



บทความวิจัย

การวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม (PAR) นวัตกรรมจัดไขมัน FOGiATK ในพื้นที่ต้นแบบ

สมภพ นาขวัญ

ฝ่ายผลิตและจำหน่าย สถาบันคั่นคว่ำผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อรไท สวัสดิชัยกุล*

ฝ่ายโภชนาการและสุขภาพ สถาบันคั่นคว่ำผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 0 2942 8629 ต่อ 1905 อีเมล: orathai.saw@ku.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2024.11.002

รับเมื่อ 3 พฤษภาคม 2567 แก้ไขเมื่อ 30 กรกฎาคม 2567 ตอบรับเมื่อ 8 ตุลาคม 2567 เผยแพร่ออนไลน์ 15 พฤศจิกายน 2567

© 2025 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

ผลงานนวัตกรรมจัดไขมัน FOGiATK ได้ดำเนินการด้วยระเบียบวิธี การวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม (PAR) เป็นกระบวนการที่ใช้ในการผลิตและการกระจายความรู้เพื่อปรับปรุงขีดความสามารถและการปฏิบัติ ทำให้สามารถปรับปรุงพฤติกรรมหรือความเคยชินให้รับกับการเปลี่ยนแปลงสภาพความเป็นจริงทางสังคมผ่านทางนักวิจัย กลุ่มผู้มีส่วนร่วมและกลุ่มผู้ที่ได้รับผลกระทบ เพื่อนำเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ในพื้นที่ต้นแบบได้จริงในสิ่งแวดล้อมต้นแบบจริงซึ่งเป็นสถานที่พื้นที่กลางแจ้ง โดยใช้เศษอาหารกลุ่มโปรตีนจากกิจการ อุตสาหกรรมอาหารแปรรูป ห้างอาหาร มาใช้ใหม่ซึ่งสามารถตอบโจทย์ตาม ESG matrix และเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs) เป้าหมายทางตรง 3 เป้า – 6, 12 และ 13) ครอบคลุมประเด็น – มลพิษทางน้ำและการบำบัดน้ำเสีย บรรลุการจัดการที่ยั่งยืนและการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างมีประสิทธิภาพ การรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และเป้าหมายทางอ้อม 4 เป้า – 11) การจัดการขยะมูลฝอยและของเสียอื่นๆ 14) ป้องกันและลดมลพิษ 15) ระบบนิเวศบนบก 17) ความร่วมมือเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน ในแง่ความยั่งยืน เมื่อใช้นวัตกรรม FOGiATK ในระยะเวลา 5 ปี สามารถทำให้หน่วยงานประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียได้ถึง 4 เท่าเทียบกับวิธีทางกายภาพ และ 12 เท่าเทียบกับจุลชีพสำเร็จรูปในท้องตลาดหรือคิดเป็นเงินประหยัดได้ 144,100 และ 529,800 บาท ตามลำดับ

คำสำคัญ: PAR โฟกิแทค นวัตกรรมจัดไขมัน การวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม ไขมัน-น้ำมันและกรีส



Participatory Action Research (PAR), Innovation to Eliminate Fat Oil and Grease, FOGiATK in Prototype Area

Somphop Nakwun

Department of Manufacturing and Distribution, Institute of Food Research and Product Development, Kasetsart University, Bangkok, Thailand

Orathai Sawatdichaikul*

Department of Nutrition and Health, Institute of Food Research and Product Development, Kasetsart University, Bangkok, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 0 2942 8629 Ext. 1905, E-mail: orathai.saw@ku.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2024.11.002

Received 3 May 2024; Revised 30 July 2024; Accepted 8 October 2024; Published online: 15 November 2024

© 2025 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

Innovation to Eliminate Fat, Oil, and Grease (FOGiATK) was conducted following the Participatory Action Research (PAR) approach. This research project aims to implement core biotechnology in a prototype area in cooperation with stakeholders. These operations were performed to assess the level of social readiness (SRL) for the development of process innovation. FOGiATK not only applies knowledge from biological sciences but also promotes the green production concept by utilizing renewable resources. Food waste, especially protein waste from the processed food industry and restaurants, is reused as a culturing medium for microorganisms in this system. Several advantages are gained from utilizing the FOGiATK system. The maintenance costs of grease trap systems can be reduced threefold compared to commercial microbe products. Additionally, worker welfare can be improved through communication tools developed using the PAR approach. This research project meets the criteria of both the ESG matrix and the Sustainable Development Goals (SDGs), directly addressing SDGs 6, 12, and 13. It also indirectly impacts SDGs 11, 14, 15, and 17. Over a 5-year period, FOGiATK can reduce wastewater treatment costs four times compared to physical methods and twelve times compared to commercial microbes, resulting in savings of 144,100 and 529,800 baht, respectively.

Keywords: PAR, FOGiATK Innovation, Eliminate FAT Oil Grease, Participatory Action Research, FOG

Please cite this article as: S. Nakwun and O. Sawatdichaikul, "Participatory action research (PAR), innovation to eliminate fat oil and grease, FOGiATK in prototype area," *The Journal of KMUTNB*, vol. 35, no. 4, pp. 1-16, ID. 254-127623, Oct.-Dec. 2025 (in Thai).

1. บทนำ

การดำเนินการกิจการด้านร้านอาหาร นับเป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการผลิตอาหารและบริการ ในแต่ละสถานประกอบการร้านอาหารการผลิตและบริการอาหารต่างๆ จะมีการใช้น้ำในกิจกรรมการเตรียมประกอบปรุงอาหารในปริมาณมาก ซึ่งส่งผลให้ผลิตน้ำเสียจำนวนมาก และต้องมีการจัดการให้ถูกสุขลักษณะ เนื่องจากน้ำเสียที่เกิดขึ้นประกอบด้วยน้ำมันและไขมัน และเศษอาหารต่างๆ ซึ่งหากปล่อยระบายออกสู่ท่อระบายโดยตรงอาจก่อให้เกิดการอุดตันท่อน้ำทิ้งขัดขวางการเติมออกซิเจนในแหล่งน้ำซึ่งทำให้เกิดการเน่าเสียและเกิดมลภาวะทางกลิ่นเหม็นได้เป็นแหล่งเพาะพันธุ์สัตว์น้ำโรค รวมทั้งก่อให้เกิดปัญหามลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ปัญหาด้านความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อมเป็นปัญหาที่สำคัญสำหรับทุกที่ทุกหน่วยงาน ทั้งภาครัฐและภาคเอกชน ดังนั้นมาตรการต่าง ๆ เรื่องของความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อมจึงเป็นสิ่งสำคัญ โดยเฉพาะในเรื่องของการกักน้ำทิ้งที่มีไขมันปนเปื้อนสูง น้ำทิ้งของเสียจากโรงอาหาร คือ น้ำมัน กากไข และไขมัน (Fat Oil Grease; FOG) ในองค์กรขนาดกลางและขนาดใหญ่ที่มีพนักงานจำนวนมาก ซึ่งจำเป็นต้องมีการจัดการน้ำมันและไขมันอย่างถูกวิธี เช่น การติดตั้งบ่อบำบัดไขมัน เป็นต้น สำหรับมาตรการในการกักน้ำทิ้งในบ่อบำบัดไขมันที่สำคัญและได้รับการยอมรับระดับประเทศ มาตรการด้านสิ่งแวดล้อมให้เป็นไปตามมาตรฐานสิ่งแวดล้อม กฎหมายและระเบียบข้อบังคับที่เกี่ยวข้องกับน้ำทิ้งและสุขาภิบาล [1]-[3] ทั่วโลกมีขยะและน้ำเสียจากครัวเรือน (Kitchen Waste and Kitchen Waste Water) เกิดขึ้นเป็นจำนวนมากทุกปี โดยมีขยะจากครัวเรือนประมาณ 1.3 พันล้านตันที่ถูกทิ้ง และคาดการณ์ว่าจะเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 2.5 พันล้านตันภายใน ค.ศ. 2025 นอกจากนี้ น้ำเสียจากครัวเรือนยังมีลักษณะของสารอินทรีย์มีคุณสมบัติติดไฟได้สูง เช่น น้ำมันและเชลลูโลส โดยทั่วไปมากกว่า 70% เป็นน้ำเสียและเกลือ ซึ่งแบคทีเรียหรือสาหร่ายขนาดเล็กไม่สามารถบำบัดได้ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องดำเนินการมาตรการบำบัดล่วงหน้าที่มีประสิทธิภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดหลัง

การบำบัด [4]

การแยก FOG ออกจากระบบถังดักและบ่อดักไขมัน (Grease Trap) ทั้ง 3 สถานะ ของแข็ง ของเหลว และของแข็งกึ่งเหลวนั้นต้องมีการจัดการโดยวิธีที่เหมาะสมถูกต้องตามหลักสุขาภิบาล โดยปกตินั้นผู้ปฏิบัติงานครัวหรือผู้ที่ดูแลถังดักไขมันและบ่อดักไขมันดังกล่าว จำเป็นต้องมีการทำความสะอาด FOG ออกจากระบบถังดักและบ่อดักไขมัน เพื่อกำจัดโดยวิธีการอื่นๆ ไม่ให้ปนเปื้อนไปกับระบบท่อน้ำทิ้งน้ำเสียสู่ระบบท่อสาธารณะ ในการปฏิบัติงานเพื่อแยก FOG เป็นขั้นตอนที่มีความซับซ้อนและไม่เอื้ออำนวยในการปฏิบัติงานและด้วยเหตุนี้จึงเป็นสาเหตุให้เกิดการละเลยการนำ FOG ออกจากระบบก่อนที่จะปล่อยสู่ท่อน้ำทิ้งสาธารณะ ก่อให้เกิดปัญหาไขมันอุดตันสะสมและก่อให้เกิดปัญหาไม่สามารถระบายน้ำได้ในที่สุด

