระบบฟิล์มตรึง

สารอินทรีย์ในน้ำเสียเมื่อระบายทิ้งลงแหล่งน้ำธรรมชาติจะสามารถถูกย่อยสลายโดยกระบวนการทำความสะอาดตัวเองในธรรมชาติ (Self-Purification Process) จุลชีพที่สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์อาจแบ่งได้เป็นสองกลุ่มใหญ่ๆ คือ จุลชีพประเภทที่แขวนลอยในน้ำ (Suspended microorganism) และจุลชีพประเภทเกาะติดพื้นผิว (Attached microorganism) หรือที่นิยมเรียกว่า จุลินทรีย์ฟิล์มตรึง (Fixed film microorganism) สารอินทรีย์ส่วนใหญ่จะถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในกลุ่มฟิล์มตรึง ดังนั้นจึงได้มีการนำหลักการนี้มาประยุกต์ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียอย่างกว้างขวาง เช่น ระบบโปรยกรอง และระบบอาร์บีซี (Rotating Batch Reactor, RBC) ซึ่งมักจะ

เรียกจุลชีพกลุ่มที่พบในระบบบำบัดน้ำเสียนี้ว่า ฟิล์มชีวภาพหรือเมือกชีวภาพ (Biofilm) ลักษณะสมบัติของเมือกจุลินทรีย์ที่เกาะบนผิววัสดุต่างๆ นั้น ขึ้นกับองค์ประกอบหลายประการ เช่น ชนิดสารอินทรีย์ต่างๆ ในน้ำนั้นๆ ความเร็วของน้ำไหลผ่านผิวของวัสดุ ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ ค่าพีเอชของน้ำ และลักษณะผิววัสดุที่เมือกจุลินทรีย์เกาะ เป็นต้น

2.4.2 การเกาะหลุด (Microbial attachment and sloughing)

การเกาะหลุดของเมือกจุลินทรีย์นั้นจะเกิดขึ้นเป็นวัฏจักร โดยการหลุดของเมือกจุลินทรีย์ในระบบโปรยกรองเกิดทุกๆ 14 วัน และจะมีเมือกจุลินทรีย์ใหม่มาเกาะแทนที่แล้วก็หลุดไปอีกเช่นนี้สลับกันไป แบคทีเรียสามารถเกาะบนผิววัสดุต่างๆ ได้ และจะเกาะได้ดีถ้าผิววัสดุมีความหยาบ การเกาะติดบนผิววัสดุของแบคทีเรียเกิดขึ้นโดยแบคทีเรียจะสร้างเส้นใยขนาดเล็กรอบตัวเซลล์ เส้นใยเหล่านี้จะเกาะจับแน่นกับเส้นใยของเซลล์ตัวอื่น ทำให้แบคทีเรียสามารถเกาะติดหนาเป็นฟิล์มบนผิววัสดุได้ เส้นใยเหล่านี้เรียกว่า ไกลโคแคลิกซ์ (Glycocalyx) ซึ่งเป็นสารโพลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharides) หรือเป็นโมเลกุลน้ำตาลซึ่งมีกิ่ง (Branching sugar molecules) เส้นใยนี้ประกอบด้วยโพลิแซ็กคาไรด์ และไกลโคโปรตีน (Glycoproteins) จะอยู่ในลักษณะที่เกี่ยวพันกันแน่นทำให้ดูเหมือนว่าเซลล์แบคทีเรียจมตัวและถูกฝังอยู่ในสารละลายโพลิแซ็กคาไรด์ ดังนั้นปริมาตรรวมของเซลล์แบคทีเรียเหล่านี้ในเมือกจุลินทรีย์จึงน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาตรทั้งหมดของเมือกจุลินทรีย์ ในเส้นใยจะเป็นที่เก็บน้ำย่อยที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ให้เล็กลงและสามารถละลายน้ำได้ ก่อนที่จะถูกใช้ผ่านผนังเซลล์แบคทีเรียต่อไป การหลุดของเมือกจุลินทรีย์ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างได้แก่ ความเร็วของน้ำที่ไหลผ่าน ปริมาณของออกซิเจนที่ละลายน้ำ โดยพบว่าอัตราการหลุดของมวลจุลชีพแปรเปลี่ยนโดยตรงกับความเร็วรอบการหมุนในระบบอาร์บีซี ความหนาของฟิล์มจะแปรผกผันกับความเร็วรอบ ส่วนระบบโปรยกรองสาเหตุที่สำคัญของการหลุดของฟิล์มชีวภาพนั้น เนื่องมาจากเมือกจุลินทรีย์มีความหนามากจนกระทั่งชั้นในเกิดสภาพขาดออกซิเจนอิสระ สารอินทรีย์จะถูกย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนอิสระ ก๊าซมีเทนที่เกิดจะดันให้ฟิล์มชีวภาพหลุดออก นอกจากนี้ถ้าเมือกจุลินทรีย์มีความหนามากในที่สุดจะถูกถ่วงดึงให้หลุดโดยน้ำหนักของเมือกจุลินทรีย์เอง

2.4.3 องค์ประกอบทางเคมี

เมือกจุลินทรีย์ประกอบด้วยน้ำสูงถึงร้อยละ 87-96 โดยน้ำหนัก และมีสารระเหยง่าย (Volatile solids) เพียงร้อยละ 1.9-3.2 เท่านั้น ส่วนประกอบเคมีสามารถเขียนเป็นสูตรเคมีได้ดังนี้ $C_5H_7O_2N$ นอกจากนี้ฟิล์มชีวภาพยังประกอบไปด้วยสารอนินทรีย์ในปริมาณน้อย ได้แก่ แคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และเหล็ก (Fe) เป็นต้น ซึ่งปริมาณสารอนินทรีย์เหล่านี้ในฟิล์มชีวภาพขึ้นกับความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย

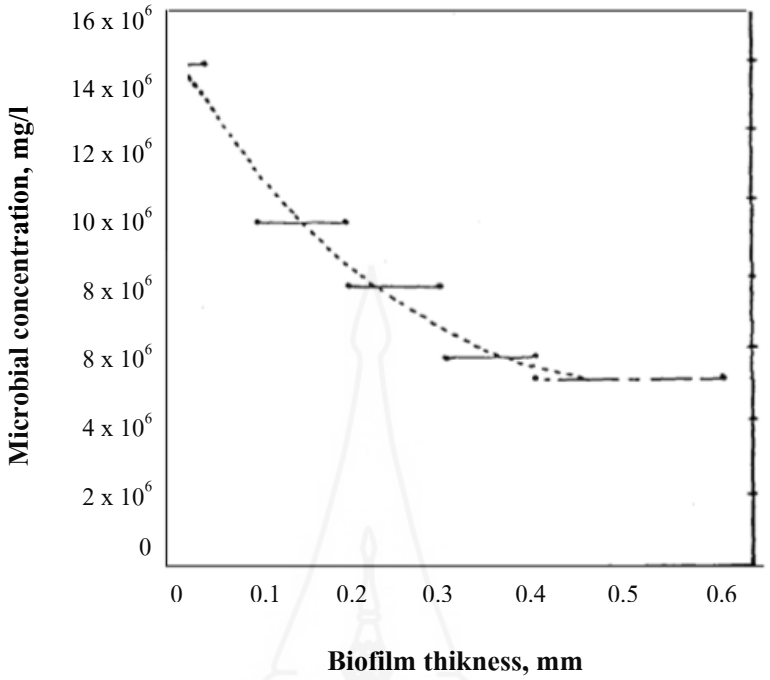
2.4.4 ความหนาแน่นของจุลชีพ

เนื่องจากเมือกจุลินทรีย์ประกอบด้วยน้ำสูงถึงร้อยละ 87-96 และเซลล์จุลชีพในเมือกจุลินทรีย์ยังประกอบด้วยน้ำสูงถึงร้อยละ 90 (เกริกพงษ์ ชาญประทีป, 2530) ดั้งนั้นค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) ของเมือกจุลินทรีย์จึงใกล้เคียงกับค่าของน้ำ ความหนาแน่นของจุลชีพนี้สามารถวัดเป็นจำนวนหรือน้ำหนักแห้ง แต่ในทางวิศวกรรมมักนิยมวัดเป็นน้ำหนักแห้ง ความหนาแน่นของจุลชีพในเมือกจุลินทรีย์นี้ขึ้นกับสภาวะแวดล้อมต่างๆ เช่น ความเร็วของน้ำที่ไหลผ่าน อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ อุณหภูมิและชั้นความหนาของเมือกจุลินทรีย์ ความหนาแน่นของจุลชีพในเมือกจุลินทรีย์จะสูงขึ้นเมื่อความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านสูงขึ้น และอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์สูงขึ้น เคยมีผู้ทำการศึกษาพบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 30 องศาเซลเซียส ความหนาแน่นของจุลชีพจะสูงขึ้นตามอุณหภูมิ แต่พบว่าน้ำหนักทั้งหมดของเมือกจุลินทรีย์ในระบบโปรยกรองจะต่ำลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เมือกจุลินทรีย์มีจำนวนจุลชีพสูงถึง 104-105 ตัวในหนึ่งลูกบาศก์เซนติเมตร ความหนาแน่นของจุลชีพในเมือกจุลินทรีย์ยังขึ้นกับถังปฏิกิริยาที่ใช้ ความหนาของเมือกจุลินทรีย์แสดงดังตารางที่ 2.2 และความหนาแน่นของจุลชีพในชั้นที่อยู่ใกล้ผิวตัวกลางที่เกาะจะมีค่าสูงกว่าชั้นที่อยู่ถัดไปแสดงดังภาพที่ 2.4

ตารางที่ 2.2 ความหนาแน่นของจุลชีพในเมือกจุลินทรีย์ในถังปฏิกิริยาที่ชั้นความหนาต่างๆ

Density (mg TSS/ml)	**Fixed film thickness (µm)**	**Type of reactor**	**Reference**
90	<300	Rotating Annular Submerged	Kornegay & Andrews 1970
37.5	100-3,800	Drum	Tomlinson & Snaddon 1966
111	200	Rotating Tube	Hoehn & Ray 1973
20	>200	Rotating Cylinder	Hoehn & Ray 1973
669	28-183	Rotating Cylinder Submerged-Packed Colum	Namkung et al. 1983

ที่มา: สิราภรณ์ โพธิวิชยานนท์ (2553, น.18)



ภาพที่ 2.4 ความหนาแน่นของจุลชีพในเมือกจุลินทรีย์ที่ชั้นความหนาต่างๆ

ที่มา : สิราภรณ์ โพธิวิชยานนท์ (2553, น.18)

2.4.5 กระบวนการบำบัดสารอินทรีย์

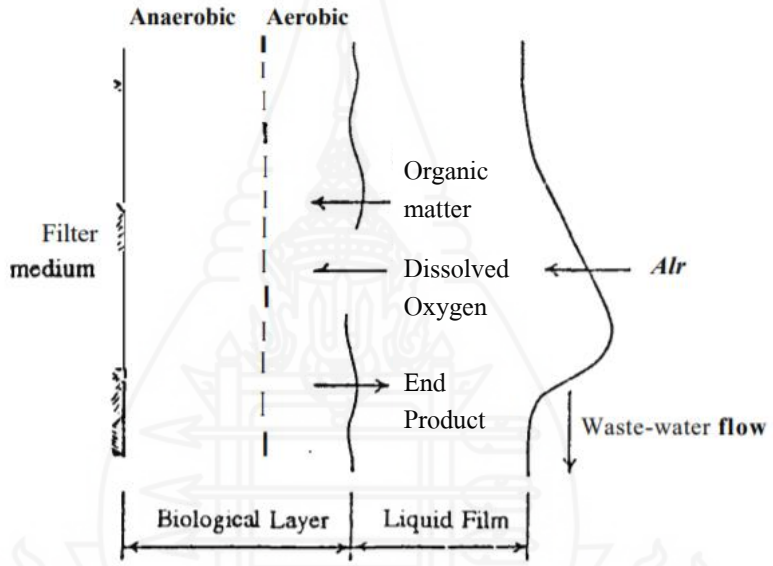
กระบวนการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่ไหลผ่านระบบบำบัดแบบฟิล์มตรึงนั้นเป็นกระบวนการถ่ายเทมวลและปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกิดพร้อมกันอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์อาจถูกควบคุมโดยออกซิเจนหรือสารอินทรีย์ กล่าวคือ ชั้นนอกจะเป็นชั้นแอโรบิก (Aerobic layer) ปฏิกิริยาย่อยการสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียเป็นแบบใช้ออกซิเจน ส่วนชั้นในถัดเข้าไปจะเป็นชั้นที่ไม่มีออกซิเจน (Anaerobic layer) ดังนั้นปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์จึงเป็นแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic decomposition) ปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยใช้ออกซิเจนอิสระรวดเร็วกว่าแบบไม่ใช้ออกซิเจน ดังนั้นอัตราย่อยสลายสารอินทรีย์จึงขึ้นกับปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกิดในชั้นแอโรบิกเป็นส่วนใหญ่ ดังแสดงในรูปที่ 2.5 โดยขั้นตอนกระบวนการบำบัดสารอินทรีย์โดยเมือกจุลินทรีย์ สามารถอธิบายได้ดังนี้

1) สารอินทรีย์และออกซิเจน จะถ่ายเทจากชั้นน้ำเสียเข้าสู่ชั้นรอยต่อของเมือกจุลินทรีย์กับชั้นของของเหลว

2) จากนั้นสารอินทรีย์และออกซิเจนจะถ่ายเทจากชั้นรอยต่อของเมือกจุลินทรีย์กับชั้นของของเหลวเข้าสู่ภายในเมือกจุลินทรีย์

3) เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ และใช้ออกซิเจนโดยเชื้อจุลินทรีย์ภายในเมือกจุลินทรีย์

4) เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ ถ่ายเทออกจากชั้นเมือกจุลินทรีย์ผ่านรอยต่อของเมือกจุลินทรีย์กับชั้นของของเหลว และออกสู่บรรยากาศภายนอก



ภาพที่ 2.5 กระบวนการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่ไหลผ่านระบบฟิล์มตรึง

ที่มา: Mark, J.H. (1931, p.365)

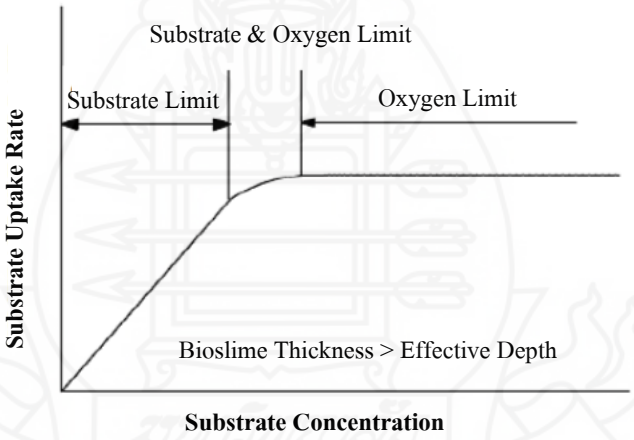
2.4.6 ความหนาของเมือกจุลินทรีย์

ลักษณะชั้นของเมือกจุลินทรีย์มีความหนามากอาจแบ่งเป็น 2 ชั้นคือ ชั้นแอโรบิก และชั้นแอนแอโรบิก อัตราการใช้สารอินทรีย์โดยเมือกจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นเมื่อความหนาของเมือกจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น และอัตราการใช้สารอินทรีย์จะคงที่เมื่อความหนาของเมือกจุลินทรีย์หนามากกว่าความหนาของชั้นแอโรบิก โดยความหนาของชั้นแอโรบิก ประมาณ 70-100 ไมโครเมตร ความหนานี้ขึ้นกับความเข้มข้นของสารอินทรีย์ ซึ่งเมือกจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียต่างๆ นั้น

จะมีกระบวนการบำบัดสารอินทรีย์เกิดขึ้นเฉพาะชั้นผิวนอกบางๆ เท่านั้น ดังนั้นในการเพิ่มประสิทธิภาพระบบบำบัดดังกล่าวกระทำได้โดยเพิ่มความหนาของชั้นแอโรบิก เช่น การใช้ออกซิเจนแทนอากาศ เป็นต้น

2.4.7 สภาพขาดสารอินทรีย์ และออกซิเจน

ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนอิสระ ปฏิกิริยาชีวเคมีนี้ประกอบด้วยสารให้อิเล็กตรอน (Electron donor) คือ สารอินทรีย์ต่างๆ และสารรับอิเล็กตรอน (Electron acceptor) คือ ออกซิเจน ซึ่งอยู่ในรูปละลายน้ำ อัตราการใช้สารอินทรีย์โดยเมือกจุลินทรีย์ในระบบบำบัดน้ำเสียนั้นอาจถูกควบคุมโดยสารให้อิเล็กตรอนหรือสารรับอิเล็กตรอนในที่นี้หมายถึง สารอินทรีย์และออกซิเจนละลายน้ำ ซึ่งขึ้นกับความเข้มข้นของสารอินทรีย์ ความเข้มข้นออกซิเจนละลายน้ำในน้ำเสีย อัตราการถ่ายเทมวลของสารทั้งสองและสัมประสิทธิ์ย่อยสลาย (Stoichiometric Coefficient) สภาพขาดสารอินทรีย์และออกซิเจนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบฟิล์มตรึงแสดงดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 สภาพขาดสารอินทรีย์และออกซิเจนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบฟิล์มตรึง

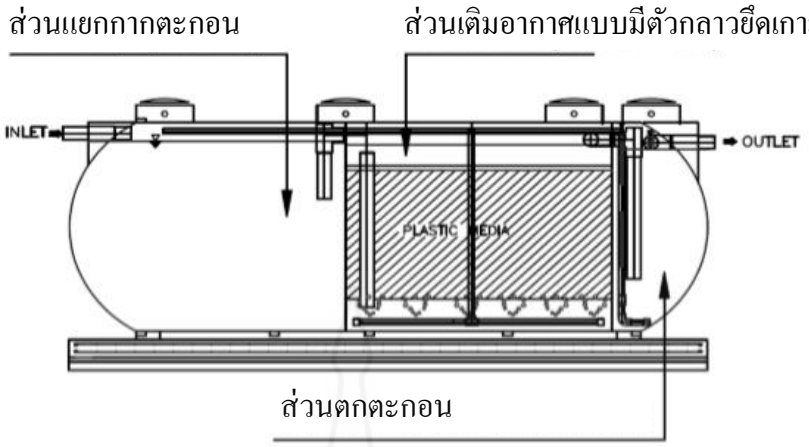
ที่มา: พัชรี โตสกุล และพัลลภ จริยะปัญญา (2556, น.29)

จากภาพที่ 2.6 จะเห็นได้ว่าสภาพขาดสารอินทรีย์และออกซิเจนในระบบบำบัดน้ำเสียแบบฟิล์มตรึงขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารอินทรีย์ กล่าวคือ ที่ความเข้มข้นหนึ่งของออกซิเจนละลายน้ำ อัตราการใช้สารอินทรีย์จะแบ่งเป็น 3 ช่วง คือ ช่วงแรก อัตราการใช้สารอินทรีย์จะเพิ่มเป็นเส้นตรง เมื่อความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียเพิ่มสูงขึ้น ช่วงนี้อัตราการใช้

สารอินทรีย์จึงถูกควบคุมด้วยความเข้มข้นสารอินทรีย์ ช่วงที่สอง เป็นช่วงอัตราการใช้สารอินทรีย์เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารอินทรีย์เพิ่มขึ้น ในช่วงนี้อัตราการใช้สารอินทรีย์ถูกควบคุมโดยสารอินทรีย์และออกซิเจน ช่วงที่สาม เป็นช่วงที่อัตราการใช้สารอินทรีย์โดยเมือกจุลินทรีย์คงที่ไม่ว่าจะเพิ่มความเข้มข้นของสารอินทรีย์มากเท่าใดก็ตาม ทั้งนี้เนื่องจากออกซิเจนละลายน้ำถูกใช้หมด ทำให้ไม่สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้เพิ่มขึ้น ดังนั้นในช่วงนี้อัตราการใช้สารอินทรีย์จึงถูกควบคุมและจำกัดโดยออกซิเจน (Oxygen limit) วัดโดยการใช้เครื่องมือวัดออกซิเจนในเมือกจุลินทรีย์ของระบบโปรยกรอง สำหรับน้ำเสียชุมชนที่มีค่าบีโอดีประมาณ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยพบว่าเมือกจุลินทรีย์บริเวณส่วนบนของระบบโปรยกรองอยู่ในสภาพขาดออกซิเจน แต่ในส่วนล่างของระบบดังกล่าวอยู่ในสภาพขาดสารอินทรีย์ แต่สำหรับระบบโปรยกรองที่รับน้ำเสียในอัตราสูง (High Rate) ระบบจะขาดออกซิเจนโดยตลอดความสูง ดังนั้นถ้าระบบอยู่ภายใต้สภาพขาดออกซิเจนในการเพิ่มประสิทธิภาพ ระบบจะทำได้โดยใช้ออกซิเจนละลายน้ำในน้ำเสียที่ไหลผ่านเมือกจุลินทรีย์แทนอากาศ

2.4.8 ระบบบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูปแบบฟิล์มตรึง

ในปัจจุบันการบำบัดน้ำเสียจากอาคารหรือโรงงานอุตสาหกรรม นิยมใช้ระบบบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูปที่ฝังอยู่ใต้ดิน เนื่องจากประหยัดพื้นที่และสะดวกต่อการก่อสร้างมากกว่าการสร้างระบบบำบัดน้ำเสียขนาดใหญ่ ระบบบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูปมีอยู่หลายลักษณะแบ่งกว้างๆ ได้เป็นระบบที่มีการเติมอากาศ และระบบที่ไม่มีการเติมอากาศ นอกจากนี้ระบบที่มีการเติมอากาศมีทั้งระบบตะกอนเร่งโดยไม่ใช้ตัวกลาง และระบบที่มีการใช้ตัวกลางให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตหรือระบบฟิล์มตรึงซึ่งเป็นที่นิยมใช้ในหลายหน่วยงาน ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศชนิดฟิล์มตรึงประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ส่วนแยกกากตะกอน (Solid separation zone) ส่วนเติมอากาศแบบมีตัวกลางยึดเกาะ (Fixed film arearion zone) และส่วนตกตะกอน (Sedimentation zone) ดังแสดงในภาพ 2.7



ภาพที่ 2.7 ถังบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูปแบบฟิล์มตรึง

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศชนิดฟิล์มตรึงมีหลักการทำงานคือ เมื่อมีน้ำเสียเข้าสู่ถังในส่วนแยกกากตะกอน เพื่อลดมวลสารแขวนลอย ตะกอนหนัก และตะกอนเบาที่ปะปนมากับน้ำเสีย จากนั้นน้ำจะไหลล้นเข้าสู่ส่วนเติมอากาศแบบมีตัวกลางยึดเกาะ ซึ่งมีตัวกลางบรรจุอยู่ในปริมาณร้อยละ 20ของปริมาตรถังเติมอากาศ เป็นตัวกลางพลาสติกทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. และมีพื้นที่ผิวประมาณ 314 ตร.ซม.ต่อชิ้น ระยะเวลาเก็บกักน้ำในส่วนเติมอากาศประมาณ 7.2 ชั่วโมง หลังจากนั้นน้ำจะไหลเข้าสู่ส่วนตกตะกอน ซึ่งอยู่บริเวณทางน้ำออกจากระบบบำบัดน้ำเสีย ระบบบำบัดสำเร็จรูปที่มีปริมาตร 5.63 ลบ.ม. ตะกอนที่อยู่ในส่วนนี้ยังจะสามารถสูบกลับไปในส่วนเติมอากาศได้อีกครั้งหนึ่ง และระบบจะสามารถรองรับน้ำเสียได้ในอัตราประมาณ 40 ลบ.ม/วัน และรองรับสารอินทรีย์ในรูปของบีโอดีในน้ำเข้าประมาณ 250 มก./ล. โดยระบบสามารถบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำได้ประสิทธิภาพร้อยละ 92 ที่ปริมาณภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (BOD_5 loading) 7.31 กก.BOD_5/วัน และมีการควบคุมค่า Food to microorganism ratio (F/M) ที่ 0.20 กก.BOD_5/กก. MLVSS

3. การบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารของโรงงานอุตสาหกรรม

3.1 ข้อมูลทั่วไปของโรงงานอุตสาหกรรม

โรงงานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ ตั้งอยู่ในเขตนิคมอุตสาหกรรมอมตะซิตี้ชลบุรี มีจำนวนพนักงานทั้งหมด 4,215 คน (ข้อมูล ณ วันที่ 1 เมษายน พ.ศ. 2563) แบ่งการผลิตของโรงงานฯ ออกเป็น 2 กะ คือ กะกลางวันเข้าปฏิบัติงานตั้งแต่เวลา 08.00 – 17.00 น. และกะกลางคืน เข้าปฏิบัติงานตั้งแต่เวลา 20.00 – 05.00 น. สำหรับการทำงานล่วงเวลา (Overtime; OT) แบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงเวลา 17.00 – 20.00 น. และช่วงเวลา 05.00 - 08.00 น. กระบวนการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ของโรงงานก่อให้เกิดมลพิษด้านสิ่งแวดล้อมหลากหลายด้าน ได้แก่ กากของเสีย เช่น เศษผ้า เศษพลาสติก ถุงมือปนเปื้อนน้ำมัน และของเสียจากกิจกรรมของพนักงานที่ไม่ปนเปื้อน เป็นต้น มลพิษอากาศ เช่น ละอองน้ำมัน และฝุ่น เป็นต้น และมลพิษทางน้ำ ได้แก่ น้ำเสียจากกระบวนการผลิตซึ่งมักจะปนเปื้อนน้ำมัน (Oily wastewater) และสารหล่อเย็น (Coolant wastewater) เป็นองค์ประกอบหลัก การบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการผลิตจะใช้วิธีทางกายภาพ-เคมี คือ การรวมตะกอน (Chemical coagulation) และการลอยตัวด้วยอากาศละลาย (Dissolved air flotation) น้ำเสียจากห้องน้ำมักปนเปื้อนไขมัน น้ำมัน สารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ รวมทั้งเชื้อโรคต่างๆ ใช้วิธีการบำบัดน้ำเสียดังกล่าวด้วยวิธีทางชีวภาพ โดยใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศชนิดฟิล์มตรึง และน้ำเสียจากโรงอาหาร มักปนเปื้อนน้ำมัน ไขมัน สารอินทรีย์ และแบคทีเรีย ใช้วิธีการบำบัดน้ำเสียดังกล่าวด้วยวิธีทางชีวภาพ โดยใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศชนิดฟิล์มตรึง และมีการเติมจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงสำเร็จรูป (Effective Microorganism; EM) ลงในถังย่อยไขมัน (Grease digestion tank) เพื่อช่วยย่อยสลายไขมันก่อนที่น้ำเสียจะถูกส่งไปบำบัดในถังเติมอากาศชนิดฟิล์มตรึงต่อไป

3.2 ระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร

โรงอาหารของโรงงานอุตสาหกรรม ประกอบด้วยร้านอาหารทั้งหมด 8 ร้าน โดยแบ่งเป็นร้านอาหารคาว 6 ร้าน และร้านขนมหวาน 2 ร้าน มีการปรุงประกอบอาหารที่โรงอาหารพนักงานทุกคนที่มาปฏิบัติงาน และบุคคลภายนอกที่มาติดต่อประสานงานกับโรงงานฯ สามารถรับประทานอาหารได้ 4 ช่วงเวลา ได้แก่ ช่วงเช้า ตั้งแต่เวลา 06.00 - 08.00 น. ช่วงเที่ยง เวลา 11.30 - 13.10 น. ช่วงเย็น เวลา 17.00 – 17.20 น. และช่วงกลางคืน เวลา 23.30 – 01.10 น. จากกิจกรรมการประกอบอาหาร และการล้างภาชนะของผู้ประกอบการร้านอาหาร ทำให้มีน้ำเสียเกิดขึ้นปริมาตรเฉลี่ยประมาณ 75 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน มีลักษณะปนเปื้อนไขมันในปริมาณที่สูง และใช้เวลาในการย่อยสลายนานกว่าน้ำเสียจากห้องน้ำห้องส้วม ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้อง

บำบัดน้ำเสียดังกล่าวโดยวิธีเฉพาะ กล่าวคือ บำบัดไขมันในขั้นตอนแรกโดยใช้จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง เพื่อให้ย่อยสลายได้ง่ายต่อการบำบัดน้ำเสียในขั้นตอนต่อไป ซึ่งจะใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศชนิดฟิล์มตรึง ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียสูงกว่าระบบการใช้ถังดักไขมันเพียงอย่างเดียว และสามารถบำบัดน้ำเสียให้มีค่าไขมันในน้ำทิ้งลดลงได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

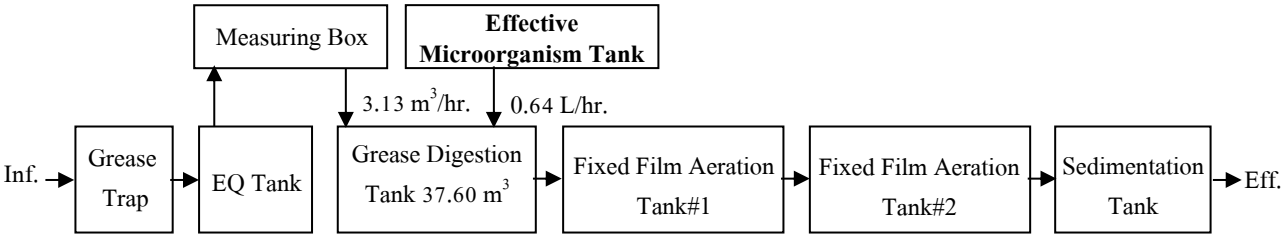
3.2.1 ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสีย

