

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้จุลินทรีย์ทางการค้าในการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนไขมัน Comparative Studies on The Efficiency of Commercial Effective Microorganisms for Treatment of Lipid-containing Wastewater

จิรภัทร จันทมาลี^{1*} ปาวีรัตน์ สุขธิพัฒน์¹ กรวรรณ บุญญานนท์² จริยา บุญญานนท์² และ รสสุคนธ์ อันใจเอื้อ²
Jirapat Chanthamalee^{1*} Paweerattana Suktitipat¹ Korawan Bunyanon² Chariya Bunyanon²
and Rossukon Onchaioe²

¹ อาจารย์, ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

¹ Lecturer, Department of Biology, Faculty of Science and Technology

² นักศึกษา หลักสูตรครุศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์ คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี 22000

² Student, Bachelor of Education Program in Science, Faculty of Education, Rambhai Barni Rajabhat University, Thailand, 22000

*E-mail: jirapat.c@rbru.ac.th

Received: Aug 31, 2018

Revised: Oct 21, 2018

Accepted: Nov 08, 2018

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ทางการค้า 3 ชนิด (EM1, EM2, EM3) ต่อการบำบัดไขมันในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีปริมาณไขมัน 500 มิลลิกรัม/ลิตร ที่ระยะเวลาการย่อยไขมัน เท่ากับ 0, 2 และ 4 วัน พบว่า EM2 ให้ประสิทธิภาพการบำบัดไขมันได้ดีที่สุด คิดเป็น $73.33 \pm 4.71\%$ ในขณะที่ EM1 และ EM3 มีประสิทธิภาพเท่ากับ $63.33 \pm 4.16\%$ และ $53.33 \pm 4.43\%$ ตามลำดับ ในการแปรผันระยะเวลากการบ่มและความเข้มข้นของหัวเชื้อ EM2 สำหรับการย่อยสลายทางชีวภาพของไขมัน ผลการทดสอบพบว่าที่ระยะเวลากบ่ม 4 วัน โดยใช้ความเข้มข้นของหัวเชื้อ 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร ทำให้หัวเชื้อ EM2 เกิดการย่อยไขมันได้ดีที่สุด นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาการบำบัดน้ำเสียจริงจากโรงอาหารด้วย EM2 ที่สภาวะการบ่ม 200 รอบ/นาที อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากการทดลองพบว่า EM2 มีประสิทธิภาพในการบำบัดไขมันได้ $58.61 \pm 6.19\%$ โดยมีค่าสูงกว่าเชื้อประจำถิ่นในน้ำเสียซึ่งบำบัดไขมันได้เพียง $9.57 \pm 2.66\%$ สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ที่พบว่าน้ำที่ผ่านการบำบัดด้วย EM2 มีคุณภาพดีกว่าน้ำเสียก่อนการบำบัด โดยน้ำหลังการบำบัดมีค่าพีเอช 6.7 ค่าซีโอดี (COD) 96.71 มิลลิกรัม/ลิตร และค่าบีโอดี (BOD) 20.7 มิลลิกรัม/ลิตร ในขณะที่น้ำเสียก่อนการบำบัดมีค่าพีเอช 9.80 ค่าซีโอดี 43.53 มิลลิกรัม/ลิตร ค่าบีโอดี 110.12 มิลลิกรัม/ลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีและซีโอดีเท่ากับ 52.44 และ 12.17% ตามลำดับ

คำสำคัญ: จุลินทรีย์ทางการค้า การบำบัด น้ำเสียปนเปื้อนไขมัน

Abstract

This research aimed at studying the efficiency of three commercial effective microorganisms (EM1, EM2, EM3) for lipid removal from synthetic wastewater containing 500 mg/L lipid on days 0, 2 and 4. EM2 showed the most effective for lipid reduction at $73.33 \pm 4.71\%$, whereas EM1 and EM3 produced lipid removal efficiency at $63.33 \pm 4.16\%$ and $53.33 \pm 4.43\%$, respectively. In terms of the variation of incubation time and inoculum size for biodegradation of lipid, the 4-days incubation period with 1,000 mg/L inoculum sizes achieved the highest lipid removal efficiency using EM2. Furthermore, EM2 was applied for lipid digestibility in wastewater containing lipid collecting from the cafeteria, the microcosm test was performed with shaking at 200 rpm, room temperature for 24 h. The results showed that EM2 had lipid reduction efficiency at $58.61 \pm 6.19\%$ which higher than the lipid treatment efficiency of indigenous microorganism in wastewater ($9.57 \pm 2.66\%$). The obtained results was corresponded to the wastewater quality analysis which revealed that the quality of the EM2-treated water was better than pre-treated wastewater. In which three parameters of the EM2-treated water were obtained at pH 6.7, 96.71 mg/L of COD and 20.7 mg/L of BOD. While the pre-treated wastewater had the three parameters at pH 9.80, 43.53 mg/L of COD and 110.12 mg/L of BOD. The BOD and COD removal efficiency of EM2 were reported at 52.44 and 12.17%, respectively.

Keywords: Commercial Effective Microorganisms, Treatment, Lipid-containing Wastewater

