

การออกแบบระบบสูบน้ำและกักเก็บน้ำจากพลังงานสะอาดสำหรับการเกษตรบนพื้นที่ราบสูง

Design of Community Hydropower Storage for Agriculture in Thailand's Highland Area

ดำรงศักดิ์ ชักกะโร รัชต สุชลพานิชม เวชน วรรณต พงศกร อนันตรทิวาร ญญกร สุขมานนท์ และ ธงชาติ เกิดผล *

Rachata Sucholpanit Wech Oramoot Pongsakorn Anantarativakorn

Nottakorn Sukmanont and Thongchart Kerdphol *

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Kasetsart University, Bangkok, Thailand,

*Corresponding Author E-mail: thongchart.k@ku.ac.th

Received: 6/09/25, Revised: 18/10/25, Accepted: 20/10/25

บทคัดย่อ

ลักษณะทางภูมิศาสตร์ของประเทศไทยที่มีความหลากหลายเป็นปัจจัยที่ทำให้ภาคการเกษตรเป็นอีกหนึ่งอาชีพที่มีความสำคัญต่อประเทศตั้งแต่อดีต ลักษณะภูมิศาสตร์พบว่าพื้นที่ทางตอนเหนือของประเทศไทยที่เป็นที่ราบสูงยังมีอุปสรรคและก่อให้เกิดปัญหาในการเข้าถึงแหล่งน้ำในการทำเกษตรกรรม ส่งผลให้เกษตรกรไม่สามารถทำการเกษตรได้อย่างยั่งยืน จากประเด็นปัญหานี้ไปสู่การศึกษาเพื่อหาแนวทางแก้ไขและออกแบบระบบไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบน้ำกลับร่วมกับเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อสนับสนุนแก่เกษตรกรให้สามารถเข้าถึงแหล่งน้ำเพื่อทำการเกษตรกรรมในพื้นที่ราบสูง โดยอาศัยพื้นที่บริเวณบ้านสบแม่แพ ตำบลแม่สวด อำเภอสบเมย จังหวัดแม่ฮ่องสอนเป็นพื้นที่ศึกษาด้านแบบการศึกษาครั้งนี้เป็นความร่วมมือกับ สำนักงานชลประทานที่ 2 โดยผลการศึกษาในครั้งนี้โดยการบูรณาการสองระบบชี้ให้เห็นว่า ระบบสามารถลดต้นทุนในการจัดหาแหล่งน้ำ เพิ่มเสถียรภาพในการใช้น้ำเพื่อการเกษตรได้ในระยะยาว สนับสนุนการเกษตรได้ต่อเนื่อง ปัญหาจากภัยแล้งในฤดูร้อนของภาคเหนือสามารถคลี่คลายได้ เศรษฐกิจของชุมชนมีความมั่นคง และหลายข้อจำกัดด้านภูมิศาสตร์ในพื้นที่ราบสูงต่อการทำการเกษตรได้เป็นอย่างดี การศึกษาครั้งนี้ใช้การวิเคราะห์ผ่านซอฟต์แวร์ที่ได้รับการยอมรับโดยในส่วนของระบบสูบน้ำและกักเก็บน้ำออกแบบด้วย Pipe Flow Experts 7.4® และในส่วนการออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์ผ่านซอฟต์แวร์ PVsyst 8® โดยผลการศึกษาของบทความนี้สามารถแก้ไขปัญหที่เกิดขึ้นเพื่อช่วยเหลือเกษตรกรทางภาคเหนือของไทยเพื่อให้สามารถทำการเกษตรได้อย่างยั่งยืนต่อไป

คำสำคัญ: ระบบไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบน้ำกลับ, ระบบพลังงานแสงอาทิตย์, เกษตรกรรมในพื้นที่ราบสูง

Abstract

Thailand's diverse geography is a factor that has made agriculture a major occupation in Thailand for long time ago. In the northern area of the country, the land is a plateau, so it is still hard to get water for farming.

Therefore, farmers cannot farm in a sustainable way. This problem led to a study aimed at finding a solution and designing a Pumped-Storage Hydropower (PSH) system combined with Solar Photovoltaic (PV) system. Its goal is to help farmers gain access to water for highland agriculture. The Sop Mae Phae community in Mae Suat subdistrict, Sop Moei district, Mae Hong Son province, is a prototype study area. This study is conducted in collaboration with the Royal Irrigation Department, Region 2. The integration of the two systems in this study shows potential to reduce water acquisition costs, enhance the long-term stability of agricultural water use and sustain agricultural activities over time. This approach addresses drought, stabilizes the economy, and removes highland agriculture limits. This study employed reliable software tools for the pumped-storage hydropower was designed using Pipe Flow Expert 7.4®, while the Solar Photovoltaic system was designed using PVsyst 8®. By addressing the key issues related to water access and geographical constraints, this study provides a pathway for farmers in northern Thailand to maintain agricultural productivity sustainably.