1) บ่อปรับเสถียร (Equalization tank) น้ำเสียที่เข้าระบบแต่ละช่วงเวลามีปริมาณที่ไม่เท่ากัน และค่าความสกปรกแตกต่างกัน บ่อปรับเสถียรมีหน้าที่ควบคุมปริมาณน้ำเสียและค่าความสกปรกไม่ให้มีค่าแกว่ง อาศัยการทำงานของเครื่องสูบน้ำโดยมีอัตราการสูบจ่ายเข้าถังย่อยไขมันเท่ากับ 3.13 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง น้ำเสียส่วนเกินจะถูกส่งกลับเข้าถังปรับเสถียร และมีการจ่ายลมเพื่อกวนผสมให้น้ำเสียเป็นเนื้อเดียวกัน

2) ถังย่อยไขมัน (Grease didestion tnak) รับน้ำเสียจากบ่อปรับเสถียร ปริมาตรถังขนาด 37.60 ลูกบาศก์เมตร ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย (Retention Time; RT) 12 ชั่วโมง และมีการติดตั้งชุดจ่ายจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงสำเร็จรูป (สั่งซื้อจากโรงงานผู้ออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย) โดยมีอัตราส่วนการเติมจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง (สูตรเจือจาง 1 : 25) ต่อน้ำเสียเท่ากับ 1:5,000 เพื่อช่วยย่อยสลายไขมัน ภายในถังย่อยไขมันมีการเติมอากาศเพื่อช่วยกวนผสมให้จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงสัมผัสกับสิ่งสกปรกในน้ำเสียได้อย่างทั่วถึง ถังย่อยไขมันมีประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีร้อยละ 45

3) ถังเติมอากาศแบบฟิล์มตรึง (Fixed film aeration tank) เป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน โดยจุลินทรีย์ที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียจะยึดเกาะตัวกลางพลาสติก (Plastic media) และเจริญเติบโตขึ้นเป็นแผ่นฟิล์มหรือเมือกจุลินทรีย์มากขึ้นจนกระทั่งถึงช่วงเวลาหนึ่ง ชั้นในของเมือกจุลินทรีย์ไม่ได้รับออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำเสีย จุลินทรีย์เหล่านี้จะตายและหลุดออกมา และเกิดจุลินทรีย์เซลล์ใหม่ขึ้นแทนที่ นอกจากนี้ยังมีจุลินทรีย์อีกจำพวกหนึ่งที่แขวนลอยอยู่ระหว่างช่องว่างในตัวกลาง

4) ถังตกตะกอน (Sedimentation tank) ทำหน้าที่แยกน้ำใสออกจากตะกอน (Sludge) โดยตะกอนที่ตกลงที่ก้นถังจะถูกสูบกลับไปยังถังย่อยไขมัน และตะกอนอีกส่วนหนึ่งจะถูกสูบออกจากระบบฯ



ภาพที่ 2.8 แผนภูมิกระบวนการบำบัดน้ำเสียโรงอาหารของโรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่ง

3.2.2 คุณสมบัติจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง

1) องค์ประกอบ จุลินทรีย์ที่คัดเลือกสายพันธุ์ที่สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ เอนไซม์ที่จำเป็นในการย่อยสลาย และสารอาหารที่จำเป็นต่อจุลินทรีย์ ประกอบด้วยจุลินทรีย์ 2 ชนิด ได้แก่ จุลินทรีย์ชนิดใช้อากาศ (Aerobic microorganism) และชนิดใช้อากาศ-ไม่ใช้อากาศ (Facultative microorgamism)

2) หลักการทำงานของจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง ย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ เช่น โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต ให้กลายเป็นสารอินทรีย์โมเลกุลเดี่ยว เช่น กรดอะมิโน กรดไขมัน กลีเซอรอล และน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ตามลำดับ เพื่อให้แบคทีเรียอื่นๆ ในระบบย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลเล็กให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำต่อไป

3) การใช้งานจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง ต้องมีการเติมอากาศให้เพียงพอต่อการทำงานของจุลินทรีย์ (ออกซิเจนละลายน้ำอยู่ในช่วง 1-2 มิลลิกรัมต่อลิตร) การกวนผสม และปริมาณที่เหมาะสม โดยก่อนเติมลงในระบบบำบัดน้ำเสียต้องนำจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงผสมน้ำสะอาดด้วยอัตราส่วน 1:25 (เรียกว่า จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงสูตรเจือจาง 1:25) อัตราการจ่ายจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงสูตรเจือจาง เท่ากับ 0.64 ลิตรต่อชั่วโมง หรือประมาณ 15 ลิตร/วัน

4) ประสิทธิภาพการลดไขมันและบีโอดี ย่อยสลายไขมันและบีโอดีให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำร้อยละ 40-50 ไขมันส่วนที่เหลือถูกทำให้โมเลกุลเล็กลง

3.2.3 การควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย

การที่จะควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องทราบปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการทำงานของระบบบำบัดฯ เพื่อที่จะได้เตรียมการป้องกันและแก้ไขเหตุขัดข้องต่างๆ ที่จะเกิดขึ้น ปัจจัยที่มีผลต่อระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศชนิดฟิล์มตรึงมีรายละเอียดดังนี้

1) ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย สารอินทรีย์ในน้ำเสียเป็นอาหารของจุลินทรีย์ในระบบบำบัดฯ ดังนั้นหากความเข้มข้นของสารอินทรีย์เปลี่ยนแปลงมากจะมีผลต่อ

การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบ และอาจทำให้เชื้อจุลินทรีย์ตายได้ เนื่องจากรับภาระค่าความสกปรกที่สูงเกินมากๆ ได้ไม่ทัน เพราะต้องอาศัยระยะเวลาปรับตัวเป็นเวลานาน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีบ่อปรับเสถียร เพื่อควบคุมปริมาณน้ำเสียและค่าความสกปรกไม่ให้มีค่าแกว่งมากจนเกินไป

2) ค่าพีเอช (pH) จุลินทรีย์เจริญได้ดีที่ค่าพีเอชอยู่ระหว่าง 6 - 9

3) ออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ในบ่อเติมอากาศที่มีตัวกลางยึดเกาะจะต้องมีค่าออกซิเจนละลายน้ำ อยู่ในช่วง 1-2 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีผลต่อการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์

4) ไขมันและน้ำมัน (Fat, Oil and Grease) มีผลต่อระบบการทำงานของจุลินทรีย์ เพราะจะทำให้ตะกอนจุลินทรีย์ไม่ยอมจมหรือจมตัวได้ยาก ทำให้ไม่สามารถแยกตะกอนจุลินทรีย์ออกจากน้ำได้ และอาจทำให้ค่าความสกปรกของน้ำทิ้งเพิ่มขึ้น ดังนั้นค่าไขมันและน้ำมันไม่ควรเกินจากที่ระบบบำบัดน้ำเสียออกแบบไว้

3.2.4 การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศชนิดฟิล์มตรึง ได้รับการออกแบบมาเพื่อใช้กับน้ำเสียที่มีค่าความสกปรกที่เข้าสู่ระบบฯ และค่าน้ำทิ้งที่ออกจากระบบฯ แสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบเติมอากาศชนิดฟิล์มตรึง

พารามิเตอร์	หน่วย	คุณภาพน้ำเสียเข้าระบบฯ	คุณภาพน้ำทิ้งออกจากระบบฯ
1. ไขมันและน้ำมัน (Fat, Oil and Grease)	มก./ล	600	10
2. บีโอดี (BOD)	มก./ล	1,200	20
3. ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS)	มก./ล	200	50

4. จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง (Effective microorganism)

จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงถูกค้นพบโดยศาสตราจารย์ ดร. เทรูโอะ ฮิงะ ภาควิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยริวกิว เมืองโอกินาวา ประเทศญี่ปุ่น ซึ่งได้ศึกษาแนวคิดเรื่อง “ดินมีชีวิต” ของท่านโมกิจิ โอกะดะ (พ.ศ. 2425 - 2498) บิดาแห่งการเกษตรธรรมชาติของโลก โดยปี พ.ศ. 2478 ท่านโมกิจิ โอกะดะ ได้ริเริ่มทำเกษตรในแนวความคิดพื้นฐานที่ว่า หากการทำงานของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในดินเป็นไปตามธรรมชาติโดยทั่วไปแล้วจะทำให้ดินมีชีวิต มีความสมบูรณ์ สามารถเพิ่มผลผลิตขึ้นได้หลายเท่า ดร.ฮิงะ เริ่มค้นคว้าทดลองตั้งแต่ปี พ.ศ. 2510 และค้นพบกลุ่มจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง เมื่อปีพ.ศ. 2526 โดยได้ศึกษาค้นคว้าทดลองการทำงานของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติทั่วไป ซึ่งพบว่ามีกลุ่มจุลินทรีย์หลักอยู่รวมกันกว่า 5 วงศ์ 10 สกุล 80 ชนิด มีทั้งชนิดใช้อากาศ และไม่ใช้อากาศ โดยจะแลกเปลี่ยนอาหารซึ่งกันและกัน ทำให้เกิดความสมดุล (สุพรชัย มั่งมีสิทธิ์, 2547) จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงถูกนำไปใช้อย่างกว้างขวางไม่เพียงแต่ในด้านเกษตรเท่านั้น ยังมีประสิทธิภาพในการบำบัดกลิ่นเหม็น และบำบัดน้ำเสียให้มีคุณภาพดีขึ้น

4.1 ประเภทของจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง

จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง คือ กลุ่มของจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพถูกนำมาเพาะเลี้ยงและขยายให้จุลินทรีย์แต่ละชนิดขยายพันธุ์ด้วยปริมาณที่สมดุลกัน โดยใช้อาหารจากธรรมชาติ เช่น น้ำตาล โปรตีน รำข้าว และสารประกอบอื่นๆ ที่ไม่เป็นอันตรายต่อชีวิต (มูลนิธิบำเพ็ญสาธารณประโยชน์ด้วยกิจกรรมทางศาสนา, 2538)

จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงมี 2 ประเภท ได้แก่

1) ประเภทต้องการอากาศ
2) ประเภทไม่ต้องการอากาศ

จุลินทรีย์ทั้ง 2 กลุ่มนี้ต่างพึ่งพาอาศัยซึ่งกันและกัน และสามารถอยู่ร่วมกันได้ จากการค้นคว้าดังกล่าว ได้มีการนำเอาจุลินทรีย์ที่ได้รับการคัดและเลือกสรรอย่างดีจากธรรมชาติที่มีประโยชน์ต่อพืช สัตว์ และสิ่งแวดล้อมมารวมกัน 5 กลุ่ม (Families) 10 จีนัส (Genues) 80 ชนิด (Spicies) ได้แก่

กลุ่มที่ 1 แบคทีเรียผลิตกรดแลคติก (Lactic acid bacteria) มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาของจุลินทรีย์กลุ่มนี้เป็นแกรมบวก ไม่มีการสร้างสปอร์ รูปร่างของเซลล์มีลักษณะเป็นท่อน แบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติกจะมีส่วนที่เกี่ยวข้องอย่างมากในการผลิตน้ำหมักชีวภาพ แบคทีเรียที่ผลิตกรดแลคติกอาศัยอยู่ในธรรมชาติมากมายหลายแหล่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในที่ที่มีน้ำตาลชนิดต่างๆ แบคทีเรียชนิดนี้ ได้แก่ แบคทีเรียในสกุล *Lactobacillus* sp. มีความต้องการสารอาหารจำพวก

สารประกอบอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อน พบในกระบวนการหมัก มีการเจริญเติบโตได้ดีในสภาพที่ไม่มีออกซิเจน แต่มีความสามารถเจริญเพิ่มจำนวนเซลล์ได้ดีในสภาพที่มีออกซิเจนด้วย น้ำตาลเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของแบคทีเรียชนิดนี้

กลุ่มที่ 2 แบคทีเรียสังเคราะห์แสง (Photosynthetic bacteria) สามารถย่อยสลายของเสียที่เกิดจากเศษอาหาร และสามารถลดปริมาณของก๊าซแอมโมเนียไนไตรท์ได้

กลุ่มที่ 3 ยีสต์ (Yeasts) เป็นราเซลล์เดี่ยว มีรูปร่างกลมหรือรี สามารถสืบพันธุ์โดยการแตกหน่อ (Budding) ซึ่งเป็นการสืบพันธุ์แบบไม่อาศัยเพศ ยีสต์จะทำให้เกิดกระบวนการหมักโดยเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นเอททิลแอลกอฮอล์ และคาร์บอนไดออกไซด์ ยีสต์ในธรรมชาติจะเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนเซลล์ เนื่องจากได้แหล่งอาหารจากน้ำตาล โดยจะปรากฏฟองที่ลอกเป็นฝ้าอยู่ที่ผิวหน้าของน้ำหมัก เมื่อการหมักลดลงจะตกตะกอน ในระหว่างกระบวนการหมักจะมีจุลินทรีย์กลุ่มอื่นร่วมทำปฏิกิริยาอยู่ด้วย ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นกรดอินทรีย์เกิดขึ้นมาก ซึ่งยีสต์สามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพที่เป็นกรดสูง (พีเอชอยู่ในช่วง 4.0-6.5) สภาวะที่น้ำหมักมีค่าพีเอชต่ำนั้นมีผลดีต่อการควบคุมจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดการเน่าเสียได้

กลุ่มที่ 4 แอนติโนมัยสีท (Actenomycetes) เป็นจุลินทรีย์แกรมบวก มีรูปร่างหลายแบบกลม ท่อน หรือเป็นเส้นสายคล้ายเชื้อรา โดยส่วนใหญ่ต้องการออกซิเจนในการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวน แต่ก็มีบางชนิดที่ไม่ต้องการออกซิเจนหรือต้องการเพียงเล็กน้อย มีบทบาทสำคัญคือ ช่วยย่อยสลายอินทรียวัตถุในธรรมชาติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งช่วยย่อยส่วนประกอบของพืช และสัตว์ที่ทนต่อการย่อยสลาย เช่น เซลล์โลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และไคติน เป็นต้น

กลุ่มที่ 5 เชื้อราที่พบในการหมัก (Fermenting fungi) เป็นจุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศพบเห็นได้บริเวณผิวหน้าของน้ำหมักชีวภาพ ดังนั้นในลักษณะของการทำน้ำหมักชีวภาพ ซึ่งเป็นการหมักที่ออกซิเจนน้อย สภาพดังกล่าวไม่เหมาะสำหรับการเจริญเติบโตของราเส้นใย จึงมักพบอยู่บนบริเวณผิวหน้าของน้ำหมักชีวภาพ (อานัฐ ตันโช, 2551)

4.2 ลักษณะทั่วไปของจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง

จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงเป็นจุลินทรีย์กลุ่มสร้างสรรค์ และมีประโยชน์ ลักษณะของจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงที่ขยายพันธุ์โดยวิธีการหมักมีรายละเอียดดังนี้

4.2.1 เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีชีวิต ไม่สามารถใช้ร่วมกับสารเคมีหรือยาปฏิชีวนะและยาฆ่าเชื้อต่างๆ ได้

4.2.2 ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต เช่น คน สัตว์ พืช และแมลงที่เป็นประโยชน์

4.2.3 ช่วยปรับสภาพความสมดุลของสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม

4.2.4 เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่ทุกคนสามารถนำไปเพาะขยายเพื่อช่วยแก้ปัญหาต่างๆ ได้ด้วยตนเอง

4.2.5 มีลักษณะเป็นของเหลวสีน้ำตาลหรือน้ำตาลเข้มใส ไม่ขุ่นดำ กลิ่นหอมอมเปรี้ยว จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงจะอยู่ส่วนบน ส่วนกากจะตกตะกอนด้านล่าง และสีค่อยๆ เข้มมากขึ้นเมื่อระยะเวลาการหมักเพิ่มขึ้น

4.2.6 ช่วงแรกของการหมักจะมีฟองก๊าซเกิดขึ้น เนื่องจากกระบวนการหมักเกิดขึ้น อาจจะเพิ่มมากขึ้นจนถึงวันที่ 15 ของการหมัก (ขึ้นอยู่กับปริมาณกากน้ำตาลที่ใช้ในกระบวนการหมัก) หลังจากนั้นจะค่อยๆ ลดลงจนหมดไปในที่สุด (อาจใช้เวลามากกว่า 30 วันของกระบวนการหมัก) ถ้าไม่มีฟอง น้ำนิ่งสนิทแสดงว่าการหมักขยายเชื้อยังไม่ได้ผล

4.2.7 น้ำหมักจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงที่สมบูรณ์จะมีค่าพีเอช ประมาณ 2-5

4.2.8 จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงปกติจะมีกลิ่นหอมอมเปรี้ยว

4.2.9 หากจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงเปลี่ยนเป็นสีดำ มีกลิ่นเหม็นเน่า ถือว่าจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงตาย และไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้อีก ให้นำจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงที่เสียผสมน้ำรดกำจัดหญ้าและวัชพืชที่ไม่ต้องการได้

4.2.10 กรณีที่เก็บไว้นานๆ โดยไม่มีการเคลื่อนไหวภาชนะจะมีฝ้าขาวๆ เหนือผิวน้ำ นั่นคือ จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง การทำงานของจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงที่ฟักตัว เมื่อเขย่าแล้วทิ้งไว้ชั่วขณะ ฝ้าสีขาวจะสลายตัวกลับไปในจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงเหมือนเดิม

4.2.11 หากนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่มีกำลังขยายสูงไม่ต่ำกว่า 700 เท่า จะเห็นจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ อยู่มากมาย

4.3 การใช้งานจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง

การประยุกต์ใช้จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะดังนี้

4.3.1 การใช้แบบหัวเชื้อ คือ การนำจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงสดที่ไม่ได้มีการแปรสภาพมาผสมน้ำ ตัวอย่างเช่น

1) จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงผสมน้ำฉีดพ่น รดหรือราดต้นไม้สัปดาห์ละ 1-2 ครั้ง ในอัตราส่วนจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง 1 ลิตรต่อน้ำ 1,000 ลิตร (1 ฝาต่อน้ำ 1 บัวรดน้ำ)

2) จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงผสมน้ำในอัตราส่วนจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง 1 ลิตรต่อน้ำ 5,000-10,000 ลิตร ให้สัตว์กิน เช่น สุกร ไก่ กินเป็นประจำ มูลสัตว์จะไม่มีกลิ่นเหม็น สุขภาพของสัตว์จะแข็งแรง

3) จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงทำเป็นเชื้อหมักขับไล่แมลง

4) จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงทำสารสกัดพืชหมัก

4.3.2 การใช้แบบขยายหัวเชื้อ คือ การทำให้จุลินทรีย์มีความแข็งแรง และเพิ่มจำนวนมากขึ้น โดยการจัดสภาพแวดล้อมให้เหมาะสม และเติมอาหารให้กับจุลินทรีย์ โดยมีอัตราส่วนการผสมดังนี้

1) หัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง 1 ลิตร

2) กากน้ำตาล 1 กิโลกรัม

3) น้ำสะอาด 20 ลิตร

ทำการหมักเป็นเวลา 7 วัน จุลินทรีย์จะใช้กากน้ำตาลเป็นแหล่งพลังงานเพื่อการเจริญเติบโต

4.4 การเก็บรักษาจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง

4.4.1 สามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน อย่างน้อย 6 เดือน ในอุณหภูมิห้องปกติ 24-45 องศาเซลเซียส ต้องปิดฝาให้สนิท อย่าให้อากาศเข้า และอย่าเก็บไว้ในตู้เย็น หรือทิ้งไว้กลางแดด

4.4.2 ทุกครั้งที่แบ่งไปใช้ต้องรีบปิดฝาให้สนิท เพื่อไม่ให้เชื้อโรคในอากาศที่เป็นโทษเข้าไปปะปน

4.4.3 การนำจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงไปขยายต่อ ควรใช้ภาชนะที่สะอาด และใช้ให้หมดในระยะเวลาที่เหมาะสม ก่อนใช้ทุกครั้งต้องตรวจดูก่อนว่า น้ำหมักยังมีกลิ่นหอมอมเปรี้ยวอยู่หรือไม่ ถ้ามีแสดงว่ายังสามารถนำไปใช้งานได้

4.5 ประโยชน์ของจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงโดยทั่วไป

4.5.1 ด้านการเกษตร

1) ช่วยปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างในดิน และน้ำ

2) ช่วยแก้ปัญหาจากแมลงศัตรูพืช และโรคระบาดต่างๆ

3) ช่วยปรับสภาพดินให้ร่วนซุย อุ้มน้ำและอากาศผ่านได้ดี

4) ช่วยย่อยสลายอินทรียวัตถุ เพื่อให้เป็นปุ๋ย (อาหาร) แก่พืชดูดซึมไปเป็นอาหารได้ดี ไม่ต้องใช้พลังงานมากเหมือนการให้ปุ๋ยวิทยาศาสตร์

5) ช่วยสร้างฮอร์โมนพืช พืชให้ผลผลิตสูง และคุณภาพดีขึ้น

6) ช่วยให้ผลผลิตคงทน สามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน มีประโยชน์ต่อการขนส่งไกลๆ เช่น ส่งออกต่างประเทศ

7) ช่วยกำจัดกลิ่นเหม็นจากฟาร์มปศุสัตว์ ไก่ และสุกรได้ภายในเวลา 24 ชั่วโมง

8) ช่วยบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มได้ภายใน 1-2 สัปดาห์

9) ช่วยกำจัดแมลงวัน โดยการตัดวงจรชีวิตของหนอนแมลงวัน

10) ช่วยป้องกันอหิวาตกโรคและโรคระบาดต่างๆ ในสัตว์แทนยาปฏิชีวนะและอื่นๆ

11) ช่วยเสริมสุขภาพสัตว์เลี้ยง ทำให้สัตว์แข็งแรงมีความต้านทานโรคสูง ให้ผลผลิตสูง อัตราการตายต่ำ

4.5.2 ด้านการประมง

1) ช่วยควบคุมคุณภาพในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ

2) ช่วยแก้ปัญหาโรคพยาธิในน้ำที่เป็นอันตรายต่อกุ้ง ปลา กบ หรือสัตว์น้ำที่เลี้ยง

3) ช่วยรักษาโรคแผลต่างๆ ในปลา กบ จระเข้ ฯลฯ

4) ช่วยลดปริมาณขี้เลนในบ่อ และทำให้เลนไม่เน่าเหม็น สามารถนำไปผสมปุ๋ยหมัก

4.5.3 ด้านสิ่งแวดล้อม

1) ช่วยบำบัดน้ำเสียจากการเกษตร การปศุสัตว์ การประมง โรงงานอุตสาหกรรม ชุมชน และสถานประกอบการ โดยใช้จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงแบบขยาย ใช้ฉีดพ่น 1 ลิตรต่อน้ำ 10 ลูกบาศก์เมตร (1:10,000) และจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงชนิดก้อน (EM Ball) บำบัดโคลนตมใต้ผิวน้ำ และบำบัดน้ำเสียที่มีลักษณะเคลื่อนไหว 1 ลูก ต่อน้ำ 10 ลูกบาศก์เมตร ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม โรงแรม โรงเลี้ยงสัตว์ และโรงอาหาร

2) ช่วยบำบัดน้ำเสียที่เกิดจากชุมชน โดยใช้จุลินทรีย์ที่ขยายแล้วนำไปราดตามท่อระบายน้ำลงในถังชำระล้างต่างๆ เพื่อแก้ปัญหาที่ต้นเหตุ เพื่อให้น้ำผสมจุลินทรีย์ทำการบำบัด และไหลลงไปรวมในบ่อบำบัดน้ำเสียต่อไป

3) ปรับสภาพของเสีย เช่น เศษอาหารจากครัวเรือนให้เป็นประโยชน์ต่อการเลี้ยงสัตว์และการเพาะปลูก

4) กำจัดขยะ โดยการย่อยสลายให้มีจำนวนลดน้อยลง ใช้จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงที่ขยายแล้ว ผสมน้ำ 1:100 ฉีดพ่นบนกองขยะ หรือพ่นให้คลุกเคล้ากับกองขยะที่จะนำไปทิ้ง

4.6 การบำบัดน้ำเสียด้วยจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง

4.6.1 จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

จุลินทรีย์บำบัดน้ำเสียประกอบด้วย

1) แบคทีเรียสังเคราะห์แสง (Photo Synthetic Bacteria; PSB) จะเพิ่มออกซิเจนให้กับแหล่งน้ำโดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำเน่าเสีย สามารถบำบัดน้ำเสียจากแหล่งต่างๆ ได้โดย

การย่อยสลายของเสียอินทรีย์ที่เกิดจากแหล่งเกษตร ชุมชน และอุตสาหกรรมเทคโนโลยีชีวภาพ อุตสาหกรรมทางเคมี และปิโตรเลียม เป็นต้น โดยจุลินทรีย์เหล่านี้สามารถลดปริมาณก๊าซแอมโมเนียไนไตรท์ เมื่ออยู่ในสภาวะที่มีแสงก็จะเกิดกระบวนการที่ใช้แสง ถ้าสิ่งแวดล้อมไม่มีแสงก็เปลี่ยนมาใช้อีกกระบวนการที่ไม่ใช้แสง ทำให้มีชีวิตอยู่รอดได้ และสามารถย่อยสลายสารในสภาพที่ไม่มีออกซิเจนและมีออกซิเจนได้

2) แบคทีเรียผลิตกรดแลคติก (Lactic Acid Bateria) เป็นจุลินทรีย์ที่ช่วยในการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำ โดยจุลินทรีย์กลุ่มนี้จะสร้างสภาพความเป็นกรด เพื่อปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสีย และสภาวะความเป็นด่างให้กลับคืนสู่สภาพที่ดีขึ้น และช่วยสร้างสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์กลุ่มอื่นๆ ที่เป็นกลุ่มสร้างสรรค์

3) แบคทีเรียตรึงไนโตรเจน (Nitrogen Fixing Bacteria) ไนโตรเจนมีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งเป็นธาตุที่เป็นองค์ประกอบของโปรตีน และกรดนิวคลีอิก พบมากที่สุดในบรรยากาศของโลก คือ ประมาณร้อยละ 79 แต่สิ่งมีชีวิตส่วนใหญ่ไม่สามารถนำก๊าซไนโตรเจนมาเปลี่ยนเป็นโปรตีน หรือกรดนิวคลีอิกได้โดยตรง ถ้าไม่ถูกเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียเสียก่อน ก๊าซไนโตรเจนถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของสารอินทรีย์ในกระบวนการที่เรียกว่า การตรึงไนโตรเจน (Nitrogen Fixation) เปลี่ยนไปเป็นแอมโมเนีย และจะมีแบคทีเรียที่สามารถเปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนไตรท์ และไนเตรท ตามลำดับ เรียกกระบวนการนี้ว่า ไนตริฟิเคชัน (Nitrification) สารประกอบไนเตรทพืชสามารถนำไปใช้ได้ แต่บางส่วนจะถูกเปลี่ยนให้กลับกลายเป็นก๊าซไนโตรเจนคืนสู่บรรยากาศ โดยเรียกกระบวนการนี้ว่า ดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification)

สารประกอบไนโตรเจนที่เกี่ยวข้องกับน้ำเสีย ได้แก่

(1) สารประกอบอนินทรีย์ไนโตรเจน เช่น แอมโมเนีย (NH_3) ไนเตรท (NO_3^-) และไนไตรท์ (NO_2^-) สารพวกนี้จะอยู่ในรูปปุ๋ย และเกลือป๊สสาวะ

(2) สารประกอบอินทรีย์ไนโตรเจน เช่น โปรตีน กรดนิวคลีอิก ซึ่งเป็นส่วนประกอบของร่างกาย พืช สัตว์ และปุ๋ยที่ได้จากมูลสัตว์ เป็นต้น

การที่สารเหล่านี้เข้ามามีบทบาทในน้ำเสีย เนื่องจากแบคทีเรียสามารถเปลี่ยนรูปจากสารอินทรีย์เป็นสารอนินทรีย์ โดยเปลี่ยนสารอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำให้อยู่ในรูปที่ละลายน้ำ (Mineralization) ซึ่งแบคทีเรียสามารถนำไปใช้ได้ กระบวนการดังกล่าวมีความสำคัญต่อวัฏจักรในน้ำเสีย เพราะทำให้พืชน้ำและสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กสามารถนำอนินทรียสารไปใช้ได้

4) *ยีสต์ (Yeasts)* ช่วยสร้างสารที่จะไปช่วยเร่งปฏิกิริยากระตุ้นการเจริญเติบโต และแบ่งจำนวนจุลินทรีย์กลุ่มอื่นๆ ให้มีจำนวนมากขึ้น นอกจากนั้นยังช่วยย่อยสลาย

สารอินทรีย์ โดยทำให้เน่าเปื่อย ทำให้โมเลกุลมีขนาดเล็กลง ส่งผลทำให้การย่อยสลายง่ายและเร็วขึ้น กลุ่มยีสต์ยังมีสารเอนไซม์ที่ย่อยสลายสารอินทรีย์จำพวกแป้ง และน้ำตาล เปลี่ยนไปเป็นแอลกอฮอล์ซึ่งเป็นสารตั้งต้นให้กลุ่มแบคทีเรียผลิตกรดแลคติก

5) *จุลินทรีย์บาซิลลัสซับทิลิส (Bacillus subtilis)* เป็นจุลินทรีย์ที่ช่วยในการบำบัดน้ำเสีย พบได้ในสิ่งแวดล้อมทั่วไป เช่น ในดินมีความสามารถในการย่อยสลายซากพืช ซากสัตว์ มีความปลอดภัยต่อมนุษย์และสิ่งมีชีวิตอื่นๆ สามารถสร้างเอนไซม์เพื่อย่อยอินทรียสาร ทั้งคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมันได้ และสามารถใช้บำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4.6.2 จุลินทรีย์ผลิตเอนไซม์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

