

Received: May 19, 2025

Revised: Dec 3, 2025

Accepted: Dec 5, 2025

การประเมินการเลือกใช้กังหันน้ำสำหรับผลิตไฟฟ้าจากน้ำระบายของหอหล่อเย็น โดยเปรียบเทียบข้อมูลการทดลองของกังหันเพลตันกับข้อมูลอ้างอิงของกังหันคาปลาน

EVALUATION OF TURBINE SELECTION FOR ELECTRICITY GENERATION FROM COOLING TOWER BLOWDOWN WATER : A COMPARISON BETWEEN EXPERIMENTAL DATA OF A PELTON TURBINE AND REFERENCE DATA OF A KAPLAN TURBINE

ธัญยาภรณ์ คงสินชัย ศุภประดิษฐ์ มาสงค์* ชัยพร สุภาหิตานุกุล ภาณุพงษ์ สามล

คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยปทุมธานี

Thanyaporn Kongsinchai, Supapradit Marsong*, Chaiporn Supahitanukul

Phanupong Samol

Faculty of Engineering and Technology, Pathumthani University

*Corresponding Author, E-mail: supapradit.m@ptu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความเหมาะสมในการเลือกใช้กังหันน้ำผลิตไฟฟ้าจากน้ำระบายของหอหล่อเย็น (Cooling Tower Blowdown) โดยเปรียบเทียบระหว่างกังหันเพลตัน (Pelton Turbine) ซึ่งทำการทดลองจริงกับชุดต้นแบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก และกังหันคาปลาน (Kaplan Turbine) ซึ่งอ้างอิงจากข้อมูลจากกราฟ Turbine Application Chart งานวิจัยได้ดำเนินการสร้างชุดต้นแบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก ซึ่งมีขนาดความยาว 0.70 เมตร ความกว้าง 3.68 เมตร และความสูง 1.55 เมตร สำหรับทดสอบกังหันน้ำเพลตันขนาด 50 วัตต์ ภายใต้ช่วงอัตราการไหลของน้ำระหว่าง 500 ถึง 1,300 ลิตรต่อชั่วโมง การทดลองกังหันเพลตันดำเนินการภายใต้สภาวะที่จำลองอัตราการไหลและความสูงของน้ำใกล้เคียงกับระบบน้ำระบายของหอหล่อเย็นจริง โดยวัดค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละช่วงอัตราการไหล ผลการศึกษาพบว่า ภายใต้เงื่อนไขอัตราการไหล 25,590 ลิตรต่อชั่วโมง และความสูง 2 เมตร กังหันเพลตันสามารถใช้งานร่วมกับน้ำระบายของหอหล่อเย็นได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่ออัตราการไหลมีค่าสูงในระดับหนึ่ง และแม้ว่าความสูงจะไม่มาก (2 เมตร) แต่ก็สามารถผลิตไฟฟ้าได้ในระดับที่เหมาะสมกับโหลดขนาดเล็ก และกังหันเพลตันให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ 321.02 วัตต์ ซึ่งเหมาะกับระบบที่มี Head สูง และอัตราการไหลต่ำ ส่วนกังหันคาปลาน ออกแบบมาสำหรับเงื่อนไข Head ต่ำและอัตราการไหลสูง ให้กำลังไฟฟ้า 125.37 วัตต์ หากใช้กังหันคาปลาน อาจต้องมีการปรับระบบเพื่อเพิ่มอัตราการไหล เมื่อเปรียบเทียบในแง่ของประสิทธิภาพพลังงานและความเหมาะสมในการติดตั้งในระบบจริง กังหันเพลตันแสดงถึงความเป็นไปได้ที่ดีกว่าสำหรับการประยุกต์ใช้กับน้ำระบายจากหอหล่อเย็น และยังสามารถลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ประมาณ 1,686 กิโลกรัมต่อปี

ผลการศึกษาชี้ให้เห็นว่า การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากน้ำระบายของหอหล่อเย็นโดยใช้กังหันน้ำเพลตันขนาดเล็กเป็นแนวทางที่มีความเป็นไปได้และยังเป็นทางเลือกที่มีศักยภาพในการนำพลังงานกลับมาใช้ในระบบระบายน้ำของหอหล่อเย็น เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนเพื่อความยั่งยืนในระยะยาว

คำสำคัญ : ชุดต้นแบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก, น้ำระบายของหอหล่อเย็น, กังหันน้ำ, หอหล่อเย็น

Abstract

This research aims to evaluate the suitability of using water turbines to generate electricity from cooling tower blowdown water by comparing a Pelton turbine experimentally tested using a small-scale power generation prototype with a Kaplan turbine, analyzed using data from a Turbine Application Chart. A small-scale power generation prototype was constructed with dimensions of 0.70 meters in length, 3.68 meters in width, and 1.55 meters in height to test a 50-watt Pelton turbine under flow rates ranging from 500 to 1,300 liters per hour. The experiments were conducted under conditions simulating real cooling tower blowdown water flow and head. Voltage, current, and power output were measured at each flow rate. The results showed that under a flow rate of 25,590 liters per hour and a head of 2 meters, the Pelton turbine operated efficiently with cooling tower blowdown water when the flow rate was sufficiently high. Although the head was relatively low (2 meters), the system could still generate an appropriate amount of electricity for small loads. The Pelton turbine achieved a maximum power output of 321.02 watts, making it suitable for systems with high head and low flow rate. In contrast, the Kaplan turbine, which is designed for low head and high flow conditions, produced 125.37 watts. Using a Kaplan turbine may require system modifications to increase the flow rate. When comparing energy efficiency and installation feasibility, the Pelton turbine showed greater potential for application with cooling tower blowdown water. Additionally, it could reduce carbon dioxide emissions by approximately 1,686 kilograms per year.

This study demonstrates that generating electricity from cooling tower blowdown using a small Pelton turbine is a feasible and promising approach. It offers an opportunity to recover energy from the cooling tower's discharge system, improve energy efficiency, and promote the use of renewable energy for long-term sustainability.

