

การผสานพลังงานหมุนเวียนในระบบไฟฟ้าเพื่ออาคารอัจฉริยะ:
แนวทางสู่การเป็น Net Zero Energy Building
Integrating Renewable Energy into Electrical Systems for Smart Buildings:
A Pathway to Net Zero Energy Buildings

สันติ การิสันต์¹ และ สิริศักดิ์ โรจชยะ^{2*}

¹วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

99 หมู่ที่ 4 ตำบลท้องเนียน อำเภอขนอม จังหวัดนครศรีธรรมราช 80210

²คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

179 หมู่ที่ 3 ตำบลไม้ฝาด อำเภอสิเกา จังหวัดตรัง 92150

Santi Karisan¹ and Sittisak Rojchaya^{2*}

¹College of Industrial Technology and Management, Rajamangala University of Technology Srivijaya

99 Moo 4, Thong Nian Subdistrict, Khanom District, Nakhon Si Thammarat Province, 80210

²Faculty of Engineering and Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya

179 Moo 3, Mai Fat Subdistrict, Sikao District, Trang Province, 92150

*Corresponding author Email: Sittisak.r@rmutsv.ac.th

(Received: March 27, 2025 / Revised: June 20, 2025 / Accepted: June 21, 2025)

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้พลังงานของอาคารเรียนรวมช่างอุตสาหกรรม ภายในวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย โดยมุ่งพัฒนาแนวทางออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar PV) และระบบกักเก็บพลังงาน (Energy Storage System: ESS) ที่เหมาะสม ตลอดจนการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานผ่านการบริหารจัดการโหลดไฟฟ้า และการเพิ่มค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor: PF) ผลการวิเคราะห์พบว่า อาคารมีโหลดไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 80 กิโลวัตต์ โดยระบบ Solar PV ขนาด 427 กิโลวัตต์สามารถผลิตพลังงานได้ประมาณ 80% ของโหลดเฉลี่ยต่อวัน ภายใต้สภาพแสงแดดเฉลี่ย 4.5 ชั่วโมง/วัน และประสิทธิภาพระบบที่ 80% สำหรับระบบ ESS ขนาด 300–350 กิโลวัตต์ชั่วโมง สามารถสำรองพลังงานในช่วงที่ไม่มีแสงแดดได้อย่างเพียงพอ นอกจากนี้ยังพบว่าค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (PF) ในบางช่วงเวลาต่ำกว่า 0.5 ซึ่งส่งผลให้เกิดการสูญเสียพลังงานและต้นทุนสูง จึงเสนอแนวทางปรับปรุงโดยการติดตั้ง Capacitor Bank หรือ Smart Inverter เพื่อปรับค่า PF ให้อยู่ในช่วง 0.9–1.0 จากผลการวิเคราะห์และการออกแบบระบบโดยรวม พบว่าสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานได้มากกว่า 25% และ ลดต้นทุนค่าไฟฟ้ารายเดือนได้ประมาณ 30–35% นอกจากนี้ยังสามารถลดพลังงานสูญเสียจากค่า PF ต่ำได้กว่า 15–20% และ ลดการพึ่งพาไฟฟ้าจากกริดหลักลงเฉลี่ย 70–80% ต่อวัน งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการบูรณาการพลังงานหมุนเวียนควบคู่กับระบบบริหารจัดการโหลดอัจฉริยะ เป็นแนวทางที่มีศักยภาพในการขับเคลื่อนอาคารเรียนไปสู่การเป็นอาคารพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Energy Building) ได้อย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: ระบบพลังงานแสงอาทิตย์, ระบบจัดเก็บพลังงาน, อัตราการทำงานของพลังงาน, การบริหารจัดการโหลด

Abstract

This research aims to analyze the energy usage behavior of the Industrial Technician School Building at the College of Industrial Technology and Management, Rajamangala University of Technology Srivijaya. The objective is to develop an optimal design approach for integrating solar photovoltaic (Solar PV) systems and energy storage systems (ESS), along with improving energy efficiency through load management and power factor (PF) enhancement. The analysis revealed that the building has an average electrical load of approximately 80 kW. A Solar PV system with a capacity of 427 kW can supply around 80% of the average daily energy demand, based on average solar irradiance of 4.5 hours/day and a system performance ratio of 80%. For nighttime or non-solar hours (approximately 4 hours), an ESS with a capacity of 300–350 kWh is sufficient to meet the critical load. Additionally, the power factor was found to be below 0.5 on several days, which contributes to energy losses and increased costs. Therefore, it is recommended to install a capacitor bank or smart inverter to improve the PF to a range of 0.9–1.0. Overall, the integrated system design resulted in more than a 25% improvement in energy efficiency, with a 30–35% reduction in monthly electricity costs. Furthermore, it can reduce energy losses due to low PF by over 15–20%, and decrease dependence on grid electricity by 70–80% per day. This study demonstrates that integrating renewable energy with intelligent load management is a viable strategy to transition educational buildings toward becoming Net Zero Energy Buildings (NZEBS) in a sustainable manner.

