

การศึกษาความเป็นไปได้ในการติดตั้งระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์
แบบไฮบริด สำหรับอาคารที่พักอาศัย กรณีศึกษา อพาร์ทเมนต์ขนาด 26 ห้อง

**The Feasibility Study of Installing Hybrid Solar PV Systems for Residential
Building: A Case Study of an Apartment with 26 Rooms**

ชาร์ฟ พงษ์วิจารณ์^{1,*} และ สกนธ์ คล่องบุญจิต¹

¹ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม, คณะวิศวกรรมศาสตร์,
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

Charif Pongvijarn^{1,*} and Sakon Klongboonjit¹

¹ Department of Industrial Engineering, School of Engineering,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Ladkrabang, Bangkok, 10520, Thailand

*Corresponding Author E-mail: charif.pj@gmail.com

Received: Feb 20, 2022; Revised: Aug 10, 2022; Accepted: Aug 16, 2022

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้งานระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบไฮบริดสำหรับอพาร์ทเมนต์
แห่งหนึ่ง ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาในส่วนของ การออกแบบทางด้านเทคนิค ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ และ
ผลประโยชน์จากการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบสายส่ง โดยศึกษาอพาร์ทเมนต์ที่ไม่ได้ติดตั้งระบบไฟฟ้าพลังงาน
แสงอาทิตย์กับอพาร์ทเมนต์ที่ติดตั้งระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบไฮบริด ซึ่งระบบที่นำมาใช้งานนั้นสามารถทดแทน
ความต้องการพลังงานไฟฟ้าของอพาร์ทเมนต์ได้ 2,207.40 MWh ตลอดอายุโครงการ ช่วยลดก๊าซเรือนกระจกจากการผลิต
พลังงานไฟฟ้าได้ 1,256.45 tCO₂ eq และจากการวิเคราะห์ผลต่างของมูลค่าปัจจุบันสุทธิโดยใช้วิธีความอ่อนไหวทางด้าน
การเงิน ที่ค่า MARR อยู่ที่ 5.50–7.50% ผลต่างของมูลค่าปัจจุบันสุทธิระหว่างทั้งสองโครงการอยู่ที่ 104,408.09–799,620.76
บาท โดยกรณีที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดคือกรณีที่ MARR เท่ากับ 5.50% ต่อปี มูลค่าปัจจุบันสุทธิอยู่ที่ 12,621,236.64 บาท และ
ระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 21 ปี 4 เดือน จากการประเมินทางการเงินแสดงให้เห็นว่า โครงการอพาร์ทเมนต์ที่มีระบบไฟฟ้า
พลังงานแสงอาทิตย์แบบไฮบริด นั้นมีความเป็นไปได้ในการลงทุน เนื่องจากการลงทุนที่สามารถสร้างผลกำไรตอบแทน
แทนได้ แต่ในด้านการลงทุนจริงผู้ลงทุนอาจเลือกที่จะไม่ลงทุนในระบบไฮบริด เนื่องจากระยะเวลาคืนทุนยังค่อนข้างนาน

คำสำคัญ: การศึกษาความเป็นไปได้, ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบไฮบริด, อพาร์ทเมนต์, การลดก๊าซเรือนกระจก,
การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

Abstract

This research was about the feasibility study on the applications of hybrid solar PV system for an apartment and aimed to study
the parts of the technical design, the economic values, and the benefits of electricity consumption reduction from transmission lines
by examining the apartment without solar PV system and the apartment with hybrid solar PV system, which could replace the
electricity demand of the apartment for 2,207.40 MWh over the cycle of its project life. It could reduce greenhouse gas emissions

from electricity generation by 1,256.45 tCO₂ eq. According to the analysis of the differences in net present value using the financial sensitivity analysis with MARR of 5.50–7.50%, it showed that their differences in net present value between both projects were 104,408.09 to 799,620.76 baht. The case with MARR of 5.50% per year informed the best calculation results with net present value of 12,621,236.64 baht and payback period of 21 years and 4 months. With financial evaluation, it showed that the apartment with hybrid solar PV system was feasible to invest since it could be the profitable investment. In terms of investment, investors might not invest in the hybrid solar PV system due to its long payback period.

Keywords: Feasibility study, Hybrid solar PV system, Apartment, Greenhouse Gas Emission Reduction, Economic Valuation Assessment

1. บทนำ

ในปัจจุบันปัญหาและผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศ อันเนื่องมาจากการกระทำของมนุษย์ที่สร้างก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas, GHG) นั้น ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน ซึ่งจากรายงานความก้าวหน้าราย 2 ปี ฉบับที่ 3 ของประเทศไทย (Third Biennial Update Report) ที่รายงานต่อ UNFCCC เมื่อเดือนธันวาคม พ.ศ. 2563 [1] พบว่า ในปี พ.ศ. 2559 มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากถึง 354.36 MtCO₂ eq

จากรายงานดุลภาพพลังงานของประเทศไทย (Energy Balance of Thailand) ปี พ.ศ. 2563 แสดงให้เห็นว่าสถานการณ์การใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยในภาคพาณิชย์กรรมและพักอาศัย มีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมกันสูงถึง 60 เปอร์เซ็นต์ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งประเทศ [2] โดยทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของอาคารและที่อยู่อาศัยได้นั้น คือ การช่วยกันลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบสายส่ง [3] ด้วยการ ใช้พลังงานหมุนเวียนรูปแบบต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับอาคารและที่อยู่อาศัยในภาคกลางของประเทศไทย เนื่องจากแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย (พ.ศ. 2552) แสดงให้เห็นว่า ประเทศไทยมีศักยภาพด้านพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง พื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดระหว่างเดือนเมษายนและพฤษภาคม โดยมีค่าอยู่ในช่วง 20 ถึง 24 MJ / m² day และ 35.60% ของพื้นที่ทั้งหมดได้รับรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปีอยู่ในช่วง 18–19 MJ / m² day [4]

สำหรับระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้กันทั่วไปในปัจจุบันมีด้วยกันอยู่ 3 ระบบหลัก ๆ ได้แก่

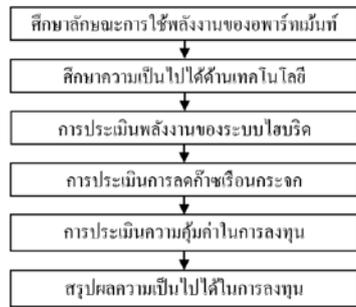
ระบบออนกริด ระบบออฟกริด และระบบไฮบริด ซึ่งสามารถนำมาใช้ประยุกต์ใช้งานได้อย่างแพร่หลาย ทั้งในส่วนของการพักอาศัย โรงงาน หมู่เกาะ และพื้นที่ห่างไกล เป็นต้น [5] งานวิจัยส่วนใหญ่มักจะมุ่งเน้นไปที่การศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ด้านสิ่งแวดล้อม หรือการศึกษาในส่วนของความเป็นไปได้ทางเทคโนโลยี ในการนำเอาระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้งาน [6–11] และสำหรับประเทศไทย ผู้วิจัยส่วนใหญ่จะทำการศึกษาคู่มือค่าในการลงทุนระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในระบบออนกริด สำหรับ อาคารที่พักอาศัย โรงงาน [12–16] และประเมินการลดก๊าซเรือนกระจกจากการใช้ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ [17] ซึ่งยังไม่พบว่ามีการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้งานกับอพาร์ทเมนท์ เนื่องจากลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าของอพาร์ทเมนท์จะเกิดขึ้นในช่วงกลางคืนเป็นหลัก แน่นนอนว่าระบบที่มีความเหมาะสมสำหรับการใช้งานลักษณะนี้ ควรจะเป็นระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบไฮบริด ยิ่งไปกว่านั้นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบไฮบริด [18–20] ยังไม่มีงานใดที่นำระบบไฮบริดมาต่อใช้งานร่วมกับแบตเตอรี่และระบบสายส่ง

