การบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพด้วยกลุ่มจุลินทรีย์ก้อน: อีเอ็มบอล

Biological wastewater treatment by effective microorganisms: EM Ball

ณัฐนรี จูสิงห์
นัศรินทร์ จวนเจริญ

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (จุลชีววิทยาอุตสาหกรรม)
ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Biological wastewater treatment by effective microorganisms: EM Ball

NATNAREE JUSING

NUSRIN JUANCJAROEN

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF

THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE

IN INDUSTRIAL MICROBIOLOGY

DEPARTMENT OF BIOLOGY, SCHOOL OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ACADEMIC YEAR 2023

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ	การบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพด้วยกลุ่มจุลินทรีย์ก้อน: อีเอ็มบอล Biological wastewater treatment by effective microorganisms: EM Ball
ชื่อนักศึกษา	นางสาวณัฐนรี จูสิงห์ รหัสนักศึกษา 63050474 นางสาวนัศรินทร์ จวนเจริญ รหัสนักศึกษา 63050491
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชา	ชีววิทยา
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2566
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.วรกฤต วรนันทกิจ

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาจุลชีววิทยาอุตสาหกรรม ประจำปีการศึกษา 2566

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.นิลเนตร อัศวะศิริจินดา ประธานกรรมการ	
ดร.อิงครัต กิ่งแก้ว กรรมการ	
ผศ.ดร.วรกฤต วรนันทกิจ กรรมการ และอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงานพิเศษ การบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพด้วยกลุ่มจุลินทรีย์ก้อน: อีเอ็มบอล
Biological wastewater treatment by effective microorganisms: EM Ball

ชื่อนักศึกษา นางสาวณัฐนรี จูสิงห์ รหัสนักศึกษา 63050474
นางสาวนัศรินทร์ จวนเจริญ รหัสนักศึกษา 63050491

ปริญญา วิทยาศาสตรบัณฑิต (จุลชีววิทยาอุตสาหกรรม)

ภาควิชา ชีววิทยา

คณะ วิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)

ปีการศึกษา 2566

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.วรกฤต วรนันทกิจ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการพัฒนาและเพิ่มประสิทธิภาพของอีเอ็มรูปแบบก้อน (EM Ball) เพื่อประเมินประสิทธิภาพของ EM Ball ในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำด้วยวิธีเก็บแบบรวม (Composite Sampling) และแบ่งการทดลองออกเป็น 5 ชุดการทดลอง ได้แก่ ชุดการทดลองที่ 1: ตัวอย่างน้ำ ชุดการทดลองที่ 2: ตัวอย่างน้ำใส่อีเอ็มบอลที่ไม่มีการผสมเชื้อจุลินทรีย์ ชุดการทดลองที่ 3: ตัวอย่างน้ำใส่อีเอ็มบอลที่ผสมเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 1 ชุดการทดลองที่ 4: ตัวอย่างน้ำใส่อีเอ็มบอลที่ผสมเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 2 และชุดการทดลองที่ 5: ตัวอย่างน้ำใส่อีเอ็มบอลที่ผสมเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 3 จากนั้นสุ่มตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์คุณภาพน้ำที่ระยะเวลา 3, 6, 9, 12 และ 15 วัน จากพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้ คือ ความเป็นกรด-ด่าง (Positive potential of the hydrogen ions: pH), ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand: COD), บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand: BOD) และปริมาณน้ำมันและไขมัน (Fat, Oil and Grease: FOG) ผลการวิเคราะห์พบว่า ค่า pH ของทุกชุดการทดลอง มีค่าเพิ่มขึ้นที่ใกล้เคียงกันหลังการบำบัดที่ 15 วัน อยู่ในช่วง 7.37±0.03 ถึง 8.20±0.03 ค่า COD ของชุดการทดลองที่ 4 มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งได้ดีที่สุดหลังการบำบัดที่ 15 วัน เท่ากับ 1,920±0 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า BOD ของชุดการทดลองที่ 4 และ 5 ไม่มีค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งได้ดีที่สุดหลังการบำบัดที่ 15 วัน เท่ากับ 500±173.21 และ 1,000±346.41 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และ ค่า FOG ของชุดการทดลองที่ 5 มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งได้ดีที่สุดหลังการบำบัดที่ 15 วัน เท่ากับ 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มิลลิกรัมต่อลิตร การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า EM Ball มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงอาหาร และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งจากครัวเรือน ชุมชน รวมไปถึงการเกษตร

คำสำคัญ : จุลินทรีย์, อีเอ็มบอล, การบำบัดน้ำเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title Biological wastewater treatment by effective microorganisms: EM Ball

Students Miss Natnaree Jusing Student ID 63050474

Miss Nusrin Juancjaroen Student ID 63050491

Degree Bachelor of Science (Industrial Microbiology)

Department Biology

School Science

University King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)

Academic Year 2023

Advisor Assoc.Prof.Dr. Worakrit Worananthakij

Abstract

This study aims to investigate the development and improvement of EM Ball effectiveness in treating wastewater from a canteen by the Faculty of Science at King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. The study utilized composite sampling to collect water samples and conducted five distinct experimental sets: 1. Water sample only, 2. Water sample with EM Ball without microbial inoculation, 3. Water sample with EM Ball with commercial microbial inoculation 1, 4. Water sample with EM Ball with commercial microbial inoculation 2 and 5. Water sample with EM Ball with commercial microbial inoculation 3. Following this, the samples underwent analysis at intervals of 3, 6, 9, 12, and 15 days to measure various parameters, including pH (Potential of Hydrogen ions), COD (Chemical Oxygen Demand), BOD (Biochemical Oxygen Demand), and FOG (Fat, Oil and Grease). The results revealed that after the treatment period 15 days, the pH values of all experimental sets increased within a comparable range, ranging from 7.37±0.03 to 8.20±0.03. Furthermore, experimental set 4 demonstrated the most effective wastewater treatment with a COD value of 1,920±0 milligrams per liter. Experimental sets 4 and 5 exhibited no statistically significant difference ($p>0.05$) in BOD values and displayed the most efficient wastewater treatment, with values of 500±173.21 and 1,000±346.41 milligrams per liter, respectively. Finally, experimental set 5 demonstrated the most effective wastewater treatment efficacy with an FOG value of

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0 milligrams per liter. This study underscores the effectiveness of EM Ball in treating wastewater originating from food processing facilities and highlights their potential application in treating wastewater from domestic, community and agricultural sources.

Keywords : Microorganism, EM Ball, Wastewater Treatment

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงงานพิเศษตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต ในหัวข้อเรื่องการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพด้วยกลุ่มจุลินทรีย์ก้อน: อีเอ็มบอล ซึ่งสำเร็จลุล่วงไปด้วยดีตามเป้าหมาย เนื่องจากคณะผู้จัดทำโครงงานพิเศษได้รับความกรุณาเป็นอย่างสูงจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรกฤต วรนันทกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษ ที่คอยให้คำปรึกษาและให้ความรู้ในการดำเนินโครงงานพิเศษ ตลอดจนติดตามความก้าวหน้าในการดำเนินโครงงานพิเศษให้มีความเรียบร้อยสมบูรณ์ และประสบความสำเร็จ นอกจากนี้ทางคณะผู้จัดทำโครงงานพิเศษต้องกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิลเนตร อัศวะศิริจินดา ประธานกรรมการโครงงานพิเศษ และ ดร. อิงครัต กิ่งแก้ว กรรมการสอบโครงงานพิเศษ ที่ให้ความกรุณาในการให้คำแนะนำ แก้ไขปรับปรุงข้อบกพร่องของโครงงานพิเศษเล่มนี้ให้ถูกต้อง

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์และอำนวยความสะดวกในการใช้อุปกรณ์ เครื่องมือ และสารเคมีต่าง ๆ ที่ใช้ในโครงงานพิเศษ

ขอขอบพระคุณบิดา มารดาของครอบครัวจูสิงห์ และครอบครัวจวนเจริญ เป็นอย่างสูงที่ให้การสนับสนุน และให้กำลังใจในการทำโครงงานพิเศษจนทำให้โครงงานพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ ผู้เขียนขอน้อมรำลึกถึงอำนาจบารมีของพระคุณศรีรัตนตรัย และสิ่งศักดิ์สิทธิ์ทั้งหลายที่อยู่ในสากลโลก อันเป็นที่พึ่งให้ผู้เขียนมีสติปัญญาในการจัดทำโครงงานพิเศษฉบับนี้ให้สำเร็จรุร่วงไปด้วยดี ตลอดจนผู้เขียนหนังสือและบทความต่าง ๆ ที่ให้ความรู้แก่ผู้เขียน หากมีข้อผิดพลาดหรือข้อบกพร่องประการใด ข้าพเจ้าขอน้อมรับไว้ทั้งหมด และขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

ณัฐนรี จูสิงห์
นัศรินทร์ จวนเจริญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ ..... ข

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญรูป ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 น้ำเสีย 3

2.1.1 น้ำเสียจากชุมชน 3

2.1.2 น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม 5

2.1.3 น้ำเสียจากเกษตรกรรม 6

2.2 กระบวนการบำบัด 6

2.2.1 กระบวนการบำบัดทางกายภาพ 7

2.2.2 กระบวนการบำบัดทางเคมี 8

2.2.3 กระบวนการบำบัดทางชีวภาพ 9

2.3 อีเอ็ม 13

2.3.1 ลักษณะทั่วไปของอีเอ็มบอล (EM Ball) 13

2.3.2 จุลินทรีย์ในองค์ประกอบ 13

2.3.3 ประโยชน์ของ EM 14

2.3.4 ประโยชน์ของ EM Ball 15

2.3.5 การประยุกต์ใช้ EM 15

2.4 จุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 *Bacillus* spp. 16
2.4.2 *Bacillus subtilis* 17
2.4.3 *Bacillus amyloliquefaciens* 18
2.5 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ 19
2.5.1 pH 19
2.5.2 COD 19
2.5.3 BOD 20
2.5.4 FOG 20
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 21
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 26
3.1 สารเคมีและอุปกรณ์ 26
3.1.1 สารเคมีและอุปกรณ์การศึกษาการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ 26
3.1.2 สารเคมีและอุปกรณ์การกระตุ้นเชื้อ 26
3.1.3 สารเคมีและอุปกรณ์การทำอีเอ็มบอล 27
3.1.4 สารเคมีและอุปกรณ์การทดสอบประสิทธิภาพของอีเอ็มบอลและวิเคราะห์คุณภาพน้ำ 28
3.2 วิธีการทดลอง 30
3.2.1 การศึกษาการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ 30
3.2.2 การกระตุ้นเชื้อ 30
3.2.3 การทำ EM Ball 31
3.2.4 การทดสอบประสิทธิภาพของ EM Ball และวิเคราะห์คุณภาพน้ำ 31
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปราย 36
4.1 การศึกษาการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ 36
4.2 การศึกษาการทำอีเอ็มบอล 36
4.3 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งต่อค่า pH 37
4.4 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งต่อค่า COD 37
4.5 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งต่อค่า BOD 38
4.6 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งต่อค่า FOG 39
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 51
5.1 สรุปผลการวิจัย 51
5.1.1 ผลการศึกษาการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ 51
5.1.2 ผลการศึกษาการทำอีเอ็มบอล 51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งต่อค่า pH 51
5.1.4 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งต่อค่า COD 51
5.1.5 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งต่อค่า BOD 52
5.1.6 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งต่อค่า FOG 52
5.2 ข้อเสนอแนะ 53
เอกสารอ้างอิง 54
ภาคผนวก 58
ภาคผนวก ก 59
ภาคผนวก ข 60
ภาคผนวก ค 62
ภาคผนวก ง 113

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งประเภทสถานศึกษา 5
3.1 วัตถุดิบการทำ EM Ball 31
4.1 การศึกษาการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 3 ผลิตภัณฑ์
ที่ระยะเวลา 0 – 48 ชั่วโมง 40
4.2 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งต่อค่า pH ของตัวอย่างน้ำที่เวลาต่างกัน
ของแต่ละชุดการทดลองเป็นระยะเวลา 15 วัน 42
4.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งต่อค่า COD ของตัวอย่างน้ำที่เวลาต่างกัน
ของแต่ละชุดการทดลองเป็นระยะเวลา 15 วัน 44
4.4 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งต่อค่า BOD ของตัวอย่างน้ำที่เวลาต่างกัน
ของแต่ละชุดการทดลองเป็นระยะเวลา 15 วัน 41
4.5 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งต่อค่า FOG ของตัวอย่างน้ำที่เวลาต่างกัน
ของแต่ละชุดการทดลองเป็นระยะเวลา 15 วัน 48
4.6 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งหลังการบำบัดที่ 15 วัน ตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง
จากอาคารขนาดต่าง ๆ 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 บ่อดักไขมัน โรงอาหารคณะวิทยาศาสตร์ 4
2.2 ขั้นตอนในการบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไป 7
2.3 ลักษณะของ Bacillus spp. ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ 16
2.4 ลักษณะของ Bacillus subtilis ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ 17
2.5 ลักษณะของ Bacillus amyloliquefaciens ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ 18
3.1 ตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงอาหาร 33
4.1 กราฟแสดงการศึกษาการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ทั้ง 3 ผลิตภัณฑ์
ที่ระยะเวลา 0 – 48 ชั่วโมง 41
4.2 ผลการทดลองการทำ EM Ball ครั้งที่ 2 – 4 41
4.3 กราฟแสดงประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งต่อค่า pH
ที่ระยะเวลาการบำบัด 15 วัน 43
4.4 กราฟแสดงประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งต่อค่า COD
ที่ระยะเวลาการบำบัด 15 วัน 45
4.5 กราฟแสดงประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งต่อค่า BOD
ที่ระยะเวลาการบำบัด 15 วัน 47
4.6 กราฟแสดงประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งต่อค่า FOG
ที่ระยะเวลาการบำบัด 15 วัน 49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โรงอาหารในสถานศึกษาเป็นพื้นที่ให้บริการด้านการจำหน่ายอาหาร และเครื่องดื่มสำหรับนักเรียน นิสิต นักศึกษา รวมถึงบุคลากร โดยการประกอบกิจการของโรงอาหารมีการประกอบอาหาร ล้างภาชนะ และกิจกรรมอื่น ๆ อีกมากมาย ที่ทำให้เกิดน้ำเสียในทุก ๆ วัน น้ำเสียดังกล่าวประกอบด้วย เศษอาหาร คราบไขมัน และสารอินทรีย์ที่ติดมากับภาชนะที่ทำการล้าง ส่งผลให้เกิดปัญหาน้ำเน่าเสียและส่งกลิ่นเหม็น (พงศธร และทองปักษ์, 2563) ซึ่งปัญหาการบำบัดไขมันในโรงอาหารหรือบ่อน้ำทิ้ง นับว่าเป็นปัญหาที่สำคัญมากของประเทศ เนื่องจากไม่มีสุขาภิบาลที่ดีในการกำจัดไขมันเหล่านี้ หากไม่มีการบำบัดที่ถูกต้องอาจทำให้มีการปนเปื้อนของน้ำมันออกสู่แหล่งธรรมชาติ และเป็นสาเหตุของปัญหาทั้งในท่อระบายน้ำและระบบบำบัดน้ำเสีย (อภิชญา และคณะ, 2563)

โดยทั่วไปน้ำเสียสามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ แต่น้ำในโรงอาหารที่มีปริมาณไขมันปนเปื้อนเป็นจำนวนมากทำให้เกิดผลกระทบต่อการบำบัด เนื่องจากไขมันลอยตัวบดบังการถ่ายโอนออกซิเจน ทำให้จุลินทรีย์ที่มีอยู่ปริมาณน้อยไม่สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์หรือไขมันดังกล่าวได้ (Chipasa and Medrzycka, 2006) จึงมีการเลือกใช้สายพันธุ์แบคทีเรียที่มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์ไลเปสเพื่อย่อยสลายไขมันและนำไปเป็นแหล่งพลังงานเพื่อใช้ทดแทนจุลินทรีย์ที่มีอยู่ โดยแบคทีเรียที่สามารถผลิตเอนไซม์ไลเปสได้ มีทั้งแบคทีเรียแกรมบวก และแกรมลบ เช่น *Bacillus*, *Pseudomonas* และ *Burkholderia* เป็นต้น (Gupta et al., 2004) ซึ่งวิธีการเติมแบคทีเรียเหล่านี้เรียกว่า การบำบัดด้วยวิธีทางชีวภาพ

ในปัจจุบันการบำบัดด้วยวิธีทางชีวภาพได้รับความนิยมและมีการศึกษากันมากขึ้น เนื่องจากเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม นั่นคือ การนำจุลินทรีย์มาใช้ในการบำบัดน้ำเสีย หรือที่เรียกกันว่าจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ (Effective Microorganism; EM) (Zakaria et al., 2010)

EM เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ ที่นำเอาจุลินทรีย์มาเพาะเลี้ยงและขยาย โดยใช้อาหารจากธรรมชาติ เช่น น้ำตาล, โปรตีน, รำข้าว และสารประกอบอื่น ๆ ที่หาซื้อได้ง่าย ราคาไม่แพง (ไกรสร และคณะ, 2550) อีเอ็มถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายและยังสามารถใช้ประโยชน์ในหลาย ๆ ด้านขึ้นอยู่กับสภาพปัญหาที่พบ อาทิเช่น ปัญหาน้ำเน่าเสีย, ปัญหากลิ่นเหม็น และปัญหาการอุดตันของท่อน้ำ เป็นต้น โดยมีการศึกษาที่พบว่าการเติม EM มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียได้มากกว่าการปล่อยให้จุลินทรีย์บำบัดน้ำเสียด้วยตนเองตามธรรมชาติ และยังสามารถลดระยะเวลาในการบำบัดได้อีกด้วย (ปวีณา และพัสตราภรณ์, 2562)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น การศึกษาทดลองนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การพัฒนา EM ในรูปแบบก้อน (EM Ball) ที่เสริมด้วยจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ทั้ง 3 ผลิตภัณฑ์ ที่มีประสิทธิภาพในการปรับปรุงคุณภาพน้ำเพื่อนำไปปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งที่ได้จากร้านอาหารของโรงอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ เนื่องจากมีปริมาณน้ำมันและไขมันตกค้างอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาสำคัญคือ ปัญหาน้ำเน่าเสียและปัญหาการอุดตันของท่อน้ำ โดยปัญหาดังกล่าวอาจแก้ไขได้ด้วยวิธีการบำบัดทางชีวภาพหรือการนำจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพมาช่วยในการบำบัด เพื่อแก้ไขสภาพโดยรวมของปัญหาให้มีสภาพที่ดีขึ้น และยังช่วยลดปัญหาด้านมลพิษทางน้ำได้อีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.พัฒนาและเพิ่มประสิทธิภาพของ EM รูปแบบก้อน (EM Ball) ในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงอาหาร

2.ประเมินประสิทธิภาพของ EM Ball ในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงอาหาร

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

การศึกษาทดลองนี้มุ่งเน้นไปที่การพัฒนาและเพิ่มประสิทธิภาพของ EM Ball เพื่อนำไปปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยการทดลองนี้จะใช้วิธีการบำบัดทางชีวภาพ หรือการนำจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพมาช่วยในการบำบัด โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำด้วยวิธีเก็บแบบรวม (Composite Sampling) และแบ่งการทดลองออกเป็น 5 ชุดการทดลอง ได้แก่ ชุดการทดลองที่ 1: ตัวอย่างน้ำ ชุดการทดลองที่ 2: ตัวอย่างน้ำใส่อีเอ็มบอลที่ไม่มีการผสมเชื้อจุลินทรีย์ ชุดการทดลองที่ 3: ตัวอย่างน้ำใส่อีเอ็มบอลที่ผสมเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 1 ชุดการทดลองที่ 4: ตัวอย่างน้ำใส่อีเอ็มบอลที่ผสมเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 2 และชุดการทดลองที่ 5: ตัวอย่างน้ำใส่อีเอ็มบอลที่ผสมเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 3 จากนั้นสุ่มตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์คุณภาพน้ำที่ระยะเวลา 3, 6, 9, 12 และ 15 วัน จากพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้ คือ ความเป็นกรด-ด่าง (Positive potential of the hydrogen ions: pH), ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand: COD), บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand: BOD) และปริมาณน้ำมันและไขมัน (Fat, Oil and Grease: FOG) ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ EM Ball ด้วยการวิเคราะห์ทางสถิติ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.สามารถนำเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์มาประยุกต์ใช้เป็น EM Ball

2.สามารถนำ EM Ball ที่พัฒนาและเพิ่มประสิทธิภาพไปใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำเสีย

น้ำทิ้ง หมายถึง น้ำที่เกิดจากการใช้งานทั่วไป เช่น การล้างมือ การอาบน้ำ การประกอบอาหาร หรือการล้างจาน ซึ่งเป็นน้ำเสียที่ง่ายในการบำบัดและสามารถนำกลับมาใช้งานใหม่ได้ (สืบค้นวันที่ 22 เมษายน 2567 จาก https://th.m.wikipedia.org/wiki/น้ำทิ้ง)

น้ำเสีย หมายถึง น้ำที่มีสิ่งเจือปนต่าง ๆ ในปริมาณที่สูงจนกระทั่งกลายเป็นน้ำที่ไม่เป็นที่ต้องการและน่ารังเกียจของคนทั่วไป ไม่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ประโยชน์อีกต่อไป หรือหากมีการปล่อยลงสู่ลำน้ำธรรมชาติก็จะทำให้คุณภาพน้ำของธรรมชาติเสียหายได้ (สืบค้นวันที่ 22 เมษายน 2567 จาก https://www.pcd.go.th/publication/4241/) โดยสิ่งเจือปนที่ทำให้น้ำกลายเป็นน้ำเสีย ได้แก่ สารอินทรีย์ต่าง ๆ ทั้งที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ กรด-ด่าง ของแข็ง ตะกอนแขวนลอย หรือน้ำมันและไขมัน เป็นต้น

น้ำเสีย แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ น้ำเสียจากชุมชน, น้ำเสียจากอุตสาหกรรม และน้ำเสียจากเกษตรกรรม (อิสริยะ, 2556)

2.1.1 น้ำเสียจากชุมชน

น้ำเสียจากชุมชน เกิดจากการใช้ประโยชน์จากกิจกรรมต่าง ๆ และระบายน้ำทิ้งลงสู่ท่อระบายน้ำ แหล่งรองรับน้ำเสีย หรือแหล่งธรรมชาติ โดยไม่ผ่านการบำบัดให้มีลักษณะที่ดีขึ้นหรือสะอาดก่อน ทำให้แหล่งน้ำมีคุณภาพเสื่อมโทรมและเน่าเสียในที่สุด ซึ่งกิจกรรมที่จัดอยู่ในกลุ่มที่ก่อให้เกิดน้ำเสียชุมชน ได้แก่ (อิสริยะ, 2556)

2.1.1.1 บ้านพักอาศัย

น้ำเสียจากบ้านพักอาศัยนั้นเกิดจากเศษอาหารจากการล้างจาน หรือจากการปรุงอาหาร รวมถึงสารต่าง ๆ ที่เกิดจากการทำความสะอาดเสื้อผ้าสิ่งของต่าง ๆ ภายในบ้าน และการอาบน้ำ

2.1.1.2 ภัตตาคาร

น้ำเสียจากห้องครัว ห้องน้ำ และห้องส้วม โดยเฉพาะคราบน้ำมันและไขมันจะมีปริมาณสูงในน้ำเสียจากห้องครัวภัตตาคาร อันเป็นสาเหตุหนึ่งของการอุดตันในท่อระบายน้ำเสีย

2.1.1.3 โรงแรม

น้ำเสียจากห้องน้ำ ห้องส้วมจากห้องพัก และห้องครัวจากภัตตาคารภายในโรงแรม อาคารสำนักงานมีน้ำเสียจากห้องน้ำภายในสำนักงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1.4 อาคารประเภทสถานศึกษา

น้ำเสียจากอาคารประเภทสถานศึกษา สถานศึกษา หมายถึง สถานพัฒนาเด็กปฐมวัยโรงเรียน ศูนย์การเรียนวิทยาลัย สถาบัน มหาวิทยาลัย หน่วยงานการศึกษา หรือหน่วยงานของรัฐ/เอกชน ที่มีอำนาจหน้าที่ในการจัดทำวัตถุประสงค์ในการจัดการศึกษา (สืบค้นวันที่ 22 เมษายน 2567 จาก https://www.bic.moe.go.th/images/stories/Porrorbor2542.pdf) กิจกรรมในแต่ละวันของสถานศึกษาเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดน้ำเสียขึ้น เช่น น้ำเสียจากโรงอาหาร น้ำเสียจากอาคารสถานที่ ซึ่งน้ำเสียเหล่านี้มักจะมีสิ่งสกปรกต่าง ๆ ที่ปนเปื้อน โดยสามารถแพร่กระจายออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกสถานศึกษาได้

1) น้ำเสียจากโรงอาหาร

น้ำเสียจากโรงอาหาร มาจากการประกอบอาหารและล้างภาชนะ ในน้ำเสียนั้นประกอบด้วยเศษอาหาร คราบไขมัน และสารอินทรีย์ ทำให้เกิดน้ำเสียในทุก ๆ วัน โดยปกติแล้วน้ำเสียที่อยู่ในโรงอาหารจะไม่มีการบำบัดแต่มีเพียงบ่อดักไขมันเท่านั้น ซึ่งอาจจะก่อให้เกิดการอุดตันของท่อได้ง่ายและทำให้น้ำไม่สามารถระบายออกได้ แสดงดังรูปที่ 2.1

รูปที่ 2.1 บ่อดักไขมัน โรงอาหารคณะวิทยาศาสตร์

2) น้ำเสียจากอาคารสถานที่

น้ำเสียจากอาคารสถานที่ เกิดจากการใช้น้ำในอาคารประเภทต่าง ๆ ในแต่ละแห่งแต่ละเวลา โดยจะมีความแตกต่างกันออกไปทั้งในด้านของปริมาณและคุณลักษณะ เช่น น้ำที่มาจากการใช้ห้องน้ำ น้ำในห้องปฏิบัติการ ซึ่งน้ำที่ไหลรวมมาอยู่ในท่อจะไปรวมกันที่บ่อพักเพื่อรอระบาย และใช้มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารขนาดต่าง ๆ ตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมกำหนดให้แหล่งกำเนิดมลพิษจากอาคารบางประเภทบางขนาด แสดงดังตารางที่ 2.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งประเภทสถานศึกษา

ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	เกณฑ์กำหนดสูงสุดตามประเภทมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง	
		ประเภท ก	ประเภท ข
สถานศึกษา		**ตั้งแต่ 25,000 ตร.ม.**	**ระหว่าง 5,000-25,000 ตร.ม.**
1. ความเป็นกรด-ด่าง (pH)		5-9	5-9
2. บีโอดี (BOD)	มก./ล.	ไม่เกิน 20	ไม่เกิน 30
3. ซีโอดี (COD)	มก./ล.	ไม่เกิน 120	ไม่เกิน 120
4. ปริมาณของแข็ง			
-TSS	มก./ล.	ไม่เกิน 30	ไม่เกิน 40
-SS	มล./ล.	ไม่เกิน 0.5	ไม่เกิน 0.5
-TDS	มก./ล.	ไม่เกิน 500*	ไม่เกิน 500*
5. ซัลไฟด์ (Sulfide)	มก./ล.	ไม่เกิน 1.0	ไม่เกิน 1.0
6. ทีเคเอ็น (TKN)	มก./ล.	ไม่เกิน 35	ไม่เกิน 35
7. น้ำมันและไขมัน	มก./ล.	ไม่เกิน 20	ไม่เกิน 20

หมายเหตุ เป็นค่าที่เพิ่มจากปริมาณค่าทีดีเอสในน้ำใช้ตามปกติ
อาคารประเภท ก และ ข หมายถึง อาคารโรงเรียนของทางราชการ สถานบันอุดมศึกษาของเอกชน หรือสถาบันอุดมศึกษาของทางราชการ ที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคาร ดังนี้
อาคารประเภท ก ตั้งแต่ 25,000 ตารางเมตรขึ้นไป
อาคารประเภท ข ตั้งแต่ 5,000 ตารางเมตร แต่ไม่ถึง 25,000 ตารางเมตร

ที่มา: ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

2.1.2 น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม เกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ ของโรงงานอุตสาหกรรมทุกประเภท หรือน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตต่าง ๆ ในกระบวนการถ่ายเทความร้อน น้ำที่ใช้ล้างถัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือภาชนะที่ใช้ในกระบวนการผลิต โดยน้ำเสียประเภทนี้ มักเป็นน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนด้วยสารอินทรีย์ จุลินทรีย์ สารเคมี และโลหะหนัก เป็นจำนวนมาก ก่อให้เกิดมลพิษทางน้ำ

2.1.3 น้ำเสียจากเกษตรกรรม

น้ำเสียจากเกษตรกรรม เกิดจากการใช้น้ำในการเพาะปลูกและเลี้ยงสัตว์ โดยน้ำที่ใช้ไปในกิจกรรมเหล่านี้อาจถูกปนเปื้อนด้วย ปุ๋ย สารทำลายวัชพืช และมูลสัตว์ เนื่องจากมีการใช้สารเคมีเป็นจำนวนมาก ก่อให้เกิดปัญหาน้ำเน่าเสียและส่งผลกระทบต่อเนื่องไปยังสิ่งแวดล้อม

