

ศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิค-เศรษฐศาสตร์ของการผลิตกระแสไฟฟ้า จากระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม

ภาณุพงษ์ สามล¹ จงจิตร หิรัญลาภ^{1*} ชัยพร สุภาหิตานุกุล¹ สุเมธ สถิตบุญอนันต์¹ และโจเซฟ เคดารี²
ppsmaos@gmail.com¹, jongjit.hirunlabh@hotmail.com^{1*}, chaiporn.sup@gmail.com¹,
sumezt_k@yahoo.com¹, joseph.khedari@hotmail.com²

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยปทุมธานี

²คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี

Received: October 31, 2024 Revised: December 4, 2024 Accepted: December 20, 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ทางเทคนิค-เศรษฐศาสตร์ ของการผลิตกระแสไฟฟ้าจากระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม โดยออกแบบสร้างแบบจำลองการผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก ความกว้าง 0.70 เมตร ความยาว 3.68 เมตร ความสูง 1.55 เมตร ใช้น้ำจากระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมมาทดลอง โดยใช้กังหันน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก 4 แบบ เพื่อทดลองที่อัตราการไหล 500 ถึง 2,000 ลิตรต่อชั่วโมง ผลการทดลอง พบว่า ชุดกังหันน้ำผลิตกระแสไฟฟ้า แบบที่ 1 Impulse turbine (3 วัตต์) สามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงสุด ที่อัตราการไหล 1,000 ลิตรต่อชั่วโมง กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 1.27 วัตต์ ในขณะที่กังหันน้ำผลิตไฟฟ้า แบบที่ 2 Pelton turbine (50 วัตต์) สามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงสุด ที่อัตราการไหล 1,300 ลิตรต่อชั่วโมง กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 10.35 วัตต์ โดยกังหันน้ำผลิตไฟฟ้า แบบที่ 3 Water wheel turbine (100 วัตต์) สามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงสุด ที่อัตราการไหล 2,000 ลิตรต่อชั่วโมง กำลังไฟฟ้าเฉลี่ย 0.37 วัตต์ ขณะที่กังหันน้ำผลิตไฟฟ้าแบบที่ 4 Impulse turbine (100 วัตต์) ไม่สามารถทำงานได้ในช่วงอัตราการไหลที่ทดลอง และจากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตไฟฟ้าจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม ขนาด 29 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง เลือกติดตั้งชุดผลิตไฟฟ้า ขนาด 1 กิโลวัตต์ มีระยะคุ้มทุนที่ 1.3 ปี ดังนั้นงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยใช้น้ำจากโรงบำบัดน้ำเสีย เป็นทางเลือกที่เป็นไปได้ ในทางเทคนิคและทางเศรษฐศาสตร์ และสามารถนำไปใช้พิจารณา ศึกษา เพื่อเป็นแนวทางในการใช้น้ำจากระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมเพื่อผลิตไฟฟ้า และปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียได้อย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: ระบบบำบัดน้ำเสีย แบบจำลองขนาดเล็ก กังหันน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก

Techno-economic feasibility study of electricity generation from industrial wastewater treatment system

Phanupong Samol¹, Jongjit Hirunlabh^{1*}, Chaiporn Supahitanukul¹, Sumate Sathibunanan¹,
and Joseph Khedari²
ppsmaos@gmail.com¹, jongjit.hirunlabh@hotmail.com^{1*}, chaiporn.sup@gmail.com¹,
sumezt_k@yahoo.com¹, joseph.khedari@hotmail.com²

¹Faculty of Engineering and Technology, Pathumthani University

²Faculty of Science and Technology, Bangkokthonburi University

Received: October 31, 2024 Revised: December 4, 2024 Accepted: December 20, 2024

Abstract

This paper reports a techno-economic feasibility study of electricity generation from an industrial wastewater treatment system. First, a small model of an electrical generation power system, 0.70 m. width, 3.68 m. length, and a height of 1.55 m. was designed and assembled. Four Micro hydro turbine generators were tested at flow rates ranging from 500 to 2,000 LPH similar to effluent from industrial wastewater treatment plants. Experimental results showed that type 1 impulse turbine (3 watts) can generate electricity of 1.27 Watts at a maximum flow rate of 1,000 LPH. Whereas type 2 Pelton turbine (50 watts) can generate maximum electricity of 10.35 Watts at a flow rate of 1,300 LPH. Type 3 Water wheel turbine (100 watts) can generate maximum electricity of 0.32 Watts at a flow rate of 2,000 LPH while type 4 Impulse turbine (100 watts) cannot operate within the experimental flow rate range. Then, an economic analysis of electricity production from the wastewater treatment system at a flow rate of 29 m³/h found that installing a 1 kW power generating set has a payback period of 1.3 years. Therefore, this research demonstrated that generating electrical current using wastewater from treatment plant is technically and economically viable option and deserves consideration. This study can be used as a guideline for using industrial wastewater treatment systems to produce electricity and improve plant sustainability.