Keywords: Solar PV, Energy Storage system, Power factor, Load management

1. บทนำ

ในปัจจุบัน การใช้พลังงานในอาคารและภาคอุตสาหกรรมได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะการนำพลังงานทดแทนจากแหล่งพลังงานหมุนเวียน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ มาใช้เป็นทางเลือกในการลดการพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งเป็นทรัพยากรที่มีจำกัดและก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม [3], [10] พลังงานแสงอาทิตย์ถือเป็นแหล่งพลังงานสะอาดที่มีศักยภาพสูงในการลดต้นทุนด้านพลังงาน และสนับสนุนการพัฒนาที่ยั่งยืนในระยะยาว [1], [9] โดยเฉพาะเมื่อผสานกับระบบกักเก็บพลังงาน (Energy Storage System: ESS) ที่สามารถจัดเก็บพลังงานที่ผลิตได้ในช่วงกลางวัน และนำมาใช้ในช่วงที่ไม่มีแสงแดด ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานและความมั่นคงของระบบ [1], [6] งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้พลังงานของอาคารเรียนรวมช่างอุตสาหกรรม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย โดยใช้ข้อมูลจริงจากการตรวจวัดค่ากระแสไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในงานในแต่ละช่วงเวลา เพื่อพัฒนาแนวทางออกแบบระบบ Solar PV และ ESS ที่เหมาะสมต่อการใช้งานจริงในพื้นที่ การออกแบบยังเน้นการบริหารจัดการโหลดไฟฟ้า และการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor: PF) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานสูงสุด [2], [10] การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องสนับสนุนหลักการออกแบบระบบพลังงานหมุนเวียนในอาคารอย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งด้านการคำนวณขนาดของ Solar PV การกำหนดความจุของ ESS ให้เหมาะสมกับช่วงเวลาที่ไม่มีแสงแดด รวมถึงเทคนิคการปรับค่า PF ผ่านการติดตั้งอุปกรณ์ เช่น Capacitor Bank หรือ Smart Inverter [4-6] ข้อมูลการใช้พลังงานจริงของอาคารที่ศึกษาในครั้งนี้จึงมีคุณค่าสำคัญในการนำไปใช้ในการออกแบบระบบพลังงานที่ตอบสนองต่อพฤติกรรมโหลดไฟฟ้าจริง ลดการพึ่งพาไฟฟ้าจากโครงข่ายหลัก และเพิ่มการใช้พลังงานหมุนเวียนอย่างมีประสิทธิภาพ [7], [9]

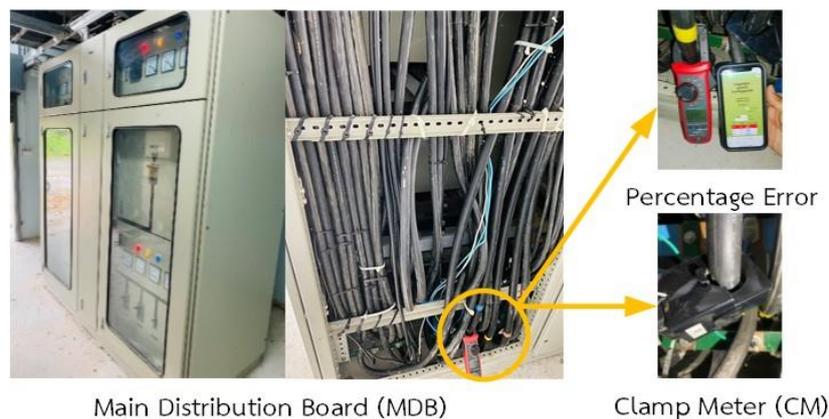
นอกจากนี้ จุดเด่นของงานวิจัยนี้คือการนำหลักการของ “อาคารอัจฉริยะ” (Smart Building) มาใช้ในการออกแบบระบบ โดยใช้แนวคิด Data-Driven Energy Management ที่ผสานข้อมูลการใช้พลังงานจริง เข้ากับระบบควบคุมอัตโนมัติ การคาดการณ์โหลด และระบบ Demand Response เพื่อควบคุมและจัดสรรพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในแต่ละช่วงเวลา ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานได้มากกว่า 25% ลดต้นทุนค่าไฟฟ้าเฉลี่ยลงราว 30–35% ลดการสูญเสียพลังงานจากค่า PF ต่ำได้กว่า 15–20% และลดการพึ่งพาพลังงานจากโครงข่ายไฟฟ้าหลักลงเฉลี่ย 70–80% ต่อวัน แนวทางที่นำเสนอในงานวิจัยนี้จึงไม่เพียงมุ่งเน้นที่การผลิตพลังงานหมุนเวียน แต่ยังรวมถึงการบริหารจัดการพลังงานอย่างชาญฉลาดและปรับตัวได้ สู่เป้าหมายการเป็นอาคารพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ (Net Zero Energy Building: NZEB) อย่างยั่งยืนในระยะยาว ทั้งในเชิงสิ่งแวดล้อม เศรษฐศาสตร์ และการใช้เทคโนโลยีอัจฉริยะในภาคการศึกษาและอุตสาหกรรม [3], [8]

2. วิธีการศึกษา

ในงานวิจัยนี้จะทำการวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้พลังงานของอาคารเรียนรวมช่างอุตสาหกรรม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย เพื่อนำไปสู่การออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar PV) และระบบกักเก็บพลังงาน (Energy Storage System: ESS) ที่เหมาะสม โดยการติดตั้งระบบตรวจวัดพลังงานใช้เซ็นเซอร์ตรวจจับกระแสไฟฟ้าร่วมกับระบบ IoT เพื่อรวบรวมข้อมูล กระแสไฟฟ้า การใช้พลังงาน และค่าอุณหภูมิสายเมนในช่วงเวลาต่าง ๆ ช่วยให้สามารถวิเคราะห์แนวโน้มการใช้พลังงานได้อย่างแม่นยำ และตรวจจับความผิดปกติในการใช้พลังงานได้แบบเรียลไทม์ ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