2.2 กระบวนการบำบัด

การบำบัดน้ำเสีย หมายถึง การกำจัดหรือทำลายสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสียให้หมดไป หรือเหลือน้อยที่สุดให้ได้มาตรฐานที่กำหนดและไม่ทำให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถนำน้ำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ (สกล, 2553) โดยทั่วไปการบำบัดน้ำเสีย สามารถแบ่งได้ตามขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้ (นลิน, 2548) แสดงดังรูปที่ 2.2

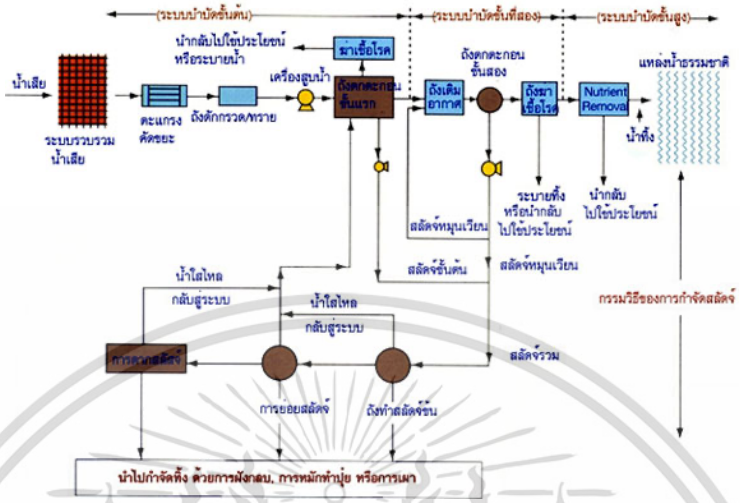
1.การบำบัดขั้นต้น (Preliminary Treatment) เป็นการบำบัดเพื่อแยกทราย กรวดและของแข็งขนาดใหญ่ออกจากของเหลวหรือน้ำเสีย โดยเครื่องจักรอุปกรณ์ที่ใช้ประกอบด้วย ตะแกรงหยาบ (Coarse Screen), ตะแกรงละเอียด (Fine Screen), ถังดักกรวดทราย (Grit Chamber), ถังตกตะกอนเบื้องต้น (Primary Sedimentation Tank) และเครื่องกำจัดไขฝ้า (Skimming Devices) การบำบัดน้ำเสียขั้นนี้สามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยได้ร้อยละ 50-70 และกำจัดสารอินทรีย์ซึ่งวัดในรูปของบีโอดีได้ร้อยละ 25-40

2. การบำบัดขั้นที่สอง (Secondary Treatment) เป็นการบำบัดน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการบำบัดขั้นต้นและการบำบัดเบื้องต้นมาแล้ว แต่ยังคงมีของแข็งแขวนลอยขนาดเล็กและสารอินทรีย์ที่ละลายและไม่ละลายน้ำเสียเหลือค้างอยู่ โดยทั่วไปการบำบัดขั้นที่สองหรือเรียกอีกอย่างว่า การบำบัดทางชีวภาพ (Biological Treatment) จะอาศัยหลักการเลี้ยงจุลินทรีย์ในระบบภายใต้สภาวะที่สามารถควบคุมได้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ในการย่อยสารอินทรีย์ได้รวดเร็วกว่าที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติและแยกตะกอนจุลินทรีย์ออกจากน้ำทิ้งโดยใช้ถังตะกอน (Secondary Sedimentation Tank) ทำให้น้ำทิ้งมีคุณภาพดีขึ้น และนำเข้าผ่านระบบฆ่าเชื้อ (Disinfection) เพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีจุลินทรีย์ที่ก่อโรคปนเปื้อน ก่อนจะระบายน้ำทิ้งออกไปสู่สิ่งแวดล้อม หรือการนำกลับไปใช้ประโยชน์ (Reuse) การบำบัดน้ำเสียในขั้นนี้สามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยและสารอินทรีย์ซึ่งวัดในรูปของบีโอดีได้มากกว่าร้อยละ 80

3. การบำบัดขั้นสูง (Advance Treatment หรือ Tertiary Treatment) เป็นกระบวนการกำจัดสารอาหาร (ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส) สี สารแขวนลอยที่ตกตะกอนยากและอื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งยังไม่ได้ถูกกำจัดโดยกระบวนการบำบัดขั้นที่สอง ทั้งนี้เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำให้ดีขึ้นเพียงพอที่จะนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) ได้



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนในการบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไป

ที่มา: https://www.uba.co.th/index.php/easyblog/entry/water-treatment.html

โดยระบบบำบัดน้ำเสียทั่วไปมี 3 วิธี คือ วิธีการบำบัดทางกายภาพ, วิธีการบำบัดทางเคมี และวิธีการบำบัดทางชีวภาพ

2.2.1 กระบวนการบำบัดทางกายภาพ

การบำบัดทางกายภาพ (Physical Treatment) เป็นการกำจัดสารแขวนลอยด้วยวิธีทางกายภาพ เช่น การแยกเศษขยะออกจากน้ำเสียด้วย ตะแกรง การตกตะกอนโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง เพื่อลดภาระการทำงานและเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดในขั้นต่อไป ระบบบำบัดขั้นต้นที่ใช้กันทั่วไป ได้แก่ ตะแกรงหยาบและตะแกรงละเอียด, ถังดักกรวดทราย, ถังดักไขมันและน้ำมัน และถังดักตะกอน (นลิน, 2548)

2.2.1.1 ตะแกรงหยาบและตะแกรงละเอียด

ตระแกรงใช้ในการดักเศษขยะต่าง ๆ จากน้ำเสีย มีประโยชน์ต่อการเสริมประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของระบบ และป้องกันการเสียหายที่มีต่อเครื่องจักรกลต่าง ๆ เช่น เครื่องสูบน้ำ เครื่องเติมอากาศ เป็นต้น

2.2.1.2 ถังดักกรวดทราย

ถังดักกรวดทรายเป็นถังขนาดเล็กที่ออกแบบให้สามารถดักจับกรวดทรายในน้ำเสียที่ไหลผ่านถังดักกรวดทรายเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปัญหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1.3 ถังดักไขมันและน้ำมัน

น้ำเสียหลายประเภทมีไขมันและน้ำมันปนเปื้อนอยู่ เนื่องจากมีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าน้ำจึงลอยตัวอยู่เหนือน้ำ ทำให้สามารถใช้ถังดักไขมันและน้ำมัน จะจุ่มอยู่ใต้น้ำซึ่งต่ำกว่าชั้นไขมันและน้ำมัน จึงสามารถดึงเฉพาะส่วนที่เป็นน้ำออกจากถังดักได้

2.2.1.4 ถังดักตะกอน

ถังดักตะกอนสามารถกรองของแข็งหรือสารแขวนลอยที่ลอดผ่านตระแกรงมาได้ เมื่อน้ำเสียไหลผ่านเข้ามาในถังตะกอนจะอยู่ในถังตะกอน และใช้เวลาเพื่อทำให้สารแขวนลอยมีเวลาตกตะกอนสู่ก้นถัง

2.2.2 กระบวนการบำบัดทางเคมี

การบำบัดน้ำเสียทางเคมี (Chemical Treatment) เป็นกระบวนการที่ต้องใช้สารเคมีในการเติมเข้าไป จะทำให้อนุภาคของแข็งไม่เสถียรและจับตัวเป็นก้อนเข้าด้วยกัน อนุภาครวมตัวกันเพื่อสร้างอนุภาคขนาดใหญ่ในกระบวนการตกตะกอน เมื่อรวมตัวกันแล้วจะก่อตัวเป็นขนาดใหญ่ขึ้นและถูกกำจัดออกเป็นตะกอน (Sahu, 2016) กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางเคมี ได้แก่ การตกตะกอน (Precipitation), การทำให้เป็นกลาง (Neutralization), การรวมกลุ่มตะกอน (Coagulation) และการฆ่าเชื้อโรค (Disinfection) เป็นต้น (ทิตยา, 2549)

2.2.2.1 การทำให้ตกตะกอน (Precipitation)

เป็นการบำบัดโดยการเติมสารเคมีเพื่อกำจัดสารปนเปื้อนที่ละลายน้ำและที่เป็นของแข็งแขวนลอย ด้วยการตกตะกอนในถังตกตะกอนและใช้วิธีทางกายภาพร่วมด้วย สารเคมีที่ใช้ เช่น สารส้ม, ปูนขาว และเฟอร์รัสซัลเฟต เป็นต้น

2.2.2.2 การรวมกลุ่มตะกอน (Coagulation)

เป็นการบำบัดทางเคมีเพื่อขจัดสารที่เป็นอนุภาคคอลลอยด์ขนาดเล็กที่ตกตะกอนได้ช้ามาก ไม่สามารถแยกตัวออกจากวิธีในหัวข้อ 2.2.2.1 เนื่องจากมีขนาดที่เล็ก โดยหลักการคือการจับตัวกันเป็นกลุ่ม เรียกว่า ฟล็อก (Floc) จนมีน้ำหนักมากและสามารถตกตะกอนลงมาได้อย่างรวดเร็ว สารเคมีที่ใช้ เช่น สารส้ม, ไคโตซาน, เฟอร์ริกคลอไรด์ และโพลีอิเลกโตรไลท์

2.2.2.3 การทำให้เป็นกลาง (Neutralization)

เป็นการทำให้น้ำเสียมีค่า pH ให้อยู่ในช่วงที่เป็นกลาง ด้วยการเติมสารเคมีเพื่อให้มีสภาพที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการต่อไป น้ำเสียที่มีค่าพีเอชต่ำ สามารถทำให้เป็นกลางโดยใช้ปูนขาว, โซดาไฟ, และ โซดาแอช ส่วนน้ำที่มีค่าพีเอชสูงทำให้เป็นกลางโดยใช้กรดชนิดต่าง ๆ เช่น กรดกำมะถัน กรดเกลือ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

2.2.2.4 การฆ่าเชื้อโรค (Disinfection)

เป็นการกำจัดเชื้อจุลชีพก่อโรคที่มีในน้ำเสีย โดยการเติมสารเคมี เช่น คลอรีน, โอโซน และคลอรีนไดออกไซด์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 กระบวนการบำบัดทางชีวภาพ

การบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ เป็นกระบวนการที่กำจัดมลพิษอินทรีย์ และออกซิไดซ์มลพิษอินทรีย์ซึ่งจำเป็นต่อการป้องกันการแพร่เชื้อโรคทางน้ำ (Muloiwa, 2023) ในการบำบัดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ นิยมใช้กระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพเนื่องจากมีประสิทธิภาพสูง และค่าใช้จ่ายต่ำกว่ากระบวนการทางกายภาพหรือกระบวนการทางเคมีโดยการบำบัดด้วยวิธีนี้จะใช้จุลินทรีย์เป็นหลัก การบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ (Biological Treatment) เป็นการอาศัยหลักการใช้จุลินทรีย์ต่าง ๆ มาทำการย่อยสลายหลักการนี้จะใช้สภาพแวดล้อมให้เหมาะกับการทำงานของจุลินทรีย์ โดยแบ่งเป็น 2 ประเภทตามชนิดแบคทีเรีย คือ แบคทีเรียที่ใช้อากาศ (Aerobic Process) และแบคทีเรียที่ไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Process) (กรมควบคุมมลพิษ, 2558)

2.2.3.1 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ (Aerobic Process)

จะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียที่ใช้อากาศ จึงต้องมีการเติมอากาศตลอดเวลา ระบบที่นิยมใช้ ได้แก่ ระบบแอคทิเวเต็ดสลัจด์ (Activated Sludge, AS) บ่อเติมอากาศ (Aerated Lagoon, AL) และระบบบึงประดิษฐ์ (Wetland) เป็นต้น ในการบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ จะอาศัยจุลินทรีย์ เช่น แบคทีเรีย, รา, สาหร่าย, โปรโตซัว และไวรัส

1) แบคทีเรีย (Bacteria)

เป็นกลุ่มจุลินทรีย์หนึ่ง ลักษณะเซลล์เดียวขนาดเล็กมองด้วยตาเปล่าไม่เห็น มีผนังหุ้มเซลล์ 2 ชั้น ไม่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส (Nucleus) ส่วนใหญ่ไม่มีคลอโรฟิลล์ (Chlorophyll) พบว่ามีอยู่ทั่ว ๆ ไปในสิ่งแวดล้อม แม้แต่ภายในร่างกายของคนและสัตว์ รูปร่าง, ขนาด และการจับกลุ่มของเซลล์ ซึ่งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในอาหารเลี้ยงเชื้อ จะเพิ่มจำนวนได้ที่ระยะเวลาต่าง ๆ การเจริญสามารถแบ่งได้เป็น 4 ช่วง คือ

1.1 Lag phase

เป็นระยะที่มีการใส่แบคทีเรียในอาหารเลี้ยงเชื้อ แบคทีเรียจะมีการปรับตัวให้เข้ากับสิ่งแวดล้อมใหม่ ช่วงนี้แบคทีเรียยังไม่เพิ่มจำนวน ไม่แบ่งเซลล์ แต่เซลล์จะเตรียมพร้อมสำหรับการเจริญ

1.2 Log phase

เป็นระยะที่แบคทีเรียมีการแบ่งตัวอย่างรวดเร็วในอัตราคงที่ การแบ่งเซลล์แต่ละครั้งใช้เวลาเท่ากัน ระยะนี้จะมีการเจริญมากที่สุด

1.3 Stationary phase

เป็นระยะที่แบคทีเรียมีจำนวนสูงสุดและคงที่ ไม่มีการเพิ่มจำนวนอีก เนื่องจากอาหารถูกใช้ไปเกือบหมด และมีการขับของเสียที่เป็นพิษจากกระบวนการ แมทาบอลิซึม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 Death phase

แบคทีเรียจะมีการตายอย่างรวดเร็ว การตายเกิดเนื่องจากอาหารที่ใช้เลี้ยงเซลล์จนหมด และเกิดการสะสมของเสีย สารพิษจากกระบวนการแมทาบอลิซึม ซึ่งแบคทีเรียจะมีหลายลักษณะดังนี้

ก.ค็อกคัส (*Coccus*) หรือค็อกไค (*Cocci*)

ลักษณะทรงกลมหรือเกือบกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5-11.0 ไมครอน อาจอยู่ติดกันเป็นกลุ่มในแบบต่าง ๆ กัน เช่น ค็อกคัส 2 เซลล์เรียงติดกันเรียกว่า ดิโพลค็อกคัส (Diplococcus) สี่เซลล์เรียงต่อกันเรียกว่า เทเทรด (Tetrad) หลายเซลล์ที่เรียงกันเป็นสายยาวเรียกว่า สเตรปโตค็อกคัส (Streptococcus) หลายเซลล์เรียงต่อกันเป็นกลุ่มคล้ายพวงองุ่นเรียกว่า สแตฟฟิ โลค็อกคัส (Staphylococcus) และแปดเซลล์เรียงเป็นลูกบาศก์เรียกว่า ซาสินา (Sarcina)

ข.บาซิลลัส (*Bacillus*) หรือบาซิลไล (*Bacilli*)

เป็นทรงกระบอกขนาดกว้าง 0.5-1.0 ไมครอน และยาว 1.5-3.0 ไมครอน ถ้าอยู่ติดกันเป็นเส้นยาว เรียกว่า สเตรปโตบาซิลลัส (Streptobacillus)

ค.วิบริโอ (*Vibrio*)

เป็นแบคทีเรียที่ไม่สามารถรักษาสีคริสตัลไวโอเลตในการย้อมสีแบบแกรมได้ในการย้อมสีแบบแกรม สีตรงข้าม (ปกติคือ ซาฟรานิน) ซึ่งเดิมทีหลังคริสตัลไวโอเลต จะติดสีแบคทีเรียแกรมลบให้เป็นสีแดงหรือสีชมพู วิธีนี้เป็นประโยชน์ในการจำแนกแบคทีเรียขั้นต้น โดยใช้ความแตกต่างของผนังเซลล์ แบคทีเรียแกรมบวกจะยังคงรักษาสีม่วงของคริสตัลไวโอเลตได้แม้จะใช้สารชะสีออกแล้ว

ง.สไปริลลัม (*Spirillum*) หรือสไปริลไล (*Spirilli*)

เป็นแท่งยาวโค้งงอหลายโค้ง คล้ายงูเลื้อยมักอยู่เป็นเซลล์เดี่ยว แต่ละชนิดมีความแตกต่างกันทั้งทางด้านความยาว จำนวนเกลียว ความแข็งแรงของผนังเซลล์

2) รา (Fungi)

รา เป็นจุลินทรีย์ที่ประกอบด้วยเซลล์หลายเซลล์ ไม่มีคลอโรฟิลล์ ลักษณะทั่วไปมักเป็นเส้นใยยาว ๆ ไม่มีผนังกั้น และมีนิวเคลียส จะผลิตเอนไซม์แต่ละตัวจะมีความเป็นกรด-ด่าง (pH) ที่ดีที่สุด เรียกว่า Optimum pH ได้ดีที่ น้อยกว่า 6 ถ้าไนโตรเจนและฟอสฟอรัสน้อย พบว่า ราเจริญได้ดีกว่าแบคทีเรีย ราที่พบในการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยา เช่น *Penicillium, Cladosporium* และ *Mucor* เป็นต้น

3) สาหร่าย (Algae)

สาหร่าย เป็นจุลินทรีย์ที่มีเซลล์เดียว มีนิวเคลียสขนาดใหญ่ มีคลอโรฟิลล์ในคลอโรพลาสต์ บทบาทในการบำบัดน้ำเสีย เช่นระบบบ่อผึ่ง มีความสำคัญ ในการบำบัดน้ำเสียโดยทางชีววิทยารองจาก แบคทีเรีย สาหร่ายและแบคทีเรียในแหล่งน้ำจะอยู่ร่วมกันโดยพึ่งพากัน คือ สาหร่ายสังเคราะห์แสง เพื่อให้สารอาหารต่าง ๆ โดยใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงาน แบคทีเรียที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต้องการอากาศจะใช้ออกซิเจนเพื่อสร้างพลังงาน สาหร่ายที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย เช่น *Anacystis, Euglena* และ *Chlorella* เป็นต้น

4) โปรโตซัว (Protozoa)

โปรโตซัว เป็นจุลินทรีย์ที่มีเซลล์เดียว มองด้วยตาเปล่าไม่เห็นมีขนาดใหญ่กว่าแบคทีเรีย บางชนิดอยู่ด้วยกันเป็นกลุ่ม เรียกว่า โคโลนี (Colony) เซลล์มักมีรูปร่างคงที่ไม่ค่อยเปลี่ยนแปลง ในระบบบำบัดน้ำเสียไม่ค่อยมีบทบาทมาก มักจะกินแบคทีเรียทั้งมีชีวิตและตายแล้ว โปรโตซัวที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย เช่น *Peranema* spp., *Coleps* spp. และ *Gonium* spp. เป็นต้น

5) ไวรัส (Virus)

ไวรัส เป็นสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่สุด ไม่มีลักษณะเป็นเซลล์ ถือเป็นอนุภาคที่มีชีวิต เรียกว่า ไวเรียน (Virion) ดำรงชีพแบบปรสิต ทำให้เกิดโรคแก่คน, สัตว์ และพืช ในระบบบำบัดน้ำเสียส่วนมากจะกินแบคทีเรีย ซึ่งจะช่วยย่อยสลายอินทรีย์ในน้ำได้

2.2.3.2 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Process)

เป็นระบบบำบัดน้ำเสียโดยการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียหรือในตะกอนลักษณะจำเพาะของระบบ คือสามารถสร้างมีเทนจากสารอินทรีย์ โดยการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ แบ่งออกเป็น 10 ระบบ (สกล, 2553)

1) ระบบบำบัดแบบบ่อไร้อากาศ หรือบ่อเหม็น (Anaerobic Pond)

มักเป็นบ่อดินมีขนาดใหญ่มีความลึกประมาณ 3- 4.5 เมตร ระยะเวลากักเก็บน้ำเสียประมาณ 1 เดือน โดยมีท่อน้ำเสียเข้าส่วนล่างของบ่อเพื่อให้เกิดตะกอน และเกิดการย่อยสลายยภายใต้ภาวะไร้อากาศเกิดเป็นกรดอินทรีย์ (Organic Acid)

2) ระบบบำบัดแบบบ่อเกรอะ (Septic Tank)

มักจะสร้างเป็นบ่อคอนกรีตปิดเป็นรูปสามเหลี่ยมผืนผ้าอยู่ใต้พื้นดินมีระยะเวลากักเก็บน้ำประมาณ 1-3 วัน ระบบนี้จะมีหลักการเหมือนกับบ่อไร้อากาศทุกประการแตกต่างที่วัสดุการสร้างและลักษณะของบ่อ

3) ระบบบำบัดแบบถังหมักธรรมดา (Conventional Anaerobic Didgestion)

เป็นระบบที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการย่อยสลายตะกอนจากระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ (Activated Sludge) ระบบบำบัดประกอบด้วยถังปฏิกิริยาซึ่งถังส่วนใหญ่เป็นถังคอนกรีตมีฝาปิดเพื่อเก็บความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ระบบบำบัดแบบถังหมักแบบสัมผัส (Anaerobic Contact)

เป็นถังหมักที่ดัดแปลงมาจากถังหมักชนิดอัตรากำจัดสูง ซึ่งอาจเป็นถังปฏิกิริยาแบบไม่มีการหมุนเวียนตะกอนหรือไม่มีก็ได้ การที่ถังหมักมีการหมุนเวียนตะกอน ทำให้อาจใช้ได้กับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นไม่สูงมาก

5) ระบบบำบัดแบบถังหมักแบบสองเฟส (Two-phase Anaerobic Digestion)

เป็นการแยกถังหมักออกเป็นสองส่วนตามลักษณะการทำงาน เพื่อความสะดวกในการควบคุมสภาวะแวดล้อมให้เหมาะสมกับจุลชีพแต่ละชนิดโดยมีส่วนประกอบของถังหมักแบบสองเฟสที่ใช้พีเอชเป็นตัวกำหนดและควบคุมแบคทีเรียในถังหมัก

6) ระบบเครื่องกรองแบบไร้อากาศ (Anaerobic Filter)

มีส่วนประกอบที่สำคัญ คือถังที่มีลักษณะคล้ายถังกรองบรรจุภายในด้วยหิน หรืออาจใช้ตัวกลางพลาสติกแทนก็ได้น้ำเสียจะไหลข้างล่างขึ้นข้างบน ทำให้แบคทีเรียส่วนใหญ่ถูกจับอยู่ภายในถังกรอง เหมาะสมสำหรับการกำจัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำ

7) ระบบบำบัดแบบ Anaerobic fluidzed bed (AFB)

ระบบนี้มีลักษณะคล้ายคลึงกับระบบเครื่องกรองไร้ออกซิเจนตรงที่มีน้ำไหลจากข้างล่างขึ้นข้างบน จัดเป็นระบบตรึงฟิล์ม (Fixed Film) แบบไร้อากาศที่มีตัวกลางขนาดเล็กเท่ากับเม็ดทรายเป็นที่จับของแบคทีเรียและทำให้มีการตกตะกอน

8) ระบบบำบัดแบบ Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)

เป็นระบบเพื่อตัดสารตัวกลางออกจากระบบ ทิศทางการไหลของน้ำเสียจากข้างล่างขึ้นข้างบนแต่ไม่ใช้ตัวกลาง แบคทีเรียจะจับตัวกันเป็นเม็ด จนมีน้ำหนักมาก สามารถตกตะกอนได้ดี

9) ระบบบำบัดแบบจานหมุนชีวภาพแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic Rotating Biological Contactor หรือ ARBC)

ลักษณะของระบบคล้ายคลึงกับระบบจานชีวะหมุน (RBC) เพียงแต่มีฝาปิดเพื่อป้องกันไม่ให้สัมผัสกับอากาศภายนอกและมีช่องระบายก๊าซออกทางตอนบน ทำให้แบคทีเรียที่ไม่ใช้อากาศสามารถยึดเกาะและเจริญได้ดีบนผิวจาน

10) ระบบแผ่นกั้นไร้ออกซิเจน (Anaerobic Baffled Reactor (ABR)

ระบบนี้จะมีแผ่นกั้นเพื่อบังคับให้น้ำเสียไหลลงอยู่ในแนวนอน ทำให้มีพื้นผิวน้ำมากส่งผลให้แบคทีเรียมพื้นที่ตกตะกอนสูงกว่าระบบอื่น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 อีเอ็ม (Effective Microorganism: EM) (สืบค้นวันที่ 2 ตุลาคม 2566 จาก https://www.sc.su.ac.th/em ball/emball.pdf)

EM หรือกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ มีลักษณะเป็นของเหลว สีน้ำตาล กลิ่นหวานอมเปรี้ยว โดยมี ศ.ดร. เทรูโอะ ฮิงะ นักวิทยาศาสตร์ ผู้เชี่ยวชาญสาขาพืชสวน มหาวิทยาลัยริวกิว เมืองโอกินาวา ประเทศญี่ปุ่น เป็นผู้คิดค้นขึ้น เพื่อนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเน่าเสีย ช่วยปรับสภาพความสมดุลของสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม รวมทั้งช่วยลดการแพร่ระบาดของเชื้อโรคได้

2.3.1 ลักษณะทั่วไปของอีเอ็มบอล (EM Ball)

มีลักษะเป็นทรงกลม ขนาดประมาณลูกเทนนิส สีน้ำตาลอ่อนหรือเข้มขึ้นอยู่กับส่วนผสมที่ใช้ในขั้นตอนของวิธีการทำ โดยส่วนมาก EM Ball จะมีสูตรส่วนผสมที่แตกต่างกันออกไปบ้างแต่ยังมีวัตถุดิบหลักที่ใช้เหมือนกัน คือ ดิน รำละอียด รำหยาบ และกากน้ำตาล เป็นต้น โดยส่วนประกอบของรำละเอียดและกากน้ำตาลจะเป็นอาหารของจุลินทรีย์ และส่วนประกอบของรำหยาบจะมีคุณสมบัติในการรักษาอุณหภูมิของ EM Ball ให้คงที่

2.3.2 จุลินทรีย์ในองค์ประกอบ (ไกรสร และคณะ, 2550)

EM ที่นำไปใช้กันอยู่อย่างแพร่หลายในปัจจุบันมีสูตรเดียวที่เรียกว่า EM รวม หรือหัวเชื้อจุลินทรีย์ (EM Original หรือ EM 1) ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้

กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มจุลินทรีย์สังเคราะห์ (Photosynthetic Microorgannisms) ทำหน้าที่ สังเคราะห์สารอินทรีย์ให้แก่ดิน เช่น กรดอะมิโน (Amino Acid), น้ำตาล (Sugar), วิตามิน (Vitamins), ฮอร์โมน (Hormone) และเพิ่มประสิทธิภาพและความสมบูรณ์ให้แก่ดิน รวมทั้งยังสามารถบำบัดพิษในน้ำเสียที่เกิดจากสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ นอกจากนี้ ยังช่วยสร้างความสัมพันธ์แบบพึ่งพาอาศัยกับจุลินทรีย์ Azotobacter ด้วยการสังเคราะห์ธาตุไนโตรเจนในดิน ซึ่งมีกลุ่มจุลินทรีย์ที่สำคัญ เช่น *Rhodopseudomonas* spp. รองลงมา ได้แก่กลุ่ม *Chlorob* spp. และ *Rhodospirillum* spp.

กลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมัก (Zymogenic or Fermented Microorganisms) ทำหน้าที่เป็นตัวการให้ดินเปลี่ยนสภาพต้านทานโรค (Disease Resistant) เข้าสู่วงจรการย่อยสลายแบบหมัก และแบบสังเคราะห์ (Fermentation and Synthetic Microorganisms) เป็นหัวเชื้อในการผลิตปุ๋ยหมัก และเป็นตัวกระจาย Azotobacter และ Mycorrhizae ทำงานได้อย่างดีในดิน ช่วยลดอัตราการพังทลายของดินป้องกันโรคศัตรูพืชบางชนิดของพืชและสัตว์ โดยจุลินทรีย์หลัก ได้แก่ พวกยีสต์ (Yeast) และ Actinomycetes เช่น *Saccharomyces* spp.

กลุ่มที่ 3 เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่สร้างกรดแลกติค (Lactic Acids Bacteria) กลุ่มนี้จะมีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อราและแบคทีเรียที่เป็นโทษ จุลินทรีย์พวกนี้ส่วนใหญ่เป็นพวกที่ไม่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น และห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา หรือนำไปเผยแพร่ต่อ

อากาศ (Anaerobic Microorganisms) ในสภาวะปกติทำหน้าที่เปลี่ยนสภาพดินจากดินเน่าเปื่อยหรือดินก่อโรคให้กลายเป็นดินที่ต้านทานโรค โดยช่วยลดจำนวนจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของโรคพืชต่าง ๆ ให้มีจำนวนน้อยลงหรือหมดไป และยังสามารถทำให้สารอินทรีย์ในดินมีประโยชน์มากขึ้น นอกจากนั้น ยังช่วยย่อยสลายเปลือกของเมล็ดพืชช่วยให้เมล็ดงอกเร็วกว่าปกติอีกด้วย ส่วนใหญ่ ร้อยละ 90 ประกอบด้วยจุลินทรีย์แบคทีเรียจำพวก *Lactobacillus* spp.