Keywords: Wastewater treatment plants, Small model, Micro hydro turbine generators

1. บทนำ

ปัจจุบันการขยายตัวของชุมชน เศรษฐกิจ สังคม มีเพิ่มมากขึ้น การเกิดขึ้นของโรงงาน อุตสาหกรรมจึงมีมากขึ้นตาม ซึ่งส่งผลให้มีการใช้น้ำ และพลังงานไฟฟ้าในภาคอุตสาหกรรมเพิ่มมากขึ้น เป็นผลให้เกิดน้ำเสียในปริมาณที่เพิ่มขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ “น้ำเสีย” ที่เกิดขึ้นก่อนที่โรงงานอุตสาหกรรมจะปล่อยสู่สาธารณะจะต้องมีกระบวนการบำบัดน้ำเสียให้ได้คุณภาพ ตามข้อกำหนดของนิคมอุตสาหกรรมและทาง หน่วยงานราชการ ซึ่งโรงงานอุตสาหกรรมเองก็ต้องมี ระบบบำบัดน้ำเสีย [1] กระบวนการบำบัดน้ำเสียใน โรงงานอุตสาหกรรม ตามลักษณะและสมบัติของน้ำเสีย แต่ละโรงงานที่แตกต่างกัน ตามวิศวกรผู้ออกแบบ เช่น กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางกายภาพ ชีวภาพ หรือ กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางเคมี การบำบัดน้ำเสียไม่ว่าจะเป็นระบบอะไร ล้วนแล้วแต่ใช้พลังงานและ ทรัพยากรทั้งสิ้น ซึ่งเป็นผลทำให้กระบวนการบำบัดน้ำเสีย มีต้นทุนในการบำบัดที่สูง และจัดเป็นเรื่องที่สำคัญ ต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก ในขณะเดียวกัน โลกเองก็กำลังเผชิญกับวิกฤตพลังงาน อย่างต่อเนื่อง จากการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ

วิศวกร นักวิจัย นักสิ่งแวดล้อม รวมทั้ง โรงงานอุตสาหกรรม ได้พยายามหาพลังงานทดแทนมา ใช้ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียเพื่อเป็นการอนุรักษ์ พลังงาน [2] เช่น การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้กับ กังหันต่อน้ำ การนำแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้นจาก กระบวนการบำบัดน้ำเสียมาใช้ผลิตไฟฟ้า [3] ที่เรียกว่า ระบบไบโอแก๊ส เป็นต้น แต่แนวความคิดการนำน้ำจาก ระบบบำบัดน้ำเสียมาใช้ผลิตไฟฟ้าเพื่อได้พลังงานมาใช้ ประโยชน์เพิ่มขึ้น จึงเป็นแนวคิดใหม่ ที่ได้พลังงานจาก ระบบบำบัดน้ำเสีย เป็นการอนุรักษ์พลังงาน และเป็น ทางเลือกใหม่ที่น่าสนใจ

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาความเป็นไปได้ของการนำน้ำเสียที่ผ่านจากกระบวนการ บำบัดน้ำเสีย ของโรงงานอุตสาหกรรม มาผลิตไฟฟ้า [4,5] โดยการนำกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก (Micro hydro turbine generator) ทำการทดสอบ [6,7] โดย การสร้างแบบจำลองการผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก และ

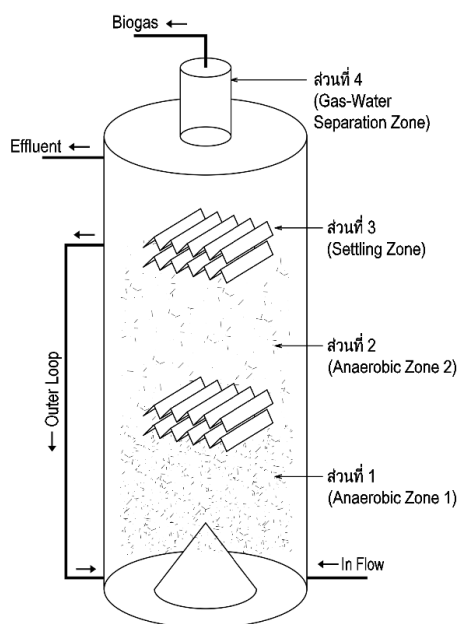
ประเมินทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตไฟฟ้าจากระบบ บำบัดน้ำเสียแบบ IC reactor ขนาด 29 ลูกบาศก์เมตร ต่อชั่วโมง ของโรงงานอุตสาหกรรม ประเภทผลิต อาหาร โดยใช้กังหันผลิตไฟฟ้าที่มีตามท้องตลาด เพื่อ เป็นแนวทางใหม่ ในการนำน้ำจากระบบบำบัดน้ำเสีย ของโรงงานมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด และเพื่อนำ ไฟฟ้าที่ผลิตได้ไปใช้ ได้พลังงานเพิ่มขึ้นจากใน กระบวนการบำบัดน้ำเสีย [8] หรือกระบวนการอื่น ๆ ภายในโรงงานอุตสาหกรรมเอง เพื่อลดต้นทุนการบำบัด น้ำเสียให้กับโรงงานอุตสาหกรรม อีกทั้งยังเป็นการช่วย ส่งเสริมภาพลักษณ์ขององค์กรในทางที่ดีทั้งในด้านมี ความรับผิดชอบต่อสังคม เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และ เป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้และพัฒนาในเชิงธุรกิจ ต่อไป

2. ทฤษฎี และข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ IC reactor

ปัจจุบันระบบบำบัดน้ำเสียแบบ IC reactor เป็นที่นิยมใช้บำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมเบียร์ อุตสาหกรรมการทำกระดาษ และอุตสาหกรรม กระบวนการผลิตอาหาร ซึ่งหลักการทำงานของระบบ บำบัดน้ำเสียแบบ IC reactor เป็นระบบที่มีทิศทางการ ไหลของน้ำเสียจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบนของถังปฏิกริยา โดยการออกแบบถังปฏิกริยาจะมีความสูงประมาณ 16-25 เมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.5-12 เมตร ซึ่งเป็นถังที่มีอัตราส่วนระหว่างความสูงต่อ พื้นที่หน้าตัดสูง ในระบบจะแบ่งเป็น 4 ส่วนหลัก โดย ส่วนที่ 1 (Anaerobic zone 1) และ ส่วนที่ 2 (Anaerobic zone 2) เป็นส่วนการย่อยสลาย สารอินทรีย์ แต่การย่อยสลายสารอินทรีย์และการเกิด ก๊าซชีวภาพส่วนใหญ่จะเกิดในส่วนที่ 1 คือล่างสุดของ ถังปฏิกริยามากที่สุด เนื่องจากน้ำเสียที่เข้าระบบมี ความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง เมื่อปริมาณก๊าซมีการ สะสมเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ก๊าซจะลอยตัวขึ้นสู่ด้านบนสุด ของระบบ และมีการดึงเอาน้ำเสียขึ้นมาด้วย เมื่อน้ำเสีย ไหลไปถึงส่วนบน น้ำเสียและก๊าซชีวภาพจะแยกตัวออก จากกัน โดยน้ำเสียส่วนหนึ่งจะไหลกลับลงไปตามล่าง ของระบบ เพื่อทำให้เกิดการกวนผสมของน้ำเสีย ทำให้