จุลินทรีย์ผลิตเอนไซม์ที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย มี 4 ชนิด ได้แก่

1) เอนไซม์โปรติเอส (Protease) หรือเอนไซม์ย่อยโปรตีน เป็นเอนไซม์กลุ่มใหญ่ซึ่งมีหน้าที่ในการย่อยพันธะเพปไทด์ ดังนั้นเอนไซม์จึงมีบทบาทสำคัญอย่างมากในสิ่งมีชีวิต โดยเฉพาะในการตัดเปลี่ยนโปรตีน และเอนไซม์ตัวอื่นๆ เพื่อทำหน้าที่ในการดำรงอยู่อย่างสมดุล ปัจจุบันได้มีการจัดระบบที่ใช้หลักการทำงานของเอนไซม์ที่บริเวณช่วยเร่งปฏิกิริยา นอกจากนี้ในการเกิดปฏิกิริยาของเอนไซม์สามารถแบ่งได้ 2 กลุ่มคือ ปลายด้านที่มีหมู่อะมิโนเป็นอิสระ (C-terminal) หรือปลายด้านที่มีหมู่คาร์บอกซิลเป็นอิสระ (N-terminal) ของสายโพลีเพปไทด์ เรียกว่า เอกโซเพปทิเดส (Exopeptidase) และเอนไซม์ที่ตัดภายในสายโพลีเพปไทด์ เรียกว่า เอนโดเพปทิเดส (Endopeptidase)

2) เอนไซม์ไลเปส (Lipase) หรือเอนไซม์ย่อยไขมัน ซึ่งเป็นเอนไซม์ในกลุ่มไฮโดรเลส (Hydrolase) พบทั่วไปจากพืช สัตว์ และจุลินทรีย์ แต่นิยมผลิตจากจุลินทรีย์ เนื่องจากเพิ่มผลผลิตได้รวดเร็ว และสามารถปรับสภาวะให้เหมาะสมต่อการผลิตเอนไซม์ได้ดีกว่าพืชและสัตว์ เอนไซม์ไลเปสสามารถทำปฏิกิริยาได้ 3 ชนิด คือ Hydrolysis Synthesis of Ester และ Transesterification เอนไซม์ไลเปสย่อยสลายไตรกลีเซอไรด์ได้กรดไขมัน และกลีเซอรอล จุลินทรีย์หลายชนิดผลิตเอนไซม์ไลเปสได้ เช่น *Alcaligenes* sp. ผลิต Alkaline Lipase

3) เอนไซม์อะไมเลส (Amylase) หรือเอนไซม์ย่อยแป้ง และน้ำตาล เป็นเอนไซม์ที่เปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาลหลายชนิด เช่น น้ำตาลกลูโคส น้ำตาลมอลโทส เป็นต้น แหล่งของเอนไซม์ไมเลส โดยทั่วไปได้จากพืช สัตว์ และจุลินทรีย์ เอนไซม์อะไมเลสที่ผลิตได้จุลินทรีย์บาซิลลัสซับทิลิส สามารถทนต่อค่าพีเอชเท่ากับ 6.5 – 8.0 และช่วงอุณหภูมิ 40 องศา-เซลเซียส

4) เอนไซม์เซลลูเลส (Cellulases) เอนไซม์ย่อยเซลลูโลส เป็นเอนไซม์ที่ช่วยเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายสารประกอบเซลลูโลส จากการศึกษาแหล่งของเอนไซม์เซลลูเลส พบว่า มีจุลินทรีย์หลายชนิดที่สามารถผลิตเซลลูโลสได้ เช่น รา และแบคทีเรีย จุลินทรีย์แต่ละชนิด

มีความสามารถในการย่อยเซลลูโลสได้แตกต่างกันออกไป เมื่อเซลลูโลสถูกย่อยสลายให้เป็นโมเลกุลเล็กๆ ที่ละลายน้ำได้ โมเลกุลเหล่านี้จะถูกดูดซึมเข้าสู่เซลล์ของจุลินทรีย์ เพื่อนำไปใช้ในการสร้างพลังงาน และสารประกอบคาร์บอนภายในเซลล์

4.6.3 หลักการบำบัดน้ำเสียด้วยจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง

หลักการใช้จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงบำบัดน้ำเสีย คือ ต้องเป็นจุลินทรีย์ที่ช่วยปรับสภาพสมดุลของสิ่งมีชีวิต และสิ่งแวดล้อมให้ดีขึ้น โดยพิจารณาจากประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ในการปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียทางกายภาพ ทางเคมี และชีวภาพ แต่ในสถานการณ์ที่เร่งด่วน สามารถพิจารณาจากความสามารถในการลดกลิ่นเหม็นเน่าของน้ำเสีย ภายในระยะเวลา 3-5 วัน แต่ขึ้นกับสภาพของแหล่งน้ำเสีย ซึ่งการใช้จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงมีวิธีการใช้ดังนี้

1) ในสภาวะน้ำนิ่ง หรือน้ำไหลที่ไม่มีปริมาณตะกอน ควรใช้จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงชนิดน้ำ ต่อปริมาตรน้ำเสียในอัตราส่วน 1 : 1,000 มิลลิลิตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพน้ำเสีย ถ้าหากไม่สามารถทำให้กลิ่นเหม็นลดลงได้ในช่วงเวลา 3-5 วัน สามารถเพิ่มปริมาณการเติมจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงชนิดน้ำให้มีความเหมาะสมกับสภาพน้ำได้ ซึ่งในสภาวะน้ำไหลจะใช้ได้ดีกว่าในสภาวะน้ำนิ่ง หากใช้ในปริมาณมากเกินไปหรือไม่เหมาะสมกับสภาพของน้ำเสียจะทำให้มีแนวโน้มน้ำเสียเพิ่มขึ้น

2) ในสภาวะน้ำนิ่ง หรือน้ำไหลที่มีปริมาณตะกอน (โคลน) ควรใช้จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงชนิดแห้ง ถ้าใช้ในอัตราส่วน 10 กรัมต่อน้ำเสีย 6 ลิตร ควรมีพืชลอยน้ำช่วยในการปรับสภาพ เนื่องจากมีการย่อยสลายของจุลินทรีย์ แต่ถ้าไม่ใช้ควรลดปริมาณการใช้ตามสภาพน้ำเสีย โดยควรเติมปริมาณน้อย แล้วพิจารณาการปรับสภาพในช่วงเวลา 3-5 วัน การเตรียมจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงชนิดแห้ง ควรทิ้งให้เชื้อจุลินทรีย์มีการเจริญเติบโต และเป็นเชื้อที่ดี โดยพิจารณาจากลักษณะของเชื้อ และผ่านการทดสอบประสิทธิภาพแล้ว และในสภาวะน้ำไหลจะใช้ได้ดีกว่าในสภาวะน้ำนิ่ง

การใช้จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงทั้ง 2 ชนิด ถ้าใช้ปริมาณไม่เหมาะสมกับสภาพของแหล่งน้ำเสีย คือ ใช้ในปริมาณมาก หรือใช้ในสภาพแหล่งน้ำที่ไม่เหมาะสมกับชนิดจุลินทรีย์จะเป็นการเพิ่มภาระให้กับแหล่งน้ำ หรือจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงที่เตรียมได้ไม่ใช่เชื้อจุลินทรีย์ที่ดี คือ ต้องมีคุณสมบัติในการย่อยสลายสารอินทรีย์ เพิ่มปริมาณออกซิเจน ปริมาณบีโอดีลดลง และไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม

4.7 กากน้ำตาลที่ใช้ในการผลิตจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง

กากน้ำตาล (Molasses) เป็นของเหลวที่มีลักษณะข้นเหนียวสีน้ำตาลดำ เป็นผลพลอยได้จากการผลิตน้ำตาลทรายจากอ้อย เนื่องจากกรรมวิธีการผลิตน้ำตาลทรายจากอ้อย เริ่มจาก

การนำอ้อยเข้าหีบได้น้ำอ้อย กรองเอากากออกจากน้ำอ้อยแล้วเคี่ยวน้ำอ้อยจนได้ผลึกของน้ำตาลทรายด้วยหม้อปั่น (Centrifuge) ผลพลอยได้ที่สำคัญจากการผลิตน้ำตาลทรายด้วยวิธีนี้ ได้แก่ กากน้ำตาล ขี้ตะกอน และกากอ้อย เป็นต้น

กากน้ำตาลเป็นผลพลอยได้ที่มีคุณค่ามากที่สุด เป็นส่วนของของเหลวที่เหลือหลักจากการแยกเอาผลึกของน้ำตาลออกแล้วมีลักษณะเหนียวข้น สีน้ำตาลเข้ม องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลซูโครสที่ไม่ตกผลึก ในการผลิตน้ำตาลทรายจะมีกากน้ำตาลเป็นผลพลอยได้เกิดขึ้นประมาณร้อยละ 4-6 ของปริมาณอ้อยที่ใช้ในการผลิต กากน้ำตาลสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ตามกรรมวิธีการผลิตน้ำตาลทราย คือ

4.7.1 กากน้ำตาลที่ได้จากการผลิตน้ำตาลทรายขาว (Plantatio white sugar) มีปริมาณน้ำตาลอยู่ประมาณร้อยละ 50-60

4.7.2 กากน้ำตาลที่ได้จากการผลิตน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ (Refine sugar) มีปริมาณน้ำตาลอยู่ปริมาณร้อยละ 48

4.7.3 กากน้ำตาลที่ได้จากการทำบางส่วนของน้ำอ้อยแปรสภาพให้เข้มข้นโดยการระเหย วิธีนี้เป็นวิธีการผลิตกากน้ำตาลโดยตรง

ประโยชน์ที่ได้จากกากน้ำตาลมีมากมาย เช่น ใช้เป็นอาหารสัตว์ และใช้เป็นปุ๋ย เนื่องจากกากน้ำตาลประกอบด้วยน้ำตาลและแร่ธาตุต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ เป็นแหล่งอาหาร และพลังงานที่เหมาะสม นอกจากนี้กากน้ำตาลยังใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมการหมักหลายชนิด เช่น อุตสาหกรรมการหมักแอลกอฮอล์ กรดมะนาว กรดน้ำส้ม ผงชูรส และยีสต์ขนมปัง เป็นต้น อีกทั้งยังถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง เนื่องจากมีราคาถูก และเหมาะสมกว่าเมื่อเทียบกับวัตถุดิบชนิดอื่นๆ

กากน้ำตาลโดยเฉลี่ยมีความชื้นประมาณร้อยละ 25 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 6 โปรตีนร้อยละ 3 และเถ้าร้อยละ 8-10 คาร์โบไฮเดรตเกือบทั้งหมดเป็นน้ำตาลร้อยละ 50 ซึ่งประกอบด้วยซูโครสร้อยละ 25-40 กลูโคสร้อยละ 8.6 ฟรุคโตสร้อยละ 15.5 และน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing sugars) อื่นๆ โปรตีนในกากน้ำตาลมีคุณภาพต่ำเนื่องจากมีกรดอะมิโนต่ำร้อยละ 38-50 ของไนโตรเจน โดยเฉพาะขาดกรดอะมิโนที่จำเป็นเกือบทุกชนิด แต่มีกรดแอสปาร์ติคและกลูตามิคสูง ไนโตรเจนส่วนที่เหลืออยู่ในรูปเกลือแอมโมเนียม เอไมด์ (Amide) ไนเตรตและอื่นๆ สำหรับแร่ธาตุจะมีโปรแตสเซียมสูงเป็นพิเศษร้อยละ 2-3.5 มีแคลเซียมคลอไรด์ และเกลือซัลเฟตสูง และเป็นแหล่งที่ดีพอประมาณของแร่ธาตุปลีกย่อย เช่น เหล็ก ทองแดง สังกะสี และแมงกานีส อย่างไรก็ตาม ปริมาณแร่ธาตุผันแปรอย่างมากกับอายุและคุณภาพของอ้อย

5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับบทบาทของจุลินทรีย์ธรรมชาติในด้านสิ่งแวดล้อม และประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมัน และซีโอดีโดยกระบวนการทางชีวภาพ ได้มีผู้ศึกษาวิจัยในประเด็นต่างๆ ดังนี้

นภา โล่ห์ทอง และคณะ (2538) ได้ศึกษาปริมาณแบคทีเรียผลิตกรดแลคติกในตัวอย่างจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง 2 ตัวอย่างพบว่า มีปริมาณเชื้อเริ่มต้นต่างกัน กล่าวคือ พบเชื้อ 9.9 x 10^6 โคโลนี/มิลลิลิตร ในตัวอย่างที่ 1 และในขณะที่ตัวอย่างที่ 2 มีเชื้อเพียง 6.6 x 10^5 โคโลนี/มิลลิลิตร (Colony Forming Units per Milliliter; CFU/ml) โดยที่ปริมาณแบคทีเรียผลิตกรดแลคติกในตัวอย่างแรกจะคงอยู่ประมาณ 9 สัปดาห์ และลดลงอย่างรวดเร็วในสัปดาห์ที่ 11 จนตรวจพบในสัปดาห์ที่ 13 ส่วนตัวอย่างที่ 2 นั้นปริมาณเชื้อจะลดลงตามลำดับ หลังจากเริ่มการทดลองและตรวจไม่พบในสัปดาห์ที่ 7 จากการจำแนกชนิดพบว่า เชื้อทุกไอโซเลทที่แยกได้อยู่ในจีนัส แลคโตบาซิลลัส (Genus Lactobacillus) และจัดจำแนกเป็น *L.plantarum, L.casei และ L.rhamnosus* โดยพบ *L. plantarum* เป็นส่วนใหญ่

สาวิตรี ลิ่มทอง และคณะ (2538) ได้ศึกษาเชื้อยีสต์ในจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง 2 ตัวอย่าง พบว่า มีเชื้อยีสต์อยู่ 10^5-10^6 โคโลนี/มิลลิลิตร จำนวนเชื้อเพิ่มขึ้นจากเริ่มต้นในช่วงเวลา 3-4 เดือนของการเก็บยีสต์ ส่วนใหญ่อยู่ที่ผิวหน้าของจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง โดยมีการสร้างแผ่นฟ้าซึ่งมีความหนาเพิ่มขึ้นตามอายุของการเก็บเชื้อยีสต์ ที่พบเสมอในจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง คือ *Candida*

พูนพิไล สุวรรณฤทธิ์ และคณะ (2538) ได้ศึกษาปริมาณเชื้อราในจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงพบว่า ปริมาณของเชื้อราในระดับบน กลาง ล่างของอาหารเลี้ยงเชื้อไม่แตกต่างกันมากนัก ในจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงชุดที่ 1 จะมีปริมาณเชื้อราเมื่อ 0 สัปดาห์เท่ากับ 8x10^4 โคโลนี/มิลลิลิตร ในจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงชุดที่ 2 พบว่า ปริมาณเชื้อราเฉลี่ยเมื่อ 0 สัปดาห์เท่ากับ 9.6x10^4 โคโลนี/มิลลิลิตร ในจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงชุดที่ 3 พบว่า ปริมาณเชื้อรา เฉลี่ยเมื่อ 0 สัปดาห์เท่ากับ 2.5x10^4 โคโลนี/มิลลิลิตร ส่วนการศึกษาชนิดของเชื้อราในจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงพบว่า จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงแต่ละชุดจะมีชนิดของเชื้อราที่แตกต่างกัน เชื้อราที่พบในจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงทุกชุดคือ *Aspergillus niger, Penicillium* (สีเขียวเข้ม), *Penicillium* (สีเทา) และ *Penicillium* (สีเขียวผิวหยัก) ส่วนการศึกษาความอยู่รอดของเชื้อราในจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงในช่วงเวลาต่างๆ ตั้งแต่ 0, 8 และ 16 สัปดาห์ พบว่า เชื้อราส่วนใหญ่จะมีปริมาณมากในจุลินทรีย์

ประสิทธิภาพสูง และสามารถคงทนอยู่ได้ทั้งในระดับผิวบน ผิวล่าง และกลางภาชนะ และจะลดลงอย่างรวดเร็วภายใน 8 สัปดาห์

สมชัย จันทร์สว่าง และคณะ (2537) ได้รายงานผลการทดลองการใช้จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงในการบำบัดของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกร โดยการเลี้ยงขยายจุลินทรีย์ธรรมชาติแบบกึ่งต่อเนื่อง (Semi – continuous mass culture) และผสมในน้ำล้างคอกและน้ำดื่มของสุกร ผลการทดลองพบว่า จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงสามารถนำไปประยุกต์ใช้บำบัดน้ำเสียจากคอกสุกรที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง สามารถลดความสกปรกในรูปของบีโอดีได้ถึงร้อยละ 91 ทั้งยังพบว่า การล้างคอกทุกวันด้วยน้ำสะอาดผสมจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงที่หมักแล้วสามารถลดปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็นได้อย่างเป็นที่น่าพอใจ มูลสุกรที่บำบัดด้วยจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงแล้วพบว่ามีคุณค่าสูงทางด้านปุ๋ยและอาหารของพืช โดยมีส่วนประกอบของโปรตีนร้อยละ 23.6 และส่วนประกอบของกรดอะมิโนที่จำเป็นชนิดต่างๆ ที่สูงมาก

ศรัณย์ กีรติธร (2538) ได้ศึกษาการใช้จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตกุนเชียง โดยใช้ระบบแบบกะ (Batch) ไม่เติมอากาศที่ระดับความเข้มข้นจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงร้อยละ 1, 5 และ 10 ในปริมาตรน้ำตัวอย่าง 3 ลิตร ผลการทดลองพบว่า จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงไม่มีประสิทธิภาพในการบำบัดค่า BOD, SS, TDS, NH_3-N, TKN แต่พบว่าจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการลดค่าไขมันได้ร้อยละ 88.0

ชลทิศ แก้วลี และวีระมนต์ สายทอง (2538) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรด้วยจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง โดยใช้ร้อยละ 1 ใส่ลงในน้ำเสียจากฟาร์มสุกรจะทำให้ค่า BOD ลดลงร้อยละ 30 และในระยะแรกของจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงจะปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมใหม่ ซึ่งยังไม่มีการย่อยสลายสารอินทรีย์ แต่หลังจากนั้นจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงจะเริ่มย่อยสลายสารอินทรีย์ทำให้ปริมาณ BOD และ COD ลดลง

ภานุวัฒน์ ทนงธนะสิทธิ์ (2538) ได้ศึกษาการบำบัดไขมันโดยใช้จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง แบ่งการทดลองออกเป็น 6 ชุด ใช้มันหมูบดผสมน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1:6 (มันหมูบด 50 กรัม ผสมกับน้ำกลั่น 300 กรัม) เป็นตัวแทนของไขมันที่จะนำมาใช้ทดลองในห้องปฏิบัติการกับจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงที่เตรียมไว้ในอัตราร้อยละ 0, 1, 3, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก ทดลองในขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer Flask) ขนาด 500 มล. และปิดด้วยสำลี เพื่อป้องกันอากาศเข้า ทั้งนี้เพราะจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงเป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้อากาศในการย่อยสลายสารอินทรีย์ เก็บตัวอย่างทั้ง 6 ชุด 2 วัน/ครั้ง ครั้งละ 10 มล. ในเวลา 28 วัน นำมาวิเคราะห์ปริมาณ Grease as% dry solid พบว่า มีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาการบำบัด และอัตราส่วนจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงที่เพิ่มขึ้น

ในอัตราส่วนเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนักที่ระยะเวลา 28 วัน สามารถบำบัดไขมันได้ดีที่สุดเท่ากับร้อยละ 43.61

Srituma (1995) ได้ศึกษาทดลองการใช้จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงเพื่อแก้ไขปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมในฟาร์มสุกรในเขตจังหวัดฉะเชิงเทรา ผลการศึกษาพบว่า จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงสามารถลดกลิ่นเหม็นของฟาร์มสุกรได้ร้อยละ 80 ลดจำนวนแมลงวันได้ร้อยละ 60 บำบัด BOD ได้ร้อยละ 36 และสารแขวนลอย (SS) ได้ร้อยละ 68

สารสิน อุยยานนท์ และคณะ (2538) ศึกษาการใช้จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงในการบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลศูนย์ขอนแก่นพบว่า น้ำเสียที่ใส่และไม่ใส่จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงให้ผลการบำบัดเช่นเดียวกัน ความเข้มข้นต่างๆ ของจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงที่ใส่ในน้ำเสียไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพการบำบัด น้ำเสียแบบแผนของการย่อยสลายน้ำเสียกลางแจ้ง และในที่มืดมีปฏิกิริยาเป็นไปตามทฤษฎีการย่อยสลายสารอินทรีย์ของน้ำเสียทั่วไปไม่มีตัวแปรใดๆ ที่แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำเสียเพิ่มขึ้นโดยการใส่จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง กลิ่นอันเกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย พบว่าเมื่อใส่จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง กลิ่นซึ่งวัดเป็นค่าแอมโมเนียและไฮโดรเจนซัลไฟด์ยังมีค่าสูง โดยการทดลองนี้พบว่า จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงไม่มีส่วนในการลดปฏิกิริยาการเกิดกลิ่นดังกล่าว อัตราการย่อยสลายน้ำเสีย เมื่อใส่จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงพบว่าเพิ่มมากขึ้น ซึ่งก็เหมือนกับการเติมหัวเชื้อ (Seeding) ลงในระบบน้ำเสียโดยทั่วไป ผลของการทดลองมิได้แสดงให้เห็นถึงการต่อต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Anti oxidation reaction) ตามรายงานของผู้คิดค้นจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง

เกศสุคนธ์ มณีวรรณ (2539) ได้ศึกษาการคัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสียที่มีไขมัน โดยการคัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์จากห้องปฏิบัติการภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม จำนวน 7 สายพันธุ์ นำมาทดสอบความสามารถในการย่อยสลายไขมัน อาหารปริมาณ 10 กรัม/ลิตร แล้วนำไปบ่มในเครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิ 30°C ความเร็วรอบ 150 รอบ/นาที เป็นเวลา 60 ชั่วโมง เก็บตัวอย่างทุก 6 ชั่วโมง พบว่า จีออทริคัม แคนดิดัม (Geotrichum candidum) มีความสามารถในการย่อยสลายไขมันได้ประสิทธิภาพสูงสุดในช่วง 36 ชั่วโมง และสภาวะเหมาะสมต่อการบำบัดน้ำเสียที่มีไขมันได้ประสิทธิภาพสูงสุดคือ อุณหภูมิ 30°C pH 7.0 และหัวเชื้อเริ่มต้นร้อยละ 4 โดยปริมาตรของปริมาณน้ำเสีย โดยสามารถลดค่า BOD ร้อยละ 64.82 และค่าไขมันร้อยละ 43.3

ปรียานุช แสนโคตร และศิรประภา ร่มเย็น (2539) ได้ศึกษาการบำบัดไขมันด้วยจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงในลักษณะกึ่งต่อเนื่อง ใช้ตัวอย่างน้ำเสียจากโรงงานกุนเชียง โดยการเติมจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงลงในน้ำเสียแบบกึ่งต่อเนื่อง และน้ำเสียอยู่ในภาชนะปิดในสภาวะกึ่งไร้

อากาศ การทดลองช่วงแรกเพื่อหาจำนวนวันที่เหมาะสมในการเติมจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงโดยนำตัวอย่างน้ำแบ่งใส่ภาชนะที่มีฝาปิด 3 ชุด ชุดละ 7 ลิตร และเติมจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงในอัตราส่วนร้อยละ 10 โดยปริมาตรที่ระยะเวลาวันเว้นวัน 3 วันต่อครั้ง และ 5 วันต่อครั้ง เป็นเวลา 30 วัน นำมาวิเคราะห์หาปริมาณไขมัน พบว่า การเติมจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงที่ระยะเวลา 3 วันต่อครั้ง มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณไขมันได้ดีที่สุด เท่ากับร้อยละ 60 การทดลองช่วงที่ 2 เพื่อหาอัตราส่วนจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงที่เหมาะสม โดยใช้ระยะเวลาการเติม 3 วันต่อครั้ง เป็นเวลา 30 วัน การทดลองโดยนำตัวอย่างน้ำแบ่งใส่ภาชนะที่มีฝาปิด 5 ชุด ชุดละ 8 ลิตร และเติมจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงในอัตราส่วนร้อยละ 0, 1, 5, 10 และ 15 โดยปริมาตร พบว่า การเติมจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงในอัตราส่วนร้อยละ 0, 1, 5, 10 และ 15 โดยปริมาตร ประสิทธิภาพในการลดปริมาณไขมัน เท่ากับร้อยละ 43, 87, 79, 91 และ 74 ตามลำดับ

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยและการปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย (2540) ได้ศึกษาวิจัยเรื่องแบคทีเรียบำบัดคราบน้ำมันปิโตรเลียมในสถานีบริการน้ำมัน โดยทำการคัดเลือกสายพันธุ์จุลินทรีย์ในท้องถิ่นที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายน้ำมันปิโตรเลียมจากตัวอย่างน้ำและดินที่ปนเปื้อนคราบน้ำมัน ผลการศึกษาวิจัยพบว่า มีจุลินทรีย์หลายชนิดทั้งแบคทีเรีย ยีสต์และรา มีความสามารถย่อยสลายน้ำมันในประสิทธิภาพที่แตกต่างกัน และในเวลาที่เท่ากันพบว่า แบคทีเรียมีประสิทธิภาพดีที่สุด เนื่องจากมีวงจรชีวิตสั้นกว่าสามารถกระจายพันธุ์ได้เร็วกว่ายีสต์และรา ซึ่งแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดในการบำบัดคราบน้ำมันปิโตรเลียมในสถานีบริการน้ำมันมี 2 สายพันธุ์คือ *Pseudomonas sp. TISTR984* เป็นสายพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายน้ำมันเครื่องยนต์ได้ดีและ *Acinctobacter sp. TISTR 985* เป็นสายพันธุ์ที่ย่อยสลายน้ำมันดิบได้ดี โดยแบคทีเรียทั้งสองสายพันธุ์สามารถย่อยสลายน้ำมัน (ร้อยละ 1 ของน้ำมันในน้ำ) ให้หมดได้ภายใน 7 วัน

ตามพันธ์ สุขสถิตย์ (2541) ได้ศึกษาการพัฒนาถังบำบัดไขมันในร้านอาหารโดยใช้เชื้อผสม *Escherichia coli* $1A_{42}$ และ *Acinetobacter* $2C_8$ เมื่อใช้เชื้อผสมตั้งต้นผสมกันในอัตราส่วน 1:1 ปรับความขุ่นเทียบเท่า McFarland number 8.0 ทำการศึกษาถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดดังนี้คือ ประสิทธิภาพของเชื้อผสมมีปริมาณไขมันลดลงร้อยละ 23, 70.25 และ 79.2 ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับระยะเวลาในการบำบัดแต่ละวัน พบว่า ปริมาณไขมันมีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงวันที่ 1 ถึงวันที่ 3 ส่วนวันที่ 3, 4 และ 5 มีค่าใกล้เคียงกัน สรุปปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดไขมันจากการศึกษาครั้งนี้คือ การปั่นกวนหรือการเติมออกซิเจน เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญมากที่สุด ซึ่งการปั่นกวนเพียงอย่างเดียวสามารถลดปริมาณไขมันลงได้ประมาณร้อยละ 50 เชื้อแบคทีเรียที่เติมลงไปเป็นปัจจัยเสริมที่ช่วยให้ระบบบำบัด

มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น คือสูงขึ้นประมาณร้อยละ 20 จากสภาวะที่มีการปั่นกวนเพียงอย่างเดียว การปรับพีเอชเป็นปัจจัยที่ช่วยส่งเสริมให้เชื้อแบคทีเรียเพิ่มจำนวนได้ดีและเป็นการส่งเสริมการทำงานของเอนไซม์ไลเปส

ตันติกร ตรีบงกชและคณะ (2542) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียจากโรงนมมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยใช้จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงเปรียบเทียบกับการบำบัดโดยไม่ใช้จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง โดยทำการทดลองในแบบจำลองแบบง่าย ซึ่งประสิทธิภาพในการบำบัดสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำในรูปของ COD, BOD และ TSS โดยใช้จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงมีค่าเท่ากับร้อยละ 60-74 ร้อยละ 65-79 และร้อยละ 43-49 ตามลำดับ โดยที่จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงมีคุณสมบัติพิเศษที่ช่วยในการกำจัดกลิ่นเหม็นที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วย

สมศักดิ์ นุกูลอุดมพาณิชย์ และคณะ (2543) ได้ศึกษาการบำบัดน้ำเสียโดยใช้จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง: กรณีศึกษาบ่อพักน้ำเสียโรงพยาบาลศิริมาศ จังหวัดสุโขทัย พบว่า คุณภาพน้ำในบ่อพักน้ำเสียก่อนฉีดพ่นจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง มีค่าพีเอชเท่ากับ 8.0 สารละลายมีค่าเท่ากับ 650 มิลลิกรัมต่อลิตร สารแขวนลอยมีค่าเท่ากับ 71.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ตะกอนหนักมีค่าเท่ากับ 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร บีโอดีมีค่าเท่ากับ 54.2 มิลลิกรัมต่อลิตร และสุดท้ายน้ำมันและไขมันมีค่าเท่ากับ 43.2 มิลลิกรัมต่อลิตร คุณภาพน้ำในบ่อพักน้ำเสียหลังฉีดพ่นจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงพบว่า มีค่าพีเอชเท่ากับ 8.0 สารละลายมีค่าเท่ากับ 580 มิลลิกรัมต่อลิตร สารแขวนลอยมีค่าเท่ากับ 63 มิลลิกรัมต่อลิตร ตะกอนหนักมีค่าเท่ากับ 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร บีโอดีมีค่าเท่ากับ 61 มิลลิกรัมต่อลิตร และสุดท้ายน้ำมันและไขมันมีค่าเท่ากับ 38.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิผลของรูปแบบการแก้ปัญหาน้ำเสียโดยใช้จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงพบว่า จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณสารละลายร้อยละ 11.77 ลดปริมาณสารแขวนลอยร้อยละ 11.89 ลดปริมาณน้ำมันและไขมันร้อยละ 10.88 ลดตะกอนหนักร้อยละ 50 สามารถลดกลิ่นเหม็นได้ดี และสุดท้ายจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงไม่มีประสิทธิภาพในการลดค่าพีเอช และค่าบีโอดี