Keywords: Pumped Storage Hydropower (PSH), Solar Photovoltaic (PV), Highland Agriculture

1. บทนำ

พื้นที่หุบเขามบ้านสบแม่แพ ตำบลแม่สวด อำเภอสบเมย จังหวัดแม่ฮ่องสอน เป็นชุมชนที่ตั้งอยู่บนพื้นที่ภูเขาสูงหรือที่ราบสูง ซึ่งมีลักษณะภูมิประเทศที่เป็นอุปสรรคต่อการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านแหล่งน้ำเพื่อการเกษตร เนื่องจากความลาดชันและการเข้าถึงพื้นที่ที่จำกัด ทำให้รูปแบบการเกษตรกรรมในพื้นที่ต้องปรับตัว โดยเน้นการปลูกพืชที่ใช้น้ำน้อยเป็นหลัก และพึ่งพาน้ำฝนเป็นแหล่งน้ำหลักในการเพาะปลูก อย่างไรก็ตาม น้ำฝนซึ่งเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่ไม่สามารถควบคุมได้มีความผันผวนตามฤดูกาล และไม่สามารถคาดการณ์ได้ล่วงหน้าอย่างแม่นยำ เกิดความเสี่ยงสูงต่อผลผลิตทางการเกษตรที่ไม่แน่นอน เพื่อ

บรรเทาปัญหาขาดแคลนน้ำทำให้ชาวบ้านจำเป็นต้องใช้ปั๊มน้ำที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานเชื้อเพลิงหรือพลังงานไฟฟ้าในการสูบน้ำจากแม่น้ำเงาเพื่อใช้ในการเกษตร ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเป็นปัญหาหลักที่ทำให้รายได้ของเกษตรกรนั้นไม่เพียงพอต่อการดำรงชีวิตและในการทำการเกษตรในฤดูกาลถัดไป ถือเป็นอุปสรรคสำคัญต่อความยั่งยืนทางเศรษฐกิจและการเกษตรของชุมชนบนพื้นที่สูง ควรมีแนวทางแก้ไขอย่างเป็นระบบและยั่งยืน เพื่อลดต้นทุน เพิ่มเสถียรภาพในการใช้น้ำ และส่งเสริมเกษตรกรในระยะยาว

โครงการวิจัยนี้ได้รับความร่วมมือจากสำนักงานชลประทานเขตที่ 2 ในการศึกษาและออกแบบระบบไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบกลับ (Pumped Storage Hydropower: PSH) และเทคโนโลยีการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกันในพื้นที่ห้วยมบ้านสบแม่แพ เพื่อแก้ไขปัญหาด้านการเกษตรที่กล่าวถึงข้างต้น ในช่วงเวลากลางวันที่มีความต้องการใช้น้ำในการเกษตรน้ำจะถูกสูบขึ้นไปเก็บไว้ในอ่างเก็บน้ำที่อยู่ในระดับสูงโดยระบบที่ใช้พลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ในการสูบน้ำขึ้นไป หากมีน้ำสำรองในอ่างเก็บน้ำด้านบน น้ำจะถูกปล่อยลงมาเพื่อให้เกษตรกรใช้งาน. นอกจากนี้ เมื่อมีการปล่อยน้ำผ่านกังหันน้ำ จะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ ซึ่งพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นจะถูกนำไปจ่ายให้แก่ชุมชน เพื่อช่วยลดค่าใช้จ่ายและเพิ่มคุณภาพชีวิตของชาวบ้านในพื้นที่อย่างยั่งยืน ส่งผลให้ต้นทุนที่เกษตรกรต้องแบกรับสามารถลดลงได้

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความต้องการน้ำทางเกษตรกรรม

ในการเกษตรกรรม ปริมาณน้ำที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืชจะถูกกำหนดโดยความต้องการน้ำของพืช โดยจะถูกคำนวณผ่านสมการความต้องการน้ำชลประทาน ซึ่งคือปริมาณน้ำที่ต้องจัดสรรผ่านระบบชลประทานเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการโดยความต้องการน้ำชลประทานเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลโดยตรงต่อความสำเร็จของการทำเกษตรกรรม ในการคำนวณหาความต้องการน้ำชลประทานจะเป็นไปดังสมการที่ (1) [1]:

$$I_{WR} = ET_c + P_e + W_L - R_{eff} \quad (1)$$

โดยที่ I_{WR} คือความต้องการน้ำประทาน (มม./เดือน), ET_c คือปริมาณการใช้น้ำของพืช (มม./เดือน), P_e ปริมาณน้ำฝนที่มีประสิทธิผล (Effective Rainfall), W_L คือปริมาณน้ำที่จำเป็นในการสร้างชั้นน้ำ (มม./เดือน), R_{eff} คือปริมาณน้ำฝนที่มีประสิทธิภาพ (มม./เดือน) และปริมาณน้ำฝนที่มีประสิทธิภาพในทางเกษตรกรรมพืชไม่ได้ใช้น้ำฝนทั้งหมดที่ตกลงมาได้เต็มที่เนื่องจากบางส่วนสูญเสียไปกับการไหลบ่าของน้ำผิวดินหรือการซึมลึกลงสู่ชั้นดินลึก โดยสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (2) และ สมการที่ (3) ดังนี้ [7]:

$$R_{eff} = 0.8 \times R_f - 25, \text{ if } R_f > 75 \text{ มม./เดือน} \quad (2)$$

$$R_{eff} = 0.6 \times R_f - 25, \text{ if } R_f < 75 \text{ มม./เดือน} \quad (3)$$

โดยที่ R_f คือ ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน (มม./เดือน) ซึ่งไม่สามารถมีค่าเป็นลบ โดยต่อมาในส่วนของ ET_c โดยคำนึงการคำนวณปริมาณการใช้น้ำของพืชในพื้นที่หรือจังหวัดใดๆ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4) ดังนี้ [6]:

$$ET_c = ET_0 \times K_c \quad (4)$$

โดย ET_0 คือปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (มม./เดือน) และ K_c คือค่าสัมประสิทธิ์พืช ในส่วนของค่า ET_0 นั้นเป็นหลักการในการคำนวณหาปริมาณน้ำที่สูญเสียจากพื้นที่เพาะปลูกซึ่งมีการปกคลุมด้วยพืชอย่างสมบูรณ์สามารถแสดงได้ด้วยสมการของ Penman-Monteith จากสมการที่ (5) ดังนี้ [6]:

$$ET_0 = \frac{0.408 \times \Delta \times (R_n - G) + \gamma \times \frac{37}{T + 273} \times u_2 \times (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \times (1 + 0.34 \times u_2)} \quad (5)$$

