บทความวิจัย

การวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม (PAR) นวัตกรรมขจัดไขมัน FOGiATK ในพื้นที่ต้นแบบ

สมภพ นาขวัญ
ฝ่ายผลิตและจำหน่าย สถาบันค้นคว้าผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
อรไท สวัสดิชัยกุล*
ฝ่ายโภชนาการและสุขภาพ สถาบันค้นคว้าผลิตภัณฑ์อาหาร 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
© 2024 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

ผลงานนวัตกรรมขจัดไขมัน FOGiATK ได้ดำเนินการด้วยระเบียบวิธี การวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม (PAR) เป็นกระบวนการที่ใช้ในการผลิตและการกระจายความรู้เพื่อปรับปรุงขีดความสามารถและการปฏิบัติ ทำให้สามารถปรับพฤติกรรมหรือความเคยชินให้รับกับการเปลี่ยนแปลงสภาพความเป็นจริงทางสังคมผ่านทางนักวิจัย กลุ่มผู้มีส่วนร่วมและกลุ่มผู้ที่ได้รับผลกระทบ เพื่อนำเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ในพื้นที่ต้นแบบได้จริงในสิ่งแวดล้อมต้นแบบจริงซึ่งเป็นสถานที่พื้นที่กลางแจ้ง โดยใช้เศษอาหารกลุ่มโปรตีนจากกิจการ อุตสาหกรรมอาหารแปรรูป ห้องอาหาร 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 โฟกีแทค นวัตกรรมขจัดไขมัน การวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม ไขมัน–น้ำมันและกรีส

การอ้างอิงบทความ: สมภพ นาขวัญ และ อรไท สวัสดิชัยกุล, "การวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม (PAR) นวัตกรรมขจัดไขมัน FOGiATK ในพื้นที่ต้นแบบ," *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 35, ฉบับที่ 4, หน้า 1–16, เลขที่บทความ 254-7623, ต.ค.–ธ.ค. 2568.

Research Article

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
© 2024 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. 254-7623, Oct.–Dec. 2025 (in Thai).

1. บทนำ

การดำเนินการกิจการด้านร้านอาหาร น้ำเป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการผลิตอาหารและบริการ ในแต่ละสถานประกอบการร้านอาหารการผลิตและบริการอาหารต่าง ๆ จะมีการใช้น้ำในกิจกรรมการเตรียมประกอบปรุงอาหารในปริมาณมาก ซึ่งส่งผลให้ผลิตน้ำเสียจำนวนมาก และต้องมีการจัดการให้ถูกสุขลักษณะ เนื่องจากน้ำเสียที่เกิดขึ้นประกอบด้วยน้ำมันและไขมัน และเศษอาหารต่างๆ ซึ่งหากปล่อยระบายออกสู่ท่อระบายโดยตรงอาจก่อให้เกิดการอุดตันท่อน้ำทิ้งขัดขวางการเติมออกซิเจนในแหล่งน้ำซึ่งทำให้เกิดการเน่าเสียและเกิดมลภาวะทางกลิ่นเหม็นได้ เป็นแหล่งเพาะพันธุ์สัตว์นำโรค รวมทั้งก่อให้เกิดปัญหามลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ปัญหาด้านความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อมเป็นปัญหาที่สำคัญสำหรับทุกที่ทุกหน่วยงาน ทั้งภาครัฐและภาคเอกชน ดังนั้นมาตรการต่าง ๆ เรื่องของความปลอดภัยและสิ่งแวดล้อมจึงเป็นสิ่งสำคัญ โดยเฉพาะในเรื่องของการกำจัดน้ำทิ้งที่มีไขมันปนเปื้อนสูง น้ำทิ้งของเสียจากโรงอาหาร คือ น้ำมัน กากไข และไขมัน (Fat Oil Grease; FOG) ในองค์กรขนาดกลางและขนาดใหญ่ที่มีพนักงานจำนวนมาก ซึ่งจำเป็นต้องมีการจัดการน้ำมันและไขมันอย่างถูกวิธี เช่น การติดตั้งบ่อบำบัดไขมัน เป็นต้น สำหรับมาตรการในการกำจัดน้ำทิ้งในบ่อบำบัดไขมันที่สำคัญและได้รับการยอมรับระดับประเทศ มาตรการด้านสิ่งแวดล้อมให้เป็นไปตามมาตรฐานสิ่งแวดล้อม กฎหมายและระเบียบข้อบังคับที่เกี่ยวข้องกับน้ำทิ้งและสุขาภิบาล [1]–[3] ทั่วโลกมีขยะและน้ำเสียจากครัวเรือน (Kitchen Waste and Kitchen Waste Water) เกิดขึ้นเป็นจำนวนมากทุกปี โดยมีขยะจากครัวเรือนประมาณ 1.3 พันล้านตันที่ถูกทิ้ง และคาดการณ์ว่าจะเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 2.5 พันล้านตันภายในค.ศ. 2025 นอกจากนี้ น้ำเสียจากครัวเรือนยังมีลักษณะของสารอินทรีย์มีคุณสมบัติติดไฟได้สูง เช่น น้ำมันและเซลลูโลส โดยทั่วไปมากกว่า 70% เป็นน้ำเสียและเกลือ ซึ่งแบคทีเรียหรือสาหร่ายขนาดเล็กไม่สามารถบำบัดได้ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องดำเนินมาตรการบำบัดล่วงหน้าที่มีประสิทธิภาพเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดหลังการบำบัด [4]