1. บทนำ

น้ำมันและไขมัน (fats, oils and greases : FOGs) เป็นสารประกอบอินทรีย์กลุ่มหลักที่มีกปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร โรงอาหาร รวมทั้งอาคารบ้านเรือน มีองค์ประกอบที่สำคัญเป็นไขมันสัตว์และไขมันพืช ซึ่งจะถูกละลายไปเป็นกลีเซอรอล (glycerol) และกรดไขมันอิสระ (free fatty acids) มีรายงานการตรวจพบปริมาณน้ำมัน/ไขมันในน้ำเสียจากโรงอาหารของมหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ อยู่ในช่วง 59-210 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณซีโอดี (COD) อยู่ในช่วง 1,650-3,500 มิลลิกรัม/ลิตร ปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดอยู่ในช่วง 35-128 มิลลิกรัม/ลิตร และค่าพีเอชอยู่ในช่วง 6.7-7.8 [1] โดยทั่วไปน้ำเสียมักปนเปื้อนด้วยไขมัน เช่น น้ำมันพืชและกรดไขมันที่มีโครงสร้างเป็นสายยาว จึงเป็นการยากที่ไขมันในน้ำเสียจะถูกกำจัดและย่อยสลายเนื่องจากคุณสมบัติที่ไม่ละลายน้ำและมักแยกตัวเป็นแผ่นชั้นหนาอยู่บนผิวหน้าน้ำเสียเมื่ออุณหภูมิแตกต่างกัน [2] จากผลการศึกษาพบว่าในน้ำเสียจากเทศบาลมีสารประกอบไขมันเพียงอย่างเดียวเป็นปริมาณสูงถึง 30-40% ของค่าซีโอดีทั้งหมดในน้ำเสีย [3] ไขมันที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำทิ้งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดการเน่าเสียของน้ำ ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาที่สำคัญคือ มลพิษทางกลิ่นและการอุดตันของท่อน้ำ โดยมีการกำหนดค่ามาตรฐานปริมาณน้ำมันและไขมันในน้ำทิ้งจากน้ำเสียชุมชนไม่เกิน 20 มิลลิกรัม/ลิตร [4]

ปัญหาดังกล่าวอาจแก้ไขได้โดยวิธีการบำบัดทางชีวภาพซึ่งเป็นการใช้จุลินทรีย์ในการลดการปนเปื้อนของไขมันในน้ำเสีย สารประกอบอินทรีย์จะถูกทำลายโดยเอนไซม์ที่จุลินทรีย์สร้างขึ้น การใช้วิธีทางชีวภาพในการบำบัดสารพิษที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม (bioremediation) เป็นทางเลือกที่ดีกว่าวิธีบำบัดทางกายภาพและเคมี เนื่องจากเป็นกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการใช้เอนไซม์จากจุลินทรีย์ที่มีผลย่อยสลายสารประกอบเป้าหมายที่จำเพาะต่อชนิดของเอนไซม์ และทำให้เกิดการเปลี่ยนโครงสร้าง (transform) ทางเคมีของสารไปเป็นสารประกอบอื่นที่มีความเป็นพิษน้อยลงหรือไม่มีความเป็นพิษเลย ซึ่งมีจุลินทรีย์หลายชนิด เช่น แบคทีเรีย รา และยีสต์ ที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายไขมันที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย [4] จุลินทรีย์ที่พบอยู่ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวภาพมีหน้าที่สำคัญในการย่อยสลายสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ โดยการใช้สารดังกล่าวเป็นแหล่งอาหารเพื่อการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนประชากร ทำให้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมีปริมาณสารอินทรีย์ลดลง ทำให้น้ำมีคุณภาพดีขึ้น และสามารถระบายสู่แหล่งน้ำสาธารณะได้ [5] สอดคล้องกับรายงานที่ว่าจุลินทรีย์หลายชนิดที่คัดแยกจากตัวอย่างดินและน้ำสามารถย่อยสลายและกำจัดไขมันในน้ำเสียได้ดี และมีบทบาทสำคัญในการฟื้นฟูสภาพแวดล้อม [1]

อย่างไรก็ตามการบำบัดน้ำเสียโดยใช้เชื้อเดี่ยวหรือจุลินทรีย์เพียงสายพันธุ์เดียวอาจไม่สามารถเกิดได้อย่าง

มีประสิทธิภาพ เนื่องจากในน้ำเสียประกอบด้วยสารอินทรีย์หลายชนิด จุลินทรีย์แต่ละชนิดมีความจำเพาะต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ประเภทต่าง ๆ ได้แตกต่างกัน เช่น *Acinetobacter* spp., *Pseudomonas* spp., *Burkholderia* spp. รวมถึงเชื้อ *Bacillus* pp. ซึ่งทำหน้าที่ย่อยไขมัน [6] *Pseudomonas thermaerum* GW1 ทำหน้าที่ย่อยโปรตีน [7] หรือแม้แต่ น้ำเสียที่ปนเปื้อนไขมันจากแหล่งกำเนิดต่างกันก็อาจถูกละลายโดยแบคทีเรียต่างชนิดกัน เช่น *Pseudomonas aeruginosa* ทำให้เกิดการลดลงของไขมันในน้ำเสียจากโรงงานน้ำมันปาล์ม โรงงานสุญ และน้ำเสียจากชุมชนได้ดีที่สุด ในขณะที่ *Serratia marsecens* ย่อยสลายไขมันน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมได้ดี ส่วน *Staphylococcus aureus* ทำให้เกิดการลดลงของไขมันในน้ำเสียจากโรงงานฆ่าสัตว์ได้ดีที่สุด [8] แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนไขมันและสารอินทรีย์ อาจทำได้โดยการใช้จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพสูง เช่น กลุ่มเชื้อจุลินทรีย์ทางการค้าที่มีความสามารถในการบำบัดน้ำเสียที่มีลักษณะพิเศษ เช่น มีไขมันหรือน้ำมันปริมาณมาก รวมทั้งเป็นจุลินทรีย์สายพันธุ์ที่ผ่านการคัดเลือกและทดสอบจากห้องปฏิบัติการว่ามีความสามารถในการกำจัดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในน้ำเสียได้ดี มีความทนต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม

จุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพหรืออีเอ็ม (Effective Microorganisms; EM) เป็นกลุ่มของเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ EM มีคุณสมบัติที่หลากหลายจึงมีการนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านต่าง ๆ เช่น ด้านการเกษตร การหมักขยะมูลฝอย การย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งด้านการบำบัดน้ำเสีย [9] ซึ่งพบว่า EM มีประสิทธิภาพสูงมากในการทำให้น้ำเสียมีคุณภาพดีขึ้นเนื่องจากจุลินทรีย์มีความสามารถสูงในการย่อยสลายของเสียที่เป็นสารอินทรีย์ชนิดต่าง ๆ (organic wastes) [10] ดังนั้นหากมีการใช้จุลินทรีย์ทางการค้าที่มีประสิทธิภาพสูงในการย่อยสลายน้ำมันหรือไขมัน น่าจะเป็นการช่วยส่งเสริมให้การบำบัดน้ำเสียนี้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ซึ่งมีรายงานการใช้จุลินทรีย์ทางการค้าในกระบวนการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานปลาปนพบว่าสามารถใช้จุลินทรีย์ทางการค้าเป็นหัวเชื้อตั้งต้นในระบบบำบัดน้ำเสียที่มีค่าบีโอดีสูงได้ [5] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนไขมันด้วยจุลินทรีย์ทางการค้า 3 ชนิด คือ EM1, EM2 และ EM3 ในระดับห้องปฏิบัติการ โดยหัวเชื้อทั้ง 3 ชนิด มีลักษณะเป็นผงประกอบด้วยจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยสารอินทรีย์ใช้ในการกำจัดไขมัน มีเฉพาะ EM2 ที่มีการเติมเอนไซม์และสารอื่น ๆ ที่ช่วยย่อยไขมัน ภายหลังการคัดเลือกชนิดจุลินทรีย์ทางการค้าที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดแล้วจึงทดสอบการเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดโดยแปรผันปริมาณหัวเชื้อและระยะเวลาบ่ม หลังจากนั้นจึงทดลองนำมาใช้บำบัดน้ำเสียปนเปื้อนไขมันที่เก็บมาจากโรงอาหาร ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้

อาจเป็นแนวทางหนึ่งในการนำหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่คัดเลือกได้ไปช่วยแก้ปัญหาหรือช่วยลดปริมาณการปนเปื้อนไขมันจากอาคารบ้านเรือน

2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 ชนิดของจุลินทรีย์ทางการค้า

ในงานวิจัยนี้ทดสอบประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนไขมันโดยใช้จุลินทรีย์ทางการค้า 3 ชนิด ได้แก่ EM1 EM2 และ EM3 ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้: EM1 มีลักษณะเป็นผง ประกอบด้วยเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยสลายกากอาหาร และสารอินทรีย์โดยเฉพาะแก๊สที่มีกลิ่นเหม็น EM2 มีลักษณะเป็นผง ประกอบด้วยจุลินทรีย์บริสุทธิ์ 6 ชนิด เอนไซม์และสารอื่น ๆ ที่ช่วยย่อยสลายไขมัน เสริมประสิทธิภาพการทำงานของจุลินทรีย์ EM3 มีลักษณะเป็นผง ประกอบด้วยจุลินทรีย์ที่ได้รับการปรับปรุงสายพันธุ์ มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารชีวภาพ ทำการทดลองโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ (Synthetic Wastewater Medium; SWO) (สูตร กรัม/ลิตร: salad oil 10, peptone 0.6, beef extract 0.4, urea 0.1, Na₂HPO₄ 0.1, NaCl 0.03, CaCl₂ 0.014, KCl 0.014, MgSO₄ 0.01 โดยที่ไม่ต้องปรับค่าพีเอช) [11] สำหรับทดสอบประสิทธิภาพการย่อยสลายไขมันของจุลินทรีย์ทางการค้า โดยเปลี่ยนปริมาณไขมัน (น้ำมันพืช) จากสูตร 10,000 มิลลิกรัม/ลิตร เป็น 500 มิลลิกรัม/ลิตร เพื่อให้สอดคล้องกับปริมาณไขมันที่มักตรวจพบในน้ำเสียจากโรงอาหาร

2.2 การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดไขมันในน้ำเสียสังเคราะห์ SWO ด้วยจุลินทรีย์ทางการค้า

ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดไขมันในน้ำเสียสังเคราะห์ SWO ของจุลินทรีย์ทางการค้า โดยเติมหัวเชื้อแต่ละชนิดปริมาณ 1,000 มิลลิกรัม ลงในอาหารเหลว SWO ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ที่เติมน้ำมันพืชปริมาณ 500 มิลลิกรัม/ลิตร แบ่งการทดลองเป็น 4 ชุด คือ 1) ชุดที่เติม EM1 2) ชุดที่เติม EM2 3) ชุดที่เติม EM3 4) ชุดควบคุม (uninoculated control) ชุดละ 3 ข้าง บ่มขวดรูปชมพู่บนเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 200 รอบ/นาที เป็นเวลา 4 วัน ที่อุณหภูมิห้อง ทุก ๆ 2 วัน เก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ปริมาณไขมันที่เหลืออยู่ โดยการสกัดตัวทำละลายตามวิธีของ Matsumiya et al. [6] ที่มีการดัดแปลงโดยใช้เฮกเซนในการสกัดไขมันแทนคลอโรฟอร์ม โดยการเติมตัวทำละลายผสม (เฮกเซน : เมทานอล ในอัตราส่วน 30 : 10 มิลลิลิตร) ลงในตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์ปนเปื้อนไขมันที่ผ่านการย่อยด้วยจุลินทรีย์ทางการค้าแต่ละชนิดที่ช่วงเวลาต่างกัน (0, 2 และ 4 วัน) เขย่ากรวยแยกอย่างแรงเป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นแยกเฉพาะชั้นตัวทำละลายไประเหยแห้งและนำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72-96 ชั่วโมง หรือจนมีน้ำหนักคงที่ แล้วจึงชั่งน้ำหนักแห้งของไขมันที่เหลืออยู่ในหน่วยมิลลิกรัม คำนวณประสิทธิภาพการบำบัดไขมันของ

หัวเชื้อจากสูตร ประสิทธิภาพการบำบัดไขมัน = $\frac{[(\text{ปริมาณไขมันเริ่มต้น} - \text{ปริมาณไขมันที่เหลืออยู่}) / \text{ปริมาณไขมันเริ่มต้น}] \times 100}{}$

2.3 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดไขมันในน้ำเสียสังเคราะห์ SWO ของหัวเชื้อ EM ที่คัดเลือก