ปัญหาก่อนไขมันที่อุดตันระบบท่อต่อเชื่อมซึ่งต่อออกจากบริเวณครัวไปยังบ่อบำบัดไขมัน ซึ่งเป็นพื้นที่วิจัยต้นแบบเป็นปัญหาเรื้อรังและก่อให้เกิดอุปสรรคและส่งผลเสียต่อภาพลักษณ์ต่อองค์กรในภาพรวม การแก้ไขปัญหโดยกระบวนการดักไขมันออกเป็นระยะไม่สามารถแก้ไขปัญหุดตันในระบบท่อได้ การดูแลบำรุงรักษาถังดักไขมันและบ่อดักไขมันมีความเข้าใจผิดอยู่มาก อาทิ การใช้ น้ำร้อนในระบบท่อ อีกทั้งการเข้าใจว่าการบำรุงรักษาถังดักไขมันเป็นการกำจัดเฉพาะก่อนไขมันเท่านั้น ทำให้ FOG ยังคงค้างอยู่ในระบบ

จากการสืบค้นข้อมูลกฎหมายที่เกี่ยวข้องพบว่า ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ราชกิจจานุเบกษา 29 ธันวาคม 2548 เล่ม 122 ตอนที่ 125 ง [1] มีข้อกำหนดมาตรฐานน้ำทิ้งอาคาร แต่ละประเภทไว้ตามขนาดของประเภทอาคารและสถานประกอบการ ซึ่งในพื้นที่ต้นแบบนี้ได้เป็นพื้นที่ในสังกัดสถาบันอุดมศึกษาของทางราชการที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคารตั้งแต่ 5,000 ตารางเมตร แต่ไม่ถึง 25,000 ตารางเมตร ถูกจัดอยู่ในอาคารประเภท ข. ซ้อย่อย (6) อาคารโรงเรียนเอกชน โรงเรียนของทางราชการ สถาบันอุดมศึกษาของเอกชน หรือสถาบันอุดมศึกษาของทางราชการ

ที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคาร ตั้งแต่ 5,000 ตารางเมตร แต่ไม่ถึง 25,000 ตารางเมตร และ ยังพบข้อมูลตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง กำหนด สถานประกอบกิจการที่ต้องจัดให้มีบ่อดักไขมัน พ.ศ. 2565 ราชกิจจานุเบกษา 26 กรกฎาคม พ.ศ. 2565 เล่ม 139 ตอน พิเศษ 174 ง [1]–[3] ได้กล่าวถึงการจัดการและบำรุงรักษา และตรวจสอบการทำงานของบ่อดักไขมัน ให้มีการนำมูลฝอย ตะกอน และแนวปฏิบัติสำหรับกิจการประเภทต่าง ๆ

สถาบันคั้นคว่ำและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร เป็น สถาบันวิจัยและให้บริการตรวจสอบคุณภาพอาหาร บริการ โรงงานแปรรูปต้นแบบ และบริการอาหารและจัดเลี้ยง ซึ่งมี ห้องอาหารอยู่ภายในสถาบัน ฯ ด้วย ทำให้มีการปล่อยน้ำเสีย ออกไปเป็นจำนวนมาก ดังนั้นระบบดักไขมันจึงมีความจำเป็น แต่อย่างที่สุดที่ทราบกันดี เมื่อฝนตกระบบไหลของน้ำนั้นค่อนข้าง ไม่สะดวกทำให้ระบบบำบัดอุดตันทำให้ส่งกลิ่นเหม็นเน่าเสีย อีกทั้งสภาพฝนตกทำให้คนงานไม่สามารถออกไปดักเก็บ ไขมันทิ้งได้ และยังทำให้ไขมันที่ระบายออกจากห้องครัว เย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการอุดตันภายในระบบและ กลิ่นในที่สุดซึ่งเป็นปัญหาทุกครั้งที่เกิดฝนตกเสมอ

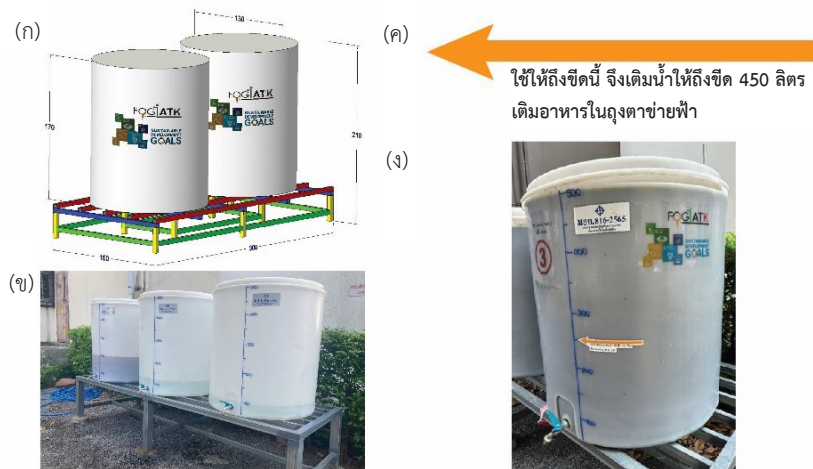
การสร้างนวัตกรรมกระบวนการ เป็นเครื่องมือที่ ส่งเสริมให้ปรับปรุงการทำงานให้ก้าวหน้าขึ้น ประหยัดเวลา และป้องกันการบาดเจ็บของเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานจะส่งผล ให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งเป็น ส่วนหนึ่งที่สามารถส่งเสริมการพัฒนาตามหลักเศรษฐกิจ หมุนเวียน (Circular Economy; CE) ตามนโยบายการพัฒนา เศรษฐกิจแบบองค์รวม (Bioeconomy Circular Economy Green Economy; BCG) เป็นที่จับตามองเพื่อสนับสนุน เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs)

การวิจัยครั้งนี้ได้ดำเนินการทั้งในส่วนของการสร้าง อุปกรณ์และจัดหาระบบการจัดการซึ่งสัมพันธ์กับการปรับ พลังงานเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงาน ในสถานที่สิ่งแวดล้อมต้นแบบ จริง โดยใช้แสงแดดเป็นแหล่งพลังงาน และได้นำขยะอาหาร จากกิจการร้านอาหารมาใช้ประโยชน์ เป็นอาหารในระบบ การเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ ด้วยเทคโนโลยีชีวภาพในสภาวะ ไร้อากาศ (Anaerobic Bacteria) กลุ่มแบคทีเรียสังเคราะห์แสง

(Photosynthetic Bacteria; PSB, Phototrophic Bacteria; PPB) และนำจุลินทรีย์ที่เลี้ยงได้มาใช้อย่างสลาย FOG จากโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และตะกอนสารอินทรีย์อื่น ๆ ใน ถังดักไขมัน บ่อดักไขมัน หรือ บ่อบำบัดไขมัน ซึ่งอยู่ในระบบท่อ ที่มีอากาศน้อย จุลชีพกลุ่มนี้จะเจริญได้ดี [5]–[9] ประยุกต์ใช้ ในระบบบำบัดไขมันที่ไม่มีการควบคุมปริมาณของเสียนำเข้า ได้ นวัตกรรมจัดไขมัน FOGIATK (โฟกียัทค) [10] นั้นสามารถ ประหยัดค่าใช้จ่ายที่สูงเสียไปในแต่ละปี (Sunk Cost) ให้สามารถเลี้ยงจุลินทรีย์ไว้ใช้เองได้ในหน่วยงานโดยใช้ เศษอาหารกลุ่มโปรตีนเป็นอาหารเลี้ยงเชื้อเพื่อใช้ ประโยชน์ในการบำบัดไขมันในบ่อดักไขมันของหน่วยงาน โดยเปรียบเทียบกับวิธีเดิมทางหน่วยงานใช้วิธีการกำจัดไขมัน อุดตันในระบบทางกายภาพการทะเลงท่อ มีค่าใช้จ่าย 38,420 บาท/ปี และไม่สามารถกำจัดไขมันที่แข็งแน่นได้ ยิ่งก่อให้เกิดการอุดตันและมลพิษทางกลิ่นและทัศนียภาพ อย่างรุนแรง

ต่อมาได้มีแนวคิดใช้จุลินทรีย์ย่อยบำบัดไขมันสำเร็จรูป ชนิดผงจากเอกชนมีค่าใช้จ่าย 115,560 บาท/ปี ต่อระบบ การบำบัดไขมันในขนาดรวม 6,400 ลิตร ซึ่งประกอบด้วย บ่อบำบัดภายนอกอาคาร (ZAT) ขนาด 6,000 ลิตร และถังได้อ่างล้างจานขนาด 40 ลิตร x 10 ถัง เพื่อเป็นการใช้ทรัพยากร ที่เป็นประโยชน์สูงสุดและสอดคล้องกับหลักการเศรษฐกิจ หมุนเวียน และพัฒนาและเร่งแก้ไขปัญหาด้านนิเวศน์ มลพิษ และการยกระดับการใช้ทรัพยากรและวัสดุเหลือใช้ เพื่อ การผลิตและการบริโภคอย่างยั่งยืนในชุมชนและพื้นที่ ในภาคเมืองและชุมชน รวมทั้งยกระดับการเป็นสังคมคาร์บอน ต่ำ ตามหลักการ Biorefinery [11]

PPB เป็นกลุ่มจุลินทรีย์เฉพาะตัวที่สามารถดูดซับรังสี ที่มีความยาวคลื่นในช่วงสเปกตรัมอินฟราเรดใกล้ (NIR) ได้ PPB แสดงช่องสเปกตรัมพิเศษในหมู่จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง เนื่องมาจากการมีอยู่ของแบคทีเรียคลอโรฟิลล์ a และ b ซึ่ง แสดงการดูดกลืนสูงสุดที่ 804 นาโนเมตรและ 1,040 นาโน เมตร ตามลำดับ [8] ประวัติความเป็นมาของเทคโนโลยีการ บำบัดน้ำเสียและการกู้คืนทรัพยากรของ PPB แบ่งออกเป็น 3 ระยะ



