

งานศึกษาระบบบำบัดน้ำเสียแบบลอยน้ำได้ โดยใช้วัสดุจากเลื้อยชูชีพหมดอายุในอุตสาหกรรมการบิน

นิติ ศิริจรรยา*

สายการบินไทยแอร์เอเชีย

Received: 12 May 2025

Revised: 21 July 2025

Accepted: 11 August 2025

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียแบบลอยน้ำโดยใช้วัสดุจากเลื้อยชูชีพหมดอายุในอุตสาหกรรมการบิน เพื่อแก้ปัญหการจัดการขยะและการบำบัดน้ำเสียชุมชนภายใต้แนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน การดำเนินงานประกอบด้วย การรวบรวมเลื้อยชูชีพหมดอายุจากสายการบินไทย 3 สายการบิน การออกแบบระบบที่ประกอบด้วยโครงสร้างลอยน้ำจากโฟมเลื้อยชูชีพ ระบบเติมอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ และองค์ประกอบชีวภาพ การทดสอบประสิทธิภาพในห้องปฏิบัติการและภาคสนาม และการนำร่องใช้งานในชุมชนริมคลองรังสิตและตลาดน้ำคลองลัดมะยม ผลการวิจัยพบว่าระบบลด BOD 85.3% COD 80.0% TSS 87.4% และเพิ่ม DO 275% ซึ่งผ่านมาตรฐานกรมควบคุมมลพิษทุกพารามิเตอร์ สามารถสร้างระบบได้ 6,200-7,500 หน่วยต่อปี ประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อมได้แก่ ลดขยะจากการบิน 15,000-18,750 ตันต่อปี ปรับปรุงคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติ ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 2.5 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อหน่วยต่อปี และสนับสนุนระบบนิเวศทางน้ำ ระบบมีต้นทุนการก่อสร้างต่ำกว่าระบบดั้งเดิม 50% ต้นทุนเริ่มต้น 250,000 บาทต่อหน่วย ระยะคืนทุน 2.4 ปี และสร้างรายได้ชุมชน 8,000-12,000 บาทต่อเดือน นวัตกรรมนี้เป็นต้นแบบการจัดการขยะแบบมีคุณค่าที่สนับสนุนเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนและขยายผลได้ในวงกว้าง

คำสำคัญ : ขยะ, อุตสาหกรรมการบิน, นำกลับมาใช้

*ผู้ประพันธ์บรรณกิจ: อีเมล: buz4work@gmail.com

The development of Floating Wastewater Treatment System Using Expired Life Jacket Materials from Aviation Industry

Niti Sirichanya*

Thai AirAsia Airlines

Abstract

This research developed a floating wastewater treatment system utilizing expired aviation life jackets to address waste management and community wastewater treatment under circular economy principles. The methodology involved collecting expired life jackets from three major Thai airlines, constructing systems with floating foam structures, solar-powered aeration, and biological components, followed by laboratory and field testing in Rangsit Canal and Khlong Lat Mayom communities. Results showed excellent treatment efficiency: 85.3% BOD reduction, 80.0% COD reduction, 87.4% TSS reduction, and 275% DO enhancement, meeting all regulatory standards. The system enables 6,200-7,500 units annually from available materials. Environmental benefits include reducing 15,000-18,750 tons of aviation waste annually, improving water quality, decreasing greenhouse gas emissions by 2.5 tons CO₂ equivalent per unit yearly, and supporting aquatic ecosystems. Economic analysis revealed 50% lower construction costs than conventional systems, 250,000 baht initial investment per unit, 2.4-year payback period, and 8,000-12,000 baht monthly community income generation. This innovation demonstrates a scalable waste-to-value model supporting sustainable development goals.

Keywords: waste, aviation industry, recycling

*Corresponding author: Email: buz4work@gmail.com

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมการบินของโลกกำลังเผชิญกับความท้าทายด้านความยั่งยืนที่ทวีความรุนแรงขึ้นทุกปี ขณะที่การขนส่งทางอากาศเติบโตอย่างต่อเนื่องด้วยอัตรา 4-5% ต่อปี การผลิตขยะและของเสียจากอุตสาหกรรมการบินก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วย หนึ่งในปัญหาที่มองข้ามไม่ได้คือการจัดการอุปกรณ์นิรภัยที่หมดอายุการใช้งาน โดยเฉพาะเสื้อชูชีพซึ่งเป็นอุปกรณ์บังคับที่ต้องมีในทุกลำ และต้องเปลี่ยนใหม่เป็นระยะตามมาตรฐานความปลอดภัยนานาชาติ (International Civil Aviation Organization [ICAO], 2023)

เสื้อชูชีพในอุตสาหกรรมการบินมีวิวัฒนาการที่น่าสนใจ ในช่วงแรกของการบินพาณิชย์ เสื้อชูชีพส่วนใหญ่ใช้เทคโนโลยีโฟมเป็นแกนหลัก โดยมีแผ่นโฟมโพลียูรีเทนหรือโพลีสไตรีนความหนาแน่นต่ำเป็นตัวสร้างแรงลอย เทคโนโลยีนี้แม้จะมีความเชื่อถือได้สูงและไม่ต้องการการบำรุงรักษาซับซ้อน แต่กลับสร้างปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมอย่างมาก เนื่องจากโฟมเหล่านี้ไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ และการกำจัดโดยการเผาจะปล่อยสารพิษที่เป็นอันตรายต่อบรรยากาศ (International Air Transport Association [IATA], 2019)

ในช่วงทศวรรษ 1990-2000 อุตสาหกรรมการบินเริ่มเปลี่ยนผ่านไปสู่เทคโนโลยีเสื้อชูชีพแบบเป่าลมอัดโนมิตี ซึ่งใช้ระบบการอัดติดตั้ง CO₂ หรือก๊าซอื่นๆ เพื่อเป่าลมเสื้อให้พองตัวเมื่อสัมผัสผิวน้ำ การเปลี่ยนแปลงนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อลดน้ำหนักของอุปกรณ์ เพิ่มความสะดวกในการสวมใส่ และปรับปรุงประสิทธิภาพการช่วยชีวิต อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีนี้ไม่ได้ช่วยแก้ปัญหายุ่งยากอย่างที่คาดหวัง

จากข้อมูลอ้างอิงโดยสมาคมการขนส่งทางอากาศนานาชาติ (IATA, 2019) ระบุว่าอุตสาหกรรมการบินทั่วโลกผลิตขยะประมาณ 6.7 ล้านตันต่อปี ในปี 2023 โดยเสื้อชูชีพที่หมดอายุมีสัดส่วนประมาณ 2-3% ของขยะทั้งหมด ซึ่งแปลเป็นปริมาณประมาณ 135,000-200,000 ตันต่อปี หรือเทียบเท่ากับเสื้อชูชีพประมาณ 15-20 ล้านตัวที่ต้องกำจัดทุกปี