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

ปัญหาก้อนไขมันที่อุดตันระบบท่อต่อเชื่อมซึ่งต่อออกจากบริเวณครัวไปยังบ่อบำบัดไขมัน ซึ่งเป็นพื้นที่วิจัยต้นแบบเป็นปัญหาเรื้อรังและก่อให้เกิดอุปสรรคและส่งผลเสียต่อภาพลักษณ์ต่อองค์กรในภาพรวม การแก้ไขปัญหาโดยกระบวนการตักไขมันออกเป็นระยะไม่สามารถแก้ไขปัญหาอุดตันในระบบท่อได้ การดูแลบำรุงรักษาถังดักไขมันและบ่อดักไขมันมีความเข้าใจผิดอยู่มาก อาทิ การใช้น้ำร้อนในระบบท่อ อีกทั้งการเข้าใจว่าการบำรุงรักษาถังดักไขมันเป็นการกำจัดเฉพาะก้อนไขมันเท่านั้น ทำให้ FOG ยังคงค้างอยู่ในระบบ

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

ที่มีพื้นที่ใช้สอยรวมกันทุกชั้นของอาคารหรือกลุ่มของอาคาร ตั้งแต่ 5,000 ตารางเมตร แต่ไม่ถึง 25,000 ตารางเมตร และยังพบข้อมูลตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข เรื่อง กำหนดสถานประกอบกิจการที่ต้องจัดให้มีบ่อดักไขมัน พ.ศ. 2565 ราชกิจจานุเบกษา 26 กรกฎาคม พ.ศ. 2565 เล่ม 139 ตอนพิเศษ 174 ง [1]–[3] ได้กล่าวถึงการจัดการและบำรุงรักษาและตรวจสอบการทำงานของบ่อดักไขมัน ให้มีการนำมูลฝอยตะกอน และแนวปฏิบัติสำหรับกิจการประเภทต่าง ๆ

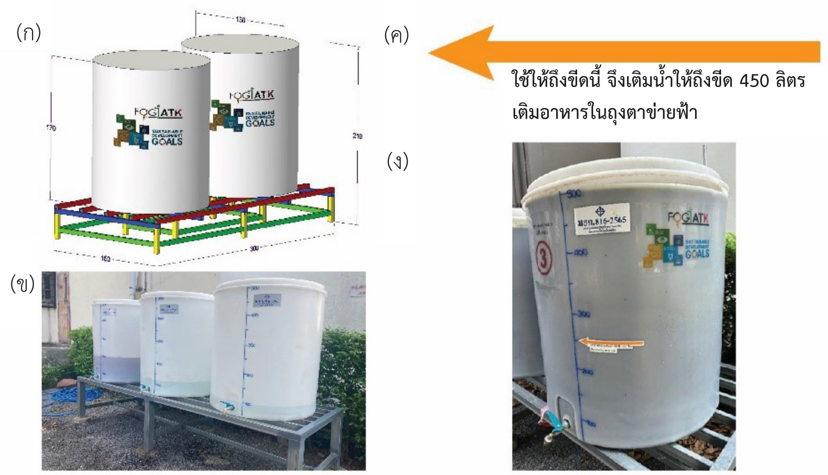
สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร เป็นสถาบันวิจัยและให้บริการตรวจสอบคุณภาพอาหาร บริการโรงงานแปรรูปต้นแบบ และบริการอาหารและจัดเลี้ยง ซึ่งมีห้องอาหารอยู่ภายในสถาบัน ฯ ด้วย ทำให้มีการปล่อยน้ำเสียออกไปเป็นจำนวนมาก ดังนั้นระบบดักไขมันจึงมีความจำเป็น แต่อย่างที่ทราบกันดี เมื่อฝนตกระบบไหลของน้ำนั้นค่อนข้างไม่สะดวกทำให้ระบบบำบัดอุดตันทำให้ส่งกลิ่นเหม็นเน่าเสีย อีกทั้งสภาพฝนตกทำให้คนงานไม่สามารถออกไปตักเก็บไขมันทิ้งได้ และยังทำให้ไขมันที่ระบายออกจากห้องครัวเย็นตัวลงอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการอุดตันภายในระบบและล้นในที่สุดซึ่งเป็นปัญหาทุกครั้งที่ฝนตกเสมอ

การสร้างนวัตกรรมกระบวนการ เป็นเครื่องมือที่ส่งเสริมให้ปรับปรุงการทำงานให้ง่ายขึ้น ประหยัดเวลา และป้องกันการบาดเจ็บของเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานจะส่งผลให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งที่สามารถส่งเสริมการพัฒนาตามหลักเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy; CE) ตามนโยบายการพัฒนาเศรษฐกิจแบบองค์รวม (Bioeconomy Circular Economy Green Economy; BCG) เป็นที่จับตามองเพื่อสนับสนุนเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (SDGs)