อย่างไรก็ดีในอดีตรบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบไฮบริด ยังมีข้อจำกัดทางด้านเทคโนโลยีและต้นทุนของระบบที่สูงมาก ทำให้การลงทุนนั้นไม่เกิดความคุ้มค่า แต่เนื่องจากราคาของแบตเตอรี่ลิเทียมในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาปรับตัวลดลงถึง 89% (พ.ศ. 2563) [21] ทำให้ปัจจุบันการลงทุนในระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบไฮบริด สำหรับอพาร์ทเมนท์เป็นเรื่องที่น่าสนใจมากขึ้นจากข้อมูลข้างต้นจึงมีแนวคิดในการศึกษาความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์ ในการนำระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบไฮบริด มาใช้งาน

กับอาร์ทเมนท์ โดยในงานวิจัยชิ้นนี้ อาร์ทเมนท์ขนาด 26 ห้อง จะถูกใช้เป็นกรณีศึกษา ซึ่งมีจุดประสงค์หลักเพื่อศึกษาความคุ้มค่าในการลงทุนระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบไฮบริด เพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า และลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศ

2. ขั้นตอนการศึกษาความเป็นไปได้

เพื่อทำการศึกษความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์ของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบไฮบริด ในการศึกษาครั้งนี้จะดำเนินการตามขั้นตอนที่แสดงดังรูปที่ 1 และมีรายละเอียดการศึกษาดังนี้



รูปที่ 1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน

2.1 ศึกษาลักษณะการใช้พลังงานของอาร์ทเมนท์

ในขั้นแรก จะทำการศึกษาข้อมูลลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาร์ทเมนท์ โดยใช้ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าย้อนหลังรายเดือนตั้งแต่เดือน ม.ค. 62-ม.ค. 64 ในการตรวจสอบพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าและพยากรณ์ลักษณะการใช้พลังงานในระดับรายชั่วโมงตลอดทั้งปี เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการออกแบบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบไฮบริด ที่เหมาะสมต่อการใช้งานสำหรับอาร์ทเมนท์ในกรณีศึกษาต่อไป

2.2 ศึกษาความเป็นไปได้ด้านเทคโนโลยี [22-26]

ในขั้นตอนนี้จะทำการศึกษาความเป็นไปได้ด้านเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ การเชื่อมต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตพลังงาน แบตเตอรี่ และระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบไฮบริด โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.2.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ [22]

ในปัจจุบันมีแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้อยู่ 3 ชนิดด้วย

กัน ได้แก่ แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์ แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโพลีคริสตัลไลน์ และ แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบาง เพื่อให้สามารถเลือกใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมต่อการใช้งาน จำเป็นต้องทราบถึงคุณลักษณะของแผงแต่ละชนิดก่อน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์ หรือแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอนผลึกเดี่ยว โดยทั่วไปแล้วแผงชนิดนี้มีประสิทธิภาพการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าได้สูงถึง 15-20% แต่มีราคาสูงที่สุดและประสิทธิภาพลดลงมากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

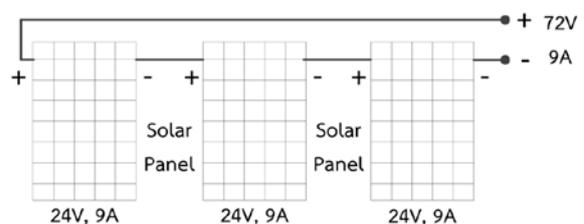
2. แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโพลีคริสตัลไลน์ ทำจากซิลิคอน แต่ชนิดของซิลิคอนที่ใช้ในบรูสิว น้อยกว่าแบบโมโนคริสตัลไลน์เล็กน้อย ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ที่ 13-16% แต่มีราคาต่ำกว่าแผงแบบโมโนคริสตัลไลน์ และในทางเทคนิคแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโพลีคริสตัลไลน์ทำงานได้ดีกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์ในอุณหภูมิสูง

3. แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบาง กระบวนการผลิตฟิล์มบางเป็นเทคโนโลยีที่ค่อนข้างใหม่ และไม่ค่อยได้รับความนิยม มีประสิทธิภาพ อยู่ที่ 8-10% เท่านั้นซึ่งหมายความว่าแผงชนิดนี้จะมีความหนาเป็นสองเท่าและน้ำหนักมากกว่าแผงชนิดอื่น

2.2.2 การเชื่อมต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ [22]

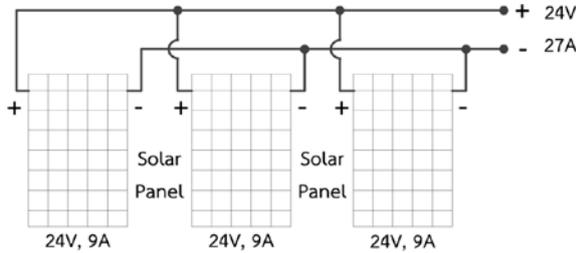
สำหรับวิธีการเชื่อมต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อสร้างอาร์เรย์ สำหรับการรวบรวมพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้า จำเป็นที่จะต้องทราบถึงวิธีการเชื่อมต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์เสียก่อน ซึ่งปัจจุบันสามารถทำได้ 3 วิธีดังนี้

1. การต่อแบบอนุกรม เพื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าขาออกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ได้ตามที่ต้องการ ซึ่งลักษณะการเชื่อมแบบอนุกรม แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การต่อเซลล์แสงอาทิตย์แบบอนุกรม

2. การต่อการต่อแบบขนาน เพื่อเพิ่มกระแสไฟฟ้าขาออกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ได้ตามที่ต้องการ ซึ่งลักษณะการเชื่อมแบบขนาน แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การต่อเซลล์แสงอาทิตย์แบบขนาน

3. การต่อแบบผสม ซึ่งจะเป็นการนำเอาการต่อแบบอนุกรมและแบบขนานมารวมกัน ในอาเรย์เดียวกัน เพื่อเพิ่มแรงดันและกระแสไฟฟ้าขาออกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้ได้ตามที่ต้องการ

2.2.3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ [22–24]

เพื่อที่จะได้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จึงจำเป็นต้องทราบถึงปัจจัยหลัก ๆ ทั้ง 6 ปัจจัยที่ส่งผลถึงประสิทธิภาพการทำงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เสียก่อน โดยแต่ละปัจจัยมีรายละเอียดดังนี้

1. ทิศทางและมุมเงย ในการติดตั้งแผงจะต้องคำนวณตามลักษณะพื้นที่ติดตั้งจริงว่าแผงควรจะติดตั้งให้มีความชันและความลาดเอียงจากพื้นท้องฟ้าและหันหน้าไปในทิศทางใด ซึ่งการยึดและติดตั้งแผงนั้น มีผลกระทบอย่างมากต่อประสิทธิภาพโดยรวมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยสามารถดูรายละเอียดการคำนวณได้จาก [23] หน้าที่ 65–79

2. ความเข้มแสงอาทิตย์ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์จะเป็นสัดส่วน โดยตรงกับความเข้มของแสงหมายความว่า เมื่อความเข้มแสงสูงขึ้นกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะสูงขึ้นตาม ซึ่งความเข้มของแสงที่ใช้วัดเป็นมาตรฐาน คือความเข้มของแสงที่วัดบนพื้นโลกในสภาพอากาศปลอดโปร่ง และวัดที่ระดับน้ำทะเลในสภาพที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลก

3. อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น โดยทุก ๆ 1°C ที่เพิ่มขึ้นจากค่าอุณหภูมิ STC (Standard test condition) แรงดันไฟฟ้าจะลดลง ซึ่งส่งผลให้กำลังไฟฟ้า

สูงสุดลดลงด้วย ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปของแผงโซลาร์เซลล์ และค่าประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากผลกระทบของอุณหภูมิ ได้ดังสมการที่ (1) และสมการที่ (2)

$$T_{cell} = T_{air} + \frac{NOCT-20}{800W/m^2} \times G \quad (1)$$

$$f_{temp} = [1 + (\eta \times (T_{cell} - T_{stc}))] \quad (2)$$

โดยที่

- T_{cell} คืออุณหภูมิแผงโซลาร์เซลล์ (°C)
- T_{air} คือ อุณหภูมิอากาศในพื้นที่ (°C)
- $NOCT$ คือ อุณหภูมิทำงานแผงโซลาร์เซลล์ที่ NOCT (°C)
- G คือ ค่าความเข้มแสง (W/m²)
- f_{temp} คือ ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จากผลกระทบของอุณหภูมิ
- η คือ สัมประสิทธิ์อุณหภูมิของกำลังไฟฟ้าสูงสุด (%/°C) สัญลักษณ์ซ้ำกัน
- T_{stc} คือ อุณหภูมิแผงโซลาร์เซลล์ในสภาวะ (STC) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 25 °C