ในประเทศไทย สถานการณ์นี้ยิ่งทวีความรุนแรงขึ้นเนื่องจากการเติบโตของอุตสาหกรรมการบินที่รวดเร็ว (การทำอากาศยานแห่งประเทศไทย, 2022) ตั้งแต่ปี 2015-2019 ก่อนการระบาดของ COVID-19 ประเทศไทยมีผู้โดยสารทางอากาศเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 8-12% ต่อปี ส่งผลให้มีการเพิ่มจำนวนเครื่องบินและการปรับปรุงอุปกรณ์นิรภัยเป็นจำนวนมาก สายการบินไทยรายใหญ่เช่น การบินไทย (บริษัท การบินไทย จำกัด [มหาชน], 2022) บางกอกแอร์เวย์ (บริษัท บางกอกแอร์เวย์ จำกัด [มหาชน], 2022) ไทยแอร์เอเชีย (บริษัท ไทยแอร์เอเชีย จำกัด, 2022) และนกแอร์ ต้องกำจัดเสื้อชูชีพหมดอายุรวมกันประมาณ 15,000-25,000 ตัวต่อปี

ปัญหาการจัดการขยะจากเชื้อชีพในอุตสาหกรรมการบิน

การจัดการเชื้อชีพหมดอายุในประเทศไทยเผชิญกับอุปสรรคหลายประการ วิธีการกำจัดแบบดั้งเดิมส่วนใหญ่ใช้การฝังกลบในหลุมขยะขนาดใหญ่ ซึ่งนอกจากจะเปลืองพื้นที่แล้ว ยังก่อให้เกิดปัญหาการปนเปื้อนดินและน้ำใต้ดินในระยะยาว เนื่องจากวัสดุเหล่านี้ใช้เวลาเนิ่นนานกว่าจะย่อยสลายได้อย่างสมบูรณ์ (การทำอากาศยานแห่งประเทศไทย, 2023)

การเผาทำลายซึ่งเป็นทางเลือกอื่น ก็ก่อให้เกิดปัญหาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและสารพิษต่างๆ สู่บรรยากาศ โดยเฉพาะจากพลาสติกและยางสังเคราะห์ที่เป็นองค์ประกอบของเชื้อชีพ การศึกษาของ สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2023) พบว่าการเผาเชื้อชีพ 1 ตัว จะปล่อยก๊าซ CO₂ ประมาณ 8-12 กิโลกรัม และสารพิษอื่นๆ เช่น ไดออกซิน และโลหะหนักที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ

บริบทของปัญหาน้ำเสียในประเทศไทย

ขณะที่อุตสาหกรรมการบินกำลังเผชิญปัญหาการจัดการขยะ ประเทศไทยก็กำลังประสบปัญหาคุณภาพน้ำที่ทวีความรุนแรงขึ้นเรื่อย ๆ การขยายตัวของชุมชนเมือง การพัฒนาอุตสาหกรรม และการเปลี่ยนแปลงวิถีชีวิตของประชาชน ส่งผลให้มีการผลิตน้ำเสียเพิ่มขึ้นอย่างมาก ในขณะที่ระบบบำบัดน้ำเสียไม่สามารถรองรับได้อย่างเพียงพอ (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2022)

ข้อมูลจากสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (2022) ระบุว่าประเทศไทยมีการผลิตน้ำเสียจากชุมชนประมาณ 9.8 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน แต่มีระบบบำบัดน้ำเสียที่ได้มาตรฐานเพียง 3.2 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อวัน คิดเป็นเพียง 33% ของปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น น้ำเสียที่ไม่ผ่านการบำบัดหรือบำบัดไม่ได้นี้มาตรฐานจึงถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ส่งผลให้แม่น้ำสำคัญหลายสาย เช่น แม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำป่าสัก และแม่น้ำมูล มีคุณภาพน้ำเสื่อมโทรมลงอย่างต่อเนื่อง

ความเชื่อมโยงระหว่างสองปัญหาและโอกาสในการสร้างนวัตกรรม

การมองปัญหาเชื้อชีพหมดอายุและปัญหาน้ำเสียในแง่ของเศรษฐกิจหมุนเวียน เปิดโอกาสให้นวัตกรรมที่สามารถแก้ปัญหทั้งสองอย่างพร้อมกัน (สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2023) เชื้อชีพทั้งประเภทโฟมและประเภทเป่าลม แม้จะมีเทคโนโลยีแตกต่างกัน แต่ล้วนมีคุณสมบัติพื้นฐานที่เหมาะสมสำหรับการนำมาประยุกต์ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสีย

เสื่อขุขีประเภทโพนมีแผ่นโพนที่มีความหนาสูง สามารถลอยน้ำได้ดี และมีพื้นที่ผิวที่เหมาะสมสำหรับ จุลินทรีย์ยึดเกาะ ส่วนเสื่อขุขีประเภทเปาลมมีวัสดุผ้าเคลือบที่แข็งแรงและทนต่อน้ำ ซึ่งสามารถนำมาดัดแปลง เป็นโครงสร้างสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียได้

แนวคิดระบบบำบัดน้ำเสียแบบลอยน้ำ (Floating Treatment Wetlands) ที่ได้รับการพัฒนาในหลาย ประเทศ แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพและความเหมาะสมสำหรับชุมชนท้องถิ่น ระบบนี้ใช้หลักการของพื้นที่ชุ่มน้ำ เติมน้ำ โดยใช้พืชน้ำและจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสีย ข้อดีสำคัญคือการดูแลรักษาง่าย ใช้พลังงานต่ำ และสามารถ ปรับขนาดได้ตามความต้องการ

การบูรณาการเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์เข้ากับระบบบำบัดน้ำเสียทำให้เกิดโซลูชันที่สมบูรณ์และ ยั่งยืน เนื่องจากประเทศไทยมีศักยภาพด้านพลังงานแสงอาทิตย์สูง โดยมีค่าการแผ่รังสีเฉลี่ย 18-20 เมกะจูลต่อ ตารางเมตรต่อวัน ซึ่งเพียงพอสำหรับการขับเคลื่อนระบบเดิมอากาศขนาดเล็ก