รูปที่ 1 ชุดอุปกรณ์และระบบการเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงที่เตรียมไว้

ระยะที่ 1: ตั้งแต่ ค.ศ. 1961 ถึง 1972 ในระยะเริ่มแรกนี้ สารและทฤษฎีการเผาผลาญที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้ทางการเกษตรได้รับการเน้นย้ำ การเผาผลาญไนโตรเจน ซัลเฟอร์ และคาร์บอนของ PSB ในธรรมชาติร่วมกับแบคทีเรียชนิดอื่นเพื่อการสร้างพืชและการปรับปรุงคุณภาพดิน ได้รับการศึกษา หลังจาก ค.ศ. 1971 ปรากฏการณ์การย่อยสลายสารมลพิษของ PSB ในธรรมชาติได้ถูกค้นพบ ดังนั้นจึงได้มีการดำเนินการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ PSB ในการบำบัดน้ำเสียหลายประเภท ระยะที่ 2: ตั้งแต่ ค.ศ. 1973 ถึง 2009 ช่วงเวลาการบำบัดน้ำเสียและการผลิตทรัพยากรสกัดในระดับปานกลาง การเพาะเลี้ยง PSB โดยใช้น้ำเสียและการได้รับผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่มเป็นแนวโน้มหลัก การศึกษาส่วนใหญ่เน้นที่การ "เพาะเลี้ยง" PPB โดยใช้น้ำเสียมากกว่าการ "บำบัด" น้ำเสีย การได้รับทรัพยากรชีวภาพเป็นเป้าหมายหลัก มีการทดลองนำน้ำเสียจากอุตสาหกรรมอาหาร น้ำเสียจากเทศบาล และน้ำเสียประเภทอื่นๆ มาผลิตเป็น PPB ซึ่งมีผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า PPB สามารถบำบัดน้ำเสียเหล่านี้ได้ และชีวมวลที่เกิดขึ้นจากน้ำเสียยังส่งผลดีต่อการเจริญเติบโตของพืชและสัตว์อีกด้วย ระยะที่ 3: ตั้งแต่ ค.ศ. 2010 ถึงปัจจุบัน ในช่วงเวลานั้นนักวิทยาศาสตร์ให้ความสนใจที่นำการบำบัดน้ำเสีย PPB มาใช้ในเชิงอุตสาหกรรม และริเริ่มการสร้างผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่มจากน้ำเสียอีกที่สามารถกู้คืน

จากกลไกการย่อยสลายสารพิษหรือการย่อยสลายโมเลกุลขนาดใหญ่ เซลล์ PPB มีขนาดเล็กและมีประจุลบสูง จึงยากต่อการเก็บเกี่ยวสารชีวมวลที่ได้จากน้ำเสีย ดังนั้นจึงมีการใช้เทคโนโลยีเมมเบรนร่วมกับกระบวนการบำบัด PPB เพื่อรวบรวมและใช้ประโยชน์จากทรัพยากรชีวภาพ [12]

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 วัสดุ อุปกรณ์

ในการจัดทำชุดอุปกรณ์เลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง (Hardware) ในการจัดทำระบบเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง (System) ในการจัดทำระบบการจัดการถังดักไขมัน

2.1.1 ชุดอุปกรณ์เลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง

ชุดอุปกรณ์เลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงแบ่งเป็น 2 ส่วนหลัก ก) ส่วนสำหรับเพาะเลี้ยง ประกอบด้วย ก1) ภาชนะสำหรับเพาะเลี้ยง วัสดุ HDPE สีขาว ความจุ 500 ลิตร รูระบายน้ำเข้า-ออก 1 นิ้ว ก๊อกสนาม 4 หุน ขนาด 1/2 นิ้ว ข้อต่อลด PVC 1 นิ้ว*4 หุน ขนาด 1/2 นิ้ว ข) ฐานเหล็กทรงถัง – เหล็กกล่องกัลวาไนซ์ ขนาด 2x1, 2x2 และ 3x3 นิ้ว ความหนา 1.6 มิลลิเมตร เพื่อทนต่อการเกิดสนิมและคำนวณโครงสร้างเพื่อสามารถใช้ได้ระยะยาว ดังแสดงในรูปที่ 1

2.1.2 การจัดทำระบบเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง (System)

ดำเนินการเลี้ยงตามขั้นตอนในอนุสิทธิบัตรไทย เลขที่คำขอ 2303001713 โดย อรไท และคณะ [10] การจัดทำออกแบบเครื่องมือสื่อสารและแจ้งเตือน ผู้ปฏิบัติหน้าที่เลี้ยงจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง (Tools) บนโปรแกรม Microsoft Office 365 สติกเกอร์พลาสติกโพลีโพรพิลีน

2.1.3 การจัดทำระบบการจัดการถังดักไขมัน (System)

การจัดทำออกแบบเครื่องมือสื่อสารและแจ้งเตือน ผู้ปฏิบัติหน้าที่จัดการถังดักไขมัน (Tools) แบบฟอร์มการบันทึกผลระบบการจัดการถังดักไขมัน บนโปรแกรม Microsoft Office 365 สติกเกอร์พลาสติกโพลีโพรพิลีน การส่งตัวอย่างน้ำเสียเพื่อตรวจคุณภาพน้ำทิ้ง ณ บริษัทรับตรวจที่ได้รับการรับรอง

2.2 ระเบียบวิธีวิจัย PAR

กระบวนการของการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม (Participatory Action Research; PAR) เป็นกระบวนการที่ใช้ในการผลิตและการกระจายความรู้เพื่อปรับปรุงชีวิตความสามารถและการปฏิบัติ ทำให้สามารถปรับปรุงพฤติกรรมหรือความเคยชินให้รับกับการเปลี่ยนแปลงสภาพความเป็นจริงทางสังคมผ่านทางนักวิจัย กลุ่มผู้มีส่วนร่วมและกลุ่มผู้ที่ได้รับผลกระทบ โดยกลุ่มประชากรเป้าหมายเป็นกลุ่มประชากรที่มีภาระการปฏิบัติหน้าที่โดยตรงในห้องครัวจำนวนในพื้นที่ต้นแบบจำนวน $n = 17$ [13]–[17] เป็นขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยที่มีลักษณะเป็นเกลียวเวียนหรือวงจรต่อเนื่องกันไป (Spiral of Steps) ประกอบด้วยกิจกรรมการวิจัยที่สำคัญ 5 ขั้นตอน (รูปที่ 2) ประกอบด้วย

2.2.1 การจัดการประสบการณ์อย่างเป็นระบบ (Systematizing Experience) ทบทวนแนวปฏิบัติและแบ่งปันข้อมูลร่วมกัน ทบทวนเหตุการณ์หรือประสบการณ์ที่ผ่านมา ระบบการจัดการของเสีย น้ำเสีย และการจัดการไขมันปนเปื้อนในน้ำทิ้ง ของสถาบันคั่นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารผ่านเครื่องมือ การสัมภาษณ์ การตรวจสอบหลักฐาน เพื่อรวบรวมข้อมูลและใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลใน



รูปที่ 2 กระบวนการของการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม (PAR) ที่มีลักษณะเป็นเกลียวเวียนหรือวงจรต่อเนื่องกันไป (Spiral of Steps) ประกอบด้วยกิจกรรมการวิจัยที่สำคัญ 5 ขั้นตอน เริ่มจากฐาน (วงจรสีแดง) ขึ้นไปจนครบวงจรต่อเนื่อง (วงจรสีม่วง) ทั้ง 5 ขั้น

ลำดับต่อไป

2.2.2 การวิเคราะห์โดยการมีส่วนร่วมและการจัดการแก้ปัญหา (Collectively Analyzing and Problematizing) นำข้อมูลจากข้อ 2.2.1 ทำการวิเคราะห์และประมวลผลหากระบวนการดำเนินงานที่เป็นปัญหาเชิงระบบ เพื่อเสนอวิธีการแก้ไขปัญหาลำดับถัดไป

2.2.3 การสะท้อนกลับและการเลือกปฏิบัติ (Reflecting on and Choosing Action) เป็นการให้ข้อมูลถึงผลการวิเคราะห์และแนวทางการจัดการแก้ปัญหาที่เหมาะสมทั้งในเชิงกายภาพและเชิงพฤติกรรมเพื่อนำเสนอวิธีปฏิบัติของเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานให้ทำงานง่ายขึ้น

2.2.4 การดำเนินการและการประเมินผลการปฏิบัติการ (Taking and Evaluating Action) เป็นการ

ปฏิบัติตามแนวทางการจัดการและกระบวนการทำงานที่ได้ออกแบบและปรับปรุงตามขั้นตอน 2.2.3 บันทึกผลและทำการปรับจนได้กระบวนการที่สามารถทำซ้ำได้

2.2.5 การเรียนรู้อย่างเป็นระบบ (Systematizing Learning) เมื่อผ่านขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยเกลียวเวียนตามในขั้นตอน 2.2.1–2.2.4 เป็นที่เรียบร้อยแล้ว ได้นำแนวทางที่ได้เลือกไว้มาประยุกต์ใช้และดำเนินการตามลำดับขั้นตอนสู่การเปลี่ยนแปลง

2.3 การเก็บตัวอย่างน้ำเสีย เพื่อส่งตรวจตามเกณฑ์มาตรฐาน

เก็บตัวอย่างน้ำเสียจำนวน 3 ครั้ง ในเดือนที่ 0, 4 และ 8 ตามลำดับ ครั้งละ 3 ลิตร บรรจุในขวดขนาด 1.5 ลิตร 2 ขวด เพื่อนำส่งตรวจยังห้องปฏิบัติการวิเคราะห์คุณภาพน้ำที่ได้รับการรับรองมาตรฐานจากกรมวิทยาศาสตร์บริการ บริษัท เทสต์ เทค จำกัด ทะเบียน:0105533062024 ซึ่งดำเนินการตรวจวิเคราะห์ ข [1] ดังนั้น ระเบียบวิธีมาตรฐานคุณภาพน้ำทั้ง the Examination of Water and Wastewater, ตาม อาคารประเภท APHA, AWWA SM2017: Standard Methods for พารามิเตอร์ & WEF, 23rd ed., 2017