2.1 การเก็บข้อมูล

ข้อมูลในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยข้อมูลกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยและกำลังไฟฟ้าที่ใช้ภายในอาคารในแต่ละวัน รวมถึงข้อมูลค่า Power Factor (PF) ซึ่งถูกเก็บรวบรวมจากระบบตรวจวัดพลังงานที่ใช้เซ็นเซอร์ตรวจจับกระแสไฟฟ้าร่วมกับระบบ IoT เพื่อติดตามการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารเป็นระยะเวลา 2 เดือน (ธันวาคม 2567 - มกราคม 2568) นอกจากนี้ ระบบยังสามารถส่งการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน Line กรณีเกิดความผิดปกติ และยังสามารถเข้าถึงข้อมูลในรูปแบบเรียลไทม์เพื่อการตรวจสอบสถานะของระบบได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว



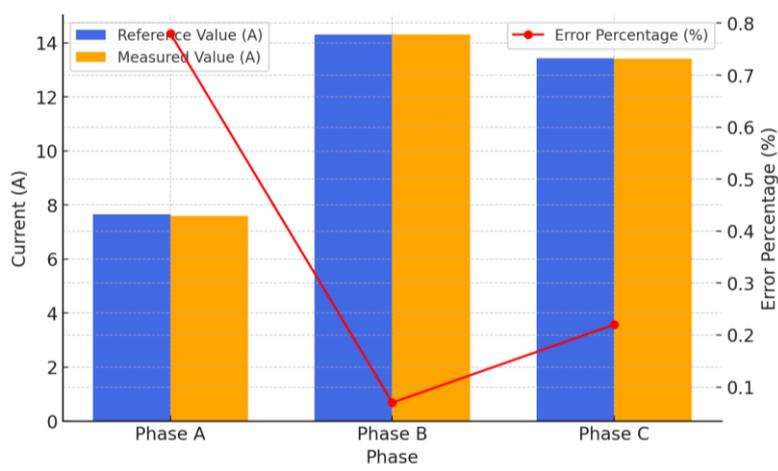
รูปที่ 1 การเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานใช้เซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าร่วมกับระบบ IoT

รูปที่ 1 ภาพของการเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารโดยใช้เซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าที่ติดตั้งร่วมกับระบบ IoT (ซ้ายสุด) เป็นตู้ควบคุมไฟฟ้าหลักในอาคารเรียนรวมช่างอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นจุดที่ระบบวัดพลังงานติดตั้ง (กลาง) เป็น Clamp Meter หรือเซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าคล้องอยู่กับสายเมนหลักทั้ง 3 เฟส (A, B, C) ที่ต่อไปยังอาคารเรียน (ขวา)

เป็นการเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดทางไฟฟ้าแบบมาตรฐานกับค่าที่ระบบเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานใช้เซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าร่วมกับระบบ IoT สามารถแสดงให้เห็นถึงความแม่นยำของระบบที่สูง สรุปคือรูปนี้แสดงถึงกระบวนการติดตั้งและการใช้งานอุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้าร่วมกับระบบ IoT เพื่อเก็บข้อมูลการใช้พลังงานในอาคารแบบอัตโนมัติและต่อเนื่องเพื่อใช้ในการวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้พลังงานที่แม่นยำต่อไป

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบความแม่นยำระหว่างระบบกับเครื่องมือวัด (เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน)

Phase	Reference Value (A)	Measured Value (A)	Error Percentage %
Phase A	7.66	7.6	0.78
Phase B	14.31	14.3	0.07
Phase C	13.43	13.4	0.22



รูปที่ 2 เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน

จากกราฟรูปที่ 2 พบว่าเฟส A (7.6A) วัดได้ 7.66A (+0.78%) เฟส B (14.3A) วัดได้ 14.31A (+0.07%) และเฟส C (13.4A) วัดได้ 13.43A (+0.22%) ค่าที่วัดได้ใกล้เคียงค่ามาตรฐาน ความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 0.07% - 0.78%

2.2 การออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์

ขนาดของระบบ Solar PV ที่เหมาะสมจะถูกคำนวณจากการใช้ข้อมูลโหลดพลังงานเฉลี่ยของอาคาร โดยใช้สูตรการคำนวณขนาดแผง Solar PV ดังนี้

$$P_{PV} = \frac{P_{avg} \times 0.8}{PSH \times \eta} \tag{1}$$

โดยที่ PSH (Peak Sun Hours) ของประเทศไทยเฉลี่ยที่ 4.5 ชั่วโมง/วัน และประสิทธิภาพของระบบ Solar PV (η) ถูกกำหนดที่ 80% (0.8)

2.3 การออกแบบระบบจัดเก็บพลังงาน (ESS)