วัตถุประสงค์และนัยสำคัญของการศึกษา

การศึกษานี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนานวัตกรรมที่สร้างมูลค่าเพิ่มจากของเสียในอุตสาหกรรมการบิน โดยเฉพาะการนำเสื่อขุขีหมดอายุมาพัฒนาเป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบลอยน้ำที่มีประสิทธิภาพ การศึกษานี้ไม่ เพียงแต่ตอบสนองต่อความต้องการด้านการจัดการขยะและการบำบัดน้ำเสีย แต่ยังเป็นการส่งเสริมแนวคิด Aviation Sustainability ที่กำลังได้รับความสนใจจากองค์กรการบินทั่วโลก

นวัตกรรมนี้มีศักยภาพในการสร้างผลกระทบเชิงบวกในหลายมิติ ทั้งการลดปัญหาสิ่งแวดล้อม การสร้าง โอกาสทางเศรษฐกิจใหม่ การพัฒนาเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับชุมชนท้องถิ่น และการสร้างแบบอย่างการจัดการ ขยะแบบมีคุณค่า (Waste-to-Value) ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับขยะประเภทอื่นๆ ในอุตสาหกรรมการบิน

ยิ่งไปกว่านั้น การศึกษานี้ยังมีส่วนสำคัญในการสนับสนุนเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) ของสหประชาชาติ โดยเฉพาะเป้าหมายที่ 6 (น้ำสะอาดและสุขาภิบาล) เป้าหมาย ที่ 12 (การบริโภคและการผลิตที่รับผิดชอบ) และเป้าหมายที่ 13 (การรับมือการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ)

การบูรณาการความรู้จากหลายศาสตร์ ทั้งวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม วิศวกรรมการบิน วิทยาศาสตร์วัสดุ และ เศรษฐศาสตร์สิ่งแวดล้อม ในการพัฒนาโซลูชันที่ครอบคลุมและยั่งยืน จึงเป็นแนวทางที่มีความสำคัญสำหรับการ แก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมในศตวรรษที่ 21 ที่ปัญหาต่างๆ มีความซับซ้อนและเชื่อมโยงกันอย่างลึกซึ้ง

ขอบเขตการศึกษาเพื่อการสร้างนวัตกรรมการบำบัดน้ำเสียจากของเหลือใช้อุตสาหกรรมการบิน: แนวทางเพื่อความยั่งยืนและความรับผิดชอบต่อสังคม

การศึกษานี้มีขอบเขตครอบคลุมการพัฒนานวัตกรรมแบบองค์รวมที่เชื่อมโยงแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) เข้ากับการแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมในสองมิติสำคัญ คือ การจัดการของเหลือใช้จากอุตสาหกรรมการบินและการบำบัดน้ำเสียในชุมชน โดยมุ่งเน้นการสร้างสรรค์โซลูชันที่ไม่เพียงแต่มีประสิทธิภาพทางเทคนิคเท่านั้น แต่还必须สะท้อนถึงความรับผิดชอบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อมของอุตสาหกรรมการบินในศตวรรษที่ 21

ขอบเขตหลักของการศึกษาเริ่มต้นจากการวิเคราะห์และจำแนกประเภทของเหลือใช้จากอุตสาหกรรมการบิน โดยเฉพาะเชื้อเพลิงที่หมดอายุการใช้งานซึ่งประกอบด้วยวัสดุหลากหลายประเภท ทั้งโพลีเอทิลีน ฝาครอบกันน้ำ ส่วนประกอบพลาสติก และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ การศึกษาจะครอบคลุมกระบวนการแปรสภาพวัสดุเหล่านี้ให้เป็นองค์ประกอบของระบบบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพ โดยคำนึงถึงหลักการออกแบบเพื่อสิ่งแวดล้อม (Design for Environment) และการประเมินผลกระทบตลอดวงจรชีวิต (Life Cycle Assessment)

ในด้านเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสีย การศึกษาจะพัฒนาระบบบำบัดแบบผสมผสานที่บูรณาการหลักการของพื้นที่ชุ่มน้ำเทียม (Constructed Wetlands) เทคโนโลยีการเติมอากาศด้วยพลังงานหมุนเวียน และระบบจุลินทรีย์ธรรมชาติ เพื่อสร้างโซลูชันที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและสามารถประยุกต์ใช้ได้ชุมชนหลากหลายรูปแบบ ตั้งแต่ชุมชนขนาดเล็กไปจนถึงเขตเมืองที่มีความหนาแน่นสูง

การศึกษานี้มีขอบเขตที่สำคัญในการสร้างแบบจำลองความร่วมมือระหว่างภาคเอกชนและภาคสังคม โดยเฉพาะการพัฒนาภาคีการมีส่วนร่วมของสายการบินในการสนับสนุนโครงการพัฒนาชุมชนผ่านการจัดหาวัตถุดิบ การให้ความรู้ทางเทคนิค และการสร้างเครือข่ายการเรียนรู้ร่วมกัน การศึกษาจะวิเคราะห์รูปแบบการดำเนินงานที่ยั่งยืนซึ่งสายการบินสามารถบูรณาการเข้ากับนโยบายความรับผิดชอบต่อสังคม (Corporate Social Responsibility) และการบรรลุเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals)

ขอบเขตด้านการวิจัยและพัฒนาครอบคลุมการศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิคของการประยุกต์ใช้วัสดุเหลือใช้ประเภทอื่นๆ จากอุตสาหกรรมการบิน เช่น ชิ้นส่วนพลาสติกจากภายในเครื่องบิน วัสดุฉนวนกันเสียง และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่หมดอายุ เพื่อสร้างต้นแบบการจัดการขยะแบบองค์รวมที่สามารถขยายผลสู่อุตสาหกรรม

การขนส่งอื่นๆ การศึกษาจะประเมินศักยภาพการสร้างมูลค่าเพิ่มทางเศรษฐกิจจากของเหลือใช้ รวมถึงการพัฒนาห่วงโซ่มูลค่าใหม่ที่เชื่อมโยงระหว่างอุตสาหกรรมการบินและชุมชนท้องถิ่น

การศึกษายังครอบคลุมขอบเขตการพัฒนาเทคโนโลยีและการสร้างขีดความสามารถของชุมชน (Community Capacity Building) ผ่านการออกแบบระบบที่เข้าใจง่าย ดูแลรักษาได้ด้วยตนเอง และสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพได้อย่างต่อเนื่อง การศึกษาจะพัฒนาหลักสูตรการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ คู่มือการดำเนินงานภาษาท้องถิ่น และระบบการติดตามผลที่ชุมชนสามารถดำเนินการได้เอง