Keywords: Mall-Scale Power Generation Prototype, Cooling Tower Blowdown Water, Water Turbine, Cooling Tower

บทนำ

ในยุคปัจจุบัน การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและการพัฒนาแหล่งพลังงานทดแทนเป็นแนวทางสำคัญในการลดการพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิลและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ระบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กจากแหล่งพลังงานที่มีอยู่ในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมเป็นแนวทางหนึ่งที่มีความสนใจเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะการใช้ประโยชน์จากน้ำระบายของหอหล่อเย็น (*Cooling Tower Blowdown*) (Müller et al., 2024) ซึ่งเป็นน้ำส่วนเกินที่ถูกปล่อยออกจากระบบเพื่อควบคุมความเข้มข้นของสารละลาย และโดยทั่วไปไม่มีการนำกลับมาใช้ประโยชน์เพิ่มเติม น้ำระบายจากหอหล่อเย็นมีลักษณะเฉพาะที่น่าสนใจ เช่น มีแรงดันตกคร่อมและอัตราการไหลในระดับหนึ่ง ซึ่งหากนำมาศึกษาและออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก (Eshra et al., 2021) อย่างเหมาะสม ก็อาจสามารถสร้างพลังงานไฟฟ้าเพิ่มเติมได้ โดยไม่กระทบต่อระบบหลักของโรงงาน อย่างไรก็ตาม การเลือกประเภทของกังหันน้ำที่เหมาะสมกับลักษณะของน้ำระบายดังกล่าว ถือเป็นประเด็นสำคัญที่ต้องพิจารณา ทั้งในด้านประสิทธิภาพพลังงาน การติดตั้ง และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ซึ่งในงานวิจัยนี้เป็นการประเมิน

การเลือกใช้กังหันน้ำสำหรับผลิตไฟฟ้าจากน้ำระบายของหอหล่อเย็น อันยาภรณ์ คงสินชัย), จงจิตร หิรัญลาภ, ชัยพร สุภาหิตา นุกูล, สุเมธ สถิตบุญอนันต์, และ โจเซฟ เคดารี, 2024) โดยเปรียบเทียบข้อมูลการทดลองของกังหันเพลตันกับข้อมูลอ้างอิงของกังหันคาปลาน ใช้ข้อมูลน้ำระบายจากหอหล่อเย็นของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมแห่งหนึ่งในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ปริมาณ 25,590 ลิตรต่อชั่วโมง (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 น้ำระบายจากหอหล่อเย็นของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมแห่งหนึ่งในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา ปริมาณ 25,590 ลิตรต่อชั่วโมง

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นไปที่การประเมินและเปรียบเทียบกังหันน้ำสองประเภท คือ กังหันเพลตัน (Pelton Turbine) ซึ่งเป็นกังหันที่เหมาะสมกับระบบที่มีแรงดันสูงและอัตราการไหลต่ำ กับกังหันคาปลาน (Kaplan Turbine) ที่นิยมใช้ในระบบที่มีแรงดันต่ำและอัตราการไหลสูง โดยการทดลองจริงจะดำเนินการกับกังหันเพลตันในชุดต้นแบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก (Samuel Tilahun et al., 2021) และนำข้อมูลมาเปรียบเทียบกับกังหันคาปลานโดยใช้ Turbine Application Chart (ภาพที่ 6) เพื่อประเมินความเหมาะสมในการใช้งานจริงกับระบบน้ำระบายของหอหล่อเย็นในโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม อีกทั้งเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยก่อนหน้า งานวิจัยฉบับนี้มีความโดดเด่นในด้านการประยุกต์ใช้จริง โดยได้ดำเนินการทดลองภายใต้สภาวะที่จำลองให้ใกล้เคียงกับระบบน้ำระบายของหอหล่อเย็นในอุตสาหกรรมอย่างสมจริง ผลการศึกษานี้จึงสะท้อนถึงศักยภาพของการพัฒนาระบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กจากน้ำระบายให้เป็นแนวทางพลังงานทดแทนที่สอดคล้องกับการส่งเสริมพลังงานสะอาดและการพัฒนาอุตสาหกรรมคาร์บอนต่ำอย่างยั่งยืน

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อประเมินการเลือกใช้กังหันน้ำสำหรับผลิตไฟฟ้าจากน้ำระบายของหอหล่อเย็น โดยเปรียบเทียบข้อมูล การทดลองของกังหันเพลตันกับข้อมูลอ้างอิงกังหันคาปลานจาก Turbine Application Chart

2. เพื่อออกแบบและทดสอบชุดต้นแบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กด้วยกังหันเพลตันที่ใช้ประโยชน์จากน้ำระบายของหอหล่อเย็น

3. เพื่อเสนอแนวทางในการเลือกใช้กังหันน้ำที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไฟฟ้าจากน้ำระบายของหอหล่อเย็น 4. เพื่อคำนวณการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ขอบเขตของการวิจัย

1. ทดลองในชุดต้นแบบผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันน้ำขนาดเล็ก ซึ่งมีความยาว 0.70 เมตร ความกว้าง 3.68 เมตร และความสูง 1.55 เมตร ดำเนินการภายใต้ช่วงอัตราการไหลของน้ำที่กำหนดไว้ระหว่าง 500 ถึง 1,300 ลิตรต่อชั่วโมง ที่ความสูง 2 เมตร (พงษ์ศิลป์ แก้วรัตน์ศรีโพธิ์, 2566)

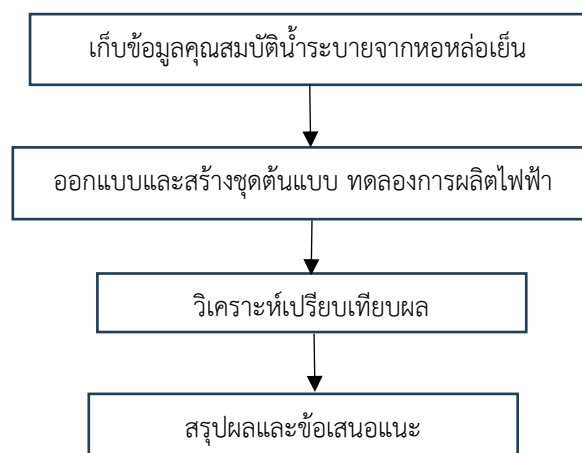
2. การวิจัยนี้ดำเนินการศึกษาบนพื้นฐานของข้อมูลจากระบบน้ำระบายของหอหล่อเย็นในโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม ซึ่งมีอัตราการไหลของน้ำ 25,590 ลิตรต่อชั่วโมง