โดย Δ ค่าความลาดเทของเส้น Curve แรงดันไอ (kPa/°C), R_n คือปริมาณรังสีของดวงอาทิตย์ทั้งหมดที่พืชได้รับ (MJ/m²/d), G คือฟลักซ์ความร้อนในดิน (MJ/m²/d), γ คือค่าคงที่ของ psychrometric (kPa/°C), T คือ อุณหภูมิของอากาศเฉลี่ย (°C), u_2 คือค่าความเร็วของลมที่ระดับความสูงจากพื้นดิน 2 เมตร (m/s), e_s คือความดันไออิ่มตัว (kPa) และ e_a คือ ความดันไอจริง (kPa)

2.2 ระบบสูบน้ำของระบบผลิตไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบกลับ

ในการออกแบบระบบสูบน้ำ การวิเคราะห์การไหลของน้ำภายในท่อปิดมีความสำคัญ โดยสามารถอธิบายได้โดยการประยุกต์ใช้สมการเบอร์นูลลี (Bernoulli Equation)

ในการเลือกปั๊มน้ำต้องพิจารณาความสูงรวมที่ปั๊มต้องสร้างขึ้นเพื่อรองรับแรงดันจากความเร็วของไหล ความแตกต่างของระดับความสูงและการสูญเสีย คำนีจะเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดขนาดและประสิทธิภาพของปั๊มให้สอดคล้องกับระบบมีสมการที่ (6) ดังนี้ [2]

$$h_{pump} = \frac{v_b^2}{2g} + z_b + h_{loss} \quad (6)$$

โดยที่ h_{pump} คือ ความสูงรวมที่ปั๊มต้องสร้างขึ้น (Total Head) เพื่อให้สามารถส่งน้ำไปถึงจุดหมายปลายทาง (เมตร), v_b คือ ความเร็วของของไหลที่จุดทางออกของปั๊ม (เมตร/วินาที), z_b คือ ความแตกต่างของระดับความสูงระหว่างจุดอ้างอิงกับจุดหมายปลายทาง (m), g คือ ค่าแรงโน้มถ่วงของโลก (เมตร/วินาที²) และ h_{loss} คือการสูญเสียพลังงาน

ในระบบท่อที่เกิดจากแรงเสียดทานและการสูญเสียเล็กน้อยอื่นๆที่เกิดขึ้นในท่อ (เมตร) ซึ่งในส่วนนี้สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (7) [8]:

$$h_{loss} = h_f + \sum h_m \quad (7)$$

โดยที่ h_f คือการสูญเสียจากแรงเสียดทาน และ h_m คือการสูญเสียเล็กน้อย สามารถอธิบายได้โดยใช้สมการ Darcy-Weisbach ดังที่ (8) ดังนี้ [8]:

$$h_f = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g} \quad (8)$$

โดยที่ f คือค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน, L คือความยาวของท่อ (เมตร) และ D คือเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อหรือช่องทาง (เมตร) ในส่วนต่อมา h_m คือการสูญเสียเล็กน้อย สามารถอธิบายได้ตามสมการที่ (9) ดังนี้

$$\sum h_m = \sum K \times \frac{v^2}{2g} \quad (9)$$

โดยค่า K คือค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียพลังงานเล็กน้อย, v ความเร็วของของไหล (เมตร/วินาที), g คือค่าแรงโน้มถ่วงของโลก (เมตร/วินาที²)

2.3 การออกแบบระบบกักเก็บพลังงานด้วยพลังน้ำ

แบบสูบกลับ

ระบบกักเก็บพลังงานด้วยพลังน้ำแบบสูบกลับ (Pumped Storage Hydropower: PSH) ทำงานโดยอาศัยการถ่ายเทระหว่างอ่างเก็บน้ำสองแห่งที่มีระดับความสูงต่างกันส่วนสำคัญของระบบนี้อยู่ที่การแปลงพลังงานไฟฟ้าให้เป็น พลังงานศักย์โน้มถ่วงของมวลน้ำ ในช่วงการชาร์จและแปลงกลับมาเป็น พลังงานจลน์และพลังงานไฟฟ้า ในช่วงการปลดปล่อยสามารถคำนวณได้จากสมการพื้นฐานทางกลศาสตร์ ดังสมการที่ (10) :

$$E_t = V_u \times \rho \times g \times h \quad (10)$$

โดยที่ E_t คือ พลังงานรวมที่สะสมได้ (จูลล์), V_u คือปริมาตรของน้ำในอ่างเก็บน้ำตอนบน (เมตร³), ρ คือความหนาแน่นของน้ำ (กิโลกรัม/เมตร³) และ h คือความต่างระดับความสูงระหว่างอ่างเก็บน้ำด้านบนและล่าง (เมตร) และ g คือค่าแรงโน้มถ่วงของโลก (เมตร/วินาที²) ความสามารถในการกักเก็บพลังงานของระบบจะขึ้นอยู่กับสองปัจจัยหลัก คือ ปริมาณน้ำที่เก็บได้ในอ่างเก็บน้ำตอนบนและความสูงของระดับน้ำระหว่างอ่างทั้งสองในการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังน้ำ ความสูงสุทธิของกังหันแสดงถึงความแตกต่างของระดับระหว่างแหล่งกักเก็บน้ำและจุดที่น้ำไหลผ่านกังหัน ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ปริมาณพลังงานศักย์ของน้ำและพลังงานที่สามารถแปลงเป็นพลังงานกลได้ เป็นไปตามสมการที่ (11) [3]:

$$h_{turbine} = z_a - \frac{v_b^2}{2g} - h_{loss} \quad (11)$$

โดยที่ $h_{turbine}$ คือ ความสูงสุทธิที่ใช้ในการเปลี่ยนพลังงานของของไหลให้เป็นพลังงานกลในกังหัน (เมตร), g คือ ค่าแรงโน้มถ่วงของโลก (เมตร/วินาที²) และ z_a คือความสูงระหว่างแหล่งน้ำต้นทางกับจุดปลายทางที่ติดตั้งกังหันน้ำ (เมตร) ต่อมาการเลือกประเภทและขนาดของกังหันน้ำให้เหมาะสมจะพิจารณาอัตราการไหลของน้ำและความสูงของเสถระหว่างอ่างเก็บน้ำบนกับจุดติดตั้งกังหันน้ำและจะพิจารณาประสิทธิภาพของกังหันน้ำและกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ ซึ่งจะสามารถคำนวณดังสมการที่ (12) [3]:

$$P_{turbine} = \gamma \times Q \times h_{turbine} \times \eta_{turbine} \quad (12)$$

โดยที่ $P_{turbine}$ คือกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากกังหันน้ำ (วัตต์), Q คืออัตราการไหลของของไหล (เมตร³/วินาที) และ $\eta_{turbine}$ คือประสิทธิภาพของกังหันน้ำ

2.4 พลังงานแสงอาทิตย์

ปริมาณพลังงานจากการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์จะเปลี่ยนแปลงตามระยะทางและมุมที่โลกกระทำต่อดวงอาทิตย์ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามลำดับวันในรอบปีดังสมการที่ (13) [9]:

$$I_0 = I_{sc} \times \left[1 + 0.033 \cos \left(\frac{360 * N}{365} \right) \right] \quad (13)$$

โดยที่ I_0 คือ ความเข้มของการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์นอกชั้นบรรยากาศ (W/m²), I_{sc} คือค่าคงที่สุริยะ มีค่าเท่ากับ 1,353 W/m² และ N คือวันที่ในรอบปี อย่างไรก็ตามความเข้มของการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ที่นอกชั้นบรรยากาศต้องเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศของโลกก่อนที่จะถูกดูดกลืนและแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยเซลล์แสงอาทิตย์ โดยค่าความเข้มที่มาถึงพื้นโลกจะมีค่าลดลงเหลือประมาณ 1,000 W/m² โดยในสถานะที่กล่าวมาคือสถานะที่เรียกว่าสภาวะ (Standard Test Condition: STC) คือ สภาวะมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบและวัดประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และมีอุณหภูมิ 25 °C

2.5 หัวข้อการออกแบบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ในการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ มักมีการเผื่อความสามารถในการผลิตเพิ่มขึ้นจากค่าความต้องการไฟฟ้าที่กำหนดไว้ เพื่อรองรับการสูญเสียหรือความผันผวนต่างจากการกำหนดขนาดติดตั้งที่ 1.25 เท่าหรือ 25% เนื่องจากภาระโหลดนั้น เป็นหลักปฏิบัติทั่วไปโดยการกำหนดขนาดการติดตั้งของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์จะคำนวณดังสมการที่ (14) [5]

$$P_{PV} = 1.25 \times P_{load} \quad (14)$$

โดยที่ P_{PV} คือกำลังไฟฟ้ารวมของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์และ P_{load} คือความต้องการไฟฟ้าของโหลด (kW) โดยใน

ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีการผลิตไฟฟ้าในลักษณะกระแสไฟฟ้ากระแสตรง (DC) และมีการเปลี่ยนแปลงเป็นกระแสสลับ (AC) ด้วยอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์ เพื่อนำไปสู่การจ่ายโหลดทางไฟฟ้าโดยสามารถแยกการออกแบบได้ทั้งในแบบ กระแสตรงและกระแสสลับ โดยหลักการออกแบบอ้างอิงจากตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย ระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา พ.ศ. 2565 ด้านไฟฟ้ากระแสตรง (DC) และด้านกระแสสลับ (AC) มีหลักการออกแบบและคำนวณดังสมการที่ (15) และสมการที่ (16) ต่อไปนี้ [5]:

กระแสตรง:

$$1.5 \times I_{SC\ MOD} < I_n < 2.4 \times I_{SC\ MOD} \quad (15)$$

กระแสสลับ:

$$1.25 \times I_{SC\ MOD} < I_n \quad (16)$$

จากสมการจะได้ว่า $I_{SC\ MOD}$ คือค่าพิกัดกระแสลัดวงจรของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สภาวะ STC และ I_n คือพิกัดการป้องกันกระแสเกินของอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน โดยอาจจะต้องคำนึงค่ากระแสฟิวส์สูงสุดที่อนุญาตให้ใช้ในวงจรอนุกรมของแผงด้วย ในการออกแบบจำเป็นต้องกำหนดขนาดของ PV String ให้เหมาะสมกับพิกัดของอินเวอร์เตอร์ เพื่อให้มั่นใจว่าระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและปลอดภัย โดย แรงดันสูงสุดของ PV Array มีสมการที่ (17) ดังนี้ [5]:

$$V_{PV\ Array} = V_{oc\ Array} + r_v \times (T_{min} - T_{STC}) \times M \quad (17)$$

โดยที่ $V_{oc\ Array}$ คือ แรงดันเปิดวงจรของ Array ณ สภาวะทดสอบ STC (V), r_v คือสัมประสิทธิ์แรงดันอุณหภูมิ (V/°C), T_{min} คืออุณหภูมิที่คาดว่าต่ำสุดของวันตลอดทั้งปี (°C), T_{STC} คืออุณหภูมิของเซลล์ ณ สภาวะ STC (°C) และ M คือจำนวนแผงที่ต่ออนุกรมใน String