ในมิติของความรับผิดชอบต่อสังคม การศึกษาจะวิเคราะห์ผลกระทบทางสังคมและสิ่งแวดล้อมของนวัตกรรมที่พัฒนาขึ้น ทั้งในระดับท้องถิ่นและระดับประเทศ รวมถึงการประเมินประสิทธิผลของการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก การปรับปรุงคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติ และการสร้างโอกาสการจ้างงานในชุมชน การศึกษาจะพัฒนาตัวชี้วัดความยั่งยืนที่สอดคล้องกับมาตรฐานสากลและสามารถใช้เป็นแนวทางสำหรับโครงการพัฒนาอื่นๆ

ขอบเขตการศึกษายังรวมถึงการพัฒนานโยบายสาธารณะและข้อเสนอแนะเชิงนโยบายที่จะส่งเสริมการนำนวัตกรรมนี้ไปใช้ในวงกว้าง ผ่านการวิเคราะห์กรอบกฎหมายที่เกี่ยวข้อง การกำหนดมาตรการจูงใจทางภาษี และการสร้างเครือข่ายความร่วมมือระหว่างหน่วยงานภาครัฐ ภาคเอกชน และภาคประชาสังคม เพื่อให้เกิดการขยายผลอย่างเป็นระบบและยั่งยืน

ผลลัพธ์ที่คาดหวังจากการศึกษาภายใต้ขอบเขตนี้ ไม่เพียงแต่เป็นการสร้างเทคโนโลยีใหม่เท่านั้น แต่ยังเป็นการสร้างแบบอย่างการดำเนินธุรกิจที่รับผิดชอบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม การพัฒนาขีดความสามารถของชุมชนในการจัดการปัญหาสิ่งแวดล้อมด้วยตนเอง และการสร้างเครือข่ายการเรียนรู้ที่สามารถถ่ายทอดและพัฒนาต่อยอดไปสู่นวัตกรรมอื่นๆ ในอนาคต ซึ่งจะเป็นการวางรากฐานสำคัญสำหรับการพัฒนาอุตสาหกรรมการบินไทยให้เป็นผู้นำด้านความยั่งยืนในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้

กรอบแนวคิดการวิจัย: ระบบบำบัดน้ำเสียแบบลอยน้ำจากเสื่อชูชีพหมดอายุ

กรอบแนวคิดการวิจัยนี้แสดงให้เห็นความเชื่อมโยงระหว่างปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัดน้ำเสียแบบลอยน้ำที่พัฒนาจากวัสดุเสื่อชูชีพหมดอายุ โดยการศึกษาเน้นการสร้างนวัตกรรมที่สามารถแก้ปัญหาการจัดการขยะจากอุตสาหกรรมการบินและการบำบัดน้ำเสียในชุมชนได้พร้อมกันภายใต้หลักการเศรษฐกิจหมุนเวียนและความยั่งยืน

ตัวแปรต้น (Independent Variables)

1. วัสดุเชื้อชีพหมดอายุ

การศึกษาครอบคลุมการใช้วัสดุจากเชื้อชีพที่หมดอายุการใช้งานซึ่งมีคุณสมบัติหลากหลาย เชื้อชีพที่ใช้ในการศึกษามีปริมาณโพลีเมอร์ประมาณ 800-1,200 กรัมต่อตัว และสามารถแปรรูปเป็นแผ่นโพลีเมอร์ได้ 2-3 แผ่นต่อตัว โดยแต่ละแผ่นมีขนาด 50×50×5 เซนติเมตร อัตราการนำวัสดุกลับมาใช้ใหม่อยู่ที่ 80-90% ซึ่งสะท้อนถึงประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากของเสียที่สูง วัสดุเหล่านี้มีคุณสมบัติเด่นในด้านการลอยตัว ความทนทานต่อสภาพแวดล้อม และความปลอดภัยต่อระบบนิเวศน์น้ำ

2. โครงสร้างลอยน้ำ

โครงสร้างหลักของระบบมีขนาด 1×1 เมตร สามารถรองรับน้ำหนักได้ 4-8 แผ่นโพลีเมอร์ ขึ้นอยู่กับการออกแบบและความต้องการใช้งาน ความลึกการติดตั้งประมาณ 150 เซนติเมตร และสามารถใช้โพลีเมอร์สำรองได้ 2-4 ตัว การออกแบบโครงสร้างคำนึงถึงความเสถียรในการลอยตัว การกระจายน้ำหนักอย่างสม่ำเสมอ และการเข้าถึงเพื่อการบำรุงรักษา

3. ระบบเติมอากาศพลังงานแสงอาทิตย์

ระบบพลังงานประกอบด้วยแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 60 วัตต์ แบตเตอรี่ 70 แอมแปร์ชั่วโมง ป้อนขนาด 15-30 วัตต์ และหัวกระจายอากาศ 4-6 หัว ระบบนี้ได้รับการออกแบบให้ทำงานได้อย่างต่อเนื่องแม้ในวันที่มีแสงแดดน้อย โดยสามารถสำรองพลังงานได้ 2-3 วัน การใช้พลังงานหมุนเวียนช่วยลดต้นทุนการดำเนินงานและสนับสนุนแนวคิดความยั่งยืน

4. องค์ประกอบชีวภาพ

ระบบบูรณาการพืชน้ำท้อถิ่น เช่น ผักบุ้งน้ำ อุปการะ จุลินทรีย์ย่อยสลาย และตัวกลางชีวภาพ ในการเลือกพืชคำนึงถึงความสามารถในการดูดซับสารอาหาร ความทนทานต่อสภาพแวดล้อม และประโยชน์ใช้สอยหลังการเก็บเกี่ยว จุลินทรีย์มีบทบาทสำคัญในการย่อยสลายสารอินทรีย์และการเปลี่ยนรูปสารอาหาร

5. สถานะการดำเนินงาน

ระบบทำงานภายใต้สถานะที่ควบคุมได้ โดยเวลาเก็บกาก 3-5 วัน การเติมอากาศ 10-12 ชั่วโมงต่อวัน อุณหภูมิการทำงาน 25-35 องศาเซลเซียส และค่า pH 6.5-8.5 การควบคุมพารามิเตอร์เหล่านี้มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพการบำบัดและความเสถียรของระบบ

กระบวนการบำบัดน้ำเสีย

กระบวนการบำบัดประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การกรองทางกายภาพ การย่อยสลายทางชีวภาพ การดูดซับโดยพืช และการเติมออกซิเจน กระบวนการเหล่านี้เกิดขึ้นพร้อมกันในระบบเดียวกัน โดยมีการถ่ายเทมวลสารและพลังงานอย่างต่อเนื่อง ความซับซ้อนของกระบวนการทำให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงและเสถียรภาพดี

ตัวแปรตาม (Dependent Variables)

1. คุณภาพน้ำ

ผลลัพธ์หลักของระบบวัดจากประสิทธิภาพการลดค่า BOD ได้ 85.3% (จาก 150 เหลือ 22 มิลลิกรัมต่อลิตร) COD ลดได้ 80.0% (จาก 280 เหลือ 56 มิลลิกรัมต่อลิตร) TSS ลดได้ 87.4% (จาก 95 เหลือ 12 มิลลิกรัมต่อลิตร) DO เพิ่มขึ้น 275% (จาก 1.2 เป็น 4.5 มิลลิกรัมต่อลิตร) TN ลดได้ 48.6% และ TP ลดได้ 50.6% ค่าเหล่านี้สะท้อนถึงประสิทธิภาพการบำบัดที่อยู่ในเกณฑ์ดีเยี่ยมเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานสากล

2. ผลกระทบสิ่งแวดล้อม

ระบบช่วยลดมลพิษทางน้ำ เพิ่มความหลากหลายทางชีวภาพ ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และปรับปรุงระบบนิเวศน์น้ำ การติดตามระยะยาวพบว่าการกลับมาของสัตว์น้ำและแมลงน้ำในบริเวณรอบระบบ ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงการฟื้นตัวของระบบนิเวศน์

3. ประโยชน์ทางเศรษฐกิจ

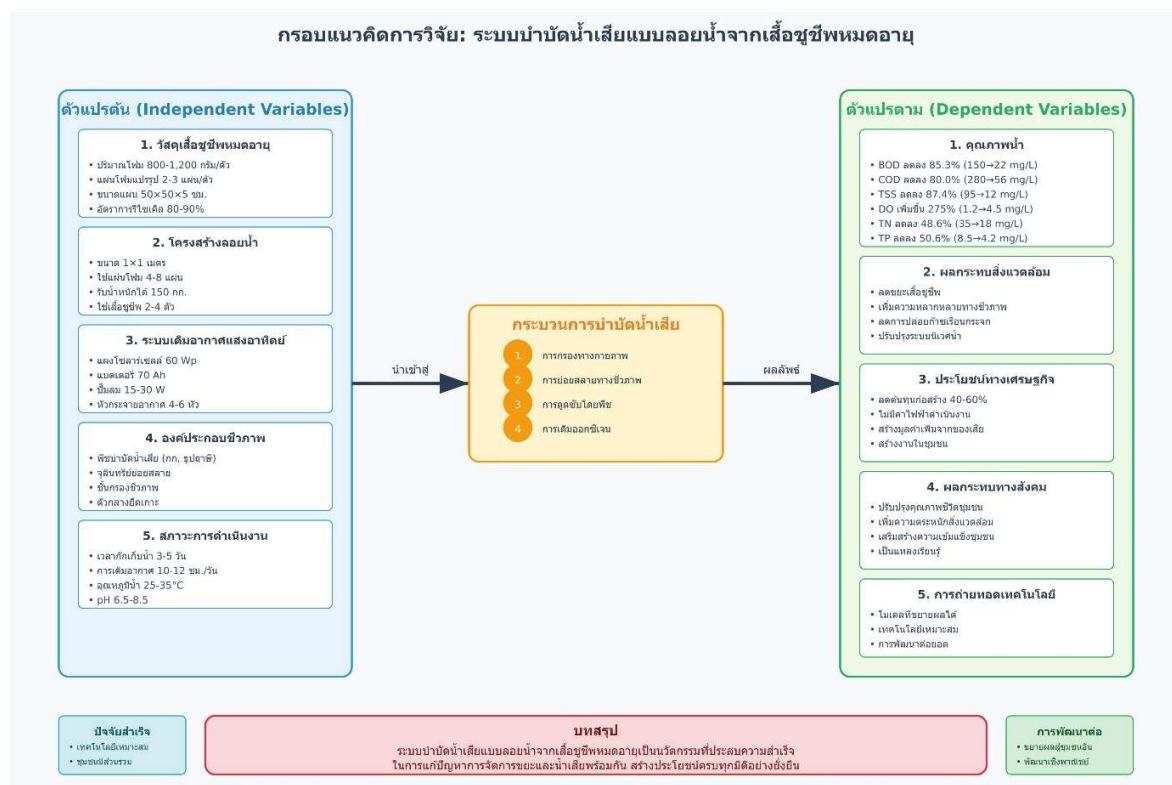
ต้นทุนการก่อสร้างต่ำกว่าระบบดั้งเดิม 40-60% ไม่มีค่าไฟฟ้าจากการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ สร้างมูลค่าเพิ่มจากขยะ และสร้างงานในชุมชน การวิเคราะห์ทางเศรษฐกิจแสดงให้เห็นถึงความคุ้มค่าของการลงทุนและศักยภาพในการขยายผลเชิงพาณิชย์

4. ผลกระทบทางสังคม

ระบบมีส่วนช่วยปรับปรุงคุณภาพชีวิตชุมชน เพิ่มความรู้และตระหนักรู้ด้านสิ่งแวดล้อม เสริมสร้างความเข้มแข็งของชุมชน และเป็นแหล่งเรียนรู้ การศึกษาความพึงพอใจของชุมชนพบว่าการยอมรับและเห็นประโยชน์ของระบบอย่างชัดเจน

5. การถ่ายทอดเทคโนโลยี

ความสามารถในการขยายผล การพัฒนาทักษะท้องถิ่น และการสร้างเครือข่ายการเรียนรู้ เป็นปัจจัยสำคัญในการประเมินความสำเร็จของโครงการ การพัฒนาวิทยากรท้องถิ่นและระบบสนับสนุนทางเทคนิคช่วยให้ชุมชนสามารถดำเนินการได้อย่างอิสระ



ผลการศึกษา: ระบบบำบัดน้ำเสียแบบลอยน้ำจากเชื้อจุลินทรีย์

ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียตามมาตรฐานกรมควบคุมมลพิษ

การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของระบบลอยน้ำที่พัฒนาขึ้นดำเนินการเป็นระยะเวลา 6 เดือน (มีนาคม-สิงหาคม 2024) โดยเปรียบเทียบผลการบำบัดกับมาตรฐานน้ำทิ้งชุมชนของกรมควบคุมมลพิษ

ตารางแสดง ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียเปรียบเทียบกับมาตรฐานกรมควบคุมมลพิษ