วิทยา คงแหลม (2545) ได้ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมันในน้ำเสียจากร้านจำหน่ายอาหารด้วย *Pseudomonas fluorescens* ในถังปฏิกิริยาแบบกะ (Batch reactor) ปรับสภาพน้ำเสียให้มีพีเอชตั้งต้นเป็น 7.0 ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดในสภาพที่ต่างกันคือ ระดับความเข้มข้นของเชื้อ *P. Fluorescens* เท่ากับร้อยละ 0, 1 และ 2 โดยปริมาตร และระยะเวลาการบำบัด 1, 2, 3, 4 และ 5 วัน แบ่งการทดลองเป็น 4 ชุดการทดลอง ชุดที่ 1 ไม่ใส่เชื้อและไม่เติมอากาศ (ชุดควบคุม) การทดลองที่ 2 ไม่ใส่เชื้อและเติมอากาศ การทดลองที่ 3 เติมอากาศและใส่ *P. Fluorescens* ร้อยละ 1 โดยปริมาตร และการทดลองที่ 4 แติมอากาศและใส่ *P. Fluorescens* ร้อยละ 2 โดยปริมาตร ผลการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมัน และ

ประสิทธิภาพการบำบัด BOD มีแนวโน้มในทิศทางเดียวกัน ประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบำบัดและเพิ่มขึ้นจากการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมันต่ำสุดในชุดควบคุมที่ระยะเวลาการบำบัด 1 วันคือ ร้อยละ 18.95 และสูงสุดในการทดลองที่ 4 ระยะเวลาการบำบัด 5 วันคือ ร้อยละ 84.11 ประสิทธิภาพลด BOD ต่ำสุดในชุดควบคุมที่ระยะเวลาการบำบัด 1 วันคือ ร้อยละ 0.53 และสูงสุดในการทดลองที่ 4 ที่ระยะเวลาการบำบัด 5 วันคือ ร้อยละ 52.38 การศึกษานี้ไม่สามารถลด SS ได้ โดย SS เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการบำบัดและเพิ่มขึ้นจากการทดลองที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ

พงศ์พิษณุ บุญดา (2547) ได้ศึกษาการใช้จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในถังเติมอากาศของระบบเอเอส เพื่อการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอก ทำการทดลอง 4 การทดลอง ในการทดลองที่ 2-4 ใช้จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงในอัตราส่วนจุลินทรีย์ 1 มิลลิลิตรต่อน้ำเสีย 10,000 มิลลิลิตร, 15,000 มิลลิลิตร และ 20,000 มิลลิลิตร ตามลำดับ ส่วนการทดลองที่ 1 ใช้จุลินทรีย์ที่โรงงานใช้ประจำในการบำบัดในอัตราส่วนจุลินทรีย์ต่อปริมาณน้ำเสีย 1 มิลลิกรัมต่อน้ำเสีย 10,000 มิลลิลิตร ผลการทดลองพบว่า (1) จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียตามปริมาณน้ำเสียในการทดลองที่ 2-4 ได้ค่าพีเอชเฉลี่ย 7.6, 7.6 และ 7.6 บีโอดีเฉลี่ยร้อยละ 65.94, 66.48 และ 61.85 สารแขวนลอยเฉลี่ยร้อยละ 96.50, 96.39 และ 95.42 และน้ำมันและไขมันเฉลี่ยร้อยละ 61.01, 71.66 และ 64.19 ตามลำดับ (2) เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดทั้ง 4 พารามิเตอร์โดยจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงทั้ง 4 การทดลองพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียของทั้ง 4 พารามิเตอร์ตามตัวอย่างน้ำเสียที่ช่วงเวลาในการเก็บตัวอย่างที่แตกต่างกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตามค่าที่ได้ทั้งหมดยังไม่ได้ตามเกณฑ์ควบคุมคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานตามประกาศของกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 3 พ.ศ. 2539 ยกเว้นค่าพีเอช เมื่อเปรียบเทียบต้นทุนที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียด้วยการใช้จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงในการทดลองที่ 4 มีต้นทุนต่ำกว่าการทดลองอื่นๆ

ไกรสร นะโม และคณะ (2550) ได้ศึกษาการใช้จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงในการบำบัดน้ำเสียโรงอาหารมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม พบว่า สามารถใช้จุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสียโรงอาหารมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคามได้ระดับหนึ่ง ไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของอุณหภูมิ และค่าพีเอช แต่มีผลต่อความต้องการออกซิเจนทางเคมี (COD) และน้ำมันและไขมัน (Oil & Grease) โดยมีแนวโน้มลดลงตามระยะเวลาของการบำบัด ซึ่งชุดการทดลองที่ 3 (จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงร้อยละ 20) สามารถบำบัดซีโอดีได้ดีที่สุดโดยมีประสิทธิภาพร้อยละ 67.15

ที่ระยะเวลา 21 วัน และชุดการทดลองที่ 5 (จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงร้อยละ 40) สามารถบำบัดน้ำมันและไขมันได้ดีที่สุด โดยมีประสิทธิภาพร้อยละ 86.26 ที่ระยะเวลา 21 วัน

Surasak Siripornadulsul and Wimonnuch Labteephanao (2008) ศึกษาประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงในการบำบัดน้ำมันและไขมันในน้ำทิ้งบ้านเรือน ผลการศึกษาพบว่าปริมาณน้ำมันและไขมันลดลงร้อยละ 99.36, 91.41, 87.8 และ 85.91 จากการบำบัดด้วยจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงที่มีชื่อทางการค้าหนองบัวอุบล, คิวเซ, พด. 6 และ EX-M ตามลำดับ ในขณะที่ชุดควบคุมไม่ได้เติมจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงมีปริมาณน้ำมันและไขมันลดลงเพียงร้อยละ 31.83 นอกจากนี้ปริมาณของเชื้อแบคทีเรียที่สามารถสร้างเอนไซม์ไลเปสได้ในถังหมักที่เติมจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงมีค่าสูงกว่าถังหมักควบคุม ประมาณ 10-50 เท่า เมื่อคัดเลือกแบคทีเรียที่สร้างเอนไซม์ไลเปสจำนวน 10 ไอโซเลทจากถังหมักที่เติมจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงมาทำการวัดกิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสพบว่า แบคทีเรียที่แยกได้จากถังหมักที่เติมจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงทั้ง 4 ชนิด มีกิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสที่ใกล้เคียงกัน แต่สูงกว่าแบคทีเรียจากถังหมักควบคุมประมาณร้อยละ 20 จากการทดสอบโดยวิธีทางชีวเคมี พบว่า แบคทีเรียทุกไอโซเลทที่สามารถผลิตเอนไซม์ไลเปสได้จัดอยู่ในจีนัสบาซิลลัส

C.S.Kirby, A. Dennis, A.Kahler (2552) ศึกษาการเติมอากาศ เพื่อลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เพิ่มค่าพีเอช และเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเหล็กที่ปนเปื้อนในน้ำเสียจากเหมืองแร่ พบว่า การเติมอากาศเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ส่งผลให้ค่าพีเอชเพิ่มขึ้นจาก 5.7 เป็นมากกว่า 7 อุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 12 องศาเซลเซียส เป็น 22 องศาเซลเซียส ออกซิเจนละลายจะเพิ่มความอิ่มตัวตามบรรยากาศ และเฟอร์รัส (Fe (II)) มีความเข้มข้นลดลงจาก 16 mg/L เป็น <0.05 mg/L

พรชนก วงศ์ผดุงเกียรติ และภัชราภรณ์ สุวรรณวิทยา (2554) ศึกษาจุลินทรีย์ทางการค้าในกระบวนการบำบัดน้ำเสียโรงงานปลาป่นที่มีค่า BOD สูงอยู่ในช่วง 4,000-16,000 มก./ล. ในการศึกษานี้ใช้จุลินทรีย์ทางการค้าชนิด EMTEC FM ของบริษัท เอ็มเทค แมเนจเม้นท์ จำกัด (Commercial Seed: CS) เปรียบเทียบจุลินทรีย์จากบ่อเติมอากาศของโรงงานน้ำพริกเผา (Natural Seed: NS) ซึ่งเป็นตัวแทนของจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียที่เป็นประเภทเดียวกับโรงงานปลาป่น และจุลินทรีย์ทั้งสองชนิดรวมกัน (Natural Seed + Commercial Seed: NS+ CS) ในสภาวะใช้อากาศในระบบจำลองในห้องปฏิบัติการ ซึ่ง NS จะถูกเติมในครั้งแรกเท่านั้นแต่ CS จะถูกเติมทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนน้ำเสียตามที่ผู้ผลิตแนะนำ ผลการศึกษาพบว่า CS ใช้ระยะเวลาในการปรับตัวเข้าสู่สภาวะสมดุล 13 วัน ซึ่งนานกว่า NS และ NS + CS (12 วัน) และเมื่ออยู่ในสภาวะสมดุลแล้วจุลินทรีย์ทั้ง 3 ชุดการทดลอง สามารถบำบัด COD ได้ใกล้เคียงกัน ในช่วงร้อยละ 97-98 ซึ่งเมื่อ

แปรผันระยะเวลาเติมอากาศพบว่า ที่ระยะเวลาเติมอากาศ 16 ชั่วโมง จุลินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด สามารถบำบัด BOD ในน้ำเสียโรงงานปลาป่นที่มีค่า BOD เริ่มต้นอยู่ในช่วง 3,100-4,900 mg/l ได้ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน (20 mg/l) ซึ่งเมื่อทดลองเพิ่มระยะเวลาเติมอากาศเป็น 20 ชั่วโมง จุลินทรีย์ทั้ง 3 ชนิด สามารถบำบัด BOD ในน้ำเสียจากโรงงานปลาป่นที่มีค่า BOD เริ่มต้นสูงขึ้นในช่วง 4,907-6,785 mg/l ได้ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน นั่นคือ จุลินทรีย์ CS สามารถใช้เป็นจุลินทรีย์ตั้งต้นในระบบบำบัดน้ำเสียที่มี BOD สูงได้ และให้ผลการบำบัดน้ำเสียเทียบเคียงกับการใช้จุลินทรีย์จากบ่อเติมอากาศของระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานน้ำพริกเผา

ขวัญเนตร สมบัติสมภพ (2554) ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำมันและไขมัน และซีโอดี โดยใช้น้ำเสียของโรงอาหารมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่มีปริมาณน้ำมันและไขมัน 59-210 mg/L และมีค่า COD 1,650-3,500 mg/L ใช้จุลินทรีย์ 3 ชุด ประกอบด้วย ชุดที่ 1 จุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง ชุดที่ 2 เป็นจุลินทรีย์สำเร็จรูป Micro DRD-14 และชุดที่ 3 เป็นจุลินทรีย์รวม (Micro Mix) ประกอบด้วย Micro DRD-14 Micro PROTON95 และ Micro Powder ควบคุมอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ 0.05, 0.11, 0.17 และ 0.22 kg.COD/m^3d ผลการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำมันและไขมันของ Micro Mix เท่ากับร้อยละ 77 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.17 kg.COD/m^3d และน้ำทิ้งผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ในขณะที่น้ำมันและไขมันในน้ำทิ้งของ Control และ MicroDRD-14 ไม่ผ่านมาตรฐาน ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ 0.05-0.17 kg.COD/m^3d มีประสิทธิภาพการบำบัดมากกว่าร้อยละ 90 ในการทดลองนี้ Micro Mix ให้ประสิทธิภาพ ในการบำบัดน้ำมัน/ไขมัน และซีโอดีสูงที่สุด

จันทร์ทิพย์ ทรงฤทธิ์ (2557) การศึกษาผลของการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสียของระบบบำบัดแบบเอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor:SBR) ในระดับห้องปฏิบัติการ การเติมกลุ่มหัวเชื้อจุลินทรีย์ 10 ไอโซเลท ซึ่งประกอบด้วยกลุ่มเชื้อ 3 วงศ์คือ *Pseudomonas sp.* 2 ไอโซเลท, *Bacillus sp.* 7 ไอโซเลท, และ *E. coli.* 1 ไอโซเลท ลงในถังปฏิกรณ์บำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์ โดยควบคุมปริมาณ MLSS 1,500 mg/l พบว่าสามารถลดค่า COD ได้เพิ่มขึ้นจาก 78.72 เป็นร้อยละ 96.65 แสดงว่าหลังการเติมกลุ่มหัวเชื้อลงในถังปฏิกรณ์ และระบบเข้าสู่สภาวะเสถียรในวันที่ 7 และมีค่าความชันการลดลงของ COD ก่อนและหลังเท่ากับ -6.277 และ -2.986 ตามลำดับ ดังนั้นกลุ่มเชื้อจุลินทรีย์ที่เติมลงในถังปฏิกรณ์ช่วยในการลดค่า COD ได้เร็วขึ้น

Lavanya V. and Kannan D. (2019) การศึกษาชนิดของจุลินทรีย์ในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมอาหาร และน้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัดด้วยจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง พบว่า จุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสีย ได้แก่ *Bacillus coagulans, Stepylococcus sp, Enterobacter, Bacillus sp*

Micrococcus, Flavobacterium sp, Rhizophus sp, Mucor sp, Fusarium sp, Alternaria sp และ *Aspergillus sp* ส่วนน้ำทิ้งหลังผ่านการบำบัดด้วยจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง จะพบจุลินทรีย์ ได้แก่ *Bacillus cogulans, Lactobacillus sp* และ yeast

สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงในการบำบัดน้ำเสียประเภทต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงในการบำบัดน้ำเสีย

ปีศึกษา	ผู้วิจัย	แหล่งกำเนิดน้ำเสีย	สภาวะในการทดลอง	พารามิเตอร์ที่ศึกษา	ประสิทธิภาพการบำบัดฯ (ร้อยละ)
2537	สมชัย จันทร์สว่าง และคณะ	ฟาร์มเลี้ยงสุกร	-	BOD	91
2538	ศรัณย์ กีรติธร	โรงงานผลิตกุนเชียง	แบบกะ (Batch) ไม่เติมอากาศ	BOD, SS, TDS	ไม่มีประสิทธิภาพ
				O&G	88
2538	ชลทิศ แก้วลี และวีระมนต์ สายทอง	ฟาร์มเลี้ยงสุกร	-	BOD	30
2538	ภานุวัฒน์ ทนงธนะสิทธิ์	น้ำกลั่นผสมน้ำมันหมู	ไม่เติมอากาศ	O&G	43.61
2538 (1995)	Srituma	ฟาร์มเลี้ยงสุกร	-	BOD	36
				SS	68
2538	สารสิน อุยยานนท์ และคณะ	โรงพยาบาลศูนย์ขอนแก่น	-	-	- การเติมและไม่เติมจุลินทรีย์อีเอ็มให้ผลการบำบัดเช่นเดียวกัน - ความเข้มข้นของจุลินทรีย์อีเอ็มไม่มีส่วนเกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพการบำบัด

ตารางที่ 2.4 (ต่อ)

ปีศึกษา	ผู้วิจัย	แหล่งกำเนิดน้ำเสีย	สภาวะในการทดลอง	พารามิเตอร์ที่ศึกษา	ประสิทธิภาพการบำบัดฯ (ร้อยละ)
2539	ปรียานุช แสนโคตร และศิรประภา ร่มเย็น	โรงงานผลิตกุนเชียง	แบบกึ่งต่อเนื่อง ไม่เติมอากาศ	O&G	91
2541	ตามพันธ์ สุขสถิตย์	ร้านอาหาร	ถังบำบัดไขมัน (เติมอากาศ)	O&G	50
			ถังบำบัดไขมัน (เติมจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง)	O&G	20
2542	ตันติกร ตรีบงกช และคณะ	โรงนม	-	COD	60-74
				BOD	65-79
				SS	43-49
2543	สมศักดิ์ นุกูลอุดม-พาณิชย์ และคณะ	โรงพยาบาล	ฉีดพ่นลงในบ่อพักน้ำเสีย	TDS	11.77
				TSS	11.89
				O&G	10.88
2545	วิทยา คงแหลม	ร้านอาหาร	ปฏิกิริยาแบบกึ่งต่อเนื่อง (Batch reactor)	O&G	84.11
				BOD	52.38
2547	พงศ์พิษณุ บุญดา	โรงงานผลิตไส้กรอก	ระบบตะกอนเร่ง	BOD	66.48
				TSS	96.50
				O&G	71.66
2551	ไกรสร นะโม และคณะ	โรงอาหารมหาวิทยาลัย	-	O&G	86.26
				COD	67.15
2008	Surasak Siripornadulsul and Wimonnuch Labteephanao	น้ำทิ้งบ้านเรือน	-	O&G	99.36

ตารางที่ 2.4 (ต่อ)

ปีศึกษา	ผู้วิจัย	แหล่งกำเนิดน้ำเสีย	สภาวะในการทดลอง	พารามิเตอร์ที่ศึกษา	ประสิทธิภาพการบำบัดฯ (ร้อยละ)
2554	พรชนก วงศ์ผดุงเกียรติ และภัชราภรณ์ สุวรรณ-วิทยา	โรงงานปลาป่น	-	COD	97-98
2554	ขวัญเนตร สมบัติสมภพ	โรงอาหารมหาวิทยาลัย	-	O&G	77
				COD	90
2557	จันทร์ทิพย์ ทรงฤทธิ์	-	ระบบบำบัดแบบเอสบีอาร์	COD	96.65

หมายเหตุ. “-” = ไม่มีข้อมูลหรือไม่ได้ระบุ

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

1. รูปแบบการวิจัย

การวิจัยกึ่งทดลองนี้ (Quasi experimental research) เป็นการศึกษาโดยการจำลองถังย่อยไขมัน ตามค่าการออกแบบของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารของโรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่ง ในเขตอำเภอพานทอง จังหวัดชลบุรี การออกแบบการทดลองมีทั้งการทดลองภายใต้สภาวะที่ใช้ออกซิเจน (Aerobic condition) และไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic condition) การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงสำเร็จรูปจากโรงงานผู้ผลิต และจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารในการลดปริมาณน้ำมันและไขมัน และซีโอดีในน้ำเสียจากโรงอาหาร โดยใช้ความเข้มข้นของจุลินทรีย์เริ่มต้น 3 สูตร ได้แก่ สูตรเจือจาง 1:25 สูตรเจือจาง 1:15 และสูตรเข้มข้น ระยะเวลาการบำบัดน้ำเสีย 12 ชั่วโมง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1.1 สภาวะในการทดลอง ประกอบด้วยการทดลอง 4 ชุด ดังนี้

1.1.1 การทดลองชุดที่ 1 : น้ำเสียจากโรงอาหารที่ไม่มีการเติมอากาศ และไม่เติมจุลินทรีย์ลงในน้ำเสีย

1.1.2 การทดลองชุดที่ 2 : น้ำเสียจากโรงอาหารที่มีการเติมอากาศ และไม่เติมจุลินทรีย์ลงในน้ำเสีย

1.1.3 การทดลองชุดที่ 3 : น้ำเสียจากโรงอาหารที่มีการเติมอากาศ และเติมจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง ที่ความเข้มข้นสูตรเจือจาง 1:25 สูตรเจือจาง 1:15 และสูตรเข้มข้นลงในน้ำเสีย

1.1.4 การทดลองชุดที่ 4 : น้ำเสียจากโรงอาหารที่มีการเติมอากาศ และเติมจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร ที่ความเข้มข้นสูตรเจือจาง 1:25 สูตรเจือจาง 1:15 และสูตรเข้มข้นลงในน้ำเสีย

1.2 ปริมาณการเติมจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงหรือจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร 1 ส่วน ต่อน้ำเสีย 1,000 ส่วน (2 มิลลิลิตรของจุลินทรีย์ต่อน้ำเสีย 2,000 มิลลิลิตร)

1.3 การเติมอากาศ สำหรับการทดลองชุดที่ 2, 3 และ 4 โดยใช้เครื่องเติมอากาศ ขนาด 4 หัวจ่าย เพื่อเติมอากาศในชุดทดลองตลอดระยะเวลาของการทดลอง

1.4 อุณหภูมิ ใช้ตามสภาพจริงโดยอยู่ในช่วง 30-37 องศาเซลเซียส

1.5 พีเอช ใช้ตามสภาพจริงของตัวอย่างน้ำเสีย โดยอยู่ในช่วง 4.66-6.63

2. ประชากร/กลุ่มตัวอย่าง

2.1 ประชากร คือ น้ำเสียทั้งหมดที่เกิดจากกิจกรรมการประกอบอาหาร การชำระล้างภาชนะและสิ่งสกปรกภายในโรงอาหารของโรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่งในเขตอำเภอพานทอง จังหวัดชลบุรี

2.2 กลุ่มตัวอย่าง คือ น้ำเสียที่เก็บจากบ่อปรับเสถียรของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารของโรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่ง ในช่วงเดือนกันยายน – ตุลาคม พ.ศ. 2562 โดยกวนตัวอย่างน้ำเสียในบ่อปรับเสถียรให้เป็นเนื้อเดียวกัน แล้วตักใส่ถังความจุ 35 ลิตร จากนั้นกวนตัวอย่างน้ำเสียให้เป็นเนื้อเดียวกันอีกครั้ง และตักใส่บีกเกอร์ จำนวน 4 ใบ ใบละ 2,000 มิลลิลิตร แล้วเก็บตัวอย่างน้ำเสียก่อนการทดลอง โดยยังคงมีจุลินทรีย์ตามธรรมชาติเดิม ไม่มีการฆ่าเชื้อโรคแต่อย่างใด และทำการทดลองในพื้นที่ของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร เมื่อครบตามระยะเวลาที่กำหนด ทำการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งหลังการทดลองอีกครั้ง

2.3 จุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง ใช้จุลินทรีย์ 2 ชนิด ได้แก่ (1) จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง สำเร็จรูปจากโรงงานผู้ผลิต และ (2) จุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร โดยจะใช้เป็นหัวเชื้อตั้งต้นในการนำไปขยายพันธุ์โดยวิธีการหมักด้วยกากน้ำตาล ซึ่งในที่นี้จะเรียกว่า จุลินทรีย์ขยาย และเมื่อนำจุลินทรีย์ขยายไปเติมลงในชุดการทดลองจะเรียกว่า จุลินทรีย์ขยายสูตรเข้มข้น หรือเมื่อนำจุลินทรีย์ขยายไปเจือจางในน้ำสะอาดอีกครั้งหนึ่งก่อนเติมลงในชุดการทดลองจะเรียกว่า จุลินทรีย์ขยายสูตรเจือจาง

3. อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.1 อุปกรณ์การทดลอง

3.1.1 ถังพลาสติก ขนาด 35 ลิตร จำนวน 1 ใบ สำหรับใส่น้ำเสียจากถังปรับเสถียรของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร นำมาทดลองในชุดทดลอง และถังพลาสติกจำนวน 4 ใบ เพื่อนำมาใช้ในการหมักขยายพันธุ์จุลินทรีย์

3.1.2 บีกเกอร์ ขนาด 2,000 มิลลิลิตร จำนวน 4 ใบ เพื่อนำมาจำลองเป็นถังย่อยไขมัน

3.1.3 บีกเกอร์ ขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวน 2 ใบ เพื่อใช้ตวงจุลินทรีย์และกากน้ำตาล

3.1.4 ขวดแก้ว ขนาด 1,000 มิลลิลิตร และขวดพลาสติก ขนาด 500 มิลลิลิตร เพื่อใช้เก็บตัวอย่างน้ำเสียและน้ำทิ้ง

3.1.5 เข็มฉีดยา ขนาด 1-10 มิลลิลิตร ใช้ตวงจุลินทรีย์ลงในชุดการทดลอง

3.1.6 เครื่องเติมอากาศและหัวฟู่ที่ใช้ในตู้เลี้ยงปลา จำนวน 2 เครื่อง (4 หัวฟู่)

3.1.7 ไม้กวน สำหรับกวนผสม จำนวน 1 อัน

3.2 เครื่องมือวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย

การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสียจะดำเนินการในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่งที่ได้รับการรับรองมาตรฐาน ISO/IEC 17025 มาตรฐานข้อกำหนดทั่วไปสำหรับความสามารถของห้องปฏิบัติการทดสอบและสอบเทียบ และขึ้นทะเบียนเป็นห้องปฏิบัติการวิเคราะห์เอกชนกับกรมโรงงานอุตสาหกรรม เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้รับการสอบเทียบกับห้องปฏิบัติการสอบเทียบที่ได้รับการรับรอง ISO/IEC 17025 โดยมีรายละเอียดของเครื่องมือ ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดเครื่องมือวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย

ชื่อเครื่องมือ	ผู้ผลิต	รุ่น	หมายเลขเครื่อง (S/N)	วันที่สอบเทียบ	สอบเทียบโดย
เครื่องชั่ง (Balance)	Sartorius	CP224S	SWB:18309703	24 พ.ค. 2562	SPC[1]
ตู้อบ (Hot air oven)	Binder	FD53	05-84458	24 พ.ค. 2562	SPC[1]
ตู้เก็บตัวอย่าง (Incubator)	Accuplus	i250	I250202-0306-0098	24 พ.ค. 2562	SPC[1]
เครื่องอังไอน้ำ (Water bath)	Memmert	WB14	1403.0500	22 เม.ย. 2562	SPC[1]
เครื่องวัดค่าพีเอช (Portable pH meter (Handheld))	Mettler Toledo	Seven2Go	B811534134	9 พ.ค. 2562	Mettler Toledo[3]
เครื่องวัดออกซิเจนละลายน้ำ (Portable DO meter (Handheld))	HANNA Instruments	HI 9147	08494658	11 มี.ค. 2562	HANNA[2]

หมายเหตุ. Calibration by [1] = SPC Calibration Center Co., Ltd.
Calibration by [2] = HANNA Instruments (Thailand) Ltd.
Calibration by [3] = Mettler Toledo (Thailand) Ltd.