น้ำเสียที่เข้าระบบมีค่าความเข้มข้นน้อยลงและเป็นการหมุนเวียนน้ำกลับภายในระบบ จึงเรียกระบบนี้ว่าเป็นถังปฏิกรณ์แบบหมุนเวียนภายใน (Internal circulation) ส่วนน้ำเสียที่ไหลผ่านส่วนที่ 2 จะไหลขึ้นต่อไปยังส่วนที่ 3 คือ ส่วนตกตะกอน (Settling zone) ซึ่งทำหน้าที่แยกตะกอนจุลินทรีย์และน้ำออกจากกัน และส่วนที่ 4 (Gas water separation Zone) ซึ่งอยู่บนสุดของถังปฏิกรณ์ฯ ทำหน้าที่แยกก๊าซออกจากน้ำ [9] ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 การทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบ IC Reactor

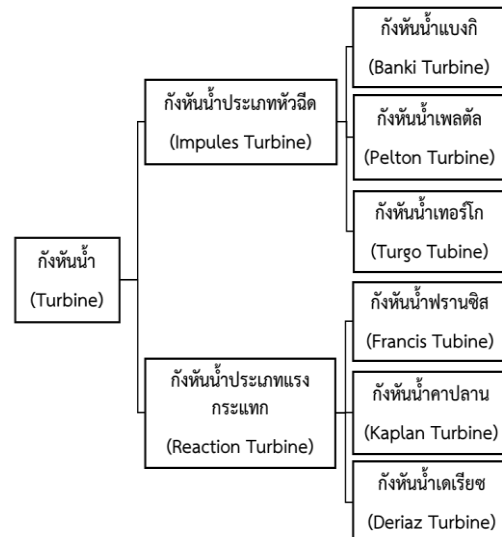
2.2 กังหันน้ำ (Water turbine)

ส่วนประกอบที่สำคัญของการผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าพลังน้ำได้แก่ กังหันน้ำ โดยมีหลักการคือการหมุนของใบพัดของกังหันที่เกิดจากการไหลของน้ำ ทำให้แกนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) ที่ยึดติดกับกังหันหมุนตามไปด้วย เป็นผลให้เกิดกระแสไฟฟ้าโดยทั่วไปกังหันน้ำ แบ่งเป็นประเภทใหญ่ ๆ [10] ดังนี้

2.2.1. กังหันน้ำประเภทหัวฉีด (Impulse turbine) หรือ กังหันน้ำแบบแรงกระแทก [4] กังหันน้ำชนิดนี้นิยมใช้กับ อ่างเก็บน้ำ หรือ เขื่อนที่มีเสื่อน้ำสูง (High head) เพราะจำเป็นต้องอาศัยการ

ไหลของน้ำที่มีความแรงสูง น้ำที่ไหลลงมาจากที่สูง โดยท่อจะถูกลดขนาดลงก่อนจะถึงหัวฉีด (Nozzles) น้ำจากหัวฉีดจะกระทบใบพัดของกังหันน้ำด้วยความแรงและความเร็วสูง เป็นผลทำให้ใบพัดของกังหันน้ำเกิดการหมุน การควบคุมอัตราการไหลของน้ำและความเร็วของใบพัดกังหันน้ำ ทำโดยปรับขนาดของรูหัวฉีด [11] กังหันน้ำประเภทนี้ยังแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ตามรูปที่ 2

2.2.2. กังหันน้ำประเภทแรงกระแทก (Reaction turbine) เป็นกังหันน้ำที่ใช้แรงดันของน้ำในการทำให้ ใบพัดของกังหันหมุน โดยการหมุนของใบพัดกังหันน้ำ เกิดจากความต่างของระดับน้ำด้านท้ายและด้านหน้าของกังหัน โดยน้ำจะไหลผ่านเข้าไปในช่องว่างระหว่างใบพัดเต็มทุกช่องของกังหันน้ำพร้อมกัน ทำให้ตัวกังหันจมน้ำทั้งหมด กังหันน้ำแบบแรงกระแทกเหมาะสำหรับการใช้กับแหล่งน้ำที่มีเสื่อน้ำต่ำถึงปานกลาง ที่นิยมใช้จะแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ตามรูปที่ 2



รูปที่ 2 ประเภทของกังหันน้ำ

2.3 กำลังที่ได้จากกังหันน้ำ (Turbine power output, P_{out})

การทดสอบหาค่าพลังงานไฟฟ้า (Generator test) ได้มาจากการวัดค่าการะทางไฟฟ้าและจากสมการ (1) ดังนี้

$$P_{out} = IV; \text{ วัตต์} \quad (1)$$

โดยที่

I คือ กระแสไฟฟ้า (แอมป์)

V คือ ความต่างศักย์ไฟฟ้า (โวลต์)

กำลังงานที่ผลิตได้จากกังหันน้ำสามารถอ่านได้โดยตรงจากวัตต์มิเตอร์

2.4 ประเภทของกระแสไฟฟ้า

กระแสไฟฟ้า เกิดจากการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าที่มีความต่างศักย์ระหว่างจุด 2 จุดในตัวนำนั้น ๆ แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด ดังนี้

1. ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating current; AC) เป็นกระแสไฟฟ้า ที่มีทิศทางการไหลกลับไปกลับมาตลอดเวลาอย่างสม่ำเสมอ และมีทิศทางการไหลจากขั้วบวกไปขั้วลบ จากขั้วลบไปขั้วบวก ไฟฟ้ากระแสสลับ ที่ใช้กันทั่วไปได้แก่ ไฟฟ้าที่ใช้ในบ้านเรือน และโรงงานอุตสาหกรรม

2. ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct current; DC) เป็นการไหลของกระแสไฟฟ้า ที่มีทิศทางการไหลทางเดียวเสมอ กล่าวคือ กระแสไฟฟ้าจะไหลจากขั้วบวกของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าไปยังอุปกรณ์ไฟฟ้า แล้วไหลกลับสู่ขั้วลบของแหล่งกำเนิดไฟฟ้า โดยจะไม่มีกระแสไหลย้อนกลับของกระแสไฟฟ้า

2.5 ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

ระยะเวลาคืนทุน(Payback Period; PP) เป็นการคำนวณว่า การลงทุนจะใช้ระยะเวลาเท่าไร ที่จะสามารถทำให้กระแสเงินสดสะสมสุทธิ ที่ติดลบจากการลงทุน ให้กลับมามีค่าเป็นบวก หรือที่เรียกว่า ระยะเวลาคืนทุน ระยะเวลาคืนทุน (PP) เป็นเครื่องมือหนึ่งที่ใช้ในการประเมินความเป็นไปได้และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ของการลงทุนของโครงการ อย่างง่าย และมีความซับซ้อนไม่มาก เพื่อเป็นการตรวจสอบเบื้องต้นที่มีความรวดเร็ว และมีความเหมาะสมกับโครงการที่มีจำนวนเงินลงทุนไม่มาก ระยะเวลาคืนทุนมีสูตรคำนวณ ดังนี้ [12]

$$PB = TC/AB \quad (2)$$

โดยที่

PP คือ ระยะเวลาคืนทุน

TC คือ ต้นทุนทั้งหมด

AB คือ ผลประโยชน์เฉลี่ยต่อปี

3 วิธีดำเนินการ

งานวิจัยนี้แบ่งการดำเนินการออกเป็น 4 ส่วนหลัก ได้แก่

3.1 การศึกษาข้อมูลและประมวลเอกสารที่เกี่ยวข้อง

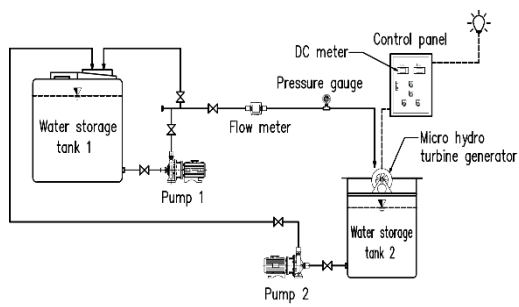
1. ศึกษาเกี่ยวกับสมบัติ ลักษณะประเภท ที่เกี่ยวข้องกับระบบบำบัดน้ำเสีย
2. ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับพลังงาน
3. ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเครื่องผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก

4. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการออกแบบและสร้างระบบผลิตไฟฟ้าจากกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก

3.2 ออกแบบผังขั้นตอนแบบจำลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการดำเนินการออกแบบผังขั้นตอนการผลิตไฟฟ้าจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรม (รูปที่ 3) ซึ่งมีส่วนประกอบหลัก 6 ส่วน ดังนี้

1. ถังเก็บน้ำ (Water storage tank) จำนวน 2 ใบ
2. ปั๊มสูบน้ำ (Pump) จำนวน 2 เครื่อง
3. ชุดวัดอัตราการไหล (Flow meter) จำนวน 1 ชุด
4. เกจวัดแรงดัน (Pressure gauge) จำนวน 1 ชุด
5. ชุดผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็ก (Micro hydro turbine generator)
6. ตัวควบคุมไฟฟ้าติดตั้ง DC meter

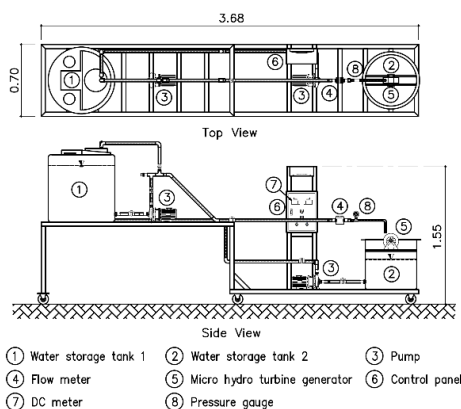


รูปที่ 3 ผังขั้นตอนการทำงานชุดทดลอง

หลักการทำงานของแบบจำลองมีดังนี้ ถึงเก็บน้ำใบที่ 1 (Water storage Tank 1) ทำหน้าที่เก็บน้ำที่ใช้ในการทดลอง ปั๊มสูบน้ำเครื่องที่ 1 (Pump 1) ทำหน้าที่สูบน้ำจากถังเก็บน้ำใบที่ 1 ไปยังชุดวัดอัตราการไหล (Flow meter) ตามอัตราการไหลที่ต้องการ โดยการปรับวาล์ว จากนั้นน้ำจะไหลผ่านไปยังชุดกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าทำให้เกิดการผลิตไฟฟ้า และไหลไปสู่ถังเก็บน้ำใบที่ 2 (Water storage Tank 2) โดยปั๊มสูบน้ำเครื่องที่ 2 (Pump 2) จะทำหน้าที่สูบน้ำจากถังเก็บน้ำใบที่ 2 กลับไปยังถังเก็บน้ำใบที่ 1 เพื่อเป็นการเวียนน้ำกลับมาใช้ในการทดสอบ