3. ดำเนินการทดลองจริงเฉพาะกับกังหันเพลตัน โดยจำลองเงื่อนไขการทำงานให้ใกล้เคียงกับระบบน้ำระบายจริง เพื่อเก็บข้อมูลด้านแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้

4. ข้อมูลของกังหันคาปลานที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบจะอ้างอิงจากกราฟ Turbine Application Chart

กรอบแนวคิดการวิจัย (Research Framework)

กรอบแนวคิดการวิจัยของงานนี้มุ่งเน้นการประเมินความเหมาะสมของกังหันน้ำสองประเภท (เพลตันและคาปลาน) ภายใต้เงื่อนไขการไหลและความสูงของน้ำจากระบบหอหล่อเย็น โดยเริ่มจากการเก็บข้อมูลคุณสมบัติน้ำระบาย ออกแบบและสร้างชุดต้นแบบ ทดลองการผลิตไฟฟ้า วิเคราะห์เปรียบเทียบผลกับข้อมูลอ้างอิงและคำนวณการลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อเสนอแนวทางพัฒนาระบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กอย่างยั่งยืน (ภาพที่ 2)



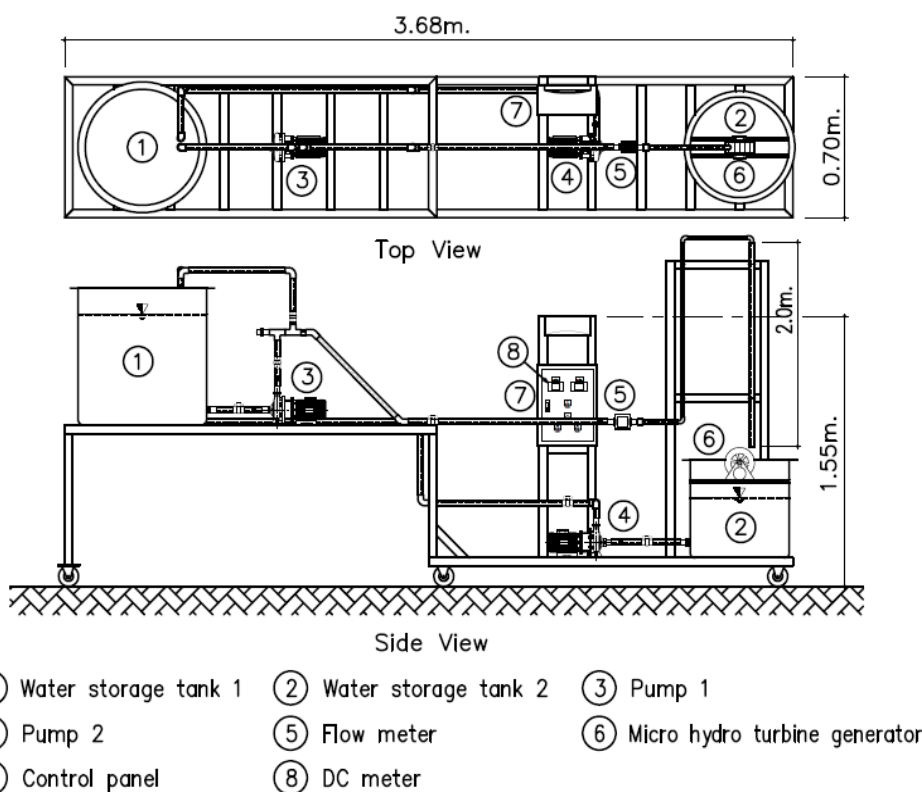
ภาพที่ 2 กรอบแนวคิดการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การศึกษาข้อมูลการออกแบบชุดต้นแบบผลิตไฟฟ้าจากน้ำระบายของหอหล่อเย็น ออกแบบชุดต้นแบบโดยใช้โปรแกรม AutoCAD สร้างและติดตั้งชุดต้นแบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากน้ำระบายของหอหล่อเย็นขนาดเล็ก และการทดสอบประสิทธิภาพของระบบ ดังนี้

1. ศึกษาข้อมูลการออกแบบชุดต้นแบบผลิตไฟฟ้าจากน้ำระบายของหอหล่อเย็น เก็บรวบรวมคุณสมบัติของน้ำ Cooling Blowdown Water เช่น อุณหภูมิ อัตราการไหล ความสูง เป็นต้น จากนั้นดำเนินการออกแบบชุดต้นแบบผลิตไฟฟ้าจากน้ำระบายของหอหล่อเย็นขนาดเล็ก โดยใช้กังหันน้ำแบบเพลตัน (Pelton Turbine) ซึ่งเหมาะสมกับอัตราการไหลต่ำ แต่มีแรงดันสูง โดยคำนวณและกำหนดขนาดของอุปกรณ์ให้สอดคล้องกับระบบระบายน้ำของหอหล่อเย็น

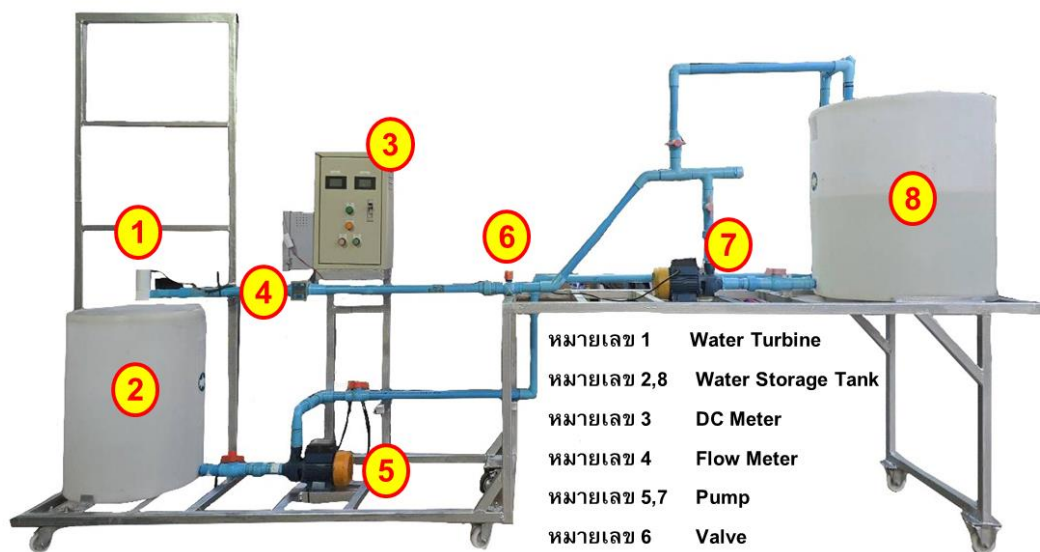
2. ออกแบบชุดต้นแบบโดยใช้โปรแกรม AutoCAD เพื่อใช้ในการชุดต้นแบบผลิตไฟฟ้าดังภาพที่ 3 (คมสัน วงศ์วีรพันธ์ ,2548)