การทดลองในขั้นนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดไขมันในน้ำเสีย SWO โดยใช้ชนิด EM ที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการลดปริมาณไขมันจากข้อ 2.2 ทำการแปรผันปริมาณหัวเชื้อ EM 0.5, 1 และ 1.5 กรัม แปรผันระยะเวลาบ่มในช่วง 0 - 6 วัน โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 ชุด ดังนี้ ชุดที่ 1 เติมหหัวเชื้อ EM ความเข้มข้น 500 มิลลิกรัม/ลิตร ชุดที่ 2 เติมหหัวเชื้อ EM ปริมาณ 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร ชุดที่ 3 เติมหหัวเชื้อ EM ปริมาณ 1,500 มิลลิกรัม/ลิตร ในขวดรูปชมพู่บรรจุอาหารเหลว SWO ปริมาตร 200 มิลลิลิตร โดยแต่ละชุดการทดลองมีชุดควบคุมที่ไม่ลงเชื้อ ทำการทดลองชุดละ 3 ข้าง บ่มขวดรูปชมพู่บนเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 200 รอบ/นาที เป็นระยะเวลา 6 วัน ทุก ๆ 2 วัน เก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ไขมันที่เหลืออยู่ตามวิธีข้อ 2.2

2.4 การศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนไขมันจากโรงอาหารของหัวเชื้อ EM ที่มีประสิทธิภาพสูงในการลดปริมาณไขมัน

การทดลองในขั้นนี้เริ่มจากการวิเคราะห์ปริมาณไขมันในน้ำเสีย โดยเก็บน้ำตัวอย่างด้วยวิธีเก็บแบบรวม (composite sampling) จากปลายรางระบายน้ำเสียโรงอาหารหอพักหญิง มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ทุกวันเป็นเวลา 5 วัน โดยเก็บตัวอย่างในช่วงเวลาเดียวกันคือช่วงบ่ายหลังจากที่มีกิจกรรมการชะล้างและปล่อยน้ำเสียปนเปื้อนไขมันจากโรงอาหารแล้ว นำมาวิเคราะห์ปริมาณไขมันในน้ำเสียตามวิธีข้อ 2.2 จากนั้นทดสอบประสิทธิภาพของ EM ในการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนไขมันที่เก็บจากพื้นที่จริง โดยจัดเป็น 2 ชุดการทดลอง คือ 1) ชุดที่ 1 เติมห EM ชนิดที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการบำบัดไขมันที่ได้จากการคัดเลือกในข้อ 2.2 (bioaugmentation treatment) ปริมาณ 1 กรัม 2) ชุดควบคุมที่ไม่ได้ลงเชื้อ (natural attenuation treatment) โดยใช้ตัวอย่างน้ำเสียจริงที่มีการปนเปื้อนไขมันปริมาตร 200 มิลลิลิตร บ่มบนเครื่องเขย่า ความเร็ว 200 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 4 วัน เก็บตัวอย่างเพื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณไขมันทั้งหมดตามวิธีข้อ 2.2

3. ผลการวิจัย

3.1 ประสิทธิภาพการบำบัดไขมันในน้ำเสียสังเคราะห์ SWO ด้วยจุลินทรีย์ทางการค้า

ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดไขมันในน้ำเสียสังเคราะห์ SWO ของจุลินทรีย์ทางการค้าทั้ง 3 ชนิด จากผลการทดลองใน Figure 1 พบว่า EM2 มีประสิทธิภาพในการบำบัดไขมันได้ดีที่สุด โดยสามารถลดปริมาณไขมันได้ 56.67 ± 4.71 และ $73.33 \pm 4.71\%$ ในวันที่ 2 และวันที่ 4 ของการทดลอง ตามลำดับ ส่วน EM1 และ EM3 มีประสิทธิภาพในการ

บำบัดไขมันเท่ากับ $63.33 \pm 4.71\%$ และ $53.33 \pm 4.71\%$ ใน วันที่ 4 ของการทดลอง ซึ่งมีค่าสูงกว่าชุดควบคุม อย่างไรก็ตาม

EM2 ให้ประสิทธิภาพในการกำจัดไขมันได้สูงที่สุดจึงถูกเลือก นำมาใช้ในการทดลองขั้นต่อไป

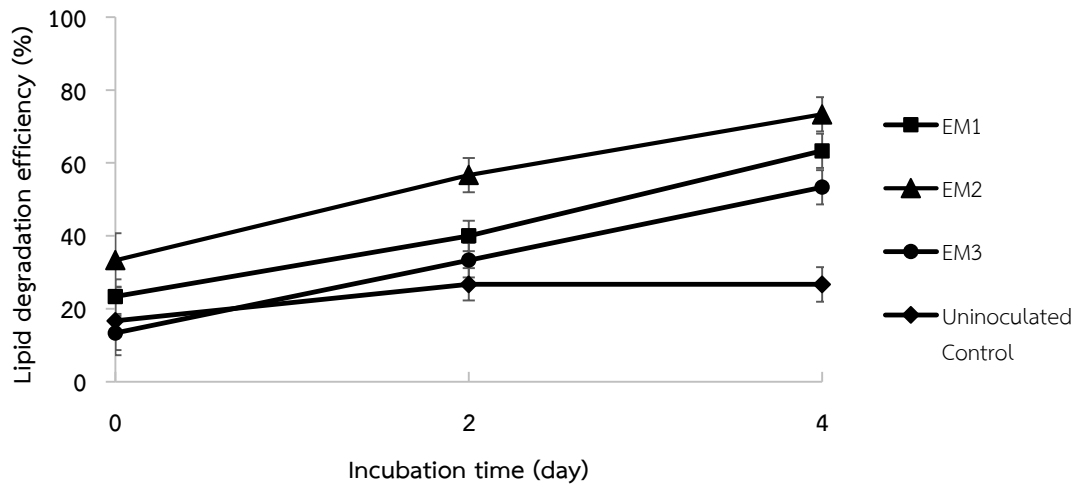


Figure 1 Lipid degradation rate of three commercial effective microorganisms compared to the uninoculated control. Data are presented as mean $\pm$ SD

