

Received: Apr 10, 2025

Revised: Jun 18, 2025

Accepted: Jun 21, 2025

การผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ UASB โดยใช้กังหันน้ำเพลตัน ELECTRICITY GENERATION FROM UASB-TREATED WASTEWATER USING A PELTON TURBINE

phanupong samol¹, Akeratana Noppakant², Numchoke Wattananaiya³, Chaiporn Supahitanukool¹ and Supapradit Marsony^{1*}

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยปทุมธานี

²คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยธนบุรี

³คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

Phanupong Samol¹, Akeratana Noppakant², Numchoke Wattananaiya³,

Chaiporn Supahitanukool¹ and Supapradit Marsony^{1*}

¹Faculty of Engineering and Technology, Pathumtani University

²Faculty of Engineering, Thonburi University

³Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok

Corresponding author: e-mail supapradit.m@ptu.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดโดยระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket: UASB) โดยใช้กังหันน้ำชนิดเพลตัน (Pelton Turbine) ในการออกแบบและพัฒนาด้านแบบระบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก ชุดทดสอบที่ใช้มีขนาดความยาว 0.70 เมตร ความกว้าง 3.68 เมตร และความสูง 1.55 เมตร โดยใช้กังหันน้ำเพลตันขนาด 50 วัตต์ ทดสอบภายใต้ช่วงอัตราการไหลของน้ำตั้งแต่ 500 ถึง 1,000 ลิตรต่อชั่วโมง

ผลการทดลองพบว่าปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราการไหลของน้ำ โดยสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้สูงสุดเฉลี่ย 15.01 วัตต์ ที่อัตราการไหล 1,000 ลิตรต่อชั่วโมง เมื่อประเมินศักยภาพของระบบในระดับการใช้งานจริง ที่อัตราการไหล 50,000 ลิตรต่อชั่วโมง พบว่าสามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงสุด 574.53 วัตต์ โดยมีประสิทธิภาพไม่เกินร้อยละ 50 ของค่าทางทฤษฎี และสามารถลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ประมาณ 3,018 กิโลกรัมต่อปี ระบบดังกล่าวมีความคุ้มค่าในการลงทุน โดยมีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 0.87 ปี ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่า การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากน้ำเสียที่ผ่านระบบ UASB โดยใช้กังหันน้ำเพลตันขนาดเล็ก เป็นแนวทางที่เป็นไปได้ทั้งในด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ อีกทั้งยังเป็นทางเลือกที่มีศักยภาพในการนำพลังงานกลับมาใช้ภายในระบบบำบัดน้ำเสีย ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนเพื่อความยั่งยืนในระยะยาว

คำสำคัญ ระบบผลิตไฟฟ้าต้นแบบขนาดเล็ก การผลิตไฟฟ้าจากน้ำเสีย กังหันน้ำเพลตัน

Abstract

The objective of this research aimed to investigate the feasibility of generating electricity from wastewater treated by Upflow Anaerobic Sludge Blanket system (UASB) using a Pelton turbine. A small-scale prototype was designed and constructed with dimensions of 0.70 m x 3.68 m x 1.55 m to evaluate the performance of a 50-watt Pelton water turbine at water flow rates ranging from 500 to 1,000 liters per hour.

The experimental results showed that the electricity output increases with the flow rate, reaching a maximum average power of 15.01 watts at a flow rate of 1,000 liters per hour. A practical-scale evaluation using a UASB system with a flow rate of 50,000 liters per hour estimated a potential generation of 574.53

watts, with an efficiency of up to 50% of the theoretical value. The system also had the potential to reduce carbon dioxide emissions by approximately 3,018 kilograms per year. From an economic perspective, the power generation system proved to be viable, with a payback period of only 0.87 years. The findings confirmed the technical and economic wastewater, enhance energy efficiency, and promote renewable energy usage for long-term sustainability.

Keywords: Small-scale Power Generation System, Wastewater-to-Energy, Pelton Turbine

บทนำ

ในปัจจุบัน พลังงานไฟฟ้า นับเป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจและคุณภาพชีวิตของประชาชน อย่างไรก็ตาม การพึ่งพาพลังงานจากแหล่งที่ไม่สามารถหมุนเวียนได้ เช่น เชื้อเพลิงฟอสซิล ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมและภาวะโลกร้อน ส่งผลให้แนวทางการผลิตพลังงานจากแหล่งพลังงานทดแทนได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้น (Dirma et al., 2024) โดยเฉพาะแนวทางที่สามารถบูรณาการเข้ากับกระบวนการทางอุตสาหกรรมที่มีอยู่แล้ว เช่น การนำของเสียจากกระบวนการผลิตกลับมาใช้ประโยชน์ ซึ่งนอกจากจะลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแล้ว ยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพด้านพลังงานอีกด้วย หนึ่งในของเสียที่มีศักยภาพในการนำกลับมาใช้คือ น้ำเสีย โดยเฉพาะจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจน เช่น ระบบยูเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket: UASB) ซึ่งเป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่ได้รับความนิยมในอุตสาหกรรม เนื่องจากสามารถรองรับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง ใช้พลังงานต่ำ และสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ในกระบวนการ (Mainardis et al., 2020) อย่างไรก็ตาม น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจากระบบนี้ มักถูกปล่อยทิ้งโดยไม่มีการนำกลับมาใช้ แม้จะยังมี ศักยภาพทางพลังงาน ที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าได้ ทั้งจากแรงดันจากการตกของน้ำและอัตราการไหลของน้ำที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติของระบบ แม้จะมีแนวโน้มความสนใจในด้านการผลิตพลังงานจากน้ำเสียเพิ่มขึ้น แต่ในปัจจุบันยังขาดการศึกษาเชิงลึกและการพัฒนาเทคโนโลยีที่เหมาะสม กังหันน้ำเพลตัน (Pelton Turbine) เป็นกังหันน้ำแบบแรงดันสูงที่เหมาะสมกับแหล่งน้ำที่มีอัตราการไหลต่ำแต่มีความสูงตกต่างมาก (Ibrahim et al., 2021) ซึ่งตรงกับลักษณะการไหลของน้ำที่ผ่านระบบ UASB การประยุกต์ใช้กังหันน้ำเพลตันในการผลิตไฟฟ้าจากน้ำเสียจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถแปลงพลังงานศักย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Paish, 2002; Samol et al., 2024) และอาจส่งผลเชิงบวกทั้งในด้านการประหยัดพลังงาน ลดต้นทุนการดำเนินงาน และลดปริมาณของเสียในระบบอุตสาหกรรม นอกจากนี้ แนวคิดด้านการจัดการพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในระดับอาคารหรือสถานประกอบการก็เป็นอีกปัจจัยสำคัญที่สนับสนุนการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีด้านพลังงานในทางปฏิบัติ ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานและลดความสูญเสียได้อย่างชัดเจน แนวทางดังกล่าวสามารถนำมาปรับใช้กับระบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กจากน้ำเสีย โดยเฉพาะในด้านการควบคุมและบริหารจัดการการผลิตไฟฟ้าให้เกิดความเสถียรและคุ้มค่ามากที่สุด (เอกรัตน์ นกานต์ และคณะ, 2022)