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

สถิติที่ใช้ คือ สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) ได้แก่ ค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) โดยนำเสนอข้อมูลในรูปแบบตาราง และการบรรยายตาราง เพื่ออธิบายลักษณะของข้อมูล

3. ผลการทดลอง

ผลการปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม (PAR) ทางนักวิจัยกลุ่มผู้มีส่วนร่วมและกลุ่มผู้ที่ได้รับผลกระทบในสถานที่ใช้ประโยชน์ต้นแบบได้ทำการทดสอบระดับความพร้อมทางสังคม (SRL) และมี การปรับปรุงกระบวนการดำเนินงานให้บุคคลทั่วไป โดยใช้ภาษาและเครื่องมือสื่อสารอย่างง่าย ให้สามารถรับการถ่ายทอดการดูแลเทคโนโลยีชีวภาพได้อย่างง่าย ซึ่งผ่านกลไกการทำเรื่องที่ย่างยากซับซ้อนให้เป็น

เรื่องที่เข้าใจง่าย (Simplification) ก่อนการถ่ายทอด ทำให้สามารถควบคุมกระบวนการจัดการของเสีย กลุ่มขยะอาหาร โปรตีนให้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้ (SDGs 12.2 และ 13) และ กระบวนการจัดการน้ำทิ้ง (SDGs 6) และการดูแลรักษาระบบบำบัดไขมันจากครัวอาหาร อีกทั้งยังสามารถส่งเสริม/ปรับปรุงกระบวนการเพื่อยกระดับให้ได้มาตรฐานด้านแรงงาน สุขภาวะและความปลอดภัย (Worker Welfare) และลดความเสี่ยง อาการบาดเจ็บจากการปฏิบัติงานได้อีกด้วย การสร้างชุดอุปกรณ์เลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง (Hardware) อาหารโปรตีนให้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้ (SDGs 12.2 และ 13) และกระบวนการจัดการน้ำทิ้ง และการดูแลรักษาระบบบำบัดไขมันจากครัวอาหาร (SDGs 6) อีกทั้งยังสามารถส่งเสริม/ปรับปรุงกระบวนการเพื่อยกระดับให้ได้มาตรฐานด้านแรงงาน สุขภาวะและความปลอดภัย (Worker Welfare) และลดความเสี่ยง/อาการบาดเจ็บ จากการปฏิบัติงานได้อีกด้วย

การสร้างชุดอุปกรณ์เลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง (Hardware) การจัดทำระบบเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง และการจัดทำระบบการจัดการถังดักไขมัน มีการออกแบบขั้นตอนการทำงานและการออกแบบเครื่องมือที่ใช้เพื่อการสื่อสารกับบุคคลากร จากหน้าที่หลักปรุงอาหารในครัวให้มีส่วนร่วมกับการจัดการระบบบำบัดไขมันจากครัวตั้งแต่แหล่งต้นกำเนิด น้ำเสียที่มี FOG สูง ผ่านกลไกการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม (PAR) ทดสอบระดับความพร้อมทางสังคม (SRL) ในสถานที่ใช้ประโยชน์ต้นแบบ ซึ่งเครื่องมือที่ใช้เพื่อการสื่อสาร ได้ถูกปรับให้ใช้งานง่าย สื่อสารได้ทุกระดับพื้นฐานการศึกษา ครอบคลุมการทำงานหลัก (ปรุงอาหารในครัว) น้อยที่สุด และลดภาระการดูแลระบบบำบัดไขมันภายในอาคารเข้าเจ้าหน้าที่ปรุงอาหารในครัว ซึ่งมีอายุมากได้เป็นอย่างดี สามารถลดค่าใช้จ่ายในการจ้างเหมาเอกชนเพื่อทำความสะอาดระบบท่อและระบบบำบัดไขมันภายในอาคารได้ ป้องกันการเกิดการอุดตันของกากไขมันและกากตะกอนภายในระบบท่อและระบบบำบัดไขมันทั้งในอาคาร (ห้องครัว) และภายนอกอาคารได้

3.1 ชุดอุปกรณ์เลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง (Hardware)

นำชุดอุปกรณ์และระบบการเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงที่เตรียมไว้ดังกล่าว รูปที่ 1 ในก่อนหน้านี้นำมาตั้งในบริเวณพื้นที่ใกล้บ่อบำบัดภายนอกอาคาร (ZAT) ขนาด 6,000 ลิตร

3.2 กลไกการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม (PAR) ทดสอบระดับความพร้อมทางสังคม (SRL) ในสถานที่ใช้ประโยชน์ต้นแบบ

ในการออกแบบขั้นตอนการทำงาน และการออกแบบเครื่องมือที่ใช้เพื่อการสื่อสารกับบุคคลากร จากหน้าที่หลักปรุงอาหารในครัว ให้มีส่วนร่วมกับการจัดการระบบบำบัดไขมันจากครัวตั้งแต่แหล่งต้นกำเนิด น้ำเสียที่มี FOG สูง ผ่านกลไกการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม (PAR) ทดสอบระดับความพร้อมทางสังคม (SRL) ในสถานที่ใช้ประโยชน์ต้นแบบ ซึ่งเครื่องมือที่ใช้เพื่อการสื่อสาร ได้ถูกปรับให้ใช้งานง่าย สื่อสารได้ทุกระดับพื้นฐานการศึกษา รบกวการทำงานหลัก (ปรุงอาหารในครัว) น้อยที่สุด และลดภาระการดูแลระบบบำบัดไขมันภายในอาคารเข้าเจ้าหน้าที่ปรุงอาหารในครัวซึ่งมีอายุมากได้เป็นอย่างดี สามารถลดค่าใช้จ่ายในการจ้างเหมาเอกชนเพื่อทำความสะอาดระบบท่อและระบบบำบัดไขมันภายในอาคารได้ ป้องกันการเกิดการอุดตันของกากไขมันและกากตะกอนภายในระบบท่อและระบบบำบัดไขมันทั้งในอาคาร (ห้องครัว) และภายนอกอาคารได้ ซึ่งผลการวิจัยนี้ได้สอดคล้องกับ SDGs ข้อ 11.6) การจัดการขยะมูลฝอยและของเสียอื่น ๆ 14.1) ป้องกันและลดมลพิษ 15) ระบบนิเวศบก 17) ความร่วมมือเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน เป็นผลพลอยได้

3.2.1 การจัดการประสบการณ์อย่างเป็นระบบ

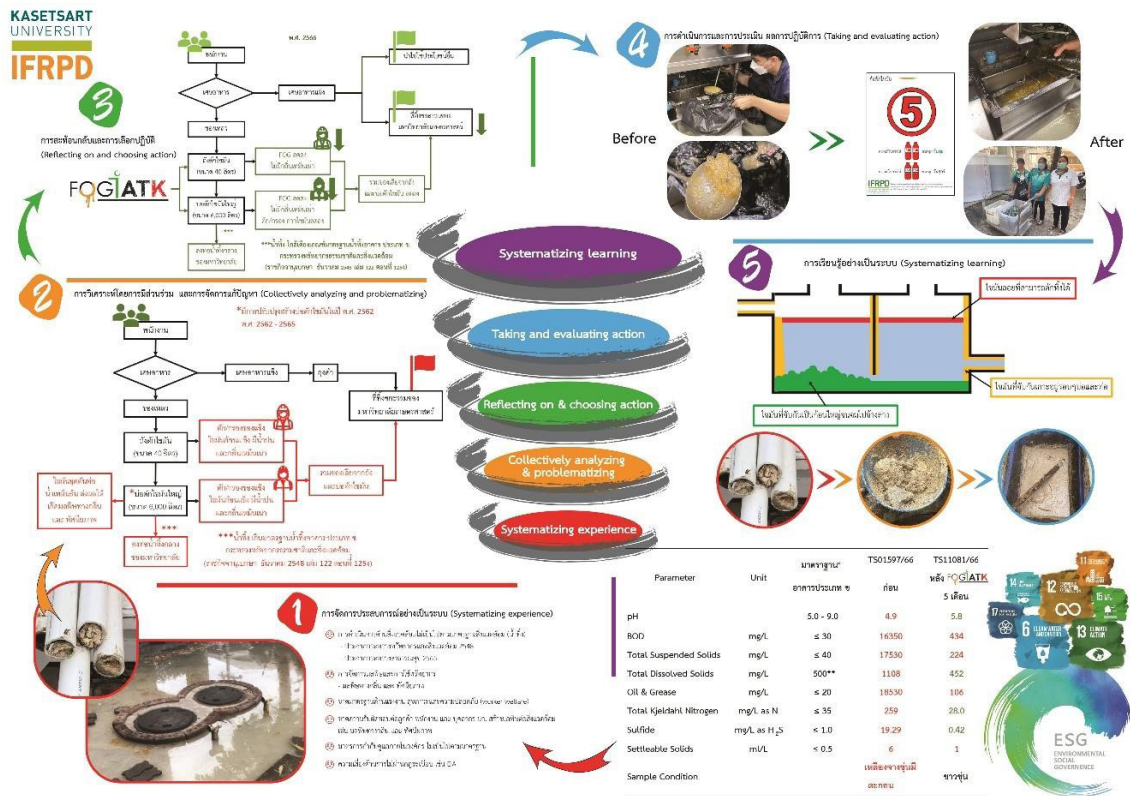
ทบทวนแนวปฏิบัติและแบ่งปันข้อมูลร่วมกัน เหตุการณ์หรือประสบการณ์ที่ผ่านมาและ มีความเกี่ยวข้องกับประเด็นปัญหา ทีมงานโพก็แทคได้ทบทวนเหตุการณ์พบปัญหาเชิงระบบ และเมื่อคำนึงถึงเกณฑ์ประเมินตาม ESG พบว่าขาดมาตรการกำกับดูแลขององค์กร (Governance) ขาดมาตรฐานด้านแรงงานและสุขภาวะความปลอดภัย (Social)