2.3 สภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดไขมันในน้ำเสีย
สังเคราะห์ SWO ของหัวเชื้อ EM2

ในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดไขมันใน
น้ำเสียสังเคราะห์ SWO ของหัวเชื้อ EM2 โดยการแปรผัน
ปริมาณหัวเชื้อ ในช่วง 0.5, 1 และ 1.5 กรัม คิดเป็นความ
เข้มข้น 500, 1,000 และ 1,500 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ
และแปรผันระยะเวลาบ่มในช่วง 0 - 6 วัน จากผลการทดลอง

ใน Figure 2 พบว่าในช่วง 0 - 4 วัน หัวเชื้อ EM2 มีการย่อย
ไขมันเพิ่มสูงขึ้น และสูงสุดที่ 4 วัน ในชุดทดลองที่เติมหัวเชื้อ
ปริมาณ 1 กรัม ซึ่งสามารถลดปริมาณไขมันได้เท่ากับ
 $73.33 \pm 4.71\%$ ส่วนชุดทดลองที่เติมหัวเชื้อปริมาณ 0.5 และ
1.5 กรัม สามารถลดปริมาณไขมันได้ 53.33 และ 43.33%
ตามลำดับ หลังจากนั้นประสิทธิภาพการกำจัดไขมันของ EM2
เริ่มลดลง ซึ่งอาจเกิดจากการตายของเชื้อ

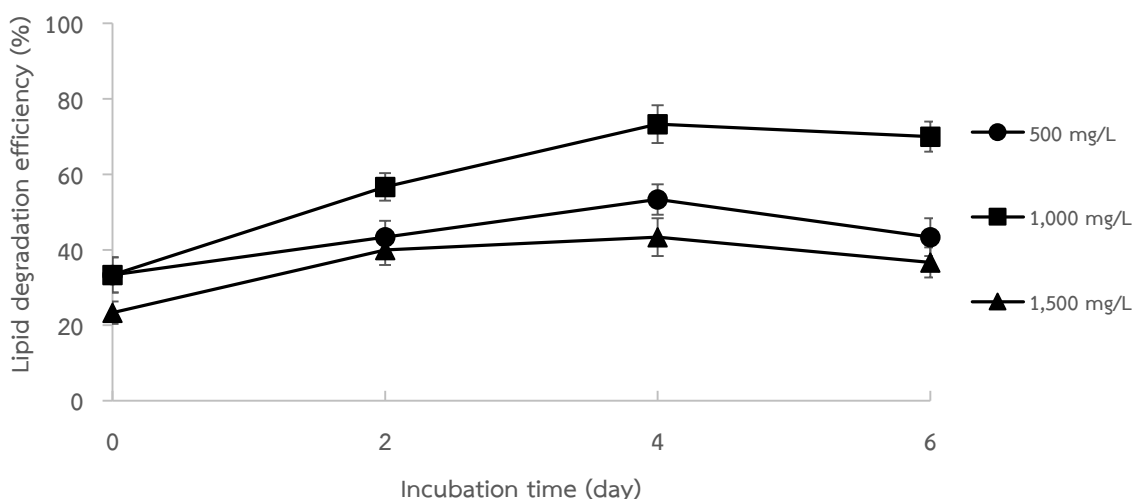


Figure 2 Variation of incubation time and inoculum size for the biodegradation of lipid by EM2. Data are presented as mean $\pm$ SD

3.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนไขมันจากโรงอาหารด้วยหัวเชื้อ EM2

3.3.1 ปริมาณไขมันในน้ำเสียที่เก็บจากโรงอาหาร

จากการวิเคราะห์ปริมาณไขมันในน้ำเสีย โดยเก็บตัวอย่างน้ำปนเปื้อนไขมันปริมาตร 200 มิลลิลิตร จากโรงอาหารหอพักหญิง มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี เป็นเวลา 5 วัน ผลการวิเคราะห์พบว่ามีปริมาณไขมันอยู่ในช่วง 550-800 มิลลิกรัม/ลิตร ดังแสดงใน Table 1 โดยในวันที่ 4 มีปริมาณไขมันสูงถึง 800 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งอาจเกิดจากกิจกรรมของโรงอาหารที่มีการชะล้างภาชนะปนเปื้อนไขมัน และปรุงอาหารชนิดที่มีปริมาณไขมันสูง

3.3.2 ประสิทธิภาพการบำบัดไขมันในน้ำเสียที่เก็บจากพื้นที่จริงของหัวเชื้อ EM2

จากการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดไขมันในน้ำเสียที่เก็บจากโรงอาหารด้วยหัวเชื้อ EM2 แสดงผลใน Table 2 พบว่าจุลินทรีย์ EM 2 ทำให้เกิดการลดปริมาณไขมัน

ในน้ำเสียจากปริมาณเริ่มต้น 136.67 ± 4.71 มิลลิกรัมในวันที่ 0 เป็น 103.33 ± 12.47 ในวันที่ 2 และ 56.67 ± 9.43 ในวันที่ 4 ของการทดลอง คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 24.54 ± 7.31 และ $58.61 \pm 6.19\%$ ในวันที่ 2 และวันที่ 4 ส่วนชุดควบคุมที่ไม่ได้เติมหัวเชื้อ EM2 มีปริมาณไขมันลดลงเพียง 7.35 ± 0.48 และ $9.57 \pm 2.66\%$ ในวันที่ 2 และวันที่ 4 ของการทดลอง สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียที่พบว่า น้ำที่ผ่านการบำบัดด้วย EM2 มีคุณภาพดีกว่าน้ำเสียก่อนการบำบัด (Table 3) โดยน้ำเสียก่อนการบำบัดมีค่าพีเอช ค่าบีโอดี และค่าซีโอดี เป็น 9.80, 43.53 และ 110.12 มิลลิกรัม/ลิตร ในขณะที่ภายหลังการบำบัดด้วย EM2 เป็นเวลา 4 วัน พบว่ามีค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ลดลงดังนี้ ค่าพีเอช 6.70 ค่าบีโอดี 20.70 มิลลิกรัม/ลิตร และค่าซีโอดี 96.71 มิลลิกรัม/ลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดบีโอดีและซีโอดีเท่ากับ 52.44 และ 12.17% ตามลำดับ

Table 1 Lipid content in wastewater collected from the female dormitory cafeteria of Rambhai Barni Rajabhat University

Sampling day	Lipid content (mg/L)
1	600 ± 24.50
2	650 ± 21.60
3	650 ± 41.10
4	800 ± 14.14
5	550 ± 20.55

Table 2 Removal of lipid in real wastewater collected from the female dormitory cafeteria of Rambhai Barni Rajabhat University by EM2.