การวิจัยชิ้นนี้ได้ดำเนินการทั้งในส่วนของโครงสร้างอุปกรณ์และจัดทำระบบการจัดการซึ่งสัมพันธ์กับการปรับพฤติกรรมเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงาน ในสถานที่สิ่งแวดล้อมต้นแบบจริง โดยใช้แสงแดดเป็นแหล่งพลังงาน และได้นำขยะอาหารจากกิจการร้านอาหารมาใช้ประโยชน์ เป็นอาหารในระบบการเพาะเลี้ยงจุลชีพ ด้วยเทคโนโลยีชีวภาพในสภาวะไร้อากาศ (Anaerobic Bacteria) กลุ่มแบคทีเรียสังเคราะห์แสง (Photosynthetic Bacteria; PSB, Phototrophic Bacteria; PPB) และนำจุลชีพที่เลี้ยงได้มาใช้ย่อยสลาย FOG กากโปรตีน คาร์โบไฮเดรต และตะกอนสารอินทรีย์อื่น ๆ ในถังดักไขมัน บ่อดักไขมัน หรือ บ่อบำบัดไขมัน ซึ่งอยู่ในระบบท่อที่มีอากาศน้อย จุลชีพกลุ่มนี้จะเจริญได้ดี [5]–[9] ประยุกต์ใช้ในระบบบำบัดไขมันที่ไม่มีการควบคุมปริมาณของเสียนำเข้าได้ นวัตกรรมขจัดไขมัน FOGiATK (โฟกีแทค) [10] นั้นสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายที่สูญเสียไปในแต่ละปี (Sunk Cost) ให้สามารถเลี้ยงจุลชีพไว้ใช้เองได้ในหน่วยงานโดยใช้เศษอาหารกลุ่มโปรตีนเป็นอาหารเลี้ยงเชื้อเพื่อใช้ประโยชน์ในการบำบัดไขมันในบ่อดักไขมันของหน่วยงาน โดยเปรียบเทียบกับวิธีเดิมทางหน่วยงานใช้วิธีกำจัดไขมันอุดตันในระบบทางกายภาพการทะลวงท่อ มีค่าใช้จ่าย 38,420 บาท/ปี และไม่สามารถกำจัดไขมันที่แข็งแน่นได้ ยังก่อให้เกิดการอุดตันและมลพิษทางกลิ่นและทัศนียภาพอย่างรุนแรง

ต่อมาได้มีแนวคิดใช้จุลินทรีย์ย่อยบำบัดไขมันสำเร็จรูปชนิดผงจากเอกชนมีค่าใช้จ่าย 115,560 บาท/ปี ต่อระบบการบำบัดไขมันในขนาดรวม 6,400 ลิตร ซึ่งประกอบด้วยบ่อบำบัดภายนอกอาคาร (ZAT) ขนาด 6,000 ลิตร และถังใต้อ่างล้างจานขนาด 40 ลิตร × 10 ถัง เพื่อเป็นการใช้ทรัพยากรที่เป็นประโยชน์สูงสุดและสอดคล้องกับหลักการเศรษฐกิจหมุนเวียน และพัฒนาและเร่งแก้ไขปัญหาด้านนิเวศน์ มลพิษ และการยกระดับการใช้ทรัพยากรและวัสดุเหลือใช้ เพื่อการผลิตและการบริโภคอย่างยั่งยืนในชุมชนและพื้นที่ในภาคเมืองและชุมชน รวมทั้งยกระดับการเป็นสังคมคาร์บอนต่ำ ตามหลักการ Biorefinery [11]

PPB เป็นกลุ่มจุลินทรีย์เฉพาะตัวที่สามารถดูดซับรังสีที่มีความยาวคลื่นในช่วงสเปกตรัมอินฟราเรดใกล้ (NIR) ได้ PPB แสดงช่องสเปกตรัมพิเศษในหมู่จุลินทรีย์สังเคราะห์แสง เนื่องมาจากการมีอยู่ของแบคทีเรียคลอโรฟิลล์ a และ b ซึ่งแสดงการดูดกลืนสูงสุดที่ 804 นาโนเมตรและ 1,040 นาโนเมตร ตามลำดับ [8] ประวัติความเป็นมาของเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียและการกู้คืนทรัพยากรของ PPB แบ่งออกเป็น 3 ระยะ



รูปที่ 1 ชุดอุปกรณ์และระบบการเลี้ยงเชื้อจุลินทรียสังเคราะห์แสงที่เตรียมไว้

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 ในช่วงเวลานี้นักวิทยาศาสตร์ให้ความสนใจที่นำการบำบัดน้ำเสีย PPB มาใช้ในเชิงอุตสาหกรรม และริเริ่มการสร้างผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่มจากน้ำเสียอีกที่สามารถกู้คืนจากกลไกการย่อยสลายสารขยะหรือการย่อยสลายโมเลกุลขนาดใหญ่ 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 ½ นิ้ว ข้อต่อลด PVC 1 นิ้ว*4 หุน ขนาด ½ นิ้ว ข) ฐานเหล็กรองถัง – เหล็กกล่องกัลวาไนซ์ ขนาด 2×1, 2×2 และ 3×3 นิ้ว ความหนา 1.6 มิลลิเมตร เพื่อทนตอนการเกิดสนิมและคำนวณโครงสร้างเพื่อสามารถใช้ได้ระยะยาว 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) เป็นกระบวนการที่ใช้ในการผลิตและการกระจายความรู้เพื่อปรับปรุงขีดความสามารถและการปฏิบัติ ทำให้สามารถปรับพฤติกรรมหรือความเคยชินให้รับกับการเปลี่ยนแปลงสภาพความเป็นจริงทางสังคมผ่านทางนักวิจัย 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 ของสถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารผ่านเครื่องมือ 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 เพื่อเสนอวิธีการแก้ไขปัญหาในลำดับถัดไป