4. เงาบังแสง นอกเหนือจากการติดตั้งแผงที่เหมาะสมแล้ว เงาที่บังแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพียงบางส่วนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ก็ส่งผลต่อประสิทธิภาพโดยรวมของทั้งระบบด้วยเช่นกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ต้องวางระบบอนุกรมเมื่อมีเงาบังแผงเซลล์แสงอาทิตย์แม้เพียงแค่หนึ่งแผงก็อาจจะทำให้กระแสไฟฟ้าในระบบหยุดไหลได้

5. ผลกระทบของฝุ่นที่ตกสะสมบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยปริมาณฝุ่นที่มากขึ้นส่งผลให้การส่องผ่านของแสงลดลง ซึ่งจากการศึกษาวิจัยที่ศึกษาผลกระทบของฝุ่นบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่า ที่ปริมาณฝุ่นตกสะสมเฉลี่ย 426 mg/m²/day สะสมเป็นระยะเวลา 60 วัน นั้นส่งผลให้การส่องผ่านแสงลดลง 11.15% ซึ่งฝุ่นที่ตกสะสมอยู่บนแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์ แบบโพลีคริสตัลไลน์ และแบบฟิล์มบาง ที่ 11.15% นั้นส่งผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่สามารถผลิตได้นั้นลดลง 5.79%, 6.03% และ 7.28% ตามลำดับ

6. ผลของอายุการใช้งาน โดยปกติประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะค่อย ๆ ลดลงตามอายุการใช้งาน โดยทั่วไปผู้ผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์มักเสนอการรับประกันที่การจ่ายพลังงานจะสูงกว่า 80% ในปีที่ 25

2.2.4 แบตเตอรี่ [22],[25]

ปกติแล้วระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะทำการผลิตกระแสไฟฟ้าในช่วงเวลากลางวัน แต่เมื่อต้องการพลังงานไฟฟ้าในช่วงกลางคืนจำเป็นต้องใช้แบตเตอรี่เพื่อช่วยในการเก็บพลังงาน ด้วยเทคโนโลยีในปัจจุบัน พบว่าแบตเตอรี่ที่เหมาะสมสำหรับใช้กับระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มี 2 ชนิดหลัก ๆ ดังนี้

1. แบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟต เป็นแบตเตอรี่ที่ได้รับความนิยมแต่มีราคาสูงกว่าแบตเตอรี่ตะกั่วกรด มักพบใน รถยนต์ไฟฟ้า อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า ระบบโซลาร์เซลล์ เนื่องจาก เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ให้ความปลอดภัยสูง ใช้งานได้ยาวนานมากด้วยเหตุนี้ต้นทุนตลอดอายุการใช้งานจึงค่อนข้างต่ำ สามารถรองรับการคายประจุสูงสุดได้ถึง 90 % ประสิทธิภาพการใช้พลังงานอยู่ที่ 99% ทำให้มีความเหมาะสมในการใช้งานกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์

2. แบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบดีพีไซเคิล เป็นแบตเตอรี่ที่มีความสามารถในการจ่ายพลังงานได้มากกว่าแบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบธรรมดา โดยอยู่ที่ 45-75% อายุการใช้งานต่ำกว่าแบตเตอรี่ลิเทียม ราคาถูก น้ำหนักมาก มักจะใช้ระบบพลังงานแสงอาทิตย์หรือพลังงานทางเลือกอื่น ๆ

2.2.5 ระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบไฮบริด [26]

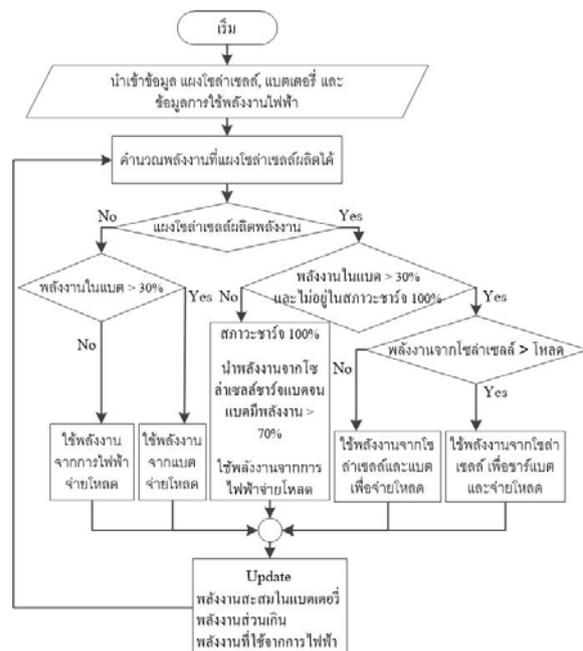
1. ลักษณะการทำงานในช่วงกลางวัน ในกรณีที่มีแสงอาทิตย์เพียงพอในการนำไปใช้งาน หากพลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่นั้นไม่เพียงพอที่จะจ่ายให้กับโหลด พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะถูกนำไปชาร์จให้กับแบตเตอรี่และจ่ายโหลดไปพร้อมกัน แต่ถ้าหากมีแสงอาทิตย์ไม่เพียงพอ และพลังงานจากแบตเตอรี่ก็ยังไม่พร้อมใช้งาน ระบบก็จะทำการดึงพลังงานไฟฟ้าจากระบบสายส่งมาจ่ายเพิ่มเติม

2. ลักษณะการทำงานในช่วงกลางคืน ระบบโซลาร์เซลล์ จะไม่สามารถทำการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ ระบบไฮบริดจะนำเอากระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่มาใช้ก่อน หากยังไม่

เพียงพอระบบก็จะทำการดึงพลังงานไฟฟ้าจากระบบสายส่งมาจ่ายเพิ่มเติม

2.3 การประเมินพลังงานของระบบไฮบริด

เนื่องจากระบบที่ใช้เป็นระบบไฮบริด การประเมินพลังงานที่มีความแม่นยำจึงทำได้ยากเนื่องจากระบบไฮบริดนั้นมีสภาวะการทำงานที่หลากหลาย ผู้วิจัยจึงได้ทำการพัฒนาระบบการประเมินพลังงานผ่านโปรแกรม Microsoft Excel 2019 ขึ้น ซึ่งใช้หลักการคำนวณ ตามสภาวะการใช้งานจริงรายชั่วโมง โดยเริ่มต้นจากการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานของอาร์ทเม้นท์แบบรายเดือนและแบบรายชั่วโมง หลังจากนั้นทำการหาดัชนีฤดูกาล (Seasonal Index) โดยใช้ตัวหารจากเดือนที่เก็บข้อมูลการใช้พลังงานรายชั่วโมง เพื่อประมาณการใช้พลังงานรายชั่วโมงตลอดทั้งปี หลังจากนั้นจึงนำผลลัพธ์ที่ได้ไปคำนวณในโปรแกรมที่ทางผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้น โดยมีลำดับขั้นตอนการทำงานแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมจำลองสภาวะการทำงานของระบบไฮบริด

2.4 การประเมินการลดก๊าซเรือนกระจก [20],[27]

การลดก๊าซเรือนกระจกสามารถคำนวณได้จากผลต่างของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกรณีฐานเทียบกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการ (ใช้สมการ

เดียวกัน) โดยจะคิดเป็นรายปี ตลอดอายุโครงการ ดังแสดงในสมการที่ (3) และสมการที่ (4)

$$GHG_{Reduction,y} = GHG_{Base,y} - GHG_{SMG,y} \quad (3)$$

$$GHG_{Base,y} = Electric_{SMG,y} \times EF_{Grid} \quad (4)$$

โดยที่

$GHG_{Reduction,y}$ คือ ก๊าซเรือนกระจกที่ลดได้จากการดำเนินการในปีที่พิจารณา (tCO_2eq)