จากปัญหาและช่องว่างทางองค์ความรู้ดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจากระบบ UASB โดยใช้กังหันน้ำเพลตันเป็นกลไกหลักในการแปลงพลังงาน ทั้งนี้เพื่อวิเคราะห์ด้านเทคนิค ประสิทธิภาพการทำงาน และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบในบริบทการใช้งานจริง ซึ่งจะเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญในการพัฒนาเทคโนโลยีระบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กจากน้ำเสียในอนาคต

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบ UASB โดยใช้กังหันน้ำเพลตันเป็นกลไกในการแปลงพลังงาน
2. เพื่อออกแบบและสร้างชุดทดสอบแบบระบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กจากน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด
3. เพื่อประเมินศักยภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าและผลกระทบต่อการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากระบบต้นแบบ
4. เพื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กจากน้ำเสีย

ขอบเขตของการวิจัย

1. งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาการผลิตพลังงานไฟฟ้าขนาดเล็กจากน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบ UASB โดยใช้กังหันน้ำเพลตันเป็นกลไกหลักในการแปลงพลังงาน

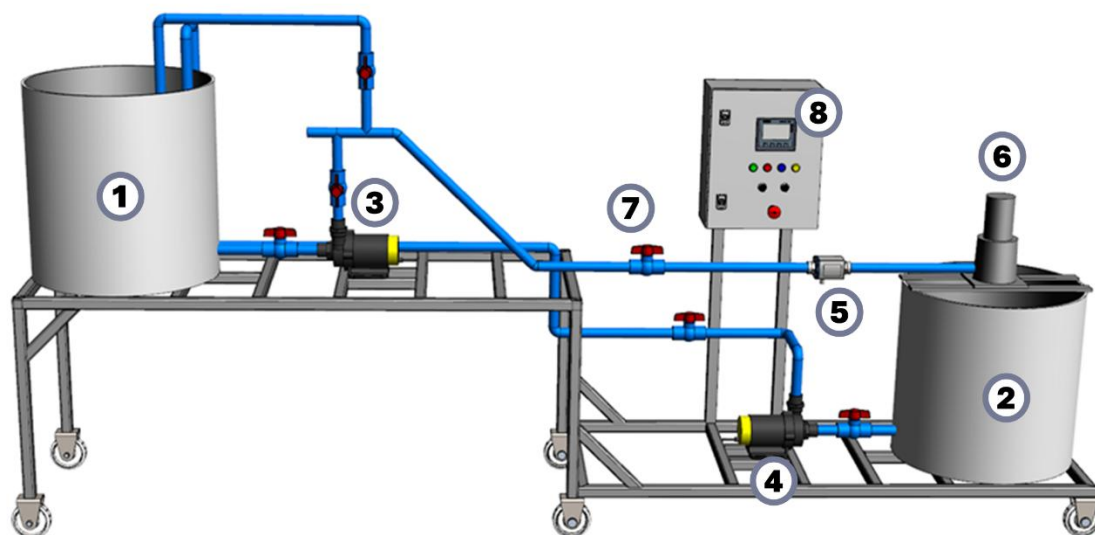
2. การทดลองดำเนินการโดยสร้างชุดทดสอบระบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก มีขนาดจำกัด เพื่อจำลองการไหลของน้ำจากระบบบำบัดน้ำเสีย
3. การทดสอบประสิทธิภาพของกังหันน้ำเพลตันดำเนินการที่อัตราการไหลระหว่าง 500 ถึง 1,000 ลิตรต่อชั่วโมง
4. ขอบเขตของงานวิจัยนี้ไม่รวมถึงการออกแบบ ปรับปรุง หรือพัฒนาโครงสร้างของระบบ UASB เดิม แต่จะมุ่งเน้นเฉพาะการใช้ประโยชน์จากน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วในการผลิตไฟฟ้า
5. การวิจัยนี้ครอบคลุมการประเมินศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) รวมถึงการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าดังกล่าว
6. งานวิจัยนี้ใช้คุณสมบัติของน้ำหลังการบำบัดจากระบบ UASB ที่มีความเสถียรและไม่มีการปนเปื้อนที่ส่งผลต่อการทำงานของกังหันน้ำ โดยไม่ครอบคลุมการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำเสียที่รุนแรงหรือมีองค์ประกอบเฉพาะทางอุตสาหกรรมที่อาจส่งผลกระทบต่อกังหัน