และ ไม่คำนึงถึงมาตรฐานด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental) การประเมินสถานการณ์ปัญหาของถังดักไขมัน และถังดักไขมัน โดยใช้เครื่องมือที่ใช้ในการได้มาซึ่งข้อมูลผ่านการสัมภาษณ์และการเข้าประเมินสถานการณ์ของทีมวิจัย โดยมีหัวข้อคำถาม เกี่ยวกับกฎหมายและระเบียบปฏิบัติในการจัดการเกี่ยวกับน้ำทิ้งของสถานประกอบการที่เกี่ยวข้องกับกิจการอาหาร

ในการสอบถามคณะทำงานเจ้าหน้าที่ สำนักงานเลขานุการ อาคารสถานที่ผู้มีหน้าที่ดูแล ระบบสุขาภิบาลของหน่วยงาน และผู้ปฏิบัติงานห้องอาหารสหโภชน เกี่ยวกับกฎหมายและระเบียบปฏิบัติในการจัดการเกี่ยวกับน้ำทิ้งของสถานประกอบการที่เกี่ยวข้องกับกิจการอาหาร ทำให้ทราบว่า การรับรู้ของเจ้าหน้าที่และผู้ปฏิบัติงานห้องอาหารสหโภชน ขาดความรู้และขาดการทวนสอบข้อกฎหมายที่เกี่ยวข้องให้เป็นปัจจุบัน และมีความเข้าใจผิดในแนวปฏิบัติงานให้เป็นไปตามกฎหมายที่กำหนด ดังแสดงในรูปที่ขั้นตอนที่ 1 (สีแดง) และรูปที่ 4ก (กรอบสีเหลี่ยมสีแดง) ประกอบด้วยรูปในกรอบย่อย ก-1 การสำรวจและเก็บข้อมูลทางกายภาพภายในครัวห้องอาหารสหโภชน ก-2 ถังดักไขมันภายในอาคารได้อ่างล้างจาน ก-3 น้ำทิ้งผสม FOG จากถังดักไขมัน ก-4 บ่อดักไขมันภายนอกอาคาร (ZAT) ขนาด 6,000 ลิตร ก-5 บ่อดักไขมัน

3.2.2 การวิเคราะห์โดยการมีส่วนร่วม และการจัดการแก้ปัญหา

ผลการรวบรวมข้อมูลและการจัดการประสบการณ์อย่างเป็นระบบ รูปที่ 4 (ข-1 สัมภาษณ์บุคลากรห้องอาหารสหโภชน และ ข-2 เครื่องมือแบบสอบถามพฤติกรรมกรการใช้งานและการดูแลระบบบำบัดไขมัน) ทำให้สามารถสรุปปัจจัยที่ก่อให้เกิดปัญหาและอุปสรรคต่อการใช้งานและดูแลรักษาระบบบำบัดไขมันได้ดังนี้ ด้านแนวคิดความเข้าใจและแนวปฏิบัติของบุคลากรปฏิบัติการ ไม่ได้มีนำ FOG ออกจากถังดักไขมันมีเพียงการดักเศษอาหาร (กากอาหาร) ทำให้เกิดการอุดตันและส่งกลิ่นเหม็นในระบบท่อได้ อีกทั้งเมื่อเกิดปัญหาดังกล่าวจึงมีการใช้น้ำร้อน ผงซักฟอกและน้ำยา



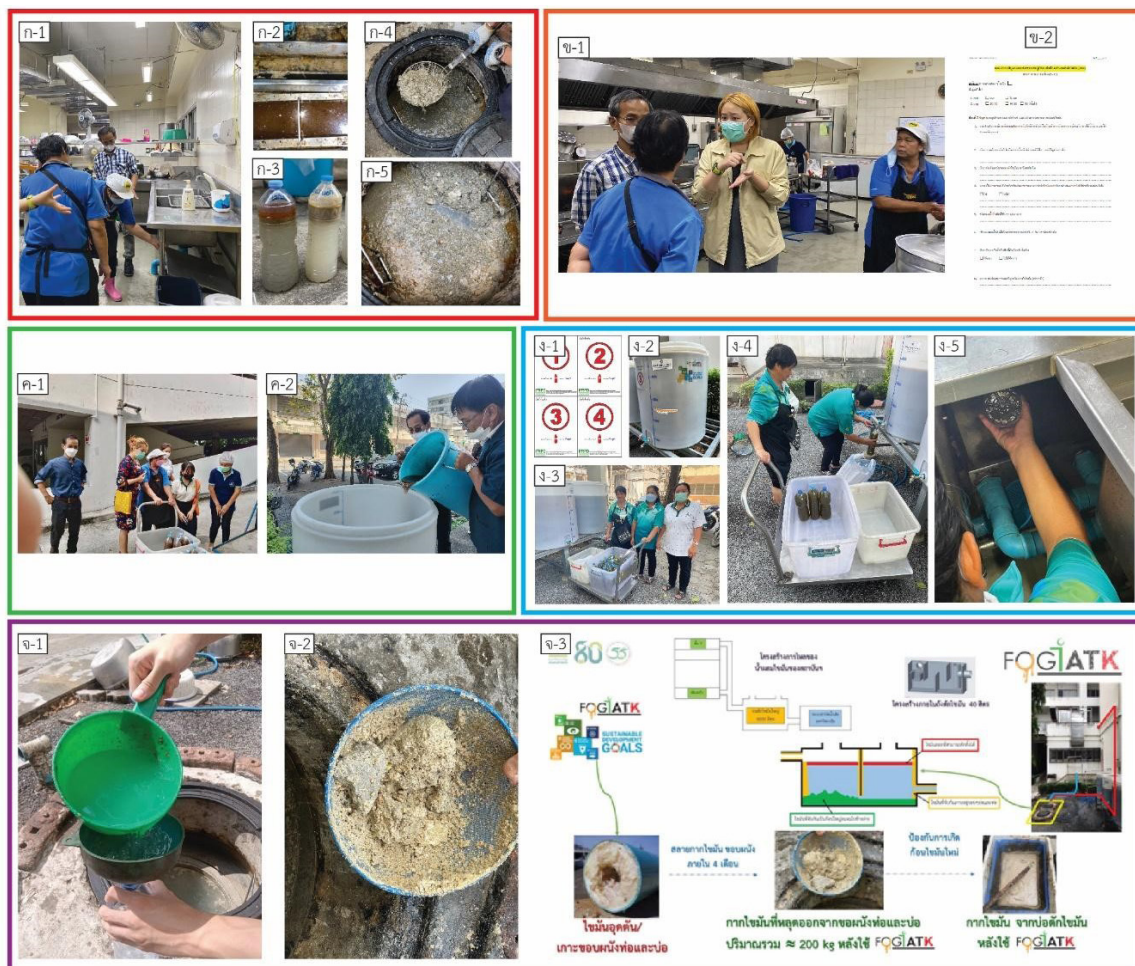
รูปที่ 3 อินโฟกราฟิก (Infographic) กรอบวิจัยขั้นตอน PAR 5 ขั้นตอนของวงจรต่อเนื่องกันไป (Spiral of Steps)

ล้างจานในการล้างครบน้ำมันนอกจากท่อ แต่เมื่อน้ำมันลงไปในถังดักไขมันในครัวทำให้เกิดการอุดตันและน้ำเสียล้นออกมาจากบ่อบำบัดด้านนอกและก่อให้เกิดมลภาวะทางทัศนียภาพและกลิ่น ดังแสดงในรูปที่ 3 (1) และ รูปที่ 4 (ก-3, ก-4, ก-5) ด้านแนวปฏิบัติและข้อจำกัดของผู้รับจ้างเหมาทำความสะอาดระบบท่อและบ่อบำบัดไขมัน จากการทวนสอบเอกสารพัสดุทำให้เห็นว่า ผู้รับจ้างไม่สามารถทำความสะอาดผนังท่อและผนังบ่อบำบัดภายนอกอาคาร (ZAT) ขนาด 6,000 ลิตร ได้เนื่องจากเมื่อ FOG เจอกับน้ำกระด้างในน้ำทิ้งนั้นจะก่อให้เกิดปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันเป็นของแข็งลักษณะคล้ายสบู่หินปูนที่ติดอยู่ที่ผนังท่อและผนังบ่อที่มีความแข็งมากเมื่อเกิดการสะสมพอกตัวมากยิ่งขึ้นอย่างเป็นประจำจะทำให้เกิดการอุดตันในที่สุด ด้านกายภาพของตำแหน่งที่ตั้งของถังดักไขมันได้อ้างอิงภายในห้องครัว อยู่ในจุดที่ไม่สามารถเข้าถึง หรือเข้าถึงได้ยากในการทำการบำรุง

รักษาดังบำบัดไขมันในครัว (รูปที่ 4, ง-5) โดยใช้วิธีการดักไขมัน น้ำมัน และกริดไขออกโดยวิธีดั้งเดิมได้ (รูปที่ 3 (4 ซ้าย)) จากการได้ข้อมูลทั้งหมดจึงสามารถสรุปรวมกระบวนการทำงานและค้นหาคำตอบที่เป็นปัญหาได้ดังแสดงในรูปที่ 3 (2)