3.2.1 การวัดค่าพีเอช

1) เครื่องมือและอุปกรณ์

(1) เครื่องวัดค่าพีเอช

(2) บีกเกอร์

3.2.2 การวัดค่าออกซิเจนละลายน้ำ

1) เครื่องมือและอุปกรณ์

(1) เครื่องวัดออกซิเจนละลายน้ำ

(2) บีกเกอร์

3.2.3 การวิเคราะห์ค่าน้ำมันและไขมัน

1) เครื่องมือและอุปกรณ์

(1) กรวยแยกปริมาตร 2 L (Separator funnel 2 L) และฝาปิด Tetrafluoroethylene (Teflon; TFE)

(2) ขวดกลมก้นแบนสำหรับกลั่น หรือขวดกลมก้นแบน (Boiling flask flat bottom or flask flat bottom)

(3) กระดาษกรอง ขนาด 11 เซนติเมตร เบอร์ 40 (Filter paper, 11 cm diameter No. 40)

(4) เครื่องอังไอน้ำ อุณหภูมิ 85°C

(5) ตู้อบ อุณหภูมิ 85°C

(6) ตู้ดูดควัน (Fume hood)

(7) โถดูดความชื้น/โถทำแห้ง (Desiccators)

(8) ขาตั้ง และห่วงสำหรับรองรับ (Stand and ring clamp)

(9) บีกเกอร์

(10) กระบอกตวง (Cylinder)

(11) ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask)

(12) เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

(13) แท่งแก้วคนสาร (Stirring rod)

(14) ปิเปตแบบปริมาตร (Volumetric pipette)

(15) คีมคีบ (Tongs)

(16) ขวดรูปชมพู่ พร้อมฝาปิด TFE (Erlenmeyer flask with TFE cap)

(17) ตู้เก็บตัวอย่าง

(18) เครื่องเขย่า (Oil shaker)

2) สารเคมี

(1) กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric, HCl) หรือกรดซัลฟูริก (Sulfuric, H_2SO_4) 1:1

(2) โซเดียมซัลเฟต (Sodium sulfate, Na_2SO_4 anhydrous)

(3) เอ็น-เฮกเซน (n–Hexane, C_6H_{14}) (ความบริสุทธิ์ $\geq$ 85% saturated C6 isomer อย่างน้อย 99% และ Residue < 1 mg/L)

(4) เฮกซะเดกเคน (Hexadecane, $C_{16}H_{34}$) (ความบริสุทธิ์ $\geq$ 98%)

(5) กรดสเตียริก (Stearic acid, $C_{18}H_{36}O_2$) (ความบริสุทธิ์ $\geq$ 98%)

(6) อะซิโตน (Acetone, C_3H_6O)

(7) น้ำปราศจากไอออน (De-ionized water)

3.2.4 การวิเคราะห์ค่าซีโอดี

1) เครื่องมือและอุปกรณ์

(1) เตาซีโอดี (COD Reactor) อุณหภูมิ 150 $\pm$ 2 ^{o}C

(2) เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

(3) หลอดทดลองหรือหลอดย่อย (Digestion vessels)

(4) เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer)

(5) กระบอกฉีดน้ำกลั่น

(6) เครื่องดูดจ่ายสารละลายอัตโนมัติ (Auto-pipette)

(7) ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask)

(8) บีกเกอร์

(9) ตู้อบ อุณหภูมิ 150 ^{o}C

(10) โถดูดความชื้น/โถทำแห้ง

(11) ตู้เก็บตัวอย่าง

(12) กระดาษทิชชู่ไร้ขน (Tissue paper)

2) สารเคมี

(1) น้ำปราศจากไอออน

(2) โปแตสเซียมไดโครเมท (Potassium dichromate, $K_2Cr_2O_7$) (Primary standard grade)

(3) กรดซัลฟูริก (Sulfuric, H_2SO_4) (เข้มข้น)

(4) กรดซัลฟามิค (Sulfamic acid, H_3NSO_3)

(5) ซิลเวอร์ซัลเฟต (Silver sulfate, Ag_2SO_4)

(6) เมอร์คิวรีซัลเฟต (Mercury sulfate, $HgSO_4$)

(7) โพแทสเซียมไฮโดรเจนพทาเลต (Potassium hydrogen phthalate, KHP)

4. วิธีดำเนินการทดลอง

4.1 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมของโรงอาหารของโรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่ง ปริมาณการเกิดน้ำเสีย 75 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน โดยการนำตัวอย่างน้ำเสียจากบ่อปรับเสถียรของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารมาทดลองในบีกเกอร์ ขนาด 2,000 มิลลิลิตร ทุกวัน เป็นเวลา 5 วัน (5 ซ้ำ) ในแต่ละชุดการทดลอง

4.2 การเตรียมจุลินทรีย์ที่ใช้ทดลอง

4.2.1 การเตรียมจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง สำหรับการทดลองชุดที่ 3

จุลินทรีย์ขยาย จากหัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง

1) ตวงหัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง กากน้ำตาล และน้ำสะอาดด้วยบีกเกอร์ในอัตราส่วนเท่ากับ 1 : 1 : 20

2) เทส่วนผสมทั้งหมดที่ตวงไว้ลงในถังพลาสติก ขนาด 35 ลิตร

3) ใช้ไม้พายคนจนทั่วให้เข้ากัน ปิดฝาถังให้สนิท ทิ้งไว้เป็นเวลา 7 วัน เพื่อให้จุลินทรีย์แบ่งตัวและเพิ่มจำนวนมากขึ้น

4) ตรวจสอบคุณภาพของจุลินทรีย์ เป็นประจำทุกวันตลอดระยะเวลาของการขยายพันธุ์โดยวิธีการหมัก ตามรายการที่แสดงดังตารางที่ 3.2

5) จุลินทรีย์ที่เหลือหลังจากการเติมลงในชุดการทดลอง หากต้องการนำมาขยายต่ออีกครั้ง ให้ปฏิบัติตามขั้นตอนที่ 1) ถึงขั้นตอนที่ 4) และจะต้องใช้ให้หมดภายใน 1 เดือน

ตารางที่ 3.2 รายการตรวจสอบ วิธีการตรวจสอบ และเกณฑ์กำหนดคุณภาพจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง

รายการตรวจสอบ	วิธีการตรวจสอบ	เกณฑ์กำหนด
การเกิดฝ้าบนผิวหน้า	ใช้สายตา	เกิดฝ้าหรือโคโลนีบนผิวหน้า
อุณหภูมิ	Portable pH meter (Handheld)	25-45 ºC
ค่าพีเอช	Portable pH meter (Handheld)	อยู่ในช่วง 2-5
กลิ่น	ใช้การสูดดม	กลิ่นของกากน้ำตาล/กลิ่นเหม็นเปรี้ยว
สี	ใช้สายตา	สีน้ำตาลเข้ม

ที่มา: ไชยวัฒน์ ไชยสุต (2553, น.39) และสำนักเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2554, น.11).

4.2.2 การเตรียมจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร สำหรับการทดลองชุดที่ 4

1) หัวเชื้อจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร

(1) ตวงจุลินทรีย์ตะกอนที่เก็บจากถังเติมอากาศชนิดฟิล์มตรึง ถังที่ 1 ของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร กากน้ำตาล และน้ำเสียจากถังปรับเสถียรของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารด้วยบีกเกอร์ในอัตราส่วนเท่ากับ 1 : 1 : 20

(2) เทส่วนผสมทั้งหมดที่ตวงไว้ลงในถังพลาสติก ขนาด 35 ลิตร

(3) ใช้ไม้พายคนจนทั่วให้เข้ากัน ปิดฝาถังให้สนิท ทิ้งไว้เป็นเวลา 7 วัน เพื่อให้จุลินทรีย์แบ่งตัวและเพิ่มจำนวนมากขึ้น

(4) ตรวจสอบคุณภาพของหัวเชื้อจุลินทรีย์ เป็นประจำทุกวันตลอดระยะเวลาของการขยายพันธุ์โดยวิธีการหมัก ตามรายการที่แสดงดังตารางที่ 3.2 จนกว่าคุณภาพจะเป็นไปตามเกณฑ์ควบคุมทุกรายการ จึงจะสามารถนำไปผลิตเป็นจุลินทรีย์ขยายตามขั้นตอนที่ 4.2.2 วงเล็บ 2) ต่อไปได้

2) จุลินทรีย์ขยาย จากหัวเชื้อจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียโรงอาหาร

(1) ตวงหัวเชื้อจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร กากน้ำตาล และน้ำสะอาดด้วยบีกเกอร์ ในอัตราส่วนเท่ากับ 1 : 1 : 20

(2) เทส่วนผสมทั้งหมดที่ตวงไว้ลงในถังพลาสติก ขนาด 35 ลิตร

(3) ใช้ไม้พายคนจนทั่วให้เข้ากัน ปิดฝาถังให้สนิท ทิ้งไว้เป็นเวลา 7 วัน เพื่อให้จุลินทรีย์แบ่งตัวและเพิ่มจำนวนมากขึ้น

(4) ตรวจสอบคุณภาพของจุลินทรีย์ เป็นประจำทุกวันตลอดระยะเวลาของการขยายพันธุ์โดยวิธีการหมัก ตามรายการที่แสดงดังตารางที่ 3.2

(5) จุลินทรีย์ที่เหลือหลังจากการเติมลงในชุดการทดลอง หากต้องการนำมาขยายต่ออีกครั้ง ให้ปฏิบัติตามขั้นตอนที่ (1) ถึงขั้นตอนที่ (4) และจะต้องใช้ให้หมดภายใน 1 เดือน

4.3 การตรวจสอบคุณภาพของจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง

4.3.1 เมื่อทำการเตรียมจุลินทรีย์ตามหัวข้อที่ 4.2 แล้ว ให้ทำการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ การเกิดฟ้าบนผิวหน้า ค่าพีเอช กลิ่น และสีตามวิธีการตรวจสอบที่แสดงในตารางที่ 3.2 เป็นประจำทุกวัน ตลอดระยะของการขยายพันธุ์โดยวิธีการหมัก

4.3.2 เมื่อผลการตรวจสอบลักษณะทางกายภาพเป็นไปตามเกณฑ์กำหนดครบทุกรายการตรวจสอบจึงจะสามารถนำไปใช้เติมลงในชุดจำลองถังย่อยไขมันได้

4.3.3 กรณีผลการตรวจสอบคุณภาพไม่เป็นไปตามเกณฑ์กำหนดครบทุกรายการตรวจสอบ ให้เพิ่มระยะเวลาการหมักจนกว่าทุกรายการตรวจสอบจะเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด หรือนำหัวเชื้อจุลินทรีย์มาขยายใหม่อีกครั้ง

4.4 ขั้นตอนการทดลอง

ออกแบบชุดการทดลองของถังย่อยไขมัน ตามค่าการออกแบบจากผู้เชี่ยวชาญของระบบบำบัดน้ำเสียโรงอาหารของโรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่ง อ้างอิงตามคู่มือการควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอหาร (Manual operation for canteen wastewater treatment system)

การทดลองบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารด้วยจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง และจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร แบ่งออกเป็น 4 ชุดการทดลอง ได้แก่ การทดลองชุดที่ 1 น้ำเสียจากโรงอาหารที่ไม่มีการเติมอากาศ และไม่เติมจุลินทรีย์ลงในน้ำเสีย การทดลองชุดที่ 2 น้ำเสียจากโรงอาหารที่มีการเติมอากาศ และไม่เติมจุลินทรีย์ลงในน้ำเสีย การทดลองชุดที่ 3 น้ำเสียจากโรงอาหารที่มีการเติมอากาศ และเติมจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงลงในน้ำเสีย และการทดลองชุดที่ 4 น้ำเสียจากโรงอาหารที่มีการเติมอากาศ และเติมจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารลงในน้ำเสีย รายละเอียดค่าการออกแบบถังย่อยไขมันของระบบบำบัดฯ และค่าการออกแบบชุดจำลองถังย่อยไขมัน แสดงดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 รายการค่าการออกแบบชุดจำลองถังย่อยไขมันตามค่าการออกแบบจากผู้เชี่ยวชาญของระบบบำบัดน้ำเสียโรงอาหารของโรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่ง

ชื่อจุด	รายการ	ค่าการออกแบบระบบบำบัดฯ	ค่าการออกแบบชุดจำลอง
ถังย่อยไขมัน	ปริมาตรบรรจุ (ลิตร)	37,600	2
	ระยะเวลากักเก็บ (ชั่วโมง)	12	12
	ปริมาณการเติมจุลินทรีย์ (มิลลิลิตร)	7,688	2

ขั้นตอนการทดลองมีรายละเอียดดังนี้

4.4.1 การทดลองบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร โดยจุลินทรีย์ขยาย สูตรเจือจาง 1:25

1) กวนตัวอย่างน้ำเสียในบ่อปรับเสถียรให้เป็นเนื้อเดียวกัน ตักใส่ถังพลาสติกความจุ 35 ลิตร ปริมาตร 10 ลิตร

2) กวนตัวอย่างน้ำเสียให้เป็นเนื้อเดียวกันอีกครั้ง แล้วตักใส่บีกเกอร์ จำนวน 4 ใบ ใบละ 2,000 มิลลิลิตร (สำหรับการทดลองชุดที่ 1, 2, 3 และ 4)

3) วัดค่าพีเอชของตัวอย่างน้ำเสีย

4) เก็บตัวอย่างน้ำเสียมาวิเคราะห์พารามิเตอร์น้ำมันและไขมัน และซีโอดี จำนวน 1 ตัวอย่าง เพื่อใช้เป็นตัวแทนคุณภาพน้ำเสียก่อนการทดลอง

5) ทำการเจือจางจุลินทรีย์ขยาย จากหัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงในขั้นตอนที่ 4.2.1 โดยการผสมกับน้ำสะอาด ในอัตราส่วนเท่ากับ 1:25 และเติมลงในการทดลองชุดที่ 3 ปริมาตร 2 มิลลิลิตร

6) ทำการเจือจางจุลินทรีย์ขยาย จากหัวเชื้อจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารในขั้นตอนที่ 4.2.2 วงเล็บ 2) โดยการผสมกับน้ำสะอาด ในอัตราส่วนเท่ากับ 1:25 และเติมลงในการทดลองชุดที่ 4 ปริมาตร 2 มิลลิลิตร

7) เปิดเครื่องเติมอากาศ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ให้กับการทดลองชุดที่ 2, 3 และ 4 (สำหรับการทดลองที่ 1 ไม่มีการเติมอากาศและไม่เติมจุลินทรีย์ขยาย และการทดลองที่ 2 เติมอากาศ และไม่เติมจุลินทรีย์ขยาย)

8) ตรวจสอบค่าออกซิเจนละลายน้ำ โดยควบคุมให้อยู่ในช่วง 1-2 มิลลิกรัมต่อลิตร

9) เมื่อครบเวลาตามที่กำหนด ปิดเครื่องเติมอากาศ เป็นเวลา 5 นาที

10) วัดค่าพีเอชของตัวอย่างน้ำเสีย ทั้ง 4 ชุดการทดลอง

11) เก็บตัวอย่างน้ำเสียมาวิเคราะห์พารามิเตอร์น้ำมันและไขมัน และซีโอดี จำนวน 4 ตัวอย่าง เพื่อใช้เป็นตัวแทนคุณภาพน้ำทิ้งหลังการทดลอง

12) ทำการทดลองซ้ำ เป็นเวลา 5 วัน

4.4.2 การทดลองบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร โดยจุลินทรีย์ขยาย สูตรเจือจาง 1:15

1) ทำการทดลองเหมือนข้อ 4.4.1 ในขั้นตอน 1) – 4)

2) ทำการเจือจางจุลินทรีย์ขยาย จากหัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงในขั้นตอนที่ 4.2.1 โดยการผสมกับน้ำสะอาด ในอัตราส่วนเท่ากับ 1:15 และเติมลงในการทดลองชุดที่ 3 ปริมาตร 2 มิลลิลิตร

3) ทำการเจือจางจุลินทรีย์ขยาย จากหัวเชื้อจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารในขั้นตอนที่ 4.2.2 วงเล็บ 2) โดยการผสมกับน้ำสะอาด ในอัตราส่วนเท่ากับ 1:15 และเติมลงในการทดลองชุดที่ 4 ปริมาตร 2 มิลลิลิตร

4) ทำการทดลองเหมือนข้อ 4.4.1 ในขั้นตอน 7) – 12)

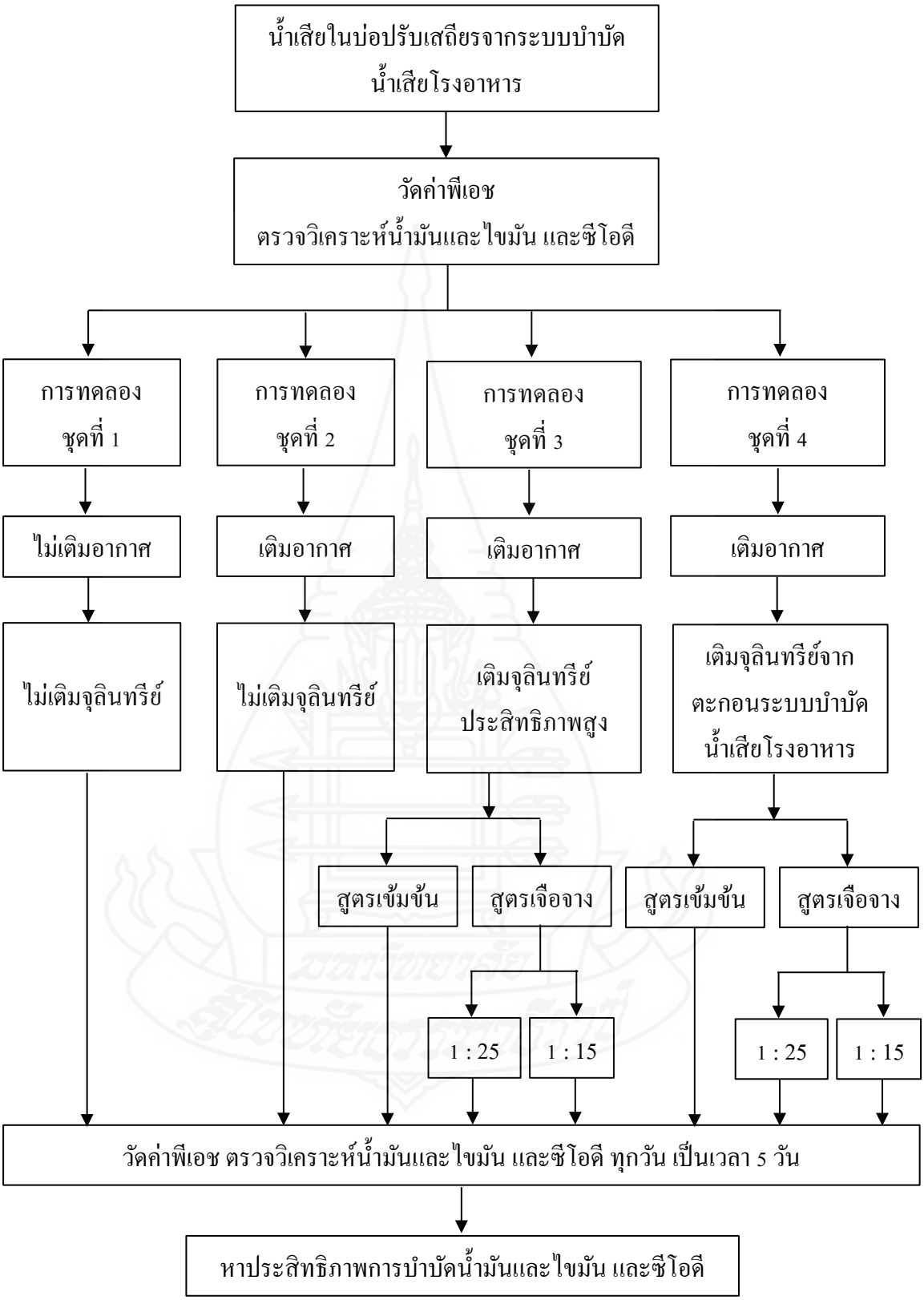
4.4.3 การทดลองบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร โดยจุลินทรีย์ขยาย สูตรเข้มข้น

1) ทำการทดลองเหมือนข้อ 4.4.1 ในขั้นตอนที่ 1) – 4)

2) เติมจุลินทรีย์ขยาย จากหัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงในขั้นตอนที่ 4.2.1 ลงในการทดลองชุดที่ 3 ปริมาตร 2 มิลลิลิตร

3) เติมจุลินทรีย์ขยาย จากหัวเชื้อจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารในขั้นตอนที่ 4.2.2 วงเล็บ 2) ลงในการทดลองชุดที่ 4 ปริมาตร 2 มิลลิลิตร

4) ทำการทดลองเหมือนข้อ 4.4.1 ในขั้นตอนที่ 7) – 12)



ภาพที่ 3.1 แผนผังการทดลอง

5. การเก็บรวบรวมข้อมูล

5.1 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย/น้ำทิ้ง

จุดเก็บตัวอย่างเพื่อการตรวจวิเคราะห์มีทั้งหมด 2 จุด ได้แก่ น้ำเสียจากถังปรับเสถียรของระบบบำบัดฯ ก่อนการทดลอง และน้ำทิ้งหลังการทดลองเพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป

5.1.1 การเก็บน้ำเสียก่อนการทดลอง ใช้วิธีการเก็บแบบจ้วง (Grab sampling) โดยเก็บจากถังปรับเสถียรของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารของโรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่ง ใส่ขวดเก็บตัวอย่างน้ำเสีย และนำส่งห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียของโรงงานฯ

5.1.2 การเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งหลังการทดลอง หลังจากปิดเครื่องเติมอากาศเป็นเวลา 5 นาที เก็บตัวอย่างน้ำทิ้งใส่ขวดเก็บตัวอย่าง และนำส่งห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียของโรงงานฯ

5.2 ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างน้ำเสีย/น้ำทิ้ง ส่งตรวจทางห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียของโรงงาน

5.2.1 ตรวจสอบอุปกรณ์การเก็บตัวอย่างน้ำเสีย/น้ำทิ้ง ว่าอยู่ในสภาพปกติหรือไม่

5.2.2 แยกภาชนะเก็บตัวอย่างออกเป็น 2 ชุด

1) สำหรับเก็บตัวอย่างน้ำเสียก่อนการทดลอง 1 ชุด

2) สำหรับเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งหลังการทดลอง 4 ชุด

อุปกรณ์การเก็บตัวอย่าง 1 ชุด ประกอบด้วย ขวดแก้ว ปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร 1 ใบ (สำหรับวิเคราะห์น้ำมันและไขมัน) และขวดพลาสติก ปริมาตร 500 มิลลิลิตร 1 ใบ (สำหรับวิเคราะห์ซีโอดี)

5.2.3 ตักตัวอย่างน้ำเสียขึ้นมาจากบ่อปรับเสถียร เทลงในภาชนะบรรจุ กลั้วภาชนะบรรจุด้วยน้ำตัวอย่างและเททิ้ง จากนั้นจึงเทตัวอย่างน้ำเสียลงในขวดเก็บตัวอย่างเป็นลำดับถัดไป (น้ำเสียก่อนการทดลอง)

5.2.4 เทตัวอย่างน้ำทิ้งจากบีกเกอร์ทดลองลงในภาชนะบรรจุ โดยให้เหลือตะกอนที่ก้นบีกเกอร์ไว้ (ประมาณ 30 มิลลิลิตร) (น้ำทิ้งหลังการทดลอง)

5.2.5 ปิดฝาขวดเก็บตัวอย่างให้สนิท

5.2.6 บันทึกรายละเอียดของตัวอย่างลงในฉลากบันทึก และติดที่ขวดตัวอย่าง

5.2.7 นำตัวอย่างส่งห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียของโรงงาน ทุกวัน กรณีที่ห้องปฏิบัติการฯ ไม่สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสียได้ทันที จะทำการเก็บและรักษาตัวอย่างน้ำเสีย ดังแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 รายละเอียดการเก็บและการรักษาตัวอย่างน้ำเสีย/น้ำทิ้ง

พารามิเตอร์	ภาชนะบรรจุ	ปริมาตรตัวอย่าง (มิลลิลิตร)	การเก็บรักษา	ช่วงระยะเวลาการเก็บ
1. น้ำมันและไขมัน	G,wide – mouth calibrated	1,000	ทำให้เป็นกรด pH < 2 ด้วย HCI หรือ H_2SO_4 และเก็บในตู้เย็นที่อุณหภูมิ ≤6 °C	28 วัน
2. ซีโอดี	P	500	ทำให้เป็นกรด pH < 2 ด้วย H_2SO_4 และเก็บในตู้เย็นที่อุณหภูมิ ≤6 °C	7 วัน

หมายเหตุ. G = ขวดแก้ว

P = ขวดพลาสติก (โพลีเอทิลีนหรือที่มีคุณภาพใกล้เคียงกัน)

5.3 สถานที่วิเคราะห์ตัวอย่าง

ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่ง ในเขตอำเภอพานทอง จังหวัดชลบุรี ที่ได้รับการรับรองมาตรฐาน ISO/IEC 17025 มาตรฐานข้อกำหนดทั่วไปสำหรับความสามารถของห้องปฏิบัติการทดสอบและสอบเทียบ และขึ้นทะเบียนเป็นห้องปฏิบัติการวิเคราะห์เอกชนกับกรมโรงงานอุตสาหกรรม วิธีวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ ใช้วิธีวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียตาม Standard Method for Examination of Water and Wastewater, 23rd Edition ดังแสดงในตาราง 3.5

ตารางที่ 3.5 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์
น้ำมันและไขมัน	Partition Gravimetric Method
ซีโอดี	Closed Reflux, Colorimetric

6. การวิเคราะห์ข้อมูล

รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม SPSS

6.1 ใช้สถิติเชิงพรรณนา

1) อธิบายคุณลักษณะทั่วไปของน้ำเสีย และประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย โดยเสนอค่าเป็นร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) นำเสนอข้อมูลโดยใช้ตารางและกราฟรูปกล่อง (Box Plot)

6.2 ใช้สถิติเชิงอนุมาน

1) ทดสอบความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดทั้ง 4 ชุดการทดลอง โดยใช้สถิติ Kruskal-Wallis One-Way analysis of Variance และเปรียบเทียบเป็นคู่ๆ โดยใช้สถิติ Mann-Whitney U Test

2) กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ เท่ากับ 0.05 (Significance level 0.05, Confidence Intervals are 95%)

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาวิจัยเชิงกึ่งทดลอง เพื่อหาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมัน และซีโอดีในน้ำเสียจากโรงอาหารของโรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่ง ในเขตอำเภอพานทอง จังหวัดชลบุรี ด้วยจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง และจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากบ่อปรับเสถียรของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารของโรงงานฯ โดยไม่มีการปรับสภาพและคงจุลินทรีย์ตามธรรมชาติไว้ แบ่งการทดลองออกเป็น 4 ชุด คือ การทดลองชุดที่ 1 น้ำเสียจากโรงอาหารที่ไม่เติมอากาศ ปล่อยทิ้งไว้ตามธรรมชาติ และไม่เติมจุลินทรีย์ลงในน้ำเสีย การทดลองชุดที่ 2 น้ำเสียจากโรงอาหารที่มีการเติมอากาศ และไม่เติมจุลินทรีย์ลงในน้ำเสีย การทดลองชุดที่ 3 น้ำเสียจากโรงอาหารที่มีการเติมอากาศและเติมจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงสำเร็จรูปจากโรงงานผู้ผลิตลงในน้ำเสีย และการทดลองชุดที่ 4 น้ำเสียจากโรงอาหารที่มีการเติมอากาศ และเติมจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารลงในน้ำเสีย แต่ละชุดการทดลองใช้ระยะเวลาบำบัด 12 ชั่วโมง และทดลองเป็นเวลา 5 วัน (ทำ 5 ซ้ำ)

1. ลักษณะน้ำเสีย

ลักษณะน้ำเสียเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการทดลองหรือประสิทธิภาพในการบำบัด การศึกษาครั้งนี้ใช้น้ำเสียจากโรงอาหาร ซึ่งมีลักษณะน้ำเสียที่ไม่แปรปรวนมากนัก โดยมีปัจจัยที่พิจารณาคือ ลักษณะน้ำเสียก่อนการทดลอง ค่าพีเอช และค่าออกซิเจนละลายน้ำ

1.1 ลักษณะน้ำเสียก่อนการทดลอง

น้ำเสียที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เป็นตัวอย่างน้ำเสียจากบ่อปรับเสถียรของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารของโรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่ง ในเขตอำเภอพานทอง จังหวัดชลบุรี เก็บตัวอย่างแบบจ้วง 15 ครั้ง ในช่วงเดือนกันยายน – ตุลาคม พ.ศ. 2562 ลักษณะทางกายภาพโดยทั่วไป มีสีเหลืองปนเทา กลิ่นเหม็น ค่าพีเอชอยู่ในช่วง 4.66-6.63 น้ำมันและไขมันเฉลี่ย 85.0 $\pm$ 16.9 มก./ล. และซีโอดี 1,629.2 $\pm$ 98.7 มก./ล. ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ลักษณะน้ำเสียก่อนการทดลอง

n = 15

พารามิเตอร์	ลักษณะสมบัติของน้ำเสียก่อนการทดลอง			
	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	S.D.
1. น้ำมันและไขมัน (มก./ล.)	65.5	108.8	85.0	16.9
2. ซีโอดี (มก./ล.)	1,462.5	1,787.5	1,629.2	98.7
3. พีเอช	4.66	6.63	5.26	0.5

1.2 ค่าพีเอช

การทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมัน และซีโอดีด้วยจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง และจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร โดยไม่ทำการปรับค่าพีเอช และยังคงสภาพไว้ดังเดิม ในการทดลองมีค่าพีเอชเริ่มต้นอยู่ในช่วง 4.66 – 6.63 เมื่อผ่านการบำบัดที่ระยะเวลา 12 ชั่วโมง ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ค่าพีเอชในตัวอย่างน้ำเสียของแต่ละชุดการทดลอง

n = 55

ชุดการทดลอง	ค่าพีเอช										
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง สูตรเจือจาง 1:25				ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง สูตรเจือจาง 1:15		ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง สูตรเข้มข้น	
		Test 1	Test 2	Test 3	Test 4		Test 3	Test 4		Test 3	Test 4
ครั้งที่ 1	5.48	5.56	7.63	7.46	7.47	4.90	7.26	7.18	4.68	7.32	7.29
ครั้งที่ 2	6.63	6.66	7.83	7.75	7.69	5.00	7.30	7.35	4.70	7.19	7.16
ครั้งที่ 3	5.67	5.93	7.54	7.50	7.50	5.24	7.26	7.24	4.66	7.28	7.17
ครั้งที่ 4	5.05	5.20	7.92	7.02	7.04	5.50	7.20	7.34	5.80	7.29	7.25
ครั้งที่ 5	5.32	5.51	7.62	7.43	7.40	5.09	7.22	7.16	5.16	7.18	7.20
ค่าเฉลี่ย	5.63	5.77	7.71	7.43	7.42	5.15	7.25	7.25	5.00	7.25	7.21
S.D.	0.6	0.6	0.2	0.3	0.2	0.2	0.0	0.1	0.5	0.1	0.1

หมายเหตุ. Test 1 คือ ชุดการทดลองที่ 1 น้ำเสียจากโรงอาหารที่ไม่มีการเติมอากาศ และไม่เติมจุลินทรีย์ลงในน้ำเสีย

Test 2 คือ ชุดการทดลองที่ 2 น้ำเสียจากโรงอาหารที่มีการเติมอากาศ และไม่เติมจุลินทรีย์ลงในน้ำเสีย

Test 3 คือ ชุดการทดลองที่ 3 น้ำเสียจากโรงอาหารที่มีการเติมอากาศ และเติมจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงที่ความเข้มข้น 3 สูตร ได้แก่ สูตรเจือจาง 1:25 สูตรเจือจาง 1:15 และสูตรเข้มข้นลงในน้ำเสีย

Test 4 คือ ชุดการทดลองที่ 4 น้ำเสียจากโรงอาหารที่มีการเติมอากาศ และเติมจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารที่ความเข้มข้น 3 สูตร ได้แก่ สูตรเจือจาง 1:25 สูตรเจือจาง 1:15 และสูตรเข้มข้นลงในน้ำเสีย

จากตารางที่ 4.2 พบว่าค่าพีเอชจะเพิ่มขึ้นในชุดการทดลองที่ 2 และจะลดลงเล็กน้อยในชุดการทดลองที่ 3 และ 4 เมื่อเทียบกับการทดลองชุดที่ 1 การทดลองจะมีลักษณะแนวโน้มการเพิ่มขึ้นลดลงคล้ายกันทั้ง 5 ซ้ำ ค่าพีเอชต่ำสุด คือ 5.20 และสูงสุด 7.92 ซึ่งอยู่ในช่วงพีเอชที่จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงหรือจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารสามารถเจริญเติบโตได้

1.3 ค่าออกซิเจนละลายน้ำ

การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมัน และซีโอดีในน้ำเสียจากโรงอาหารของโรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่ง ในเขตอำเภอพานทอง จังหวัดชลบุรี ด้วยจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง และจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารร่วมกับการเติมอากาศหรือเพิ่มออกซิเจนในตัวอย่างน้ำเสียตลอดการทดลอง โดยกำหนดให้มีออกซิเจนละลายน้ำอยู่ในช่วง 1 – 2 มก./ล. ซึ่งเพียงพอกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ทำการเก็บตัวอย่างทุกวันตลอดระยะเวลาการทดลอง ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่ำสุด คือ 1.3 มก./ล. และสูงสุด คือ 1.8 มก./ล. ค่าออกซิเจนละลายน้ำดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ของแต่ละชุดการทดลองที่เติมอากาศ

n = 35

ชุดการทดลอง	ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ						
	Test 2	สูตรเจือจาง 1:25		สูตรเจือจาง 1:15		สูตรเข้มข้น	
		Test 3	Test 4	Test 3	Test 4	Test 3	Test 4
ครั้งที่ 1	1.8	1.6	1.7	1.5	1.8	1.7	1.6
ครั้งที่ 2	1.5	1.3	1.4	1.5	1.6	1.5	1.5
ครั้งที่ 3	1.7	1.6	1.6	1.5	1.7	1.3	1.4
ครั้งที่ 4	1.6	1.4	1.4	1.6	1.5	1.6	1.6
ครั้งที่ 5	1.6	1.5	1.6	1.7	1.8	1.7	1.5
ค่าเฉลี่ย	1.6	1.5	1.5	1.6	1.7	1.6	1.5
S.D.	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

หมายเหตุ. Test 2 คือ ชุดการทดลองที่ 2 น้ำเสียจากโรงอาหารที่มีการเติมอากาศ และไม่เติมจุลินทรีย์ลงในน้ำเสีย

Test 3 คือ ชุดการทดลองที่ 3 น้ำเสียจากโรงอาหารที่มีการเติมอากาศ และเติมจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงที่ความเข้มข้น 3 สูตร ได้แก่ สูตรเจือจาง 1:25 สูตรเจือจาง 1:15 และสูตรเข้มข้นลงในน้ำเสีย

Test 4 คือ ชุดการทดลองที่ 4 น้ำเสียจากโรงอาหารที่มีการเติมอากาศ และเติมจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารที่ความเข้มข้น 3 สูตร ได้แก่ สูตรเจือจาง 1:25 สูตรเจือจาง 1:15 และสูตรเข้มข้นลงในน้ำเสีย

2. การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมัน

จากผลการทดลองพบว่า น้ำเสียก่อนการทดลองมีปริมาณน้ำมันและไขมันเฉลี่ย 85.0 $\pm$ 16.9 มก./ล. และหลังผ่านการบำบัดด้วยจุลินทรีย์ที่ความเข้มข้นและสภาวะในการทดลองที่แตกต่างกัน (ผลการทดลองแสดงในภาคผนวก ก) พบว่า เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของจุลินทรีย์ที่เติมลงไปในชุดการทดลองแตกต่างกัน ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำมันและไขมันมีค่าไม่แตกต่างกัน และสภาวะในการทดลองที่แตกต่างกัน ค่าเฉลี่ยปริมาณน้ำมันและไขมันมีค่าแตกต่างกัน โดยการทดลองชุดที่ 1 (น้ำเสียจากโรงอาหารที่ไม่เติมอากาศ และไม่เติมจุลินทรีย์) มีปริมาณน้ำมันและไขมันภายหลังการบำบัดมากที่สุด คือ 62.7 $\pm$ 13.9 มก./ล. ส่วนการทดลองชุดที่ 3 (น้ำเสียจากโรงอาหารที่มีการเติมอากาศ และเติมจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง) มีปริมาณน้ำมันและไขมันภายหลังการบำบัดน้อยที่สุด คือ 36.1 $\pm$ 6.4 มก./ล. ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานประกาศการนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย ที่ 76/2560 เรื่อง กำหนดมาตรฐานทั่วไปในการระบายน้ำเสียลงสู่ระบบบำบัดส่วนกลางในนิคมอุตสาหกรรม

2.1 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมัน

จากผลการทดลองพบว่า การทดลองชุดที่ 1 น้ำเสียจากโรงอาหารที่ทิ้งไว้ตามธรรมชาติ ไม่มีการเติมอากาศและไม่มีการเติมจุลินทรีย์ลงในน้ำเสีย ที่ระยะเวลาการทดลอง 12 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพร้อยละโดยเฉลี่ยเท่ากับ 26.4 $\pm$ 2.4 ซึ่งมีประสิทธิภาพต่ำที่สุดในทุกชุดการทดลองทั้ง 4 ชุด การทดลองชุดที่ 2 น้ำเสียจากโรงอาหารที่มีการเติมอากาศ และไม่มีการเติมจุลินทรีย์ลงในน้ำเสีย ระยะเวลาการทดลอง 12 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพการบำบัดคิดเป็นร้อยละโดยเฉลี่ยเท่ากับ 35.9 $\pm$ 6.2 ในขณะที่การทดลองชุดที่ 3 น้ำเสียจากโรงอาหารที่มีการเติมอากาศ และเติมจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง ที่ความเข้มข้นของจุลินทรีย์เริ่มต้นสูตรเจือจาง 1:25 สูตรเจือจาง 1:15 และสูตรเข้มข้นลงในน้ำเสีย ที่ระยะเวลาการทดลอง 12 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพการบำบัดคิดเป็นร้อยละโดยเฉลี่ยเท่ากับ 52.2 $\pm$ 9.4, 56.6 $\pm$ 4.8 และ 50.5 $\pm$ 10.0 ตามลำดับ และการทดลองชุดที่ 4 น้ำเสียจากโรงอาหารที่มีการเติมอากาศ และเติมจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร ที่ความเข้มข้นของจุลินทรีย์เริ่มต้นสูตรเจือจาง 1:25 สูตรเจือจาง 1:15 และสูตรเข้มข้นลงในน้ำเสีย ที่ระยะเวลาการทดลอง 12 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละโดยเฉลี่ยเท่ากับ 53.6 $\pm$ 9.3, 58.2 $\pm$ 7.2 และ 49.5 $\pm$ 11.1 ตามลำดับ ในภาพรวมแล้วการทดลองชุดที่ 4 มีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองทุกชุดในระยะเวลาการทดลองเดียวกัน ผลการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมันแสดงดังตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.1

ตารางที่ 4.4 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมัน

n = 40

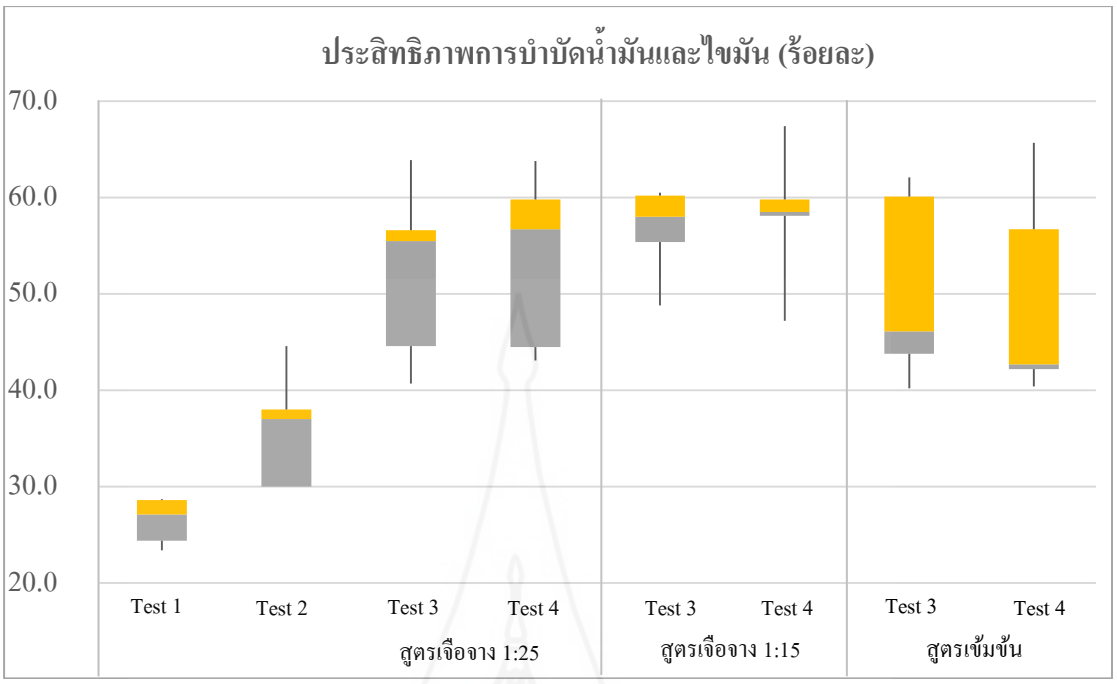
ชุดการทดลอง	ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมัน (ร้อยละ)							
	Test 1	Test 2	สูตรเจือจาง 1:25		สูตรเจือจาง 1:15		สูตรเข้มข้น	
			Test 3	Test 4	Test 3	Test 4	Test 3	Test 4
ครั้งที่ 1	23.4	30.0	44.6	59.8	55.4	58.5	43.8	40.4
ครั้งที่ 2	28.7	30.0	56.6	63.8	58.0	47.2	46.1	42.2
ครั้งที่ 3	27.1	37.0	55.5	56.7	48.8	58.1	60.1	42.7
ครั้งที่ 4	24.4	44.6	63.9	43.1	60.5	67.4	62.1	65.7
ครั้งที่ 5	28.6	38.0	40.7	44.5	60.2	59.8	40.2	56.7
ค่าเฉลี่ย	26.4	35.9	52.2	53.6	56.6	58.2	50.5	49.5
S.D.	2.4	6.2	9.4	9.3	4.8	7.2	10.0	11.1

หมายเหตุ. Test 1 คือ ชุดการทดลองที่ 1 น้ำเสียจากโรงอาหารที่ไม่มีการเติมอากาศ และไม่เติมจุลินทรีย์ลงในน้ำเสีย

Test 2 คือ ชุดการทดลองที่ 2 น้ำเสียจากโรงอาหารที่มีการเติมอากาศ และไม่เติมจุลินทรีย์ลงในน้ำเสีย

Test 3 คือ ชุดการทดลองที่ 3 น้ำเสียจากโรงอาหารที่มีการเติมอากาศ และเติมจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงที่ความเข้มข้น 3 สูตร ได้แก่ สูตรเจือจาง 1:25 สูตรเจือจาง 1:15 และสูตรเข้มข้นลงในน้ำเสีย

Test 4 คือ ชุดการทดลองที่ 4 น้ำเสียจากโรงอาหารที่มีการเติมอากาศ และเติมจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารที่ความเข้มข้น 3 สูตร ได้แก่ สูตรเจือจาง 1:25 สูตรเจือจาง 1:15 และสูตรเข้มข้นลงในน้ำเสีย



ภาพที่ 4.1 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมัน

2.2 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมันในสภาวะการทดลองที่แตกต่างกัน ทั้ง 4 ชุดการทดลอง และความเข้มข้นของจุลินทรีย์เริ่มต้นที่แตกต่างกัน โดยใช้ Kruskal-Wallis One-Way analysis of Variance ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ที่ใช้ตัวแปรต้นหรือตัวแปรอิสระพร้อมกันสองตัวหรือสองลักษณะ และการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมันทีละคู่ เพื่อทำการทดสอบว่า ค่าเฉลี่ยคู่ใดบ้างแตกต่างกัน โดยใช้ Mann-Whitney U Test

2.2.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมัน ทั้ง 4 ชุดการทดลอง (Kruskal-Wallis One-Way analysis of Variance)

เมื่อนำประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมันมาทดสอบทางสถิติโดยใช้ Kruskal-Wallis One-Way analysis of Variance เพื่อทดสอบความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมันที่สภาวะในการทดลองที่แตกต่างกันของการทดลองทั้ง 4 ชุด พบว่า สภาวะการทดลองที่แตกต่างกัน*มีผล*ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P-Value = 0.000)

การทดสอบความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมันที่ความเข้มข้นของจุลินทรีย์เริ่มต้นที่แตกต่างกันในการทดลองชุดที่ 3 และ 4 พบว่า ความเข้มข้นของจุลินทรีย์เริ่มต้นที่แตกต่างกัน*ไม่มีผล*ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P-Value = 0.196) ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมัน ทั้ง 4 ชุดการทดลอง ด้วย Kruskal-Wallis One-Way analysis of Variance

ชุดการทดลอง	Mean Rank	N	P-Value
1. สภาวะการทดลองทั้ง 4 ชุดการทดลอง			
1.1) Test 1 : ไม่เติมอากาศ + ไม่เติมจุลินทรีย์	3.00	5	0.000*
1.2) Test 2 : เติมอากาศ + ไม่เติมจุลินทรีย์	9.70	5	
1.3) Test 3 : เติมอากาศ + เติมจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง	24.97	15	
1.4) Test 4 : เติมอากาศ + เติมจุลินทรีย์จากตะกอนฯ	25.47	15	
2. ความเข้มข้นของจุลินทรีย์เริ่มต้น			
2.1) เติมอากาศ + เติมจุลินทรีย์ สูตรเจือจาง 1:25	14.80	10	0.196
2.2) เติมอากาศ + เติมจุลินทรีย์ สูตรเจือจาง 1:15	19.35	10	
2.3) เติมอากาศ + เติมจุลินทรีย์ สูตรเข้มข้น	12.35	10	

หมายเหตุ. * แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ P-Value < 0.05

2.2.2 การเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมันทีละคู่ (Mann-Whitney U Test)

เมื่อนำประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมันทั้ง 4 ชุดการทดลองมาทดสอบทางสถิติโดยใช้ Mann-Whitney U Test โดยเปรียบเทียบเป็นคู่ๆ เพื่อทำการทดสอบว่าค่าเฉลี่ยคู่ใดบ้างแตกต่างกัน พบว่า ชุดการทดลองที่ 1 กับชุดการทดลองที่ 2 ชุดการทดลองที่ 1 กับชุดการทดลองที่ 3 และชุดการทดลองที่ 1 กับชุดการทดลองที่ 4 มีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมัน*แตกต่างกัน*อย่างมีนัยสำคัญ (P-Value < 0.05)

ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมันของชุดการทดลองที่ 2 กับชุดการทดลองที่ 3 และชุดการทดลองที่ 2 กับชุดการทดลองที่ 4 มีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมัน*แตกต่างกัน*อย่างมีนัยสำคัญ (P-Value < 0.05)

ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมันของการทดลองชุดการทดลองที่ 3 กับชุดการทดลองที่ 4 มีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมัน*ไม่แตกต่างกัน*ทางสถิติ (P-Value > 0.05) ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 การเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมันด้วย Mann-Whitney U Test

ชุดการทดลอง	Mean Rank	N	P-Value
Test 1 : ไม่เติมอากาศ + ไม่เติมจุลินทรีย์	3.00	5	0.009*
Test 2 : เติมอากาศ + ไม่เติมจุลินทรีย์	8.00	5	
Test 1 : ไม่เติมอากาศ + ไม่เติมจุลินทรีย์	3.00	5	0.001*
Test 3 : เติมอากาศ + เติมจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง	13.00	15	
Test 1 : ไม่เติมอากาศ + ไม่เติมจุลินทรีย์	3.00	5	0.001*
Test 4 : เติมอากาศ + เติมจุลินทรีย์จากตะกอนฯ	13.00	15	
Test 2 : เติมอากาศ + ไม่เติมจุลินทรีย์	3.70	5	0.003*
Test 3 : เติมอากาศ + เติมจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง	12.77	15	
Test 2 : เติมอากาศ + ไม่เติมจุลินทรีย์	4.00	5	0.005*
Test 4 : เติมอากาศ + เติมจุลินทรีย์จากตะกอนฯ	12.67	15	
Test 3 : เติมอากาศ + เติมจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง	15.20	15	0.852
Test 4 : เติมอากาศ + เติมจุลินทรีย์จากตะกอนฯ	15.80	15	

หมายเหตุ. * แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ P-Value < 0.05

จากการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมันในน้ำเสียจากโรงอาหารของโรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่งในเขตอำเภอพานทอง จังหวัดชลบุรี โดยวัดค่าประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมันของปัจจัย 2 อย่าง คือ สภาวะในการทดลอง และความเข้มข้นของจุลินทรีย์เริ่มต้นที่แตกต่างกัน การทดลองชุดที่ 1 น้ำเสียจากโรงอาหารที่ปล่อยน้ำเสียทิ้งไว้ตามธรรมชาติ การทดลองชุดที่ 2 น้ำเสียจากโรงอาหารที่มีการเติมอากาศอย่างเดียว การทดลองชุดที่ 3 น้ำเสียจากโรงอาหารที่มีการเติมอากาศ และเติมจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง ที่ความเข้มข้นของจุลินทรีย์เริ่มต้นสูตรเจือจาง 1:25 สูตรเจือจาง 1:15 และสูตรเข้มข้นลงในน้ำเสีย และชุดการทดลองที่ 4 น้ำเสียจากโรงอาหารที่มีการเติมอากาศ และเติมจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร ที่ความเข้มข้นของจุลินทรีย์เริ่มต้นสูตรเจือจาง 1:25 สูตรเจือจาง 1:15 และสูตรเข้มข้นลงในน้ำเสีย เมื่อนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมัน ที่ระยะเวลาเดียวกัน คือ 12 ชั่วโมง พบว่า ค่าประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมันเพิ่มขึ้นจากน้อยไปหามากในการทดลองชุดที่ 1 การทดลองชุดที่ 2 และการทดลองชุดที่ 3 และ 4 ตามลำดับ แสดงว่า การเติมอากาศและเติมจุลินทรีย์มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมัน

เมื่อนำค่าประสิทธิภาพมาทดสอบทางสถิติโดยใช้ Kruskal-Wallis One-Way analysis of Variance และ Mann-Whitney U Test พบว่า ค่าประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมันของการทดลองทั้ง 4 ชุดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยชุดการทดลองที่ 1 กับชุดการทดลองที่ 2 ชุดการทดลองที่ 1 กับชุดการทดลองที่ 3 และชุดการทดลองที่ 1 กับชุดที่ 4 แตกต่างกันทางสถิติ และชุดการทดลองที่ 2 กับชุดการทดลองที่ 3 และชุดการทดลองที่ 2 กับชุดการทดลองที่ 4 แตกต่างกันทางสถิติ แต่ประสิทธิภาพการบำบัดของชุดการทดลองที่ 3 กับชุดการทดลองที่ 4 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าชนิดและความเข้มข้นของจุลินทรีย์เริ่มต้นที่แตกต่างกันไม่มีผลทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

เมื่อพิจารณาความเหมาะสมของชนิดและความเข้มข้นเริ่มต้นของจุลินทรีย์ที่จะนำไปใช้ในการบำบัดน้ำมันและไขมันแล้ว ควรเลือกใช้จุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร ที่ความเข้มข้นของจุลินทรีย์เริ่มต้นสูตรเจือจาง 1:25 เนื่องจากมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่าชนิดจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงสำเร็จรูปที่สั่งซื้อจากโรงงานผู้ผลิต และมีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่จะมีขั้นตอนการทำงานเพิ่มขึ้น ได้แก่ ขั้นตอนการเตรียมหัวเชื้อจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร ขั้นตอนการต่อขยายหัวเชื้อจุลินทรีย์ฯ และขั้นตอนการตรวจสอบประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ฯ

3. การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี

ตัวอย่างน้ำเสียที่เก็บจากบ่อปรับเสถียรของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารของโรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่ง ในเขตอำเภอพานทอง จังหวัดชลบุรี มีปริมาณซีโอดีเฉลี่ย 1,629.2 $\pm$ 98.7 มก./ล. และหลังผ่านการบำบัดด้วยจุลินทรีย์ที่ความเข้มข้นและสภาวะในการทดลองที่แตกต่างกัน (ผลการทดลองแสดงในภาคผนวก ก) พบว่า เมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของจุลินทรีย์ที่เติมลงไปในชุดการทดลองแตกต่างกัน ค่าเฉลี่ยปริมาณซีโอดีมีค่าไม่แตกต่างกัน และสภาวะในการทดลองที่แตกต่างกัน ค่าเฉลี่ยปริมาณซีโอดีมีค่าแตกต่างกัน โดยการทดลองชุดที่ 1 (น้ำเสียจากโรงอาหารที่ไม่เติมอากาศ และไม่เติมจุลินทรีย์) มีปริมาณซีโอดีภายหลังการบำบัดมากที่สุด คือ 1,367.2 $\pm$ 68.4 มก./ล. ส่วนการทดลองชุดที่ 3 (น้ำเสียจากโรงอาหารที่มีการเติมอากาศ และเติมจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง) มีปริมาณซีโอดีภายหลังการบำบัดน้อยที่สุด คือ 884.8 $\pm$ 106.7 มก./ล. ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานประกาศการนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย ที่ 76/2560 เรื่อง กำหนดมาตรฐานทั่วไปในการระบายน้ำเสียลงสู่ระบบบำบัดส่วนกลางในนิคมอุตสาหกรรม

3.1 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี

จากผลการทดลองพบว่า การทดลองชุดที่ 1 น้ำเสียจากโรงอาหารที่ปล่อยทิ้งไว้ตามธรรมชาติ ไม่มีการเติมอากาศและไม่มีการเติมจุลินทรีย์ลงในน้ำเสีย ที่ระยะเวลาการทดลอง 12 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพร้อยละโดยเฉลี่ยเท่ากับ 12.8 $\pm$ 2.2 ซึ่งมีประสิทธิภาพต่ำที่สุดในทุกชุดการทดลองทั้ง 4 ชุด การทดลองชุดที่ 2 น้ำเสียจากโรงอาหารที่มีการเติมอากาศ และไม่มีการเติมจุลินทรีย์ลงในน้ำเสีย ระยะเวลาการทดลอง 12 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพการบำบัดคิดเป็นร้อยละโดยเฉลี่ยเท่ากับ 27.0 $\pm$ 3.5 ในขณะที่การทดลองชุดที่ 3 น้ำเสียจากโรงอาหารที่มีการเติมอากาศ และเติมจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง ที่ความเข้มข้นของจุลินทรีย์เริ่มต้นสูตรเจือจาง 1:25 สูตรเจือจาง 1:15 และสูตรเข้มข้นลงในน้ำเสีย ที่ระยะเวลาการทดลอง 12 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพการบำบัดคิดเป็นร้อยละโดยเฉลี่ยเท่ากับ 43.4 $\pm$ 8.2, 40.7 $\pm$ 7.1 และ 42.7 $\pm$ 15.1 ตามลำดับ และการทดลองชุดที่ 4 น้ำเสียจากโรงอาหารที่มีการเติมอากาศ และเติมจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารที่ความเข้มข้นของจุลินทรีย์เริ่มต้นสูตรเจือจาง 1:25 สูตรเจือจาง 1:15 และสูตรเข้มข้นลงในน้ำเสีย ที่ระยะเวลาการทดลอง 12 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละโดยเฉลี่ยเท่ากับ 42.7 $\pm$ 8.7, 42.5 $\pm$ 7.2 และ 40.2 $\pm$ 13.4 ตามลำดับ ในภาพรวมแล้วพบว่า การทดลองชุดที่ 3 มีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองทุกชุดในระยะเวลาการทดลองเดียวกัน ผลการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีแสดงดังตารางที่ 4.7 และภาพที่ 4.2

ตารางที่ 4.7 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี

n = 40

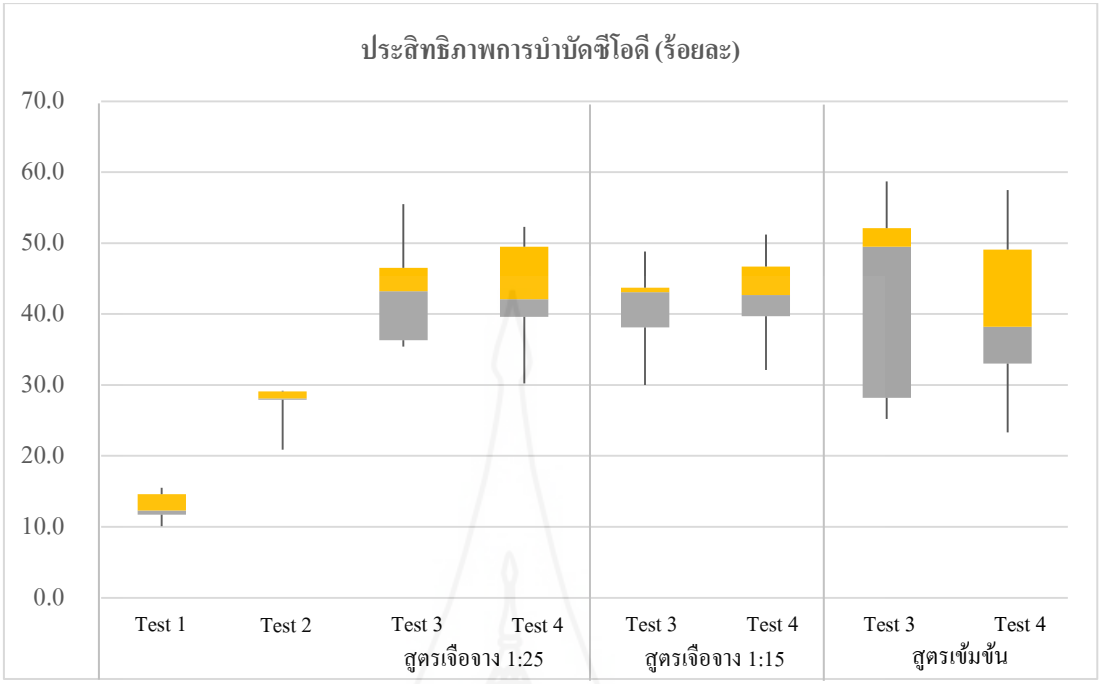
ชุดการทดลอง	ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี (ร้อยละ)							
	Test 1	Test 2	สูตรเจือจาง 1:25		สูตรเจือจาง 1:15		สูตรเข้มข้น	
			Test 3	Test 4	Test 3	Test 4	Test 3	Test 4
ครั้งที่ 1	14.6	27.9	55.5	52.3	30.0	32.1	49.5	38.2
ครั้งที่ 2	10.1	20.9	46.5	49.5	43.1	46.7	25.2	33.0
ครั้งที่ 3	11.7	29.1	36.3	39.6	38.1	39.7	52.1	49.1
ครั้งที่ 4	12.3	29.2	35.4	30.2	48.8	51.2	58.7	57.5
ครั้งที่ 5	15.5	28.1	43.2	42.1	43.7	42.7	28.2	23.3
ค่าเฉลี่ย	12.8	27.0	43.4	42.7	40.7	42.5	42.7	40.2
S.D.	2.2	3.5	8.2	8.7	7.1	7.2	15.1	13.4

หมายเหตุ. Test 1 คือ ชุดการทดลองที่ 1 น้ำเสียจากโรงอาหารที่ไม่มีการเติมอากาศ และไม่เติมจุลินทรีย์ลงในน้ำเสีย

Test 2 คือ ชุดการทดลองที่ 2 น้ำเสียจากโรงอาหารที่มีการเติมอากาศ และไม่เติมจุลินทรีย์ลงในน้ำเสีย

Test 3 คือ ชุดการทดลองที่ 3 น้ำเสียจากโรงอาหารที่มีการเติมอากาศ และเติมจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงที่ความเข้มข้น 3 สูตร ได้แก่ สูตรเจือจาง 1:25 สูตรเจือจาง 1:15 และสูตรเข้มข้นลงในน้ำเสีย

Test 4 คือ ชุดการทดลองที่ 4 น้ำเสียจากโรงอาหารที่มีการเติมอากาศ และเติมจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารที่ความเข้มข้น 3 สูตร ได้แก่ สูตรเจือจาง 1:25 สูตรเจือจาง 1:15 และสูตรเข้มข้นลงในน้ำเสีย



ภาพที่ 4.2 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี

3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีในสภาวะการทดลองที่แตกต่างกัน ทั้ง 4 ชุดการทดลอง และความเข้มข้นของจุลินทรีย์เริ่มต้นที่แตกต่างกัน โดยใช้ Kruskal-Wallis One-Way analysis of Variance ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ที่ใช้ตัวแปรต้นหรือตัวแปรอิสระพร้อมกันสองตัวหรือสองลักษณะ และการเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีทีละคู่ เพื่อทำการทดสอบว่า ค่าเฉลี่ยคู่ใดบ้างแตกต่างกัน โดยใช้ Mann-Whitney U Test

3.2.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี ทั้ง 4 ชุดการทดลอง (Kruskal-Wallis One-Way analysis of Variance)

เมื่อนำประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีมาทดสอบทางสถิติโดยใช้ Kruskal-Wallis One-Way analysis of Variance เพื่อทดสอบความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีที่สภาวะในการทดลองที่แตกต่างกันของการทดลองทั้ง 4 ชุด พบว่า สภาวะการทดลองที่แตกต่างกัน*มีผล*ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P-Value = 0.000)

การทดสอบความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีที่ความเข้มข้นของจุลินทรีย์เริ่มต้นที่แตกต่างกันในการทดลองชุดที่ 3 และ 4 พบว่า ความเข้มข้นของจุลินทรีย์เริ่มต้นที่แตกต่างกัน*ไม่มีผล*ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P-Value = 0.934) ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี ทั้ง 4 ชุดการทดลอง ด้วย Kruskal-Wallis One-Way analysis of Variance