$GHG_{Base,y}$ คือ ก๊าซเรือนกระจกในกรณีฐานที่ไม่ได้มีการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในปีที่พิจารณา (tCO_2eq)

$GHG_{SMG,y}$ คือ ก๊าซเรือนกระจกที่มีการปล่อยจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ในปีที่พิจารณา (tCO_2eq)

$Electric_{SMG,y}$ คือ ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ในปีที่พิจารณา (MWh)

EF_{Grid} คือ ค่าแฟกเตอร์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก มีค่าเท่ากับ $0.5692 tCO_2eq / MWh$

2.5 การประเมินความคุ้มค่าในการลงทุน [28]

ในการประเมินความคุ้มค่าในการลงทุน เพื่อให้การตัดสินใจลงทุนมีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องอาศัยเครื่องมือทางการเงินเข้ามาช่วย ในการศึกษาครั้งนี้ จะใช้เครื่องมือทางการเงิน 3 อย่าง ได้แก่ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อัตราผลตอบแทนภายใน(IRR) ระยะเวลาคืนทุน (PB) และพิจารณาที่อัตราผลตอบแทนการลงทุนขั้นต่ำที่ยอมรับได้ (MARR) โดยมีเกณฑ์ในการวิเคราะห์ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เกณฑ์ในการตัดสินใจในการลงทุน

การลงทุน	NPV	IRR	PB
คุ้มค่า	> 0	> MARR	< Life Time
ไม่คุ้มค่า	< 0	< MARR	> Life Time
ไม่มีความแตกต่าง	= 0	= MARR	= Life Time

3. ผลการดำเนินงาน

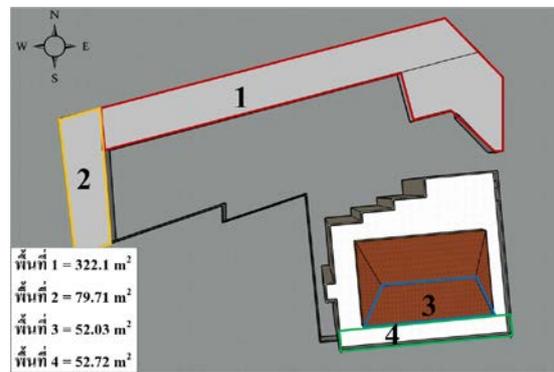
ในการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการสำหรับงานวิจัยชิ้นนี้ ประเมินโครงการออฟท์เม้นท์ที่ระยะเวลา 60 ปี (60 ปีและถือครองต่อไป) และใช้ข้อมูลอายุโครงการพลังงานแสงอาทิตย์ที่ 30 ปี จำนวน 2 รอบ ซึ่งมีข้อมูลที่ต้องนำมาวิเคราะห์ด้วยกัน 3 หัวข้อ ดังนี้

3.1 ผลการศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิค

ในงานวิจัยชิ้นนี้ได้รวบรวมข้อมูลและปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตพลังงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณพลังงานที่สามารถผลิตได้ตลอดระยะเวลาโครงการ โดยแบ่งเป็น 4 หัวข้อ ดังนี้

3.1.1 ข้อมูลด้านเทคนิคของออฟท์เม้นท์กรณีศึกษา

1. ขนาดและทิศทางของพื้นที่ติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์ พื้นที่สำหรับติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ถูกแบ่งเป็น 4 พื้นที่ด้วยข้อจำกัดของออฟท์เม้นท์ 1) หลังคาโรงจอดรถทางทิศเหนือ 2) หลังคาโรงจอดรถทิศตะวันตก 3) หลังคากระเบื้องบนตัวอาคาร และ 4) พื้นปูนซีเมนต์บนตัวอาคาร แสดงดังรูปที่ 5

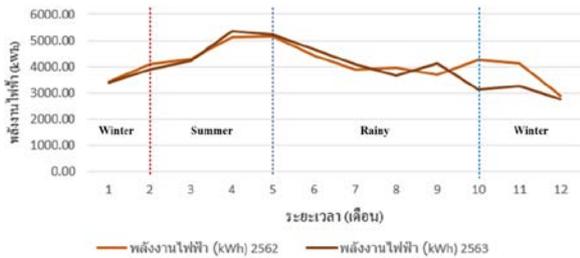


รูปที่ 5 พื้นที่สำหรับติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

จากรูปที่ 5 ขนาดของพื้นที่ที่ 1 = $322.10 m^2$ หลังคาหันไปทางทิศเหนือทำมุม 7 องศา, ขนาดของพื้นที่ที่ 2 = $79.71 m^2$ หลังคาหันไปทางทิศตะวันตกทำมุม 1.5 องศา, ขนาดของพื้นที่ที่ 3 = $52.03 m^2$ หลังคาหันไปทางทิศใต้ทำมุม 26 องศา, ขนาดของพื้นที่ที่ 4 = $52.72 m^2$ ดังนั้นพื้นที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์รวมของออฟท์เม้นท์กรณีศึกษาจึงมีขนาดเท่ากับ $506.56 m^2$ และสำหรับข้อมูลโครงสร้าง

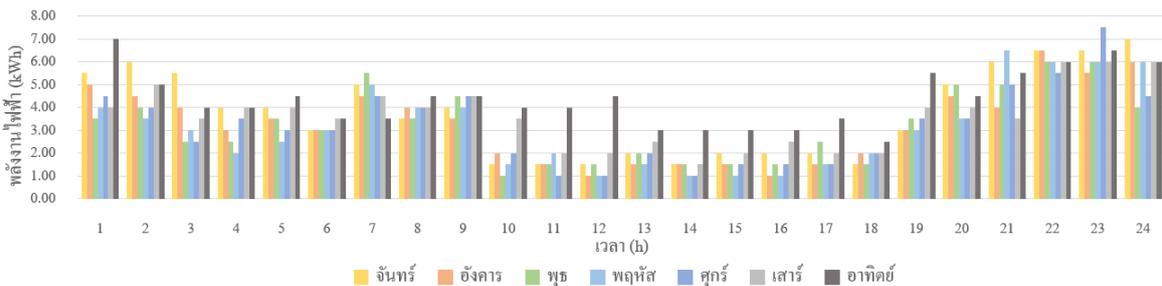
รองรับน้ำหนัก สามารถดูรายละเอียดได้จาก [29] ในที่นี้ไม่ได้แสดงรายละเอียดการคำนวณไว้

2. ลักษณะการใช้พลังงานของอพาร์ทเมนต์กรณีศึกษา การใช้พลังงานรายเดือนของอพาร์ทเมนต์นั้นมีลักษณะเพิ่มขึ้นและลดลงตามแต่ละช่วงเวลาของปี แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 การใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือนของอพาร์ทเมนต์

จากรูปที่ 6 จะเห็นได้ว่าลักษณะการใช้พลังงานของอพาร์ทเมนต์ในช่วงฤดูร้อน (เดือน ก.พ.-พ.ค.) เป็นช่วงที่



รูปที่ 7 การใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยรายชั่วโมงต่อหนึ่งสัปดาห์ของอพาร์ทเมนต์

จากรูปที่ 7 เนื่องจากกลุ่มผู้เช่าพักส่วนใหญ่เป็นกลุ่มคนทำงาน จึงทำให้ช่วงวันจันทร์-เสาร์ มีลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงกลางวันที่ค่อนข้างต่ำ และวันอาทิตย์ (สัปดาห์เต็ม) มีลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ค่อนข้างสูงตลอดทั้งวัน

ข้อมูลในรูปที่ 6-7 เป็นข้อมูลการใช้พลังงานของ อพาร์ทเมนต์แบบรายเดือนและแบบรายชั่วโมง ซึ่งข้อมูลทั้งสองส่วน จะถูกใช้ในการคำนวณหาดัชนีฤดูกาล โดยใช้ตัวหารจากเดือนที่เก็บข้อมูลการใช้พลังงานรายชั่วโมง (ม.ค. 2564) เพื่อประมาณการปริมาณการใช้พลังงานรายชั่วโมงตลอดทั้งปี ซึ่งข้อมูลการใช้พลังงานนี้จะถูกนำไปจำลองในโปรแกรมที่ทางผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้น และข้อมูลในรูปที่ 5-7 ยังถูกใช้เป็น

ใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดในรอบปีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือนอยู่ในช่วง 4,209.00-5,357.00 kWh ช่วงฤดูฝน (เดือน พ.ค.-ค.ค.) ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือนอยู่ในช่วง 3,128.00-4,648.00 kWh และช่วงฤดูหนาว (เดือน ค.ค.-ก.พ.) เป็นช่วงที่ใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำสุดในรอบปี ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือนอยู่ในช่วง 2,768.00-4,109.00 kWh จากการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานของอพาร์ทเมนต์พบว่า ลักษณะการใช้พลังงานมีการเพิ่มขึ้นและลดลงตามแต่ละช่วงเวลาของปี ซึ่งปัจจัยหลักก็คือ อุณหภูมิแวดล้อมและสภาพอากาศ

อีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อลักษณะการใช้พลังงานของอพาร์ทเมนต์คือ ช่วงเวลาที่ผู้เช่านั้นพักอาศัยอยู่ที่อพาร์ทเมนต์ ซึ่งลักษณะการใช้พลังงานรายชั่วโมงในแต่ละวัน แสดงดังรูปที่ 7

ฐานข้อมูลสำหรับการออกแบบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบ ไฮบริด ที่มีความเหมาะสมทั้งในด้านข้อจำกัดของพื้นที่ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่สามารถลดลงได้ และด้านการเงิน สำหรับอพาร์ทเมนต์กรณีศึกษา

3.1.2 ข้อมูลของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

จากการวิเคราะห์ด้านเทคนิคของอพาร์ทเมนต์ ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีขนาดการติดตั้งและกำลังการผลิตที่เหมาะสม และได้มีการวิเคราะห์เพื่อเลือกอุปกรณ์ในระบบจากเกณฑ์ที่กำหนดไว้ (ราคา, ประสิทธิภาพ, การรับประกัน, เสี่ยงรบกวน และน้ำหนัก) ซึ่งผลสรุปข้อมูลอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ แสดงดังตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2 ข้อมูลทั่วไปของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการออกแบบ

ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์	กำลังไฟฟ้าสูงสุด	แรงดันไฟฟ้าที่ กำลังไฟฟ้าสูงสุด	กระแสไฟฟ้าที่ กำลังไฟฟ้าสูงสุด	แรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร	กระแสไฟฟ้าลัดวงจร
Polycrystalline	330 W	37.50 V	8.80 A	46.8 V	9.16 A

ตารางที่ 3 ข้อมูลทั่วไปของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

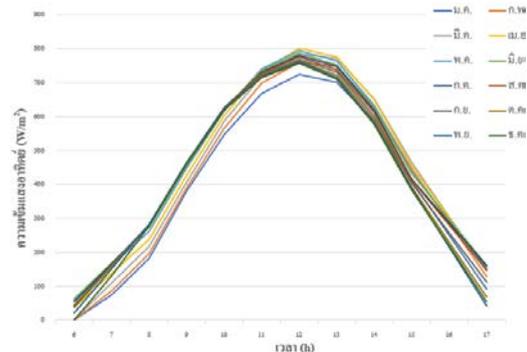
	ชนิด	ขนาด	จำนวน	ขนาดรวม	ราคารวม (บาท)
แผงเซลล์แสงอาทิตย์	polycrystalline	330 W	112 แผง	36.96 kW	329,560.00
อินเวอร์เตอร์	Hybrid/Off grid	30 kW	1 เครื่อง	30.00 kW	237,147.89
แบตเตอรี่ 48V 100Ah	LiFePO4	4.80 kWh	32 ลูก	153.60 kWh	1,103,785.79
ค่าแรง ค่าวัสดุอุปกรณ์ และ อื่น ๆ	-	-	-	-	848,890.96

จากตารางที่ 2 และ 3 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการออกแบบนั้นเป็นแผง โพลีคริสตัลไลน์ที่ผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุด 330 W ขนาดแผงละ 1.94 m² จำนวน 112 แผง ดังนั้นขนาดพื้นที่สำหรับการติดตั้งแผงรวมจะต้องมีขนาดไม่น้อยกว่า 217.28 m² อพาร์ทเมนท์ที่มีพื้นที่สำหรับติดตั้งอยู่ที่ 506.56 m² ซึ่งมีความเพียงพอในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์

3.1.3 วิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการผลิตพลังงานของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ [24],[30–32]

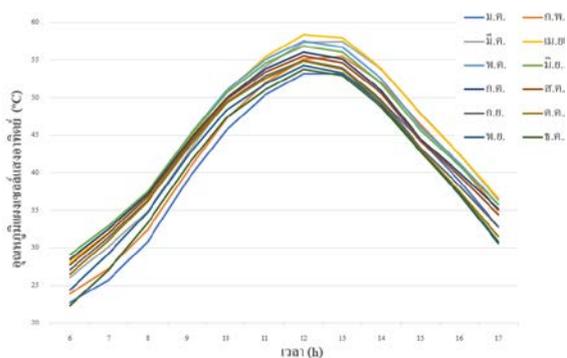
1. ประสิทธิภาพจากมุมเงยและทิศทางในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์จำนวน 112 แผง ถูกแบ่งเป็น 3 ชุดการติดตั้ง ซึ่งแบ่งตามมุมเงยและทิศทางของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชุดที่ 1 จำนวน 60 แผง มุมเงย 6 องศา ประสิทธิภาพจากมุมเงยอยู่ที่ 99.51% ทิศทางทำมุม 165.10 องศา กับมุมอะซิมุต ชุดที่ 2 จำนวน 36 แผง มุมเงย 15 องศา ประสิทธิภาพจากมุมเงยอยู่ที่ 100% ทิศทางทำมุม 174.80 องศา กับมุมอะซิมุต และชุดที่ 3 จำนวน 16 แผง มุมเงย 26 องศา ประสิทธิภาพจากมุมเงยจะอยู่ที่ 98.75% ทิศทางทำมุม 174.80 องศา กับมุมอะซิมุต ซึ่งที่มุมอะซิมุต 165.10 องศา ประสิทธิภาพจากทิศทางอยู่ที่ 99.98% และมุม อะซิมุต 174.80 องศา ประสิทธิภาพจากทิศทางอยู่ที่ 100%

2. ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ ที่ใช้ในการประเมินพลังงานสำหรับ โปรแกรมที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นนั้นจะใช้ข้อมูลค่าความเข้มแสงเฉลี่ยรายชั่วโมง แสดงดังรูปที่ 8



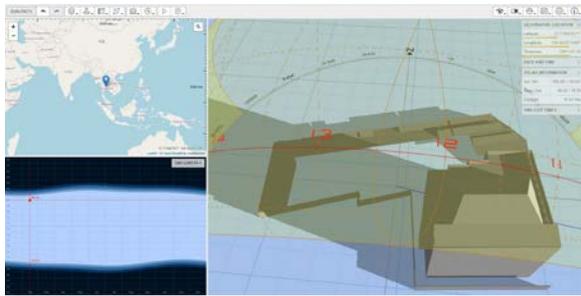
รูปที่ 8 ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยรายชั่วโมงในแต่ละเดือนของ กทม. เขตประเวศ

3. อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ประสิทธิภาพการผลิตพลังงานจะลดลง 0.40%/°C เมื่ออุณหภูมิแผงเกิน 25°C (ข้อมูลจากผู้ผลิต) โดยในการประเมินพลังงานสำหรับโปรแกรมที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นนั้นจะใช้ข้อมูลอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ยรายชั่วโมง แสดงดัง รูปที่ 9



รูปที่ 9 อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ยรายชั่วโมงในแต่ละเดือนของ กทม. เขตประเวศ

4. เงามดบังแสง ตัวอย่างการจำลองสถานการณ์การเกิดเงามดบังแสงจากโมเดลของพื้นที่ติดตั้ง แสดงดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 ตัวอย่างภาพเงามดบังแสงอาทิตย์ จากการจำลองสถานการณ์ในซอฟต์แวร์ออนไลน์ 3D Sun-Path

พื้นที่ที่ติดตั้งนั้นเกิดเงามดบังแสงบางส่วนบริเวณพื้นที่ติดตั้งที่ 1 และ 2 ในช่วงเดือน 1 และ 12 เวลา 6.00–9.00น. ในช่วงเดือน ก.พ.–ม.ย. เวลา 6.00–8.00น. และในช่วงเดือน ก.ย.–พ.ย. เวลา 6.00–8.00น.