ระบบจัดเก็บพลังงาน (Energy Storage System) จะถูกออกแบบเพื่อเก็บพลังงานที่ผลิตจาก Solar PV สำหรับใช้ในกรณีที่ไม่มีแสงแดด โดยจะคำนวณขนาด ESS ตามระยะเวลาในการใช้งานและการจัดเก็บพลังงานที่ต้องการ คำนวณจากสูตร

$$E_{ESS} = P_{avg} \times 4 \quad (2)$$

โดยที่ E_{ESS} คือ ความจุของระบบจัดเก็บพลังงาน (Energy Storage Capacity), P_{avg} คือ ค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้าที่โหลดใช้งาน (Average Load Power), 4 คือ ระยะเวลาใช้งานระบบสำรองพลังงาน (เช่น 4 ชั่วโมงในช่วงไม่มีแสงแดด)

2.4 การปรับปรุง Power Factor (PF)

การปรับปรุงค่า PF จะดำเนินการโดยการติดตั้ง Capacitor Bank หรือ Smart Inverter เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานของระบบไฟฟ้า โดยค่า PF จะถูกคำนวณและวิเคราะห์ในแต่ละวันเพื่อประเมินประสิทธิภาพการทำงานของระบบ ค่า PF ซึ่งค่า PF จะต้องอยู่ในช่วง 0.9-1.0 เพื่อให้ระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด คำนวณจากสูตร

$$\text{Power Factor (PF)} = \frac{\text{Real Power (kW)}}{\text{Apparent Power (kVA)}} \quad (3)$$

โดยที่ Real Power (kW) = พลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานได้จริง, Apparent Power (kVA) = ผลรวมของพลังงานจริง (kW) และพลังงานรีแอกทีฟ (kVAR) ในรูปของเวกเตอร์

2.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลจากการวัดกระแสไฟฟ้า, กำลังไฟฟ้า และค่า PF จะถูกนำมาวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคทางสถิติและวิธีการคำนวณทางวิศวกรรม เพื่อหาขนาดที่เหมาะสมของระบบ Solar PV และ ESS และวิเคราะห์ผลกระทบของการปรับปรุง PF ต่อประสิทธิภาพของระบบ ผลลัพธ์จะถูกแสดงในรูปของกราฟที่ 3, 4, 5, 6, 7(ก)(ข) และตารางที่ 2, 3, 4, 5 และ 6 เพื่อให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างค่า PF, การใช้พลังงาน และประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้า

2.6 การบริหารจัดการโหลดไฟฟ้า

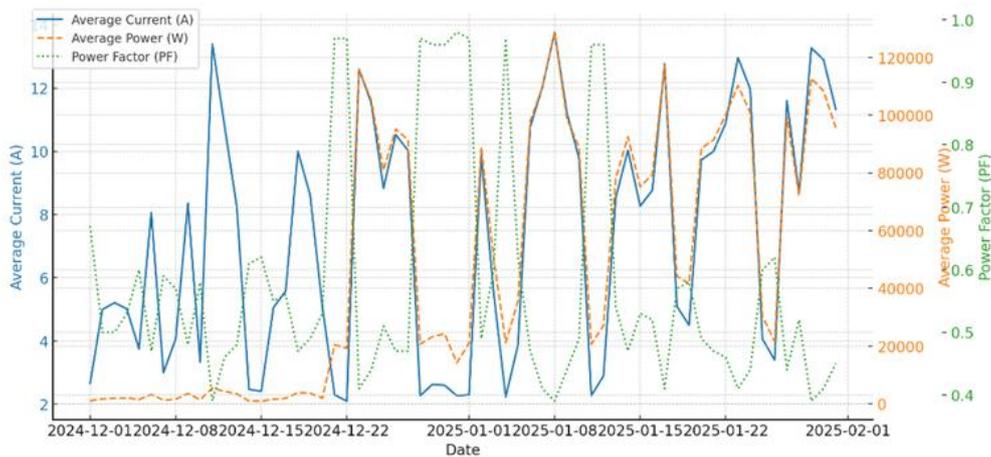
ใช้ระบบ Smart Metering และ Demand Response เพื่อตรวจสอบและจัดการโหลดไฟฟ้าภายในอาคาร โดยจะทำการวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้พลังงาน และลดการใช้พลังงานในช่วงที่มีการใช้พลังงานสูงสุด การใช้ข้อมูลจาก Smart Meter จะช่วยให้สามารถวางแผนการใช้พลังงานและปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3. ผลการศึกษา

ในส่วนนี้จะเป็นการนำข้อมูลจากการเก็บรวบรวมจากระบบตรวจวัดพลังงานที่ใช้เซ็นเซอร์ตรวจจับกระแสไฟฟ้า ร่วมกับระบบ IoT มาทำการวิเคราะห์โดยจะเน้นการอภิปรายผลในด้านต่าง ๆ ประกอบกับข้อเสนอแนะในแต่ละด้าน เช่น การออกแบบขนาดระบบ Solar PV, ระบบการจัดเก็บพลังงาน (ESS), การปรับปรุงค่า Power Factor (PF) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานในอาคาร และการบริหารจัดการโหลดไฟฟ้า ภายใต้อุปกรณ์พลังงานที่มีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 2 ค่าตัวประกอบกำลังของระบบไฟฟ้าสามเฟส