ชุดการทดลอง	Mean Rank	N	P-Value
1. สภาวะการทดลองทั้ง 4 ชุดการทดลอง			
1.1) Test 1 : ไม่เติมอากาศ + ไม่เติมจุลินทรีย์	3.00	5	0.000*
1.2) Test 2 : เติมอากาศ + ไม่เติมจุลินทรีย์	10.00	5	
1.3) Test 3 : เติมอากาศ + เติมจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง	25.23	15	
1.4) Test 4 : เติมอากาศ + เติมจุลินทรีย์จากตะกอนฯ	25.10	15	
2. ความเข้มข้นของจุลินทรีย์เริ่มต้น			
2.1) เติมอากาศ + เติมจุลินทรีย์ สูตรเจือจาง 1:25	16.25	10	0.934
2.2) เติมอากาศ + เติมจุลินทรีย์ สูตรเจือจาง 1:15	14.80	10	
2.3) เติมอากาศ + เติมจุลินทรีย์ สูตรเข้มข้น	15.45	10	

หมายเหตุ. * แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ P-Value < 0.05

3.2.2 การเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีทีละคู่ (Mann-Whitney U Test)

เมื่อนำประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีทั้ง 4 ชุดการทดลอง มาทดสอบทางสถิติโดยใช้ Mann-Whitney U Test โดยเปรียบเทียบเป็นคู่ๆ เพื่อทำการทดสอบว่า ค่าเฉลี่ยคู่ใดบ้างแตกต่างกัน พบว่า ชุดการทดลองที่ 1 กับชุดการทดลองที่ 2 ชุดการทดลองที่ 1 กับชุดการทดลองที่ 3 และชุดการทดลองที่ 1 กับชุดการทดลองที่ 4 มีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี*แตกต่างกัน* อย่างมีนัยสำคัญ (P-Value < 0.05)

ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของชุดการทดลองที่ 2 กับชุดการทดลองที่ 3 และชุดการทดลองที่ 2 กับชุดการทดลองที่ 4 มีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี*แตกต่างกัน* อย่างมีนัยสำคัญ (P-Value < 0.05)

ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของชุดการทดลองที่ 3 กับชุดการทดลองที่ 4 มีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี*ไม่แตกต่างกัน*ทางสถิติ (P-Value > 0.05) ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 การเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี ด้วย Mann-Whitney U Test

ชุดการทดลอง	Mean Rank	N	P-Value
Test 1 : ไม่เติมอากาศ + ไม่เติมจุลินทรีย์	3.00	5	0.009*
Test 2 : เติมอากาศ + ไม่เติมจุลินทรีย์	8.00	5	
Test 1 : ไม่เติมอากาศ + ไม่เติมจุลินทรีย์	3.00	5	0.001*
Test 3 : เติมอากาศ + เติมจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง	13.00	15	
Test 1 : ไม่เติมอากาศ + ไม่เติมจุลินทรีย์	3.00	5	0.001*
Test 4 : เติมอากาศ + เติมจุลินทรีย์จากตะกอนฯ	13.00	15	
Test 2 : เติมอากาศ + ไม่เติมจุลินทรีย์	4.20	5	0.006*
Test 3 : เติมอากาศ + เติมจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง	12.60	15	
Test 2 : เติมอากาศ + ไม่เติมจุลินทรีย์	3.80	5	0.003*
Test 4 : เติมอากาศ + เติมจุลินทรีย์จากตะกอนฯ	12.73	15	
Test 3 : เติมอากาศ + เติมจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง	15.63	15	0.934
Test 4 : เติมอากาศ + เติมจุลินทรีย์จากตะกอนฯ	15.37	15	

หมายเหตุ. * แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ P-Value < 0.05

จากการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีในน้ำเสียจากโรงอาหารของโรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่ง ในเขตอำเภอพานทอง จังหวัดชลบุรี โดยวัดค่าประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของปัจจัย 2 อย่าง คือ สภาวะในการทดลอง และความเข้มข้นของจุลินทรีย์เริ่มต้นที่แตกต่างกัน การทดลองชุดที่ 1 น้ำเสียจากโรงอาหารที่ปล่อยน้ำเสียทิ้งไว้ตามธรรมชาติ การทดลองชุดที่ 2 น้ำเสียจากโรงอาหารที่มีการเติมอากาศอย่างเดียว การทดลองชุดที่ 3 น้ำเสียจากโรงอาหารที่มีการเติมอากาศ และเติมจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง ที่ความเข้มข้นของจุลินทรีย์เริ่มต้นสูตรเจือจาง 1:25 สูตรเจือจาง 1:15 และสูตรเข้มข้นลงในน้ำเสีย และชุดการทดลองที่ 4 น้ำเสียจากโรงอาหารที่มีการเติมอากาศ และเติมจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร ที่ความเข้มข้นของจุลินทรีย์เริ่มต้นสูตรเจือจาง 1:25 สูตรเจือจาง 1:15 และสูตรเข้มข้นลงในน้ำเสีย เมื่อนำมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี ที่ระยะเวลาเดียวกัน คือ 12 ชั่วโมง พบว่าค่าประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีเพิ่มขึ้นจากน้อยไปหามากในการทดลองชุดที่ 1 การทดลองชุดที่ 2 และการทดลองชุดที่ 3 และ 4 ตามลำดับ แสดงว่า การเติมอากาศและจุลินทรีย์มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี

เมื่อนำค่าประสิทธิภาพมาทดสอบทางสถิติโดยใช้ Kruskal-Wallis One-Way analysis of Variance และ Mann-Whitney U Test พบว่า ค่าประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีของการทดลองทั้ง 4 ชุดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยชุดการทดลองที่ 1 กับชุดการทดลองที่ 2 ชุดการทดลองที่ 1 กับชุดการทดลองที่ 3 และชุดการทดลองที่ 1 กับชุดที่ 4 แตกต่างกันทางสถิติ และชุดการทดลองที่ 2 กับชุดการทดลองที่ 3 และชุดการทดลองที่ 2 กับชุดการทดลองที่ 4 แตกต่างกันทางสถิติ แต่ประสิทธิภาพการบำบัดของชุดการทดลองที่ 3 กับชุดการทดลองที่ 4 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงว่าชนิดและความเข้มข้นของจุลินทรีย์เริ่มต้นที่แตกต่างกันไม่มีผลทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

และเมื่อพิจารณาความเหมาะสมของชนิดและความเข้มข้นเริ่มต้นของจุลินทรีย์ที่จะนำไปใช้ในการบำบัดซีโอดีแล้ว ควรจะเลือกใช้จุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร ที่ความเข้มข้นของจุลินทรีย์เริ่มต้นสูตรเจือจาง 1:25 เนื่องจากมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่าชนิดจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงสำเร็จรูปที่สั่งซื้อจากโรงงานผู้ผลิต และมีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่จะมีขั้นตอนการทำงานเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกันกับการใช้จุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารในการบำบัดน้ำเสียที่มีน้ำมันและไขมันปนเปื้อน

บทที่ 5
สรุปการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาวิจัยเชิงกึ่งทดลอง โดยการจำลองถังย่อยไขมัน ตามค่าการออกแบบของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารของโรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่ง ในเขตอำเภอพานทอง จังหวัดชลบุรี การออกแบบการทดลองมีทั้งการทดลองภายใต้สภาวะที่ใช้ออกซิเจน และไม่ใช้ออกซิเจน การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงสำเร็จรูปจากโรงงานผู้ผลิต และจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารในการลดปริมาณน้ำมันและไขมัน และซีโอดีในน้ำเสียจากโรงอาหาร โดยใช้ความเข้มข้นของจุลินทรีย์เริ่มต้น 3 สูตร ได้แก่ สูตรเจือจาง 1:25 สูตรเจือจาง 1:15 และสูตรเข้มข้น ระยะเวลาการบำบัดน้ำเสีย 12 ชั่วโมง

1. สรุปการวิจัย

1.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.1.1 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการลดปริมาณน้ำมันและไขมัน และซีโอดีด้วยจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง

1.1.2 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการลดปริมาณน้ำมันและไขมัน และซีโอดีด้วยจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร

1.1.3 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดปริมาณน้ำมันและไขมัน และซีโอดีของจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง และจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร

1.2 วิธีดำเนินการวิจัย

1.2.1 ประชากร คือ น้ำเสียทั้งหมดที่เกิดจากกิจกรรมการประกอบอาหาร การชำระล้างภาชนะและสิ่งสกปรกภายในโรงอาหารของโรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่ง ในเขตอำเภอพานทอง จังหวัดชลบุรี

1.2.2 กลุ่มตัวอย่าง คือ น้ำเสียที่เก็บจากบ่อปรับเสถียรของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารของโรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่ง ในช่วงเดือนกันยายน – ตุลาคม พ.ศ. 2562 โดยกวนตัวอย่างน้ำเสียในบ่อปรับเสถียรให้เป็นเนื้อเดียวกัน แล้วตักใส่ถังความจุ 35 ลิตร จากนั้นกวนตัวอย่างน้ำเสียให้เป็นเนื้อเดียวกันอีกครั้ง และตักใส่บีกเกอร์ จำนวน 4 ใบ ใบละ 2,000 มิลลิลิตร

แล้วเก็บตัวอย่างน้ำเสียก่อนการทดลอง โดยยังคงมีจุลินทรีย์ตามธรรมชาติเดิม ไม่มีการฆ่าเชื้อโรคแต่อย่างใด และทำการทดลองในพื้นที่ของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร เมื่อครบตามระยะเวลาที่กำหนด ทำการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งหลังการทดลองอีกครั้ง

1.3 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1.3.1 อุปกรณ์การทดลอง ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ถังรวบรวมน้ำเสีย และชุดจำลองถังย่อยไขมัน

1.3.2 เครื่องมือในห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย

1.4 วิธีดำเนินการทดลอง

1.4.1 ศึกษาแหล่งที่มาของน้ำเสีย และระบบบำบัดน้ำเสียของโรงอาหาร

1.4.2 ออกแบบชุดการทดลองจากถังย่อยไขมันตามค่าการออกแบบจากผู้เชี่ยวชาญของระบบบำบัดน้ำเสียโรงอาหาร

1.4.3 เตรียมจุลินทรีย์ที่ใช้ทดลอง ได้แก่ จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง และจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร

1.4.4 ทดลองบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารด้วยจุลินทรีย์ที่เตรียมในข้อ 1.4.3 โดยแบ่งออกเป็น 4 ชุดการทดลอง ได้แก่

1) การทดลองชุดที่ 1 น้ำเสียจากโรงอาหารที่ไม่มีการเติมอากาศ และไม่เติมจุลินทรีย์ลงในน้ำเสีย

2) การทดลองชุดที่ 2 น้ำเสียจากโรงอาหารที่มีการเติมอากาศ และไม่เติมจุลินทรีย์ลงในน้ำเสีย

3) การทดลองชุดที่ 3 น้ำเสียจากโรงอาหารที่มีการเติมอากาศ และเติมจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงลงในน้ำเสีย

4) การทดลองชุดที่ 4 น้ำเสียจากโรงอาหารที่มีการเติมอากาศ และเติมจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารลงในน้ำเสีย

1.4.5 เก็บตัวอย่างน้ำเสียก่อน-หลังการทดลอง นำส่งห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียของโรงงาน เพื่อนำมาวิเคราะห์พารามิเตอร์น้ำมันและไขมัน และซีโอดี ตามวิธีวิเคราะห์ของ Standard Method for Examination of Water and Wastewater, 23rd Edition.

1.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรม SPSS

1.5.1 ใช้สถิติเชิงพรรณนา

1) อธิบายคุณลักษณะทั่วไปของน้ำเสีย และประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย โดยเสนอค่าเป็นร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2) นำเสนอข้อมูลโดยใช้ตารางและกราฟรูปกล่อง (Box Plot)

1.5.2 ใช้สถิติเชิงอนุมาน

1) ทดสอบความแตกต่างของประสิทธิภาพการบำบัดทั้ง 4 ชุดการทดลอง โดยใช้สถิติ Kruskal-Wallis One-Way analysis of Variance และเปรียบเทียบเป็นคู่ๆ โดยใช้สถิติ Mann-Whitney U Test

2) กำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติ เท่ากับ 0.05 (Significance level 0.05, Confidence Intervals are 95%)

1.6 ผลการวิจัย

1.6.1 ลักษณะน้ำเสีย การศึกษาครั้งนี้ใช้น้ำเสียจากโรงอาหาร ซึ่งมีลักษณะน้ำเสียที่ไม่แปรปรวนมากนัก โดยมีปัจจัยที่พิจารณา 3 ปัจจัย ดังนี้

1) ลักษณะน้ำเสียก่อนการทดลอง ลักษณะทางกายภาพโดยทั่วไปมีสีเหลืองปนเทา กลิ่นเหม็น น้ำมันและไขมันเฉลี่ย 85.0 + 16.9 มก./ล. และซีโอดี 1,629.2 + 98.7 มก./ล.

2) ค่าพีเอช ในการทดลองไม่ได้ทำการปรับค่าพีเอชของน้ำเสีย โดยค่าพีเอชเริ่มต้นอยู่ในช่วง 4.66 – 6.63 เมื่อผ่านการบำบัดระยะเวลา 12 ชั่วโมง ค่าพีเอชต่ำสุด คือ 5.20 และสูงสุด 7.92

3) ค่าออกซิเจนละลายน้ำ การทดลองกำหนดให้เติมอากาศในการทดลองชุดที่ 2, 3 และ 4 โดยควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำอยู่ในช่วง 1-2 มก./ล. ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำต่ำสุด คือ 1.3 มก./ล. และสูงสุด คือ 1.8 มก./ล.

1.6.2 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมัน

การทดลองชุดที่ 1 มีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมันร้อยละโดยเฉลี่ยเท่ากับ 26.4 การทดลองชุดที่ 2 มีประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละโดยเฉลี่ยเท่ากับ 35.9 ในขณะที่การทดลองชุดที่ 3 มีการเติมอากาศ และเติมจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง ที่ความเข้มข้นของจุลินทรีย์เริ่มต้นสูตรเจือจาง 1:25 สูตรเจือจาง 1:15 และสูตรเข้มข้นลงในน้ำเสีย มีประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละโดยเฉลี่ยเท่ากับ 52.2, 56.6 และ 50.5 ตามลำดับ และการทดลองชุดที่ 4 มีการเติมอากาศ และเติมจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร ที่ความเข้มข้นของ

จุลินทรีย์เริ่มต้นสูตรเจือจาง 1:25 สูตรเจือจาง 1:15 และสูตรเข้มข้นลงในน้ำเสีย มีประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละโดยเฉลี่ยเท่ากับ 53.6, 58.2 และ 49.5 ตามลำดับ เมื่อนำผลการทดลองทั้ง 4 ชุด มาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมันที่ระยะเวลาการทดลองเดียวกัน พบว่า ค่าประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมันเพิ่มขึ้นจากน้อยไปหามากในการทดลองชุดที่ 1 การทดลองชุดที่ 2 และการทดลองชุดที่ 3, 4 ตามลำดับ โดยในภาพรวมแล้ว การทดลองชุดที่ 4 มีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองทุกชุดในระยะเวลาการทดลองเดียวกัน

เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยใช้ Kruskal-Wallis One-Way analysis of Variance และ Mann-Whitney U Test พบว่า น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดในสภาวะการทดลองที่แตกต่างกันมีผลทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมันมีความ*แตกต่าง*กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ชนิดของจุลินทรีย์ทั้ง 2 ชนิด และความเข้มข้นของจุลินทรีย์เริ่มต้นทั้ง 3 สูตร มีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมันใกล้เคียงกัน หรือ*ไม่แตกต่างกัน*อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

1.6.3 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี

การทดลองชุดที่ 1 มีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีร้อยละโดยเฉลี่ยเท่ากับ 12.8 การทดลองชุดที่ 2 มีประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละโดยเฉลี่ยเท่ากับ 27.0 ในขณะที่การทดลองชุดที่ 3 มีการเติมอากาศ และเติมจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง ที่ความเข้มข้นของจุลินทรีย์เริ่มต้นสูตรเจือจาง 1:25 สูตรเจือจาง 1:15 และสูตรเข้มข้นลงในน้ำเสีย มีประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละโดยเฉลี่ยเท่ากับ 43.4, 40.7 และ 42.7 ตามลำดับ และการทดลองชุดที่ 4 มีการเติมอากาศ และเติมจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร ที่ความเข้มข้นของจุลินทรีย์เริ่มต้นสูตรเจือจาง 1:25 สูตรเจือจาง 1:15 และสูตรเข้มข้นลงในน้ำเสีย มีประสิทธิภาพการบำบัดร้อยละโดยเฉลี่ยเท่ากับ 42.7, 42.5 และ 40.2 ตามลำดับ เมื่อนำผลการทดลองทั้ง 4 ชุด มาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีที่ระยะเวลาการทดลองเดียวกัน พบว่า ค่าประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีเพิ่มขึ้นจากน้อยไปหามากในการทดลองชุดที่ 1 การทดลองชุดที่ 2 และการทดลองชุดที่ 3, 4 ตามลำดับ โดยในภาพรวมแล้ว การทดลองชุดที่ 3 มีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองทุกชุดในระยะเวลาการทดลองเดียวกัน

เมื่อนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ โดยใช้ Kruskal-Wallis One-Way analysis of Variance และ Mann-Whitney U Test พบว่า น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดในสภาวะการทดลองที่แตกต่างกันมีผลทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีมีความ*แตกต่างกัน*อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ชนิดของจุลินทรีย์ทั้ง 2 ชนิด และความเข้มข้นของจุลินทรีย์เริ่มต้นทั้ง 3 สูตร มีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีใกล้เคียงกัน หรือ*ไม่แตกต่างกัน*อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2. อภิปรายผล

2.1 ค่าพีเอช

จากการทดลองพบว่า ค่าพีเอชเริ่มต้นก่อนการทดลองอยู่ในช่วง 4.66 – 6.63 และเมื่อผ่านการบำบัดระยะเวลา 12 ชั่วโมง ค่าพีเอชจะเพิ่มขึ้นในชุดการทดลองที่ 2 และจะลดลงเล็กน้อยในชุดการทดลองที่ 3 และ 4 เมื่อเทียบกับการทดลองชุดที่ 1 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ C.S.Kirby, A. Dennis, A.Kahler. (2009). ได้ศึกษาการเติมอากาศในน้ำเสียจากเหมืองแร่ พบว่าการเติมอากาศเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ส่งผลให้ค่า pH เพิ่มขึ้นจาก 5.7 เป็นมากกว่า 7 การทดลองจะมีลักษณะแนวโน้มการเพิ่มขึ้นลดลงคล้ายกันทั้ง 5 ซ้ำ ค่าพีเอชอยู่ในช่วง 5.20 – 7.92 ซึ่งอยู่ในช่วงที่แบคทีเรียส่วนใหญ่สามารถเจริญเติบโตได้ดี คือ ช่วงพีเอชอยู่ระหว่าง 4.5 - 9.0 และราเจริญเติบโตได้ดีที่พีเอชต่ำกว่า 6 (ทวี จิตไมตรี, 2538)

2.2 ออกซิเจนละลายน้ำ

การทดลองมีการเติมอากาศหรือเพิ่มออกซิเจนในตัวอย่างน้ำเสียตลอดการทดลอง โดยกำหนดให้มีออกซิเจนละลายน้ำอยู่ในช่วง 1 – 2 มก./ล. ซึ่งเพียงพอกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

2.3 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมัน

จากการทดลองชุดที่ 1 น้ำเสียจากโรงอาหารที่ทิ้งไว้ตามธรรมชาติ ไม่มีการเติมอากาศและไม่มีการเติมจุลินทรีย์ลงในน้ำเสีย ปล่อยตัวอย่างทิ้งไว้ที่ระยะเวลา 12 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมันเพียงเล็กน้อย ซึ่งเป็นผลมาจากจุลินทรีย์ที่มีอยู่เดิมในน้ำเสียที่มีความสามารถในการย่อยสลายน้ำมันและไขมันได้อยู่แล้ว แต่ประสิทธิภาพต่ำกว่ากลุ่มทดลองทั้ง 3 ชุด เนื่องจากขาดปัจจัยที่เหมาะสมในการย่อยสลายน้ำมันและไขมัน เช่น จำนวนจุลินทรีย์น้อยกว่า และปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอ และจากประสิทธิภาพชุดทดลองที่ 2 น้ำเสียจากโรงอาหารที่เติมอากาศเพียงอย่างเดียว ไม่มีการเติมจุลินทรีย์ลงในน้ำเสีย เปรียบเทียบกับชุดทดลองที่ 1 ปล่อยทิ้งไว้ตามธรรมชาติ พบว่า การเติมอากาศอย่างเดียวมีประสิทธิภาพสูงกว่าปล่อยทิ้งไว้ตามธรรมชาติ ซึ่งแสดงว่า ปัจจัยการเติมอากาศช่วยให้ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมันเพิ่มสูงขึ้นได้

การทดลองชุดที่ 2 น้ำเสียจากโรงอาหารที่มีการเติมอากาศอย่างเดียวที่ระยะเวลา 12 ชั่วโมง และไม่เติมจุลินทรีย์ลงในน้ำเสีย มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงกว่าการทดลองชุดที่ 1 น้ำเสียจากโรงอาหารที่ปล่อยทิ้งไว้ตามธรรมชาติเล็กน้อย เนื่องจากการเติมอากาศเป็นปัจจัยที่สำคัญ

ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ และเป็นการเพิ่มออกซิเจน ซึ่งสามารถช่วยเร่งอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพได้

การทดลองชุดที่ 3 น้ำเสียจากโรงอาหารที่มีการเติมอากาศ และเติมจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง ที่ความเข้มข้นของจุลินทรีย์เริ่มต้น สูตรเจือจาง 1:25 สูตรเจือจาง 1:15 และสูตรเข้มข้นลงในน้ำเสีย ที่ระยะเวลาการทดลอง 12 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมันสูงกว่าชุดการทดลองที่ไม่เติมจุลินทรีย์ลงในน้ำเสีย เนื่องจากจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงเป็นแบคทีเรียที่สามารถใช้ไฮโดรคาร์บอน (น้ำมันและไขมัน) เป็นแหล่งอาหารและยังมีความสามารถผลิตเอนไซม์ไลเปส ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่สร้างขึ้นภายในเซลล์ แล้วถูกขับออกมาทำงานภายนอกเซลล์ (Extracellular enzyme) ช่วยย่อยสลายน้ำมันและไขมันที่โมเลกุลขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลงและนำเข้าสู่เซลล์ เพื่อเผาผลาญภายในเซลล์ได้พลังงาน คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และสร้างเซลล์ใหม่

การทดลองชุดที่ 4 น้ำเสียจากโรงอาหารที่มีการเติมอากาศ และเติมจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร ที่ความเข้มข้นของจุลินทรีย์เริ่มต้นสูตรเจือจาง 1:25 สูตรเจือจาง 1:15 และสูตรเข้มข้นลงในน้ำเสีย ที่ระยะเวลาการทดลอง 12 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมันสูงกว่าชุดการทดลองที่ไม่เติมจุลินทรีย์ลงในน้ำเสีย และการเติมจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร ที่ความเข้มข้นของจุลินทรีย์เริ่มต้นสูตรเจือจาง 1:15 มีประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมันสูงกว่าชุดการทดลองที่ 3 น้ำเสียจากโรงอาหารที่มีการเติมอากาศ และเติมจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง ที่ความเข้มข้นของจุลินทรีย์เริ่มต้นสูตรเจือจาง 1:15 เพียงเล็กน้อย

ทั้งนี้อธิบายได้ว่า โดยธรรมชาติในน้ำเสียจากโรงอาหารจะมีจุลินทรีย์หลากหลายชนิดที่มีความสามารถในการย่อยสลายน้ำมันและไขมันอยู่ในน้ำเสียนั้นอยู่แล้ว ส่วนการเติมอากาศเป็นปัจจัยที่ส่งเสริมให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ดีและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำมันและไขมันได้มากกว่าการไม่เติมอากาศที่ระยะเวลาการบำบัดเดียวกัน เนื่องจากการเติมอากาศหรือการเพิ่มปริมาณออกซิเจนสามารถเร่งอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพได้ (กรรณิการณ์ ชูเกียรติวัฒนา, 2543) และสอดคล้องกับการศึกษาของตามพันธุ์ สุขสถิตย์ (2541) ที่ศึกษาเรื่องการพัฒนาประสิทธิภาพถังดักไขมันในร้านอาหารโดยใช้เชื้อผสม *E.coli* $1A_{42}$ และ *Acinetobacter* $2C_8$ พบว่าการเติมออกซิเจนเพียงอย่างเดียวสามารถลดปริมาณน้ำมันและไขมันลงได้ร้อยละ 50 ส่วนประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมันที่เพิ่มขึ้นจากการทดลองชุดที่ 1 การทดลองชุดที่ 2 และการทดลองชุดที่ 3, 4 ตามลำดับ เนื่องจากการเติมจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงและจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารเป็นการเพิ่มจำนวนเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายน้ำมันและไขมันเข้าไปในระบบเพิ่มอีก สอดคล้องกับการศึกษาของตามพันธุ์ สุขสถิตย์ (2541)

พบว่า การเพิ่มจุลินทรีย์ลงในถังดักไขมันในร้านอาหารเป็นปัจจัยเสริมที่ช่วยให้ระบบบำบัดน้ำเสียมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้นร้อยละ 20 จากสภาวะที่มีการเติมอากาศเพียงอย่างเดียว

และเมื่อนำประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมันทั้ง 4 ชุดการทดลองมาทดสอบทางสถิติ พบว่า สภาวะในการทดลองที่แตกต่างกันมีผลทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการทดลองชุดที่ 1 มีประสิทธิภาพการบำบัดแตกต่างจากการทดลองชุดที่ 2, 3 และ 4 และการทดลองชุดที่ 2 มีประสิทธิภาพการบำบัดแตกต่างจากการทดลองชุดที่ 3 และ 4 แต่ประสิทธิภาพการบำบัดของการทดลองชุดที่ 3 กับชุดที่ 4 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ แสดงว่า การเติมอากาศและจุลินทรีย์มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมัน แต่ชนิดของจุลินทรีย์ทั้ง 2 ชนิด (จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง และจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร) และความเข้มข้นของจุลินทรีย์เริ่มต้นไม่มีผลทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ หรือกล่าวได้ว่ามีประสิทธิภาพการบำบัดใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เนื่องจากจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงสำเร็จรูปที่สั่งซื้อจากโรงงานผู้ผลิต มีการคัดเลือกชนิดของจุลินทรีย์ที่เหมาะกับน้ำเสียที่ปนเปื้อนน้ำมันและไขมัน และจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารเป็นชนิดที่ขยายพันธุ์มาจากน้ำเสียของโรงอาหารที่ปนเปื้อนน้ำมันและไขมันโดยเฉพาะ ทำให้จุลินทรีย์สามารถปรับสภาพเข้ากับน้ำเสีย และบำบัดน้ำเสียได้เทียบเท่ากับการใช้จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงสำเร็จรูปจากโรงงานผู้ผลิต ดังนั้นจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารสามารถนำไปใช้ทดแทนจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงสำเร็จรูปที่สั่งซื้อจากโรงงานผู้ผลิตได้ เพื่อช่วยลดต้นทุนการบำบัดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนน้ำมันและไขมันได้

2.4 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดี

จากการทดลองชุดที่ 1 น้ำเสียจากโรงอาหารที่ปล่อยทิ้งไว้ตามธรรมชาติ ไม่มีการเติมอากาศและไม่มีการเติมจุลินทรีย์ลงในน้ำเสีย ปล่อยตัวอย่างทิ้งไว้ที่ระยะเวลา 12 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีเพียงเล็กน้อย ซึ่งเป็นผลมาจากจุลินทรีย์ที่มีอยู่เดิมในน้ำเสียที่มีความสามารถในการย่อยสลายอินทรียวัตถุได้อยู่แล้ว แต่ประสิทธิภาพต่ำกว่ากลุ่มทดลองทั้ง 3 ชุด เนื่องจากขาดปัจจัยที่เหมาะสมในการย่อยสลาย เช่น จำนวนจุลินทรีย์น้อยกว่า และปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอ และจากประสิทธิภาพชุดทดลองที่ 2 น้ำเสียจากโรงอาหารที่มีการเติมอากาศอย่างเดียว ไม่มีการเติมจุลินทรีย์ลงในน้ำเสีย เปรียบเทียบกับชุดทดลองที่ 1 น้ำเสียจากโรงอาหารที่ปล่อยทิ้งไว้ตามธรรมชาติ พบว่า การเติมอากาศเพียงอย่างเดียว มีประสิทธิภาพสูงกว่าการปล่อยทิ้งไว้ตามธรรมชาติ ซึ่งแสดงว่า ปัจจัยการเติมอากาศช่วยให้ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีเพิ่มสูงขึ้นได้

การทดลองชุดที่ 2 น้ำเสียจากโรงอาหารที่มีการเติมอากาศอย่างเดียวที่ระยะเวลาการบำบัด 12 ชั่วโมง และไม่เติมจุลินทรีย์ลงในน้ำเสีย ประสิทธิภาพการบำบัดสูงกว่าการทดลอง