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 เป็นที่เรียบร้อย ได้นำแนวทางที่ได้เลือกไว้มาประยุกต์ใช้และดำเนินการตามลำดับขั้นตอนสู่การเปลี่ยนแปลง

2.3 การเก็บตัวอย่างน้ำเสีย เพื่อส่งตรวจตามเกณฑ์มาตรฐาน

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

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

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

3. ผลการทดลอง

ผลการปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม (PAR) ทางนักวิจัย กลุ่มผู้มีส่วนร่วมและกลุ่มผู้ที่ได้รับผลกระทบในสถานที่ใช้ประโยชน์ต้นแบบได้ทำการทดสอบระดับความพร้อมทางสังคม (SRL) และมี การปรับปรุงกระบวนการดำเนินงานให้บุคคลทั่วไป โดยใช้ภาษาและเครื่องมือสื่อสารอย่างง่ายให้สามารถรับการถ่ายทอดการดูแลเทคโนโลยีชีวภาพได้อย่างง่าย ซึ่งผ่านกลไกการทำเรื่องที่ยุ่งยากซับซ้อนให้เป็นเรื่องที่เข้าใจง่าย (Simplification) ก่อนการถ่ายทอด ทำให้สามารถควบคุมกระบวนการจัดการของเสีย กลุ่มขยะอาหารโปรตีนให้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้ (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 รบกวนการทำงานหลัก (ปรุงอาหารในครัว) น้อยที่สุด และลดภาระการดูแลระบบบำบัดไขมันภายในอาคารเข้าเจ้าหน้าที่ปรุงอาหารในครัว ซึ่งมีอายุมากได้เป็นอย่างดี สามารถลดค่าใช้จ่ายในการจ้างเหมาเอกชนเพื่อทำความสะอาดระบบท่อและระบบบำบัดไขมันภายในอาคารได้ ป้องกันการเกิดการอุดตันของกากไขมันและกากตะกอนภายในระบบท่อและระบบบำบัดไขมันทั้งในอาคาร (ห้องครัว) และภายนอกอาคารได้

3.1 ชุดอุปกรณ์เลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์สังเคราะห์แสง (Hardware)

นำชุดอุปกรณ์และระบบการเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงที่เตรียมไว้ดังภาพ 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 รบกวนการทำงานหลัก (ปรุงอาหารในครัว) น้อยที่สุด และลดภาระการดูแลระบบบำบัดไขมันภายในอาคารเข้าเจ้าหน้าที่ปรุงอาหารในครัวซึ่งมีอายุมากได้เป็นอย่างดี สามารถลดค่าใช้จ่ายในการจ้างเหมาเอกชนเพื่อทำความสะอาดระบบท่อและระบบบำบัดไขมันภายในอาคาร ได้ ป้องกันการเกิดการอุดตันของกากไขมันและกากตะกอนภายในระบบท่อและระบบบำบัดไขมันทั้งในอาคาร (ห้องครัว) และภายนอกอาคารได้ ซึ่งผลการวิจัยนี้ได้สอดคล้องกับ SDGs ข้อ 11.6) การจัดการขยะมูลฝอยและของเสียอื่น ๆ 14.1) ป้องกันและลดมลพิษ 15) ระบบนิเวศบนบก 17) ความร่วมมือเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน เป็นผลพลอยได้