ภาพที่ 3 การออกแบบชุดต้นแบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากน้ำระบายของหอหล่อเย็น

โดยใช้โปรแกรม AutoCAD

3. การสร้างและติดตั้งชุดต้นแบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากน้ำระบายของหอหล่อเย็นขนาดเล็ก สำหรับใช้ในการทดลอง มีขนาดความยาว 0.70 เมตร ความกว้าง 3.68 เมตร และความสูง 1.55 เมตร โดยใช้กังหันน้ำเพลตันขนาด 50 วัตต์ เป็นกลไกหลักในการผลิตไฟฟ้า ระบบประกอบด้วยถังเก็บน้ำ ท่อส่งน้ำ กังหันเพลตัน เครื่องวัดอัตราการไหล และระบบควบคุมการวัดผลการผลิตไฟฟ้า ตามภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ชุดต้นแบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากน้ำระบายของหอหล่อเย็นด้วยกังหันน้ำ

ชุดต้นแบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากน้ำระบายของหอหล่อเย็นตามภาพที่ 4 ประกอบด้วยวัสดุอุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่ใช้ในการดำเนินการทดลอง ดังนี้

3.1 ชุดกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าเพลตันขนาดเล็ก หมายเลข 1 ขนาด 50 วัตต์ ตามภาพที่ 5

3.2 ถังเก็บน้ำ ขนาดความจุ 200 ลิตร จำนวน 2 ใบ หมายเลข 2 และ 8 ใช้สำหรับเก็บน้ำที่ใช้ในการทดสอบ

3.3 เครื่องวัดค่าทางไฟฟ้า (DC Meter) หมายเลข 3 สำหรับวัดค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากกังหันน้ำ

3.4 ชุดวัดอัตราการไหลแบบดิจิตอล (Flow meter) หมายเลข 4 ใช้สำหรับวัดอัตราการไหลของน้ำในระบบ โดยสามารถวัดอัตราการไหลได้ในช่วง 0 ถึง 120 ลิตรต่อวินาที เพื่อความแม่นยำในการควบคุมการทดสอบปรับอัตราการไหลโดยใช้วาล์วปรับอัตราการไหล

3.5 ปั๊มน้ำชนิดหอยโข่ง จำนวน 2 เครื่อง หมายเลข 5 และ 7 โดยมีอัตราการไหลอยู่ในช่วง 5 ถึง 40 ลิตรต่อวินาที ทำหน้าที่สูบน้ำเข้าสู่ระบบและควบคุมการไหลของน้ำด้วย



ภาพที่ 5 กังหันน้ำเพลตันที่ใช้ในการทดสอบ

4. การทดสอบประสิทธิภาพของระบบ ทำการทดลองโดยใช้น้ำจำลองที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำระบายของหอหล่อเย็น ทดสอบการทำงานของระบบภายใต้อัตราการไหลของน้ำที่แตกต่างกันในช่วง 500 ถึง 1,300 ลิตรต่อชั่วโมง ความสูง 2 เมตร โดยวัดค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากกังหันน้ำเพลตัน ในแต่ละอัตราการไหล แล้วนำมาประเมินศักยภาพของระบบในขนาดจริง โดยใช้ข้อมูลจากระบบระบายน้ำของหอหล่อเย็นที่มีอัตราการไหล 25,590 ลิตรต่อชั่วโมง เพื่อนำไปคำนวณการผลิตไฟฟ้าในระดับใช้งานจริง โดยอ้างอิงจากผลการทดลองที่ได้จากชุดต้นแบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กด้วยกังหันเพลตัน มีขั้นตอนการทดสอบและเก็บข้อมูลดังนี้

4.1 ติดตั้งกังหันน้ำเพลตัน ในชุดต้นแบบสำหรับผลิตไฟฟ้า

4.2 นำน้ำที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำระบายจากหอหล่อเย็นมาทดลองในชุดต้นแบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากน้ำระบายของหอหล่อเย็นไฟฟ้า โดยเติมน้ำลงในถังเก็บน้ำ (หมายเลข 8) เพื่อหมุนเวียนน้ำในระบบ

4.3 ทำการทดลองที่อัตราการไหล 500 ถึง 1,300 ลิตรต่อชั่วโมง โดยเพิ่มอัตราการไหลครั้งละ 100 ลิตรต่อชั่วโมง ควบคุมโดยการปรับวาล์ว (หมายเลข 6)

4.4 ทำการบันทึกข้อมูล กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า ทุก ๆ 20 นาที จำนวน 6 ครั้ง

4.5 คำนวณการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂)