2.6 การประเมินทางเศรษฐศาสตร์

เพื่อเป็นแนวทางในการตัดสินใจเกี่ยวกับการใช้ทรัพยากรและงบประมาณที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดความคุ้มค่ามากที่สุด ทั้งนี้ วิธีที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์และประเมินผลตอบแทนของโครงการ ได้แก่ การคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV), การคำนวณอัตราผลตอบแทนของโครงการ (Internal Rate of Return: IRR) และการคำนวณระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB) ซึ่งเป็นเครื่องมือสำคัญในการพิจารณาความคุ้มค่าของการลงทุนในโครงการ

การคำนวณมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) คือ มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดของโครงการโดยค่าที่ได้รับจะเป็นตัวชี้วัดว่าการลงทุนในโครงการนั้นจะส่งผลให้เกิดมูลค่าทางเศรษฐกิจเพิ่มขึ้นหรือลดลง ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (18) ดังนี้

$$NPV = \sum_{n=1}^t \frac{ES_t}{(1+i)^t} - I_0 \quad (18)$$

โดย ES_t คือต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้ (Energy cost savings) รายปี ตั้งแต่ปลายปีที่ 1 ถึง n , I_0 คือเงินจ่ายลงทุนตอนเริ่มโครงการ (Total investment) และ i คืออัตราลดค่า (discount rate)

อัตราผลตอบแทนของโครงการ (Internal Rate of Return: IRR) คืออัตราผลตอบแทนที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับศูนย์ ซึ่งใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาว่าการลงทุนดังกล่าวให้ผลตอบแทนเป็นที่น่าสนใจหรือไม่ จะสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (19) ดังนี้:

$$-I_0 + \sum_{n=1}^t \frac{ES_t}{(1+IRR)^t} = 0 \quad (19)$$

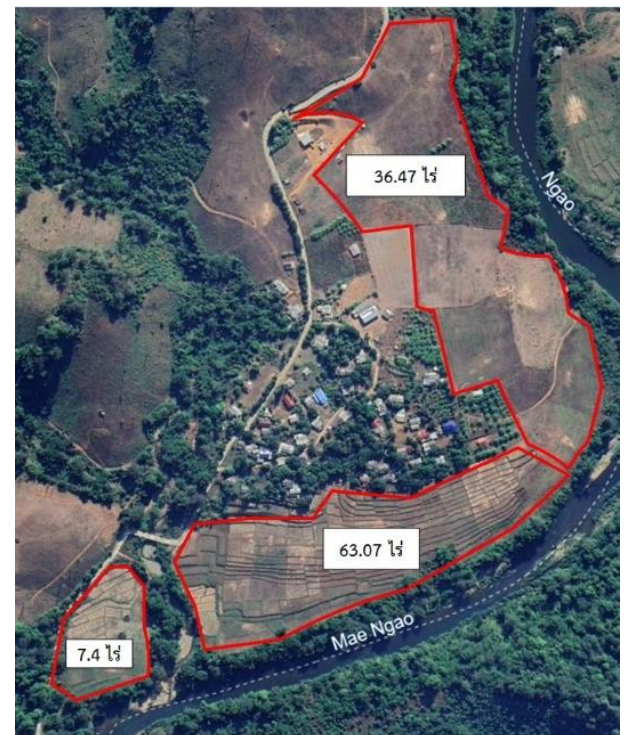
ในส่วนต่อมาการคำนวณระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB) คือจำนวนปีที่ต้องใช้ในการคืนทุนจากผลตอบแทนที่ได้รับจากโครงการการคำนวณระยะเวลาคืนทุนสามารถดำเนินการได้ 2 วิธีคือแบบ Static Method และ Dynamic Method

3. ผลการศึกษา

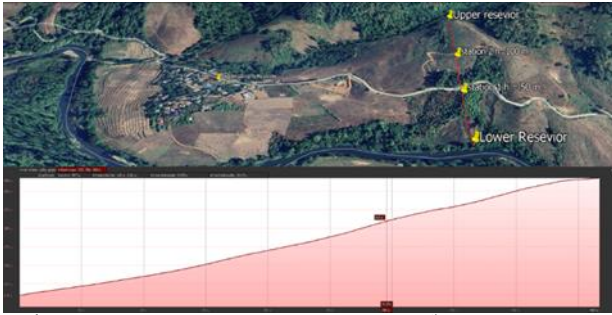
3.1 พื้นที่การศึกษา



รูปที่ 1 ลักษณะภูมิศาสตร์ทางกายภาพของพื้นที่การศึกษา



รูปที่ 2 พื้นที่ในการทำการเกษตรของพื้นที่การศึกษา



รูปที่ 3 โพรไฟล์ระดับความสูงตามแนวเส้นทางระบบสูบน้ำสำหรับระบบไฟฟ้าพลังน้ำสูบล้น

จากรูปที่ 1 จะแสดงพื้นที่ที่ห้วยบ้านสบแม่แพ ตั้งอยู่ที่ละติจูด $17^{\circ} 45' 4.97''$ เหนือ และลองจิจูด $98^{\circ} 0' 56.95''$ ตะวันออก ในตำบลแม่สวด อำเภอสบเมย จังหวัดแม่ฮ่องสอน เป็นพื้นที่ราบสูงที่มีระดับความสูงประมาณ 180 เมตรจากระดับน้ำทะเล เป็นพื้นที่ที่น่าร่องสำหรับการติดตั้งระบบไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบล้น (PSH) เพื่อสนับสนุนการเกษตรในพื้นที่ประมาณ 100 ไร่ โดยแสดงในรูปที่ 2 จากพื้นที่รวมทั้งสิ้น 533.20 ไร่