วิธีการดำเนินการวิจัย

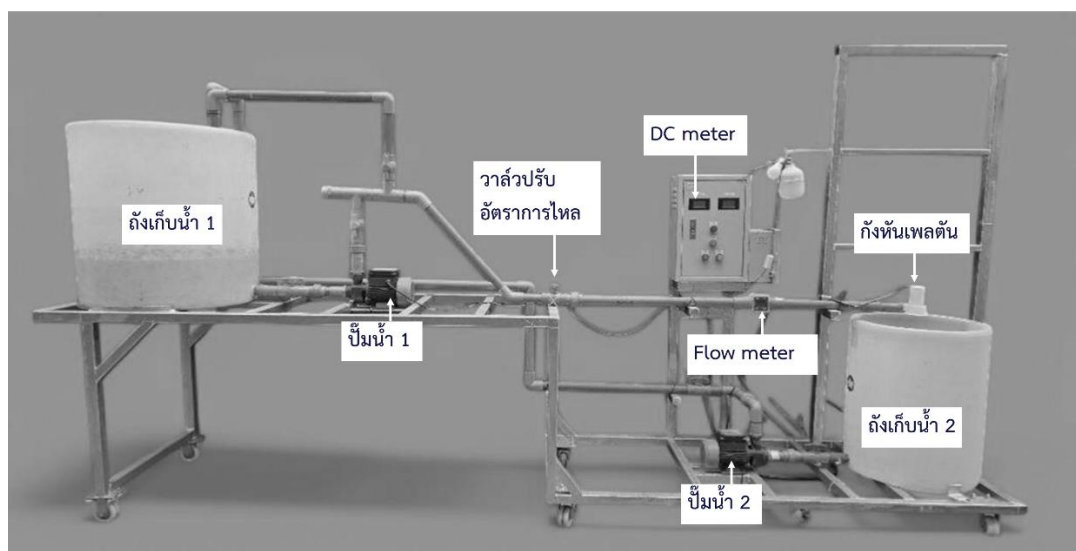
การดำเนินงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การศึกษาและออกแบบระบบต้นแบบ การสร้างชุดทดสอบการผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก การทดสอบประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของกังหันน้ำเพลตัน และการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ดังนี้

1. การศึกษาและออกแบบระบบต้นแบบ ผู้วิจัยทำการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับระบบบำบัดน้ำเสียแบบ UASB รวมถึงคุณสมบัติของน้ำที่ผ่านการบำบัด และลักษณะการไหลของน้ำ เพื่อนำมาวิเคราะห์ความเหมาะสมในการนำมาก่อให้เกิดพลังงานศักย์ จากนั้นดำเนินการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กโดยใช้กังหันน้ำแบบเพลตัน (Pelton Turbine) ซึ่งเหมาะสมกับอัตราการไหลต่ำแต่มีแรงดันสูง โดยคำนวณและกำหนดขนาดของอุปกรณ์ให้สอดคล้องกับสถานะของน้ำที่ได้จากระบบ UASB

2. การสร้างชุดทดสอบการผลิตไฟฟ้าในการทดลอง มีขนาดความยาว 0.70 เมตร ความกว้าง 3.68 เมตร และความสูง 1.55 เมตร โดยใช้กังหันน้ำเพลตันขนาด 50 วัตต์เป็นกลไกหลักในการผลิตไฟฟ้า ระบบประกอบด้วยถังเก็บน้ำ ท่อส่งน้ำ กังหันเพลตัน เครื่องวัดอัตราการไหล และระบบควบคุมการวัดผลการผลิตไฟฟ้า ตามภาพที่ 1 และ 2



ภาพที่ 1 แบบจำลองชุดทดสอบการผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กด้วยโปรแกรม Solidworks



ภาพที่ 2 ชุดทดสอบการผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก

ชุดทดสอบการผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กตามภาพที่ 1 และ 2 ประกอบด้วยวัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่ใช้ในการดำเนินการทดลอง ดังนี้

2.1 ถังเก็บน้ำ ขนาดความจุ 200 ลิตร จำนวน 2 ใบ ใช้สำหรับเก็บน้ำที่ใช้ในการทดสอบ หมายเลข 1 และ 2 ตามภาพที่ 1 โดยใส่น้ำที่ใช้ทดสอบ 150 ลิตร

2.2 ปั๊มน้ำชนิดหอยโข่ง จำนวน 2 เครื่อง หมายเลข 3 และ 4 ตามภาพที่ 1 โดยมีอัตราการไหลอยู่ในช่วง 5 ถึง 40 ลิตรต่อวินาที ทำหน้าที่สูบน้ำเข้าสู่ระบบและควบคุมการไหลของน้ำ

2.3 ชุดวัดอัตราการไหลแบบดิจิทัล (Flow meter) หมายเลข 5 ตามภาพที่ 1 ใช้สำหรับวัดอัตราการไหลของน้ำในระบบ โดยสามารถวัดอัตราการไหลได้ในช่วง 0 ถึง 120 ลิตรต่อวินาที เพื่อความแม่นยำในการควบคุมการทดสอบปรับอัตราการไหลโดยใช้วาล์วปรับอัตราการไหล หมายเลข 7 ตามภาพที่ 1

2.4 เครื่องวัดค่าทางไฟฟ้า (DC Meter) หมายเลข 8 ตามภาพที่ 1 สำหรับวัดค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากกังหันน้ำ

2.5 ชุดกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าเพลตันขนาดเล็ก หมายเลข 6 ขนาด 50 วัตต์ จำนวนใบพัด 17 ใบพัด ตามภาพที่ 3 และตารางที่ 1