กลุ่มที่ 4 เป็นกลุ่มจุลินทรีย์พวกตรึงไนโตรเจน (Nitrogen fixing microorganisms) มีทั้งพวกที่เป็นสาหร่าย (Algae) และพวกแบคทีเรีย (Bacteria) ทำหน้าที่ตรึงก๊าซไนโตรเจนจากอากาศ เพื่อให้ดินผลิตสารที่เป็นประโยชน์ต่อการเจริญเติบโต เช่น โปรตีน (Protein), กรดอินทรีย์ (Organic acids), กรดไขมัน (Fatty acids), แป้ง (Starch or Carbohydrates), ฮอร์โมน (Hormones) และ วิตามิน (Vitamins) เป็นต้น

กลุ่มที่ 5 เป็นกลุ่มจุลินทรีย์พวกเชื้อราที่มีเส้นใย (Filamentous fungi) ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งการย่อยสลาย สามารถทำงานได้ดีในสภาพที่มีออกซิเจน มีคุณสมบัติต้านทานความร้อนได้ดี ปกติใช้เป็นหัวเชื้อผลิตเหล้า ผลิตปุ๋ยหมัก

2.3.3 ประโยชน์ของ EM (อิสริยะ, 2556)

2.3.3.1 ด้านการเกษตร

สามารถในการช่วยปรับสภาพความเป็นกรด–ด่างในดินและน้ำ ช่วยแก้ปัญหาจากแมลงศัตรูพืชและโรคระบาดต่าง ๆ ช่วยย่อยสลายอินทรียวัตถุให้เป็นอาหารแก่พืช ทำให้พืชดูดซึมไปเป็นอาหารได้ดี และยังช่วยสร้างฮอร์โมนพืชเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงและมีคุณภาพดีขึ้น สามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน ทำให้มีประโยชน์ต่อการขนส่งไกล ๆ เช่น ส่งออกต่างประเทศ

2.3.3.2 ด้านการปศุสัตว์

สามารถช่วยกำจัดน้ำเสียและกำจัดกลิ่นเหม็นจากฟาร์มปศุสัตว์ ได้ภายใน 1 ถึง 2 สัปดาห์ ทำให้ช่วยกำจัดแมลงวันโดยการตัดวงจรของหนอนแมลงวันไม่ให้เข้าดักแด้ที่จะเกิดเป็นแมลงวันได้

2.3.3.3 ด้านการประมง

สามารถช่วยควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำได้ และยังสามารถแก้ปัญหาโรคพยาธิในน้ำซึ่งเป็นอันตรายต่อกุ้ง ปลา หรือสัตว์น้ำอื่น ๆ ส่งผลให้ลดปริมาณขี้เลนในบ่อ ช่วยให้เลนไม่เน่าหรือมีกลิ่นเหม็นสามารถนำไปผสมปุ๋ยหมักใช้กับพืชต่าง ๆ ได้ดี

2.3.3.4 ด้านสิ่งแวดล้อม

สามารถช่วยบำบัดคุณภาพน้ำเสียที่เกิดจากการเกษตร การปศุสัตว์ การประมง โรงงานอุตสาหกรรม ชุมชน และสถานประกอบการทั่วไป ช่วยปรับสภาพของเสีย เช่น เศษอาหารจากครัวเรือนให้มีประโยชน์ต่อการเลี้ยงสัตว์ และการเพาะปลูก เพื่อนำไปใช้ประโยชน์อื่น ๆ ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 ประโยชน์ของ EM Ball

เป็นที่ยึดเกาะให้แก่จุลินทรีย์ ทำให้จุลินทรีย์สามารถลงใต้น้ำไปยังบริเวณที่ต้องการบำบัด โดยจุลินทรีย์จะย่อยสลายอินทรีย์สารแขวนลอยเพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ ทำให้น้ำที่ขุ่นกลับมาใสขึ้น และปรับ pH ให้อยู่ระหว่าง 6.50 ถึง 7.50 และยังมีความสามารถในการย่อยสลายน้ำมันและไขมันตามท่อระบายน้ำได้อีกด้วย (อิสริยะ, 2556)

2.3.5 การประยุกต์ใช้ EM

การประยุกต์ใช้ EM จะแบ่งออกเป็น EM ชนิดน้ำ และ EM ชนิดแห้ง ซึ่งในการศึกษาทดลองนี้จะให้ความสำคัญกับ EM ชนิดแห้ง หรือ EM Ball โดยเป็นสูตรที่อ้างอิงมาจากคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ซึ่งมีส่วนผสมทั้งหมด ดังนี้ คือ รำหยาบ 10 กิโลกรัม, รำละเอียด 20 กิโลกรัม, ดินละเอียด 50 กิโลกรัม, โดโลไมท์หรือปุ๋ยฟอสเฟต 20 กิโลกรัม, น้ำจุลินทรีย์ขยาย 6 ลิตร, หัวเชื้ออีเอ็มเข้มข้น 2 ช้อนโต๊ะ, กากน้ำตาล 2 ช้อนโต๊ะ และน้ำสะอาด 12 ลิตร

วิธีทำ: 1. เติมหัวเชื้อ EM เข้มข้นลงในน้ำจุลินทรีย์ขยาย ต่อมาใส่กากน้ำตาลและน้ำสะอาดลงไป พักทิ้งไว้

2. นำดิน รำละเอียด รำหยาบ และโดโลไมท์ ผสมให้เข้ากัน แล้วนำส่วนผสมที่ได้จากข้อ 1. ค่อย ๆ เทผสมคลุกเคล้าให้เข้ากัน

3. ปั้นเป็นก้อนกลมขนาดประมาณลูกเทนนิส

4. นำ EM Ball ที่ได้ไปตากในที่ร่มบนพื้นที่สะอาด ใช้เวลาประมาณ 7 ถึง 10 วัน (ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสถานที่ตาก) จึงจะสามารถนำไปใช้ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 จุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง

2.4.1 *Bacillus* spp.

Domain Bacteria

Phylum Firmicutes

Class Bacilli

Order Bacillales

Family Bacillaceae

Genus Bacillus

Bacillus spp. เป็นแบคทีเรียแกรมบวก (Gram Positive Bacteria) รูปร่างเป็นท่อนทรงกระบอก (Rod shape) พบได้ทั่วไปในดินตามสภาพแวดล้อมต่างๆ จัดอยู่ในวงศ์ Bacillaceae สามารถสร้างแคปซูล (Capsule) และเอนโดสปอร์ (Endospore) Facultative anaerobe เจริญเติบโตได้โดยใช้สารอาหารจากการย่อยสลายของซากพืชและซากอื่น ๆ นอกจากนี้ยังเป็นแบคทีเรียที่มีความสำคัญในการผลิตเอนไซม์ เช่น เอนไซม์คาร์โบไฮเดรส (Carbohydrase), เอนไซม์ไคติเนส (Chitinase), เอนไซม์กลูคาเนส (Glucanase), เอนไซม์อะไมเลส (Amylase), เอนไซม์คะตะเลส (Catalase), เอนไซม์ไลเปส (Lipase) และเอนไซม์โปรตีเอส (Protease) (ปิยรัตน์, 2561) โดยสามารถผลิตเอนไซม์อะไมเลส (Amylase) และไลเปส (Lipase) ได้สูง ซึ่งมีประโยชน์เป็นอย่างมากในการนำไปบำบัดน้ำเสียและย่อยสลายกากไขมัน (ทิพวรรณ และคณะ, 2555) แสดงดังรูปที่ 2.3

รูปที่ 2.3 ลักษณะของ *Bacillus* spp. ภายใต้กล้องจุลทรรศน์

ที่มา: https://www.researchgate.net/figure/Bacillus-spp-morphology-visualised-using-Gram-staining-10-magnification_fig1_266028804

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 *Bacillus subtilis*

Domain Bacteria

Phylum Firmicutes

Class Bacilli

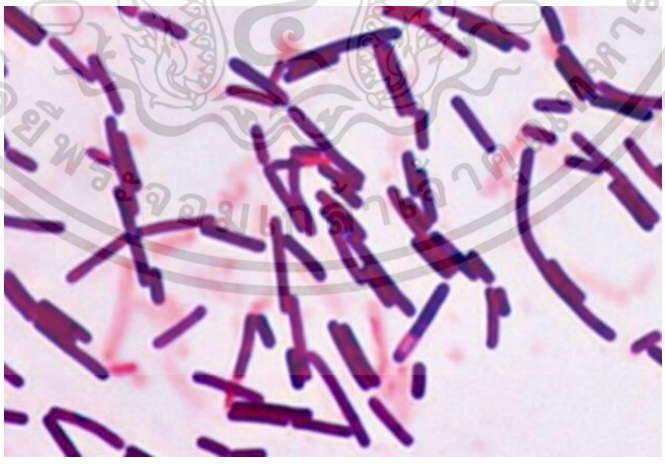
Order Bacillales

Family Bacillaceae

Genus Bacillus

Species subtilis

Bacillus subtilis เป็นแบคทีเรีย Gram Positive Bacteria รูปร่าง Rod shape พบได้ในดินและทางเดินอาหารของสัตว์เคี้ยวเอื้อง จัดอยู่ในวงศ์ Bacillaceae ซึ่งอยู่ในวงศ์เดียวกับ *Clostridium* สามารถสร้าง Capsule และ Endospore ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีความทนทานทำให้สามารถทนต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญได้ โดยจะเจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 30-35 องศาเซลเซียส ซึ่งแบคทีเรียชนิดนี้ยังมีความสามารถในการควบคุมและป้องกันโรคพืชจากแบคทีเรียชนิดอื่นได้หลายชนิด เช่น *Erwinia* spp. และ *Alternaria* spp. เป็นต้น นอกจากนี้ยังเป็นหนึ่งในแบคทีเรียที่มีความสำคัญในการผลิตเอนไซม์ เช่น Amylase ที่ใช้ย่อยสลายโมเลกุลของสตาร์ชในการผลิตเป็นสตาร์ชไฮโดรไลเสต (Starch Hydrolysate), Protease ที่ใช้ย่อยสลายโมเลกุลของโปรตีนให้เป็นเพปโทน เพปไทด์ หรือโปรตีนไฮโดรไลเสต (Protein Hydrolysate) (สืบค้นวันที่ 20 ตุลาคม 2566 จาก https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/6203/bacillus- subtilis.) และยังสามารถใช้ในการบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ แสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ลักษณะของ *Bacillus subtilis* ภายใต้กล้องจุลทรรศน์

ที่มา: http://th.fengchengroup.net/enzymes-and-bio-products/probiotics/bacillus-subtilis-or-b-subtilis-hay-bacillus.html

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 *Bacillus amyloliquefaciens*

Domain Bacteria

Phylum Firmicutes

Class Bacilli

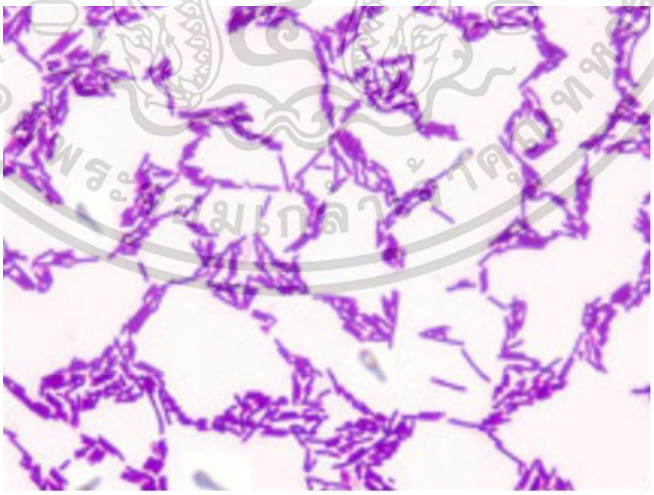
Order Bacillales

Family Bacillaceae

Genus Bacillus

Species amyloliquefaciens

Bacillus amyloliquefaciens เป็นแบคทีเรีย Gram Positive Bacteria รูปร่าง rod shape มีขนาด 0.7-0.9 x 1.8-3.0 ไมโครเมตร ถูกแยกออกจากดินครั้งแรกในปี พ.ศ. 2486 โดยนักวิทยาศาสตร์ชาวญี่ปุ่นที่ชื่อว่า Juichiro Fukumoto โดยตั้งชื่อตามลักษณะเด่นของสายพันธุ์ คือ สามารถผลิตสารเหลวที่เป็น Amylase บนผิวหน้าของอาหารเลี้ยงเชื้อได้ สามารถสร้าง Endospore ซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีความทนทานทำให้สามารถทนต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่อการเจริญ จะเจริญได้ดีที่อุณหภูมิ 30-40 องศาเซลเซียส แต่ไม่สามารถเจริญได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียสหรืออุณหภูมิที่สูงกว่า 50 องศาเซลเซียส มีความสามารถในการผลิต Amylase และ Protease ได้ (Ngalimat et al., 2021) นอกจากนี้ยังเป็นแบคทีเรียที่ไม่ก่อโรค แต่สามารถผลิตสารที่ออกฤทธิ์ยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ชนิดอื่นได้หลายกลุ่ม เช่น *Erwinia amylovora* ที่ก่อโรคในกล้วยไม้ หรือ *Fusarium solani* ที่ก่อโรคเหี่ยวเขียวในมะเขือเทศ เป็นต้น (ณัฐพงษ์ และคณะ, 2564) แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ลักษณะของ *Bacillus amyloliquefaciens* ภายใต้กล้องจุลทรรศน์

ที่มา: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666517423000275

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ (กรองแก้ว และ พิสมัย, 2559)

2.5.1 ความเป็นกรด-ด่าง (Positive potential of the hydrogen ions: pH)

pH หมายถึง ค่าที่แสดงให้ทราบว่าน้ำมีคุณสมบัติเป็นกรดหรือด่าง การวัด pH ของน้ำเป็นการวัดปริมาณความเข้มข้นของไฮโดนเจนไอออนที่มีอยู่ในน้ำ ณ เวลานั้น และมีผลต่อการใช้ประโยชน์ของน้ำในกิจกรรมต่าง ๆ ซึ่งระดับความเป็นกรดหรือด่าง มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 14 โดย pH เท่ากับ 7 คือน้ำมีคุณสมบัติเป็นกลาง pH ต่ำกว่า 7 คือน้ำมีคุณสมบัติเป็นกรด และหาก pH สูงกว่า 7 ขึ้นไป แสดงว่าน้ำมีคุณสมบัติเป็นด่าง

2.5.2 ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand: COD)

COD หมายถึง ค่าที่แสดงให้ทราบถึงความสกปรกของน้ำเสียโดยเป็นการวัดปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ใช้ในการออกซิไดส์สารอินทรีย์ในน้ำเสียให้ได้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำด้วยสารออกซิไดซิงเอเจนต์อย่างแรงกับกรดเข้มข้นและใช้สารตัวเร่งร่วมด้วยโดยการต้มเดือด (Reflux) นาน 1-2 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดการออกซิเดชันอย่างสมบูรณ์และป้องกันไม่ให้สารที่ระเหยง่ายระเหยออกไปหมด ดังสมการ

$$(CH_2O)_n + Cr_2O_7^{2-} + H^+ \rightarrow CO_2 + H_2O + Cr^{3+}$$

ดังนั้น ค่า COD เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้แสดงค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียแต่ไม่สามารถบ่งชี้ได้ว่าสารอินทรีย์นั้นย่อยสลายทางชีวภาพได้หรือไม่ ซึ่งค่า COD จะใช้เวลาในการหาได้เร็วเพียง 3 ชั่วโมง มีตัวแปรผันน้อย และค่าที่ได้มีความแน่นอน

โดยสารเคมีที่ใช้เป็นตัวออกซิไดส์ คือ โพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) ซึ่งถือว่าเป็นตัวออกซิไดส์ที่ดีกว่าตัวอื่น ๆ เช่น เฟอร์ริกซัลเฟต โพแทสเซียมไอโอเดท (Ferric sulfate, Potassium iodate) เนื่องจากทำให้บริสุทธิ์ได้ง่ายและมีอำนาจในการออกซิไดส์สูง ซึ่งสารอินทรีย์ส่วนใหญ่จะถูกทำลายได้ถ้าต้มกับโพแทสเซียมไดโครเมต ที่ทราบปริมาณแน่นอนกับกรดซัลฟิวริก ปริมาณโพแทสเซียมไดโครเมตบางส่วนจะถูกใช้ไปในการออกซิไดส์สารอินทรีย์ ปริมาณส่วนที่เหลือหลังจากการออกซิไดส์หาได้โดยการไทเทรตย้อนกลับ (back titration) กับเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต ดังสมการ

$$6Fe^{2+} + Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ \rightarrow 6Fe^{3+} + 2Cr^{3+} + 7H_2O$$

และจะใช้สารเฟอร์โรอิน (Ferroin) เป็นอินดิเคเตอร์ (ปริมาณโพแทสเซียมไดโครเมตที่ใช้ในการออกซิไดส์จะมากน้อยเท่าใดขึ้นกับปริมาณสารอินทรีย์ในตัวอย่างน้ำ) ซึ่งจะมีจุดยุติคือจุดที่เฟอรัสทำปฏิกิริยากับสารเฟอร์โรอินได้สารประกอบสีน้ำตาลแดง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand: BOD)

BOD หมายถึง ค่าที่แสดงให้ทราบถึงผลกระทบของน้ำเสียที่มีต่อปริมาณออกซิเจนละลายโดยการทดสอบในห้องปฏิบัติการและเป็นค่าที่มีความสำคัญอย่างมากในการออกแบบและควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ โดยใช้บ่งบอกถึงค่าภาระอินทรีย์ (Organic Loading) ใช้ในการหาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสีย และใช้สำหรับการตรวจสอบคุณภาพของน้ำตามแหล่งน้ำต่าง ๆ

การวิเคราะห์ BOD โดยทั่วไปเป็นการวัดปริมาณออกซิเจนที่ถูกใช้หมดไปในระยะแรกของการออกซิไดส์ของสารประกอบคาร์บอน ในระยะเวลา 5 วัน ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส โดยที่การใช้ออกซิเจนของพวก Nitrifying bacteria น้อยมากภายใต้ระยะเวลาและอุณหภูมิที่กำหนด ค่า BOD ที่วิเคราะห์ได้นั้นทำให้ทราบถึงปริมาณความสกปรกของน้ำเสียหรือน้ำทิ้งเพื่อประโยชน์ในการออกแบบระบบการจัดการน้ำเสีย คุณภาพน้ำทิ้ง และประสิทธิภาพของระบบนั้น ๆ

2.5.4 ปริมาณน้ำมันและไขมัน (Fat, Oil and Grease: FOG)

การวัด FOG ไม่ได้เป็นการวัดปริมาณสารไขมันทั้งหมดที่มีอยู่ในตัวอย่างน้ำแต่เป็นการวัดปริมาณของสารไขมันต่าง ๆ ที่สามารถละลายได้ในตัวทำละลายบางชนิด เช่น เฮกเซน (Hexane) หรือ ฟรีออน (Freon) ดังนั้น FOG ในที่นี้จะหมายถึงสารประกอบไฮโดรคาร์บอน กรดไขมัน สบู่ ไขมัน ขี้ผึ้ง น้ำมัน รวมทั้งสารอื่น ๆ ซึ่งสามารถสกัดได้โดยตัวทำละลายจากตัวอย่างที่ถูกทำให้เป็นกรดแล้ว และสารนั้นจะต้องไม่กลายเป็นไอในระหว่างการระเหยตัวทำละลาย วิธีวิเคราะห์นี้เหมาะที่จะใช้ในการวิเคราะห์น้ำมันและไขมันที่ย่อยสลายได้ทางชีววิทยา จึงเหมาะสำหรับน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดและน้ำธรรมชาติ แต่วิธีวิเคราะห์นี้จะไม่สามารถวัดสารที่มีจุดเดือดต่ำกว่า 70 องศาเซลเซียส ได้ วิธีที่นิยมใช้มี 2 วิธี ขึ้นอยู่กับชนิดหรือลักษณะของตัวอย่างน้ำ ดังนี้

1. วิธีสกัดด้วยกรวยแยก (Pratition Gravimetric) เหมาะสำหรับน้ำธรรมชาติ น้ำใส และน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว ซึ่งปริมาณน้ำมันและไขมันขั้นต่ำ น้อยกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

2. วิธีสกัดด้วยซอกห์เล็ต (Soxhlet) เหมาะสำหรับน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ชุมชน และตัวอย่างที่เป็นตะกอน (Sludge) ซึ่งปริมาณน้ำมันและไขมันสูง มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ไกรสร และคณะ (2550) ทำการศึกษาการใช้จุลินทรีย์ EM ในการบำบัดน้ำเสียในโรงอาหารมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ซึ่งจะแบ่งการทดลองออกเป็น 5 ชุดการทดลอง โดยเก็บน้ำตัวอย่างด้วยวิธีเก็บแบบรวม (Composite Sampling) จากปลายรางระบายน้ำเสียโรงอาหารมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม จากนั้นนำจุลินทรีย์อีเอ็มที่บ่มไว้ใส่ในน้ำตัวอย่าง ดังนี้ ชุดที่ 1 เป็นชุดควบคุมไม่เติมจุลินทรีย์อีเอ็ม ชุดที่ 2 เติมจุลินทรีย์อีเอ็มร้อยละ 10 ชุดที่ 3 เติมจุลินทรีย์อีเอ็มร้อยละ 20 ชุดที่ 4 เติมจุลินทรีย์อีเอ็มร้อยละ 30 และชุดที่ 5 เติมจุลินทรีย์อีเอ็มร้อยละ 40แล้วจึงนำตัวอย่างชุดการทดลองทั้งหมดมาทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำที่ระยะเวลา 7 14 และ21 วัน โดยมีการกำหนดพารามิเตอร์ของคุณภาพน้ำที่ทำการศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิ, pH, COD และ FOG ผลการทดลองพบว่าสามารถใช้ EM ในการบำบัดน้ำเสียโรงอาหารมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคามได้ดีในระดับหนึ่ง คือจะไม่มีผลต่อการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของอุณหภูมิหรือ pH แต่จะมีผลต่อ COD และ FOG ซึ่งในชุดการทดลองที่ 3 (เติม EM ร้อยละ 20) จะสามารถบำบัด COD ได้ดีที่สุด โดยมีประสิทธิภาพร้อยละ 67.15 และ ในชุดการทดลองที่ 5 (เติม EM ร้อยละ 40) จะสามารถบำบัด FOGได้ดีที่สุด โดยมีประสิทธิภาพร้อยละ 86.26 ที่ระยะเวลา 21 วัน

ขวัญเนตร และคณะ (2554) ทำการศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ โดยงานวิจัยนี้ศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพจุลินทรีย์ในการบำบัด FOG และ COD โดยใช้น้ำเสียของโรงอาหารมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่มี FOG 59-210 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่า COD 1,650 - 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งใช้จุลินทรีย์ทั้งหมด 3 ชุดการทดลอง ประกอบด้วย ชุดการทดลองที่ 1 จุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวเต็ดสลัดจ์ ชุดการทดลองที่ 2 จุลินทรีย์สำเร็จรูป Micro DRD-14 และ ชุดการทดลองที่ 3 จุลินทรีย์รวม (Micro Mix) ประกอบด้วย Micro DRD-14 Micro PROTON- 95 และ Micro Powder ควบคุมอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ 0.05, 0.11, 0.17 และ 0.22 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ผลการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัด FOG ของชุดการทดลองที่ 3 จุลินทรีย์รวม (Micro Mix) เท่ากับร้อยละ 77 ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.17 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน และน้ำทิ้งผ่านเกณฑ์มาตรฐานในขณะที่ FOG ในน้ำทิ้งควบคุม และ MicroDRD-14 ไม่ผ่านมาตรฐานประสิทธิภาพในการบำบัด COD ที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ 0.05-0.17 กิโลกรัมซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน มีประสิทธิภาพการบำบัดมากกว่า ร้อยละ 90 ในการทดลองนี้ Micro Mix ให้ประสิทธิภาพในการบำบัด FOG และ COD สูงที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทิพวรรณ และคณะ (2556) งานวิจัยนี้ทำการศึกษาเพื่อประเมินกิจกรรมเอนไซม์ของจุลินทรีย์สายพันธุ์ที่พบในธรรมชาติโดยเฉพาะอย่างยิ่งจุลินทรีย์กลุ่ม *Bacillus* spp. ที่พบในธรรมชาติเพื่อหาแนวทางความเป็นไปได้และการประยุกต์ใช้ประโยชน์จากความหลากหลายของสายพันธุ์จุลินทรีย์ในประเทศไทย โดยทำการเก็บตัวอย่างดินบริเวณระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานแปรรูปอาหารซึ่งมีการปนเปื้อนไขมันและกากไขมันมาคัดแยกและหาความหลากหลายของเชื้อจุลินทรีย์ ผลการวิเคราะห์ทางสัณฐานวิทยา พบว่า จุลินทรีย์ที่คัดแยกได้มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับจุลินทรีย์กลุ่ม *Bacillus* spp. โดยมีทั้งหมด 4 ไอโซเลท ที่สามารถผลิต Lipase ได้สูง ซึ่งเมื่อทดลองนำจุลินทรีย์กลุ่ม *Bacillus* spp. ที่คัดแยกได้มาใช้สำหรับการย่อยสลายกากไขมันผ่านกระบวนการหมักทำปุ๋ยแบบเติมอากาศ เมื่อควบคุมความชื้นภายในถังหมักแบบเติมอากาศเท่ากับร้อยละ 60 ภายในถังหมักบรรจุวัสดุร่วมหมัก (เศษกิ่งไม้ ใบไม้และเศษผัก) ร่วมกับกากไขมันสัดส่วน 50:50 ที่อัตราการเติมอากาศเท่ากับ 4 ชั่วโมงต่อวัน โดยไอโซเลท 7 มีค่ากิจกรรม Lipase เกิดขึ้นสูงสุดปริมาณ 295.20 หน่วยต่อมิลลิลิตร และประสิทธิภาพการกำจัดไขมันผ่านกระบวนการหมักทำปุ๋ยแบบเติมอากาศมีค่าเท่ากับร้อยละ 98.29 รองลงมาคือ ไอโซเลท 4 ไอโซเลท 6 และไอโซเลท 1 ซึ่งมีประสิทธิภาพการกำจัดไขมันเท่ากับร้อยละ 97.95, 95.88 และ 95.84 ตามลำดับ

วัชรินทร์ (2557) ทำการศึกษาจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารประกอบคาร์โบไฮเดรตในน้ำทิ้งจากโรงงานขนมจีน โดยทำการทดสอบคุณสมบัติในการผลิต Amylase ของจุลินทรีย์จำนวน 10 ชนิด พบว่าในการศึกษากิจกรรมการผลิต Amylase เชื้อจุลินทรีย์ *Bacillus subtilis* มีการผลิต Amylase ได้สูงสุด 251.43 ยูนิตต่อมิลลิลิตร ภายในเวลา 56 ชั่วโมง รองลงมาคือ *Bacillus amyloliqueniformis* มีการผลิต Amylase สูงสุดเท่ากับ 148 ยูนิตต่อมิลลิลิตร ภายในเวลา 60 ชั่วโมง

ประชุมพร และคณะ (2558) ทำการศึกษาประสิทธิภาพของกลุ่มแบคทีเรียคัดสายพันธุ์ได้แก่ *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus epidermidis* และ *Pseudomonas aeruginosa* ในการย่อยสลายไขมันและบำบัดน้ำเสียของโรงอาหารมหาวิทยาลัย เก็บจากน้ำเสียที่บ่อดักไขมันของโรงอาหารมหาวิทยาลัยด้วยวิธี Grab Sampling ซึ่งจะทำการทดลองแบบแบทช์ที่อุณหภูมิห้อง ความเร็วรอบในการเขย่า 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 วัน ผลการทดลองพบว่า กลุ่มแบคทีเรียคัดสายพันธุ์สามารถลดค่า BOD_5 ได้ร้อยละ 40-65 โดย *B. subtilis* มีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดค่า BOD_5 คือลดได้ร้อยละ 62.66 รองลงมาคือ *S. epidermidis* และ *P. aeruginosa* ลดได้ร้อยละ 52.31 และ 42.05 ตามลำดับ นอกจากนี้ *P. aeruginosa* มีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดความหนาของชั้นไขมันคือลดได้ร้อยละ 48.98 ซึ่งมีประสิทธิภาพมากกว่า *B. subtilis* และ *S. epidermidis* ที่ลดได้ร้อยละ 32.65 และ 26.53 ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ($p < 0.001$) ซึ่งสรุปได้ว่าเอนไซม์ไลเปสจากเชื้อ *P. aeruginosa* สามารถบำบัดชั้นไขมันและลดความหนาได้มากที่สุด และ *B. subtilis* สามารถลด BOD_5 ให้เหลือน้อยที่สุดด้วยวิธีการแบบต่อเนื่อง โดยวิธีบำบัดทางชีวภาพนี้จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียที่มีน้ำมันและยังสามารถย่อยสลาย FOG ได้ดี ยิ่งไปกว่านั้น วิธีการนี้สามารถลดการรบกวนในพื้นที่ได้เมื่อเทียบกับวิธีทางกายภาพและทางเคมี