3.2.3 การสะท้อนกลับและการเลือกปฏิบัติ

ทีมวิจัยได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลร่วมกับเจ้าหน้าที่ปฏิบัติการหน้างาน ประมวลผลและออกแบบแนวทางการจัดการแก้ปัญหา รวมถึงออกแบบพัฒนาเครื่องมือ (ทางมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์) เพื่อนำไปใช้จริงในการจัดทำระบบ สร้างนวัตกรรมขจัดไขมัน โฟกัแตก ดังแสดงในรูปที่ 3 (3) และดังแสดงในรูปที่ 4, ค-1 การมีส่วนร่วมของ ทีมวิจัยและบุคลากรปฏิบัติงานเพื่อร่วมหาวิธีแก้ไข ค-2 จัดเตรียมอุปกรณ์เพื่อเพาะเลี้ยงจุลชีพ ซึ่งประกอบด้วย การคัดแยกขยะอาหารจากในครัวเพื่อทำการเลี้ยงจุลชีพและทำการออกแบบเครื่องมือ (Tools) ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นและ



รูปที่ 4 ผลการดำเนินการในแต่ละขั้นตอน แบ่งได้ 5 หมวดดังนี้ หมวด (ก) ขั้นตอนตรวจสอบและเก็บตัวอย่างภายในและนอกห้องครัว หมวด (ข) ขั้นตอนปุ๋ยคูลและสอถามปัญหา หมวด (ค) ดำเนินการจัดเตรียมอุปกรณ์ หมวด (ง) ดำเนินการใช้งาน FOGIATK ตามที่ได้ผ่านการเรียนรู้ร่วมกัน และหมวด (จ) เก็บตัวอย่างน้ำเสียและเฝ้าสังเกตหลังใช้งาน FOGIATK

การติดตั้งเพื่อใช้ในการจัดทำระบบโปกีแทค เป็นการสร้างสัญลักษณ์ เพื่อ Simplified ข้อมูล ให้เหมาะสมกับเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานหน้างาน

3.2.4 การดำเนินการและการประเมินผลการปฏิบัติการ เป็นการปฏิบัติตามแนวทางที่ได้เลือกไว้และดำเนินการตามลำดับขั้นตอนสู่การเปลี่ยนแปลง เจ้าหน้าที่แผนกครัวของห้องอาหารฯ ได้เข้าร่วมเรียนรู้ระบบการจัดการตามนวัตกรรมขจัดไขมันโปกีแทคมีการนำมาใช้งานจริงในระบบท่ออย่างต่อเนื่องตามขั้นตอน (Protocol) และ

ติดตั้งเครื่องมือ (Tools) ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการจัดทำระบบโปกีแทค เป็นการสร้างสัญลักษณ์ให้เป็นการสื่อสารโดยง่ายและบอกข้อมูลให้เหมาะสมกับเจ้าหน้าที่หน้างาน ดังแสดงในรูปที่ 4 (ง-1 ถึง ง-2) การฝึกปฏิบัติการตามระบบโปกีแทค ดังแสดงในรูปที่ 4 (ง-3 ถึง ง-5) ซึ่งส่งผลให้สามารถปรับเปลี่ยนขั้นตอนการทำงานให้มีความรู้ความเข้าใจในการดูแลระบบมากยิ่งขึ้น และปรับปรุงคุณภาพชีวิตของผู้ปฏิบัติงานให้มีสุขภาวะดีขึ้น สามารถทนต่อและหลังของเจ้าหน้าที่ซึ่งมีมีช่วงอายุก้าวเข้าสู่

ผู้สูงวัยได้ ตามตารางที่ 1 ได้แสดงผลสำรวจความพึงพอใจกับกลุ่มตัวอย่าง ($n = 17$) พบว่า เมื่อก่อนใช้ FOGiATK ผู้ปฏิบัติงานมีความพึงพอใจในระดับน้อยทั้งด้านมลภาวะ-มลพิษ กระบวนการทำงาน และความพึงพอใจโดยรวมมีค่าเฉลี่ย $\pm$ S.D. 1.61 ± 0.40 , 1.59 ± 0.32 และ 1.60 ± 0.54 ตามลำดับ บ่งบอกถึงกระบวนการทำงานแบบเดิมไม่ส่งเสริมการทำงานและสร้างอุปสรรคในการทำงาน อีกทั้งกระบวนการทำงานแบบเดิมไม่สามารถแก้ปัญหา มลภาวะมลพิษที่เกิดขึ้นกับหน่วยงานได้ เปรียบเทียบกับหลังใช้ FOGiATK ผู้ปฏิบัติงานมีความพึงพอใจในระดับมากในทุกด้านมีค่าเฉลี่ย 4.02 ± 0.40 , 4.35 ± 0.32 และ 4.19 ± 0.61 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่านวัตกรรมขจัดไขมัน FOGiATK ช่วยตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3.2.5 การเรียนรู้อย่างเป็นระบบ

เป็นผลให้ทีมงานสามารถสลายกากไขมันขอบผนังท่อ ถัง และบ่อดักไขมันภายใน 4 เดือนมีปริมาณกากไขมันหลุดออกมารวมกว่า 200 กิโลกรัมและยังป้องกันการเกิดก้อนไขมันใหม่ (รูปที่ 3 (5) และรูปที่ 4, จ-2 จ-3) และทำให้มาตรฐานน้ำทิ้งอาคารของสถาบันฯ เข้าใกล้เกณฑ์มาตรฐานยิ่งขึ้น (รูปที่ 4, จ-1) เมื่อเปรียบเทียบกับผลการตรวจคุณภาพน้ำทิ้งก่อนเริ่มโครงการ (รูปที่ 4, ก-3) ดังรายละเอียดแสดงในตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าคุณภาพน้ำทิ้งตามเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง อาคารประเภท ข [1] ของระบบบำบัดไขมันแบบดั้งเดิม เกินเกณฑ์มาตรฐานทุกพารามิเตอร์ ซึ่งมีค่าการปนเปื้อนของ FOG ในปริมาณที่สูง เมื่อมีการใช้งานระบบไฟฟ้าแก๊สอย่างต่อเนื่องและทำการตรวจคุณภาพน้ำทิ้งหลังจากใช้ไฟฟ้าแก๊สนั้นสามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำได้มากถึง 4 พารามิเตอร์ ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ค่าสารที่ละลายได้ทั้งหมด ค่าไนโตรเจน และค่าซิลิโคไซด์ ในขณะที่ค่าพารามิเตอร์อื่นมีการปรับปรุงขึ้นได้อย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าเมื่อคณะทำงานของโครงการเข้าไปดำเนินการแก้ไขปัญหาน้ำทิ้งอาคารพบว่าค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่แสดงถึงคุณภาพของน้ำทิ้งได้มีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมหลายเท่าตัว โดยดูจากค่าในวงเล็บ เช่น ค่าบีโอดีพบว่า ในช่วงเริ่มต้นสำรวจ

ตารางที่ 1 การสะท้อนกลับและการเลือกปฏิบัติ

	รายการ	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ระดับความพึงพอใจ
ก่อน	มลภาวะ-มลพิษ	1.61	0.40	น้อย
	1.1 กลิ่น (ส่งกลิ่นเหม็น)	1.88	0.78	น้อย
	1.2 ความสะอาด	1.47	0.51	น้อย
	1.3 ทักษะ (ไม่ชำนาญ)	1.47	0.51	น้อย
	กระบวนการทำงาน	1.59	0.32	น้อย
	2.1 สะดวก (การทำความสะดวก)	1.59	0.51	น้อย
	2.2 เวลา (ระหว่างทำความสะอาด)	1.35	0.49	น้อย
	2.3 การกระทบกับสุขภาพ	1.82	0.81	น้อย
	ความพึงพอใจในภาพรวม	1.60	0.54	น้อย
หลัง	มลภาวะ-มลพิษ	4.02	0.36	มาก
	1.1 กลิ่น (ส่งกลิ่นเหม็น)	4.18	0.73	มาก
	1.2 ความสะอาด	3.88	0.70	มาก
	1.3 ทักษะ (ไม่ชำนาญ)	4.00	0.79	มาก
	กระบวนการทำงาน	4.35	0.32	มาก
	2.1 สะดวก (ระหว่างทำความสะอาด)	4.41	0.71	มาก
	2.2 เวลา (ระหว่างทำความสะอาด)	4.41	0.62	มาก
	2.3 การกระทบกับสุขภาพ	4.24	0.66	มาก
	ความพึงพอใจในภาพรวม	4.19	0.61	มาก

(เดือนที่ 0) มีค่าสูงกว่ามาตรฐานที่กฎหมายกำหนดถึง 545 เท่า แต่หลังจากที่มีการใช้ FOGiATK มีผลทำให้ค่าบีโอดีที่สูงกว่ามาตรฐานเหลือเพียง 14.47 เท่า และ 20.97 เท่า ในเดือนที่ 4 และเดือนที่ 8 ตามลำดับ ซึ่งส่งผลในทางที่ดีขึ้นมากกว่าที่เป็นอยู่เดิมถึง 26-37 เท่าตัว และค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ เช่น สารแขวนลอยทั้งหมด สารที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณน้ำมันและไขมัน ไนโตรเจนในรูปที่ เค เอ็น ซิลิโคไซด์และตะกอนหนักมีแนวโน้มไปในทิศทางที่ดีขึ้นกว่าเดิมหลายเท่าตัวเช่นกัน นอกจากนี้ในส่วนของคุณลักษณะปรากฏก็มีลักษณะที่ดีขึ้น ไม่เกาะตัวเป็นตะกอนไขมันซึ่งเป็นสาเหตุของการอุดตัน ไม่ระบายอันเป็นเหตุให้

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์มาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง อาคารประเภท ข เปรียบเทียบกับผลการตรวจน้ำทิ้ง ก่อน (เดือนที่ 0) และ หลังใช้นวัตกรรมขจัดไขมัน FOGiATK ไปแล้วในช่วยเดือนที่ 4 และเดือนที่ 8