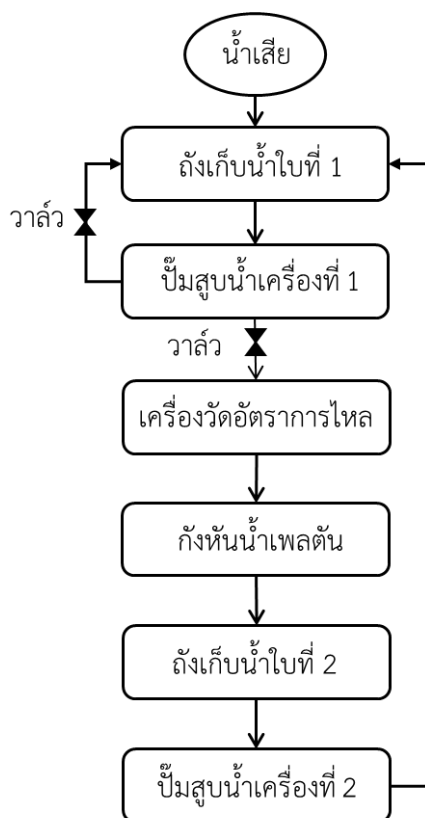


ภาพที่ 3 กังหันน้ำเพลตันที่ใช้ในการทดสอบ

ตารางที่ 1 สมบัติกังหันเพลตันที่ใช้ทดสอบ

รายการ	สมบัติ
กำลังไฟฟ้าสูงสุด	50 W
ขนาด	8.1x10 cm
แรงดันไฟฟ้า	1-36 V
จำนวนใบพัด	17

3. การทดสอบประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของกังหันน้ำเพลตัน ทำการทดลองโดยใช้น้ำจำลองที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำที่ผ่านการบำบัดจากระบบ UASB ทดสอบการทำงานของระบบภายใต้อัตราการไหลของน้ำที่แตกต่างกันในช่วง 500 ถึง 1,000 ลิตรต่อชั่วโมง โดยวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากกังหันน้ำเพลตัน ในแต่ละอัตราการไหล นอกจากนี้ ยังมีการ ประเมิน ศักยภาพของระบบในขนาดจริง โดยใช้ข้อมูลจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ UASB ที่มีอัตราการไหล 50,000 ลิตรต่อชั่วโมง เพื่อนำไปคำนวณการผลิตไฟฟ้าในระดับใช้งานจริง โดยอิงจากผลการทดลองที่ได้จากต้นแบบ การทดสอบประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของกังหันเพลตัน โดยใช้ชุดทดสอบการผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก มีขั้นตอนการทดสอบดัง ภาพที่ 4



รูปที่ 4 ขั้นตอนการทดสอบการผลิตไฟฟ้า

ภาพที่ 4 แสดงขั้นตอนการทดสอบการผลิตพลังงานไฟฟ้าของกังหันน้ำเพลตัน ซึ่งขั้นตอนการทดลองถูกออกแบบเพื่อจำลองการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด โดยลำดับการดำเนินการสามารถสรุปได้ดังนี้

3.1 นำน้ำที่ใช้สำหรับการทดสอบใส่ลงในถังเก็บน้ำใบที่ 1

3.2 ทำการทดสอบการผลิตพลังงานไฟฟ้าของกังหันน้ำเพลตันโดยเริ่มต้นจากการเปิดใช้งานปั๊มน้ำเครื่องที่ 1 และควบคุมอัตราการไหลของน้ำโดยการปรับวาล์วร่วมกับการตรวจสอบค่าที่ได้จากเครื่องวัดอัตราการไหล โดยกำหนดช่วงอัตราการไหลระหว่าง 500 ถึง 1,000 ลิตรต่อชั่วโมง เพิ่มขึ้นครั้งละ 100 ลิตรต่อชั่วโมง เพื่อควบคุมน้ำให้ไหลผ่านกังหันเพลตันตามค่าที่กำหนด

3.3 ดำเนินการเปิดปั๊มน้ำเครื่องที่ 2 เพื่อสูบน้ำที่ไหลผ่านกังหันเพลตันและถูกเก็บรวบรวมในถังเก็บน้ำใบที่ 2 กลับเข้าสู่ถังเก็บน้ำใบที่ 1 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อรักษาระดับน้ำให้คงที่ตลอดระยะเวลาการทดสอบ

3.4 บันทึกข้อมูลกระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้า จากเครื่องวัดอัตราการไหล ทุก 30 นาที รวม 8 ครั้งต่ออัตราการไหลที่กำหนด

4. การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ผลการทดลองจะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อหาประสิทธิภาพการแปลงพลังงานของระบบ และเปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎี นอกจากนี้ ยังดำเนินการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ เพื่อประเมินความคุ้มค่าของระบบ