จิรภัทร และคณะ (2562) ทำการศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้จุลินทรีย์ทางการค้าในการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนไขมัน โดยจะศึกษาประสิทธิภาพของจุลินทรียทางการค้า 3 ชนิด คือ EM1, EM2 และ EM3 โดยที่ EM1 มีลักษณะเป็นผง ประกอบด้วยเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายกากอาหารและสารอินทรีย์โดยเฉพาะแก๊สที่มีกลิ่นเหม็น EM2 ลักษณะเป็นผง ประกอบด้วยจุลินทรีย์บริสุทธิ์ 6 ชนิด รวมทั้งเอนโซม์และสารอื่น ๆ ที่ช่วยในการย่อยสลายไขมันและเสริมประสิทธิภาพการทำงานของจุลินทรีย์ และ EM 3 มีลักษณะเป็นผง ประกอบด้วยจุลินทรีย์ที่ได้รับการปรับปรุงสายพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารชีวภาพและมีความสามารถในการบำบัดไขมันในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีปริมาณไขมัน 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ระยะเวลาการย่อยไขมันเท่ากับ 0, 2 และ 4 วัน พบว่า EM2 ให้ประสิทธิภาพการบำบัดไขมันได้ดีที่สุด คิดเป็นร้อยละ 73.33±4.71 ในขณะที่ EM1 และ EM3 มีประสิทธิภาพเท่ากับร้อยละ 63.33±4.16 และ 53.33±4.43 ตามลำดับ ในการแปรผันระยะเวลาการบ่มและความเข้มข้นของหัวเชื้อ EM2 สำหรับการย่อยสลายทางชีวภาพของไขมัน ผลการทดลองพบว่าที่ระยะเวลาบ่ม 4 วัน โดยใช้ความเข้มข้นของหัวเชื้อ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้หัวเชื้อ EM2 เกิดการย่อยไขมันได้ดีที่สุด นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจริงจากโรงอาหารด้วย EM2 ที่สภาวะการบ่ม 200 รอบต่อนาที อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากการทดลองพบว่า EM2 มีประสิทธิภาพในการบำบัดไขมันได้ร้อยละ 58.61±6.19 โดยมีค่าสูงกว่าเชื้อประจำถิ่นในน้ำเสียซึ่งบำบัด FOG ได้เพียงร้อยละ 9.57±2.66 สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ที่พบว่าน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วย EM2 มีคุณภาพดีกว่าน้ำเสียก่อนการบำบัด โดยน้ำหลังการบำบัดมีค่า pH 6.7 ค่า COD 96.71 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่า BOD 20.7 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่น้ำเสียก่อนการบำบัดมีค่า pH 9.80 ค่า COD 43.53 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า BOD 110.12 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัด BOD และ COD เท่ากับร้อยละ 52.44 และ12.17 ตามลำดับ

วิจิตรา (2562) ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียด้วยจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงและจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร โดยเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากบ่อปรับเสถียรของระบบบำบัดน้ำาเสียจากโรงอาหารของโรงงานอุตสาหกรรมแห่งหนึ่งมาทดสอบประสิทธิภาพการบำบัด FOG และ COD ในแบบจำลองถังย่อยไขมัน โดยแบ่งเป็น 4 ชุดการทดลอง แต่ละชุดการทดลองบรรจุน้ำเสีย ปริมาณ 2 ลิตร ชุดการทดลองที่ 1 ไม่มีการเติมอากาศและจุลินทรีย์ ชุดการทดลองที่ 2 เติมอากาศแต่ไม่เติมจุลินทรีย์ ชุดการทดลองที่ 3 เติมอากาศและจุลินทรียประสิทธิภาพสูง 3 สูตรการเจือจาง (1:25, 1:15 และ สูตรเข้มข้น) และชุดการทดลองที่ 4 เติมอากาศและจุลินทรีย์จากตะกอน 3 สูตรการเจือจาง (1:25, 1:15 และสูตรเข้มข้น) ข้อมูลที่รวบรวมได้จากการทดลองจะนำมาวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้การทดสอบความแปรปรวน ผลการวิจัยพบว่า ชุดการทดลองที่ 4 จุลินทรีย์จากตะกอนที่สูตรการเจือจาง 1:15 มีประสิทธิภาพการบำบัด FOG สูงสุด ร้อยละ 58.2 รองลงมาคือชุดทดลองที่ 3, 2 และ 1 ร้อยละ 56.6, 35.9 และ 26.4 ตามลำดับ สำหรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การลดปริมาณ COD ชุดการทดลองที่ 3 จุลินทรีย์จากตะกอนที่สูตรการเจือจาง 1:25 มีประสิทธิภาพการบำบัด COD สูงสุดร้อยละ 43.4 รองลงมาคือ ชุดการทดลองที่ 4, 2 และ 1 ร้อยละ 42.7, 27.0 และ 12.8 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด FOG และ COD ทั้ง 4 ชุดการทดลอง พบว่า แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของจุลินทรีย์และชนิดของจุลินทรีย์ที่แตกต่างกัน ไม่มีผลทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้น จึงสามารถใช้จุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารทดแทนจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงได้

อภิชญา และคณะ (2562) ทำการศึกษาการคัดแยกแบคทีเรียที่สามารถผลิต Lipase และศึกษาประสิทธิภาพของแบคทีเรียที่คัดเลือกได้มากทำการย่อยสลายน้ำมัน จากน้ำเสียในบ่อดักไขมัน โรงอาหารมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร โดยทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากบ่อดักไขมัน แล้วทำการเพาะเลี้ยงแบคทีเรียในอาหารที่มีน้ำมันมะกอกเป็นแหล่งคาร์บอน สามารถแยกแบคทีเรียได้ 13 ไอโซเลต เมื่อทำการศึกษาต่อด้วยวิธี Double Layer Technique พบว่ามีเพียง 1 ไอโซเลต ที่สามารถสร้าง Lipase ได้ จากนั้นนำแบคทีเรียที่คัดเลือกได้ มาศึกษาด้วยวิธีการย้อมแกรม พบว่าแบคทีเรียติดสีแกรมลบ รูปร่างท่อน และเมื่อทดสอบประสิทธิภาพในการย่อยสลายน้ำมันของแบคทีเรีย โดยการเปรียบเทียบน้ำมัน 4 ชนิด ได้แก่ น้ำมันมะกอก, น้ำมันปาล์ม, น้ำมันงา และน้ำมันถั่วเหลือง พบว่าแบคทีเรียที่ได้ทำการคัดเลือกมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายน้ำมันปาล์มได้ดีที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ในเวลา และเมื่อทำการตรวจวัดที่ 96 ชั่วโมง พบว่าแบคทีเรียที่คัดเลือกได้ สามารถย่อยสลายน้ำมันปาล์มได้ดีที่สุด รองลงมาได้แก่ น้ำมันมะกอก, น้ำมันถั่วเหลือง และน้ำมันงา ตามลำดับ

Venkateswar Reddy et al. (2018) ทำการศึกษาการ *Bacillus* sp. ในการบำบัดน้ำเสียจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ โดยในการศึกษาครั้งนี้ได้แยกเซลลูโลไลติกที่แยกได้จากตัวอย่างดินที่ปนเปื้อนของน้ำทิ้งจากโรงงานเยื่อและกระดาษ ได้รับการพัฒนาขึ้นเป็นในรูปแบบของโปรไบโอติกเชิงพาณิชย์ โดยทั่วไปโปรไบโอติกเหล่านี้มีประโยชน์ในการลด BOD, COD และสารประกอบไนโตรเจน ผลการวิจัยพบว่าโปรไบโอติกที่ใช้ปรับปรุงคุณภาพน้ำในบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่ดีที่สุด คือ *Bacillus* sp. ซึ่งมีความสามารถในการลดสารประกอบไนโตรเจนฟอสฟอรัส BOD และ COD ของบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำให้เหมาะสำหรับการเลี้ยงปลาและกุ้ง และการศึกษาครั้งนี้ยังสามารถนำน้ำเสียจากการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำกลับมาใช้ใหม่อีกครั้งหลังการบำบัดทางชีวภาพ

Ali et al. (2021) ทำการศึกษาการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพกับการบำบัดน้ำทิ้งโรงนมเพื่อการชลประทาน โดยใช้จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพต่างกันมาทำการทดลอง คือ แบคทีเรียบาซิลลัส (EM1) แบคทีเรียสตาฟิโลคอคคัส (EM2) และอีเอ็มสโตสต์ + กากน้ำตาล (EM3) ผลปรากฏว่าการใช้แบคทีเรียบาซิลลัส (EM1) เป็นการทดลองที่มีประสิทธิผลมากที่สุดเนื่องจากมีประสิทธิผลในการลด TSS, BOD, COD, TN และ TP โดยประสิทธิภาพการกำจัด เท่ากับร้อยละ 93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

96.2, 95.9, 94 และ 64 ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าข้อจำกัดของชาวอียิปต์สำหรับการนำไปใช้ซ้ำเพื่อการชลประทาน

Pant et al. (2023) ทำการศึกษาการแยกลักษณะของ *B. subtilis* จาก Song River Shore และการนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย โดยงานวิจัยนี้จะแสดงให้เห็นถึงลักษณะเฉพาะ และการออกฤทธิ์ในการบำบัดน้ำเสีย ของเชื้อ *B. subtilis* ที่ถูกแยกออกจากดินในโรงงานอุตสาหกรรม จากการศึกษาพบว่า *B. subtilis* มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสีย โดยสามารถย่อยสลาย BOD และ COD ได้ดีที่สุด จากการศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการนำจุลินทรีย์ในธรรมชาติไปใช้สามารถลดต้นทุนในการนำไปใช้และยังเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

Meng et al. (2024) ทำการศึกษาการกระตุ้นทางชีวภาพด้วยบาซิลลัส ซับทิลิส เพื่อให้เกิดการบำบัดน้ำเสียซูโครสในขั้นตอนเดียวและการนำกลับมาใช้ใหม่โดยแบคทีเรียโฟโตโทรฟิคแบบใช้อากาศ โดยในการศึกษาครั้งนี้จะใช้ *B. subtilis* สายพันธุ์ทั่วไปในการกระตุ้นฤทธิ์ทางชีวภาพของจุลินทรีย์เพื่อกระตุ้นกลุ่มแบคทีเรียสังเคราะห์แสงที่เพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการ เพื่อบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้น COD ที่สูงภายใต้สภาวะที่ใช้ออกซิเจนน้อย น้ำเสียจากซูโครสมีค่า COD และ NH_3 -N เท่ากับ 66.22 และ 7.65 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานการปล่อยทิ้งของประเทศ ดังนั้นการบำบัดน้ำเสียในขั้นตอนเดียวจึงเกิดขึ้น พบว่าการกระตุ้นทางชีวภาพด้วย บาซิลลัส ซับทิลิส ในอัตราส่วน 1ต่อ50 สามารถบำบัดน้ำเสียซูโครสในขั้นตอนเดียวได้สำเร็จ การผลิตโปรตีน แคโรทีนอยด์ และแบคทีเรียคลอโรฟิลล์เพิ่มขึ้นร้อยละ 30, 50 และ 75 มากกว่าชุดควบคุม การกระตุ้นทางชีวภาพดังกล่าวช่วยเพิ่มสัดส่วนของ Ectothiorhodospiraceae เป็นร้อยละ 42 และการกระตุ้นทางชีวภาพอย่างเหมาะสมโดย บาซิลลัส ซับทิลิส สำหรับกลุ่มแบคทีเรียจึงช่วยเพิ่มความสามารถในการบำบัดน้ำเสียภายใต้สภาวะที่ใช้ออกซิเจนน้อยได้อย่างมาก อีกทั้งยังเพิ่มความสามารถในการนำทรัพยากรกลับมาใช้ได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีและอุปกรณ์

3.1.1 สารเคมีและอุปกรณ์การศึกษาการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์

1) ขวดรูปชมพู่
2) หลอดทดลอง
3) เครื่องชั่งสาร
4) ช้อนตักสาร
5) จุกสำลี
6) ตะเกียงแอลกอฮอล์
7) เครื่องเขย่าสารควบคุมอุณหภูมิ
8) เครื่อง Spectrophotometer
9) จานเพาะเชื้อ
10) ลูปเขี่ยเชื้อ
11) ตู้บ่มเพาะเชื้อควบคุมอุณหภูมิ
12) ปิเปตต์อัตโนมัติ
13) ปิเปตต์ทิป
14) อาหารเลี้ยงเชื้อ (Nutrient Broth: NB)
15) อาหารเลี้ยงเชื้อ (Nutrient Agar: NA)
16) เชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 1
(บาซิลลัส ซับทิลิส และบาซิลลัส อะไมโลลิเคอฟาเซียน)
17) เชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 2
(บาซิลลัส ซับทิลิส)
18) เชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 3
(บาซิลลัสสูตรเฉพาะ 10 สายพันธุ์)
19) น้ำกลั่น
20) 0.85% NaCl

3.1.2 สารเคมีและอุปกรณ์การกระตุ้นเชื้อ

1) ขวดรูปชมพู่
2) เครื่องชั่งสาร
3) ช้อนตักสาร
4) จุกสำลี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) ตะเกียงแอลกอฮอล์

6) เครื่องเขย่าสารควบคุมอุณหภูมิ

7) จานเพาะเชื้อ

8) ลูปเขี่ยเชื้อ

9) ตู้บ่มเพาะเชื้อควบคุมอุณหภูมิ

10) ปิเปตต์อัตโนมัติ

11) ปิเปตต์ทิป

12) อาหารเลี้ยงเชื้อ NB

13) อาหารเลี้ยงเชื้อ NA

14) เชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 1
(บาซิลลัส ซับทิลิส และบาซิลลัส อะไมโลลิเคอฟาเซียน)

15) เชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 2
(บาซิลลัส ซับทิลิส)

16) เชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 3
(บาซิลลัสสูตรเฉพาะ 10 สายพันธุ์)

17) น้ำกลั่น

3.1.3 สารเคมีและอุปกรณ์การทำอีเอ็มบอล (EM Ball)

3.1.3.1 สารเคมีและอุปกรณ์การเตรียมหัวเชื้อจุลินทรีย์

1) ขวดรูปชมพู่

2) เครื่อง Spectrophotometer

3) หลอดทดลอง

4) คิวเวทท์แก้ว

5) ทิชชู

6) 0.85% NaCl

7) น้ำกลั่น

3.1.3.2 สารเคมีและอุปกรณ์การทำ EM Ball

1) เครื่องชั่งสาร

2) ช้อนตักสาร

3) บีกเกอร์

4) กระบอกตวง

5) ถาดพลาสติก

6) ถุงมือยาง

7) ตะกร้าพลาสติกสี่เหลี่ยม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8) เชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 1
(บาซิลลัส ซับทิลิส และบาซิลลัส อะไมโลลิเคอฟาเซียน)
9) เชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 2
(บาซิลลัส ซับทิลิส)
10) เชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 3
(บาซิลลัสสูตรเฉพาะ 10 สายพันธุ์)
11) น้ำกลั่น
12) รำหยาบ
13) รำละเอียด
14) ดิน
15) กากน้ำตาล

3.1.4 สารเคมีและอุปกรณ์การทดสอบประสิทธิภาพของ EM Ball และวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

3.1.4.1 สารเคมีและอุปกรณ์การเก็บและเตรียมตัวอย่างน้ำ

1) ถังน้ำพลาสติก
2) กระบอกตวง
3) กระบวยพลาสติกตักน้ำ
4) โหลพลาสติก
5) ตัวอย่างน้ำ
6) อีเอ็มบอลที่ไม่ได้เสริมเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์
7) อีเอ็มบอลที่เสริมด้วยเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 1
(บาซิลลัส ซับทิลิส และบาซิลลัส อะไมโลลิเคอฟาเซียน)
8) อีเอ็มบอลที่เสริมด้วยเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 2
(บาซิลลัส ซับทิลิส)
9) อีเอ็มบอลที่เสริมด้วยเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 3
(บาซิลลัสสูตรเฉพาะ 10 สายพันธุ์)

3.1.4.2 สารเคมีและอุปกรณ์การทดสอบประสิทธิภาพและวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

1) เครื่อง pH Meter
2) บีกเกอร์
3) ปิเปตต์แก้ว
4) จุกยาง
5) ตัวอย่างน้ำ
6) ขวดรูปชมพู่
7) หลอดทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8) ตะแกรงหลอดทดลอง

9) ตู้อบควบคุมอุณหภูมิที่ 150 ℃

10) ปิเปตต์แก้ว

11) จุกยาง

12) ถุงมือกันกรด

13) บีกเกอร์

14) กระบอกตวง

15) เครื่องเขย่าสาร

16) เครื่องกวนสาร

17) แท่งแม่เหล็กกวนสาร

18) บิวเรตต์

19) ขาตั้งและตัวจับบิวเรตต์

20) น้ำกลั่น

21) กรดซัลฟิวริก

22) สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต เข้มข้น 0.1 N

23) สารเฟอร์โรอิน

24) เมอร์คิวรี่ (II) ซัลเฟต

25) สารละลายมารตฐานเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต

26) ขวดบีโอดีพร้อมจุก

27) ปิเปตต์อัตโนมัติ

28) ปิเปตต์ทิป

29) เครื่องเติมอากาศ

30) ตู้บ่มควบคุมอุณหภูมิที่ 20 ℃

31) ถังน้ำ

32) ไม้พายกวนสาร

33) แคลเซียมคลอไรด์

34) เฟอร์ริกคลอไรด์

35) ฟอสเฟตบัฟเฟอร์

36) แมกนีเซียมซัลเฟต

37) สารละลายแมงกานีสซัลเฟต

38) สารละลายอัลคาไลด์-ไอโอไดด์-เอไซด์

39) น้ำแป้ง

40) สารละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.025 M

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

41) กรวยแยกสาร

42) ถ้วยระเหย

43) เครื่องชั่งสาร

44) ตู้อบควบคุมอุณหภูมิที่ 105 °C

45) ขาตั้งและตัวจับกรวยแยกสาร

46) โถดูดความชื้น

47) เฮกเซน

48) กรดกำมะถันเข้มข้น

49) โซเดียมซัลเฟต ปราศจากน้ำ

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 การศึกษาการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ (ฐิติกร, 2555)

ชั่งเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ทั้ง 3 ผลิตภัณฑ์ จำนวนผลิตภัณฑ์ละ 1 กรัม ใส่ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ NB ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว นำไปบ่มที่เครื่องเขย่าสารควบคุมอุณหภูมิที่ 37 °C ความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลา นำเชื้อจุลินทรีย์ที่บ่มไว้มาทำการกระตุ้น โดยการจุ่มเชื้อจุลินทรีย์ จำนวน 1 ลูป มา Cross Streak บนอาหารเลี้ยงเชื้อ NA นำไปบ่มที่ตู้บ่มเพาะเชื้อควบคุมอุณหภูมิที่ 37 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นใช้ลูปเขี่ยเชื้อจุลินทรีย์จำนวน 1 ลูป เพื่อทำการถ่ายเชื้อลงในอาหาร NB ปริมาตร 50 มิลลิลิตร อีกครั้ง แล้วจึงนำไปบ่มที่เครื่องเขย่าสารควบคุมอุณหภูมิที่ 37 °C ความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการถ่ายเชื้อ ปริมาตร 2,000 ไมโครลิตร ลงในอาหาร NB ปริมาตร 50 มิลลิลิตร จากนั้นนำเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ทั้ง 3 ผลิตภัณฑ์ มาเจือจางที่ 10^{-1} - 10^{-10} ต่อมาทำการ Spread Plate บนอาหาร NA จำนวน 3 ซ้ำ และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 600 นาโนเมตร ทุก ๆ 2 ชั่วโมง เป็นเวลา 48 ชั่วโมง เพื่อดูการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ (โดยทำการนับโคโลนีที่อยู่ในช่วง 30-300 โคโลนี)

3.2.2 การกระตุ้นเชื้อ (ฐิติกร, 2555)

ชั่งเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ทั้ง 3 ผลิตภัณฑ์ จำนวนผลิตภัณฑ์ละ 1 กรัม ใส่ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ NB ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว นำไปบ่มที่เครื่องเขย่าสารควบคุมอุณหภูมิที่ 37 °C ความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลา นำเชื้อจุลินทรีย์ที่บ่มไว้มาทำการกระตุ้น โดยการจุ่มเชื้อจุลินทรีย์ จำนวน 1 ลูป มา Cross Streak บนอาหารเลี้ยงเชื้อ NA นำไปบ่มที่ตู้บ่มเพาะเชื้อควบคุมอุณหภูมิที่ 37 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นใช้ ลูปเขี่ยเชื้อจุลินทรีย์จำนวน 1 ลูป เพื่อทำการถ่ายเชื้อลงในอาหาร NB ปริมาตร 50 มิลลิลิตร อีกครั้ง แล้วจึงนำไปบ่มที่เครื่องเขย่าสารควบคุมอุณหภูมิที่ 37 °C ความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการถ่าย

เอกสารนี้ [illegible] ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชื้อ ปริมาตร 2,000 ไมโครลิตร ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ NB ปริมาตร 50 มิลลิลิตร นำไปบ่มที่เครื่องเขย่าสารควบคุมอุณหภูมิที่ 37 °C ความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 8 ชั่วโมง

3.2.3 การทำ EM Ball (สืบค้นวันที่ 2 ตุลาคม 2566 จาก https://www.sc.su.ac.th/emball/emball.pdf)

3.2.3.1 การเตรียมหัวเชื้อจุลินทรีย์

นำเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ทั้ง 3 ผลิตภัณฑ์ที่บ่มไว้ จากข้อ 3.2.2 มาทำการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 600 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer เพื่อดูค่าการเจริญเติบโตของเชื้อ ทำการปรับค่าโอดีให้เท่ากับ 1 จากนั้นนำเชื้อจุลินทรีย์ที่ได้มาทำการเจือจางและนำไปใช้ในขั้นตอนถัดไป

3.2.3.2 การทำ EM Ball

ชั่งวัตถุดิบทั้งหมดตามสัดส่วนที่กำหนดไว้ และนำมาคลุกเคล้าให้เข้ากัน โดยแบ่งออกเป็น 4 ชุดการทดลอง และบ่มเป็นระยะเวลา 7 วัน แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 วัตถุดิบการทำ EM Ball

ครั้งที่	วัตถุดิบ					
	ดิน (กรัม)	รำละเอียด (กรัม)	รำหยาบ (กรัม)	กากน้ำตาล (กรัม)	น้ำสะอาด (มิลลิลิตร)	เชื้อจุลินทรีย์ (มิลลิลิตร)
1	735	332	64	0.8	320	30
2	680	264	52	0.4	120	30
3	720	400	60	0.8	160	75
4	300	100	50	1.2	100	50

3.2.4 การทดสอบประสิทธิภาพของ EM Ball และวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

โดยการศึกษาทดลองนี้ เลือกใช้การทำ EM Ball ครั้งที่ 4 จากข้อ 3.2.3.2 มาใช้ในการทดลอง ชั่งวัตถุดิบทั้งหมดตามสัดส่วนที่กำหนดไว้ โดยทำการชั่งดิน 300 กรัม, รำละเอียด 100 กรัม, รำหยาบ 50 กรัม, กากน้ำตาล 1.2 มิลลิลิตร, น้ำสะอาด 100 มิลลิลิตร และเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ ทั้ง 3 ผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ละ 50 มิลลิลิตร จากนั้นเทวัตถุดิบทั้งหมดใส่ถาดพลาสติก จำนวน 4 ใบ โดยแบ่งออกเป็น 4 ชุดการทดลอง ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดการทดลองที่ 1: อีเอ็มบอลที่ไม่มีการผสมเชื้อจุลินทรีย์
ชุดการทดลองที่ 2: อีเอ็มบอลผสมเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 1
(บาซิลลัส ซับทิลิส และบาซิลลัส อะไมโลลิเคอฟาเซียน)
ชุดการทดลองที่ 3: อีเอ็มบอลผสมเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 2
(บาซิลลัส ซับทิลิส)
ชุดการทดลองที่ 4: อีเอ็มบอลผสมเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 3
(บาซิลลัสสูตรเฉพาะ 10 สายพันธุ์)

นำส่วนผสมทั้งหมดมาคลุกเคล้าให้เข้ากัน ปั้นเป็นก้อนกลม ขนาด 25 - 30 กรัม แล้วจึงนำไปตากแห้ง เป็นเวลา 7 วัน จากนั้นทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้ คือ ความเป็นกรด-ด่าง (Positive potential of the hydrogen ions: pH), ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand: COD), บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand: BOD) และปริมาณน้ำมันและไขมัน (Fat, Oil and Grease: FOG)

3.2.4.1 การเก็บและเตรียมตัวอย่างน้ำ

ทำการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ แสดงดังรูปที่ 3.1 ในวันที่ 22 มีนาคม 2567 ช่วงเวลา 8 .00 – 9.00 น. ด้วยวิธีการเก็บแบบรวม (Composite Sampling) ปริมาตร 7,500 มิลลิลิตร จากนั้นนำตัวอย่างน้ำมาทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในวันที่ 0 โดยมีพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้ คือ pH, COD, BOD และ FOG เมื่อวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสร็จแล้ว แบ่งตัวอย่างน้ำใส่โหลพลาสติก จำนวน 5 ใบ ปริมาตรใบละ 1,500 มิลลิลิตร แล้วทำการหย่อน EM Ball ที่เตรียมไว้ใส่โหลพลาสติก โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 5 ชุดการทดลอง ได้แก่

ชุดการทดลองที่ 1: ตัวอย่างน้ำ
ชุดการทดลองที่ 2: ตัวอย่างน้ำใส่อีเอ็มบอลที่ไม่มีการผสมเชื้อจุลินทรีย์
ชุดการทดลองที่ 3: ตัวอย่างน้ำใส่อีเอ็มบอลที่เสริมเชื้อจุลินทรีย์
เชิงพาณิชย์ที่ 1
(บาซิลลัส ซับทิลิส และบาซิลลัส อะไมโลลิเคอฟาเซียน)
ชุดการทดลองที่ 4: ตัวอย่างน้ำใส่อีเอ็มบอลที่เสริมเชื้อจุลินทรีย์
เชิงพาณิชย์ที่ 2 (บาซิลลัส ซับทิลิส)
ชุดการทดลองที่ 5: ตัวอย่างน้ำใส่อีเอ็มบอลที่เสริมเชื้อจุลินทรีย์
เชิงพาณิชย์ที่ 3 (บาซิลลัสสูตรเฉพาะ 10 สายพันธุ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.1 ตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงอาหาร

3.2.4.2 การทดสอบประสิทธิภาพและวิเคราะห์คุณภาพน้ำ (กรองแก้ว และพิสมัย, 2559)

สุ่มตัวอย่างน้ำจากแต่ละชุดการทดลองมาทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำที่ระยะเวลา 3, 6, 9, 12 และ 15 วัน

1. การวิเคราะห์ค่า pH

นำเครื่อง pH meter มาปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง (Calibration) ด้วยชุดทดสอบที่มากับเครื่อง จากนั้นจุ่มเครื่องวัดลงในตัวอย่างน้ำแล้วจึงอ่านค่า จดบันทึกก่อนและหลังทำการทดลอง

2. การวิเคราะห์ค่า COD

ก.การเตรียมตัวอย่างน้ำ

นำหลอดทดลองและฝาของหลอดทดลองมาล้างด้วยกรดซัลฟิวริก 20% ก่อนใช้ทุกครั้ง **(เพื่อป้องกันการปนเปื้อน) จากนั้นนำตัวอย่างน้ำของแต่ละชุดการทดลองมาทำ**การเจือจางที่ 10^{-1}และ 10^{-2} แล้วนำมาใส่ในหลอดทดลอง ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร **ต่อมาเติมสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต ปริมาตร 1.5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองทั้งหมด แล้วจึงเติมกรดซัลฟิวริกที่เติมซิลเวอร์ซัลเฟต ปริมาตร 3.5 มิลลิลิตร ปิดฝาให้สนิท เขย่าสารละลายทั้งหมดให้เข้ากัน นำไปอบในตู้อบควบคุมอุณหภูมิที่** 150 °C **เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อครบเวลา ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.การวิเคราะห์ค่า COD

นำตัวอย่างน้ำที่ได้เทลงในขวดรูปชมพู่ ใส่แท่งแม่เหล็กกวนสารลงไป แล้วทำการหยดเฟอร์โรอินซึ่งเป็นอินดิเคเตอร์ จำนวน 1 - 2 หยด ลงไป คนอย่างเร็วบนเครื่องกวนสาร แล้วจึงนำไปไทเทรตด้วยสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมต จนกระทั่งสีของส่วนผสมเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีเขียวแกมน้ำเงิน และเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแดงในที่สุด (จุดยุติ) ทำการจดบันทึกปริมาตรของสารละลายโพแทสเซียมไดโครเมตที่ใช้ไทเทรตและนำค่าที่ได้ไปคำนวณตามสูตร