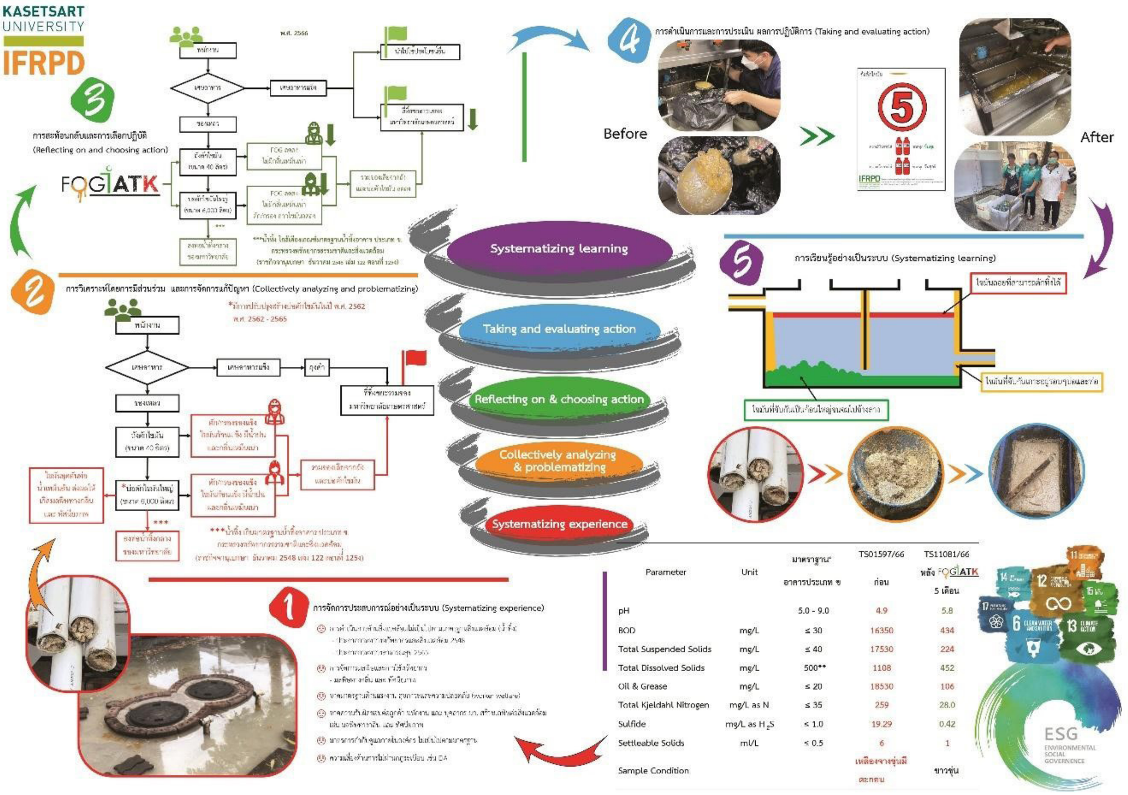
3.2.1 การจัดการประสบการณ์อย่างเป็นระบบ

ทบทวนแนวปฏิบัติและแบ่งปันข้อมูลร่วมกัน เหตุการณ์หรือประสบการณ์ที่ผ่านมาและ มีความเกี่ยวข้องกับประเด็นปัญหา ทีมงานโฟกีแทคได้ทบทวนเหตุการณ์พบปัญหาเชิงระบบ และเมื่อคำนึงถึงเกณฑ์ประเมินตาม ESG พบว่าขาดมาตรการกำกับดูแลขององค์กร (Governance) ขาดมาตรฐานด้านแรงงานและสุขภาวะความปลอดภัย (Social) และ ไม่คำนึงถึงมาตรฐานด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental) การประเมินสถานการณ์ปัญหาของถังดักไขมัน และถังดักไขมัน โดยใช้เครื่องมือที่ใช้ในการได้มาซึ่งข้อมูลผ่านการสัมภาษณ์และการเข้าประเมินสถานการณ์ของทีมวิจัย โดยมีหัวข้อคำถาม เกี่ยวกับกฎหมายและระเบียบปฏิบัติในการจัดการเกี่ยวกับน้ำทิ้งของสถานประกอบการที่เกี่ยวข้องกับกิจการอาหาร

ในการสอบถามคณะทำงานเจ้าหน้าที่ สำนักงานเลขานุการ อาคารสถานที่ผู้มีหน้าที่ดูแล ระบบสุขาภิบาลของหน่วยงาน และผู้ปฏิบัติงานห้องอาหารสหโภชน์ เกี่ยวกับกฎหมายและระเบียบปฏิบัติในการจัดการเกี่ยวกับน้ำทิ้งของสถานประกอบการที่เกี่ยวข้องกับกิจการอาหาร ทำให้ทราบว่าการรับรู้ของเจ้าหน้าที่และผู้ปฏิบัติงานห้องอาหารสหโภชน์ ขาดความรู้และขาดการทวนสอบข้อกฎหมายที่เกี่ยวข้องให้เป็นปัจจุบัน และมีความเข้าใจผิดในแนวปฏิบัติงานให้เป็นไปตามกฎหมายที่กำหนด ดังแสดงในรูปที่ขั้นตอนที่ 1 (สีแดง) และรูปที่ 4ก (กรอบสี่เหลี่ยมสีแดง) ประกอบด้วยรูปในกรอบย่อย ก–1 การสำรวจและเก็บข้อมูลทางกายภาพภายในครัวห้องอาหารสหโภชน์ ก–2 ถังดักไขมันภายในอาคารใต้อ่างล้างจาน 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 สัมภาษณ์บุคลากรห้องอาหารสหโภชน์ และ ข-2 เครื่องมือแบบสอบถามพฤติกรรมการใช้งานและการดูแลระบบบำบัดไขมัน) ทำให้สามารถสรุปปัจจัยที่ก่อให้เกิดปัญหาและอุปสรรคต่อการใช้งานและดูแลรักษาระบบบำบัดไขมันได้ดังนี้ ด้านแนวคิดความเข้าใจและแนวปฏิบัติของบุคลากรปฏิบัติการ ไม่ได้มีนำ FOG ออกจากถังดักไขมันมีเพียงการตักเศษอาหาร (กากอาหาร) ทำให้เกิดการอุดตันและส่งกลิ่นเหม็นในระบบท่อได้ อีกทั้งเมื่อเกิดปัญหาดังกล่าวจึงมีการใช้น้ำร้อน ผงซักฟอกและน้ำยา