ผลการดำเนินการ

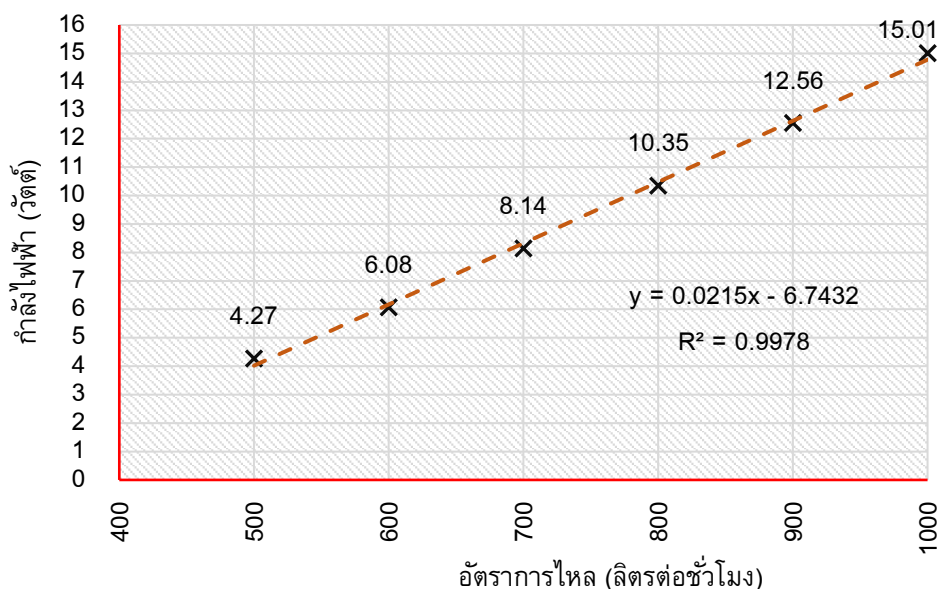
1. ผลการทดสอบการผลิตไฟฟ้าจากกังหันน้ำ

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ดำเนินการทดสอบสมรรถนะของกังหันเพลตันโดยใช้ชุดทดสอบการผลิตไฟฟ้าทดสอบขนาดเล็กเพื่อประเมินศักยภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าภายใต้สภาวะที่ควบคุมได้ โดยทำการวัดค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าที่สำคัญ ได้แก่ กำลังไฟฟ้า (วัตต์) แรงดันไฟฟ้า (โวลต์) และกระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมป์) ซึ่งค่าที่ได้จากการทดลองสะท้อนถึงประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานศักย์ของน้ำให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้อย่างเหมาะสม ทั้งนี้ผลการทดสอบสามารถสรุปและแสดงได้ตามรายละเอียดในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบกังหันผลิตไฟฟ้าเพลตัน

อัตราการไหล (ลิตรต่อชั่วโมง)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	กระแสไฟฟ้า (มิลลิแอมป์)
500	4.27	12.20	350
600	6.08	13.50	450
700	8.14	14.80	550
800	10.35	15.92	650
900	12.56	17.20	730
1000	15.01	18.30	820

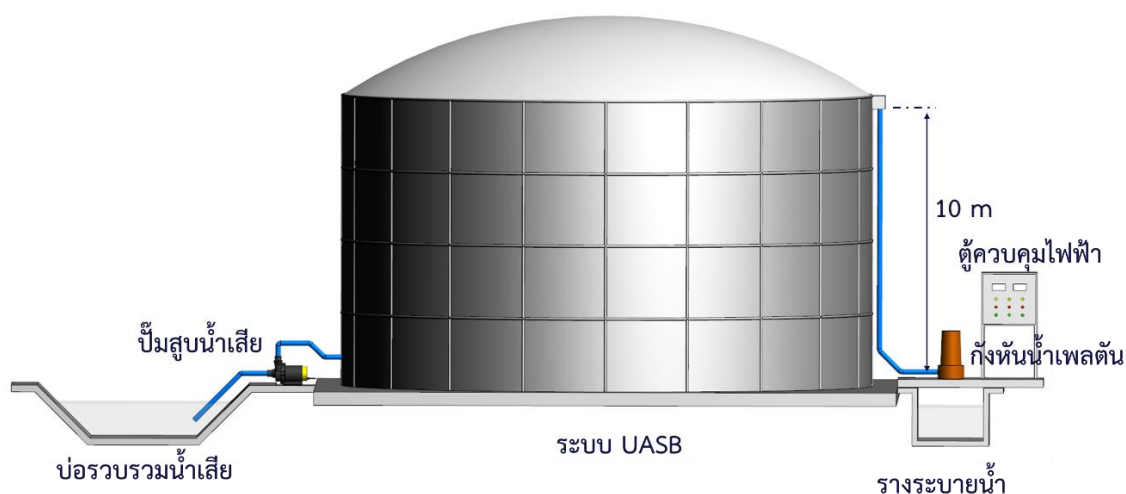
จากการวิเคราะห์ข้อมูลในตารางที่ 2 พบว่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากกังหันน้ำเพลตัน โดยใช้น้ำเสียที่ผ่านระบบบำบัดแบบ UASB ที่มีอัตราการไหลตั้งแต่ 500 ถึง 1,000 ลิตรต่อชั่วโมง พบว่า กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนตามอัตราการไหลของน้ำ และสอดคล้องกับความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า ที่อัตราการไหล 500 ลิตรต่อชั่วโมง สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 4.27 วัตต์ เพิ่มขึ้นเป็น 15.01 วัตต์ ที่อัตราการไหล 1,000 ลิตรต่อชั่วโมง เมื่อทำการคำนวณพลังงานไฟฟ้า (จากสมการ $P = IV$) พบว่า ค่ากำลังไฟฟ้าที่คำนวณได้จากแรงดันและกระแสใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จริง ค่าความคลาดเคลื่อน (Error) ต่ำมาก เฉลี่ยไม่เกิน $\pm 0.1\%$ แสดงถึงความน่าเชื่อถือของระบบการวัดผลและการแปลงพลังงานของชุดต้นแบบ เมื่อนำมาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล กับ กำลังไฟฟ้า ได้ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับกำลังไฟฟ้า

รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำ (Flow rate) กับกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ (Power) ของกังหันน้ำ โดยพบว่ามีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยสมการ $y = 0.0215x - 6.7432$ และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ $R^2 = 0.9978$ แสดงถึงความแม่นยำของแบบจำลองเชิงเส้นในการทำนายค่ากำลังไฟฟ้า ความชันของสมการมีค่าเท่ากับ 0.0215 หมายความว่า ทุกการเพิ่มขึ้นของอัตราการไหล 1 ลิตรต่อชั่วโมง จะทำให้กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 0.0215 วัตต์ และจากข้อมูลพบว่าที่อัตราการไหล 1000 ลิตรต่อชั่วโมง กังหันสามารถผลิตพลังงานได้สูงสุดถึง 15.01 วัตต์ สะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพของกังหันในช่วงอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้น

2. ผลการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าต้นแบบขนาดเล็ก



ภาพที่ 6 แบบจำลองระบบการผลิตไฟฟ้าต้นแบบขนาดเล็ก

ภาพที่ 6 แสดงแบบจำลองระบบการผลิตไฟฟ้าต้นแบบขนาดเล็กประกอบด้วยส่วนประกอบหลักหลายส่วน ได้แก่ บ่อรวบรวมน้ำเสีย ที่ทำหน้าที่รวมน้ำเสียก่อนจะถูกสูบโดยปั๊มสูบน้ำเสีย ไปยังระบบบำบัดน้ำเสียแบบ UASB ซึ่งกระบวนการบำบัดจะเกิดจากการไหลของน้ำเสียจากด้านล่างขึ้นไปยังด้านบน น้ำที่ผ่านการบำบัดจะไหลออกจากท่อน้ำที่ด้านบนและตกลง

สู่พื้นผ่านกังหันเพลดันผลิตไฟฟ้าซึ่งกังหันน้ำจะเปลี่ยนพลังงานจากการไหลของน้ำเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จะถูกส่งไปยังตู้ควบคุมไฟฟ้า เพื่อนำพลังงานไฟฟ้ากลับมาใช้ในกระบวนการต่างๆ ภายในระบบ

จากแบบจำลองระบบการผลิตไฟฟ้าต้นแบบขนาดเล็ก (รูปที่ 6) วิเคราะห์พลังงานไฟฟ้า (P) ที่ผลิตได้โดยใช้ทฤษฎี และสมการความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับกำลังไฟฟ้า (P) ของกังหันเพลดัน ได้ดังนี้

2.1 การวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าต้นแบบขนาดเล็กสามารถทำได้โดยใช้สมการพลังงานศักย์ของของไหล ดังแสดงในสมการที่ (1) โดยกำหนดให้ประสิทธิภาพของกังหัน (η) เท่ากับ 100% ระดับน้ำเหนือกังหันมีความสูง (H) เท่ากับ 10 เมตร และอัตราการไหลของน้ำ (Q) เท่ากับ 50,000 ลิตรต่อชั่วโมง หรือ 0.014 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที เมื่อนำค่าดังกล่าวแทนในสมการ จะสามารถคำนวณหา กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากสมการ (1) ดังนี้

$$P = \eta \rho g H Q \quad (1)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของน้ำ มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเมตร (1,000 กิโลกรัมต่อตารางเมตร)

η คือ ประสิทธิภาพของกังหัน มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (%)

H คือ ความสูง เมื่อวัดจากจุดอ้างอิงมีหน่วยเป็นเมตร (เมตร)

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที² (9.81 เมตรต่อวินาที²)

เมื่อนำค่าเข้าแทนในสมการที่ (1) จะได้

$$P = 1373.4 \text{ วัตต์}$$

2.2 วิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบการผลิตไฟฟ้าต้นแบบขนาดเล็ก โดยใช้กังหันน้ำกังหันเพลดัน จากผลการทดสอบการผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก เมื่อนำมาสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) และกำลังไฟฟ้า (P) ได้สมการเชิงเส้น ดังนี้

$$P = 0.0116Q - 4.1654 \quad (2)$$

โดยที่ P คือ กำลังไฟฟ้า (วัตต์) และ Q คือ อัตราการไหล (ลิตรต่อชั่วโมง) เมื่อแทนค่า Q = 50,000 ลิตรต่อชั่วโมง ลงในสมการที่ (2) จะได้:

$$\begin{aligned} P &= 0.0116(50,000) - 4.1654 \\ &= 574.53 \text{ วัตต์} \end{aligned}$$

2.3 การวิเคราะห์การลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂)

จากการที่ระบบบำบัดน้ำเสียมีการปล่อยน้ำอย่างต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง ส่งผลให้ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันน้ำเพลดันสามารถดำเนินการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ตลอดทั้งวัน โดยพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละวันสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{พลังงานต่อวัน} &= 574.53 \text{ วัตต์} \times 24 \text{ ชั่วโมง} \\ &= 13.79 \text{ กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อวัน} \end{aligned}$$

ค่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการผลิตไฟฟ้าด้วยเชื้อเพลิงฟอสซิลมีค่าแตกต่างกันตามประเภทของเชื้อเพลิง โดยถ่านหินมีค่าการปล่อยประมาณ 1.0 กิโลกรัม CO₂ ต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง และก๊าซธรรมชาติประมาณ 0.4 ถึง 0.5 กิโลกรัม CO₂ ต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง สำหรับประเทศไทย ค่าการปล่อยโดยเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 0.5 ถึง 0.6 กิโลกรัม CO₂ ต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง ดังนั้น ในการวิเคราะห์นี้จึงเลือกใช้ค่าเฉลี่ยที่ 0.6 กิโลกรัม CO₂ ต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง (Global Economic Insights, 2024) ค่าการลดการปล่อยก๊าซ CO₂ จากการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยระบบกังหันน้ำสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{การลดค่า CO}_2 \text{ ต่อวัน} &= 13.79 \times 0.6 \text{ กิโลกรัม CO}_2 \text{ ต่อวัน} \\ &= 8.27 \text{ กิโลกรัม CO}_2 \text{ ต่อวัน} \\ &= 3,018 \text{ กิโลกรัม CO}_2 \text{ ต่อปี} \end{aligned}$$

ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันน้ำเพลตันจากน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วสามารถช่วยลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งสะท้อนถึงศักยภาพของระบบในการมีส่วนร่วมในการลดผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และสามารถนำไปพิจารณาในการขอรับสิทธิประโยชน์จากคาร์บอนเครดิตในอนาคตได้

3. ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

จากแบบจำลองระบบการผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กจากระบบบำบัดน้ำเสีย UASB ที่ได้ นำมาทำการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์โดยใช้หลักการวิเคราะห์ต้นทุนและผลประโยชน์ เป็นการพิจารณาว่าผลประโยชน์ของโครงการมากกว่าหรือน้อยกว่าต้นทุน สามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้