<u>การคำนวณ</u>

$$COD\ (mgO_2/L) = \frac{(A-B) \times N \times 8000}{V}$$

เมื่อ A = ปริมาณของสารละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้กับแบลงค์

B = ปริมาณของสารละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้กับตัวอย่างน้ำ

N = ความเข้มข้นของสารละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต

V = ปริมาตรตัวอย่างน้ำ

3. การวิเคราะห์ค่า BOD

ก.การเตรียมน้ำสำหรับใช้เจือจาง

นำน้ำกลั่นที่จะใช้เจือจางมาเป่าอากาศที่สะอาดเพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจน ละลายอย่างน้อย 1 ชั่วโมง เติมสารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ แมกนีเซียมซัลเฟต แคลเซียมคลอไรด์ และเฟอร์ริกคลอไรด์ ตามลำดับ (โดยใช้สารละลายแต่ละชนิด 1 มิลลิลิตร ต่อน้ำ 1 ลิตร) หลังจากนั้นทำการคนส่วนผสมทั้งหมดให้เข้ากัน

ข.การเตรียมตัวอย่างน้ำ

วัดค่า pH ของตัวอย่างน้ำแต่ละชุดการทดลอง แล้วจึงทำการปรับค่า pH ให้เท่ากับ 7 จากนั้นดูค่า COD สำหรับการใส่ตัวอย่างน้ำผสมกับน้ำที่เป่าอากาศให้เต็มขวดบีโอดี (ระวังอย่าให้มีฟองอากาศ) นำไปวิเคราะห์หาค่าออกซิเจนละลาย (D_0) แล้วนำขวดที่เหลือไปบ่มตู้ควบคุมอุณหภูมิ ที่ 20 °C ปิดจุกให้สนิทโดยมีน้ำหล่อที่ปากขวดตลอดช่วงระยะเวลาที่ทำการบ่มเพื่อไม่ให้ออกซิเจนจากบรรยากาศละลายลงในขวดบีโอดีได้ แล้วจึงทำการบ่มเป็นเวลา 5 วัน เมื่อครบกำหนดเวลา นำมาวิเคราะห์หาค่าออกซิเจนละลายน้ำ (D_5)

ค.การวิเคราะห์ค่า BOD

ทำการเติมสารละลายแมงกานีสซัลเฟต ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และเติมสารละลายอัลคาไลด์-ไอโอไดด์-เอไซด์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงไปในขวดบีโอดีทั้งหมด (โดยให้ปลายปิเปตต์อยู่ใต้ผิวน้ำ) หลังจากนั้นปิดจุกขวด BOD จับขวดคว่ำขึ้นลงอย่างน้อย 15 ครั้ง ตั้งขวด BOD ไว้ให้ตะกอนที่เกิดขึ้นตกจนมีปริมาณน้ำใสครึ่งขวด แล้วจึงเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น ปริมาตร 1 มิลลิลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยค่อย ๆ ปล่อยให้ไหลลงไปตามคอขวด ปิดจุกแล้วเขย่าจนตะกอนละลายหายไปจนหมด หลังจากนั้นทำการตวงสารละลายในขวด BOD ปริมาตร 201 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร ต่อมาทำการไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.025 M จนกระทั่งสารละลายมีสีเหลืองอ่อน เติมน้ำแป้ง 2 - 3 หยด จะได้สีน้ำเงินเข้ม ไทเทรตต่อจนกระทั่งสีน้ำเงินหายไป (จุดยุติ) ทำการจดบันทึกปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.025 M ที่ใช้ไทเทรตและนำค่าที่ได้ไปคำนวณตามสูตร

การคำนวณ

$$\text{BOD (mg/L)} = \frac{(D1-D2)}{P}$$

เมื่อ D_1 = ค่าออกซิเจนละลายในตัวอย่างที่น้ำเมื่อวัดหลังการเจือจางน้ำทันที

D_2 = ค่าออกซิเจนที่ละลายในตัวอย่างน้ำเมื่อวัดหลังจากการเจือจางน้ำและบ่มเป็นเวลา 5 วัน

P = สัดส่วนที่ทำการเจือจางน้ำ

4. การวิเคราะห์ค่า FOG

นำตัวอย่างน้ำของแต่ละชุดการทดลอง ปริมตาร 100 มิลลิลิตร มาสกัดโดยการเติมเฮกเซน ปริมาตร 10 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ให้เกิดการแยกชั้นและสกัดเอาตัวอย่างน้ำออก จากนั้นทำการเก็บเฮกเซนที่เหลืออยู่ใส่ถ้วยที่เตรียมไว้ ทำซ้ำ 3 รอบ นำถ้วยที่มีเฮกเซนไประเหยตัวทำละลายจนแห้งที่ตู้อบควบคุมอุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำมาอบให้แห้งแล้วจึงไปชั่งน้ำหนักหลังระเหยเฮกเซนแล้ว ทำการจดบันทึกค่าน้ำหนักของถ้วยก่อนและหลังการวิเคราะห์หาค่าปริมาณน้ำมันและไขมันของแต่ละชุดการทดลอง แล้วจึงนำไปคำนวณ

การคำนวณ

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

เมื่อ B = น้ำหนักถ้วย

A = น้ำหนักถ้วยรวมทั้งน้ำมันและไขมัน

5. การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) จำนวน 3 ซ้ำ โดยทำการวิเคราะห์การเจริญของเชื้อจุลินทรีย์, ค่า pH, COD และ BOD ข้อมูลจากผลการทดลองจะรายงานเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ข้อมูลถูกวิเคราะห์ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one- way ANOVA) ด้วยโปรแกรม IBM SPSS statistics software ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<0.05$) ด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

4.1 การศึกษาการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์

จากการศึกษาการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ โดยชั่งเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ทั้ง 3 ผลิตภัณฑ์ จำนวนผลิตภัณฑ์ละ 1 กรัม ใส่ลงในอาหารเลี้ยงเชื้อ NB ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว นำไปบ่มที่เครื่องเขย่าสารควบคุมอุณหภูมิที่ 37 °C ความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลา นำเชื้อจุลินทรีย์ที่บ่มไว้มาทำการกระตุ้น โดยการจุ่มเชื้อจุลินทรีย์ จำนวน 1 ลูป มา Cross Streak บนอาหารเลี้ยงเชื้อ NA นำไปบ่มที่ตู้บ่มเพาะเชื้อควบคุมอุณหภูมิที่ 37 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นใช้ลูปเขี่ยเชื้อจุลินทรีย์ จำนวน 1 ลูป เพื่อทำการถ่ายเชื้อลงในอาหาร NB ปริมาตร 50 มิลลิลิตร อีกครั้ง แล้วจึงนำไปบ่มที่เครื่องเขย่าสารควบคุมอุณหภูมิที่ 37 °C ความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการถ่ายเชื้อ ปริมาตร 2,000 ไมโครลิตร ลงในอาหาร NB ปริมาตร 50 มิลลิลิตร จากนั้นนำเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ทั้ง 3 ผลิตภัณฑ์ มาเจือจางที่ 10^{-1} - 10^{-10} ต่อมาทำการ Spread Plate บนอาหาร NA จำนวน 3 ซ้ำ และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 600 นาโนเมตร ทุก ๆ 2 ชั่วโมง เป็นเวลา 48 ชั่วโมง พบว่า ชั่วโมงที่ 2 – 6 เชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 3 ผลิตภัณฑ์ มีการเจริญเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็ว ตามระยะเวลาที่เพิ่มมากขึ้น (Log phase) แต่ในชั่วโมงที่ 8 เชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 3 ผลิตภัณฑ์ มีการเจริญเติบโตที่สูงที่สุดและเริ่มมีจำนวนคงที่ (Stationary phase) และในชั่วโมงที่ 24 จะเห็นได้ว่าเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 3 ผลิตภัณฑ์เริ่มมีการเจริญน้อยลง ต่อมาในชั่วโมงที่ 48 มีการเจริญน้อยที่สุด (Death phase) เนื่องจากจุลินทรีย์มีการใช้อาหารจนหมด จึงสรุปได้ว่า ในชั่วโมงที่ 8 มีการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 3 ผลิตภัณฑ์ที่ดีที่สุด (ตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1)

4.2 การศึกษาการทำอีเอ็มบอล (EM Ball)

จากการศึกษาการประยุกต์ใช้ EM Ball ครั้งที่ 1 มีส่วนผสมคือ ดิน 735 กรัม, รำละเอียด 332 กรัม, รำหยาบ 64 กรัม, กากน้ำตาล 0.8 กรัม, น้ำสะอาด 320 มิลลิลิตร และเชื้อปริมาตร 30 มิลลิลิตร พบว่า EM Ball มีขนาดประมาณ 80 – 100 กรัม และมีความชุ่มน้ำ เมื่อนำไปตากจึงทำให้เกิดเชื้อราขึ้นบริเวณ EM Ball

การประยุกต์ใช้ EM Ball ครั้งที่ 2 มีส่วนผสมคือ ดิน 680 กรัม, รำละเอียด 264 กรัม, รำหยาบ 52 กรัม, กากน้ำตาล 0.4 กรัม, น้ำสะอาด 120 มิลลิลิตร และเชื้อปริมาตร 30 มิลลิลิตร พบว่า EM Ball มีขนาดประมาณ 60 – 80 กรัม และมีความแห้ง ทำให้ส่วนผสมทั้งหมดไม่ค่อยเกาะตัว จึงทำให้ EM Ball แตก เมื่อนำไปตากทำให้ก้อนอีเอ็มบอลมีลักษณะที่ไม่เต็มก้อนและแตกเป็นผง

การประยุกต์ใช้ EM Ball ครั้งที่ 3 มีส่วนผสมคือ ดิน 720 กรัม, รำละเอียด 400 กรัม, รำหยาบ 60กรัม, กากน้ำตาล 0.8 กรัม, น้ำสะอาด 160 มิลลิลิตร และเชื้อปริมาตร 75 มิลลิลิตร พบว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EM Ball มีขนาด 100 กรัม และมีความแห้ง ทำให้ส่วนผสมทั้งหมดไม่ค่อยเกาะตัว จึงทำให้ EM Ball แตก

การประยุกต์ใช้ EM Ball ครั้งที่ 4 มีส่วนผสมคือ ดิน 300 กรัม, รำละเอียด 100 กรัม, รำหยาบ 50 กรัม, กากน้ำตาล 1.2 กรัม, น้ำสะอาด 100 มิลลิลิตร และเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ผลิตภัณฑ์ละ 50 มิลลิลิตร พบว่า EM Ball มีขนาด 25-30 กรัม และเป็นก้อนกลม เมื่อนำไปตากแห้งจนครบกำหนดเวลา EM Ball ยังคงอยู่ในสภาพเป็นก้อนกลม ไม่แตกออกจากกัน และไม่มีลักษณะของเชื้อรา

จากการทดลองการทำ EM Ball ในครั้งที่ 1 - 3 เป็นการนำวัตถุดิบทั้งหมดมาชั่ง แล้วทำการแบ่งให้เท่า ๆ กัน และพบว่าไม่สามารถนำไปใช้งานได้ จึงเลือกการประยุกต์ใช้ EM Ball ครั้งที่ 4 ในการทดลองครั้งนี้ (รูปที่ 4.2)

4.3 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งต่อค่าความเป็นกรด - ด่าง (Positive Potential of the hydrogen ions: pH)

จากผลการทดลอง พบว่าค่า pH ก่อนบำบัดที่ 0 วัน อยู่ที่ 5.40±0.01 ซึ่งถือว่ามีค่าความเป็นกรด และค่า pH หลังการบำบัด ในวันที่ 3 อยู่ในช่วง 5.40±0.01 ถึง 6.91±0.03, วันที่ 6 อยู่ในช่วง 6.23±0.01 ถึง 7.23±0.04, วันที่ 9 อยู่ในช่วง 6.70±0.01 ถึง 7.29±0.1, วันที่ 12 อยู่ในช่วง 7.14±0.02 ถึง 7.79±0.03 และวันที่ 15 อยู่ในช่วง 7.37±0.03 ถึง 8.20±0.03 (ตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.3) จะเห็นได้ว่าหลังการบำบัดที่ 15 วัน ค่า pH ของแต่ละชุดการทดลองทั้งหมด มีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นที่ใกล้เคียงกัน และไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) คือ 8.20±0.03, 7.85±0.02, 7.70±0.01, 7.68±0.05 7.37±0.03 ตามลำดับ ซึ่งถือว่ามีค่าเป็นด่าง จึงสรุปได้ว่าชุดการทดลองทั้งหมดไม่มีผลต่อค่า pH สอดคล้องกับการทดลองของไกรสร และคณะ (2550) ทำการศึกษาการใช้ EM ในการบำบัดน้ำเสียโรงอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม พบว่า pH จะมีค่าเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นและลดลงเพียงเล็กน้อย เฉลี่ยแล้วอยู่ในช่วง 6.86 ถึง 7.80 ซึ่งไม่มีผลต่อการใช้จุลินทรีย์อีเอ็มในการบำบัดน้ำเสียในโรงอาหาร อย่างไรก็ตาม pH ที่อยู่ในระยะเวลาการทดลองยังคงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง/น้ำเสียจากอาคาร

4.4 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งต่อค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand: COD)

จากผลการทดลอง พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งต่อค่า COD เริ่มต้นก่อนการบำบัดที่ 0 วัน เท่ากับ 21,333.33±1,847.52 มิลลิกรัมต่อลิตร และหลังการบำบัด ในวันที่ 3 อยู่ในช่วง 10,560±0 ถึง 16,960±0 มิลลิกรัมต่อลิตร, วันที่ 6 อยู่ในช่วง 8,320±0 ถึง 13,653.33±1,847.52 มิลลิกรัมต่อลิตร, วันที่ 9 อยู่ในช่วง 5,120±0 ถึง 11,520±0 มิลลิกรัมต่อลิตร, วันที่ 12 อยู่ในช่วง 4,160±0 ถึง 13,760±0 มิลลิกรัมต่อลิตร และวันที่ 15 อยู่ในช่วง 1,920±0 ถึง 11,520±0 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.4) จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งต่อค่า COD ของแต่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ละชุดการทดลอง มีแนวโน้มลดลง ตามระยะเวลาการทดลองที่มากขึ้น โดยชุดการทดลองที่ 4 มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งต่อค่า COD ได้ดีที่สุด และชุดการทดลองที่ 3 และ 5 ไม่มีค่าความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งต่อค่า COD รองลงมา ตามลำดับ ซึ่งอาจเกิดจากในชุดการทดลองดังกล่าวมีการใส่ EM Ball ที่เสริมด้วยเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดลงไปในการทดลอง แต่ในชุดการทดลองที่ 1 พบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งต่อค่า COD ต่ำที่สุด อาจเกิดจากในตัวอย่างน้ำมีเชื้อจุลินทรีย์ตามธรรมชาติไม่เพียงพอกับปริมาณของสารอินทรีย์ทำให้สารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำคงเหลืออยู่เป็นจำนวนมาก ส่งผลให้ค่า COD ยังสูงอยู่ เนื่องจากเป็นตัวอย่างน้ำที่ไม่มีการใส่ EM Ball ลงไปและปล่อยทิ้งไว้ตามธรรมชาติในระยะเวลาที่ทำการทดลอง สอดคล้องกับการทดลองของวิจิตรา (2563) ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียด้วยจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงและจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร พบว่าในชุดการทดลองที่ 1 น้ำเสียจากโรงอาหารที่ปล่อยทิ้งไวตามธรรมชาติ ไม่มีการเติมอากาศและไม่มีการเติมจุลินทรีย์ลงในน้ำเสีย และปล่อยตัวอย่างทิ้งไว้ที่ระยะเวลา 12 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพการบำบัด COD เพียงเล็กน้อย เป็นผลมาจากจุลินทรีย์ที่มีอยู่เดิมในน้ำเสียที่มีความสามารถในการย่อยสลายอินทรียวัตถุได้อยู่แล้ว แต่เนื่องจากขาดปัจจัยที่เหมาะสมในการย่อยสลาย เช่น จำนวนจุลินทรีย์อาจจะน้อยกว่า และปริมาณออกซิเจนในน้ำไม่เพียงพอ เป็นต้น นอกจากนี้ยังสอดคล้องกับการทดลองของจิรภัทร และคณะ (2561) ทำการศึกษาการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้จุลินทรีย์ทางการค้าในการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนไขมัน พบว่าการประยุกต์ใช้ EM ในการบำบัดน้ำเสียมีข้อดี คือ ช่วยลดการใช้สารเคมี และเป็นวิธีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

4.5 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งต่อค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand: BOD)

จากผลการทดลอง พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งต่อ BOD เริ่มต้นก่อนการบำบัดที่ 0 วัน เท่ากับ 10,800±600 มิลลิกรัมต่อลิตร และหลังการบำบัด ในวันที่ 3 อยู่ในช่วง 8,100±300 ถึง 10,5000±519.62 มิลลิกรัมต่อลิตร, วันที่ 6 อยู่ในช่วง 3,400±346.41 ถึง 9,800±173.21 มิลลิกรัมต่อลิตร, วันที่ 9 อยู่ในช่วง 1,600±692.82 ถึง 9,700±173.21 มิลลิกรัมต่อลิตร, วันที่ 12 อยู่ในช่วง 900±0 ถึง 9,500±458.26 มิลลิกรัมต่อลิตร และวันที่ 15 อยู่ในช่วง 500±173.21 ถึง 9,500±458.21 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.5) โดยในชุดการทดลองที่ 1 และ 2 มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) อาจเกิดจากในชุดการทดลองที่ 2 มีการใส่ EM Ball ลงไปในการทดลอง จึงมีความสามารถในการบำบัดน้ำทิ้งต่อค่า BOD ได้ เนื่องจากใน EM Ball มีส่วนผสมของกากน้ำตาลและรำละเอียดที่เป็นอาหารของจุลินทรีย์ ชุดการทดลองที่ 4 และ 5 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งต่อค่า BOD ของแต่ละชุดการทดลอง มีแนวโน้มลดลง โดยในชุดการทดลองที่ 4 และ 5 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งต่อค่า BOD ได้ดีที่สุด และในชุดการทดลองที่ 3 มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งต่อค่า BOD รองลงมา เนื่องจากชุดการทดลองที่ 3, 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ 5 มีการใส่เชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ คือ *B. subtilis* ซึ่งสัมพันธ์กับการบำบัด BOD สอดคล้องกับการทดลองของประชุมพร และคณะ (2558) ได้ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดไขมันในบ่อดักไขมันโรงอาหารโดยใช้กลุ่มแบคทีเรียคัดสายพันธุ์ พบว่า *B. subtilis* เป็นแบคทีเรียสายพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพในการลด BOD โดยการลดลงของ BOD เป็นปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์

4.6 ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งต่อค่าปริมาณน้ำมันและไขมัน (Fat, Oil and Grease: FOG)

จากผลการทดลอง พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งต่อค่า FOG ก่อนการบำบัดที่ 0 วัน เท่ากับ 1,900 มิลลิกรัมต่อลิตร และหลังการบำบัด ในวันที่ 3 อยู่ในช่วง 1,900-1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร, ในวันที่ 6 อยู่ในช่วง 700-1,600 มิลลิกรัมต่อลิตร, ในวันที่ 9 อยู่ในช่วง 200-1,400 มิลลิกรัมต่อลิตร, ในวันที่ 12 อยู่ในช่วง 0-1,300 มิลลิกรัมต่อลิตร และในวันที่ 15 อยู่ในช่วง 0-1,300 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.6) จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งต่อค่า FOG ของแต่ละชุดการทดลอง มีแนวโน้มลดลง ตามระยะเวลาการทดลองที่มากขึ้น โดยในชุดการทดลองที่ 5 มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งต่อค่า FOG ได้ดีที่สุด และในชุดการทดลองที่ 4 และ 3 มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งต่อค่า FOG รองลงมา ตามลำดับ ซึ่งอาจเกิดจากในชุดการทดลองดังกล่าวมีการใส่ EM Ball ที่เสริมด้วยเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่มีประสิทธิภาพและมีความสามารถในการผลิตเอนไซม์ไลเปสที่ช่วยย่อยสลาย FOG ลงไปในการทดลอง แต่ในชุดการทดลองที่ 1 พบว่ามีประสิทธิภาพในการบำบัด FOG ต่ำที่สุด อาจเกิดจากในตัวอย่างน้ำมีเชื้อจุลินทรีย์ตามธรรมชาติที่มีความสามารถในการย่อยสลาย FOG ได้อยู่แล้ว แต่อาจมีจำนวนจุลินทรีย์ในปริมาณที่ไม่เพียงพอต่อการย่อยสลาย FOG ที่มีจำนวนมากจนเกินไป ทำให้จุลินทรีย์ไม่สามารถบำบัดได้หมด และมีประสิทธิภาพต่ำกว่าชุดการทดลองอื่น ๆ เนื่องจากเป็นตัวอย่างน้ำที่ไม่มีการใส่ EM Ball ที่เสริมด้วยเชื้อจุลินทรีย์ลงไปและปล่อยทิ้งไว้ตามธรรมชาติในระยะเวลาที่ทำการทดลอง ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของวิจิตรา (2563) ได้ศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียด้วยจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงและจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร พบว่าน้ำเสียจากโรงอาหารที่ทิ้งไว้ตามธรรมชาติโดยไม่มีการเติมอากาศและจุลินทรีย์ลงในน้ำเสีย จะมีประสิทธิภาพในการบำบัด FOG เพียงเล็กน้อย เนื่องจากขาดปัจจัยที่เหมาะสมในการย่อยสลาย FOG เช่น จำนวนจุลินทรีย์น้อยกว่า และปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอ เป็นต้น

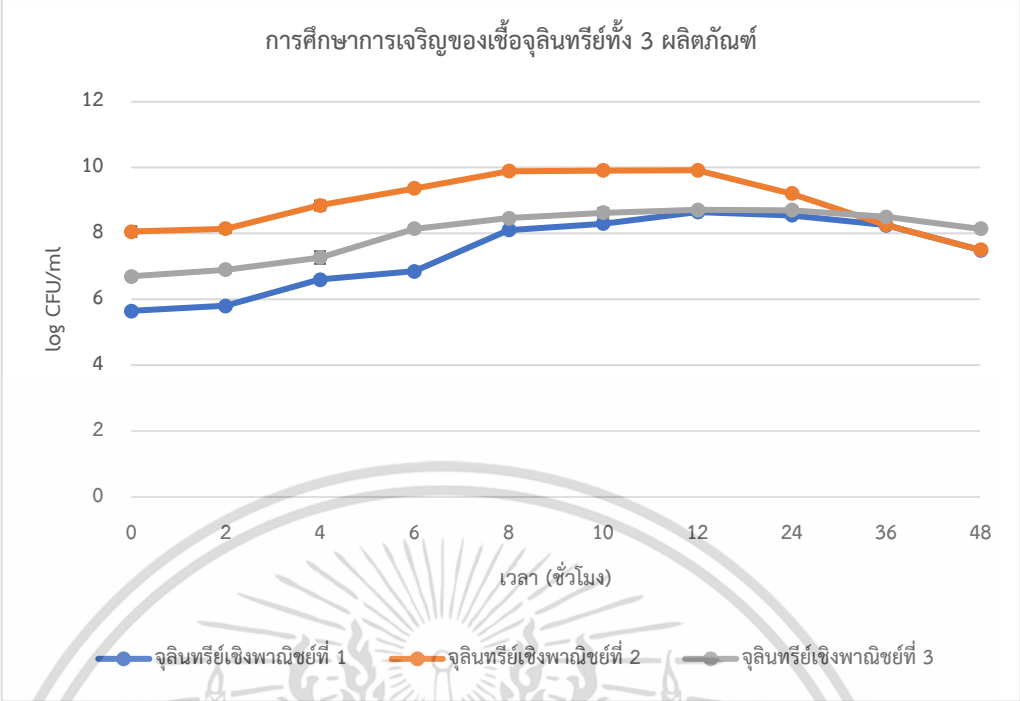
จากการศึกษาวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากโรงอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ ด้วยพารามิเตอร์ต่าง ๆ คือ pH, COD, BOD และ FOG พบว่า หลังการบำบัดที่ 15 วัน ค่า COD และ BOD ยังคงมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง แสดงดังตารางที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 การศึกษาการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 3 ผลิตภัณฑ์ ที่ระยะเวลา 0 - 48 ชั่วโมง

เชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์	การศึกษาการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์									
	ระยะเวลา (ชั่วโมง)									
	0	2	4	6	8	10	12	24	36	48
1	$5.65\pm0.11^{C,i}$	$5.80\pm0.01^{C,h}$	$6.60\pm0.07^{C,g}$	$6.85\pm0.04^{C,f}$	$8.10\pm0.02^{C,d}$	$8.30\pm0.03^{C,c}$	$8.65\pm0.08^{B,a}$	$8.55\pm0.06^{C,b}$	$8.25\pm0.03^{B,c}$	$7.49\pm0.02^{B,e}$
2	$8.06\pm0.16^{A,f}$	$8.14\pm0.12^{A,ef}$	$8.85\pm0.15^{A,d}$	$9.37\pm0.06^{A,b}$	$9.89\pm0.04^{A,a}$	$9.91\pm0.01^{A,a}$	$9.92\pm0.02^{A,a}$	$9.21\pm0.08^{A,c}$	$8.26\pm0.05^{B,e}$	$7.50\pm0.03^{B,g}$
3	$6.70\pm0.11^{B,g}$	$6.90\pm0.09^{B,f}$	$7.27\pm0.19^{B,e}$	$8.14\pm0.03^{B,d}$	$8.46\pm0.00^{B,c}$	$8.63\pm0.14^{B,ab}$	$8.72\pm0.01^{B,a}$	$8.71\pm0.03^{B,a}$	$8.50\pm0.01^{A,bc}$	$8.14\pm0.01^{A,d}$

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่พิจารณาในแนวนอน อักษรต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กพิจารณาในแนวตั้ง อักษรต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
จุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 1: บาซิลลัส ซับทิลิส และบาซิลลัส อะไมโลลิเคอฟาเซียน
จุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 2: บาซิลลัส ซับทิลิส
จุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 3: บาซิลลัสสูตรเฉพาะ 10 สายพันธุ์

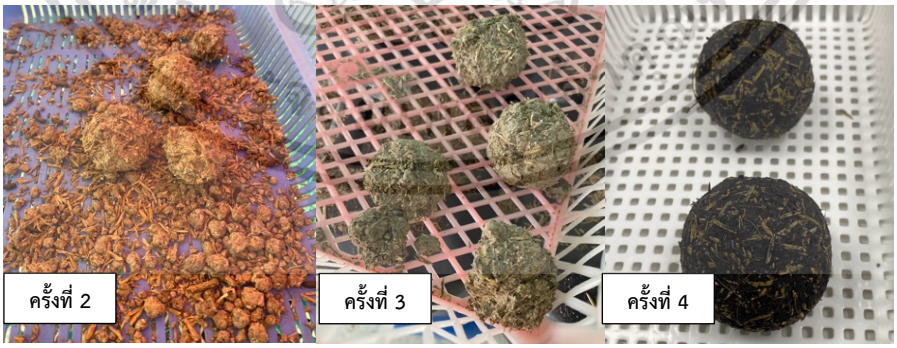


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงการศึกษาการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ทั้ง 3 ผลิตภัณฑ์ ที่ระยะเวลา 0 – 48 ชั่วโมง

หมายเหตุ: จุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 1: บาซิลลัส ซับทิลิส และบาซิลลัส อะไมโลลิเคอฟาเซียน

จุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 2: บาซิลลัส ซับทิลิส

จุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 3: บาซิลลัสสูตรเฉพาะ 10 สายพันธุ์