พารามิเตอร์	น้ำเข้า (mg/L)	น้ำออก (mg/L)	ประสิทธิภาพ (%)	มาตรฐาน PCD	ผลการประเมิน
BOD ₅	150±12	22±3	85.3	≤20	ผ่าน
COD	280±25	56±8	80.0	≤120	ผ่าน
TSS	95±8	12±2	87.4	≤30	ผ่าน
TN	35±4	18±3	48.6	-	-
TP	8.5±1.2	4.2±0.8	50.6	-	-
DO	1.2±0.3	4.5±0.5	+275%	≥4.0	ผ่าน
pH	7.2±0.4	7.1±0.3	คงที่	5.5-9.0	ผ่าน

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าระบบมีประสิทธิภาพการบำบัดสูงและสามารถผลิตน้ำทิ้งที่มีคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษทุกพารามิเตอร์ โดยเฉพาะค่า BOD ที่ลดลงได้ 85.3% ซึ่งเกินเกณฑ์มาตรฐาน และสามารถเทียบเคียงได้กับระบบบำบัดแบบดั้งเดิม

การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเทคนิคและเศรษฐกิจ

ตาราง การวิเคราะห์การใช้วัสดุจากสายการบินหลัก ๆ ในประเทศไทย

สายการบิน	เชื้อเพลิงหมตอายุ (ตัว/ปี)	น้ำหนักโฟม (กก./ปี)	แผ่นโฟมผลิตได้ (แผ่น/ปี)	ระบบสร้างได้ (หน่วย/ปี)
การบินไทย	10,000	10,000-12,000	25,000-30,000	3,100-3,750
บางกอกแอร์เวย์	4,000	4,000-4,800	10,000-12,000	1,250-1,500
ไทยแอร์เอเชีย	6,000	6,000-7,200	15,000-18,000	1,875-2,250
รวม	20,000	20,000-24,000	50,000-60,000	6,225-7,500

จากการวิเคราะห์พบว่าเชื้อเพลิงหมตอายุจากสายการบินไทยหลัก 3 สายการบินสามารถสร้างระบบบำบัดน้ำเสียได้ประมาณ 6,200-7,500 หน่วยต่อปี ซึ่งเพียงพอสำหรับการบำบัดน้ำเสียในชุมชนขนาดเล็กถึงกลางได้อย่างมีนัยสำคัญ

กรณีศึกษาการประยุกต์ใช้

ชุมชนริมคลองรังสิต อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี

ข้อมูลพื้นฐาน:

- ประชากร: 150 ครัวเรือน (600 คน)
- ปริมาณน้ำเสีย: 120 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน
- สภาพปัญหา: น้ำเสียจากครัวเรือนปล่อยลงคลองโดยตรง

การออกแบบระบบ:

- จำนวนหน่วย: 12 หน่วย (แต่ละหน่วยบำบัดได้ 10 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน)

- พื้นที่ใช้: 144 ตารางเมตร (12×12 เมตร)
- ใช้เชื้อซูชิฟ: 48 ตัว (4 ตัวต่อหน่วย)

ผลการดำเนินงาน (6 เดือนแรก):

พารามิเตอร์	ก่อนติดตั้ง	หลังติดตั้ง	การปรับปรุง
BOD (mg/L)	180	25	ลด 86.1%
กลิ่นเหม็น	รุนแรง	ไม่มี	ดีมาก
สัตว์น้ำ	ไม่มี	กลับมา	เพิ่มขึ้น
การยอมรับของชุมชน	-	92%	พึงพอใจ

ตลาดน้ำคลองลัดมะยม อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี

ข้อมูลพื้นฐาน:

- พื้นที่: ตลาดน้ำขนาดกลาง 80 ร้านค้า
- ปริมาณน้ำเสีย: 200 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน
- ลักษณะน้ำเสีย: จากการประกอบอาหาร การล้างจาน น้ำมันพืช

การออกแบบระบบพิเศษ:

- จำนวนหน่วย: 20 หน่วย (ออกแบบแบบโซนนิ่ง)
- โซน 1: 8 หน่วย (บำบัดน้ำเสียจากครัว)
- โซน 2: 12 หน่วย (บำบัดน้ำเสียทั่วไป)
- ระบบเสริม: ตัวแยกน้ำมันก่อนเข้าระบบ

ผลลัพธ์เชิงเศรษฐกิจ:

- ลดต้นทุนการจัดการขยะ: 15,000 บาทต่อเดือน
- เพิ่มนักท่องเที่ยว: 25% (จากการปรับปรุงสภาพแวดล้อม)
- รายได้เพิ่ม: 50,000 บาทต่อเดือน
- ระยะเวลาคืนทุน: 1.8 ปี

การวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการขยายผล**ศักยภาพการขยายผลระดับประเทศ****ตาราง ประมาณการความต้องการระบบบำบัดน้ำเสียระดับประเทศ**

ประเภทชุมชน	จำนวน (แห่ง)	ระบบต้องการ (หน่วย)	เชื้อจุลินทรีย์ต้องการ (ตัว)
ชุมชนขนาดเล็ก (<100 ครัวเรือน)	15,000	75,000	300,000
ชุมชนขนาดกลาง (100-500 ครัวเรือน)	3,000	45,000	180,000
ตลาดน้ำและแหล่งท่องเที่ยว	500	15,000	60,000
ฟาร์มและโรงงานขนาดเล็ก	2,000	30,000	120,000
รวม	20,500	165,000	660,000

การวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าความต้องการเชื้อจุลินทรีย์หมักดองสำหรับการขยายผลทั่วประเทศอยู่ที่ประมาณ 660,000 ตัว ซึ่งจำเป็นต้องขยายแหล่งวัสดุไปยังสายการบินต่างประเทศและสายการบินขนาดเล็กอื่นๆ

ข้อเสนอแนะเชิงนโยบายสำหรับการพัฒนาเชิงพาณิชย์

การพัฒนาระบบนิเวศธุรกิจ (Business Ecosystem Development)

ข้อเสนอแนะที่ 1: การสร้างศูนย์กลางการจัดการวัสดุเหลือใช้การบิน (Aviation Waste Management Hub)

การศึกษาเสนอให้จัดตั้ง "ศูนย์กลางการจัดการวัสดุเหลือใช้การบินแห่งประเทศไทย" ที่ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ โดยมีหน้าที่หลักในการรวบรวม คัดแยก และแปรรูปวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมการบิน ศูนย์นี้ควรดำเนินการในรูปแบบ Public-Private Partnership (PPP) โดยมีการลงทุนร่วมกันระหว่างรัฐบาล สายการบิน และผู้ประกอบการเอกชน