3.1 ต้นทุนการติดตั้งกังหันพลังน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กต้นทุนเฉลี่ยประมาณ 60,000 บาท ต่อκιโลวัตต์ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2559; ศูนย์วิจัยพลังงานแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2555; Chompookham & Boon-Long, 2010) ดังนั้นต้นทุนของการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กที่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 574.53 วัตต์ เท่ากับ 34,472 บาท

3.2 การวิเคราะห์ผลประโยชน์ของโครงการ

ผลประโยชน์ที่ได้จากโครงการ คือ การลดค่าใช้จ่ายไฟฟ้า จากการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก มาช่วยลดปริมาณการใช้ไฟฟ้า ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการใช้ไฟฟ้า (Q) และกำลังไฟฟ้า (P) ของกังหัน สามารถคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากระบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก ได้ค่าพลังงานไฟฟ้า เท่ากับ 574.53 วัตต์ และนำมาคำนวณผลประโยชน์จากการผลิตไฟฟ้าได้ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลประโยชน์จากการผลิตไฟฟ้า

รายการ	ผลลัพธ์	หน่วย
1 พลังงานไฟฟ้าที่ระบบผลิตได้	574.53	วัตต์
2 ระยะเวลาทำงานของระบบ	24	ชั่วโมง
3 พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากระบบ = $[(1) \times (2) / 1000] \times 30$	413	หน่วยต่อเดือน
4 Ft.	0.9112	-
5 ค่าพลังงานไฟฟ้า	4.1839	บาทต่อหน่วย
6 ค่าพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด = $\{[(3) \times (5)] + [(3) \times (4)] + \text{Vat } 7\% \} \times 12$	39,429	บาทต่อปี

จากตารางที่ 4 พบว่า ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากน้ำเสียสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เฉลี่ย 574.53 วัตต์ และมีระยะเวลาการทำงาน 24 ชั่วโมงต่อวัน เมื่อคำนวณรวมในระยะเวลา 30 วัน จะได้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดประมาณ 413 หน่วยต่อเดือน โดยพิจารณาอัตราค่าไฟฟ้าพื้นฐาน (Ft) เท่ากับ 0.9112 และค่าไฟฟ้าหน่วยละ 4.1839 บาท จะได้มูลค่าค่าไฟฟ้าทั้งปี เท่ากับ 39,429 บาท ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบดังกล่าวมีศักยภาพในการสร้างผลประโยชน์ทางเศรษฐกิจในระดับที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริง

3.3 ระยะเวลาคืนทุน (Payback period: PB) เป็นเกณฑ์ทางเศรษฐศาสตร์ที่ใช้ประเมินความสามารถในการคืนต้นทุนของโครงการภายในระยะเวลาที่กำหนด โดยพิจารณาจากช่วงเวลาที่ผลประโยชน์หรือรายได้ที่เกิดขึ้นจากการดำเนินโครงการสามารถชดเชยต้นทุนเริ่มแรกที่ลงทุนไปได้อย่างครบถ้วน ซึ่งเป็นตัวชี้วัดเบื้องต้นที่นิยมใช้ในการตัดสินใจลงทุน โดยเฉพาะในโครงการด้านพลังงานหรือระบบเทคโนโลยีที่มีความเสี่ยง การคำนวณระยะเวลาคืนทุนสามารถทำได้จากสมการที่ (3) ดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{PB} &= \frac{\text{TC}}{\text{AB}} & (3) \\
 &= 34,472 / 39,429 \\
 &= 0.87 \quad \text{ปี}
 \end{aligned}$$

โดยที่ PB คือ ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB)
 TC คือ ต้นทุนทั้งหมด (Total Cost)
 AB คือ ผลประโยชน์เฉลี่ยต่อปี (Average Benefit / Year)

จากการคำนวณพบว่า ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากน้ำเสียต้นแบบมีระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 0.87 ปี หรือประมาณ 10 เดือน แสดงให้เห็นถึงความคุ้มค่าและศักยภาพในการลงทุนด้านเศรษฐศาสตร์.

สรุปและการอภิปรายผล

จากการวิจัยพบว่า การผลิตไฟฟ้าจากน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบ UASB โดยใช้กังหันน้ำเพลตันเป็นกลไกในการแปลงพลังงาน เป็นแนวทางที่สามารถนำไปใช้งานได้จริงในโรงบำบัดน้ำเสีย โดยอาศัยพลังงานจากการไหลของน้ำที่มีอยู่แล้วในระบบ ผลการทดลองจากชุดต้นแบบระบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กแสดงให้เห็นว่า ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับอัตราการไหลของน้ำ โดยสามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงสุดเฉลี่ย 15.01 วัตต์ ที่อัตราการไหล 1,000 ลิตรต่อชั่วโมง และเมื่อจำลองสภาพการทำงานจริงที่อัตราการไหล 25,000 ลิตรต่อชั่วโมง ระบบสามารถผลิตพลังงานได้สูงสุดประมาณ 574.53 วัตต์ แม้ประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานจะอยู่ที่ไม่เกินร้อยละ 50 ของค่าทางทฤษฎี แต่ก็ถือว่าเหมาะสมกับลักษณะของระบบที่ใช้พลังงานจากของเสีย ทั้งนี้ ระบบยังแสดงศักยภาพในด้านสิ่งแวดล้อม โดยสามารถลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ถึง 3,018 กิโลกรัมต่อวัน นอกจากนี้ การวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์พบว่า ระบบมีความคุ้มค่าในการลงทุน โดยมีระยะเวลาคืนทุนเพียง 0.87 ปี ซึ่งถือว่ารวดเร็วและส่งผลดีต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานในพื้นที่ที่มีการระบายน้ำเสียอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ระบบผลิตไฟฟ้าดังกล่าวมีความเป็นไปได้ทั้งในเชิงเทคนิค เศรษฐศาสตร์ และสิ่งแวดล้อม และสามารถใช้เป็นต้นแบบในการพัฒนาระบบพลังงานหมุนเวียนจากของเสียได้อย่างยั่งยืน