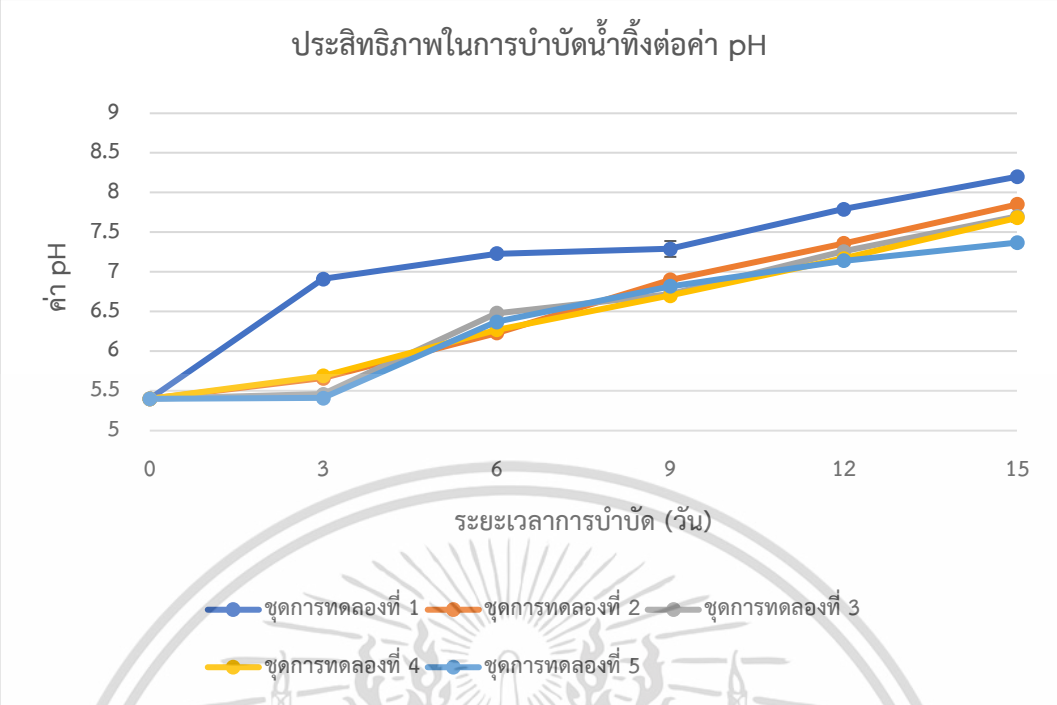
รูปที่ 4.2 ผลการทดลองการทำ EM Ball ครั้งที่ 2 – 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งต่อค่า pH ของตัวอย่างน้ำที่เวลาต่างกัน ของแต่ละชุดการทดลองเป็นระยะเวลา 15 วัน

ชุดการทดลอง	ประสิทธิภาพในการบำบัดทิ้งต่อค่า pH					
	ระยะเวลาการบำบัด (วัน)					
	0	3	6	9	12	15
ชุดที่ 1	$5.40\pm0.01^{E,a}$	$6.91\pm0.03^{D,a}$	$7.23\pm0.04^{C,a}$	$7.29\pm0.1^{C,a}$	$7.79\pm0.03^{B,a}$	$8.20\pm0.03^{A,a}$
ชุดที่ 2	$5.40\pm0.01^{F,a}$	$5.66\pm0.03^{E,b}$	$6.23\pm0.01^{D,d}$	$6.90\pm0.01^{C,b}$	$7.36\pm0.04^{B,b}$	$7.85\pm0.02^{A,b}$
ชุดที่ 3	$5.40\pm0.01^{F,a}$	$5.46\pm0.01^{E,c}$	$6.48\pm0.03^{D,b}$	$6.72\pm0.02^{C,d}$	$7.26\pm0.01^{B,c}$	$7.70\pm0.01^{A,c}$
ชุดที่ 4	$5.40\pm0.01^{F,a}$	$5.66\pm0.03^{E,b}$	$6.27\pm0.01^{D,d}$	$6.70\pm0.01^{C,d}$	$7.17\pm0.03^{B,d}$	$7.68\pm0.05^{A,c}$
ชุดที่ 5	$5.40\pm0.01^{F,a}$	$5.40\pm0.01^{E,d}$	$6.37\pm0.02^{D,c}$	$6.82\pm0.03^{C,c}$	$7.14\pm0.02^{B,d}$	$7.37\pm0.03^{A,d}$

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่พิจารณาในแนวนอน อักษรต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กพิจารณาในแนวตั้ง อักษรต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
ชุดการทดลองที่ 1: ตัวอย่างน้ำ
ชุดการทดลองที่ 2: ตัวอย่างน้ำใส่อีเอ็มบอลที่ไม่มีการผสมเชื้อจุลินทรีย์
ชุดการทดลองที่ 3: ตัวอย่างน้ำใส่อีเอ็มบอลที่ผสมเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 1 (บาซิลลัส ซับทิลิส และบาซิลลัส อะไมโลลิเคอฟาเซียน)
ชุดการทดลองที่ 4: ตัวอย่างน้ำใส่อีเอ็มบอลที่ผสมเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 2 (บาซิลลัส ซับทิลิส)
ชุดการทดลองที่ 5: ตัวอย่างน้ำใส่อีเอ็มบอลที่ผสมเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 3 (บาซิลลัสสูตรเฉพาะ 10 สายพันธุ์)



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งต่อค่า pH ที่ระยะเวลาการบำบัด 15 วัน

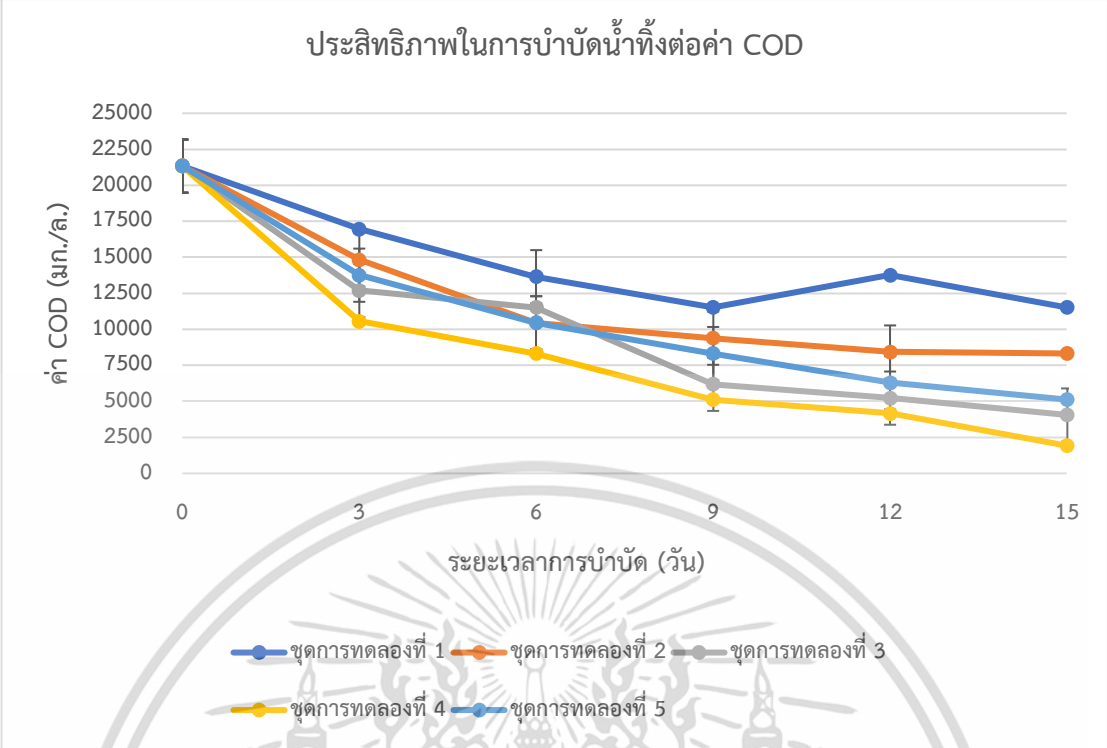
หมายเหตุ: ชุดการทดลองที่ 1: ตัวอย่างน้ำ
ชุดการทดลองที่ 2: ตัวอย่างน้ำใส่อีเอ็มบอลที่ไม่มีการผสมเชื้อจุลินทรีย์
ชุดการทดลองที่ 3: ตัวอย่างน้ำใส่อีเอ็มบอลที่ผสมเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 1 (บาซิลลัส ซับทิลิส และบาซิลลัส อะไมโลลิเคอฟาเซียน)
ชุดการทดลองที่ 4: ตัวอย่างน้ำใส่อีเอ็มบอลที่ผสมเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 2 (บาซิลลัส ซับทิลิส)
ชุดการทดลองที่ 5: ตัวอย่างน้ำใส่อีเอ็มบอลที่ผสมเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 3 (บาซิลลัสสูตรเฉพาะ 10 สายพันธุ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งต่อค่า COD ของตัวอย่างน้ำที่เวลาต่างกัน ของแต่ละชุดการทดลองเป็นระยะเวลา 15 วัน

ชุดการทดลอง	ประสิทธิภาพในการบำบัดทิ้งต่อค่า COD (มิลลิกรัมต่อลิตร)					
	ระยะเวลาการบำบัด (วัน)					
	0	3	6	9	12	15
ชุดที่ 1	21,333.33±1,847.52^{A,a}	16,960±0^{B,a}	13,653.33±1,847.52^{C,a}	11,520±0^{D,a}	13,760±0^{C,a}	11,520±0^{D,a}
ชุดที่ 2	21,333.33±1,847.52^{A,a}	14,826.67±1,847.52^{B,b}	10,453.44±1,847.52^{C,c}	9,386.67±1,847.52^{C,b}	8,426.67±1,847.52^{C,b}	8,320±0^{C,b}
ชุดที่ 3	21,333.33±1,847.52^{A,a}	12,693.33±1,847.52^{B,b}	11,520±0^{B,b}	6,186.67±1,847.52^{C,c}	5,226.67±1,847.52^{C,c}	4,053.33±1,847.52^{C,c}
ชุดที่ 4	21,333.33±1,847.52^{A,a}	10,560±0^{B,c}	8,320±0^{C,c}	5,120±0^{D,c}	4,160±0^{D,c}	1,920±0^{E,d}
ชุดที่ 5	21,333.33±1,847.52^{A,a}	13,760±0^{B,b}	10,453.33±1,847.52^{C,c}	8,320±0^{CD,b}	6,293.33±1,847.52^{DE,c}	5,120±0^{E,c}

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่พิจารณาในแนวนอน อักษรต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กพิจารณาในแนวตั้ง อักษรต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
ชุดการทดลองที่ 1: ตัวอย่างน้ำ
ชุดการทดลองที่ 2: ตัวอย่างน้ำใส่อีเอ็มบอลที่ไม่มีการผสมเชื้อจุลินทรีย์
ชุดการทดลองที่ 3: ตัวอย่างน้ำใส่อีเอ็มบอลที่ผสมเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 1 (บาซิลลัส ซับทิลิส และบาซิลลัส อะไมโลลิเคอฟาเซียน)
ชุดการทดลองที่ 4: ตัวอย่างน้ำใส่อีเอ็มบอลที่ผสมเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 2 (บาซิลลัส ซับทิลิส)
ชุดการทดลองที่ 5: ตัวอย่างน้ำใส่อีเอ็มบอลที่ผสมเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 3 (บาซิลลัสสูตรเฉพาะ 10 สายพันธุ์)



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งต่อค่า COD ที่ระยะเวลาการบำบัด 15 วัน

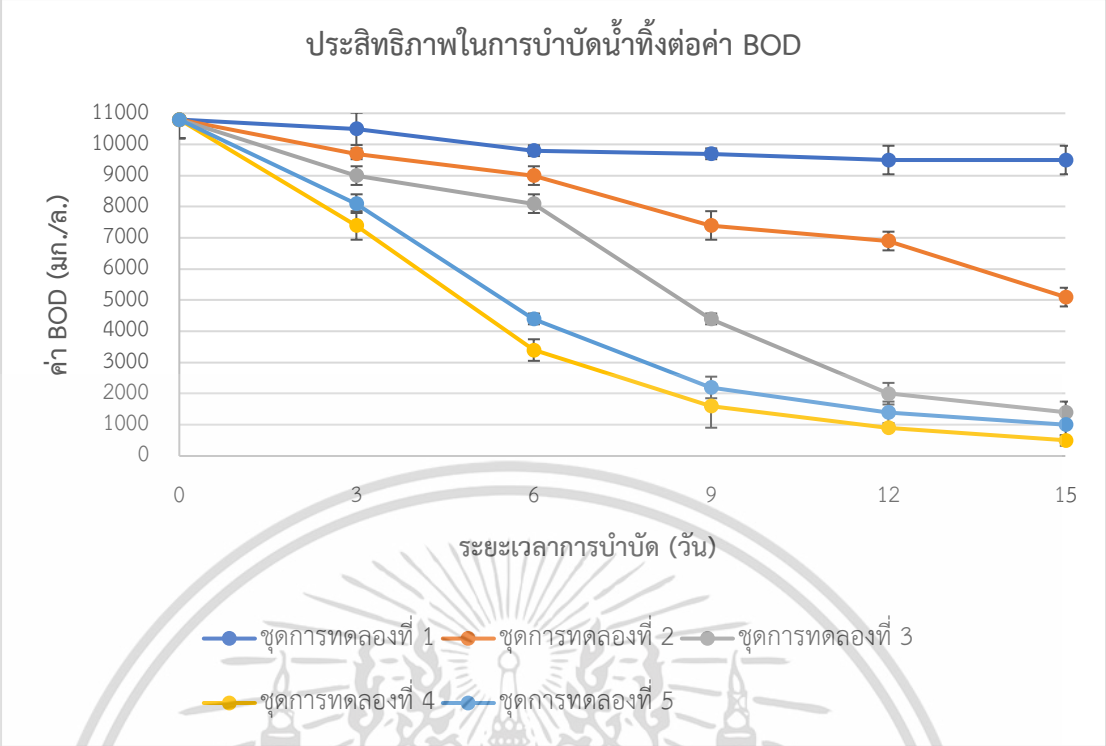
หมายเหตุ: ชุดการทดลองที่ 1: ตัวอย่างน้ำ
ชุดการทดลองที่ 2: ตัวอย่างน้ำใส่อีเอ็มบอลที่ไม่มีการผสมเชื้อจุลินทรีย์
ชุดการทดลองที่ 3: ตัวอย่างน้ำใส่อีเอ็มบอลที่ผสมเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 1 (บาซิลลัส ซับทิลิส และบาซิลลัส อะไมโลลิเคอฟาเซียน)
ชุดการทดลองที่ 4: ตัวอย่างน้ำใส่อีเอ็มบอลที่ผสมเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 2 (บาซิลลัส ซับทิลิส)
ชุดการทดลองที่ 5: ตัวอย่างน้ำใส่อีเอ็มบอลที่ผสมเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 3 (บาซิลลัสสูตรเฉพาะ 10 สายพันธุ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งต่อค่า BOD ของตัวอย่างน้ำที่เวลาต่างกัน ของแต่ละชุดการทดลองเป็นระยะเวลา 15 วัน

ชุดการทดลอง	ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งต่อค่า BOD (มิลลิกรัมต่อลิตร)					
	ระยะเวลาการบำบัด (วัน)					
	0	3	6	9	12	15
ชุดที่ 1	10,800±600^{A,a}	10,500±519.62^{AB,a}	9,800±173.21^{BC,a}	9,700±173.21^{BC,a}	9,500±458.26^{C,a}	9,500±458.26^{C,a}
ชุดที่ 2	10,800±600^{A,a}	9,700±173.21^{B,b}	9,000±300^{C,b}	7,400±458.26^{D,b}	6,900±300^{D,b}	5,100±300^{E,b}
ชุดที่ 3	10,800±600^{A,a}	9,000±300^{B,c}	8,100±300^{C,c}	4,400±173.21^{D,c}	2,000±346.41^{E,c}	1,400±346.41^{E,c}
ชุดที่ 4	10,800±600^{A,a}	7,400±458.26^{B,e}	3,400±346.41^{C,e}	1,600±692.82^{D,d}	900±0^{DE,d}	500±173.21^{E,d}

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่พิจารณาในแนวนอน อักษรต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กพิจารณาในแนวตั้ง อักษรต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
ชุดการทดลองที่ 1: ตัวอย่างน้ำ
ชุดการทดลองที่ 2: ตัวอย่างน้ำใส่อีเอ็มบอลที่ไม่มีการผสมเชื้อจุลินทรีย์
ชุดการทดลองที่ 3: ตัวอย่างน้ำใส่อีเอ็มบอลที่ผสมเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 1 (บาซิลลัส ซับทิลิส และบาซิลลัส อะไมโลลิเคอฟาเซียน)
ชุดการทดลองที่ 4: ตัวอย่างน้ำใส่อีเอ็มบอลที่ผสมเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 2 (บาซิลลัส ซับทิลิส)
ชุดการทดลองที่ 5: ตัวอย่างน้ำใส่อีเอ็มบอลที่ผสมเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 3 (บาซิลลัสสูตรเฉพาะ 10 สายพันธุ์)



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งต่อค่า BOD ที่ระยะเวลาการบำบัด 15 วัน

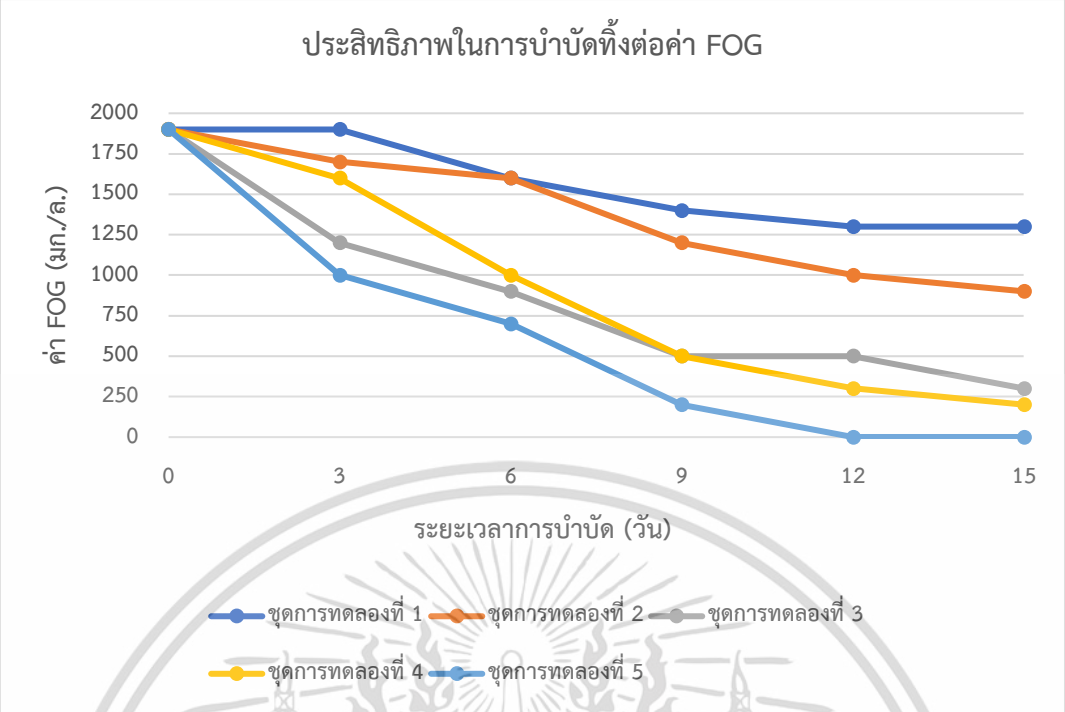
หมายเหตุ: ชุดการทดลองที่ 1: ตัวอย่างน้ำ
ชุดการทดลองที่ 2: ตัวอย่างน้ำใส่อีเอ็มบอลที่ไม่มีการผสมเชื้อจุลินทรีย์
ชุดการทดลองที่ 3: ตัวอย่างน้ำใส่อีเอ็มบอลที่ผสมเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 1 (บาซิลลัส ซับทิลิส และบาซิลลัส อะไมโลลิเคอฟาเซียน)
ชุดการทดลองที่ 4: ตัวอย่างน้ำใส่อีเอ็มบอลที่ผสมเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 2 (บาซิลลัส ซับทิลิส)
ชุดการทดลองที่ 5: ตัวอย่างน้ำใส่อีเอ็มบอลที่ผสมเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 3 (บาซิลลัสสูตรเฉพาะ 10 สายพันธุ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งต่อค่า FOG ของตัวอย่างน้ำที่เวลาต่างกัน ของแต่ละชุดการทดลองเป็นระยะเวลา 15 วัน

ชุดการทดลอง	ประสิทธิภาพในการบำบัดทิ้งต่อค่า FOG (มิลลิกรัมต่อลิตร)					
	ระยะเวลาการบำบัด (วัน)					
	0	3	6	9	12	15
ชุดที่ 1	1,900	1,900	1,600	1,400	1,300	1,300
ชุดที่ 2	1,900	1,600	1,600	1,200	1,000	900
ชุดที่ 3	1,900	1,200	900	500	500	300
ชุดที่ 4	1,900	1,600	1,000	500	300	200
ชุดที่ 5	1,900	1,000	700	200	0	0

หมายเหตุ: ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์ใหญ่พิจารณาในแนวนอน อักษรต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อย ละ 95
ตัวอักษรภาษาอังกฤษพิมพ์เล็กพิจารณาในแนวตั้ง อักษรต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
ชุดการทดลองที่ 1: ตัวอย่างน้ำ
ชุดการทดลองที่ 2: ตัวอย่างน้ำใส่อีเอ็มบอลที่ไม่มีการผสมเชื้อจุลินทรีย์
ชุดการทดลองที่ 3: ตัวอย่างน้ำใส่อีเอ็มบอลที่ผสมเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 1 (บาซิลลัส ซับทิลิส และบาซิลลัส อะไมโลลิเคอฟาเซียน)
ชุดการทดลองที่ 4: ตัวอย่างน้ำใส่อีเอ็มบอลที่ผสมเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 2 (บาซิลลัส ซับทิลิส)
ชุดการทดลองที่ 5: ตัวอย่างน้ำใส่อีเอ็มบอลที่ผสมเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 3 (บาซิลลัสสูตรเฉพาะ 10 สายพันธุ์



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งต่อค่า FOG ที่ระยะเวลาการบำบัด 15 วัน

หมายเหตุ: ชุดการทดลองที่ 1: ตัวอย่างน้ำ
ชุดการทดลองที่ 2: ตัวอย่างน้ำใส่อีเอ็มบอลที่ไม่มีการผสมเชื้อจุลินทรีย์
ชุดการทดลองที่ 3: ตัวอย่างน้ำใส่อีเอ็มบอลที่ผสมเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 1 (บาซิลลัส ซับทิลิส และบาซิลลัส อะไมโลลิเคอฟาเซียน)
ชุดการทดลองที่ 4: ตัวอย่างน้ำใส่อีเอ็มบอลที่ผสมเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 2 (บาซิลลัส ซับทิลิส)
ชุดการทดลองที่ 5: ตัวอย่างน้ำใส่อีเอ็มบอลที่ผสมเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 3 (บาซิลลัสสูตรเฉพาะ 10 สายพันธุ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งหลังการบำบัดmที่ 15 วัน ตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคารขนาดต่าง ๆ

ดัชนีคุณภาพน้ำ	**หน่วย**	**เกณฑ์กำหนดสูงสุดตามประเภทมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง**						
		ประเภท ก	ประเภท ข	ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งหลังการบำบัด (15วัน)				
สถานศึกษา		ตั้งแต่ 25,000 ตร.ม.	ตั้งแต่ 5,000 - 25,000 ตร.ม.	ชุดการทดลองที่ 1	ชุดการทดลองที่ 2	ชุดการทดลองที่ 3	ชุดการทดลองที่ 4	ชุดการทดลองที่ 5
1.pH		5 - 9	5 - 9	8.20	7.85	7.70	7.68	7.37
2.COD	มก./ล.	ไม่เกิน 120	ไม่เกิน 120	11,520	8,320	4,053	1,920	5,120
3.BOD	มก./ล.	ไม่เกิน 20	ไม่เกิน 30	9,500	5,100	1,400	500	1,000
4.FOG	มก./ล.	ไม่เกิน 20	ไม่เกิน 20	1,300	900	300	200	0

หมายเหตุ: อาคารประเภท ก และ ข หมายถึง อาคารโรงเรียนของทางราชการ สถาบันอุดมศึกษาของเอกชน หรือสถาบันอุดมศึกษาของทางราชการ ที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคาร หรือกลุ่มของอาคาร

ชุดการทดลองที่ 1: ตัวอย่างน้ำ

ชุดการทดลองที่ 2: ตัวอย่างน้ำใส่อีเอ็มบอลที่ไม่มีการผสมเชื้อจุลินทรีย์

ชุดการทดลองที่ 3: ตัวอย่างน้ำใส่อีเอ็มบอลที่ผสมเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 1 (บาซิลลัส ซับทิลิส และบาซิลลัส อะไมโลลิเคอฟาเซียน)

ชุดการทดลองที่ 4: ตัวอย่างน้ำใส่อีเอ็มบอลที่ผสมเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 2 (บาซิลลัส ซับทิลิส)

ชุดการทดลองที่ 5: ตัวอย่างน้ำใส่อีเอ็มบอลที่ผสมเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 3 (บาซิลลัสสูตรเฉพาะ 10 สายพันธุ์)

ที่มา: ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ผลการศึกษาการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์

จากการศึกษา พบว่า ในชั่วโมงที่ 8 เชื้อจุลินทรีย์ทั้ง 3 ผลิตภัณฑ์ มีการเจริญเติบโตของเชื้อได้ดีที่สุด (Stationary phase) ดังนั้นการศึกษาทดลองนี้ จึงเลือกใช้การเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ที่ชั่วโมงที่ 8 เพื่อนำไปเสริมในการปั้นอีเอ็มบอล (EM Ball)

5.1.2 ผลการศึกษาการทำ EM Ball

จากการศึกษาการประยุกต์ใช้ EM Ball ครั้งที่ 4 ที่มีส่วนผสมคือ ดิน 300 กรัม, รำละเอียด 100 กรัม, รำหยาบ 50 กรัม, กากน้ำตาล 1.2 กรัม, น้ำสะอาด 100 มิลลิลิตร และเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ ผลิตภัณฑ์ละ 50 มิลลิลิตร พบว่า EM Ball มีขนาด 25-30 กรัม และเป็นก้อนกลม เมื่อนำไปตากแห้งจนครบกำหนดเวลา EM Ball ยังคงอยู่ในสภาพเป็นก้อนกลม ไม่แตกออกจากกัน และไม่มีลักษณะของเชื้อรา ทำให้พร้อมต่อการนำไปใช้งาน

5.1.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งต่อค่าความเป็นกรด - ด่าง (Positive Potential of the hydrogen ions: pH)

จากการศึกษา พบว่า pH ก่อนการบำบัดที่ 0 วัน เท่ากับ 5.40±0.01 ซึ่งถือว่ามีค่าเป็นกรด หลังการบำบัดที่ 15 วัน พบว่า pH ของแต่ละชุดการทดลองมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นที่ใกล้เคียงกัน คือ 8.20±0.03, 7.85±0.02, 7.70±0.01, 7.68±0.05 และ 7.37±0.03 ตามลำดับ ซึ่งถือว่ามีค่าเป็นด่าง จึงสรุปได้ว่าชุดการทดลองทั้งหมดไม่มีผลต่อ pH อย่างไรก็ตาม pH ที่อยู่ในระยะเวลาการทดลองยังคงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง/น้ำเสียจากอาคาร

5.1.4 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งต่อค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand: COD)

จากการศึกษา พบว่า COD ก่อนการบำบัดที่ 0 วัน เท่ากับ 21,333.33±1,847.52 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังการบำบัดที่ 15 วัน พบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งต่อค่า COD ของแต่ละชุดการทดลอง มีแนวโน้มลดลง ตามระยะเวลาการทดลองที่มากขึ้น เท่ากับ 11,520±0, 8,320±0, 4,053.33±1847.52, 1,920±0 และ 5,120±0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยชุดการทดลองที่ 4 มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งต่อค่า COD ได้ดีที่สุด และชุดการทดลองที่ 3 และ 5 ไม่มีค่าความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งต่อค่า COD รองลงมา ตามลำดับ อาจเกิดจากชุดการทดลองดังกล่าวมีการใส่ EM Ball ที่เสริมด้วยเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดลงไปในการทดลอง ทำให้มีจำนวนจุลินทรีย์ในน้ำมากขึ้นจากเดิมที่มีอยู่ตามธรรมชาติที่อาจไม่เพียงพอกับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณของสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำ จึงส่งผลให้ชุดการทดลองดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งต่อค่า COD ที่ดีกว่าในชุดการทดลองที่ 1 ซึ่งเป็นตัวอย่างน้ำที่ไม่มีการใส่ EM Ball ที่เสริมเชื้อจุลินทรีย์ลงไปและปล่อยทิ้งไว้ตามธรรมชาติในระยะเวลาที่ทำการทดลอง

5.1.5 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งต่อค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand: BOD)

จากการศึกษา พบว่า BOD ก่อนการบำบัดที่ 0 วัน เท่ากับ 10,800±600 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังการบำบัดที่ 15 วัน พบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งต่อค่า BOD ของแต่ละชุดการทดลองมีแนวโน้มลดลง เท่ากับ 9,500±458.26, 5,100±300, 1,400±346.41, 500±173.21 และ 1,000±346.41 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยชุดการทดลองที่ 4 และ 5 ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งต่อค่า BOD ได้ดีที่สุด และชุดการทดลองที่ 3 มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งต่อค่า BOD รองลงมา อาจเกิดจากในชุดการทดลองดังกล่าวมีการใส่อีเอ็มบอลที่เสริมด้วยเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดลงไปในการทดลอง โดยมีจุลินทรีย์หลัก คือ *B. subtilis* ซึ่งเป็นแบคทีเรียสายพันธุ์ที่มีประสิทธิภาพในการลด BOD

5.1.6 ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งต่อค่าปริมาณน้ำมันและไขมัน (Fat, Oil and Grease: FOG)

จากการศึกษา พบว่า FOG ก่อนการบำบัดที่ 0 วัน เท่ากับ 1,900 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังการบำบัดที่ 15 วัน พบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งต่อค่า FOG ของแต่ละชุดการทดลอง มีแนวโน้มลดลง เท่ากับ 1,300, 900, 300, 200 และ 0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ โดยชุดการทดลองที่ 5 มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งต่อค่า FOG ได้ดีที่สุด และชุดการทดลองที่ 4 และ 3 มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำปริมาณน้ำมันและไขมัน รองลงมา อาจเกิดจากในชุดการทดลองดังกล่าวมีการใส่อีเอ็มบอลที่เสริมด้วยเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดลงไปในการทดลอง โดยมีจุลินทรีย์หลัก คือ *B. subtilis* ที่มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์ไลเปส ทำให้ช่วยย่อยสลายน้ำมันและไขมันได้ดี

จากการศึกษาทดลองพบว่า EM Ball มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งต่อค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ หลังการบำบัดที่ 15 วัน โดยค่า COD ของชุดการทดลองที่ 4 มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งได้ดีที่สุด ค่า BOD ของชุดการทดลองที่ 4 และ 5 ไม่มีค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งได้ดีที่สุด และค่า FOG ของชุดการทดลองที่ 5 มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งได้ดีที่สุด การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า EM Ball มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงอาหาร และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งจากครัวเรือน ชุมชน รวมไปถึงการเกษตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

- ควรใช้ EM Ball 25 กรัม (1 ลูก) ต่อน้ำ 1,500 มิลลิลิตร (Lab scale test)

- การเก็บรักษา EM Ball: ควรห่อหุ้มด้วยพลาสติกใสเก็บไว้ในที่ร่ม ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อป้องกันการปนเปื้อน โดยสามารถเก็บได้นาน 1 เดือน

- ควรเพิ่มระยะเวลาในการทดลองให้มากกว่า 15 วัน เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของ EM Ball ที่เสริมด้วยเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่มีประสิทธิภาพ หากเพิ่มระยะเวลาให้นานมากยิ่งขึ้น จะทำให้ทราบระยะเวลาในการบำบัดที่ให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดได้อีกด้วย

- สามารถประยุกต์ใช้เป็นจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ในรูปแบบการอัดเม็ด โดยใช้ซิลิกาเจลในการเก็บเชื้อจุลินทรีย์ (Silica gel) เพื่อลดต้นทุน ลดปริมาณตะกอนอินทรียวัตถุที่หลงเหลือจากการใช้งาน และทำให้เก็บรักษาเชื้อจุลินทรีย์ได้นานมากขึ้น

- สามารถประยุกต์ใช้เชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ในรูปแบบสารเคลือบบนวัสดุกรอง (Membrane) ที่มีรูขนาดเล็ก เพื่อกำจัดสารแขวนลอย และแยกปริมาณตะกอนอินทรียวัตถุในน้ำ ทำให้สามารถลดปริมาณตะกอนที่ไปอุดตันตามท่อได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2560. **น้ำเสียชุมชน**. [Online]. สืบค้นวันที่ 22 เมษายน 2567 จาก http://www.greenandcleansolution.com/ความรู้ทางวิชาการด้านสิ่งแวดล้อม/น้ำเสียชุมชน.