Incubation time (day)	Lipid content (mg)		Lipid degradation efficiency (%)	
	Bioaugmentation with EM2	Uninoculated control	Bioaugmentation with EM2	Uninoculated control
0	136.67 ± 4.71	136.67 ± 4.71	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00
2	103.33 ± 12.47	126.67 ± 9.43	24.54 ± 7.31	7.35 ± 0.48
4	56.67 ± 9.43	123.33 ± 4.71	58.61 ± 6.19	9.57 ± 2.66

Table 3 Analysis of lipid containing wastewater

Parameter	Before treatment	After treatment with EM2	Lipid treatment efficiency (%)
pH	9.80	6.70	-
BOD (mg/L)	43.53	20.70	52.44
COD (mg/L)	110.12	96.71	12.17

3.4 ลักษณะสัณฐานวิทยาของเชื้อที่เป็นองค์ประกอบในจุลินทรีย์ทางการค้า EM2

จากการศึกษา พบว่าหัวเชื้อ EM2 ประกอบด้วยจุลินทรีย์ที่มีลักษณะโคโลนีและเซลล์ที่แตกต่างกันจำนวน 5 สายพันธุ์ แบ่งเป็น แบคทีเรียจำนวน 3 ไอโซเลท และยีสต์จำนวน 2 ไอโซเลท มีปริมาณเซลล์แบคทีเรียที่มีชีวิตในหัวเชื้อ EM 2 เท่ากับ 3.0×10^7 CFU/กรัม โดยมีลักษณะของโคโลนีที่แตกต่างกัน 3 แบบ คือ isolate 01 โคโลนีมีรูปร่างกลม สีขาวขุ่น ขอบเรียบไม่มีรอยหยัก โคโลนีแบนไปตามผิวหน้าอาหาร และผิวหน้าของโคโลนีเรียบ isolate 02 โคโลนีสีครีม

รูปร่างกลม มีขนาดเล็ก ผิวหน้าของโคโลนีเรียบ ส่วน isolate 03 มีโคโลนีสีขาว รูปร่างไม่แน่นอน ผิวหน้าโคโลนีขรุขระ ขอบเรียบ เมื่อนำมาย้อมแกรมพบว่าทั้งหมดจัดอยู่ในกลุ่มแบคทีเรียแกรมบวก รูปร่างเป็นท่อนยาว ลักษณะการเรียงตัวของเซลล์เป็นแบบต่อกันเป็นสาย กระจัดตัวเป็นเซลล์เดี่ยว ๆ หรือเกาะกันเป็นกลุ่ม และมีปริมาณเซลล์ยีสต์ที่มีชีวิตในหัวเชื้อ EM 2 เท่ากับ 5.7×10^3 CFU/กรัม มีลักษณะของโคโลนีที่แตกต่างกัน 2 แบบ คือ isolate 04 โคโลนีมีรูปร่างกลม สีขาวอมเหลือง ผิวหน้าของโคโลนีเรียบ และ isolate 05 โคโลนีกลม สีขาวนวล ผิวหน้าโคโลนีแห้ง

Table 4 Morphological characteristics of bacteria and yeast isolated from EM2

characteristics	bacteria			yeast	
	isolate 01	isolate 02	isolate 03	isolate 04	isolate 05
colony shape	circular	circular	irregular	circular	circular
margin	entire	not entire	entire	entire	entire
elevation	flat	flat	convex	raised	raised
surface	smooth	smooth	smooth	smooth	dry
pigmentation	white	cream	white	yellow	white
size	medium	small	big	medium	medium
gram stain	positive	positive	positive	-	-
cell shape	bacilli	bacilli	bacilli	oval	oval

4. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

น้ำทิ้งจากแหล่งชุมชน อาคารบ้านเรือน และโรงอาหาร มักมีไขมันและน้ำมันปนเปื้อน ถือเป็นปัญหาสำคัญที่ทำให้เกิดมลภาวะของแหล่งน้ำ เนื่องจากไขมันที่ปะปนมาจะปิดกั้นผิวหน้าน้ำ ทำให้สิ่งมีชีวิตในน้ำขาดออกซิเจนได้ ในงานวิจัยนี้ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนไขมันของจุลินทรีย์ทางการค้าหรือ EM เช่นเดียวกับจุลินทรีย์พื้นถิ่นทรูทรี และชาลวูทรี โฆจิตานนท์ [12] ซึ่งรายงานว่า EM เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพและมีประโยชน์ ได้จากการนำจุลินทรีย์ตามธรรมชาติมาเพาะเลี้ยงและเพิ่มจำนวน หาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาด ราคาไม่แพง สามารถย่อยสลายของเสียและสิ่งสกปรก ประกอบด้วยจุลินทรีย์หลายชนิดที่สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบในน้ำเสีย โดยจุลินทรีย์จะใช้สารอินทรีย์ที่เจือปนในน้ำเสียเป็นแหล่งคาร์บอนและแหล่งพลังงาน และถูกเปลี่ยนไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ทำให้น้ำเสียมีปริมาณสารอินทรีย์ ไขมันและตะกอนลดลง นอกจากนี้มีรายงานว่า การประยุกต์ใช้ EM ในการบำบัดน้ำเสียมีข้อดีคือช่วยลดการใช้สารเคมีและเป็นวิธีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม มีประโยชน์ในด้านการลดกลิ่นเหม็นและตะกอนของสิ่งปฏิกูลในบ่อดักไขมันและบ่อเกรอะ ทำให้ก้อนไขมันในบ่อดักไขมันนิ่มลง จึงสามารถลดค่าบีโอดีและซีโอดี