3.2 ผลความต้องการน้ำชลประทาน

ในการวิเคราะห์ความต้องการน้ำชลประทาน (I_{WR}) ได้ยกเว้นการคำนึงถึงค่าการสูญเสียจากการซึมผ่านดินและปริมาณน้ำที่ใช้สำหรับการสร้างชั้นน้ำผลการวิเคราะห์ค่าความต้องการน้ำชลประทานของพืชทั้ง 4 ชนิดจะแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความต้องการน้ำชลประทานของพืชทั้ง 4 ชนิด

พืช	ช่วงเวลาการปลูก	I_{WR} (มม./เดือน)	I_{WR} (เมตร ³ /ไร่/ฤดูกาล)
ถั่วเหลือง	ฤดูแล้ง	409.43	655.09
	ฤดูฝน	112.81	180.50
ข้าวไร่	ฤดูแล้ง	1,148.1	1,836.96
	ฤดูฝน	924.46	1,479.14
ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์	ฤดูแล้ง	415.97	665.55
	ฤดูฝน	117.28	187.65
พริก	ฤดูแล้ง	430.36	688.58
	ฤดูฝน	93.34	149.34

ตารางที่ 2 ผลการจำลองการทำงานของปั๊มน้ำแต่ละตัวในระบบสูบน้ำ

องค์ประกอบ	สถานีสูบน้ำที่ 1		สถานีสูบน้ำที่ 2		สถานีสูบน้ำที่ 3		หน่วย
	บ้น 1	บ้น 2	บ้น 3	บ้น 4	บ้น 5	บ้น 6	
ความสูงจากระดับอ้างอิง	0		50		100		m
อัตราการไหล	62.087	62.169	61.240	61.323	60.919	61.002	m ³ /h
ความดัน	5.7731	5.7517	5.607	5.6073	5.6372	5.6283	bar
ความเร็ว	1.190	1.178	1.173	1.175	1.167	1.169	m/s
ความสูญเสีย	5.237		3.704		3.876		m
ความสูงเสด	54.043	53.939	54.489	54.305	54.652	54.610	m
ประสิทธิภาพ	73.60	73.70	73.40	73.40	73.30	73.30	%
กำลังไฟฟ้า	12.38	12.39	12.35	12.35	12.34	12.34	kW

ผลการจำลองระบบสูบน้ำจากโปรแกรม Pipe Flow Expert® สามารถแสดงถึงการทำงานของปั๊มน้ำไฟฟ้าในการสูบน้ำ ณ จุดทำงานของปั๊มน้ำแต่ละตัว ดังในตารางที่ 2 ปั๊มน้ำแต่ละตัวจะมีขนาด 15 kW และถูกออกแบบให้ทำงานเป็นระบบต่อเนื่อง เพื่อสูบน้ำจากสถานีสูบน้ำหนึ่งไปยังอีกสถานีก่อนส่งต่อไปยังอ่างเก็บน้ำปลายทางความจุ 600 ลูกบาศก์เมตร ที่ระดับความสูง 150 เมตร

3.3 การจำลองระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำ

ผลการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำ จากการสำรวจภาคสนาม โดยกรมชลประทาน พบว่า ชุมชนห้วยบ้านสบแม่แพเป็นชุมชนเกษตรกรรมของภาคเหนือ ซึ่งประกอบด้วย 33 ครัวเรือน เป็นพื้นที่ไม่สามารถเข้าถึงระบบไฟฟ้าได้ ทีมวิจัยจึงกำหนดการะทางไฟฟ้าขึ้นมาเพื่อประมาณค่าการใช้ไฟฟ้าขึ้นพื้นฐานต่อครัวเรือนไว้ที่ 3,960 วัตต์-ชั่วโมงต่อวัน (Wh/day) นำไปสู่ผลการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำ โดยจะแสดงในตารางที่ 3 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3 ผลลัพธ์การจำลองระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานน้ำ

อัตราการไหล	0.065 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที
ความสูงจากอ่างเก็บน้ำถึงตำแหน่งกังหันน้ำ	70 เมตร
ประเภทกังหันน้ำ	เพลตัน(Pelton Turbine)
ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้า	80%
พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้	40 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง

จากผลลัพธ์ตารางที่ 3 ในกรณีที่ปล่อยน้ำทั้งหมดจำนวน 600 ลูกบาศก์เมตรไหลผ่านกังหันน้ำตามความจุอ่างระบบจะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานน้ำได้ประมาณ 132.9 kWh ภายใน 1 วัน ซึ่งพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ภายใน 1 ปี (365 วัน) จะมีค่าเท่ากับ 48.5 MWh

3.4 ผลการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

จากการสำรวจพื้นที่ชุมชนห้วยบ้านสบแม่แพเพื่อระบุจุดที่มีความเหมาะสมสำหรับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์เนื่องจากเป็นพื้นที่ราบและโล่งปราศจากสิ่งปลูกสร้างหรือต้นไม้สูงที่อาจบดบังแสงแดด นอกจากนี้บริเวณดังกล่าวยังสามารถจัดวางแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้หันไปทางทิศใต้ได้อย่างเหมาะสม โดยแสดงให้เห็นในรูปที่ 4 ถึงสภาพภูมิศาสตร์