5. ผลกระทบของฝุ่นที่ตกสะสมบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดโพลีคริสตัลไลน์ ทางผู้วิจัยได้กำหนดให้มีการทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทุก ๆ 4 เดือน และใช้ค่าการลดทอนประสิทธิภาพเนื่องจากฝุ่นที่ 6.03% [24]

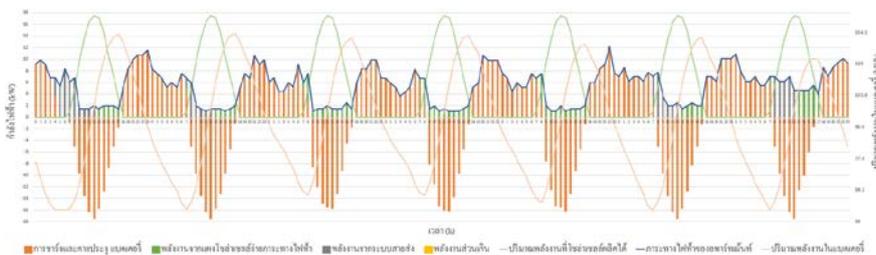
6. ประสิทธิภาพที่ลดลงเนื่องจากอายุการใช้งาน ใช้ฐานข้อมูลจากผู้ผลิต ซึ่งประสิทธิภาพการผลิตพลังงานจะ

ลดลงที่ 0.70% ต่อปี และผู้ผลิตมีการรับประกันการผลิตพลังงาน มากกว่า 80% ในปีที่ 25 (ข้อมูลจากผู้ผลิต)

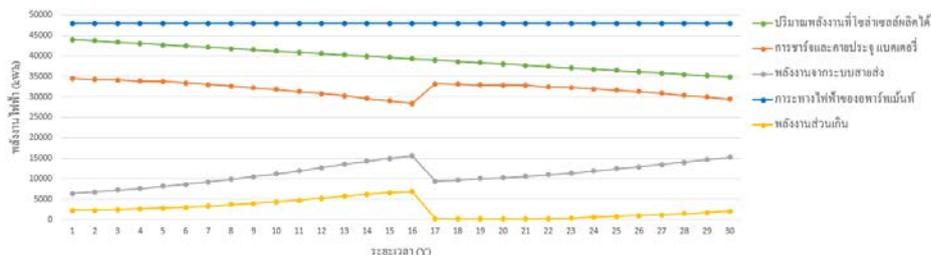
7. ประสิทธิภาพการเก็บประจุของแบตเตอรี่ที่ลดลง เนื่องจากอายุการใช้งาน ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่อยู่ที่ 80% ใช้งานอัตราคายประจุ (Deep of discharge) ที่ 70% และใช้หลักการวิเคราะห์อายุการใช้งานเช่นเดียวกับ Software Homer ด้วยเทคนิคการจำกัดด้วยปริมาณงาน [32] ทำให้ได้ผลสรุปอายุการใช้งานของแบตเตอรี่อยู่ที่ 16 ปี โดยประสิทธิภาพการเก็บประจุลดลงปีละ 1.25% (หมายเหตุ โดยส่วนมากผู้ผลิตได้เสนออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟตมากกว่า 3,500 รอบ ที่อัตราการคายประจุ 70%)

3.1.4 การผลิตพลังงานของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

เนื่องจากสภาวะการทำงานของระบบไฮบริดนั้น มีเงื่อนไขการทำงานที่หลากหลายทั้งในช่วงกลางวันและกลางคืน ดังนั้นเพื่อให้ได้ผลสรุปการวิเคราะห์ข้อมูลที่ถูกต้อง ข้อมูลทางด้านเทคนิคของอินเวอร์เตอร์ และปัจจัยที่ส่งผลต่อการผลิตพลังงานของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ จึงถูกนำมาใช้ในการจำลองลักษณะการใช้พลังงานและประเมินกำลังการผลิตพลังงาน ซึ่งตัวอย่างผลการจำลองการผลิตพลังงานรายชั่วโมง ในโปรแกรมที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้น แสดงดังรูปที่ 11–12



รูปที่ 11 ตัวอย่างการจำลองการผลิตพลังงานรายชั่วโมง ในเดือนที่ 2 เป็นเวลา 1 สัปดาห์ ของระบบไฮบริด



รูปที่ 12 การจำลองการผลิตพลังงานไฟฟ้ารายปี ตลอดอายุโครงการของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

จากรูปที่ 11 ตัวอย่างการจำลองนั้นถูกกำหนดให้มีสภาวะการทำงานของระบบเหมือนกับหลักการทำงานของระบบไฮบริด จากข้อมูลจะเห็นได้ว่าเมื่อมีแสงอาทิตย์ (กราฟสีเขียว) พลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกจ่ายให้กับ โหลด (กราฟสีน้ำเงิน) ส่วนที่เหลือจะถูกชาร์จให้แบตเตอรี่ (กราฟสีแดง) และถ้าพลังงานของแผงเซลล์แสงอาทิตย์หรือแบตเตอรี่ไม่พร้อมใช้งาน ระบบจะดึงพลังงานจากระบบสายส่งมาจ่ายให้กับโหลดแทน (กราฟสีเทา) ซึ่งข้อมูลการผลิตพลังงานนี้จะถูกนำไปสรุปผลเป็นข้อมูลรายปี แสดงดังรูปที่ 12

จากรูปที่ 12 พลังงานที่ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ตลอดอายุโครงการอพาร์ทเมนต์ อยู่ที่ 2,366.90 MWh พลังงานที่ใช้จ่ายจากระบบสายส่งตลอดอายุโครงการ อยู่ที่ 671.32 MWh พลังงานส่วนเกินตลอดอายุโครงการ อยู่ที่ 159.50 MWh และภาระทางไฟฟ้าของอพาร์ทเมนต์ตลอดอายุโครงการ อยู่ที่ 2,878.73 MWh ดังนั้นจึงสามารถทดแทนความต้องการพลังงานไฟฟ้าได้ 2,207.40 MWh หรือคิดเป็น 76.68% ของพลังงานที่อพาร์ทเมนต์ต้องการตลอดอายุโครงการ

3.2 ผลการประเมินการลดก๊าซเรือนกระจก

จากข้อมูลการผลิตพลังงานไฟฟ้า การทดแทนพลังงานไฟฟ้าจากระบบสายส่งของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ตลอดอายุโครงการอพาร์ทเมนต์อยู่ที่ 2,207.40 MWh การปล่อยก๊าซเรือนกระจกในกรณีฐาน อยู่ที่ 1256.45 tCO₂ eq ซึ่งจะไม่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการดำเนินโครงการ ดังนั้นจึงสามารถลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 1256.45 tCO₂ eq และเนื่องจากประเทศไทยมีส่วนการใช้ก๊าซธรรมชาติในการผลิตพลังงานไฟฟ้าสูงที่สุด จึงเทียบเท่าการลดการใช้ก๊าซธรรมชาติในการผลิตพลังงานไฟฟ้าถึง 22.68 MMscf

3.3 ผลการประเมินความคุ้มค่าในการลงทุน

ในส่วนของการพิจารณาความคุ้มค่าในการลงทุนนั้นจะใช้การเปรียบเทียบระหว่างการลงทุนอพาร์ทเมนต์กับอพาร์ทเมนต์ที่มีระบบโซล่าเซลล์ โดยใช้การวิเคราะห์ความอ่อนไหวทางด้านการเงิน และใช้ผลต่างของมูลค่าปัจจุบันสุทธิในการเปรียบเทียบ MARR อยู่ในช่วง 5.50–7.50% (อัตราดอกเบี้ยเงินให้สินเชื่อประเภท MRR ของธนาคารกสิกรไทย โดยปี 2564 มีค่าอยู่ที่ 5.97% ปี 2563 มีค่าอยู่ระหว่าง 5.97–