Date	Average Current (A)	Average Power (W)	Power Factor (PF)
Dec 1-5, 2024	4.33	1601.35	0.56
Dec 6-10, 2024	5.36	2179.05	0.54
Dec 11-15, 2024	7.46	2986.57	0.51
Dec 16-20, 2024	6.87	2554.90	0.52
Dec 21-25, 2024	7.47	68312.40	0.66
Dec 26-31, 2024	5.06	44815.08	0.80
Jan 1-5, 2025	4.77	43482.35	0.73
Jan 6-10, 2025	11.51	104817.09	0.44
Jan 11-15, 2025	6.40	58698.36	0.69
Jan 16-20, 2025	8.17	74187.84	0.51
Jan 21-25, 2025	9.98	86584.38	0.48
Jan 26-31, 2025	10.20	84954.82	0.47



รูปที่ 3 แนวโน้มของกระแสเฉลี่ย, กำลังไฟเฉลี่ย และตัวประกอบกำลัง (ธันวาคม 2567 - มกราคม 2568)

จากกราฟรูปที่ 3 พบว่า กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยมีความผันผวนค่อนข้างสูง โดยเฉพาะในช่วงกลางเดือนธันวาคม 2567 และ มกราคม 2568 มีค่าสูงสุดเป็นช่วง ๆ ซึ่งอาจเกิดจากโหลดที่เพิ่มขึ้นชั่วคราว ในบางช่วงมีค่าลดลงใกล้ศูนย์ ซึ่งอาจหมายถึงช่วงเวลาที่ไม่มีการใช้หรืออุปกรณ์บางตัวปิดการทำงาน กำลังไฟเฉลี่ย มีแนวโน้มสอดคล้องกับกระแสไฟฟ้าเฉลี่ย (A) ซึ่งสัมพันธ์กัน เนื่องจากกำลังไฟขึ้นอยู่กับกระแสและแรงดันไฟฟ้า มีการเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนในช่วงของ มกราคม 2568 ซึ่งอาจสะท้อนถึงการใช้พลังงานที่สูงขึ้นในเดือนนี้ ตัวประกอบกำลัง มีการเปลี่ยนแปลงเป็นช่วง ๆ บางช่วงอยู่ที่ค่าประมาณ 0.9-1.0 ซึ่งเป็นค่าที่ดี อย่างไรก็ตาม มีบางช่วงที่ค่า PF ลดลงต่ำกว่า 0.5 หรือแม้แต่ติดลบ ซึ่งอาจเกิดจากโหลดที่มีลักษณะรีแอกทีฟสูง หรือปัญหาในระบบไฟฟ้า ข้อสังเกตเพิ่มเติม ในมกราคม 2568 กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับ ธันวาคม 2567 ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการเพิ่มขึ้นของโหลดไฟฟ้าในช่วงเวลาดังกล่าว ตัวประกอบกำลังมีความผันผวนสูง ซึ่งควรตรวจสอบว่าสาเหตุเกิดจากโหลดประเภทใด และพิจารณาวิธีปรับปรุง เช่น การใช้ตัวปรับปรองตัวประกอบกำลัง (Power Factor Correction)

3.1 การออกแบบขนาดระบบพลังงานแสงอาทิตย์

การออกแบบระบบพลังงานหมุนเวียน ขนาดของระบบ Solar PV ที่เหมาะสม จากข้อมูล กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยต่อวัน ประมาณ 50-100 kW หากต้องการให้ระบบ Solar PV จ่ายพลังงาน 80% ของโหลดเฉลี่ย สามารถคำนวณขนาดแผงที่ต้องการได้จาก (1) โดยจะทำการคำนวณสำหรับโหลดเฉลี่ย ขนาด 80kW

$$P_{PV} = \frac{1,920 \times 0.8}{4.5 \times 0.8} = 426.7kW$$

จากการคำนวณ สามารถสรุปได้ว่าระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่เหมาะสม ควรมีขนาดกำลังการผลิตที่ 427kW ซึ่งจะ สามารถตอบสนองความต้องการใช้พลังงานได้ประมาณร้อยละ 80 ของปริมาณการใช้พลังงานรวม ระบบขนาดดังกล่าวนี้จะ สร้างสมดุลที่เหมาะสมระหว่างการลงทุนกับประสิทธิภาพในการพึ่งพาตนเองด้านพลังงาน ช่วยลดภาระค่าไฟฟ้าในระยะยาว และส่งเสริมการใช้พลังงานสะอาดอย่างยั่งยืน

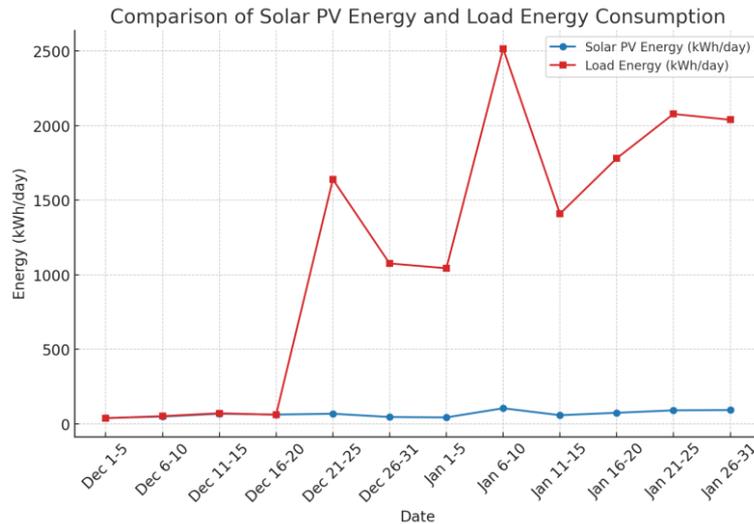
ขนาดระบบกักเก็บพลังงาน (Energy Storage System หรือ ESS) ต้องการสำรองพลังงานไว้ใช้ 4 ชั่วโมง เมื่อไม่มีแสงแดด