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

ล้างจานในการล้างครบน้ำมันออกจากท่อ แต่เมื่อน้ำมันลงไปในถังดักไขมันในครัวทำให้เกิดการอุดตันและน้ำเสียล้นออกมาจากบ่อบำบัดด้านนอกและก่อให้เกิดมลภาวะทางทัศนียภาพและกลิ่น ดังแสดงในรูปที่ 3(1) และ รูปที่ 4(ก–3, ก–4, ก–5) ด้านแนวปฏิบัติและข้อจำกัดของผู้รับจ้างเหมาทำความสะอาดระบบท่อและบ่อบำบัดไขมัน จากการทวนสอบเอกสารพัสดุทำให้เห็นว่า ผู้รับจ้างไม่สามารถทำความสะอาดผนังท่อและผนังบ่อบำบัดภายนอกอาคาร (ZAT) ขนาด 6,000 ลิตร ได้เนื่องจากเมื่อ FOG เจอกับน้ำกระด้างในน้ำทิ้งนั้นจะก่อให้เกิดปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชั่นเป็นของแข็งลักษณะคล้ายสบู่หินปูนที่ติดอยู่ที่ผนังท่อและผนังบ่อที่มีความแข็งมากเมื่อเกิดการสะสมพอกตัวมากยิ่งขึ้นอย่างเป็นประจำจะทำให้เกิดการอุดตันในที่สุด ด้านกายภาพของตำแหน่งที่ตั้งของถังดักไขมันใต้อ่างล้างภายในห้องครัว อยู่ในจุดที่ไม่สามารถเข้าถึง หรือเข้าถึงได้ยากในการทำการบำรุงรักษาถังบำบัดไขมันในครัว (รูปที่ 4, ง-5) โดยใช้วิธีการตักไขมัน น้ำมัน และกรีดไขออกโดยวิธีดั้งเดิมได้ (รูปที่ 3(4 ซ้าย)) จากการได้ข้อมูลทั้งหมดจึงสามารถสรุปรวมกระบวนการทำงานและค้นหาจุดที่เป็นปัญหาได้ดังแสดงในรูปที่ 3(2)

3.2.3 การสะท้อนกลับและการเลือกปฏิบัติ

ทีมวิจัยได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลร่วมกับเจ้าหน้าที่ปฏิบัติการหน้างาน ประมวลผลและออกแบบแนวทางการจัดการแก้ปัญหา รวมถึงออกแบบพัฒนาเครื่องมือ (ทางมนุษย์ศาสตร์และสังคมศาสตร์) เพื่อนำไปใช้จริงในการจัดทำระบบ สร้างนวัตกรรมขจัดไขมัน โฟกีแทค ดังแสดงในรูปที่ 3 (3) และดังแสดงในรูปที่ 4, ค–1 การมีส่วนร่วมของทีมวิจัยและบุคลากรปฏิบัติงานเพื่อร่วมหาวิธีแก้ไข ค–2 จัดเตรียมอุปกรณ์เพื่อเพาะเลี้ยงจุลชีพ ซึ่งประกอบด้วยการคัดแยกขยะอาหารจากในครัวเพื่อทำการเลี้ยงจุลชีพและทำการออกแบบเครื่องมือ (Tools) ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นและ

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

การติดตั้งเพื่อใช้ในการจัดทำระบบโฟกีแทค เป็นการสร้างสัญลักษณ์ เพื่อ Simplified ข้อมูล ให้เหมาะสมกับเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานหน้างาน

3.2.4 การดำเนินการและการประเมินผลการปฏิบัติการ

เป็นการปฏิบัติตามแนวทางที่ได้เลือกไว้และดำเนินการตามลำดับขั้นตอนสู่การเปลี่ยนแปลง เจ้าหน้าที่แผนกครัวของห้องอาหารฯ ได้เข้าร่วมเรียนรู้ระบบการจัดการตามนวัตกรรมขจัดไขมันโฟกีแทคมีการนำมาใช้งานจริงในระบบท่ออย่างต่อเนื่องตามขั้นตอน (Protocol) และติดตั้งเครื่องมือ (Tools) ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการจัดทำระบบโฟกีแทค เป็นการสร้างสัญลักษณ์ให้เป็นการสื่อสารโดยง่ายและบอกข้อมูลให้เหมาะสมกับเจ้าหน้าที่หน้างาน ดังแสดงในรูปที่ 4 (ง–1 ถึง ง–2) การฝึกปฏิบัติการตามระบบโฟกีแทค ดังแสดงในรูปที่ 4 (ง–3 ถึง ง–5) ซึ่งส่งผลให้สามารถปรับเปลี่ยนขั้นตอนการทำงานให้มีความรู้ความเข้าใจในการดูแลระบบมากยิ่งขึ้น และปรับปรุงคุณภาพชีวิตของผู้ปฏิบัติงานให้มีสุขภาวะดีขึ้น สามารถถนอมเข่าและหลังของเจ้าหน้าที่ซึ่งมีมีช่วงอายุก้าวเข้าสู่