ลงได้ [6] การบำบัดน้ำเสียโดยใช้จุลินทรีย์ทางการค้าที่อยู่ในรูปเชื้อผสมอาจมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณไขมันได้ดีกว่าการใช้จุลินทรีย์เดี่ยว สอดคล้องกับรายงานที่ว่าจุลินทรีย์รวมที่คัดแยกจากบ่อดักไขมันในระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอคติเวเตดสลัดจ์ (activated sludge) มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายไขมันได้มากกว่า 90% ซึ่งสูงกว่า *Acinetobacter* sp., *Rhodococcus rubra*, *Nocardia amarae* และ *Microthrix parvicell* ที่เป็นจุลินทรีย์บริสุทธิ์คัดสายพันธุ์ [13]

ในขั้นตอนของงานวิจัยได้ทดสอบประสิทธิภาพในการลดปริมาณไขมันของจุลินทรีย์ทางการค้า 3 ชนิดคือ EM1 EM2 และ EM3 โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ SWO ที่ควบคุมปริมาณไขมันให้คงที่โดยเติมน้ำมันพืช 0.5 กรัม เพื่อให้สามารถคัดเลือกได้หัวเชื้อจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการลดปริมาณไขมัน ผลการศึกษาพบว่า EM2 มีประสิทธิภาพสูงที่สุด โดยสามารถลดปริมาณไขมันได้ $73.33 \pm 4.71\%$ ภายหลังการบ่มนาน 4 วัน อาจเนื่องมาจากองค์ประกอบของ EM2 มีจุลินทรีย์บริสุทธิ์อยู่ร่วมกันถึง 6 ชนิด ซึ่งทำงานร่วมกันในการย่อยสลายไขมัน โดยมีเชื้อหลักเป็น *Bacillus* sp. ที่สามารถผลิตเอนไซม์ไลเปส (lipase) ซึ่งช่วยในการย่อยสลายไขมัน นอกจากนี้ EM2 ยังมีประสิทธิภาพในการกำจัดกลิ่น (ข้อมูลจากผลการค้า) จึงช่วยเสริมประสิทธิภาพการย่อยไขมันให้สูงขึ้น ในทางตรงกัน

ข้ามจากผลจากข้อมูลทางการค้าของ EM1 และ EM3 กลับไม่ได้เน้นประโยชน์ไปที่การกำจัดไขมัน จึงอาจเป็นเหตุผลที่ทำให้หัวเชื้อดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณไขมันได้น้อยกว่า EM2 นอกจากนี้จากผลการศึกษาเบื้องต้นถึงองค์ประกอบของจุลินทรีย์ในหัวเชื้อ EM2 พบว่ามีแบคทีเรีย 3 ชนิด และยีสต์ 2 ชนิด ซึ่งมีลักษณะโคโลนีที่แตกต่างกัน โดยเป็นแบคทีเรียแกรมบวกทั้งหมด หัวเชื้อ EM2 มีปริมาณเซลล์ที่มีชีวิตของแบคทีเรียและยีสต์ เท่ากับ 3.0×10^7 CFU/กรัม และ 5.7×10^3 CFU/กรัม ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าใน EM2 นั้นมีส่วนประกอบของจุลินทรีย์ที่หลากหลายและมีปริมาณเซลล์ที่มีชีวิตในปริมาณสูง จึงทำให้หัวเชื้อดังกล่าวมีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดไขมัน

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดไขมันของ EM2 โดยการแปรผันความเข้มข้นหัวเชื้อ EM ในช่วง 500 - 1,500 มิลลิกรัม/ลิตร และระยะเวลาบ่มในช่วง 0 - 6 วัน พบว่าการใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร ที่ระยะเวลาการบ่ม 4 วัน มีประสิทธิภาพในการบำบัดมากที่สุด ซึ่งสามารถลดปริมาณไขมันได้ $73.33 \pm 4.71\%$ ซึ่งงานวิจัยอื่นก็ได้ทดสอบการแปรผันปริมาณหัวเชื้อและระยะเวลาการบ่มเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายไขมันของหัวเชื้อ EM เช่น ไกรสร มะโน และคณะ [14] รายงานว่า การเติม EM ปริมาณ 4 ลิตร ต่อน้ำเสีย 10 ลิตร (40%) จะสามารถบำบัดน้ำมันและไขมันในน้ำเสียจากโรงอาหาร มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม ได้ดีที่สุดในวันที่ 21 โดยมีประสิทธิภาพ 86.26% ที่ระยะเวลา 21 วัน

ผลการศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนไขมันของหัวเชื้อ EM2 ในน้ำเสียที่เก็บจากโรงอาหารหน้าหอพักหญิง มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี พบว่า EM2 สามารถย่อยสลายไขมันได้ $58.61 \pm 6.19\%$ ในขณะที่ชุดควบคุมมีปริมาณไขมันลดลงเพียง $9.57 \pm 2.66\%$ ซึ่งอาจเกิดจากการย่อยสลายโดยเชื้อประจำถิ่นในน้ำเสีย เนื่องจากผู้วิจัยไม่ได้ฆ่าเชื้อในน้ำเสียก่อนการทดลอง เพื่อเลียนแบบสภาวะการนำไปใช้งานในพื้นที่จริง สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสียปนเปื้อนไขมันที่พบว่า น้ำที่ผ่านการบำบัดด้วย EM2 มีคุณภาพดีกว่าน้ำเสียก่อนการบำบัดโดยมีค่าพีเอช 6.7 สามารถลดค่าบีโอดีและซีโอดีได้เท่ากับ 52.44 และ 12.17% ตามลำดับ ซึ่ง Monica et al. [15] รายงานถึงประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนน้ำมันของจุลินทรีย์การค้าจำนวน 5 สายพันธุ์ ได้แก่ *Lactobacillus*, *Pseudomonas*, *Aspergillus*, *Saccharomyces* รวมทั้งเชื้อ *Streptomyces* ที่แยกได้จากแหล่งต่าง ๆ ในการลดค่าบีโอดีของน้ำเสียที่เก็บจากพื้นที่จริง ซึ่งพบว่าชุดทดลองที่เติม EM ความเข้มข้น 3 มิลลิกรัม/ลิตร บ่มเป็นเวลา 3 วัน มีผลทำให้คุณภาพน้ำหลังการบำบัดดีขึ้น โดยสามารถลดค่าบีโอดีและค่าซีโอดี ได้เป็น 85 และ 82% ตามลำดับ นอกจากนี้มีรายงานว่า acetogenic bacteria สายพันธุ์ BP103 ลดค่าบีโอดีได้ในช่วง 58.5-82.2% และสามารถลดค่าซีโอดีได้ในช่วง