3.3 การออกแบบแบบจำลองการใช้โปรแกรม AutoCAD

จากผังขั้นตอนแบบจำลอง ได้ทำการออกแบบรายละเอียดแบบจำลองการผลิตกระแสไฟฟ้าจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรม โดยใช้โปรแกรม AutoCAD (รูปที่ 4) เพื่อใช้ในการสร้างแบบจำลอง

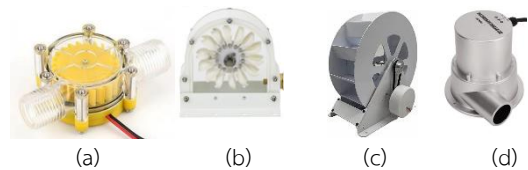


รูปที่ 4 แบบรายละเอียดแบบจำลอง

3.4 สร้างชุดทดสอบกังหันสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า

จากรายละเอียดจากการออกแบบด้วยโปรแกรม AutoCAD (รูปที่ 4) ทำการสร้างแบบจำลองขนาด ความกว้าง 0.70 เมตร ความยาว 3.68 เมตร ความสูง 1.55 เมตร (รูปที่ 6) และใช้กังหันน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก 4 แบบ (รูปที่ 5) ในการทดสอบ ซึ่งมีสมบัติ ดังนี้

- กังหันแบบที่ 1 คือ Impulse turbine (3 วัดต์) ขนาด 4.8 ซม. X 3.0 ซม.
- กังหันแบบที่ 2 คือ Pelton turbine (50 วัดต์) ขนาด 9.6 ซม. X 29 ซม.
- กังหันแบบที่ 3 คือ Water wheel turbine (100 วัดต์) ขนาด 30 ซม. X 10 ซม.
- กังหันแบบที่ 4 คือ Impulse turbine (100 วัดต์) ขนาด 15 ซม. X 15 ซม.



รูปที่ 5 กังหันน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก



รูปที่ 6 แบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าพลังน้ำ

3.5 ขั้นตอนการทดลอง

- ติดตั้งเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้าแบบที่ 1 ในชุดทดลอง
- นำน้ำที่ผ่านจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรม ประเภทอุตสาหกรรมอาหาร ซึ่งมีสารปนเปื้อนเหลืออยู่ มาใช้ในการทดสอบ

3. ทำการทดลองที่อัตราการไหล 500 ถึง 2000 ลิตรต่อชั่วโมง โดยเพิ่มอัตราการไหล ครึ่งละ 100 ลิตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ โดยการปรับวาล์ว

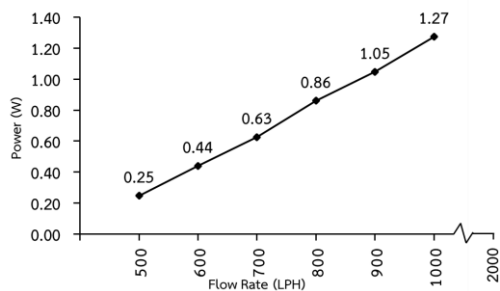
4. ทำการบันทึกข้อมูล กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า ทุก ๆ 30 นาที เป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง

5. ทำการเปลี่ยนชุดกังหันผลิตกระแสไฟฟ้า เป็นแบบที่ 2,3,4 ตามลำดับ และทำการทดลองตามข้อ 2-4 ตามลำดับ

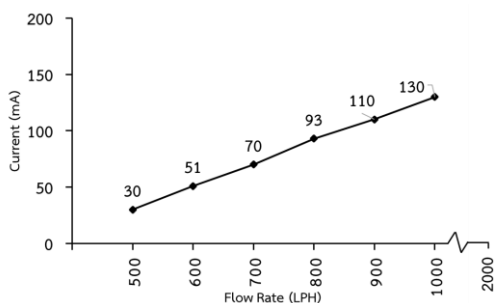
4.ผลการดำเนินการวิจัย

4.1 ผลการทดลองแบบจำลอง

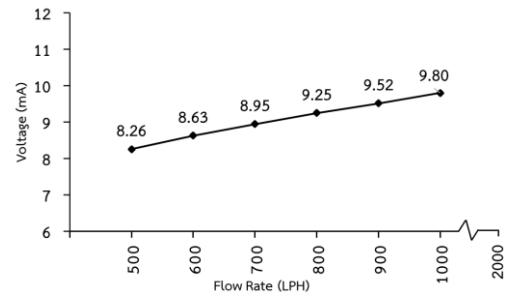
การทดลองระบบผลิตไฟฟ้าจากกังหันน้ำขนาดเล็ก (Micro hydro turbine generator) แบบที่ 1,2,3 ได้ผล ตามรูปที่ 7-18 ส่วนแบบที่ 4 ไม่สามารถวัดผลได้ในช่วงที่ทำการทดลอง



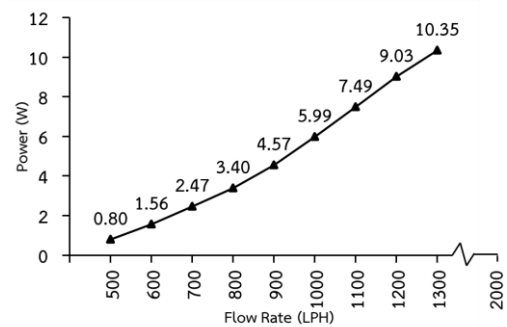
รูปที่ 7 ความสัมพันธ์อัตราการไหลกับกำลังไฟฟ้าของกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าแบบที่ 1