ผลการดำเนินการ

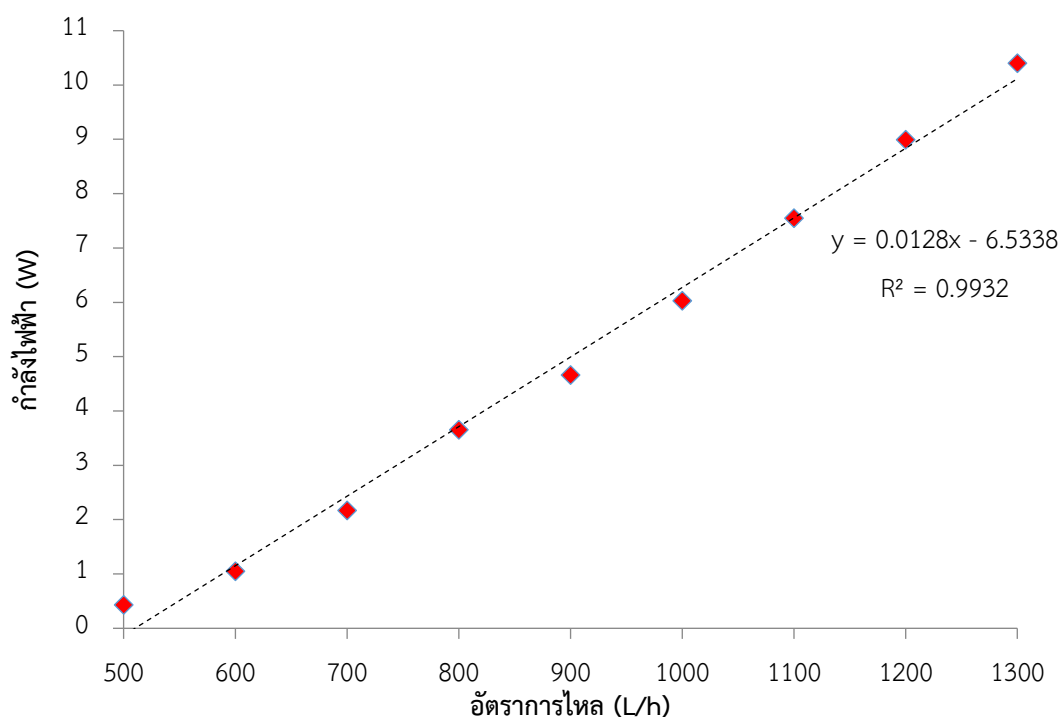
1. ผลการทดสอบการผลิตไฟฟ้าจากกังหันน้ำ

ตารางแสดงผลการทดสอบการผลิตไฟฟ้าจากกังหันน้ำ โดยใช้กังหันเพลตัน ภายใต้ความสูง 2 เมตร (Head) โดยเปลี่ยน อัตราการไหลของน้ำ ผลการทดสอบสามารถสรุปและแสดงได้ตามรายละเอียดในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบการผลิตไฟฟ้าในชุดต้นแบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากน้ำระบายของหอหล่อเย็นด้วยกังหันเพลตันที่ความสูง 2 เมตร

ความสูง (เมตร)	อัตราการไหล (ลิตร/ชั่วโมง)	แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)
2	500	8.52	0.05	0.43
	600	9.50	0.11	1.05
	700	10.32	0.21	2.17
	800	11.42	0.32	3.65
	900	12.59	0.37	4.66
	1000	13.40	0.45	6.03
	1100	14.51	0.52	7.55
	1200	15.50	0.58	8.99
	1300	16.00	0.65	10.40

จากการวิเคราะห์ข้อมูลในตารางที่ 1 พบว่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากกังหันน้ำเพลตัน โดยใช้ น้ำที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับ น้ำระบายของหอหล่อเย็นจากโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม ที่มีอัตราการไหลตั้งแต่ 500 – 1,300 ลิตรต่อชั่วโมง พบว่า แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราการไหลของน้ำ ที่อัตราการไหล 500 ลิตร/ชั่วโมง ได้แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าที่ 8.52 โวลต์, 0.05 แอมแปร์ และ 0.43 วัตต์ ตามลำดับ และที่อัตราการไหล 1,300 ลิตร/ชั่วโมง ได้แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเป็น 16 โวลต์, 0.65 แอมแปร์ และ 10.40 วัตต์ ตามลำดับ เมื่อนำมาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล กับ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า ได้ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลกับกำลังไฟฟ้า

ภาพที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำ (Flow rate) กับกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ (Power) ของกังหัน น้ำ ในช่วงอัตราการไหล 500 ถึง 1,300 ลิตรต่อชั่วโมง พบว่ากำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนตามอัตราการไหลของน้ำ โดยที่ อัตราการไหล 500 ลิตรต่อชั่วโมง ให้กำลังไฟฟ้าต่ำสุดที่ 0.43 วัตต์ และเพิ่มขึ้นเป็นสูงสุดที่ 10.40 วัตต์ ที่อัตราการไหล 1,300 ลิตรต่อชั่วโมง แสดงว่าอัตราการไหลของน้ำส่งผลต่อกำลังไฟฟ้า ความสัมพันธ์ดังกล่าวมีลักษณะเชิงเส้นตรง $y = 0.0128x - 6.5338$ และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ $R^2 = 0.9932$

เมื่อนำกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงจากการทดลองมาเทียบกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการจำลอง เพื่อวิเคราะห์ความแม่นยำและความคลาดเคลื่อนของชุดต้นแบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากน้ำระบายของหอหล่อเย็น แสดงได้ตามรายละเอียดใน ตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงจากทดลองและกำลังไฟฟ้าจากการจำลอง

ความสูง (m)	อัตราการไหล (L/h)	กำลังไฟฟ้า (W) (ทดลอง)	กำลังไฟฟ้า (W) (จำลอง)	เปอร์เซ็นต์ ความคลาดเคลื่อน
2	500	0.43	-0.13	-131.12
	600	1.05	1.15	9.16
	700	2.17	2.43	11.81
	800	3.65	3.71	1.54
	900	4.79	4.99	4.10
	1000	6.03	6.27	3.92
	1100	7.55	7.55	0
	1200	8.99	8.83	-1.82
	1300	10.40	10.11	-2.83