$$E_{ESS} = P_{avg} \times 4 = 80,000 \times 4 = 320,000Wh = 320kWh$$

จากการคำนวณ สามารถสรุปได้ว่า ระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) ขนาด 300-350 kWh เป็นขนาดที่เหมาะสมสำหรับรองรับความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่จำเป็น เพื่อสร้างความมั่นคงด้านพลังงานและใช้ประโยชน์จากระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

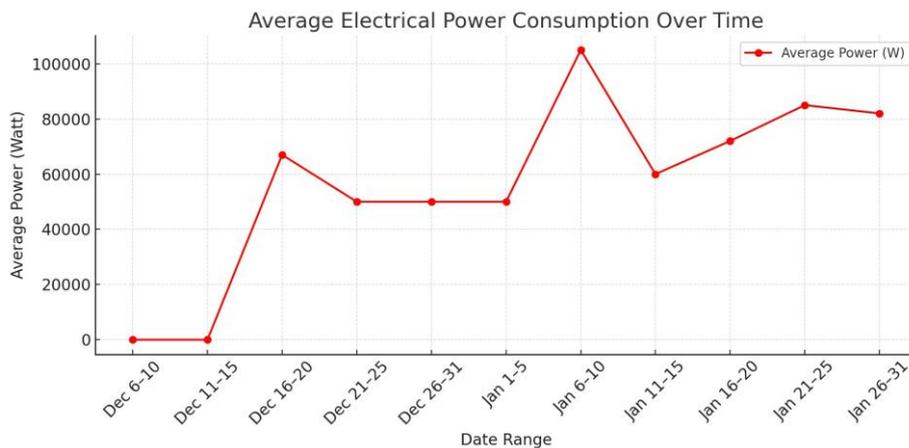
ตารางที่ 3 การคำนวณพลังงานจากระบบโซลาร์ฟาร์มและการโหลดไฟฟ้า

Date	Average Current (A)	Average Power (W)	Solar PV Energy (kWh/day)	Load Energy (kWh/day)
Dec 1-5, 2024	4.33	1601.35	39.49	38.43
Dec 6-10, 2024	5.36	2179.05	48.88	52.3
Dec 11-15, 2024	7.46	2986.57	68.04	71.68
Dec 16-20, 2024	6.87	2554.90	62.65	61.32
Dec 21-25, 2024	7.47	68312.40	68.13	1639.5
Dec 26-31, 2024	5.06	44815.08	46.15	1075.56
Jan 1-5, 2025	4.77	43482.35	43.5	1043.58
Jan 6-10, 2025	11.51	104817.09	104.97	2515.61
Jan 11-15, 2025	6.40	58698.36	58.37	1408.76
Jan 16-20, 2025	8.17	74187.84	74.51	1780.52
Jan 21-25, 2025	9.98	86584.38	91.02	2078.03
Jan 26-31, 2025	10.20	84954.82	93.02	2038.92



รูปที่ 4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานจากโซลาร์และพลังงานจากโหลด (ธันวาคม 2567 - มกราคม 2568)

จากกราฟรูปที่ 4 พบว่า พลังงานแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นจาก 40 kWh/day (ต้นธันวาคม 2567) เป็น 70 kWh/day (กลางธันวาคม 2567) และสูงสุดที่ 110 kWh/day (กลางมกราคม 2568) ก่อนลดลงและทรงตัวที่ 90-95 kWh/day (ปลายมกราคม 2568) ส่วนพลังงานโหลดเริ่มต่ำ (≈ 0 kWh/day ต้นธันวาคม 2567) ก่อนพุ่งขึ้นเป็น 80 kWh/day (กลางธันวาคม 2567) และ 120 kWh/day (กลางมกราคม 2568) จากนั้นลดลงและเพิ่มขึ้นอีกครั้งเป็น 100 kWh/day (ปลายมกราคม 2568) ความสัมพันธ์ ตั้งแต่ กลางธันวาคม 2567 เป็นต้นไป ทั้งสองค่ามีแนวโน้มขึ้น-ลงสอดคล้องกัน โดย กลางมกราคม 2568 เป็นจุดสูงสุดของทั้งคู่ ขณะที่ ปลายมกราคม 2568 พลังงานโหลดเริ่มสูงกว่าพลังงานแสงอาทิตย์ อาจบ่งชี้ถึงความต้องการพลังงานเสริมจากแหล่งอื่น



รูปที่ 5 กราฟกำลังไฟเฉลี่ย (ธันวาคม 2567 - มกราคม 2568)