ข้อเสนอแนะ

ควรทดสอบระบบในระยะยาวภายใต้สภาพน้ำจริงจาก UASB เพื่อประเมินผลกระทบจากตะกอนหรือสิ่งเจือปน ควรขยายการทดลองสู่ระดับกึ่งอุตสาหกรรมหรือภาคสนามเพื่อประเมินความเหมาะสมในการใช้งานจริง ควรศึกษาการรวมระบบผลิตไฟฟ้ากับแหล่งพลังงานอื่น เช่น ก๊าซชีวภาพจากกากตะกอน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวม และควรประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมเพื่อสนับสนุนการพัฒนาที่ยั่งยืน (Zhang et al., 2022; Li et al. 2020)

กิตติประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ดร.ศุภประดิษฐ์ มาสงค์ และ ดร.ชัยพร สุภาหิตานุกุล ที่ช่วยแนะนำ ให้ความรู้ สนับสนุนข้อมูลประกอบการวิจัย ตลอดจนคำแนะนำอื่น ๆ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ ทีมช่าง บริษัท เอโอเอส เอ็นจิเนียริง (ประเทศไทย) จำกัด ที่ช่วยจัดหาอุปกรณ์ สร้างแบบจำลอง และ สนับสนุนด้วยดีเสมอมา ขอขอบคุณครอบครัว คุณแม่สมพงษ์ สามล และ คุณอรพิน พะนารินทร์ ผู้คอยให้กำลังใจและสนับสนุนด้วยดีตลอดมา ตลอดจนบุคคลท่านอื่นที่ไม่ได้เอ่ยนาม ณ ที่นี้

เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2559). คู่มือการพัฒนาโครงการผลิตไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก. กระทรวงพลังงาน. <http://www.dede.go.th>
- ศูนย์วิจัยพลังงานแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2555). รายงานการศึกษาความเหมาะสมของการใช้พลังงานน้ำในพื้นที่ท่าอากาศยาน. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (กรุงเทพฯ).
- เอกรัตน์ นกานต์, บุญยัง ปลั่งกลาง และศุภวัฒน์ ลาวัลย์วิสุทธิ. (2022). การบริหารจัดการพลังงานในอาคารโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุม. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธนบุรี, 6(1), 1–12.
- Chompookham, T., & Boon-Long, S. (2010). Micro hydropower development in Thailand: Case studies and policy implications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(7), 1991–1995. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.03.026>
- Dirma, V., Neverauskienė, L. O., Tvaronavičienė, M., Danilevičienė, I., & Tamošiūnienė, R. (2024). The impact of renewable energy development on economic growth. *Energies*, 17(24), 6328. <https://doi.org/10.3390/en17246328>

- Global Economic Insights. (2024). Carbon dioxide emission per electricity generation – Thailand. CEIC Data. Retrieved March 26, 2025, from <https://www.ceicdata.com/en/thailand/carbon-dioxide-emissions-statistics/carbon-dioxide-emission-per-electricity-generation>
- Ibrahim, H. I., Abdullah, H. B., Othman, M. Y. H., & Ariffin, M. K. A. (2021). Experimental studies of Pelton hydropower using waste water. *Journal of Fluid Flow, Heat and Mass Transfer (JFFHMT)*, 8, 10–16. <https://jffhmt.avestia.com/2021/PDF/002.pdf>
- Lettinga, G., Van Velsen, A. F. M., Hobma, S. W., de Zeeuw, W., & Klapwijk, A. (1980). Use of the upflow sludge blanket (USB) reactor concept for biological wastewater treatment, especially for anaerobic treatment. *Biotechnology and Bioengineering*, 22(4), 699–734. <https://doi.org/10.1002/bit.260220402>
- Li, Y., Gao, X., Wang, X., Zhang, Y., & Guo, L. (2020). Long-term performance of UASB and AnMBR for treating wastewater containing N, N-dimethylformamide (DMF): Focus on operational stability and microbial. *Journal of Environmental Management*, 273, 111095. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111095>
- Mainardis, M., Buttazzoni, M., & Goi, D. (2020). Up-flow anaerobic sludge blanket (UASB) technology for energy recovery: A review on state-of-the-art and recent technological advances. *Bioengineering*, 7(2), 43. <https://doi.org/10.3390/bioengineering7020043>
- Paish, O. (2002). Small hydro power: Technology and current status. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 6(6), 537–556. [https://doi.org/10.1016/S1364-0321\(02\)00006-0](https://doi.org/10.1016/S1364-0321(02)00006-0)
- Samol, P., Limsakul, C., & Wichitnithad, N. (2024). Techno-economic feasibility study of electricity generation from industrial wastewater treatment system. *Journal of Engineering Research and Materials Utilization Technology*, 12(1), 45–56. <https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/jermutt/article/view/259237>
- Zhang, X., Yang, G., Zhang, Y., Wang, H., & Li, J. (2022). Environmental and economic assessment of biogas and sludge energy utilization from UASB system using life cycle assessment. *Energy*, 257, 124770. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124770>

Translated Thai References

- Department of Alternative Energy Development and Efficiency. (2016). *Handbook for the development of small hydropower projects*. Ministry of Energy. <http://www.dede.go.th>
- Chulalongkorn University Energy Research Center. (2012). *Feasibility study report on the use of hydropower in remote areas*. Chulalongkorn University: Bangkok.
- Noppakant, A., Plangklang, B., & Lawanvisut, S. (2022). the building energy management using microprocessor control. *Journal of Science and Technology, Thonburi University*, 6(1), 1–12.