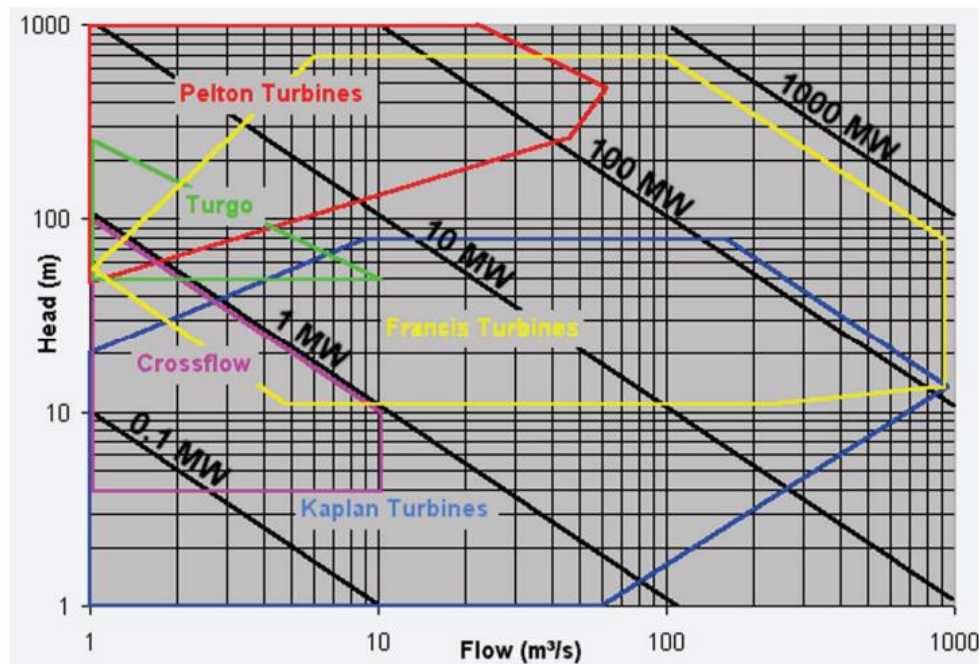
จากการทดลองผลิตไฟฟ้าจากน้ำระบายของหอหล่อเย็นด้วย Pelton Turbine โดยใช้ความสูงของน้ำ 2 เมตร (Head) และเปลี่ยนแปลง อัตราการไหลของน้ำ (Flowrate) หน่วยเป็นลิตรต่อชั่วโมง (L/h) เพื่อดูผลต่อกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ หน่วยเป็นวัตต์ (W) ในช่วง flow rate 500-700 L/h ค่า Percent Error เฉลี่ยสูงกว่า 5% เพราะน้ำไหลไม่สม่ำเสมอ และในช่วง flow rate 800-1300 L/h ค่า Percent Error เฉลี่ยต่ำกว่า 5% แสดงว่าการทดลองมีความแม่นยำสูงในช่วงการไหลที่มาก แต่มีความคลาดเคลื่อนสูงที่ flow rate ต่ำกว่า 700 L/h เนื่องจากการไหลไม่สม่ำเสมอและผลกระทบจากแรงเสียดทานของท่อ

วิเคราะห์พลังงานไฟฟ้า (P) ที่ผลิตได้จากน้ำระบายของหอหล่อเย็น มีอัตราการไหล 25,590 ลิตรต่อชั่วโมง โดยใช้ผลการทดสอบการผลิตไฟฟ้าของ Pelton Turbine ซึ่งได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล (Q) กับกำลังไฟฟ้า (P) คือ

$$P = 0.0128Q - 6.5338 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่าในสมการ} \quad P &= 0.0128 (25590) - 6.5338 \text{ W} \\ &= 321.02 \text{ W} \end{aligned}$$

2. พิจารณากังหันน้ำที่เหมาะสมกับความสูง 2 เมตร (Head) จาก Turbine Application Chart (ภาพที่ 7) เพื่อประเมินกังหันน้ำที่จะนำมาใช้กับระบบน้ำระบายของหอหล่อเย็นจากโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม พบว่า เป็นกังหันชนิดคาปแลน (Kaplan Turbine) จึงนำมาคำนวณเพื่อประเมินการผลิตไฟฟ้า



ภาพที่ 7 Turbine Application Chart

(ที่มา: คู่มือการพัฒนา และการลงทุนผลิตพลังงานทดแทนชุดที่ 3, 2554)

จากกราฟ อธิบายได้ดังนี้ สำหรับ Head 2 เมตร จะเหมาะกับกังหันแบบคาปแลน โดยที่

1. พื้นที่การใช้งานของ Kaplan Turbine ใช้สำหรับ "น้ำไหลมาก แต่ความสูงน้ำน้อย"

แกน X = อัตราการไหล (Flow rate) หน่วย m^3/s ตั้งแต่ประมาณ $10 \text{ m}^3/\text{s}$ ถึง $1,000 \text{ m}^3/\text{s}$

แกน Y = ความสูงน้ำ (Head) หน่วย m ตั้งแต่ น้อยกว่า 1 m ถึงประมาณ 30 m เท่านั้น

เส้นทแยง = กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ (MW = เมกะวัตต์)

2. กำลังไฟฟ้าที่ได้ (Power Output) จะขึ้นอยู่กับ Flow และ Head ตามเส้นกำลังไฟฟ้า กล่าวคือ

กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามทั้ง "Flow" และ "Head" แบบเป็นสัดส่วน

3. Kaplan ต้องการ Flow เยอะ ต้องการ Head ต่ำ ได้กำลังไฟฟ้า ตั้งแต่ 0.1 MW จนถึงหลายร้อย MW เหมาะกับ แม่น้ำใหญ่, เขื่อน run-of-river, hydro plant แบบน้ำไม่สูง

ผลการประเมินการผลิตไฟฟ้าจาก Kaplan Turbine จากทฤษฎี สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$P = \eta \rho g H Q \quad (2)$$

เมื่อ

ρ คือ ความหนาแน่นของน้ำ มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเมตร (1000 kg/m^3)

η คือ ประสิทธิภาพของกังหัน มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (90 %)

Q คือ อัตราการไหล มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ($0.0071 \text{ m}^3/\text{s}$)

G คือ ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกมีค่าประมาณ 9.81 เมตรต่อวินาที (m/s)

H

คือ ความสูง เมื่อวัดจากจุดอ้างอิงมีหน่วยเป็นเมตร (2 m)

แทนค่าลงในสมการ

$$P = 0.9 \times 1000 \text{ kg/m}^3 \times 9.81 \text{ m/s} \times 2 \text{ m} \times 0.0071 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$P = 125.37 \text{ W}$$

ผลวิเคราะห์การผลิตไฟฟ้าจากน้ำระบายของหอหล่อเย็นจากกังหันเพลตันและกังหันคาปลาน แสดงได้ตามรายละเอียดในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลวิเคราะห์การผลิตไฟฟ้าจากน้ำระบายของหอหล่อเย็นจากกังหันเพลตันและกังหันคาปลาน