จากกราฟรูปที่ 5 พบว่าในเดือน ธันวาคม 2567 ช่วง 6-20 ธันวาคม 2567 กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ในระดับต่ำ ใกล้ศูนย์วัตต์ ก่อนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเป็น 70 kW (21-25 ธันวาคม 2567) และลดลงเหลือ 45 kW ในช่วงปลายเดือน ส่วนในเดือน มกราคม 2568 กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตั้งแต่ต้นเดือน แต่ 110 kW (6-10 มกราคม 2568) ก่อนลดลงเหลือ 60 kW (11-15 มกราคม 2568) และเพิ่มขึ้นต่อเนื่องจนถึง 85-90 kW ในช่วงปลายเดือน จุดสำคัญ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงฉับพลัน

ของโหลดกลางเดือน ธันวาคม 2567, พีคโหลดสูงสุด 110 kW ช่วงต้น มกราคม 2568 และความผันผวนสูงของกำลังไฟฟ้าตลอดช่วงปลายธันวาคม 2567 ถึง มกราคม 2568 ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า

ตารางที่ 4 โหลดไฟฟ้าเฉลี่ย (Average Load) ของแต่ละเดือน

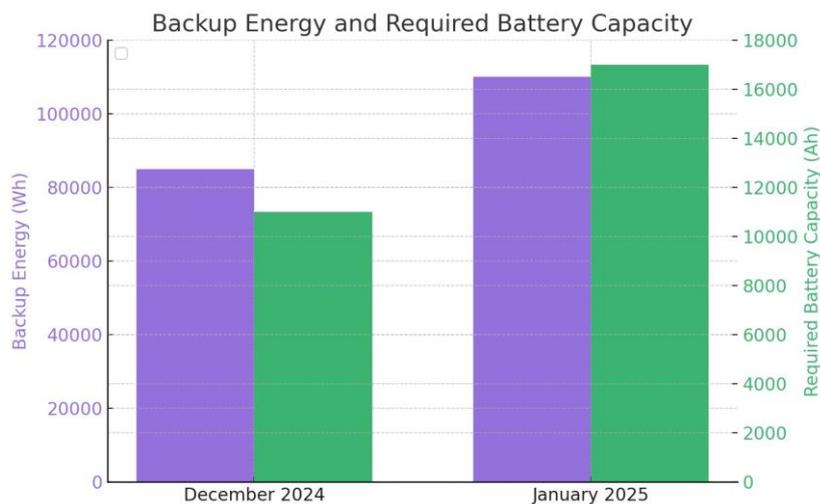
Month	Average Load (kWh/day)	Peak Load (W)
December 2024	509	68312.4
January 2025	1818.59	104817.1

3.2 ระบบการจัดเก็บพลังงาน (Energy Storage System หรือ ESS)

การประเมินขนาดของระบบการจัดเก็บพลังงาน (ESS) ในช่วง Peak Load เป็นการคำนวณปริมาณพลังงานที่จำเป็นต้องเก็บในระบบเพื่อรองรับช่วงที่มีการใช้งานพลังงานสูงสุด

ตารางที่ 5 ความต้องการพลังงานสำรองและความจุแบตเตอรี่ที่ต้องการในแต่ละเดือน

Month	Backup Energy (Wh)	Required Battery Capacity (Ah)
December 2024	68312.4	11163.73
January 2025	104817.09	17119.02



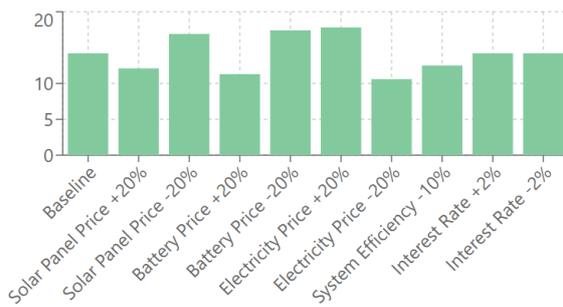
รูปที่ 6 การประเมินขนาดของระบบจัดเก็บพลังงาน (ESS) ในช่วงโหลดสูงสุด (ธันวาคม 2567 - มกราคม 2568)

จากกราฟรูปที่ 6 พบว่าแนวโน้มของพลังงานสำรอง (Wh) และความจุแบตเตอรี่ที่ต้องการ (Ah) เดือน มกราคม 2568 มีค่าทั้งสองตัวแปรสูงกว่าเดือน ธันวาคม 2567 พลังงานสำรองเพิ่มขึ้นจากเดือน ธันวาคม 2567 ไปยัง มกราคม 2568 ความจุแบตเตอรี่ที่ต้องการก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน สาเหตุที่อาจเป็นไปได้ อาจเกิดจากโหลดไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นในเดือน มกราคม 2568 ทำให้ต้องการพลังงานสำรองมากขึ้น หากใช้พลังงานหมุนเวียน เช่น โซลาร์เซลล์ อาจแสดงว่าผลผลิตพลังงานแสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ต้องการแบตเตอรี่ที่มีความจุมากขึ้น ความจุแบตเตอรี่ที่ต้องการ (Ah) สูงขึ้นในเดือน มกราคม 2568 อัตราส่วนระหว่างพลังงานสำรอง (Wh) และความจุแบตเตอรี่ (Ah) ค่อนข้างใกล้เคียงกันทั้งสองเดือน

ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ความไวของโครงการ

Factor	Change	Payback Period (Years)	IRR (%)	NPV (Million Baht)
Baseline	-	8.0	14.2%	7.2
Solar Panel Price	+20%	9.2	12.1%	5.3
Solar Panel Price	-20%	6.8	16.9%	9.1
Battery Price	+20%	9.5	11.3%	4.6
Battery Price	-20%	6.7	17.4%	9.7
Electricity Price	+20%	6.6	17.8%	10.3
Electricity Price	-20%	10.0	10.6%	4.0
System Efficiency	-10%	8.9	12.5%	5.6
Interest Rate	+2%	8.0	14.2%	5.9
Interest Rate	-2%	8.0	14.2%	8.7