6.62% และปี 2562 มีค่าอยู่ระหว่าง 6.87–7.12%), อายุโครงการโซล่าเซลล์อยู่ที่ 30 ปี (ข้อมูลจากผู้ผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ 25ปี ประสิทธิภาพคงเหลือ 80%), ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยชนิดละ 4.56 บาท (ข้อมูลจากอพาร์ทเมนต์ในเดือน ม.ค. 62–ม.ค. 64) และอายุโครงการอพาร์ทเมนต์ อยู่ที่ 60 ปี และถือครองต่อไป

3.3.1 ข้อมูลด้านการเงินของอพาร์ทเมนต์ และอพาร์ทเมนต์ที่มีระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ในส่วนของการประเมินความคุ้มค่าในการลงทุนนั้นจำเป็นต้องมีการศึกษาและเก็บข้อมูลด้านการเงิน ซึ่งข้อมูลด้านการเงินของอพาร์ทเมนต์และอพาร์ทเมนต์ที่มีระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ แสดงดังตารางที่ 4–5

ตารางที่ 4 ข้อมูลด้านการเงินของอพาร์ทเมนต์

รายการ	ราคา (บาท)
เงินลงทุนอพาร์ทเมนต์เริ่มต้น	15,867,000.00
ค่าเช่า เพิ่มขึ้น 1.95%/ปี	1,357,802.32
รายรับอื่น ๆ /ปี	392,408.94
ค่าไฟฟ้า /ปี	218,565.27
ค่าทาสีทุก 10 ปี	100,000.00
ค่าบำรุงรักษาอื่น ๆ /ปี	490,604.00

ตารางที่ 5 ข้อมูลด้านการเงินของอพาร์ทเมนต์ที่มีระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

รายการ	ราคา (บาท)
เงินลงทุนอพาร์ทเมนต์เริ่มต้น	15,867,000.00
เงินลงทุนระบบโซล่าเซลล์	2,519,384.64
เปลี่ยนอินเวอร์เตอร์ทุก 15 ปี*	237,147.89
เปลี่ยนแบตเตอรี่ทุก 16 ปี	1,103,785.79
ค่าล้างทำความสะอาดแผง /ปี	6,000.00
ค่าเช่า เพิ่มขึ้น 1.95%/ปี	1,357,802.32
รายรับอื่น ๆ /ปี	392,408.94
ค่าไฟฟ้า /ปี	29,190.49–69,510.17
ค่าทาสีทุก 10 ปี	100,000.00
ค่าบำรุงรักษาอื่น ๆ /ปี	490,604.00

* โดยส่วนใหญ่ผู้ผลิตจะเสนอการรับประกันที่ 10-15ปี ข้อมูลจากเอกสารรับประกันของผู้ผลิตแห่งหนึ่ง

จากตารางที่ 5 จะเห็นได้ว่าค่าไฟฟ้าต่อปีนั้นมีค่าอยู่ในช่วง 29,190.49–69,510.17 บาท เนื่องจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์และแบตเตอรี่นั้นมีการเสื่อมสภาพลงทุกปี

3.3.2 ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบทางการเงิน

ในการเปรียบเทียบทางการเงินจะพิจารณาใช้การวิเคราะห์ความอ่อนไหวทางการเงิน และใช้ผลต่างของ

NPV ในการเปรียบเทียบ โดยใช้ค่า MARR ที่อยู่ในช่วง 5.50–7.50 % และเนื่องจากอายุโครงการโซลาร์เซลล์นั้นสั้นกว่าอายุของอพาร์ทเมนต์ ในการวิเคราะห์จึงต้องนำโครงการโซลาร์เซลล์มาคำนวณซ้ำ 2 รอบ ซึ่งข้อสรุปการวิเคราะห์ แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบข้อมูลด้านการเงินของอพาร์ทเมนต์กับอพาร์ทเมนต์ที่มีระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

NPVa	IRRa	PBa	MARR	NPVb- NPVa	PBb	IRRb	NPVb
11,821,615.88	8.76%	21.45	5.50%	799,620.76	21.30	8.68%	12,621,236.64
9,187,086.36	8.76%	23.02	6.00%	591,621.05	22.82	8.68%	9,778,707.41
6,935,267.50	8.76%	24.96	6.50%	409,123.23	24.70	8.68%	7,344,390.73
4,999,152.56	8.76%	27.47	7.00%	247,863.50	27.11	8.68%	5,247,016.06
3,324,789.72	8.76%	30.94	7.50%	104,408.09	31.66	8.68%	3,429,197.81

หมายเหตุ a คือ โครงการอพาร์ทเมนต์, b คือ โครงการอพาร์ทเมนต์ที่มีระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

จากตารางที่ 6 จะเห็นได้ว่าทุกกรณีที่กำลังมาข้างต้นโครงการอพาร์ทเมนต์ที่มีระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์นั้นมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการสูงกว่าโครงการอพาร์ทเมนต์เพียงอย่างเดียว โดยกรณีที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดคือ กรณีที่ MARR เท่ากับ 5.50% ต่อปี โดยที่ NPVb อยู่ที่ 12,621,236.64 บาท และระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 21.30 หรือ 21 ปี 4 เดือน จากการประเมินทางการเงินแสดงให้เห็นว่าโครงการอพาร์ทเมนต์ที่มีระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบไฮบริด นั้นมีความเป็นไปได้ในการลงทุน เพราะสามารถสร้างผลกำไรตอบแทนได้

4. สรุปผลการศึกษาความเป็นไปได้

ในการศึกษาความเป็นไปได้ของงานวิจัยนี้จะเป็นการวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบระหว่างทั้ง 2 โครงการ คือ อพาร์ทเมนต์ที่ไม่ได้ติดตั้งระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์กับอพาร์ทเมนต์ที่ติดตั้งระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบไฮบริด โดยระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่นำมาใช้งานมีขนาดกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ 36.96 kW แบตเตอรี่มีความสามารถในการจัดเก็บพลังงานไฟฟ้าสูงสุดอยู่ที่ 153.60 kWh ซึ่งสามารถทดแทนความต้องการ

พลังงานไฟฟ้าได้ 2,207.40 MWh หรือคิดเป็น 76.68% ของพลังงานที่อพาร์ทเมนต์ต้องการตลอดอายุโครงการ สามารถช่วยลดก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 1256.45 tCO₂eq หรือเทียบเท่ากับการลดก๊าซเรือนกระจกในการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ถึง 22.68 MMscf และจากการวิเคราะห์ผลต่างของมูลค่าปัจจุบันสุทธิโดยใช้วิธีความอ่อนไหวทางการเงิน ที่ค่า MARR อยู่ที่ 5.50, 6.00, 6.50, 7.00 และ 7.50% นั้นผลต่างของมูลค่าปัจจุบันสุทธิอยู่ที่ 799,620.76 บาท, 591,621.05 บาท, 409,123.23 บาท, 247,863.50 บาท และ 104,408.09 บาท ตามลำดับ โดยกรณีที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดคือ กรณีที่ MARR เท่ากับ 5.50% ต่อปี NPVb อยู่ที่ 12,621,236.64 บาท และระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 21.30 หรือ 21 ปี 4 เดือน จากการประเมินทางการเงินแสดงให้เห็นว่าโครงการอพาร์ทเมนต์ที่มีระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบไฮบริด นั้นมีความเป็นไปได้ในการลงทุน เพราะสามารถสร้างผลกำไรตอบแทนได้ และยังเป็นส่วนหนึ่งในการลดก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ แต่ในด้านการลงทุนจริงผู้ลงทุนอาจเลือกที่จะไม่ลงทุนในระบบไฮบริด เนื่องจากระยะเวลาคืนทุนยังค่อนข้างนาน