พารามิเตอร์ (Parameters)	หน่วย (Unit)	ค่ามาตรฐาน อาคารประเภท ข	ก่อนใช้ FOGiATK®	หลังใช้ FOGiATK®	
			เดือนที่ 0	เดือนที่ 4	เดือนที่ 8
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	–	5.0–9.0 ^a	4.9 ^b (0.98)	5.8 ^d (1)	5.4 ^d (1)
บีโอดี (BOD)	mg/L	< 30 ^a	16,350 ^b (545.00)	434 ^c (14.47)	629 ^c (20.97)
สารแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solid)	mg/L	< 40 ^a	17,530 ^b (438.25)	224 ^c (5.60)	168 ^c (4.20)
สารที่ละลายได้ทั้งหมด (Total Dissolved Solids)	mg/L	500 ^a	1,108 ^b (2.22)	452 ^d (0.90)	518 ^c (1.04)
ปริมาณน้ำมันและไขมัน (Oil and Grease)	mg/L	< 20 ^a	18,530 ^b (926.50)	106 ^c (5.30)	89 ^c (4.45)
ไนโตรเจนในรูป ที เค เอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen)	mg/L as N	< 35 ^a	259 ^b (7.40)	280 ^b (8.00)	21.4 ^d (0.61)
ซัลไฟด์ (Sulfide)	mg/L as H ₂ S	< 1.0 ^a	19.29 ^b (19.29)	0.42 ^d (1)	1.29 (1.29)
ตะกอนหนัก (Settleable Solids)	mg/L	< 0.5 ^a	6 ^b (12)	1 ^c (2)	0.5 ^d (1)
ลักษณะปรากฏ (Sample Condition)	–	–	เหลืองจากไขมัน มีตะกอนไขมัน	ขาวขุ่น	ขาวขุ่น

หมายเหตุ: a = เกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งอาคาร ประเภท ข ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมราชกิจจานุเบกษา 29 ธันวาคม 2548 เล่ม 122 ตอนที่ 125 ง [1]

b = ผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้ง ที่เกินเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งอาคาร

c = ผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้ง ที่มีพัฒนาการให้เข้าใกล้การผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

d = ผลวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้ง ที่ผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งอาคาร

ค่าในวงเล็บ = จำนวนเท่าของค่าจริงที่วัดได้เทียบกับค่ามาตรฐานตามกฎหมาย

เกิดมลพิษทางน้ำค่า FOG ดูจากตารางจะเห็นได้ว่ายังไม่ผ่าน มาตรฐานของคุณภาพ แต่ค่า FOG หลังจากใช้ FOGiATK สามารถลดระดับลงมาได้อย่างมาก

งานวิจัยชิ้นนี้ได้ใช้เครื่องมือ PAR เพื่อนำองค์ความรู้ด้าน จุลินทรีย์มาประยุกต์ใช้ในกระบวนการจัดการน้ำเสียจากครัว ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่มีการใช้ Biorefinery จากน้ำเสียโดย Photosynthetic Bacteria ซึ่งสามารถย่อยสลายโมเลกุลใหญ่ ให้เป็นสารโมเลกุลเล็ก

งานวิจัยได้ใช้เครื่องมือ PAR มาประยุกต์ใช้ใน กระบวนการจัดการน้ำเสียจากครัว ซึ่งสามารถย่อยสลาย โมเลกุลใหญ่ (Macromolecule) กลุ่มไขมัน โปรตีน ให้เป็นสาร โมเลกุลเล็ก เช่น กรดไขมันอิสระ กรดอะมิโน และ สารประกอบ อื่น ๆ เพื่อผลิตสารสำคัญที่มีมูลค่าสูง ได้แก่ Single-cell Protein, Coenzyme Q10 เป็นต้น [4–[6], [8], [9], [18], [19] ตลอดจนได้ผลพลอยได้เป็นน้ำที่ผ่านการบำบัดพร้อมปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม

Photosynthetic Bacteria หรือ แบคทีเรียสังเคราะห์แสง จัดเป็นกลุ่ม Photo-anaerobic Model (PANM) มีรูปแบบการเจริญได้ 2 ลักษณะ Photoheterotrophy การเจริญเติบโตแบบสังเคราะห์แสงจะใช้พลังงานแสงสำหรับการให้พลังงานเพื่อมาสังเคราะห์สารอินทรีย์จากสารอินทรีย์ด้วยกัน ในการเจริญเติบโต และ Chemoheterotrophy จะใช้พลังงานจากการออกซิโดสารอาหารเพื่อให้เกิดพลังงานเพื่อนำมาสังเคราะห์ที่ใช้ในการเจริญเติบโต นับได้ว่าเป็นกลไกสำคัญที่นำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียแบบสะสมซึ่งมีความสามารถเพื่อกู้คืนสารอาหารทั้งหมดในการดำรงชีวิต อีกทั้งลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และรักษาสสมดุลพลังงานที่เป็นกลางหรือเป็นบวกผ่านกลไก

ในบทความของ Puyol [20] ได้มีการทดสอบระบบ Bioreactor โดยอาศัยโมเดล PANM ในการช่วยย่อยสลายอินทรีย์วัตถุจากน้ำทิ้งชุมชน (Domestic Wastewater) ซึ่งสามารถกระตุ้นกระบวนการทางชีวเคมีให้แบคทีเรียเจริญมีจำนวนประชากรที่มากพอในสภาวะไร้อากาศและได้รับแสง (รังสี) ในการเจริญและสามารถใช้อินทรีย์วัตถุจากน้ำทิ้งเป็นอาหารในการเจริญเมื่ออยู่ในสภาวะไม่ได้รับแสง นอกเหนือจากนั้นได้มีการศึกษาศักยภาพการใช้จุลินทรีย์สังเคราะห์แสงกับน้ำเสียจากฟาร์มสุกรพบว่า PPB เป็นแพลตฟอร์มทางชีวภาพที่เป็นนวัตกรรมสำหรับการบำบัดน้ำเสียและยกระดับก๊าซชีวภาพพร้อมกันภายใต้สภาวะการย่อยสลายแบบแสง-ไร้อากาศ [21] แบคทีเรียที่มีความทนทานสูงนั้นและสามารถนำไปใช้ได้อย่างกว้างขวางกับน้ำเสียจากครัวที่มีความเข้มข้นสูง และสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ติดไฟได้ง่ายได้อย่างมีประสิทธิภาพ พร้อมทั้งยังใช้ทรัพยากรจากน้ำเสียจากครัวได้อย่างคุ้มค่า [4] การใช้ PPB ในการบำบัดน้ำเสีย เป็นการกำจัดแบบไร้อากาศสามารถช่วยให้สามารถกู้คืนพลังงานเพิ่มเติมได้ ใช้การกำจัดไนโตรเจน ผ่านการเกิดออกซิเดชันแอมโมเนียมแบบไร้อากาศ ซึ่งเป็นทางเลือกหนึ่งในการกำจัด COD, N และ P พร้อมกันและไม่เป็นสิ่งแวดล้อม [22] ต้องทำงานเพิ่มเติมเพื่อปรับให้เครื่องเพาะเลี้ยงหรือไบโอรีแอคเตอร์ให้เหมาะสมที่สุดและกำหนดต้นทุนการดำเนินงานของกระบวนการนี้

ผลงานชิ้นนี้เป็นงานวิจัยที่ได้นำองค์ความรู้จากโครงการยกระดับเศรษฐกิจและสังคมรายตำบลแบบบูรณาการ (1 ตำบล 1 มหาวิทยาลัย) แขวงบางชัน กรุงเทพมหานคร ที่ได้ดำเนินการสำเร็จเมื่อปีงบประมาณ พ.ศ. 2564 [23] มาต่อยอดภายในหน่วยงานสถาบันค้นคว้าพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร โดยการจัดทำโครงการ “การจัดทำระบบเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงและการจัดการบ่อดักไขมัน” ปีงบประมาณ พ.ศ. 2566 เพื่อแก้ปัญหาหนี้เสียของครัวเรือนที่ยังไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งอาคาร [1-3]

การใช้น้ำในกิจกรรมการเตรียมประกอบ ประงอาหารเป็นจำนวนมาก ทำให้ผลิตน้ำเสียจำนวนมาก และต้องมีการจัดการให้ถูกสุขลักษณะ เนื่องจากน้ำเสียที่เกิดขึ้นประกอบด้วยน้ำมันและไขมัน และเศษอาหารต่าง ๆ ซึ่งหากปล่อยระบายออกสู่ท่อระบายโดยตรงอาจ ก่อให้เกิดการอุดตันท่อน้ำทิ้ง จะขัดขวางการเติมออกซิเจนในแหล่งน้ำซึ่งจะทำให้เกิดการเน่าเสียและเกิดมลภาวะทางกลิ่นเหม็นได้ ดังนั้นจึงมีระบบดักไขมันเกิดขึ้น แต่ระบบดักไขมันเดิมที่นั้นมีหน้าที่กรองไขมันไว้ด้านบนและปล่อยน้ำข้างใต้ไปอีกฝั่งหนึ่งแต่น้ำนั้นยังมีคราบไขมันปนอยู่ทำให้ช่วงที่น้ำไหลผ่านตัวถังหรือท่อจะมีคราบไขมันเกาะติดค่อย ๆ สะสมกันจนใหญ่ขึ้น ทำให้น้ำไหลผ่านไม่สะดวก ดังนั้นจึงต้องมีการดำเนินการล้างตัวถังและท่อที่น้ำผ่านให้กลุ่มก้อนไขมันหลุดออกมาทุก ๆ ปี ซึ่งวิธีการทำความสะอาดนั้นจะใช้วิธีทางกายภาพ