กระทรวงศึกษาธิการ. 2542. **พระราชบัญญัติการศึกษาแห่งชาติ**. [Online]. สืบค้นวันที่ 22 เมษายน 2567 จาก https://www.bic.moe.go.th/images/stories/Porrorbor2542.pdf.

กรองแก้ว ทิพยศักดิ์ และ พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย. 2559. **การวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย**. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 1: 29-128.

ไกรสร มะโน, สุภลักษณ์ พรหมรับ และเพ็ญภักดิ์ สุริยะเสน. 2550. **การศึกษาการใช้จุลินทรีย์อีเอ็มในการบำบัดน้ำเสียโรงอาหารมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิตมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม. 1: 1-52.

ขวัญเนตร สมบัติสภาพ, อำนาจ ปราการสมุทร และณัฐวุฒิ วิทยาวิโรจน์. 2554. **การเปรียบเทียบประสิทธิภาพจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหารของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ**. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 1: 72-79.

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร. **อีเอ็มบอล (จุลินทรีย์บอล)**. [Online]. สืบค้นวันที่ 2 ตุลาคม 2566 จาก https://www.sc.su.ac.th/knowledge/emball.pdf.

จิรภัทร จันทมาลี, ปาวีรัตน์ สุขธิตพัฒน์, กรวรรณ จริยา และรสสุคนธ์ อ้นใจเอื้อ. 2562. **การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้จุลินทรีย์ทางการค้าในการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนไขมัน**. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. 1: 21.

ฐิติกร มหิสนันท์. 2555. **การปรับปรุงสายพันธุ์ *Bacillus subtillis* ที่ผลิตกรดแกมมาพอลิกลูตามิกด้วยวิธีการใช้รังสีและสารเคมี**. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ณัฐพงษ์ ใยยอง, สุรชัย กทิศาสตร์ และจักรกฤษณ์ เที่ยงธรรม. 2564. **การประเมินประสิทธิภาพของการเตรียมและการบรรจุผลิตภัณฑ์ชีวภาพจุลินทรีย์สดเพื่องานเกษตร**. ครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ทั่วไป. มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

ทิตยา นันหมื่น. 2549. **การบำบัดน้ำเสียคลองแสนแสบด้วยวิธีการรวมกลุ่มตะกอนหรือโคแอกกูเลชัน**. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการสิ่งแวดล้อม) คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม. สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารรศาสตร์

ทิพวรรณ ประพันธ์, เนทิยา กรีธาชาติ, พิลาณี ไวยถนอมสัตย์ และ ต่อพงศ์ กรีธาชาติ. 2555. **การประเมินกิจกรรมเอนไซม์ของจุลินทรีย์กลุ่มบาซิลลัสสำหรับการย่อยสลายของเสียจากกากไขมัน**. วารสารนเรศวร พะเยา. 2: 91-95.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นลิน สิทธิธูรณ์. 2548. **เอกสารประกอบการเรียนการสอน รายวิชา 617 428 การบำบัดน้ำเสียชุมชน (Treatment of Community Wastewater)**. สำนักวิชาแพทย์ศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 1: 6-10.

ประชุมพร เลาห์ประเสริฐ, เจนจิรา แพงจันทร์, เจษฎา ชาญศิริรัตนา และตันติกร ขุนาพรม. 2558. **การบำบัดไขมันในบ่อดักไขมันโรงอาหารโดยใช้กลุ่มแบคทีเรียคัดสายพันธุ์**. วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี). 7: 13.

ปวีณา ลิมปิทีปราการ และพัสตราภรณ์ โพธิแลกุ. 2562. **ประสิทธิภาพของอีเอ็มบอลจากขยะอินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสียในจังหวัดอุบลราชธานี**. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. 2: 137-145.

ปิยรัตน์ นามเสนา. 2561. **การคัดเลือกแบคทีเรีย *Bacillus* spp. จากดินที่มีคุณสมบัติเป็นปฏิปักษ์ต่อเชื้อราก่อโรคพืชในป่าชุมชน ตำบลหนองปลิง อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม**. สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม. 1: 1-84.

พงศธร ทวีธนวาณิชย์ และทองปักษ์ ดอนประจำ. 2563. **ปริมาณลักษณะและแนวทางในการจัดการน้ำเสียของโรงอาหารกลาง มหาวิทยาลัยราชภัฏศรีสะเกษ**. วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ. 6: 10-20.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. 2544. **บาซิลลัส ซับทิลิส.** [Online]. สืบค้นวันที่ 20 ตุลาคม 2566 จาก https://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/6203/bacillus-subtilis.

วัชรินทร์ แสงหลู่. 2557. **การศึกษาจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารประกอบคาร์โบไฮเดรตในน้ำทิ้งจากโรงงานขนมจีน**. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการสอนวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยราชภัฏ เชียงใหม่

วิจิตรา พิกุลแก้ว. 2563. **ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียด้วยจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงและจุลินทรีย์จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงอาหาร**. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม. มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

สกล ขุขันธิน. 2553. **การศึกษาประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้ออกซิเจน เพื่อพัฒนาบทปฏิบัติการ สำหรับนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนภัทรพิทยาจารย์**. 1: 11-14.

อภิชญา พัดพิน, พิมประไพ ขาวขำ และพิทักษ์ ปอกสอน. (2562). **การคัดแยกแบคทีเรียผลิตเอนไซม์ไลเปสจากน้ำเสียในบ่อดักไขมันโรงอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร**. วารสารวิทยาศาสตร์และ เทคโนโลยี (สทวท.). 1: 69-79.

อิสริยะ ริยะขัน. 2556. **การบำบัดน้ำเสียด้วยอีเอ็มก้อน: กรณีศึกษาน้ำเสียตัวอย่างจากคลองแสนแสบ**. วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม. สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ali, M.N., Youssef, T.F., Aly, M.M. and Abuzaid, A.G. 2021. **Application of effective microorganisms technology on dairy wastewater treatment for irrigation purposes**. Journal of degraded and mining lands management. 8: 2917-2923.

Chipasa, K.B. and Medrzycka, K. 2006. **Behavior of lipids in biological wastewater treatment processes**. Journal of Industrial Microbiolology and Biotechnology. 33: 635-645.

Gupta, R., Gupta, N. and Rathi, P. 2004. **Bacterial lipases: an overview of production, purification and biochemical properties**. Applied Microbiology Biotechnology. 64: 763-781.

Lauprasert, P., Chansirirattana, J. and Paengjan, J. 2017. **Effect of selected bacteria as bioremediation on the degradation of fats oils and greases in wastewater from cafeteria grease traps**. European Journal of Sustainable Development. 6: 181.

Meng, F., Zhi, R., Cao, K.F. and Zhang, G. 2024. **Bio-stimulation with *Bacillus subtilis* to realize sucrose wastewater one-step treatment and resource recovery by Aerobic Anoxygenic Phototrophic Bacteria**. Desalination and Water Treatment. 318: 100408.

Muloiwa, M., Dinka, M.O. and Nyende-Byakika, S. 2023. **Impact of temperature and airflow rate on the removal of organic pollutants and inorganic pollutants in the biological treatment process**. South African Journal of Chemical Engineering. 43: 245-256.

Ngalimat, M.S., Yahaya, R.S.R., Baharudin, M.M.A., Yaminudin, S.M., Karim, M., Ahmad, S.A., and Sabri, S. 2021. **"A Review on the biotechnological applications of the operational group *Bacillus amyloliquefaciens*"**. Microorganisms. **9** (3): 614.

Pant, R., Kaur, H., Tiwari, K., Singh, A., Srivastava, S., Patrick, N. and Gupta, A. 2023. **Isolation, Characterization of *B. subtilis* from song river shore and their application to wastewater treatment**. Journal of Pure and Applied Microbiology. 17: 597-608.

Sahu, M.K., Swarnakumar, N.S., Sivakumar, K., Thangaradjou, T. and Kannan, L.2008. **Probiotics in aquaculture: importance and future perspectives**. Indian Journal of Microbiology. 48: 299-308.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Venkateswar Reddy, K., Vamshikrishna Reddy, A., Suresh Babu, B. and Vijaya Lkshmi, T. 2018. **Applications of *Bacillus* sp. in aquaculture wastewater treatment**. International Journal of Scientific Research in Science and Technology. 4: 2395-6011.

Zakaria, Z., Gairola, S. and Shariff, N.M. 2010. **Effective Microorganism (EM) Technology for water quality restoration and potential for sustainable water resources and management**. International Congress on Environmental Modelling and Software. 142: 1.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก
สูตรอาหารเลี้ยงเชื้อ

สูตรอาหารเลี้ยงเชื้อแบบเหลว (Nutrient Broth: NB)

Nutrient Broth	13	กรัม
น้ำกลั่น	1000	มิลลิลิตร

วิธีการเตรียม

ละลายอาหารเลี้ยงเชื้อ NB ลงในน้ำกลั่นปริมาตร 1000 มิลลิลิตร คนด้วยแท่งแก้วคนสารให้สารอาหารละลายจนหมด เทอาหารใส่ขวดรูปชมพู่ ปริมาตรขวดละ 50 มิลลิลิตร ปิดด้วยจุกสำลีและปิดทับด้วยกระดาษฟอยล์อีกครั้ง จากนั้นนำไปนึ่งฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งความดัน (Autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

สูตรอาหาหรเลี้ยงเชื้อแบบแข็ง (Nutrient Agar: NA)

Nutrient broth	8.0	กรัม
ผงวุ้น	15	กรัม
น้ำกลั่น	1000	มิลลิลิตร

วิธีการเตรียม

ละลายอาหารเลี้ยงเชื้อ NB ลงในน้ำกลั่นปริมาตร 950 มิลลิลิตร คนด้วยแท่งแก้วคนสารให้สารอาหารละลายจนหมด ทำการปรับ pH ให้เป็น 7 แล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1000 มิลลิลิตร ต่อมานำไปผสมผงวุ้น ต้มจนละลาย เทอาหารใส่ขวดดูแรน ปริมาตรขวดละ 500 มิลลิลิตร (ปิดฝาแบบคลายเกลียว) นำไปนึ่งฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งความดัน (Autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข
สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

การเตรียมสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand: COD)

1. สารละลายมาตรฐานปฐมภูมิโพแทสเซียมไดโครเมต (Primary standard potassium solution) เข้มข้น 0.1 N (0.01667M)

นำโพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) อบแห้ง ที่ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำการชั่งน้ำหนักโพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) 4.903 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 500 มิลลิลตร เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 167 มิลลิลิตร และเติมปรอทซัลเฟต 33.3 กรัม ทิ้งให้ละลายและปล่อยให้เย็น แล้วจึงทำการเจือจางด้วยน้ำกลั่นเพื่อปรับปริมาตรให้เป็น 1000 มิลลิลิตร

2. สารละลายกรดซัลฟิกริก (Conc. H_2SO_4 with Silver sulfate)

ละลายซิลเวอร์ซัลเฟต (Ag_2SO_4) 22 กรัม ลงในกรดซัลฟิกริกเข้มข้น ปริมาตร 2.5 ลิตร ตั้งทิ้งไว้ 1-2 วัน เพื่อให้ซิลเวอร์ซัลเฟตละลายจนหมด

3. สารละลายเฟอร์โรอิน อินดิเคเตอร์ (Ferroim indicator)

ก. การวิเคราะห์หาค่า COD ด้วยวิธีรีฟลักซ์แบบเปิด (Open Reflux Method)

ละลาย $C_{12}H_{18}N_2.H_2O$ 1.485 กรัม และ$FeSO_4.7H_2O$ 0.695 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วทำการเจือจางให้เป็น 100 มิลลิลิตร

ข. การวิเคราะห์หาค่า COD ด้วยวิธีรีฟลักซ์แบบปิด (Closed Reflux Medthod)

นำสารละลายเฟอร์โรอินอินดิเคเตอร์ ที่เตรียมใช้ในวิธีรีฟลักซ์แบบเปิด มาทำการเจือจางในสัดส่วน 1+4 (เฟอร์โรอิน 1 ส่วน ต่อน้ำ 4 ส่วน)

การเตรียมสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand: BOD)

ก. สำหรับเตรียมน้ำที่ใช้เจือจาง

1. สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์ ละลายโพแทสเซียมไดไฮโครเจนฟอสเฟต (KH_2PO_4) 8.5 กรัม ไดโพแทสไฮโครเจฟฟอสเฟต (K_2HPO_4) 21.75 กรัม ไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ($Na_2HPO_4.7H_2O$) 33.4 กรัม และแอมโมเนียมคลอไรด์ (NH_4Cl) 1.7 กรัม ในน้ำกลั่น 500.0 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร (สารละลายน้ำควรพีเอช 7.2)

2. สารละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ละลายแมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4.7H_2O$) 22.5 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

3. สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ละลายแคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) ที่อบแห้งแล้ว 27.5 กรัม ในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. สารละลายเฟอริกคลอไรด์ ละลายเฟอริกคลอไรด์ ($FeCl_3.6H_2O$) 0.25 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

ข. สำหรับวิเคราะห์ออกซิเจนละลายน้ำ

1. สารละลายแมงกานีสซัลเฟต ละลายแมงกานีสซัลเฟต ($MnSO_4.4H_2O$) 480.0 กรัม หรือ แมงกานีสซัลเฟต ($MnSO_4.4H_2O$) 400.0 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

2. สารละลายอัลคาไล-ไอโอไดด์-เอไซด์ (Alkali-iodide-azide reagent หรือ AIA) ละลายโซเดียมไฮครอกไซด์ (NaOH) 500.0 กรัม และโซเดียมไอโอไดด์ (NaI) 135.0 กรัม ในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร จากนั้นเติมโซเดียมเอไซด์ (NaN_3) 10.0 กรัม ซึ่งละลายในน้ำกลั่น 40.0 มิลลิลิตร ลงใน สารละลายข้างต้น

3. น้ำแป้ง ละลายแป้ง (soluble starch) 2.0 กรัม ในน้ำกลั่นที่ร้อน 100.0 มิลลิลิตร เติมกรดซาลิไซลิก (Salicylic acid) 0.2 กรัม เพื่อให้เก็บได้นาน

4. สารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.025 M ละลายโซเดียมไทโอซัลเฟต ($Na_2S_2O_3.5H_2O$) 6.205 กรัม ในน้ำกลั่นเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 6 M จำนวน 1.5 มิลลิลิตร (หรือโซเดียมไฮครอกไซด์ 0.4 กรัม) ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร เก็บไว้ในขวดสีชาสารละลายนี้ควรนำมาหาความเข้มข้นที่แน่นอนด้วยสารละลายมาตรฐานไบไอโดเดต

การหาความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต มีดังนี้

ละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) 2 กรัม ด้วยน้ำกลั่น 100.0 มิลลิลิตร ในฟลาสก์ขนาด 500.0 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 2-3 หยด และสารละลายมาตรฐานไบไอโอเดต 20.0 มิลลิลิตร นำมาทำให้เจือจางเป็น 200.0 มิลลิลิตร ไทเทรตไอโอดีนที่เกิดขึ้นด้วยสารละลายมาตรฐานไทโอซัลเฟตที่เตรียมไว้ในข้อ 5 เติมน้ำแป้งเมื่อสารละลายมีสีเหลืองอ่อน ไทเทรตต่อจนสีน้ำเงินหายไป ถ้าสารละลายมาตรฐานโซเดียมไอโอ ซัลเฟตมีความเข้มข้น 0.025 M ปริมาตรที่ใช้ในในการไทเทรตเท่ากับ 20.0 มิลลิลิตร

5. สารละลายมาตรฐานไบไอโดเดต 0.0021 M ละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจนไบไอโดเดต [$(KH(IO_3)_2$] 812.4 มิลลิกรัม ในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

6. สารละลายโซเดียมซัลไฟต์ 0.0125 M ละลายไฮดรัสโซเดียมซัลไฟต์ (Na_2SO_3) 1.575 กรัม ใส่น้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร (สารละลายนี้ควรเตรียมใหม่ก่อนใช้)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค
การวิเคราะห์ทางสถิติ

ทำการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) จำนวน 3 ซ้ำ โดยทำการวิเคราะห์ค่าการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์, pH, COD และ BOD ข้อมูลจากผลการทดลองจะรายงานเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ข้อมูลถูกวิเคราะห์ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (one-way ANOVA) ด้วยโปรแกรม IBM SPSS statistics software ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<0.05$) ด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT)

โดยกำหนดให้: ชุดการทดลองที่ 1: ตัวอย่างน้ำ
ชุดการทดลองที่ 2: ตัวอย่างน้ำใส่อีเอ็มบอลที่ไม่มีการผสมเชื้อจุลินทรีย์
ชุดการทดลองที่ 3: ตัวอย่างน้ำใส่อีเอ็มบอลที่ผสมเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 1 (บาซิลลัส ซับทิลิส และบาซิลลัส อะไมโลลิเคอฟาเซียน)
ชุดการทดลองที่ 4: ตัวอย่างน้ำใส่อีเอ็มบอลที่ผสมเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 2 (บาซิลลัส ซับทิลิส)
ชุดการทดลองที่ 5: ตัวอย่างน้ำใส่อีเอ็มบอลที่ผสมเชื้อจุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 3 (บาซิลลัสสูตรเฉพาะ 10 สายพันธุ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การศึกษาการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์

1.1 จุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 1

ANOVA					
จุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 1					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	34.367	9	3.819	1275.492	<.001
Within Groups	.060	20	.003		
Total	34.427	29			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Homogeneous Subsets จุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 1

Duncan[a]	Subset for alpha = 0.05										
	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	N	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	0	3	5.6540								
	2	3		5.7967							
	4	3			6.6023						
	6	3				6.8520					
	48	3					7.4863				
	8	3						8.0977			
	36	3							8.2487		
	10	3							8.3047		
	24	3								8.5497	
	12	3									8.6453
	Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	.224	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a.Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

1.2 จุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 2

ANOVA					
จุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 2					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	20.981	9	2.331	301.763	<.001
Within Groups	.155	20	.008		
Total	21.136	29			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Homogeneous Subsets จุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 2

Duncan[a]	Subset for alpha = 0.05								
	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	N	1	2	3	4	5	6	7
	48	3	7.4997						
	0	3		8.0590					
	2	3		8.1440	8.1440				
	36	3			8.2633				
	4	3				8.8497			
	24	3					9.2107		
	6	3						9.3663	
	8	3							9.8873
	10	3							9.9067
	12	3							9.9223
	Sig.		1.000	.250	.112	1.000	1.000	1.000	.651

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a.Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

1.2 จุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 3

ANOVA					
จุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 3					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	15.921	9	1.769	231.363	<.001
Within Groups	.153	20	.008		
Total	16.074	29			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Homogeneous Subsets จุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ที่ 3									
Duncan[a]	Subset for alpha = 0.05								
	ระยะเวลา (ชั่วโมง)	N	1	2	3	4	5	6	7
	0	3	6.7043						
	2	3		6.9047					
	4	3			7.2737				
	6	3				8.1373			
	48	3				8.1400			
	8	3					8.4597		
	36	3					8.4597	8.4597	
	10	3						8.6263	8.6263
	24	3							8.7067
	12	3							8.7187
	Sig.		1.000	1.000	1.000	.971	.620	.082	.235
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.									
a.Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.									

1.4 จุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ ทั้ง 3 ผลิตภัณฑ์ ชั่วโมงที่ 0

ANOVA					
ชั่วโมงที่ 0					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
BetweenGroups	8.722	2	4.361	265.529	<.001
Within Groups	.099	6	.016		
Total	8.821	8			

Homogeneous Subsets ชั่วโมงที่ 0					
Duncan[a]	Subset for alpha = 0.05				
	เชื้อจุลินทรีย์	N	1	2	3
	ที่ 1	3	5.6540		
	ที่ 3	3		6.7043	
	ที่ 2	3			8.0590
	Sig.		1.000	1.000	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.					
a.Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 จุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ ทั้ง 3 ผลิตภัณฑ์ ชั่วโมงที่ 2

ANOVA					
ชั่วโมงที่ 2					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
BetweenGroups	8.274	2	4.137	549.918	<.001
Within Groups	.045	6	.008		
Total	8.319	8			

Homogeneous Subsets ชั่วโมงที่ 2					
Duncan[a]	Subset for alpha = 0.05				
	เชื้อจุลินทรีย์	N	1	2	3
	ที่ 1	3	5.7967		
	ที่ 3	3		6.9047	
	ที่ 2	3			8.1440
	Sig.		1.000	1.000	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.					
a.Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 จุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ ทั้ง 3 ผลิตภัณฑ์ ชั่วโมงที่ 4

ANOVA					
ชั่วโมงที่ 4					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
BetweenGroups	7.985	2	3.992	196.810	<.001
Within Groups	.122	6	.020		
Total	8.107	8			

Homogeneous Subsets ชั่วโมงที่ 4					
Duncan[a]	Subset for alpha = 0.05				
	เชื้อจุลินทรีย์	N	1	2	3
	ที่ 1	3	6.6023		
	ที่ 3	3		7.2737	
	ที่ 2	3			8.8497
	Sig.		1.000	1.000	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.					
a.Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.7 จุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ ทั้ง 3 ผลิตภัณฑ์ ชั่วโมงที่ 6

ANOVA					
ชั่วโมงที่ 6					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
BetweenGroups	9.484	2	4.742	2532.924	<.001
Within Groups	.011	6	.002		
Total	9.496	8			

Homogeneous Subsets ชั่วโมงที่ 6					
Duncan[a]	Subset for alpha = 0.05				
	เชื้อจุลินทรีย์	N	1	2	3
	ที่ 1	3	6.8520		
	ที่ 3	3		8.1373	
	ที่ 2	3			9.3663
	Sig.		1.000	1.000	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.					
a.Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.8 จุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ ทั้ง 3 ผลิตภัณฑ์ ชั่วโมงที่ 8

ANOVA					
ชั่วโมงที่ 8					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
BetweenGroups	5.372	2	2.686	4205.780	<.001
Within Groups	.004	6	.001		
Total	5.376	8			

Homogeneous Subsets ชั่วโมงที่ 8					
Duncan[a]	Subset for alpha = 0.05				
	เชื้อจุลินทรีย์	N	1	2	3
	ที่ 1	3	8.0977		
	ที่ 3	3		8.4597	
	ที่ 2	3			9.8873
	Sig.		1.000	1.000	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.					
a.Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.9 จุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ ทั้ง 3 ผลิตภัณฑ์ ชั่วโมงที่ 10

ANOVA					
ชั่วโมงที่ 10					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
BetweenGroups	4.309	2	2.155	298.830	<.001
Within Groups	.043	6	.007		
Total	4.352	8			

Homogeneous Subsets ชั่วโมงที่ 10					
Duncan[a]	Subset for alpha = 0.05				
	เชื้อจุลินทรีย์	N	1	2	3
	ที่ 1	3	8.3047		
	ที่ 3	3		8.6263	
	ที่ 2	3			9.9067
	Sig.		1.000	1.000	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.					
a.Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.10 จุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ ทั้ง 3 ผลิตภัณฑ์ ชั่วโมงที่ 12

ANOVA					
ชั่วโมงที่ 12					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
BetweenGroups	3.085	2	1.542	691.686	<.001
Within Groups	.013	6	.002		
Total	3.098	8			

Homogeneous Subsets ชั่วโมงที่ 12				
Duncan[a]	Subset for alpha = 0.05			
	เชื้อจุลินทรีย์	N	1	2
	ที่ 1	3	8.6453	
	ที่ 3	3	8.7187	
	ที่ 2	3		9.9223
	Sig.		.106	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.				
a.Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.11 จุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ ทั้ง 3 ผลิตภัณฑ์ ชั่วโมงที่ 24

ANOVA					
ชั่วโมงที่ 24					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
BetweenGroups	.716	2	.358	101.157	<.001
Within Groups	.021	6	.004		
Total	.737	8			

Homogeneous Subsets ชั่วโมงที่ 24					
Duncan[a]	Subset for alpha = 0.05				
	เชื้อจุลินทรีย์	N	1	2	3
	ที่ 1	3	8.5497		
	ที่ 3	3		8.7067	
	ที่ 2	3			9.2107
	Sig.		1.000	1.000	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.					
a.Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.12 จุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ ทั้ง 3 ผลิตภัณฑ์ ชั่วโมงที่ 36

ANOVA					
ชั่วโมงที่ 36					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
BetweenGroups	.115	2	.058	50.750	<.001
Within Groups	.007	6	.001		
Total	.122	8			

Homogeneous Subsets ชั่วโมงที่ 36				
Duncan[a]	Subset for alpha = 0.05			
	เชื้อจุลินทรีย์	N	1	2
	ที่ 1	3	8.2487	
	ที่ 3	3	8.2633	
	ที่ 2	3		8.4957
	Sig.		.613	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.				
a.Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.13 จุลินทรีย์เชิงพาณิชย์ ทั้ง 3 ผลิตภัณฑ์ ชั่วโมงที่ 48

ANOVA					
ชั่วโมงที่ 48					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
BetweenGroups	.837	2	.419	1160.308	<.001
Within Groups	.002	6	.000		
Total	.840	8			

Homogeneous Subsets ชั่วโมงที่ 48				
Duncan[a]	Subset for alpha = 0.05			
	เชื้อจุลินทรีย์	N	1	2
	ที่ 1	3	7.4863	
	ที่ 2	3	7.4997	
	ที่ 3	3		8.1400
	Sig.		.106	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.				
a.Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งต่อค่า pH ของตัวอย่างน้ำในแต่ละชุดการทดลอง ที่ระยะเวลาการบำบัด 15 วัน

2.1 ค่า pH วันที่ 0

ANOVA					
วันที่ 0					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.000	4	.000	.000	1.000
Within Groups	.000	10	.000		
Total	.000	14			

Homogeneous Subsets pH			
Duncan[a]	Subset for alpha = 0.05		
	ชุดการทดลอง	N	1
	ชุดที่ 1	3	5.4033
	ชุดที่ 2	3	5.4033
	ชุดที่ 3	3	5.4033
	ชุดที่ 4	3	5.4033
	ชุดที่ 5	3	5.4033
	Sig.		1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.			
a.Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 ค่า pH วันที่ 3

ANOVA					
วันที่ 3					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4.592	4	1.148	2777.581	<.001
Within Groups	.004	10	.000		
Total	4.592	14			

Homogeneous Subsets pH					
Duncan[a]	Subset for alpha = 0.05				
	ชุดการทดลอง	N	1	2	3	4
	ชุดที่ 5	3	5.4033			
	ชุดที่ 3	3		5.4033		
	ชุดที่ 2	3			5.6633	
	ชุดที่ 4	3			5.6633	
	ชุดที่ 1	3				6.9067
	Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.						
a.Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ค่า pH วันที่ 6

ANOVA					
วันที่ 6					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2.038	4	.510	1140.948	<.001
Within Groups	.004	10	.000		
Total	2.043	14			

Homogeneous Subsets pH						
Duncan[a]	Subset for alpha = 0.05					
	ชุดการทดลอง	N	1	2	3	4
	ชุดที่ 2	3	6.2333			
	ชุดที่ 4	3	6.2667			
	ชุดที่ 5	3		6.3700		
	ชุดที่ 3	3			6.4767	
	ชุดที่ 1	3				7.2333
	Sig.		.082	1.000	1.000	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.						
a.Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ค่า pH วันที่ 9

ANOVA					
วันที่ 9					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.705	4	.176	52.143	<.001
Within Groups	.034	10	.003		
Total	.739	14			

Homogeneous Subsets pH						
Duncan[a]	Subset for alpha = 0.05					
	ชุดการทดลอง	N	1	2	3	4
	ชุดที่ 4	3	6.6967			
	ชุดที่ 3	3	6.7167	6.7167		
	ชุดที่ 5	3		6.8200		
	ชุดที่ 2	3			6.8200	
	ชุดที่ 1	3			6.900	7.2933
	Sig.		.682	.055	.123	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.						
a.Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ค่า pH วันที่ 12

ANOVA					
วันที่ 12					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.827	4	.207	289.893	<.001
Within Groups	.007	10	.001		
Total	.834	14			

Homogeneous Subsets pH						
Duncan[a]	Subset for alpha = 0.05					
	ชุดการทดลอง	N	1	2	3	4
	ชุดที่ 5	3	7.1400			
	ชุดที่ 4	3	7.1700			
	ชุดที่ 3	3		7.2567		
	ชุดที่ 2	3			7.3600	
	ชุดที่ 1	3				7.7867
	Sig.		.199	1.000	1.000	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.						
a.Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ค่า pH วันที่ 15

ANOVA					
วันที่ 15					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.099	4	.275	412.100	<.001
Within Groups	.007	10	.001		
Total	1.106	14			

Homogeneous Subsets pH						
Duncan[a]	Subset for alpha = 0.05					
	ชุดการทดลอง	N	1	2	3	4
	ชุดที่ 5	3	7.3700			
	ชุดที่ 4	3		7.6767		
	ชุดที่ 3	3		7.7033		
	ชุดที่ 2	3			7.8467	
	ชุดที่ 1	3				8.2033
	Sig.		1.000	.235	1.000	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.						
a.Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 ค่า pH ชุดการทดลองที่ 1

ANOVA					
ชุดการทดลองที่ 1					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	13.955	5	2.791	925.161	<.001
Within Groups	.036	12	.003		
Total	13.991	17			

Homogeneous Subsets pH							
Duncan[a]	Subset for alpha = 0.05						
	วัน	N	1	2	3	4	5
	วันที่ 0	3	5.4033				
	วันที่ 3	3		6.9067			
	วันที่ 6	3			7.2333		
	วันที่ 9	3			7.2933		
	วันที่ 12	3				7.7867	
	วันที่ 15	3					8.2033
	Sig.		1.000	1.000	.206	1.000	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.							
a.Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.							