พารามิเตอร์	กังหันเพลตัน	กังหันคาปลาน
อัตราการไหล (L/h)	25,590	
ความสูง (m)	2	
กำลังไฟฟ้า (W)	321.02	125.37

จากตารางที่ 3 เปรียบเทียบการผลิตไฟฟ้าของกังหันน้ำ 2 ประเภท ภายใต้เงื่อนไขอัตราการไหล 25,590 ลิตรต่อชั่วโมง และความสูง 2 เมตร พบว่ากังหันเพลตันสามารถใช้งานร่วมกับน้ำระบายของหอหล่อเย็นได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่ออัตราการไหลมีค่าสูงในระดับหนึ่ง และแม้ว่าความสูงจะไม่มาก (2 เมตร) แต่ก็สามารถผลิตไฟฟ้าได้ในระดับที่เหมาะสมกับโหลดขนาดเล็ก และกังหันเพลตันสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ 321.02 วัตต์ ซึ่งแสดงถึงความเหมาะสมสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าที่มี Head สูงและอัตราการไหลของน้ำต่ำ ในทางกลับกัน กังหันคาปลาน (Kaplan Turbine) ถูกออกแบบมาให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพภายใต้เงื่อนไขที่มี Head ต่ำและอัตราการไหลสูง โดยให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ 125.37 วัตต์ ทั้งนี้ หากนำกังหันคาปลานมาใช้ในระบบดังกล่าว อาจจำเป็นต้องปรับปรุงระบบให้สามารถเพิ่มอัตราการไหลของน้ำ เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการทำงานที่เหมาะสมยิ่งขึ้น เมื่อเปรียบเทียบในแง่ของประสิทธิภาพพลังงานและความเหมาะสมในการติดตั้งในระบบจริง กังหันเพลตันจึงแสดงความเป็นไปได้ที่ดีกว่าสำหรับการประยุกต์ใช้น้ำระบายจากหอหล่อเย็น ทั้งนี้การศึกษายังเสนอแนะแนวทางในการออกแบบระบบกังหันน้ำขนาดเล็กที่เหมาะสมกับเงื่อนไขเฉพาะของแหล่งน้ำอุตสาหกรรม

3. การวิเคราะห์การลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂)

ระบบระบายน้ำของหอหล่อเย็นมีการระบายน้ำอย่างต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง ส่งผลให้ระบบผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันน้ำเพลตันสามารถดำเนินการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ตลอดทั้งวัน โดยพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละวันสามารถคำนวณได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 : แปลงกำลังไฟฟ้าเป็นพลังงานต่อชั่วโมง

$$\begin{aligned} \text{กำลังไฟฟ้าจากกังหันเพลตัน} &= 321.02 \text{ วัตต์} \\ \text{พลังงานต่อวัน} &= 321.02 \text{ W} \times 24 \text{ h} \\ &= 7.70 \text{ kWh/day} \end{aligned}$$

ขั้นตอนที่ 2 : ค่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการผลิตไฟฟ้าด้วยเชื้อเพลิงฟอสซิลมีค่าแตกต่างกันตามประเภทของเชื้อเพลิง โดยถ่านหินมีค่าการปล่อยประมาณ 1.0 kg CO₂/kWh และก๊าซธรรมชาติประมาณ 0.4–0.5 kg CO₂/kWh สำหรับประเทศไทย ค่าการปล่อยโดยเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 0.5–0.6 kg CO₂/kWh ดังนั้น ในการวิเคราะห์นี้จึงเลือกใช้ค่าเฉลี่ยที่ 0.6 kg CO₂/kWh (Global Economic Insights, 2024) ค่าการลดการปล่อยก๊าซ CO₂ จากการผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยระบบกังหันน้ำสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 \text{การลดค่า CO}_2 \text{ ต่อวัน} &= 7.70 \times 0.6 && \text{kg CO}_2/\text{day} \\
 &= 4.62 && \text{kg CO}_2/\text{day} \\
 &= 1,686 && \text{kg CO}_2/\text{year}
 \end{aligned}$$

การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ (Economic Feasibility)

การประเมินเบื้องต้นด้านเศรษฐศาสตร์พลังงานพบว่า หากระบบสามารถผลิตไฟฟ้าได้เฉลี่ย 7.7 kWh/day จะประหยัดค่าไฟฟ้าได้ประมาณ 10,000–12,000 บาทต่อปี เมื่อเทียบกับการลงทุนชุดต้นแบบมูลค่าประมาณ 60,000–70,000 บาท มีระยะเวลาคืนทุนราว 5–6 ปี ซึ่งถือว่ามีความคุ้มค่าในระดับหนึ่ง โดยเฉพาะในระบบที่ต้องมีการระบายน้ำอย่างต่อเนื่อง จึงเหมาะต่อการนำไปขยายผลในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลางถึงขนาดใหญ่

สรุปผลและการอภิปราย

งานวิจัยฉบับนี้มีเป้าหมายในการศึกษาการประเมินการเลือกใช้กังหันน้ำสำหรับผลิตไฟฟ้าจากน้ำระบายของหอหล่อเย็น โดยเปรียบเทียบข้อมูลการทดลองของกังหันเพลตันกับข้อมูลอ้างอิงของกังหันคาปลาน โดยใช้พลังงานจากการไหลของน้ำในการหมุนกังหันน้ำชนิดเพลตัน เพื่อออกแบบและพัฒนาชุดต้นแบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก ผลการทดลองจากชุดต้นแบบขนาดเล็กแสดงให้เห็นว่า ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับอัตราการไหลของน้ำ โดยกังหันเพลตันสามารถผลิตได้สูงสุดเฉลี่ย 10.40 วัตต์ ที่อัตราการไหล 1,300 ลิตรต่อชั่วโมง เมื่อขยายผลจากชุดต้นแบบไปสู่ระบบจริงที่มีอัตราการไหล 25,590 ลิตรต่อชั่วโมง พบว่าระบบสามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงสุดประมาณ 321.02 วัตต์ และเมื่อวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าจากกังหันคาปลานที่เหมาะสมกับความสูง 2 เมตร โดยอ้างอิง Turbine Application Chart พบว่าค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้อยู่ที่ 125.37 วัตต์ เมื่อเปรียบเทียบในแง่ของประสิทธิภาพพลังงานและความเหมาะสมในการติดตั้งในระบบจริง กังหันเพลตันจึงแสดงความเป็นไปได้ที่ดีกว่าสำหรับการประยุกต์ใช้กับน้ำระบายจากหอหล่อเย็น นอกจากนี้ ระบบยังมีศักยภาพในการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ถึง 1,686 กิโลกรัมต่อปี

จากผลการศึกษาทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่า การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากน้ำระบายของหอหล่อเย็นโดยประเมินการใช้กังหันน้ำเพลตันและกังหันน้ำคาปลาน เป็นแนวทางที่มีความเป็นไปได้ อีกทั้งยังมีศักยภาพในการนำพลังงานกลับมาใช้ใหม่ ช่วยลดภาระด้านพลังงาน สนับสนุนการใช้พลังงานหมุนเวียน และส่งเสริมความยั่งยืนของระบบระบายน้ำของหอหล่อเย็นในระยะยาว นอกจากนี้การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีควบคุมอัตโนมัติ เช่น IoT และ Sensor Monitoring จะช่วยให้ระบบผลิตไฟฟ้าจากน้ำระบายทำงานได้อย่างต่อเนื่องและมีเสถียรภาพมากขึ้น โดยสามารถตรวจวัดอัตราการไหล ความดัน และกำลังไฟฟ้าแบบเรียลไทม์ พร้อมปรับค่าการทำงานโดยอัตโนมัติเมื่อมีความแปรปรวน เทคโนโลยีดังกล่าวยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและอายุการใช้งานของระบบ ตลอดจนสนับสนุนการพัฒนาไปสู่ระบบ Smart Micro Hydro System ที่เหมาะสมกับอุตสาหกรรมยุคใหม่

ข้อเสนอแนะ

ควรทดสอบกับระบบระบายน้ำจากหอหล่อเย็นในโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมภายใต้เงื่อนไขจริง เพื่อประเมินผลกระทบจากค่าสารแขวนลอย อุณหภูมิในน้ำ และความสูง เป็นต้น ในเชิงนโยบาย ภาครัฐควรส่งเสริมการนำเทคโนโลยีผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กจากน้ำระบายมาใช้ในภาคอุตสาหกรรม ผ่านมาตรการสนับสนุนด้านภาษี เงินอุดหนุนเบี้ยต่ำ หรือโครงการ ESCO เพื่อเพิ่มแรงจูงใจให้ภาคเอกชนลงทุนในระบบพลังงานสะอาด รวมทั้งบูรณาการแนวทางการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า (Circular Economy) สู่เป้าหมายอุตสาหกรรมคาร์บอนต่ำ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ดร.ศุภประดิษฐ์ มาสงค์ และ ดร.ชัยพร สุภาพิตานุกุล ที่ช่วยแนะนำ ให้ความรู้ สนับสนุนข้อมูล ประกอบการวิจัย ตลอดจนคำแนะนำอื่น ๆ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ ทีมช่าง บริษัท เอโอเอส เอ็นจิเนียริง จำกัด (ประเทศไทย) ที่ช่วยจัดหาอุปกรณ์ สร้างชุดต้นแบบผลิตไฟฟ้า และสนับสนุนด้วยดีเสมอมา ตลอดจนบุคคลท่านอื่นที่ไม่ได้เอ่ยนามมา ณ ที่นี้

เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2554). *คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทนชุดที่ 3* [ออนไลน์]. <https://www.google.co.th/url?>
- คมสัน วงศ์วีรจันทร์. (2548). *กลศาสตร์ของไหล* (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์โอ.เอส.พรินต์ติ้งเฮาส์.
- ธัญยาภรณ์ คงสินชัย, จงจิตร หิรัญลาภ, ชัยพร สุภาพิตานุกุล, สุเมธ สถิตบุญญนันต์, & โจเซฟ เคดารี. (2024). การศึกษาความเป็นไปในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากน้ำระบายของหอหล่อเย็น. *Frontiers in Engineering Innovation Research*, 22(2), 47–58.
- พงษ์ศิลป์ แก้วรัตนศรีโพธิ์. (2566). การจำลองการผลิตไฟฟ้าจากกังหันน้ำโดยใช้โปรแกรมแลปวิว. *Journal of Applied Research on Science and Technology (JARST)*, Vol 21(2). 117-125
- Eshra, N. M., Zobaa, A. F., & Abdel Aleem, S. H. E. (2021). Assessment of mini and micro hydropower potential in Egypt: Multi-criteria analysis. *Energy Reports*, 7, 81–94. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.11.165>
- 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>
- Müller, S. I., Chapanova, G., Diekow, T., Kaiser, C., Hamelink, L., Hitsov, I. P., Wyseure, L., Moed, D. H., Palmowski, L., & Wintgens, T. (2024). Comparison of cooling tower blowdown and enhanced make up water treatment to minimize cooling water footprint. *Journal of Environmental Management*, 367, 121949. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121949>
- Samuel, T., Velmurugan, P., Mebratu, T., Alelign, K., & Senthil, K. S. (2021). Analytical investigation of Pelton turbine for mini hydro power: For the case of selected site in Ethiopia. *Renewable Energy*, 46, 7364–7368.

Translated Thai References

- Alternative Energy Development and Conservation Bureau, Ministry of Energy. (2011). *Guidelines for the Development and Investment in Renewable Energy Production, Series 3*. [online]. <https://www.google.co.th/url?>
- Kaewrattanasriptho P. (2022). *Simulation of the Generating Electricity from Water Turbines Using the LabVIEW*. *Journal of Applied Research on Science and Technology (JARST)*, Vol 21(2). 117-125
- Khomsan Wongweerakhan. (2005). *Fluid Mechanics (1st ed.)*. Bangkok: O.S. Printing House.
- Kongsinchai T, Hirunlabh J, Supahitanukul C, Sathibunanan S, and Khedari J. (2024). Investigation of using blowdown of cooling tower to generate electricity. *Frontiers in Engineering Innovation Research*, 22(2), 47–58.