การใช้วิธีทางกายภาพดั้งเดิม หรือวิธีจุลชีพสำเร็จรูปในท้องตลาดต้องมีค่าใช้จ่ายอย่างต่อเนื่องในทุกปี ดังนั้นสำหรับจุลินทรีย์นี้มีต้นทุนที่ลงทุนเพียงครั้งเดียว ที่เหลือเป็นการเติมน้ำใส่ ซึ่งสามารถใช้ได้ตลอดไปทราบเท่าที่ยังทำตามวิธีการอยู่ไขมันที่ถูกจุลินทรีย์นี้ใส่เข้าไปจะไม่จับตัวเป็นก้อนกลายเป็นของเหลวไหลไปกับน้ำต่อไม่ทำให้เกิดอุดตันท่อ ซึ่งให้ผลใกล้เคียงกับการใช้สำหรับห้องครัว ที่มีบ่อดักไขมันขนาดเล็กก็สามารถใช้ได้เหมือนกัน แทนที่จะทำความสะอาดหรือคอยดักไขมันออกตลอดทุก ๆ วันเพราะต้องกลัวว่าไขมันที่ลอยตัวอยู่จะจับตัวกันแข็งเป็นก้อนทำให้ดักหรือทำความสะอาดได้ลำบาก การใช้จุลินทรีย์ที่ทำให้ไขมันไม่เกาะตัวกันได้อีก

4. สรุป

FOGiATK ทำให้การทำความสะอาดได้ง่ายขึ้น และไม่ต้องคอยดักทุกวัน ก็เปลี่ยนเป็นอาทิตย์ละ 2 วัน อีกทั้งการทำความสะอาดน้อยลงก็เป็นการช่วยให้บุคคลสัมผัสกับจุดที่สกปรกน้อยลงด้วยเพื่อลดโอกาสสัมผัสกับเชื้อโรค เมื่อใช้นวัตกรรม FOGiATK ในระยะเวลา 5 ปี สามารถทำให้หน่วยงานประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียได้ถึง 4 เท่าเทียบกับวิธีทางกายภาพ และ 12 เท่าเทียบกับจุลชีพสำเร็จรูปในท้องตลาดหรือคิดเป็นเงินประหยัดได้ 144,100 และ 529,800 บาท ตามลำดับ และยังเป็นไปตามทางด้านกฎหมายยังสอดคล้องกับระบบ ESG ซึ่งย่อมาจาก Environment, Social, และ Governance ปัจจุบัน ESG เป็นสิ่งที่จำเป็นต้องทำ และให้ความสำคัญกับการดำเนินกิจกรรมองค์กรไม่ว่าจะเป็น ภาครัฐหรือเอกชน ต้องคำนึงถึงความรับผิดชอบต่อ 3 ด้านหลัก คือ สิ่งแวดล้อม สังคม การกำกับดูแลองค์กร โดย Environment เป็นหลักเกณฑ์ที่คำนึงถึงในด้านความรับผิดชอบต่อบริษัทต่อสิ่งแวดล้อม Social เป็นหลักเกณฑ์ที่ใช้วัดว่าองค์กรมีการจัดการความสัมพันธ์และมีการสื่อสารกับลูกค้า (Suppliers) ลูกค้า หรือผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (Stakeholders) อย่างไร และ Governance เป็นหลักเกณฑ์ที่ใช้วัดว่าองค์กรมีการจัดการบริการความสัมพันธ์ในเชิงการกำกับดูแลอย่างไร เพื่อการบริหารจัดการที่มีประสิทธิภาพโปร่งใส ตรวจสอบได้ และคำนึงถึงผู้มีส่วนได้เสีย ทั้งนี้แนวคิด ESG ช่วยสร้างความน่าเชื่อถือให้แก่องค์กร ด้วยการสะท้อนบทบาทความรับผิดชอบต่อองค์กรที่มีต่อผู้มีส่วนได้เสีย และการนำเสนอผลการดำเนินงานในการพัฒนาองค์กรให้เติบโตอย่างยั่งยืนโดยนวัตกรรมขจัดไขมันโพกเทคที่เราใช้ สามารถดำเนินการได้ครบตามที่ ESG Matrix ดังกล่าวมาทั้งหมด

5. กิตติกรรมประกาศ

ได้รับการสนับสนุนทุนจาก สถาบันคั่นคว่ำและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (หมวดผลงานวิจัยเพื่อสร้างองค์ความรู้) และลิขสิทธิ์การใช้โปรแกรมโดยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

- [1] Notification of the Ministry of Natural Resources and Environment, under Enhancement and Conservation of National Environmental Quality Act, B.E. 2548, 2005 (in Thai).
- [2] Ministerial Regulation Food Selling Place Hygiene, B.E. 2561, 2018 (in Thai).
- [3] Notification of the Ministry of Natural Resources and Environment Prescribing Standard for Controlling Wastewater from Small Establishments Manufacturing or Providing Some Types of Products or Services, B.E. 2564, 2021 (in Thai).
- [4] Z. Wang and Y. Hong, "Microbial-based treatment of kitchen waste and kitchen wastewater: State-of-the-art progress and emerging research prospects related to microalgae and bacteria," *Current Pollution Reports*, vol. 10, pp. 1–33, 2024.
- [5] K. Cao, R. Zhi, and G. Zhang, "Photosynthetic bacteria wastewater treatment with the production of value-added products: A review," *Bioresource Technology*, vol. 299, article no. 122648, 2020.
- [6] J. Chen, J. Wei, C. Ma, Z. Yang, Z. Li, X. Yang, M. Wang, H. Zhang, J. Hu, and C. Zhang, "Photosynthetic bacteria-based technology is a potential alternative to meet sustainable wastewater treatment requirement?," *Environment International*, vol. 137, article no. 105417, Apr. 2020.
- [7] S. Dalia, B. Deirdre, and D. Pay, "Social perspectives on the effective management of wastewater," in *Physico-Chemical Wastewater Treatment and Resource Recovery*, Rijeka:

- IntechOpen, 2017, Ch. 12.
- [8] C. A. Sepúlveda-Muñoz, I. de Godos, and R. Muñoz, "Wastewater treatment using photosynthetic microorganisms," *Symmetry*, vol. 15, no. 2, pp. 525, 2023.
- [9] J. A. Silva, "Wastewater treatment and reuse for sustainable water resources management: a systematic literature review," *Sustainability*, vol. 15, no. 14, 2023.
- [10] O. Sawatdichaikul, S. Nakhun, and P. Kudwongsa, "Systematic culturing photosynthetic bacteria using protein food waste and its utilization on eliminate FOG in Grease Trap Management," Thailand. Patent Appl. 2303001713, Jun. 26, 2023 (in Thai).
- [11] A. T. Ubando, C. B. Felix, and W. H. Chen, "Biorefineries in circular bioeconomy: A comprehensive review," *Bioresour Technol*, vol. 299, article no. 122585, Mar. 2020.
- [12] H. Lu, G. Zhang, Z. Zheng, F. Meng, T. Du, and S. He, "Bio-conversion of photosynthetic bacteria from non-toxic wastewater to realize wastewater treatment and bioresource recovery: A review," *Bioresource Technology*, vol. 278, pp. 383–399, 2019.
- [13] D. M. Ehde, S. T. Wegener, R. M. Williams, P. L. Ephraim, J. E. Stevenson, P. J. Isenberg, and E. J. MacKenzie, "Developing, testing, and sustaining rehabilitation interventions via participatory action research," *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, vol. 94, no. 1, pp. S30–42, 2013.
- [14] C. Fogg, E. Lanning, J. Shoebridge, J. Longstaff, R. De Vos, K. Dawson-Taylor, A. Glanville-Hearson, D. Carpenter, S. Court, T. Brown, E. Heiden, and A. Chauhan, "The role of participatory action research in developing new models of healthcare: perspectives from participants and recommendations for ethical review and governance oversight," *Ethics, Medicine and Public Health*, vol. 24, article no. 100833, 2022.
- [15] M. C. Kinpaisby-Hill, "Participatory action research," in *International Encyclopedia of Human Geography*, Amsterdam: Elsevier, 2020, pp. 9–16.
- [16] C. Sattler, J. Rommel, C. Chen, M. García-Llorente, I. Gutiérrez-Briceño, K. Prager, M. F. Reyes, B. Schröter, C. Schulze, L. G. J. van Bussel, L. Loft, B. Matzdorf, and E. Kelemen, "Participatory research in times of COVID-19 and beyond: Adjusting your methodological toolkits," *One Earth*, vol. 5, no. 1, pp. 62–73, 2022.
- [17] T. Tanhakorn and P. Pasunon, "Participatory action research for creative entrepreneurship development," *Asia Social Issues*, vol. 11, no. 2, pp. 45–76, 2018 (in Thai).
- [18] H. Lu, X. Wang, S. Hu, T. Han, S. He, G. Zhang, M. He, and X. Lin, "Bioeffect of static magnetic field on photosynthetic bacteria: Evaluation of bioresources production and wastewater treatment efficiency," *Water Environment Research*, vol. 92, no. 8, pp. 1131–1141, 2020.
- [19] X. Wang, H. Lu, and G. Zhang, "Comprehensive light strategy for regulating photosynthetic bacteria in wastewater treatment systems for single-cell protein production," *Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, vol. 40, no. 11, pp. 227–237, 2024.



- [20] D. Puyol, E. M. Barry, T. Hülsen, and D. J. Batstone, "A mechanistic model for anaerobic phototrophs in domestic wastewater applications: Photo-anaerobic model (PANM)," *Water Research*, vol. 116, pp. 241–253, 2017.
- [21] D. Marín, E. Posadas, D. García, D. Puyol, R. Lebrero, and R. Muñoz, "Assessing the potential of purple phototrophic bacteria for the simultaneous treatment of piggery wastewater and upgrading of biogas," *Bioresource Technology*, vol. 281, pp. 10–17, 2019.
- [22] T. Hülsen, E. M. Barry, Y. Lu, D. Puyol, J. Keller, and D. J. Batstone, "Domestic wastewater treatment with purple phototrophic bacteria using a novel continuous photo anaerobic membrane bioreactor," *Water Research*, vol. 100, pp. 486–495, 2016.
- [23] O. Sawatdichaikul, T. Pantoa, and J. Saengprakai, "Full report of One Tambon One University Program (University to Tambon) Project to Bang Chan District, Khlong Samwa, Bangkok," Bangkok, Thailand, 2021.