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 ค่า pH ชุดการทดลองที่ 2

ANOVA					
ชุดการทดลองที่ 2					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	13.978	5	2.796	4375.736	<.001
Within Groups	.008	12	.001		
Total	13.986	17			

Homogeneous Subsets pH								
Duncan[a]	Subset for alpha = 0.05							
	วัน	N	1	2	3	4	5	6
	วันที่ 0	3	5.4033					
	วันที่ 3	3		5.6633				
	วันที่ 6	3			6.2333			
	วันที่ 9	3				6.9000		
	วันที่ 12	3					7.3600	
	วันที่ 15	3						7.8467
	Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.								
a.Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.								

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 ค่า pH ชุดการทดลองที่ 3

ANOVA					
ชุดการทดลองที่ 3					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	13.036	5	2.607	15643.200	<.001
Within Groups	.002	12	.000		
Total	13.038	17			

Homogeneous Subsets pH								
Duncan[a]	Subset for alpha = 0.05							
	วัน	N	1	2	3	4	5	6
	วันที่ 0	3	5.4033					
	วันที่ 3	3		5.4633				
	วันที่ 6	3			6.4767			
	วันที่ 9	3				6.7167		
	วันที่ 12	3					7.2567	
	วันที่ 15	3						7.7033
	Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.								
a.Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.								

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 ค่า pH ชุดการทดลองที่ 4

ANOVA					
ชุดการทดลองที่ 4					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	11.480	5	2.296	4350.377	<.001
Within Groups	.006	12	.001		
Total	11.486	17			

Homogeneous Subsets pH								
Duncan[a]	Subset for alpha = 0.05							
	วัน	N	1	2	3	4	5	6
	วันที่ 0	3	5.4033					
	วันที่ 3	3		5.6633				
	วันที่ 6	3			6.2667			
	วันที่ 9	3				6.6967		
	วันที่ 12	3					7.1700	
	วันที่ 15	3						7.6767
	Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.								
a.Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.								

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11 ค่า pH ชุดการทดลองที่ 5

ANOVA					
ชุดการทดลองที่ 5					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	10.952	5	2.190	6065.600	<.001
Within Groups	.004	12	.000		
Total	10.956	17			

Homogeneous Subsets pH							
Duncan[a]	Subset for alpha = 0.05						
	วัน	N	1	2	3	4	5
	วันที่ 0	3	5.4033				
	วันที่ 3	3	5.4033				
	วันที่ 6	3		6.3700			
	วันที่ 9	3			6.8200		
	วันที่ 12	3				7.1400	
	วันที่ 15	3					7.3700
	Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.							
a.Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.							

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งต่อ COD ของตัวอย่างน้ำในแต่ละชุดการทดลอง ที่ระยะเวลาการบำบัด 15 วัน

3.1 ค่า COD วันที่ 0

ANOVA					
วันที่ 0					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.000	4	.000	.000	1.000
Within Groups	34133333.3	10	34133333.3		
Total	34133333.3	14			

Homogeneous Subsets COD			
Duncan[a]	Subset for alpha = 0.05		
	ชุดการทดลอง	N	1
	ชุดที่ 1	3	21333.3333
	ชุดที่ 2	3	21333.3333
	ชุดที่ 3	3	21333.3333
	ชุดที่ 4	3	21333.3333
	ชุดที่ 5	3	21333.3333
	Sig.		1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.			
a.Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ค่า COD วันที่ 3

ANOVA					
วันที่ 3					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	68266666.7	4	17066666.7	12.500	<.001
Within Groups	13653333.3	10	1365333.333		
Total	81920000.0	14			

Homogeneous Subsets COD					
Duncan[a]	Subset for alpha = 0.05				
	ชุดการทดลอง	N	1	2	3
	ชุดที่ 4	3	10560.0000		
	ชุดที่ 3	3		12693.3333	
	ชุดที่ 5	3		13760.0000	
	ชุดที่ 2	3		14826.6667	
	ชุดที่ 1	3			16960.0000
	Sig.		1.000	.058	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.					
a.Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ค่า COD วันที่ 6

ANOVA					
วันที่ 6					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	45056000.0	4	11264000.0	5.500	.013
Within Groups	20480000.0	10	2048000.000		
Total	65536000.0	14			

Homogeneous Subsets COD					
Duncan[a]	Subset for alpha = 0.05				
	ชุดการทดลอง	N	1	2	3
	ชุดที่ 4	3	8320.0000		
	ชุดที่ 2	3	10453.3333	10453.3333	
	ชุดที่ 5	3	10453.3333	10453.3333	
	ชุดที่ 3	3		11520.0000	11520.0000
	ชุดที่ 1	3			13653.3333
	Sig.		.112	.404	.098
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.					
a.Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ค่า COD วันที่ 9

ANOVA					
วันที่ 9					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	45056000.0	4	11264000.0	5.500	.013
Within Groups	20480000.0	10	2048000.000		
Total	65536000.0	14			

Homogeneous Subsets COD					
Duncan[a]	Subset for alpha = 0.05				
	ชุดการทดลอง	N	1	2	3
	ชุดที่ 4	3	5120.0000		
	ชุดที่ 3	3	6186.6667		
	ชุดที่ 5	3		8320.0000	
	ชุดที่ 2	3		9386.6667	
	ชุดที่ 1	3			11520.0000
	Sig.		.290	.290	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.					
a.Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 ค่า COD วันที่ 12

ANOVA					
วันที่ 12					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	173397333.333	4	43349333.333	21.167	<.001
Within Groups	20480000.000	10	2048000.000		
Total	193877333.333	14			

Homogeneous Subsets COD					
Duncan[a]	Subset for alpha = 0.05				
	ชุดการทดลอง	N	1	2	3
	ชุดที่ 4	3	4160.0000		
	ชุดที่ 3	3	5226.6667		
	ชุดที่ 5	3	6293.3333	6293.3333	
	ชุดที่ 2	3		8426.6667	
	ชุดที่ 1	3			13760.0000
	Sig.		.112	.098	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.					
a.Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 ค่า COD วันที่ 15

ANOVA					
วันที่ 15					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	170666666.667	4	42666666.667	62.500	<.001
Within Groups	6826666.667	10	682666.667		
Total	177493333.333	14			

Homogeneous Subsets COD						
Duncan[a]	Subset for alpha = 0.05					
	ชุดการทดลอง	N	1	2	3	4
	ชุดที่ 4	3	1920.0000			
	ชุดที่ 3	3		4053.3333		
	ชุดที่ 5	3		5120.0000		
	ชุดที่ 2	3			8320.0000	
	ชุดที่ 1	3				11520.0000
	Sig.		1.000	.145	1.000	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.						
a.Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 ค่า COD ชุดการทดลองที่ 1

ANOVA					
ชุดการทดลองที่ 1					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	213788444.444	5	42757688.889	37.580	<.001
Within Groups	13653333.333	12	1137777.778		
Total	227441777.778	17			

Homogeneous Subsets COD						
Duncan[a]	Subset for alpha = 0.05					
	วัน	N	1	2	3	4
	วันที่ 9	3	11520.0000			
	วันที่ 15	3	11520.0000			
	วันที่ 6	3		13653.3333		
	วันที่ 12	3		13760.0000		
	วันที่ 3	3			16960.0000	
	วันที่ 0	3				21333.3333
	Sig.		1.000	.905	1.000	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.						
a.Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 ค่า COD ชุดการทดลองที่ 2

ANOVA					
ชุดการทดลองที่ 2					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	391623111.111	5	78324622.222	27.536	<.001
Within Groups	34133333.333	12	2844444.444		
Total	425756444.444	17			

Homogeneous Subsets COD					
Duncan[a]	Subset for alpha = 0.05				
	วัน	N	1	2	3
	วันที่ 15	3	8320.0000		
	วันที่ 12	3	8426.6667		
	วันที่ 9	3	9386.6667		
	วันที่ 6	3	10453.3333		
	วันที่ 3	3		14826.6667	
	วันที่ 0	3			21333.3333
	Sig.		.176	1.000	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.					
a.Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9 ค่า COD ชุดการทดลองที่ 3

ANOVA					
ชุดการทดลองที่ 3					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	631580444.444	5	126316088.889	44.408	<.001
Within Groups	34133333.333	12	2844444.444		
Total	665713777.778	17			

Homogeneous Subsets COD					
Duncan[a]	Subset for alpha = 0.05				
	วัน	N	1	2	3
	วันที่ 15	3	4053.3333		
	วันที่ 12	3	5226.6667		
	วันที่ 9	3	6186.6667		
	วันที่ 6	3		11520.0000	
	วันที่ 3	3		12693.3333	
	วันที่ 0	3			21333.3333
	Sig.		.166	.411	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.					
a.Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.10 ค่า COD ชุดการทดลองที่ 4

ANOVA					
ชุดการทดลองที่ 4					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	727495111.111	5	145499022.222	255.760	<.001
Within Groups	6826666.667	12	568888.889		
Total	734321777.778	17			

Homogeneous Subsets COD							
Duncan[a]	Subset for alpha = 0.05						
	วัน	N	1	2	3	4	5
	วันที่ 0	3	3920.0000				
	วันที่ 3	3		4160.0000			
	วันที่ 6	3		5120.0000			
	วันที่ 9	3			8320.0000		
	วันที่ 12	3				10560.0000	
	วันที่ 15	3					21333.3333
	Sig.		1.000	.145	1.000	1.000	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.							
a.Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.							

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.11 ค่า COD ชุดการทดลองที่ 5

ANOVA					
ชุดการทดลองที่ 5					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	535552000.000	5	107110400.000	62.760	<.001
Within Groups	20480000.000	12	1706666.667		
Total	556032000.000	17			

Homogeneous Subsets COD							
Duncan[a]	Subset for alpha = 0.05						
	วัน	N	1	2	3	4	5
	วันที่ 15	3	5120.0000				
	วันที่ 12	3	6293.3333	6293.3333			
	วันที่ 9	3		8320.0000	8320.0000		
	วันที่ 6	3			10453.3333		
	วันที่ 3	3				13760.0000	
	วันที่ 0	3					21333.3333
	Sig.		.293	0.82	0.69	1.000	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.							
a.Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.							

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำทิ้งต่อค่า BOD ของตัวอย่างน้ำในแต่ละชุดการทดลอง เป็นระยะเวลาการบำบัด 15 วัน

4.1 ค่า BOD วันที่ 0

ANOVA					
วันที่ 0					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.000	4	.000	.000	1.000
Within Groups	3600000.000	10	360000.000		
Total	3600000.000	14			

Homogeneous Subsets BOD			
Duncan[a]	Subset for alpha = 0.05		
	ชุดการทดลอง	N	1
	ชุดที่ 1	3	10800.0000
	ชุดที่ 2	3	10800.0000
	ชุดที่ 3	3	10800.0000
	ชุดที่ 4	3	10800.0000
	ชุดที่ 5	3	10800.0000
	Sig.		1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.			
a.Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ค่า BOD วันที่ 3

ANOVA					
วันที่ 3					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	18276000.0	4	4569000.000	33.109	<.001
Within Groups	1380000.000	10	138000.000		
Total	19656000.0	14			

Homogeneous Subsets BOD							
Duncan[a]	Subset for alpha = 0.05						
	ชุดการทดลอง	N	1	2	3	4	5
	ชุดที่ 4	3	7400.0000				
	ชุดที่ 5	3		8100.0000			
	ชุดที่ 3	3			9000.0000		
	ชุดที่ 2	3				9700.0000	
	ชุดที่ 1	3					10500.0000
	Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.							
a.Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.							

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ค่า BOD วันที่ 6

ANOVA					
วันที่ 6					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	98256000.0	4	24564000.0	341.167	<.001
Within Groups	720000.000	10	72000.000		
Total	98976000.0	14			

Homogeneous Subsets BOD							
Duncan[a]	Subset for alpha = 0.05						
	ชุดการทดลอง	N	1	2	3	4	5
	ชุดที่ 4	3	3400.0000				
	ชุดที่ 5	3		4400.0000			
	ชุดที่ 3	3			8100.0000		
	ชุดที่ 2	3				9000.0000	
	ชุดที่ 1	3					9800.0000
	Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.							
a.Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.							

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ค่า BOD วันที่ 9

ANOVA					
วันที่ 9					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	142776000	4	35694000.0	250.138	<.001
Within Groups	1740000.000	10	174000.000		
Total	144516000	14			

Homogeneous Subsets BOD						
Duncan[a]	Subset for alpha = 0.05					
	ชุดการทดลอง	N	1	2	3	4
	ชุดที่ 4	3	1600.0000			
	ชุดที่ 5	3	2200.0000			
	ชุดที่ 3	3		4400.0000		
	ชุดที่ 2	3			7400.0000	
	ชุดที่ 1	3				9700.0000
	Sig.		.109	1.000	1.000	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.						
a.Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ค่า BOD วันที่ 12

ANOVA					
วันที่ 12					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	176796000	4	44199000.0	409.250	<.001
Within Groups	1080000.000	10	108000.000		
Total	177876000	14			

Homogeneous Subsets BOD						
Duncan[a]	Subset for alpha = 0.05					
	ชุดการทดลอง	N	1	2	3	4
	ชุดที่ 4	3	900.0000			
	ชุดที่ 5	3	1400.0000			
	ชุดที่ 3	3		2000.0000		
	ชุดที่ 2	3			6900.0000	
	ชุดที่ 1	3				9500.0000
	Sig.		.092	1.000	1.000	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.						
a.Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ค่า BOD วันที่ 15

ANOVA					
วันที่ 15					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	174660000	4	43665000.0	383.026	<.001
Within Groups	1140000.000	10	114000.000		
Total	175800000	14			

Homogeneous Subsets BOD						
Duncan[a]	Subset for alpha = 0.05					
	ชุดการทดลอง	N	1	2	3	4
	ชุดที่ 4	3	500.0000			
	ชุดที่ 5	3	1000.0000	1000.0000		
	ชุดที่ 3	3		1400.0000		
	ชุดที่ 2	3			5100.0000	
	ชุดที่ 1	3				9500.0000
	Sig.		.100	.177	1.000	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.						
a.Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.7 ค่า BOD ชุดการทดลองที่ 1

ANOVA					
ชุดการทดลองที่ 1					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	4540000.000	5	908000.000	4.908	.011
Within Groups	2220000.000	12	185000.000		
Total	6760000.000	17			

Homogeneous Subsets BOD					
Duncan[a]	Subset for alpha = 0.05				
	วัน	N	1	2	3
	วันที่ 12	3	9500.0000		
	วันที่ 15	3	9500.0000		
	วันที่ 9	3	9700.0000	9700.0000	
	วันที่ 6	3	9800.0000	9800.0000	
	วันที่ 3	3		10500.0000	10500.0000
	วันที่ 0	3			10800.0000
	Sig.		.444	.050	.410
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.					
a.Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.					

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 ค่า BOD ชุดการทดลองที่ 2

ANOVA					
ชุดการทดลองที่ 2					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	64725000.0	5	12945000.0	89.276	<.001
Within Groups	1740000.000	12	145000.000		
Total	66465000.0	17			

Homogeneous Subsets BOD							
Duncan[a]	Subset for alpha = 0.05						
	วัน	N	1	2	3	4	5
	วันที่ 15	3	5100.0000				
	วันที่ 12	3		6900.0000			
	วันที่ 9	3		7400.0000			
	วันที่ 6	3			9000.0000		
	วันที่ 3	3				9700.0000	
	วันที่ 0	3					10800.0000
	Sig.		1.000	.134	1.000	1.000	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.							
a.Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.							

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.9 ค่า BOD ชุดการทดลองที่ 3

ANOVA					
ชุดการทดลองที่ 3					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	228465000	5	45693000.0	338.467	<.001
Within Groups	1620000.000	12	135000.000		
Total	230085000	17			

Homogeneous Subsets BOD							
Duncan[a]	Subset for alpha = 0.05						
	วัน	N	1	2	3	4	5
	วันที่ 15	3	1400.0000				
	วันที่ 12	3	2000.0000	4400.0000			
	วันที่ 9	3					
	วันที่ 6	3			8100.0000		
	วันที่ 3	3				9000.0000	
	วันที่ 0	3					10800.0000
	Sig.		0.69	1.000	1.000	1.000	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.							
a.Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.							

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.10 ค่า BOD ชุดการทดลองที่ 4

ANOVA					
ชุดการทดลองที่ 4					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	257160000	5	51432000.0	257.160	<.001
Within Groups	2400000.000	12	200000.000		
Total	259560000	17			

Homogeneous Subsets BOD							
Duncan[a]	Subset for alpha = 0.05						
	วัน	N	1	2	3	4	5
	วันที่ 15	3	500.0000				
	วันที่ 12	3	900.0000	900.0000			
	วันที่ 9	3		1600.0000			
	วันที่ 6	3			3400.0000		
	วันที่ 3	3				7400.0000	
	วันที่ 0	3					10800.0000
	Sig.		.295	.079	1.000	1.000	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.							
a.Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.							

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

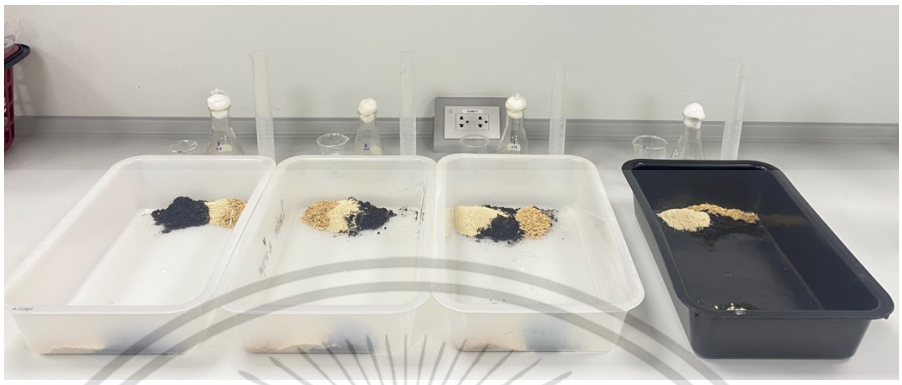
4.11 ค่า BOD ชุดการทดลองที่ 5

ANOVA					
ชุดการทดลองที่ 5					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	239025000	5	47805000.0	341.464	<.001
Within Groups	1680000.000	12	140000.000		
Total	240705000	17			

Homogeneous Subsets BOD							
Duncan[a]	Subset for alpha = 0.05						
	วัน	N	1	2	3	4	5
	วันที่ 15	3	1000.0000				
	วันที่ 12	3	1400.0000				
	วันที่ 9	3		2200.0000			
	วันที่ 6	3			4400.0000		
	วันที่ 3	3				8100.0000	
	วันที่ 0	3					10800.0000
	Sig.		.295	.079	1.000	1.000	1.000
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.							
a.Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.							

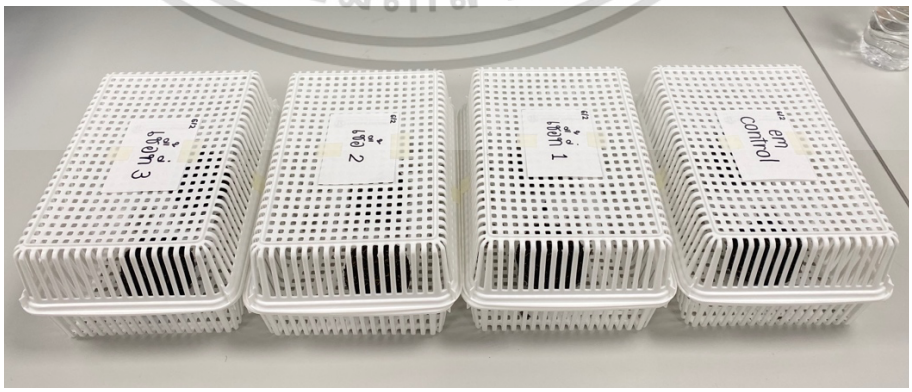
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง
ภาพประกอบการศึกษาทดลอง



รูปที่ ง-1 ส่วนผสมอีเอ็มบอล

รูปที่ ง-2 อีเอ็มบอล ขนาด 25 – 30 กรัม

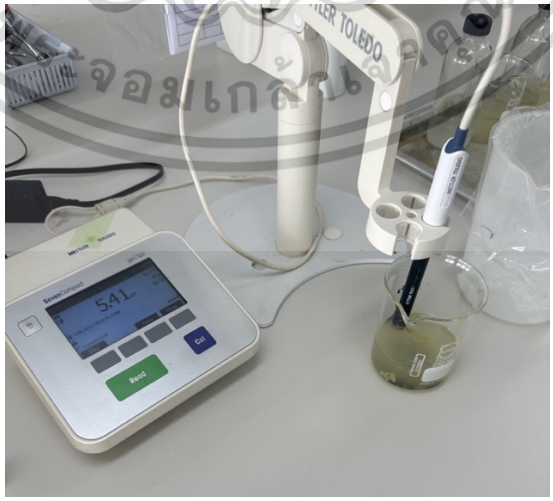


รูปที่ ง-3 อุปกรณ์ในการตากอีเอ็มบอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

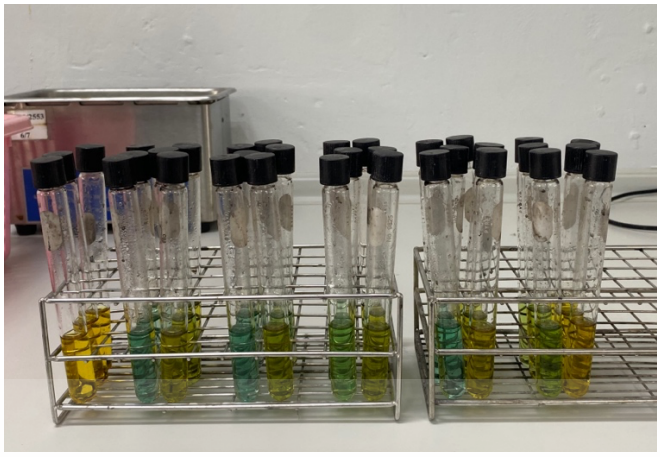
รูปที่ ง-4 ตัวอย่างน้ำทิ้งที่ได้จากโรงอาหาร

รูปที่ ง-5 ชุดการทดลองทั้งหมด



รูปที่ ง-6 การวิเคราะห์ค่า pH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

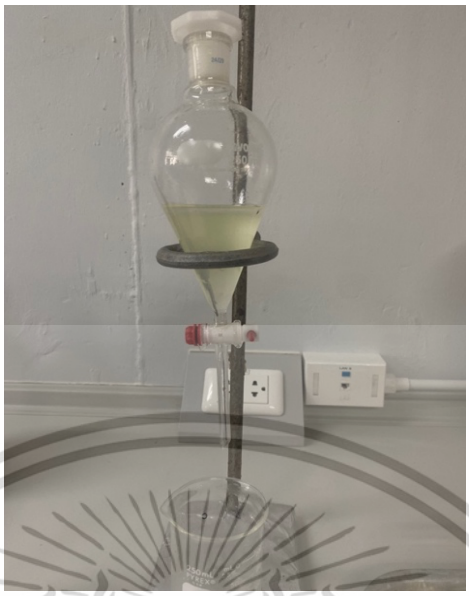


รูปที่ ง-7 การวิเคราะห์ค่า COD

รูปที่ ง-8 การวิเคราะห์ค่า BOD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ ง-9 การชั่งน้ำหนักถ้วยก่อนการใส่ตัวอย่าง



รูปที่ ง-10 การวิเคราะห์ปริมาณน้ำมันและไขมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานทะเบียนคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

คำรับรองเล่มโครงงานพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษา

วันที่ 25 เดือนมิถุนายน พ.ศ.2567

ข้าพเจ้า นางสาวณัฐนรี จูสิงห์ รหัสประจำตัว 63050474

นางสาวนัศรินทร์ จวนเจริญ รหัสประจำตัว 63050491

นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาจุลชีววิทยาอุตสาหกรรม ภาควิชาชีววิทยา ขอรับรองว่า โครงงานพิเศษ เรื่อง

ชื่อภาษาไทย การบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพด้วยกลุ่มจุลินทรีย์ก้อน: อีเอ็มบอล

ชื่อภาษาอังกฤษ Biological wastewater treatment by effective microorganisms: EM ball

ปีการศึกษา 2566

เป็นผลงานวิจัยที่มิได้คัดลอกหรือละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่น และได้ผ่านการตรวจสอบความซ้ำซ้อนเรียบร้อยแล้ว โดยใช้โปรแกรมอักขราวิสุทธิ์ ทั้งนี้ได้ตรวจสอบความเหมือนของเนื้อหา 2.82% และได้แนบเอกสารการตรวจสอบการลอกเลียนงานวรรณกรรมที่ตรวจสอบจากเล่มโครงงานพิเศษฉบับสมบูรณ์แล้ว

ลงชื่อ.....ณัฐนรี..... ลงชื่อ.....นัศรินทร์.....

(นางสาวณัฐนรี จูสิงห์) (นางสาวนัศรินทร์ จวนเจริญ)

นักศึกษา นักศึกษา

ข้าพเจ้า ผศ.ดร.วรกฤต วรนันทกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานพิเศษ ได้ตรวจสอบโครงงานพิเศษของนักศึกษาข้างต้นแล้ว ขอรับรองว่าเป็นผลงานวิจัยของนักศึกษาจริงและมีเนื้อหาสมบูรณ์ จึงลงชื่อไว้เป็นหลักฐาน

ลงชื่อ.....

(ผศ.ดร.วรกฤต วรนันทกิจ)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้