รูปที่ 4 พื้นที่ตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งแผงเซลล์

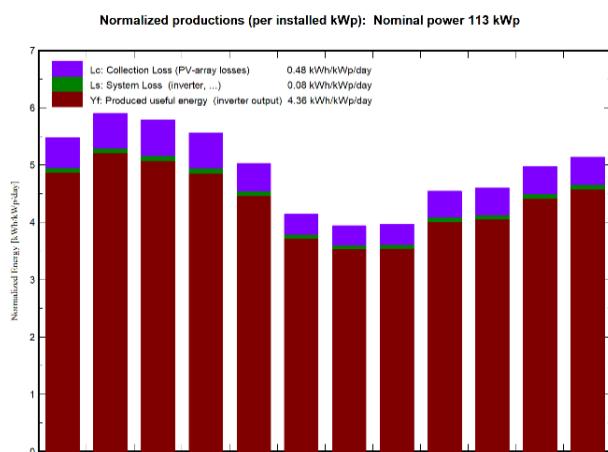
ซึ่งเป็นทิศทางที่ให้การรับพลังงานจากแสงอาทิตย์สูงสุดในซีกโลกเหนือ ทำให้สามารถผลิตพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพตลอดทั้งปี พบว่าพื้นที่นี้เป็นจุดที่มีข้อได้เปรียบมากที่สุดทั้งในแง่ของการรับแสง การลดเงาบัง และความสะดวกในการติดตั้งระบบ โครงสร้างรองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์ของพื้นที่ดังกล่าวจะมีค่าอยู่ที่ละติจูด 17.7437 องศาเหนือ และลองจิจูด 98.0184 องศาตะวันออก

ต่อมาในส่วนผลการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ จากการออกแบบระบบสูบน้ำของระบบ PSH สามารถสรุปปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่จำเป็นต่อระบบสูบน้ำต่อวันเท่ากับ 450 kWh โดยผลการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในโครงการนี้ โดยใช้โปรแกรม PVsyst® จะได้ผลลัพธ์ตามตารางที่ 4 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4 ผลลัพธ์การจำลองระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานน้ำ

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ Jinko Solar	630 W
อินเวอร์เตอร์ Huawei SUN2000-100KTL-M2	100 kW
Nominal PV Power	113 kWp
Nominal AC Power	100.0 kWAC
จำนวนแผงทั้งหมด	180 แผง
จำนวนสตริง	10 แผง
จำนวนแผงที่ต่ออนุกรม	18 แผง
จำนวน Inverter	1 เครื่อง
Performance Ratio	0.887
การผลิตพลังงานของระบบ	180.52 MWh/year

จากผลลัพธ์ในตารางที่ 4 แสดงถึงประสิทธิภาพของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ โดยพลังงานที่ผลิตได้จากพลังงานแสงอาทิตย์ใน 1 ปี เมื่อนำมาคิดเป็นค่าพลังงานเฉลี่ยรายวันจะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้วันละ 494.57 kWh ซึ่งสามารถรองรับพลังงานที่จำเป็นต่อระบบสูบน้ำต่อวันที่กล่าวมาข้างต้น



รูปที่ 5 การผลิตพลังงานไฟฟ้ารายวันเฉลี่ยต่อกำลังไฟฟ้าที่ติดตั้ง สำหรับแต่ละเดือน

โดยรูปที่ 5 จะเป็นการแสดงผลจากโปรแกรม PVsyst® ซึ่งการผลิตพลังงานไฟฟ้ารายวันเฉลี่ยต่อกำลังไฟฟ้าที่ติดตั้ง (kWh/kWp/day)

สำหรับแต่ละเดือนแสดงค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้แบบปรับเทียบต่อกำลังติดตั้ง 1 กิโลวัตต์พิก (kWh/kWp/day) ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 113 kWp ตลอดทั้งปี โดยแบ่งผลการผลิตออกเป็นสามส่วน การสูญเสียด้านการเก็บพลังงาน (Collection Loss: Lc) ซึ่งเกิดจากอุณหภูมิแผงที่สูงขึ้น การสกปรกของพื้นผิว การไม่สมดุลของแผง และการสูญเสียในสายไฟ DC, การสูญเสียของระบบ (System Loss: Ls) ซึ่งรวมถึงการสูญเสียในอินเวอร์เตอร์ หม้อแปลง และระบบไฟฟ้าส่ง AC และพลังงานสุทธิที่ผลิตได้ (Final Yield: Yf) ซึ่งเป็นพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายออกสู่ระบบจำหน่ายจริงพบว่าค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จะสูงสุดในช่วงเดือน กุมภาพันธ์-เมษายน ซึ่งเป็นช่วงที่มีรังสีดวงอาทิตย์สูงและท้องฟ้าแจ่มใส และจะลดต่ำสุดในช่วงเดือน กรกฎาคม-สิงหาคม ซึ่งเป็นฤดูฝนและมีเมฆมาก

3.5 ผลการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

โดยการศึกษาครั้งนี้ได้กำหนดให้ มีตัวแปรที่มีความผันผวนในระยะเวลา 30 ปี โดยพิจารณา อัตราคิดลด (Discount Rate) อยู่ที่ 8% และ จะอัตราเงินเฟ้ออยู่ที่ 3 % ต่อปี เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณค่าความคุ้มค่างานวิจัยนี้จะไม่คำนึงถึงค่าบำรุงรักษาอุปกรณ์ต่างๆ เช่น อินเวอร์เตอร์, แผงโซลาร์เซลล์ เป็นต้น โดยผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าโครงการมีความคุ้มค่าในการลงทุน โดยมี NPV เป็นบวก, IRR สูงกว่าอัตราคิดลดและระยะเวลาคืนทุนอยู่ในช่วงที่เหมาะสม ซึ่งสะท้อนถึงผลตอบแทนที่มั่นคงในระยะยาว โดยรายละเอียดผลลัพธ์การวิเคราะห์ทางการเงินแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์