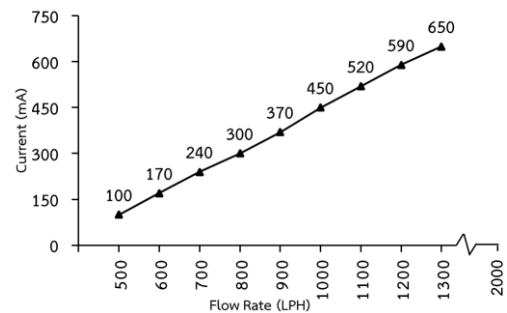
รูปที่ 8 ความสัมพันธ์อัตราการไหลกับกระแสไฟฟ้าของกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าแบบที่ 1



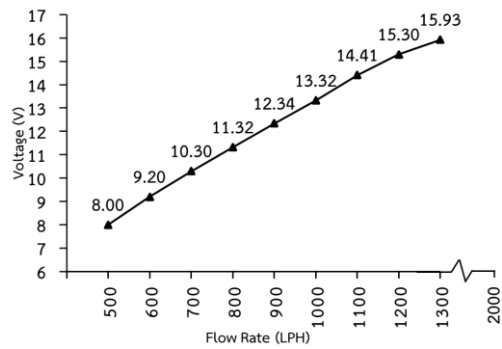
รูปที่ 9 ความสัมพันธ์อัตราการไหลกับแรงดันไฟฟ้าของกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าแบบที่ 1



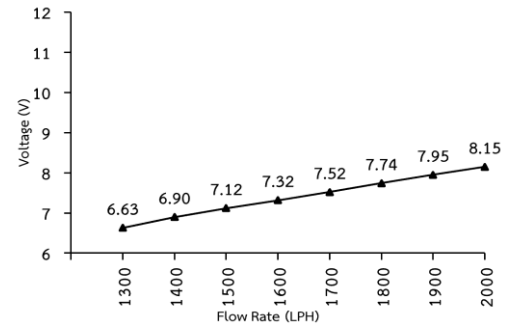
รูปที่ 10 ความสัมพันธ์อัตราการไหลกับกำลังไฟฟ้าของกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าแบบที่ 2



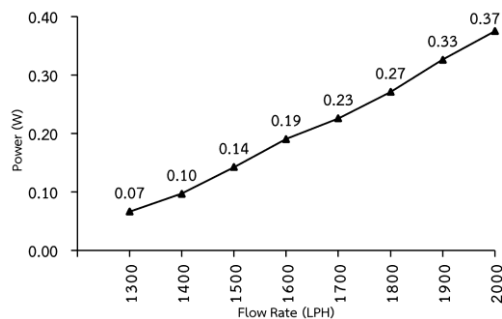
รูปที่ 11 ความสัมพันธ์อัตราการไหลกับกระแสไฟฟ้าของกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าแบบที่ 2



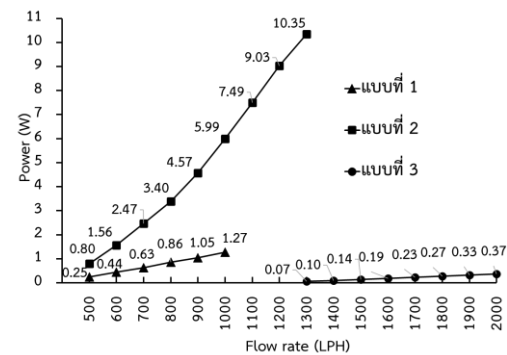
รูปที่ 12 ความสัมพันธ์อัตราการไหลกับแรงดันไฟฟ้า
ของกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าแบบที่ 2



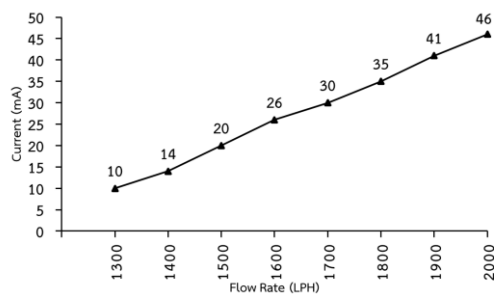
รูปที่ 15 ความสัมพันธ์อัตราการไหลกับแรงดันไฟฟ้า
ของกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าแบบที่ 3



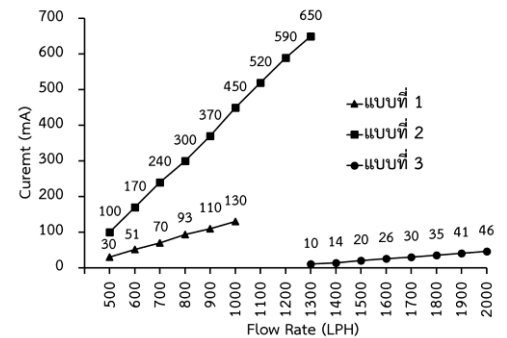
รูปที่ 13 ความสัมพันธ์อัตราการไหลกับกำลังไฟฟ้า
ของกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าแบบที่ 3



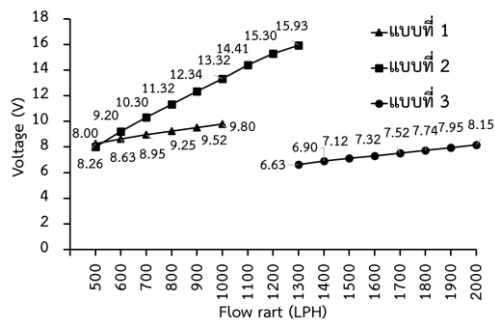
รูปที่ 16 ความสัมพันธ์อัตราการไหลกับกำลังไฟฟ้าของ
กังหันน้ำผลิตไฟฟ้าแต่ละแบบ



รูปที่ 14 ความสัมพันธ์อัตราการไหลกับกระแสไฟฟ้า
ของกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าแบบที่ 3



รูปที่ 17 ความสัมพันธ์อัตราการไหลกับกระแสไฟฟ้า
ของกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าแต่ละแบบ