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการทำวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และขอขอบคุณอภิวรรณที่กรณีสึกษาที่ได้ให้ข้อมูลสำหรับการดำเนินงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Policy Formulation And National Focal Point, "Thailand Third Biennial Update Report," Climate Change Management and Coordination, Bangkok, Thailand, Rep. 3, 2020. Accessed: Aug. 8, 2021 [Online]. Available: http://climate.onep.go.th/wp-content/uploads/2021/01/BUR3_Thailand_251220-.pdf.
- [2] Department of Alternative Energy Development and Efficiency, "Energy Balance of Thailand 2020," Ministry of Energy, Bangkok, Thailand, Rep. 7, 2020. Accessed: Aug. 8, 2021. [Online]. Available: https://www.dede.go.th/download/stat63/Energy_Balance_of_Thailand_2563_for_web.pdf.
- [3] P. Chunark, B. Limmeechokchai, S. Fujimori and T. Masui, "Renewable energy achievements in CO₂ mitigation in Thailand's NDCs," *Renewable Energy*, vol. 114, pp. 1294–1305, 2017, doi: 10.1016/j.renene.2017.08.017.
- [4] Department of Alternative Energy Development and Efficiency, "Project to improve the solar energy potential map from satellite images of Thailand in 2009," Ministry of Energy, Bangkok, Thailand, 2009. Accessed: Aug. 12, 2021. [Online]. Available: https://www.dede.go.th/ewt_news.php?nid=47645&filename=index.
- [5] *Model for electricity generation from solar cells*, SolarHub Co., Ltd., 2021, [Online]. Available: <https://www.solarhub.co.th/solar-information/solar-format>.
- [6] I. Ashraf, A. Chandra and M. S. Sodha, "Techno-economic and environmental analysis for grid interactive solar photovoltaic power system of Lakshadweep islands," *International Journal of Energy Research*, vol. 28, no. 12, pp. 1033–1042, 2004. doi: 10.1002/er.1009.
- [7] M. Kolhe, "Techno-economic optimum sizing of a stand-alone solar photovoltaic system," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 24, no. 2, pp. 511–519, 2009, doi: 10.1109/TEC.2008.2001455.
- [8] M. M. Mahmoud and I. H. Ibrik, "Techno-economic feasibility of energy supply of remote villages in Palestine by PV-systems, diesel generators and electric grid," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 10, no. 2, pp. 128–138, 2006, doi: 10.1016/j.rser.2004.09.001.
- [9] J. L. Bernal-Agustin and R. Dufo-Lopez, "Economical and environmental analysis of grid connected photovoltaic systems in Spain," *Renewable Energy*, vol. 31, no. 8, pp. 1107–1128, 2006, doi: 10.1016/j.renene.2005.06.004.
- [10] G. C. Bakos and M. Soursos, "Techno-economic assessment of a stand-alone PV/hybrid installation for low-cost electrification of a tourist resort in Greece," *Applied Energy*, vol. 73, no. 2, pp. 183–193, 2002, doi: 10.1016/S0306-2619(02)00062-4.
- [11] C. Ghenai and M. Bettayeb, "Modelling and performance analysis of a stand-alone hybrid solar PV/fuel cell/diesel generator power system for university building," *Energy*, vol. 171, pp. 180–189, 2019, doi: 10.1016/j.energy.2019.01.019.
- [12] M. Srikongkaew and P. Lorterapong, "Study of the investment for residential solar PV rooftop," *Research and Development Journal*, vol. 26, no. 1, pp. 61–69, 2015.
- [13] R. Chuchart, "Financial worthiness analysis of solar power generation system in the rubber wood processing plant when supported by investment

- promotion policies,” in *Walailak Procedia*, Nakhon Si Thammarat, Thailand, Mar. 27–28, 2019, pp. 1–7.
- [14] G. Panprayun, “8 kWp Rooftop PV system and feasibility of system expansion,” *Journal of Professional Routine to Research*, vol. 4, pp. 76–86, 2017.
- [15] W. Chansela and V. Inkarojrit, “Feasibility assessment of solar rooftop systems for gymnasium: case study of Chulalongkorn University,” *Journal of Environmental Design*, vol. 7, no. 2, pp. 3–25, 2020.
- [16] Y. Polchusakulwong, S. Rakkarn, P. Srihomchai and A. Jindawattana, “Feasibility study of the solar power farm case study: Kutrang Mahasarakarm,” *Kasem Bundit Engineering Journal*, vol. 4, no. 1, pp. 41–57, 2014.
- [17] K. Chaivanich and S. Sedpho, “An evaluation method of greenhouse gas reduction by the installation of a photovoltaic cells system: Case study of smart grid network in the University of Phayao,” *RMUTSB Academic Journal*, vol. 6, no. 2, pp. 194–206, 2018.
- [18] S. Rehman, M. M. Alam, J. P. Meyer and L. M. Al-Hadhrami, “Feasibility study of a wind-PV-diesel hybrid power system for a village,” *Renewable Energy*, vol. 38, no. 1, pp. 258–268, 2012, doi: 10.1016/j.renene.2011.06.028.
- [19] H. S. Das, C. W. Tan, A. H. M. Yatim and K. Y. Lau, “Feasibility analysis of hybrid photovoltaic/battery/fuel cell energy system for an indigenous residence in East Malaysia,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 76, pp. 1332–1347, 2017, doi: 10.1016/j.rser.2017.01.174.
- [20] A. Khelif, A. Talha, M. Belhamel and A. H. Arab, “Feasibility study of hybrid diesel-PV power plants in the southern of Algeria: Case study on AFRA power plant,” *Electrical Power and Energy Systems*, vol. 43, no. 1, pp. 546–553, 2012, doi: 10.1016/j.ijepes.2012.06.053.
- [21] *Battery Pack Prices Cited Below \$100/kWh for the First Time in 2020, While Market Average Sits at \$137/kWh*, Bloomberg, Dec. 2020. [Online]. Available: <https://about.bnef.com/blog/battery-pack-prices-cited-below-100-kwh-for-the-first-time-in-2020-while-market-average-sits-at-137-kwh/>.
- [22] *Solar power generation and Transfer and disseminating of the use of solar energy*, Department of Alternative Energy Development and Efficiency. Aug. 16, 2021, [Online]. Available: <https://webkc.dede.go.th/testmax/node?page=8>.
- [23] *Handbook on Fundamental Design of Solar Power Generation System*, 23rd ed., Ecoplanet Co., Samut Prakan, Thailand, 2020, pp. 64–158.
- [24] N. Ketjoy and M. Konyu, “The dust effect on photovoltaic module surface to photovoltaic power generation,” *Journal of Science and Technology Mahasarakham University*, vol. 32, no. 5, pp. 555–562, 2013.
- [25] X. Wanga, P. Adelman and T. Reindl, “Use of LiFePO₄ batteries in stand-alone solar system,” *Energy Procedia*, vol. 25, pp. 135–140, 2012, doi: 10.1016/j.egypro.2012.07.018.
- [26] *Hybrid Inverter*, Thai LED Solar, 2018. [Online]. Available: <http://www.thailedsolar.com/article/2/>.
- [27] *Thailand Grid Emission Factor for GHG Reduction Project /Activity*, Greenhouse Gas Mitigation Mechanism, 2017. [Online]. Available: <http://ghgreduction.tgo.or.th/download-tver/120-gwp-emission-factor/2372-2021-08-09-081631.html>.
- [28] *Project feasibility*, Sukhothai Thammathirat Open University, 2021 [Online]. Available: <https://www.stou.ac.th/stouonline/lom/data/sec/Lom14/02.html>.
- [29] M. Jiravacharadet, “Standard payload and design method,” in *Structural Steel Design*, 3rd ed., Nakhon

- Ratchasima, Thailand: Suranaree University of Technology, 2005, ch.2, pp. 1–14.
- [30] *Handbook on Solar Radiation and Climatic Data for Renewable Energy Applications*, DEDE and Faculty of Science (Physics) SU., Bangkok, Thailand, 2005,
- [31] *PD: 3D Sun-Path*, Marsh, 2021. [Online]. Available: <http://andrewmarsh.com/apps/staging/sunpath3d.html>.
- [32] *Battery Bank Life*, HOMER Pro, 2021. [Online]. Available: https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/latest/battery_bank_life.htm