เงินลงทุนทั้งหมด	6,652,904.18 บาท
อายุโครงการ	30 ปี
ผลประโยชน์ทางไฟฟ้าของทั้ง 2 ระบบตลอดอายุของโครงการ	41,130,558.35 บาท
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)	40,151,759.61 บาท
อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR)	14.20%
ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)	7 ปี 4 เดือน

ในการศึกษาสนใจที่การประเมินความคุ้มค่าและความเหมาะสมในทางเศรษฐศาสตร์ โครงการงานวิจัยนี้ได้ทำการคำนวณตัวชี้วัด 3 ค่า ได้แก่ NPV, IRR และระยะเวลาคืนทุน ซึ่งจากผลลัพธ์ที่ได้กล่าวมาสามารถสรุปได้ว่า โครงการนี้มีความคุ้มค่าและมีความเหมาะสมต่อการดำเนินการในเชิงเศรษฐศาสตร์ โดยยังไม่คำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงหรือปรับปรุงระบบไว้ตลอดอายุโครงการ

4. สรุป

ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการนำระบบ PSH และเทคโนโลยีการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกันในการแก้ไขปัญหาการเข้าถึงแหล่งน้ำในการทำการเกษตรกรรมของชุมชนในพื้นที่ราบสูง โดย

ระบบที่ออกแบบสามารถรองรับการสูบน้ำและผลิตไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดต้นทุนพลังงานและเพิ่มเสถียรภาพของระบบน้ำในชุมชน นอกจากนี้การวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ชี้ว่าโครงการมี NPV เป็นบวก, IRR สูงกว่าอัตราคิดลดและระยะเวลาคืนทุนอยู่ในช่วงที่เหมาะสมซึ่งแสดงถึงความคุ้มค่าในการลงทุน โดยสรุปได้ว่าระบบนี้จะสามารถลดต้นทุนพลังงานและเพิ่มเสถียรภาพระบบน้ำรวมถึงสนับสนุนการใช้พลังงานสะอาดในชุมชนได้อย่างยั่งยืน

5. กิตติกรรมประกาศ

บทความงานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ผู้จัดทำขอขอบคุณคุณพรหมงคล ชิดชอบ จากสำนักชลประทานที่ 2 สำหรับข้อมูลด้านวิศวกรรมชลประทานที่เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินงานวิจัย

6. งานในอนาคต

จากผลการวิเคราะห์โครงการในระยะยาว แม้ว่างานวิจัยในครั้งนี้จะมุ่งเน้นการประเมินสมรรถนะและผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ของระบบในช่วงอายุโครงการ แต่สามารถเพิ่มความสมบูรณ์ของการศึกษาได้มากขึ้น หากในอนาคตมีการวิเคราะห์ ความไม่แน่นอนทางภูมิศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับ ทรัพยากรพลังงานน้ำและพลังงานแสงอาทิตย์เป็นอีกหนึ่งผลการศึกษที่สามารถต่อยอดได้ในอนาคต อีกทั้งยังสามารถพิจารณาตัวแปรที่มีความผันผวนในระยะเวลา 30 ปี ดัชนีอื่นๆเพิ่มขึ้นเพื่อความสะดวกของผลการศึกษาได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] E. Utami, H. Suryatomojo, and T. R. Biyanto, "Technical analysis of solar electric water pumping system in Gadon Village, Blora, Central Java," in Proc. International Seminar on Intelligent Technology and Its Applications (ISITIA), Surabaya, Indonesia, 2023, pp. 261-266.
- [2] M. R. J. Legacy, E. Van Wyk, and J. Brinkerhoff, "Pumped hydro energy storage: A multi-reservoir continuous supply hydroelectric generation and storage system," in Proc. IEEE Electrical Energy Storage Application and Technologies Conf. (EESAT), San Diego, CA, USA, 2024, pp. 1-4.
- [3] S. M. Abdalla, S. M. Saad, N. E. Nailly, and O. A. Bukra, "Seawater pumped hydro energy storage in Libya Part I: Location, design and calculations," in Proc. IEEE 1st International Maghreb Meeting of the Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (MI-STA), Tripoli, Libya, 2021, pp. 181-186. National Hydroinformatics Data Center. "Thai rainfall data at Mae Suad Subdistrict, Sop Moei District, Mae Hong Son

- Province." Internet: <https://www.thaiwater.net/weather/rainfall>, Oct. 15, 2024 [Oct. 15, 2024].
- [4] Royal Irrigation Department, "Reference crop evapotranspiration by Penman Monteith," Jun. 2011. [Online]. Available: https://water.rid.go.th/hwm/cropwater/CWRdata/ETo/ETo_PenMon_2554.pdf. [Accessed: Oct. 15, 2024].
- [5] Electrical Installation Standardization Committee of Thailand, Thai Electrical Installation Standard: Rooftop Solar Photovoltaic (PV) Power Generation Systems, B.E. 2565 (2022), 2nd ed., Bangkok: The Engineering Institute of Thailand under H.M. the King's Patronage, 2022.
- [6] F. D. Reyes, A. L. De Ocampo, and M. Eje, "Design of Solar powered Irrigation System based on Penman-Monteith Model," in 2022 International Conference on Smart Generation Computing, Communication and Networking, SMART GENCON 2022
- [7] C. Brouwer and M. Heibloem, "Irrigation Water Management: Training manual no.3," in *Irrigation water needs*, 1986.
- [8] D. Soobrayen, I. Jahmeerbacus, and P. Caremben, "Comparative study of throttling and variable speed drive operation of parallel pumps for cooling stations in sugar production," in ELECOM 2022 - Proceedings of the 2022 4th IEEE International Conference on Emerging Trends in Electrical, Electronic and Communications
- [9] ดร. ไกรพัฒน์ จินาจร. พลังงานหมุนเวียน กรุงเทพฯ: ศ.ส.ท., 2550, pp.97-103.