35.5-71.2% [16] การที่กลุ่มเชื้อจุลินทรีย์มีประสิทธิภาพในการลดค่าบีโอดีและซีโอดีในน้ำเสียได้แตกต่างกันอาจเกิดจากความแตกต่างของลักษณะและคุณภาพน้ำเสีย ชนิดและคุณสมบัติของจุลินทรีย์ที่เป็นองค์ประกอบของหัวเชื้อ รวมถึงปริมาณการใช้และสภาวะการบ่มที่แตกต่างกันอีกด้วย

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า EM2 เป็นหัวเชื้อจุลินทรีย์ทางการค้าที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดไขมันปนเปื้อนในน้ำเสีย โดยมีสภาวะที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงคือ ปริมาณหัวเชื้อ 1 กรัม ใช้ระยะเวลาการบ่มนาน 4 วัน โดยหัวเชื้อ EM2 มีประสิทธิภาพดีในการลดปริมาณไขมันที่ปนเปื้อนในน้ำเสียจริง สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเสีย ผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้สามารถใช้เป็นข้อมูลเพื่อส่งเสริมประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียปนเปื้อนไขมันในพื้นที่จริง

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาชีววิทยาและภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี ที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือและสถานที่ในการทดลอง จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วง

6. Reference

- [1] Kwannate Sombutsompob, Amnart Prakamsamut and Nattawut Wittayawiroj. 2011. Comparative studies on microorganisms efficiency for canteen wastewater treatment in King Mongkut's University of Technology North Bangkok. *The Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok*. 21(1): 72-79.
- [2] Phong, N. T., Duyen, N. T. and Diep, C. N. 2014. Isolation and characterization of lipid-degrading bacteria in wastewater of food processing plants and restaurants in Can Tho city, Vietnam. *American Journal of Life Sciences*. 2(6): 382-388.
- [3] Chipasa, K. B. and Medrzycka, K. 2006. Behavior of lipids in biological wastewater treatment processes. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*. 33(8): 635-645.
- [4] Alkhatib, M. F., Alam M. Z. and Shabana, H. F. M. 2015. Isolation of bacterial strain for biodegradation of fats, oil and grease. *Malaysian Journal of Analytical Sciences*. 19(1): 138-143.

- [5] Pornchanok Wongpadungkiat and Patcharaporn Suwanvitay. 2011. Commercial seed in wastewater treatment process of fish meal factory. **Kasetsart Engineering Journal**. 24(77): 24-33. (in Thai)
- [6] Matsumiya, Y. and et al. 2007. Isolation and characterization of a lipid-degrading bacterium and its application to lipid-containing wastewater treatment. **Journal of Bioscience and Bioengineering**. 103(4): 325-330.
- [7] Gaur, S., Agrahari, S. and Wadhwa, N. 2010. Purification of protease from *Pseudomonas thermaerum* GW1 isolated from poultry waste site. **The Open Microbiology Journal**. 4: 67-74.
- [8] Prasad, M. P. and Manjunath, K. 2011. Comparative study on biodegradation of lipid-rich wastewater using lipase-producing bacterial species. **Indian Journal of Biotechnology**. 10: 121-124.
- [9] Ab Muttalib, S. A., Ismail, S. N. S. and Praveena, S. M. 2016. Application of effective microorganism (EM) in food waste composting: a review. **Asia Pacific Environmental and Occupational Health Journal**. 2(2): 37-47.
- [10] Kannan, D. and Kumar, S. V. 2012. Effective microorganisms used in domestic effluent treatment system. In: **Proceeding of the BALWOIS 2012**, 28 May-2 June 2012, Orchid, Republic of Macedonia.
- [11] Natthariga Laothamteep, Wanwasan Wongwongsee, Ekawan Luepromchai and Onruthai Pinyakong. 2013. Isolation of *Serratia* sp. W4-01, a lipid-degrading bacterium from soil and detection of its lipase gene. In: **Proceedings of the 1st Annual PSU Phuket International Conference 2012**, 10-12 January 2013. Prince of Songkla University, Phuket Campus, Thailand.
- [12] Chantip Songrit and Charnwit Kositanont. 2014. Effect of microbial inoculum addition for wastewater treatment. In: **Proceeding of the 15th Graduate Research Conference**, 28 March 2014, Khon Kaen University, Thailand. (in Thai)
- [13] Wakelin, N. G. and Forster, C. F. 1997. An investigation into microbial removal of fats, oils and greases. **Bioresource Technology**. 59: 37-43.
- [14] Krison Mano, Supalak Promrub and Penphak Suriyasen. 2007. **Study on effective microorganism (EM) for treatment of Rajabhat Maha Sarakham University cafeteria wastewater**. B. Sc. Thesis. Rajabhat Maha Sarakham University. (in Thai)
- [15] Monica, S and et al. 2011. Formulation of effective microbial consortia and its application for sewage treatment. **Journal of Microbial and Biochemical Technology**. 3(3): 051-055.
- [16] Sirianuntapiboon, S., Phothilangka, P. and Ohmomo, S. 2004. Decolourization of molasses wastewater by a strain No. BP 103 of acetogenic bacteria. **Bioresource Technology**. 92: 31-39.