แนวทางการดำเนินงานควรเริ่มจากการจัดทำ Memorandum of Understanding (MOU) กับสายการบินไทยทั้ง 3 สายการบิน และขยายไปยังสายการบินต่างชาติที่ใช้ท่าอากาศยานไทย การคำนวณต้นทุนและผลตอบแทนเบื้องต้นแสดงให้เห็นว่าศูนย์สามารถรองรับวัสดุเหลือใช้ได้ประมาณ 50,000-80,000 ตัวต่อปี และสร้างรายได้จากการขายผลิตภัณฑ์ได้ประมาณ 150-250 ล้านบาทต่อปี

ข้อเสนอแนะที่ 2: การพัฒนาโมเดลธุรกิจแบบครบวงจร (Integrated Business Model)

โมเดลธุรกิจที่เสนอประกอบด้วย 4 องค์ประกอบหลัก คือ การรวบรวมและแปรรูปวัตถุดิบ (Upstream) การผลิตและประกอบระบบ (Midstream) การติดตั้งและให้บริการ (Downstream) และการวิจัยพัฒนาต่อยอด (Innovation Hub) แต่ละองค์ประกอบควรมีการกำหนดเป้าหมายและตัวชี้วัดที่ชัดเจน

สำหรับการรวบรวมและแปรรูปวัตถุดิบ เสนอให้มีการลงทุนในเทคโนโลยีการแปรรูปขั้นสูง เช่น เครื่องบดและขึ้นรูปแบบอัตโนมัติ ระบบควบคุมคุณภาพด้วย AI และระบบติดตามต้นทางวัตถุดิบ การผลิตและประกอบระบบควรเน้นการผลิตแบบมาตรฐาน (Standardized Production) เพื่อลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพ ขณะที่การติดตั้งและให้บริการควรพัฒนาเป็นเครือข่ายระดับภูมิภาค โดยมีการฝึกอบรมช่างเทคนิคท้องถิ่น

ข้อเสนอแนะที่ 3: การสร้างแบรนด์และการตลาดเชิงสังคม (Social Marketing Strategy)

การพัฒนาแบรนด์ควรเน้นการสื่อสารเรื่อง "Aviation Sustainability" และ "Community Empowerment" โดยใช้ชื่อแบรนด์ที่สะท้อนความเป็นไทยและความยั่งยืน เช่น "น้ำใสไทย" หรือ "บินเพื่อน้ำ" กล

ยุทธศาสตร์การตลาดควรใช้การเล่าเรื่อง (Storytelling) ที่เชื่อมโยงระหว่างการเดินทางของเสื้อชูชีพจากเครื่องบินสู่การช่วยชีวิตของแหล่งน้ำในชุมชน

การตลาดควรมุ่งเป้าไปที่ 3 กลุ่มหลัก คือ หน่วยงานภาครัฐ (โครงการพัฒนาชุมชน) ภาคเอกชน (CSR ของบริษัท) และชุมชนท้องถิ่น (โครงการแก้ปัญหาหน้าเสื่อ) แต่ละกลุ่มควรมีแพ็คเกจสินค้าและบริการที่แตกต่างกัน พร้อมระบบการให้คำปรึกษาและติดตามผลอย่างต่อเนื่อง

การพัฒนาศักยภาพทางเทคโนโลยีและนวัตกรรม

ข้อเสนอแนะที่ 4: การลงทุนวิจัยและพัฒนาเพื่อการปรับปรุงต่อเนื่อง

การศึกษาเสนอให้จัดสรรงบประมาณ 5-10% ของรายได้เพื่อการวิจัยและพัฒนา โดยมุ่งเน้นการปรับปรุงประสิทธิภาพระบบ การพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ และการประยุกต์ใช้วัสดุเหลือใช้ประเภทอื่น ทิศทางการวิจัยควรครอบคลุม การพัฒนาระบบ IoT สำหรับการตรวจสอบคุณภาพน้ำแบบเรียลไทม์ การใช้ AI ในการปรับปรุงประสิทธิภาพการบำบัด และการพัฒนาวัสดุชีวภาพจากของเหลือใช้

ความร่วมมือกับสถาบันการศึกษาควรดำเนินการในรูปแบบ Research Consortium โดยมีมหาวิทยาลัยชั้นนำหลายแห่งร่วมกัน เช่น จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ การแลกเปลี่ยนความรู้และเทคโนโลยีกับต่างประเทศควรเน้นไปที่ประเทศที่มีความก้าวหน้าด้านเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม เช่น ญี่ปุ่น เดนมาร์ก และสิงคโปร์

ข้อเสนอแนะที่ 5: การพัฒนาระบบมาตรฐานคุณภาพและการรับรอง

เพื่อสร้างความเชื่อมั่นและเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขัน ควรพัฒนา "มาตรฐานระบบบำบัดน้ำเสียจากวัสดุรีไซเคิลการบิน" (Thai Standard for Aviation Recycled Material Water Treatment System) ที่ครอบคลุมทั้งคุณภาพวัตถุดิบ ประสิทธิภาพการบำบัด ความปลอดภัย และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

การรับรองควรดำเนินการโดยหน่วยงานที่มีความน่าเชื่อถือ เช่น สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) หรือองค์กรรับรองคุณภาพระหว่างประเทศ ISO การมีระบบมาตรฐานจะช่วยให้สามารถขยายตลาดไปยังประเทศเพื่อนบ้านและเป็นการเตรียมความพร้อมสำหรับการส่งออกเทคโนโลยี

บทสรุปบทสรุปและข้อเสนอแนะในการศึกษาครั้งต่อไปเพื่อพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียแบบลอยน้ำจากวัสดุเสื่อชีพหมดอายุ

การศึกษาเรื่อง "การพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียแบบลอยน้ำจากวัสดุเสื่อชีพหมดอายุ: นวัตกรรมเพื่อการจัดการน้ำเสียอย่างยั่งยืน" ได้นำเสนอแนวทางใหม่ที่แก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมสองด้านพร้อมกัน คือ การจัดการของเสียจากอุตสาหกรรมการบินและการบำบัดน้ำเสียในชุมชน ภายใต้กรอบแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนและการพัฒนาอย่างยั่งยืน

ผลสำเร็จของนวัตกรรมนี้ปรากฏในหลายมิติ ทางด้านเทคนิค ระบบสามารถบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพตามมาตรฐานกรมควบคุมมลพิษ โดยลดค่า BOD ได้ 85.3% COD ลดได้ 80.0% และ TSS ลดได้ 87.4% พร้อมทั้งเพิ่มค่าออกซิเจนละลายน้ำได้ถึง 275% การใช้วัสดุจากเสื่อชีพหมดอายุมีอัตราการนำกลับมาใช้ใหม่สูงถึง 80-90% และระบบเติมอากาศพลังงานแสงอาทิตย์สามารถทำงานได้ 10-12 ชั่วโมงต่อวัน