ผู้สูงวัยได้ ตามตารางที่ 1 ได้แสดงผลสำรวจความพึงพอใจกับกลุ่มตัวอย่าง (n = 17) พบว่า เมื่อก่อนใช้ FOGiATK ผู้ปฏิบัติงานมีความพึงพอใจในระดับน้อยทั้งด้านด้านมลภาวะ–มลพิษ กระบวนการทำงาน และความพึงพอใจโดยรวม มีค่าเฉลี่ย ±S.D. 1.61 ±0.40, 1.59 ±0.32 และ 1.60 ±0.54 ตามลำดับ บ่งบอกถึงกระบวนการทำงานแบบเดิมไม่ส่งเสริมการทำงานและสร้างอุปสรรคในการทำงาน อีกทั้งกระบวนการทำงานแบบเดิมไม่สามารถแก้ปัญหามลภาวะมลพิษที่เกิดขึ้นกับหน่วยงานได้ 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 เมื่อมีการใช้งานระบบโฟกีแทคอย่างต่อเนื่องและทำการตรวจคุณภาพน้ำทิ้งหลังจากใช้โฟกีแทคนั้นสามารถปรับปรุงคุณภาพน้ำได้มากถึง 4 พารามิเตอร์ ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ค่าสารที่ละลายได้ทั้งหมด ค่าไนโตรเจน และค่าซัลไฟด์ 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 ทัศนียภาพ (ไม่น่าดู)	1.47	0.51	น้อย
	กระบวนการทำงาน	**1.59**	**0.32**	**น้อย**
	2.1 สะดวก (การทำความสะอาด)	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 ทัศนียภาพ (ไม่น่าดู)	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 ไนโตรเจนในรูป ที เค เอ็น ซัลไฟด์และตะกอนหนักมีแนวโน้มไปในทิศทางที่ดีขึ้นกว่าเดิมหลายเท่าตัวเช่นกัน นอกจากนี้ในส่วนของลักษณะปรากฏก็มีลักษณะที่ดีขึ้น ไม่เกาะตัวเป็นตะกอนไขมันซึ่งเป็นสาเหตุของการอุดตัน ไม่ระบายอันเป็นเหตุให้

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์มาตราฐานคุณภาพน้ำทิ้ง อาคารประเภท ข เปรียบเทียบกับผลการตรวจน้ำทิ้ง ก่อน (เดือนที่ 0) และหลังใช้นวัตกรรมขจัดไขมัน 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 H2S	< 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)	–	–	เหลืองจากขุ่น 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 ดูจากตารางจะเห็นได้ว่ายังไม่ผ่านมาตรฐานของคุณภาพ แต่ค่า FOG หลังจากใช้ FOGiATK สามารถลดระดับลงมาได้อย่างมาก

งานวิจัยชิ้นนี้ได้ใช้เครื่องมือ PAR เพื่อนำองค์ความรู้ด้านจุลินทรีย์มาประยุกต์ใช้ในกระบวนการจัดการน้ำเสียจากครัว ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่มีการใช้ Biorefinery จากน้ำเสียโดย Photosynthetic Bacteria ซึ่งสามารถย่อยสารโมเลกุลใหญ่ให้เป็นสารโมเลกุลเล็ก

งานวิจัยได้ใช้เครื่องมือ PAR มาประยุกต์ใช้ในกระบวนการจัดการน้ำเสียจากครัว ซึ่งสามารถย่อยสารโมเลกุลใหญ่ (Macromolecule) กลุ่มไขมันโปรตีนให้เป็นสารโมเลกุลเล็ก เช่น กรดไขมันอิสระ กรดอะมิโน และ สารประกอบอื่น ๆ เพื่อผลิตสารสำคัญที่มีมูลค่าสูง ได้แก่ Single–cell Protein, Coenzyme Q10 เป็นต้น [4–[6], [8], [9], [18], [19] ตลอดได้ผลพลอยได้เป็นน้ำที่ผ่านการบำบัดพร้อมปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม

Photosynthetic Bacteria หรือ แบคทีเรียสังเคราะห์แสง จัดเป็นกลุ่ม Photo–anaerobic Model (PAnM) มีรูปแบบการเจริญได้ 2 ลักษณะ Photoheterotrophy การเจริญเติบโตแบบสังเคราะห์แสงจะใช้พลังงานแสงสำหรับการให้พลังงานเพื่อมาสังเคราะสารอินทรีย์จากสารอินทรีย์ด้วยกัน ในการเจริญเติบโต และ Chemoheterotrophy จะใช้พลังงานจากการออกซิไดซ์สารอาหารเพื่อให้เกิดพลังงานเพื่อนำมาสังเคราะสารอินทรีย์ที่ใช้ในการเจริญเติบโต นับได้ว่าเป็นกลไกสำคัญที่นำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสียแบบสะสมซึ่งมีความสามารถเพื่อกู้คืนสารอาหารทั้งหมดในการดำรงชีวิต อีกทั้งลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และรักษาสมดุลพลังงานที่เป็นกลางหรือเป็นบวกผ่านกลไก

ในบทความของ Puyol [20] ได้มีการทดสอบระบบ Bioreactor โดยอาศัยโมเดล PAnM ในการช่วยย่อยสลายอินทรีย์วัตถุจากน้ำทิ้งชุมชน (Domestic Wastewater) ซึ่งสามารถกระตุ้นกระบวนการทางชีวเคมี ให้แบคทีเรียเจริญจนมีจำนวนประชากรที่มากพอในสภาวะไร้อากาศและได้รับแสง (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) แขวงบางชันกรุงเทพมหานคร ที่ได้ดำเนินการสำเร็จเมื่อปีงบประมาณ พ.ศ. 2564 [23] มาต่อยอดภายในหน่วยงานสถาบันค้นคว้าพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร โดยการจัดทำโครงการ "การจัดทำระบบเลี้ยงเชื้อจุลินทรีย์สังเคราะห์แสงและการจัดการบ่อดักไขมัน" ปีงบประมาณ พ.ศ. 2566 เพื่อแก้ปัญหาน้ำเสียของครัวสหโภชน์ที่ยังไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งอาคาร [1-3]