ชุดที่ 1 น้ำเสียจากโรงอาหารที่ปล่อยทิ้งไว้ตามธรรมชาติ ทั้งนี้เนื่องจากการทดลองชุดที่ 2 มีการเติมอากาศและควบคุมปริมาณออกซิเจนละลายน้ำให้อยู่ในช่วง 1-2 มก./ล. ซึ่งเป็นสภาวะเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและย่อยสลายสารอินทรีย์ การเติมอากาศจะเป็นการเพิ่มปริมาณออกซิเจนลงไปในน้ำโดยตรง ซึ่งสามารถช่วยเร่งอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพได้

การทดลองชุดที่ 3 น้ำเสียจากโรงอาหารที่มีการเติมอากาศ และจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง ที่ความเข้มข้นของจุลินทรีย์เริ่มต้น สูตรเจือจาง 1:25 สูตรเจือจาง 1:15 และสูตรเข้มข้นลงในน้ำเสีย ที่ระยะเวลาการทดลอง 12 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีสูงกว่าชุดการทดลองที่ไม่เติมจุลินทรีย์ลงในน้ำเสีย ทั้งนี้เนื่องจากการได้รับปัจจัยการเพิ่มจุลินทรีย์ที่เหมาะสม และได้รับการเติมอากาศหรือเพิ่มปริมาณออกซิเจนที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตและการย่อยสลายสารอินทรีย์

การทดลองชุดที่ 4 น้ำเสียจากโรงอาหารที่มีการเติมอากาศ และเติมจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร ที่ความเข้มข้นของจุลินทรีย์เริ่มต้นสูตรเจือจาง 1:25 สูตรเจือจาง 1:15 และสูตรเข้มข้นลงในน้ำเสีย ที่ระยะเวลาการทดลอง 12 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีสูงกว่าชุดการทดลองที่ไม่เติมจุลินทรีย์ลงในน้ำเสีย และการเติมจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง ที่ความเข้มข้นของจุลินทรีย์เริ่มต้นสูตรเจือจาง 1:25 มีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีสูงกว่าชุดการทดลองที่ 4 น้ำเสียจากโรงอาหารที่มีการเติมอากาศ และเติมจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร ที่ความเข้มข้นของจุลินทรีย์เริ่มต้นสูตรเจือจาง 1:25 เพียงเล็กน้อย

ทั้งนี้อธิบายได้ว่า ในการวัดค่าซีโอดี เป็นการบอกถึงความสกปรกของน้ำเสียในเทอมของออกซิเจน ซึ่งซีโอดี (COD) เป็นปริมาณออกซิเจนเทียบเท่าที่ใช้ในการออกซิไดซ์สารประกอบอินทรีย์ในตัวอย่างสมบูรณ์ด้วยตัวออกซิไดซ์อย่างแรง ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายคือ น้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยหลักการที่ใช้ในการออกซิไดซ์คือ สารประกอบอินทรีย์เกือบทุกชนิดจะถูกออกซิไดซ์ด้วยตัวออกซิไดซ์อย่างแรง (ไพฑูรย์ หมายมั่นสมสุข, 2553) น้ำเสียจากโรงอาหารจะมีจุลินทรีย์ที่มีความสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียนั้นอยู่แล้ว เมื่อมีการเติมอากาศ และสภาพแวดล้อมเหมาะสม เช่น พีเอช และอุณหภูมิอยู่ในช่วงเจริญเติบโตได้ดี จึงเป็นปัจจัยที่เอื้อต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้เพิ่มขึ้น (ทวี จิตไมตรี, 2538)

และเมื่อนำประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีทั้ง 4 ชุดการทดลองมาทดสอบทางสถิติ พบว่า สภาวะในการทดลองที่แตกต่างกันมีผลทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยการทดลองชุดที่ 1 มีประสิทธิภาพการบำบัดแตกต่างจากการทดลองชุดที่ 2, 3 และ 4 และการทดลองชุดที่ 2 มีประสิทธิภาพการบำบัดแตกต่างจากการทดลองชุดที่ 3 และ 4

แต่ประสิทธิภาพการบำบัดของการทดลองชุดที่ 3 กับชุดที่ 4 ไม่แตกต่างกันทางสถิติ แสดงว่า ปัจจัยชนิดและความเข้มข้นของจุลินทรีย์ที่เติมลงในชุดทดลองที่แตกต่างกันไม่มีผลทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีแตกต่างกันทางสถิติ และคุณสมบัติของจุลินทรีย์ที่เติมลงในถังย่อยไขมันจะมีส่วนช่วยให้ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีได้เพิ่มขึ้นอีก สอดคล้องกับการศึกษาของชลทิศ แก้วลี, วีระมนต์ สายทอง (2538) พบว่า การใช้จุลินทรีย์อีเอ็มร้อยละ 1 ใส่ลงในน้ำเสียจะทำให้ค่า BOD_5 ลดลงร้อยละ 30 และในระยะแรกของจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงจะปรับตัวเข้ากับสภาพแวดล้อมใหม่ซึ่งยังไม่มีการย่อยสลายสารอินทรีย์ แต่หลังจากนั้นจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงจะเริ่มย่อยสลายสารอินทรีย์ทำให้ปริมาณ BOD และ COD ลดลง ส่วนการเติมอากาศหรือการเพิ่มออกซิเจนสามารถเร่งอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพได้ (วันเพ็ญ วิโรจนกูฏ, 2528) สำหรับชนิดของจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง และจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารมีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เนื่องจากจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงสำเร็จรูปที่สั่งซื้อจากโรงงานผู้ผลิตมีการคัดเลือกชนิดของจุลินทรีย์ที่เหมาะกับน้ำเสียที่ปนเปื้อนสารอินทรีย์ และจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารเป็นชนิดที่ขยายพันธุ์มาจากน้ำเสียของโรงอาหารที่ปนเปื้อนสารอินทรีย์โดยฉพาะ ทำให้จุลินทรีย์สามารถปรับสภาพเข้ากับน้ำเสีย และบำบัดน้ำเสียได้เทียบเท่ากับการใช้จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงสำเร็จรูปจากโรงงานผู้ผลิต ดังนั้นจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร สามารถนำไปใช้ทดแทนจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงสำเร็จรูปที่สั่งซื้อจากโรงงานผู้ผลิตได้ เพื่อช่วยลดต้นทุนการบำบัดน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนสารอินทรีย์ได้

3. ข้อเสนอแนะ

3.1 ข้อเสนอแนะในการนำไปใช้

3.1.1 ก่อนนำจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารไปใช้ในการทดลองจะต้องมีการเตรียมหัวเชื้อจุลินทรีย์ก่อน โดยวิธีการหมักตะกอนที่เก็บจากถังเติมอากาศชนิดฟิล์มตรึงถังที่ 1 ของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร กากน้ำตาล และน้ำเสียจากถังปรับเสถียรของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร ในอัตราส่วนเท่ากับ 1 : 1 : 20 ทิ้งไว้เป็นเวลา 7 วัน เพื่อให้จุลินทรีย์ที่อยู่ในตะกอนปรับสภาพเข้ากับน้ำเสียจากโรงอาหาร แบ่งตัวและเพิ่มจำนวนมากขึ้น

3.1.2 การเติมจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงหรือจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารในการทดลองใช้การปั่นกวนด้วยเครื่องเติมอากาศ เพื่อให้เกิดการกระจายตัวในตัวอย่างน้ำเสีย การนำไปใช้งานจริงควรมีการปั่นกวนน้ำเสียภายหลังการเติมจุลินทรีย์

ประสิทธิภาพสูงหรือจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร เพื่อให้จุลินทรีย์สัมผัสกับน้ำเสียได้อย่างทั่วถึง และให้ได้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุด

3.1.3 ปริมาณน้ำมันและไขมัน และซีโอดีที่เหลือภายหลังการบำบัดน้ำเสียยังคงมีคุณภาพน้ำทิ้งไม่ได้ตามมาตรฐานที่กฎหมายกำหนดไว้ จึงต้องมีการบำบัดร่วมกับระบบบำบัดน้ำเสียอื่นๆ ก่อนปล่อยน้ำเสียลงสู่สิ่งแวดล้อม

3.1.4 ควรมีการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำมันและไขมันในน้ำเสียจากโรงอาหาร โดยทำการศึกษาแบบต่อเนื่อง (Continuous flow) ร่วมกับระบบบำบัดอื่นๆ เพื่อประเมินประสิทธิภาพของทั้งระบบ และเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งที่กำหนด

3.1.5 ควรมีการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมันด้วยจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารในระบบบัดน้ำเสียจริง เพื่อประเมินประสิทธิภาพของทั้งระบบ

3.2 ข้อเสนอแนะในการศึกษาครั้งถัดไป

3.2.1 หลังการทดลองจะมีตะกอนจับตัวกันตกอยู่บริเวณด้านล่างภาชนะจำนวนมาก ดังนั้นการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งควรหยุดเติมอากาศอย่างน้อย 5 นาที และทำการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งอย่างระมัดระวัง เพื่อไม่ให้ตะกอนด้านล่างกระจายตัวลอยขึ้นมา เพราะอาจทำให้ตัวอย่างน้ำทิ้งมีคุณภาพหลังผ่านการบำบัดเพิ่มสูงขึ้นจากความเป็นจริงได้

3.2.2 การนำหัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง หรือหัวเชื้อจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารมาใช้ในการทดลอง โดยวิธีการหมักหัวเชื้อจุลินทรีย์ฯ กากน้ำตาล และน้ำในอัตราส่วน 1:1:20 ตามแนวทางของศูนย์ฝึกอบรมและเผยแพร่เกษตรธรรมชาติคิวเซ มีความเข้มข้นจุลินทรีย์สูง ก่อนนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียหรือเติมลงในถังย่อยไขมันควรลดความเข้มข้นลงโดยการเจือจางจุลินทรีย์ฯ ต่อน้ำ ในอัตราส่วน 1:25 เพื่อลดภาระแก่ระบบบำบัดน้ำเสีย

3.2.3 ควรมีการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมันในน้ำเสียจากโรงอาหารด้วยจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงหรือจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารในสภาวะการย่อยสลายแบบใช้อากาศและแบบไม่ใช้อากาศ เพื่อศึกษาว่าประสิทธิภาพแตกต่างกันหรือไม่

3.2.4 ควรมีการศึกษาจำนวนจุลินทรีย์ในหัวเชื้อจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง และหัวเชื้อจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร และศึกษาการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในตัวอย่างน้ำก่อน-หลังผ่านการทดลอง เพื่อศึกษาว่าจำนวนจุลินทรีย์ และอัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์แตกต่างกันหรือไม่

บรรณานุกรม

บรรณานุกรม

กรรณิการณ์ ชูเกียรติวัฒนา. (2543). *จุลชีววิทยาสิ่งแวดล้อม*. โคราชออฟเซ็ทการพิมพ์, นครราชสีมา.

กองจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. (2545). *น้ำเสียชุมชนและระบบบำบัดน้ำเสีย.* โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว, กรุงเทพฯ.

กัณฑรีย์ ศรีพงศ์พันธุ์. (2549). *มลพิษทางน้ำ.* พิมพ์ครั้งที่ 4. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, นครปฐม.

เกริกพงษ์ ชาญประทีป. (2530). *เทคโนโลยีน้ำและน้ำเสีย*. โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

เกศสุคนธ์ มณีวรรณ. (2539). *การคัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสียที่มีไขมัน*. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะเทคโนโลยีชีวภาพ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, มหาสารคาม.

ไกรสร นะโม, และคณะ. (2550). *การศึกษาการใช้จุลินทรีย์อีเอ็มในการบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม*. สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม, มหาสารคาม.

ขวัญเนตร สมบัติสมภพ. (2554). *การเปรียบเทียบประสิทธิภาพจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพนะนครเหนือ ปีที่ 21 ฉบับที่ 1.

จันทร์ทิพย์ ทรงฤทธิ์. (2557). *ผลของการเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสีย*. การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชลทิศ แก้วลี, และวีระมนต์ สายทอง. (2538). *การบำบัดน้ำเสียจากฟาร์มสุกรด้วย EM*. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

ไชยวัฒน์ ไชยสุต. (2553). *น้ำหมักชีวภาพ*. ในหนังสือชุด สุขภาพดีและความงามเริ่มจากข้างใน. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ศูนย์วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อสังคม. ปทุมธานี.

ตันติกร ตรีบงกช, และคณะ. (2542). *การบำบัดน้ำทิ้งจากโรงนมมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์โดยใช้ Effective Microorganism*. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ตามพันธ์ สุขสถิตย์. (2541). *การพัฒนาถังบำบัดไขมันในร้านอาหารโดยใช้เชื้อผสม Escherichia coli $1A_{42}$ และ Acinetobacter $2C_{8}$*. คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

ทวี จิตไมตรี. (2538). *ตอนที่ 4 จุลชีววิทยาของระบบบำบัดน้ำเสีย*. ในเอกสารการสอนชุดวิชาการควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.

เทรูโอะ ฮิหงะ. *หลักพื้นฐานในการใช้จุลินทรีย์ EM*. เกษตรคิวเซ 2(7): 48-53.

นภา โล่ห์ทอง, สุรางค์ สุธิราวุธ, และสุเทพ ญาดี. (2538). *การศึกษา Lactic acid bacteria*. ในเอกสารประกอบการสัมมนาโครงการวิจัย EM และผลของการใช้ต่อการเกษตรและสิ่งแวดล้อม หน้า 10-15.

ปรียานุช แสนโคตร, และศิรประภา ร่มเย็น. (2539). *การบำบัด Grease ด้วย EM ในลักษณะกึ่งต่อเนื่อง*. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

พงศ์พิษณุ บุญดา. (2547). *การใช้จุลินทรีย์อีเอ็มในถังเติมอากาศของระบบเอเอสเพื่อการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์ไส้กรอก*. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, นนทบุรี.

พรชนก วงศ์ผดุงเกียรติ, และภัชราภรณ์ สุวรรณวิทยา. (2554). *จุลินทรีย์ทางการค้าในกระบวนการบำบัดน้ำเสียโรงงานปลาป่น*. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ฉบับที่ 77 ปีที่ 24.

พัชรี โตสกุล และพัลลภ จริยะปัญญา. (2556). *การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียจากครัวเรือนด้วยระบบถังกรองชั้นตรึงฟิล์มจมน้ำด้วยตัวกลางแบบเส้นใยไส้กรองโพลีโพรพีลีน*. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, กรุงเทพฯ.

พูนพิไล สุวรรณฤทธิ์, ชุลี ชัยศรีสุข, ภาสนันท์ ดอกไม้, และสุทธิศักดิ์ จาดเจริญ. (2538). *ชนิดและปริมาณของเชื้อราในสาร EM*. ในเอกสารประกอบการสัมมนาโครงการวิจัย EM และผลของการใช้ต่อการเกษตรและสิ่งแวดล้อม หน้า 35 – 39.

ไพฑูรย์ หมายมั่นสมสุข. (2553). *การวิเคราะห์น้ำและน้ำเสียเบื้องต้น*. สำนักวิจัยและพัฒนาสิ่งแวดล้อมโรงงาน. กรมโรงงานอุตสาหกรรม.

ภานุวัฒน์ ทนงธนะสิทธิ์. (2538). *การบำบัดไขมันโดยใช้ EM*. มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

วันเชิง สิทธิกิจโยธิน. (2541). *การศึกษาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการดำเนินงานของระบบบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาระบบตรึงฟิล์มในเครื่องปฏิกรณ์แบบหอบรรจุ*. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพมหานคร.

วันเพ็ญ วิโรจนกูฏ. (2528). *ชีววิทยาสำหรับวิศวกรสิ่งแวดล้อม*. ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

วิทยา คงแหลม. (2545). *ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมันในน้ำเสียจากร้านจำหน่ายอาหารด้วย Pseudomonas fluorescens.* สาธารณสุขศาสตร์ สาขาอนามัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

วีระพล วงษ์ประพันธ์. (2547). *ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำมันและไขมันในน้ำเสียจากโรงครัวโรงพยาบาลด้วยจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ EM.* มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

ศรัณย์ กีรติธร (2538). *การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานกุนเชียงด้วยจุลินทรีย์ EM.* ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.

ศูนย์ฝึกอบรมและเผยแพร่เกษตรธรรมชาติคิวเซ มูลนิธิบำเพ็ญสาธารณประโยชน์ด้วยกิจกรรมทางศาสนา. (2543). *การประยุกต์ใช้จุลินทรีย์อีเอ็มเพื่อการเกษตรและสิ่งแวดล้อมวันนี้.* พิมพ์ครั้งที่ 10 กรุงเทพมหานคร ธีรสารการพิมพ์.

ศูนย์ฝึกอบรมและเผยแพร่เกษตรธรรมชาติคิวเซ มูลนิธิบำเพ็ญสาธารณประโยชน์ด้วยกิจกรรมทางศาสนา. (2538). *การประยุกต์ใช้จุลินทรีย์อีเอ็มจากธรรมชาติเพื่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมในวันนี้.* พิมพ์ครั้งที่ 3 กรุงเทพมหานคร ธีรสารการพิมพ์.

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย. (2540). *แบคทีเรียกำจัดคราบน้ำมันปิโตรเลียมในสถานีบริการน้ำมัน.* กรุงเทพฯ.

สมชัย จันทร์สว่าง และคณะ. (2538). *ผลของจุลินทรีย์ EM ต่อลักษณะการเจริญเติบโต การให้ไข่และลักษณะของของเสียในการเลี้ยงนกกระทาญี่ปุ่น.*เกษตรคิวเซ 3(12): 21-28.

สมศักดิ์ นุกูลอุดมพาณิชย์, และคณะ. (2543). *การบำบัดน้ำเสียโดยใช้จุลินทรีย์ธรรมชาติ (EM): กรณีศึกษาบ่อพักน้ำเสียโรงพยาบาลคีรีมาศ จังหวัดสุโขทัย.* วารสารอนามัยสิ่งแวดล้อม 4, 3 (เมษายน - มิถุนายน): 3-13.

สารสิน อุยยานนท์, และคณะ. (2538). *ประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ธรรมชาติในการบำบัดน้ำเสีย: กรณีศึกษา ณ ระบบบำบัดน้ำเสียโรงพยาบาลศูนย์ขอนแก่น ศูนย์อนามัยสิ่งแวดล้อม เขต 6 กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข.*

สาวิตรี ลิ่มทอง, พัชรี ฐิตะสัจจา, และพูนพิไล สุวรรณฤทธิ์. (2538). *การศึกษาเชื้อยีสต์ใน EM.* ในเอกสารประกอบการสัมมนาโครงการวิจัย EM และผลของการใช้ต่อการเกษตรและสิ่งแวดล้อม หน้า 40.

สำนักเทคโนโลยีชีวภาพทางดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2554). *การผลิตสารบำบัดน้ำเสียและขจัดกลิ่นเหม็น.* ในหนังสือชุดผลิตภัณฑ์เทคโนโลยีชีวภาพ กรมพัฒนาที่ดิน เพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร.

สิราภรณ์ โพธิวิชยานนท์. (2553). *การพัฒนาความสามารถของเชื้อจุลินทรีย์ในการกำจัดกลิ่นในรูปของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์โดยใช้ระบบฟิกซ์-ฟิล์มไบโอสครับเบอร์*. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.

สุพรชัย มั่งมีสิทธิ์. (2547). *รายงานประสบการณ์ การใช้จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในวิธีการผลิตของชุมชนบางขุนไทร: กรณีการทำนาโดยปุ๋ยหมักโบกาฉิ*. สถานบันวิจัยและพัฒนา. มหาวิทยาลัยศิลปากร. กรุงเทพฯ.

อานัฐ ตันโช. (2551). *เกษตรธรรมชาติประยุกต์: หลักการ แนวคิด และเทคนิคปฏิบัติในประเทศไทย*. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. ปทุมธานี.

C.S.Kirby, A. Dennis, A.Kahler. (2009). *Aeration to degas CO_2, increase pH, and increase iron oxidation rates for efficient treatment of net alkaline mine drainage*. Department of Geology, Bucknell University, Lewisburg, PA 17837, United States.

Higa. T., and Wididana. G. N. (1989). *The Concept and Theories of Effective Microorganisms*. In Parr. J. F.,Hornick, S.B. and Whitman, C. E. eds. Proceedings of the First International Conference on Kyusei Nature Farming. Khon Kaen University: Sekai Kyusei Kyo Thai Kyokai, Thailand. : 118 – 124.

Lavanya V., and Kannan D. (2019) . *Removal of contaminants from the domestic and food industry effluents.* Research Center & Department of Botany, Thiagarajar College,Madurai-625009.

Mark, J.H., 1931, *Water and wastewater technology*. Awiley Trans-edition, New York, John Wiley & Sons, p. 365.

Srituma, Songsak. (1995). *Application of EM and Environmental Health Activities for Treatment of Pig Farm Waste in Chachoen Sao Province*. Department of Health. Ministry of Public Health.

Surasak Siripornadulsil, and Wimonnuch Labteephanao. (2008). *The Efficiency of Effective Microorganisms (EM) on Oil and Grease Treatment of Food Debris Wastewater*. Khon Kaen University, Science Journal Volume 36 (Supplement) 27-35.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ข้อมูลผลการทดลอง

ตารางที่ ก-1 : ผลการทดลองแยกตามการทดลอง พารามิเตอร์น้ำมันและไขมัน

n = 55

ชุดการทดลอง	ปริมาณน้ำมันและไขมัน (มก./ล.)										
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง				ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง		ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง	
				สูตรเจือจาง 1:25			สูตรเจือจาง 1:15			สูตรเข้มข้น	
		Test 1	Test 2	Test 3	Test 4		Test 3	Test 4		Test 3	Test 4
ครั้งที่ 1	106.0	81.2	74.2	58.8	42.6	103.1	46.0	42.8	69.5	39.0	41.4
ครั้งที่ 2	70.3	50.1	49.2	30.5	25.4	103.2	43.3	54.5	65.5	35.3	37.8
ครั้งที่ 3	66.6	48.6	42.0	29.7	28.8	101.0	51.7	42.3	90.0	35.9	51.6
ครั้งที่ 4	74.2	56.1	41.1	26.8	42.2	100.6	39.7	32.8	69.4	26.3	23.8
ครั้งที่ 5	108.8	77.7	67.5	64.5	60.4	73.3	29.2	29.5	73.2	43.8	31.7
ค่าเฉลี่ย	85.2	62.7	54.8	42.1	39.9	96.2	42.0	40.4	73.5	36.1	37.3
S.D.	18.3	13.9	15.2	18.0	13.8	11.5	8.4	9.8	8.6	6.4	10.4

หมายเหตุ. Test 1 คือ ชุดการทดลองที่ 1 น้ำเสียจากโรงอาหารที่ไม่มีการเติมอากาศ และไม่เติมจุลินทรีย์ลงในน้ำเสีย

Test 2 คือ ชุดการทดลองที่ 2 น้ำเสียจากโรงอาหารที่มีการเติมอากาศ และไม่เติมจุลินทรีย์ลงในน้ำเสีย

Test 3 คือ ชุดการทดลองที่ 3 น้ำเสียจากโรงอาหารที่มีการเติมอากาศ และเติมจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงที่ความเข้มข้น 3 สูตร ได้แก่ สูตรเจือจาง 1:25 สูตรเจือจาง 1:15 และสูตรเข้มข้นลงในน้ำเสีย

Test 4 คือ ชุดการทดลองที่ 4 น้ำเสียจากโรงอาหารที่มีการเติมอากาศ และเติมจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารที่ความเข้มข้น 3 สูตร ได้แก่ สูตรเจือจาง 1:25 สูตรเจือจาง 1:15 และสูตรเข้มข้นลงในน้ำเสีย

ตารางที่ ก-2 : ผลการทดลองแยกตามการทดลอง พารามิเตอร์ซีโอดี

n = 55

ชุดการทดลอง	ปริมาณซีโอดี (มก./ล.)										
	ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง				ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง		ก่อนการทดลอง	หลังการทดลอง	
		Test 1	Test 2	สูตรเจือจาง 1:25			สูตรเจือจาง 1:15			สูตรเข้มข้น	
				Test 3	Test 4		Test 3	Test 4		Test 3	Test 4
ครั้งที่ 1	1,737.5	1,483.8	1,252.7	773.5	829.5	1,750.0	1,225.0	1,187.5	1,575.5	795.7	973.9
ครั้งที่ 2	1,462.5	1,314.8	1,156.8	781.9	738.5	1,537.5	875.0	820.0	1,587.5	1,186.8	1,063.5
ครั้งที่ 3	1,537.5	1,357.6	1,090.1	979.9	929.3	1,675.0	1,037.5	1,010.0	1,737.5	831.4	884.7
ครั้งที่ 4	1,550.0	1,359.4	1,097.9	1,001.0	1,081.8	1,562.5	800.0	762.5	1,787.5	738.5	760.0
ครั้งที่ 5	1,562.5	1,320.3	1,123.4	887.5	905.0	1,687.5	950.2	966.6	1,687.5	1,212.4	1,294.3
ค่าเฉลี่ย	1,570.0	1,367.2	1,144.2	884.8	896.8	1,642.5	977.5	949.3	1,675.1	953.0	995.3
S.D.	101.4	68.4	66.0	106.7	127.4	89.5	164.0	167.6	92.6	227.7	201.3

หมายเหตุ. Test 1 คือ ชุดการทดลองที่ 1 น้ำเสียจากโรงอาหารที่ไม่มีการเติมอากาศ และไม่เติมจุลินทรีย์ลงในน้ำเสีย

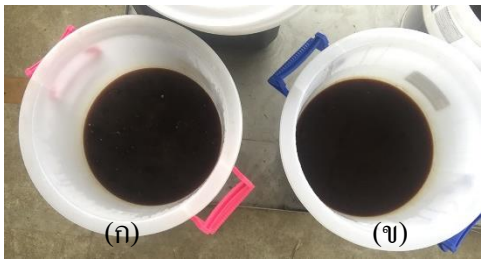
Test 2 คือ ชุดการทดลองที่ 2 น้ำเสียจากโรงอาหารที่มีการเติมอากาศ และไม่เติมจุลินทรีย์ลงในน้ำเสีย

Test 3 คือ ชุดการทดลองที่ 3 น้ำเสียจากโรงอาหารที่มีการเติมอากาศ และเติมจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงที่ความเข้มข้น 3 สูตร ได้แก่ สูตรเจือจาง 1:25 สูตรเจือจาง 1:15 และสูตรเข้มข้นลงในน้ำเสีย

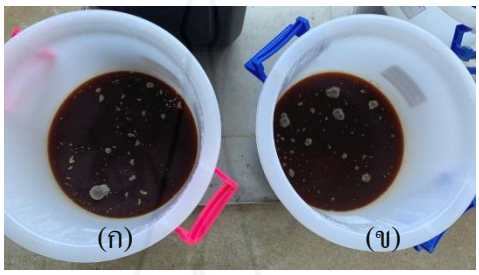
Test 4 คือ ชุดการทดลองที่ 4 น้ำเสียจากโรงอาหารที่มีการเติมอากาศ และเติมจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารที่ความเข้มข้น 3 สูตร ได้แก่ สูตรเจือจาง 1:25 สูตรเจือจาง 1:15 และสูตรเข้มข้นลงในน้ำเสีย

ภาคผนวก ข

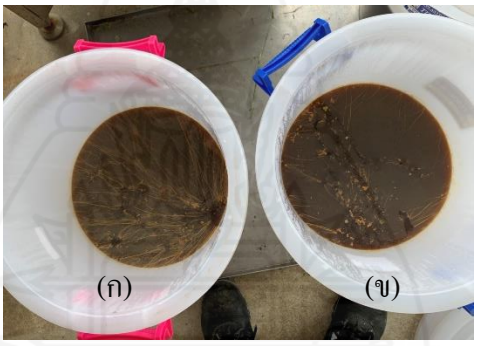
ภาพการผลิตจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูง



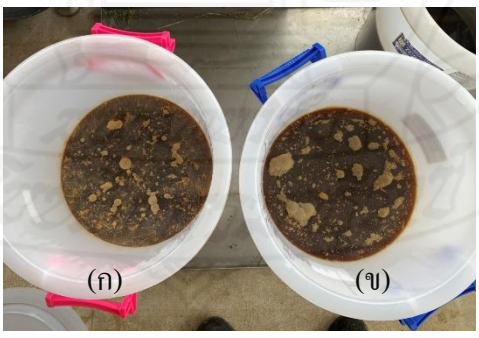
การหมักวันที่ 1



การหมักวันที่ 2



การหมักวันที่ 4



การหมักวันที่ 7

ภาคผนวกที่ ข-1 : ลักษณะจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงที่ระยะเวลาการหมัก 7 วัน

(ก) จุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร

(ข) จุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงสำเร็จรูปจากโรงงานผู้ผลิต

ภาคผนวก ค

มาตรฐานคุณภาพน้ำเสีย

มาตรฐานประกาศการนิคมอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย ที่ 76/2560 เรื่อง กำหนดมาตรฐานทั่วไปในการระบายน้ำเสียลงสู่ระบบบำบัดส่วนกลางในนิคมอุตสาหกรรม ดังนี้

- พีเอช (pH) 5.5-9.0
- น้ำมันและไขมัน (Oil and Grease) ไม่เกิน 10 มิลลิกรัม/ลิตร
- ซีโอดี (COD) ไม่เกิน 750 มิลลิกรัม/ลิตร

ประวัติผู้ศึกษา

ชื่อ	นางสาววิจิตรา พิกุลแก้ว
วัน เดือน ปีเกิด	28 พฤศจิกายน พ.ศ. 2533
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม
ประวัติการศึกษา	วท.บ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี พ.ศ. 2555
สถานที่ทำงาน	โรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่งในเขตอำเภอพานทอง จังหวัดชลบุรี
ตำแหน่ง	เจ้าหน้าที่สิ่งแวดล้อม