รูปที่ 18 ความสัมพันธ์อัตราการไหลกับแรงดันไฟฟ้าของกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าแต่ละแบบ

4.2 ผลการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

การประเมินทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตกระแสไฟฟ้าจากน้ำที่ผ่านกระบวนการบำบัดน้ำเสียได้ผลดังนี้

ตารางที่ 1 สมบัติ และราคา กังหันผลิตไฟฟ้า Pelton จากผู้ผลิต

รุ่น	แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	เฮด (เมตร)	อัตราการไหล (ลบ.ม.ต่อชั่วโมง)	ราคา (บาท)
1.0 kW	220	7-15	18 – 28.8	13,500
1.5 kW		7-20	36 - 43.2	12,000
2.0 kW		10-25	54 - 72	17,500
3.0 kW		10-30	54 - 108	25,586

ตารางที่ 2 ราคาติดตั้งกังหันน้ำผลิตไฟฟ้า

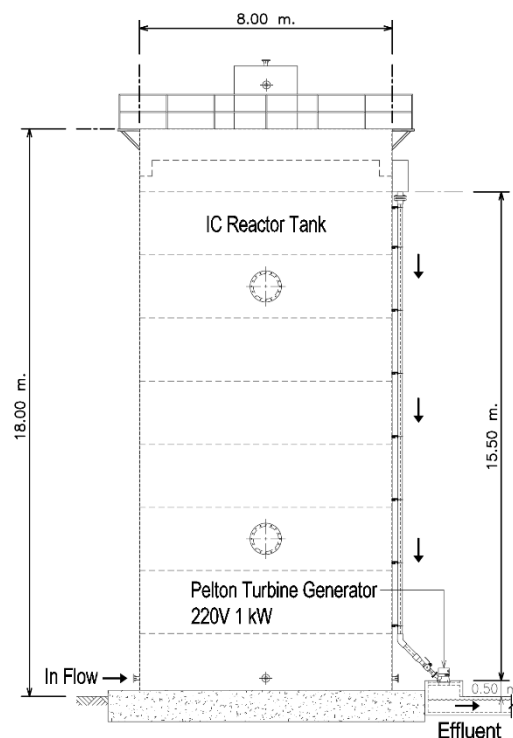
ลำดับที่	รายการ	ราคา(บาท)
1	กังหันน้ำ Pelton รุ่น 1 kW	13,500
2	ท่อและอุปกรณ์	15,000
3	ค่าแรงติดตั้ง	15,000
รวมค่าใช้จ่าย		43,500

ประเมินพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร แบบ IC reactor ที่มีความสามารถบำบัดน้ำเสีย 29 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง หรือ 29,000 ลิตรต่อชั่วโมง ขนาดถึงเส้นผ่านศูนย์กลาง 8 เมตร ความสูง 18.0 เมตร จากตารางที่ 1 เลือกใช้ กังหันน้ำผลิตไฟฟ้า Pelton ขนาด 1 kW ซึ่งสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ในช่วงอัตราการไหลที่ 18 ถึง 28.8 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และเฮด

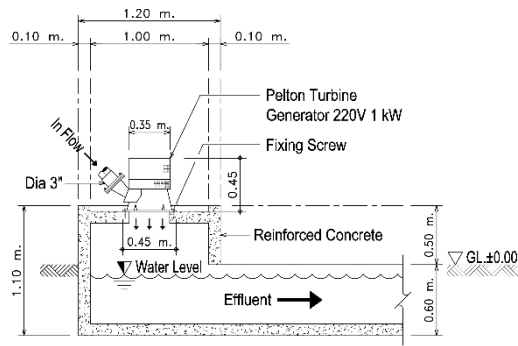
(Head) 7 ถึง 15 เมตร ทำการติดตั้งกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าที่ระดับพื้นทางจากระดับน้ำออก 15.5 เมตร ในแนวตั้ง (รูปที่ 19) ติดตั้งตามแบบและรายละเอียดตามรูปที่ 20 โดยระบบบำบัดน้ำเสียทำงานตลอด 24 ชั่วโมง คิดประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของกังหันน้ำ 70 % (คำแนะนำผู้ผลิต)

ดังนั้น พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ = (กำลังไฟฟ้า × เวลา)/1000 = (700 × 24) /1000 เท่ากับ 16.8 หน่วยต่อวัน หรือ 504 หน่วยต่อเดือน คิดเป็นค่าไฟฟ้า = (504×4.1,839) + (504) + vat 7% เท่ากับ 2,760 บาทต่อเดือน หรือ 33,120 บาทต่อปี

ประเมินความเป็นไปได้และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์แบบคืนทุน ซึ่งค่าใช้จ่ายในการติดตั้งกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าขนาด 1 kW เท่ากับ 43,500 บาท (ตารางที่ 2) จากสมการที่ 2 ระยะเวลาคืนทุน (PP) = 43,500/33,120 เท่ากับ 1.3 ปี