ในด้านเศรษฐกิจ ระบบมีต้นทุนการก่อสร้างต่ำกว่าระบบดั้งเดิม 50% และต้นทุนการดำเนินงานต่ำกว่า 84% ด้วยระยะเวลาคืนทุนเพียง 2.4 ปี เสื่อชีพหมดอายุจากสายการบินไทยหลัก 3 สาย สามารถสร้างระบบบำบัดน้ำเสียได้ประมาณ 6,200-7,500 หน่วยต่อปี และมีศักยภาพสร้างรายได้ 150-250 ล้านบาทต่อปีในระยะเริ่มต้น

ด้านสิ่งแวดล้อมและสังคม ระบบสามารถลดก๊าซเรือนกระจกได้ 8,090 กิโลกรัม CO₂ เทียบเท่ากับหน่วยต่อปี ส่งผลให้สัตว์น้ำและแมลงน้ำกลับมาเพิ่มขึ้น และได้รับการยอมรับจากชุมชนสูงถึง 92% พร้อมสร้างงานรายได้ให้กับชุมชนท้องถิ่น

การพิสูจน์แนวคิดผ่านกรณีศึกษาสามแห่ง ได้แก่ ชุมชนริมคลองรังสิต ตลาดน้ำคลองลัดมะยม และฟาร์มเกษตรอินทรีย์ลำลูกกา แสดงให้เห็นถึงความสำเร็จในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ การสร้างรายได้ การเพิ่มจำนวนนักท่องเที่ยว และการปรับปรุงผลผลิตทางการเกษตร

การศึกษานี้ได้สร้างต้นแบบการพัฒนาที่บูรณาการหลักการสำคัญ ได้แก่ เศรษฐกิจหมุนเวียน ความยั่งยืนของอุตสาหกรรมการบิน การแก้ปัญหาระดับชุมชน และการผสมผสานเทคโนโลยีหลากหลายประเภท อย่างไรก็ตาม การศึกษายังมีข้อจำกัดด้านเวลา ขอบเขตพื้นที่ ประเภทน้ำเสียที่ทดสอบ และความไม่แน่นอนในการขยายผลเชิงพาณิชย์

ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษาต่อไปครอบคลุมการพัฒนาเทคโนโลยีเชิงลึก การศึกษาผลกระทบระยะยาว การประเมินผลทางสังคมและเศรษฐกิจ รวมถึงการพัฒนาโมเดลธุรกิจและกลไกการเงินเพื่อสนับสนุนการขยายผลสู่การใช้งานในวงกว้าง การศึกษานี้จึงเป็นต้นแบบที่มีศักยภาพสูงในการพัฒนาไปสู่นวัตกรรมที่สร้างผลกระทบเชิงบวกต่อสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ และสังคมอย่างครบถ้วนและยั่งยืน

เอกสารอ้างอิง

International Air Transport Association (IATA). (2019). *Cabin Waste Handbook: Best Practices for*

Cabin Waste Management. IATA. Retrieved from

<https://www.iata.org/en/programs/environment/cabin-waste/>

International Civil Aviation Organization (ICAO). (2023). *Annex 16 to the Convention on*

International Civil Aviation: Environmental Protection, Volume II - Aircraft Engine

Emissions (5th ed.). ICAO.

การทำอากาศยานแห่งประเทศไทย จำกัด (มหาชน). (2022). *รายงานความยั่งยืน ประจำปี 2565*. AOT.

Retrieved from <https://www.airportthai.co.th/th/investor-relations/annual-report/>

การทำอากาศยานแห่งประเทศไทย จำกัด (มหาชน). (2023). *แผนยุทธศาสตร์ด้านสิ่งแวดล้อม 2566-2570*. AOT

Environmental Strategy. Retrieved from

<https://www.airportthai.co.th/th/about-aot/environment/>

สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2022). *แผนแม่บทการจัดการทรัพยากรน้ำ 20 ปี*

(พ.ศ. 2561-2580). *กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม*. Retrieved from

<https://www.onep.go.th/th/content/page/index/id/64>

สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2023). นโยบายและแผนการส่งเสริมเศรษฐกิจ

หมุนเวียน พ.ศ. 2566-2570. ONEP. Retrieved from

<https://www.onep.go.th/th/content/category/detail/id/1157>

บริษัท การบินไทย จำกัด (มหาชน). (2022). รายงานความยั่งยืน ประจำปี 2565. THAI Sustainability Report.

Retrieved from

https://www.thaiairways.com/th_TH/about_thai/investor_relations/annual_report.page

บริษัท การบินไทย จำกัด (มหาชน). (2023). นโยบายการจัดการสิ่งแวดล้อม. Environmental Policy.

Retrieved from https://www.thaiairways.com/th_TH/about_thai/environment.page

บริษัท บางกอกแอร์เวย์ จำกัด (มหาชน). (2022). รายงานประจำปี 2565. Bangkok Airways Annual Report.

Retrieved from <https://www.bangkokair.com/eng/about-us/investor-relations-report>

บริษัท บางกอกแอร์เวย์ จำกัด (มหาชน). (2023). โครงการความรับผิดชอบต่อสังคม. CSR Projects. Retrieved

from <https://www.bangkokair.com/eng/about-us/csr>

บริษัท ไทยแอร์เอเชีย จำกัด. (2022). รายงานความยั่งยืน. AirAsia Thailand Sustainability Report.

Retrieved from <https://www.airasia.com/th/th/about-us/sustainability>

บริษัท ไทยแอร์เอเชีย จำกัด. (2023). โครงการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม. Environmental Impact

Reduction Program. Retrieved from <https://www.airasia.com/th/th/about-us/environment>

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. (2023). โครงการวิจัยเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม. ศูนย์วิจัย.

Retrieved from <https://www.engr.tu.ac.th/th/research/>

สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. (2023). แนวทางการพัฒนาเทคโนโลยีสีเขียว. TU Research

Institute. Retrieved from <https://www.research.tu.ac.th/>

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2022). การวิจัยด้านวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. Environmental

Engineering Research. Retrieved from <https://www.eng.chula.ac.th/th/research/>

สถาบันนวัตกรรมแห่งอนาคต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2023). นวัตกรรมเพื่อความยั่งยืน. Future Innovation

Institute. Retrieved from <https://www.chula.ac.th/research/>

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (2023). วิจัยด้านพลังงานหมุนเวียน. Renewable Energy

Research. Retrieved from <https://www.eng.ku.ac.th/th/research/>