การใช้น้ำในกิจกรรมการเตรียมประกอบ ปรุงอาหารเป็นจำนวนมาก ทำให้ผลิตน้ำเสียจำนวนมาก และต้องมีการจัดการให้ถูกสุขลักษณะ เนื่องจากน้ำเสียที่เกิดขึ้นประกอบด้วยน้ำมันและไขมัน และเศษอาหารต่าง ๆ ซึ่งหากปล่อยระบายออกสู่ท่อระบายโดยตรงอาจ ก่อให้เกิดการอุดตันท่อน้ำทิ้ง จะขัดขวางการเติมออกซิเจนในแหล่งน้ำซึ่งจะทำให้เกิดการเน่าเสียและเกิดมลภาวะทางกลิ่นเหม็นได้ ดังนั้นจึงมีระบบดักไขมันเกิดขึ้น แต่ระบบดักไขมันเดิมทีนั้นมีหน้าที่กรองไขมันไว้ด้านบนและปล่อยน้ำวิ่งข้างใต้ให้ไปอีกฝั่งหนึ่ง แต่ในน้ำนั้นยังมีคราบไขมันปนอยู่ทำให้ช่วงที่น้ำไหลผ่านตัวถังหรือท่อจะมีคราบไขมันเกาะติดค่อย ๆ สะสมกันจนใหญ่ขึ้น ทำให้น้ำไหลผ่านไม่สะดวก ดังนั้นจึงต้องมีการดำเนินการล้างตัวถังและท่อที่น้ำผ่านให้กลุ่มก้อนไขมันหลุดออกมาทุก ๆ ปี ซึ่งวิธีการทำความสะอาดนั้นจะใช้วิธีทางกายภาพ

การใช้วิธีทางกายภาพดั้งเดิม หรือวิธีจุลชีพสำเร็จรูปในท้องตลาดต้องมีค่าใช้จ่ายอย่างต่อเนื่องในทุกปี ดังนั้นสำหรับจุลินทรีย์นี้ มีต้นทุนที่ลงทุนเพียงครั้งเดียว ที่เหลือเป็นการเติมน้ำใส่ ซึ่งสามารถใช้ได้ตลอดไปตราบเท่าที่ยังทำตามวิธีการอยู่ไขมันที่ถูกจุลิทรีย์นี้ใส่เข้าไปจะไม่จับตัวเป็นก้อนกลายเป็นของเหลวไหลไปกับน้ำต่อไม่ทำให้อุดตันท่อ ซึ่งให้ผลใกล้เคียงกับการใช้สำหรับห้องครัว ที่มีบ่อดักไขมันขนาดเล็กก็สามารถใช้ได้เหมือนกัน แทนที่จะทำความสะอาดหรือค่อยตักไขมันออกตลอดทุก ๆ วันเพราะต้องกัลวลว่าไขมันที่ลอยตัวอยู่จะจับตัวกันแข็งเป็นก้อนทำให้ตักหรือทำความสะอาดได้ลำบาก การใช้จุลิทรีย์ที่ทำให้ไขมันไม่เกาะตัวกันได้อีก

4. สรุป

FOGiATK ทำให้การทำความสะอาดได้ง่ายขึ้น และไม่ต้องคอยตักทุกๆวัน 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 ต้องคำนึงถึงความรับผิดชอบ 3 ด้านหลัก คือ สิ่งแวดล้อม สังคม การกำกับดูแลองค์กร โดย Environment เป็นหลักเกณฑ์ที่คำนึงถึงในด้านความรับผิดชอบของบริษัทต่อสิ่งแวดล้อม Social เป็นหลักเกณฑ์ที่ ใช้วัดว่าองค์กรมีการจัดการความสัมพันธ์และมีการสื่อสารกับลูกจ้าง (Suppliers) ลูกค้าหรือผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย (Stakeholders) อย่างไร และ Governance เป็นหลักการที่ใช้วัดว่าองค์กรมีการจัดการบริการความสัมพันธ์ในเชิงการกำกับดูแลอย่างไร เพื่อการบริหารจัดการที่มีประสิทธิภาพโปร่งใส ตรวจสอบได้ และคำนึงถึงผู้มีส่วนได้เสีย ทั้งนี้แนวคิด ESG ช่วยสร้างความน่าเชื่อถือให้แก่องค์กร ด้วยการสะท้อนบทบาทความรับผิดชอบขององค์กรที่มีต่อผู้มีส่วนได้เสีย และการนำเสนอผลการดำเนินงานในการพัฒนาองค์กรให้เติบโตอย่างยั่งยืน โดยนวัตกรรมขจัดไขมันโฟกีแทคที่เราใช้ สามารถดำเนินได้ครบตามที่ ESG Matrix ดังกล่าวมาทั้งหมด

5. กิตติกรรมประกาศ

ได้รับการสนับสนุนทุนจาก สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (หมวดผลงานวิจัยเพื่อสร้างองค์ความรู้) และลิขสิทธิ์การใช้โปรแกรมโดย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

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.