รูปที่ 19 ตำแหน่งติดตั้งกังหันน้ำผลิตไฟฟ้า Pelton



รูปที่ 20 รายละเอียดการติดตั้งกังหันน้ำผลิตไฟฟ้า

5. ผลสรุป และข้อเสนอแนะ

จากการดำเนินการข้างต้น สามารถสรุปผล และข้อเสนอแนะดังนี้

5.1 สรุปผล

กังหันน้ำผลิตไฟฟ้า ชนิดที่ 1 Impulse turbine (3 วัตต์) สามารถผลิตไฟฟ้าในช่วงอัตราการไหล 500 ถึง 1,000 ลิตรต่อชั่วโมง ผลิตไฟฟ้าสูงสุดที่อัตราการไหล 1,000 ลิตรต่อชั่วโมง ได้กำลังไฟฟ้า 1.27 วัตต์ ความต่างศักย์ไฟฟ้า 9.80 โวลต์ และกระแสไฟฟ้า 130 มิลลิแอมป์ ชนิดที่ 2 Pelton turbine (50 วัตต์) สามารถผลิตไฟฟ้าในช่วงอัตราการไหล 500 ถึง 1,300 ลิตรต่อชั่วโมง ผลิตไฟฟ้าได้สูงสุดที่อัตราการไหล 1,300 ลิตรต่อชั่วโมง ได้กำลังไฟฟ้า 10.35 วัตต์ ความต่างศักย์ไฟฟ้า 15.93 โวลต์ และกระแสไฟฟ้า 650 มิลลิแอมป์ ชนิดที่ 3 Water wheel turbine (100 วัตต์) สามารถผลิตไฟฟ้าในช่วงอัตราการไหล 1,300 ถึง 2,000 ลิตรต่อชั่วโมง ผลิตไฟฟ้าได้สูงสุดคือที่อัตราการไหล 2000 ลิตรต่อชั่วโมง ได้กำลังไฟฟ้า 0.37 วัตต์ ความต่างศักย์ไฟฟ้า 8.15 โวลต์ และกระแสไฟฟ้า 46 มิลลิแอมป์ และ ชนิดที่ 4 Impulse turbine (100 วัตต์) ไม่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าในช่วงที่ทำการทดสอบ ภายใต้เงื่อนไขของการทดลอง สรุปได้ว่า กังหันน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก ชนิดที่ 2 สามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงสุดและเหมาะสมในการผลิตกระแสไฟฟ้า

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตไฟฟ้า จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบ IC reactor ขนาด 29 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ของโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร โดยใช้กังหันน้ำผลิตไฟฟ้า Pelton ขนาด 1

กิโลวัตต์ พบว่ามีระยะคืนทุน (Payback Period) เท่ากับ 1.3 ปี

ดังนั้นงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการผลิตกระแสไฟฟ้าจากกังหันน้ำผลิตไฟฟ้า โดยใช้จากโรงบำบัดน้ำเสียเป็นทางเลือกที่เป็นไปได้ในทางเทคนิคและทางเศรษฐศาสตร์ สามารถนำไปใช้ พิสูจน์ ศึกษา เป็นแนวทางในการใช้น้ำจากระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมเพื่อผลิตไฟฟ้าและปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียให้มีความยั่งยืน

5.2 ข้อเสนอแนะ

การนำกังหันน้ำผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก (Micro hydro turbine generator) มาใช้ในการผลิตไฟฟ้าจากน้ำระบบบำบัดน้ำเสีย ควรมีการศึกษา วิจัยเพิ่มเติมให้สามารถผลิตไฟฟ้าได้มาก ในอัตราการไหลที่น้อย และเฮด(head) ที่ต่ำ เพื่อพัฒนาให้สามารถประยุกต์ใช้ในเชิงพาณิชย์ และภาครัฐ ควรให้การสนับสนุนส่งเสริมให้มีการศึกษา วิจัย พัฒนาการผลิตไฟฟ้าจากน้ำเสียให้มากขึ้น เพื่อเป็นแนวทางในการออกข้อกำหนด หรือกำหนดแผนพัฒนา ต่อไปในอนาคต

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ ทีมช่าง บริษัท เอโอ เอส เอ็นจิเนียริง (ประเทศไทย) ที่ช่วยจัดหาอุปกรณ์ สร้างแบบจำลอง และ สนับสนุนด้วยดีเสมอมา งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Molinos-Senante M, Maziotis A. Evaluation of energy efficiency of wastewater treatment plants: The influence of the technology and aging factors. *Applied Energy*. 2022;310:118535
- [2] Banadda N, Kiyangi D. Generation of electricity from sewage. *The Open Renewable Energy Journal*. 2014;7:13-20.

- [3] Gandiglio M, Lanzini A, Soto A, Leone P, Santarelli M. Enhancing the energy efficiency of wastewater treatment plants through co-digestion and fuel cell systems. *Frontiers in Environmental Science*. 2017;5:70.
- [4] Zhang QF, Uria Martinez R, Saulsbury B. Technical and economic feasibility assessment of small hydropower development in the Deschutes river basin. Oak Ridge National Lab.(ORNL), Oak Ridge, TN (United States); 2013.
- [5] Elbatran AH, Yaakob OB, Ahmed YM, Shabara HM. Operation, performance and economic analysis of low head micro-hydropower turbines for rural and remote areas: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015;43:40-50.
- [6] Elbatran AH, Abdel-Hamed MW, Yaakob OB, Ahmed YM, Ismail MA. Hydro power and turbine systems reviews. *Jurnal Teknologi*. 2015;74(5).
- [7] Kaewrattanasripho P. Simulation of the generating electricity from water turbines using the LabVIEW. *Journal of Applied Research on Science and Technology (JARST)*. 2022;21(2):117-25.
- [8] Sabia G, Petta L, Avolio F, Caporossi E. Energy saving in wastewater treatment plants: a methodology based on common key performance indicators for the evaluation of plant energy performance, classification and benchmarking. *Energy Conversion and Management*. 2020;220:113067.
- [9] Lhaochai S, Neeratanaphan L. The efficiency of up-flow anaerobic sludge blanket and Internal circulation wastewater treatment systems, *KKU Res. J.* 2011;16(8):981-92. (in Thai)
- [10] Cobb BR, Sharp KV. Impulse (Turgo and Pelton) turbine performance characteristics and their impact on pico-hydro installations. *Renewable energy*. 2013;50:959-64.
- [11] Williamson SJ, Stark BH, Booker JD. Performance of a low-head pico-hydro Turgo turbine. *Applied Energy*. 2013;102:1114-26.
- [12] Termkla R, Matthujak A, Sriveerakul T. Development of a low-cost heat pipe solar thermal collector. *Journal of Engineering, RMUTT*. 2021;19(1):35-46.