IRR (%)



(ก) IRR

NPV (Million Baht)



(ข) NPV

รูปที่ 7 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR)

จากกราฟรูปที่ 7 (ก) และ (ข) พบว่า ตัวชี้วัดทางการเงิน อัตราผลตอบแทนภายในและมูลค่าปัจจุบันสุทธิ และการประเมินประสิทธิภาพทางการเงินของโครงการ ประกอบด้วยสองดัชนีสำคัญ ได้แก่ อัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR) และมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ช่วงค่าอัตราผลตอบแทน ร้อยละ 10-15 วัตถุประสงค์เพื่อการประเมินความสามารถในการสร้างผลตอบแทนของโครงการ เกณฑ์การพิจารณา ค่า IRR ที่สูงบ่งชี้ถึงศักยภาพการลงทุนที่น่าดึงดูด มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) ช่วงมูลค่า 2-10 ล้านบาท วัตถุประสงค์เพื่อการวิเคราะห์มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดในอนาคต เกณฑ์การพิจารณา NPV เป็นบวกแสดงถึงความเป็นไปได้ทางการเงิน สรุปผลการวิเคราะห์ พบความสอดคล้องระหว่างดัชนี IRR และ NPV ข้อมูลสนับสนุนการตัดสินใจเลือกทางเลือกลงทุนที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

3.3 การปรับปรุงค่า Power Factor (PF) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานในอาคาร

การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าในอาคารเรียนรวมช่างอุตสาหกรรม พบว่า ค่า Power Factor (PF) ต่ำกว่า 0.5 หลายวัน ส่งผลให้ประสิทธิภาพพลังงานลดลง และอาจถูกปรับค่าพลังงานรีแอกทีฟ (Reactive Power) ผลกระทบของ PF ต่ำ การสูญเสียพลังงานเพิ่มขึ้น เนื่องจากกระแสไฟฟ้าสูงขึ้น ทำให้สายไฟและหม้อแปลงร้อนขึ้น ค่าไฟสูงขึ้น จากค่าปรับโวลต์รีแอกทีฟ ความสามารถรองรับโวลต์ลดลง ระบบไฟฟ้าทำงานหนักขึ้น รองรับโวลต์ใหม่ได้ยาก แนวทางแก้ไขติดตั้ง Capacitor

Bank ปรับ PF เป็น 0.9 - 1.0 ลดพลังงานสูญเสีย ใช้ Smart Inverter ควบคุม PF อัตโนมัติ ปรับระบบให้เหมาะกับพลังงานหมุนเวียน เพื่อเป็นการ ลดค่าไฟฟ้า เพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร ตลอดจนยืดอายุอุปกรณ์ ปลายทาง Smart Building / Net Zero Energy Building (NZE)

3.4 การบริหารจัดการโหลดไฟฟ้า กุญแจสู่ระบบพลังงานที่มีประสิทธิภาพ

การบริหารจัดการโหลดไฟฟ้าเพื่อประสิทธิภาพสูงสุด ปัญหาของโหลดที่ไม่บริหารจัดการ จะมีภาวะเสี่ยงโหลดเกิน (Overload), ค่าไฟพุ่ง, PF ต่ำ และอุปกรณ์เสื่อมเร็ว กลยุทธ์บริหารโหลด Load Balancing โดยการกระจายโหลดสมดุล ลดกระแสเกิน ป้องกันความร้อนสะสม Peak Load Management ควบคุมโหลดช่วงพีก เพื่อช่วยลดค่า Demand Charge Smart Load Control การใช้ AI & IoT วิเคราะห์และปรับโหลดอัตโนมัติ Demand Response ปรับใช้ไฟตามราคาพลังงาน ลดต้นทุน รองรับพลังงานหมุนเวียน Power Factor Optimization ติดตั้ง Capacitor Bank / Smart Inverter ลดพลังงานสูญเสีย เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ของการใช้พลังงานในอาคารเต็มประสิทธิภาพ ลดค่าไฟ ลดพลังงานสูญเสีย พร้อมรองรับ Smart Building / Net Zero Energy Building (NZE)

3.5 ความแตกต่างของพลังงานแสงอาทิตย์ในแต่ละเดือน

พลังงานที่ผลิตจากระบบโซลาร์เซลล์มีความแตกต่างกันตามช่วงเวลาของปี เนื่องจากปัจจัยทางธรรมชาติต่าง ๆ เช่น ความเข้มของแสงแดด, ความยาวของวัน, สภาพอากาศ และตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในท้องฟ้า ในช่วงเดือนที่มีแดดจัดและวันยาว เช่น ฤดูร้อน พลังงานที่ผลิตได้จะสูงกว่าช่วงเดือนที่มีเมฆมากหรือฝนตก เช่น ฤดูฝน ปริมาณรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบบนแผงโซลาร์เซลล์เปลี่ยนแปลงไปตามมุมและความสูงของดวงอาทิตย์ ทำให้ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าแตกต่างกันไปในแต่ละเดือน นอกจากนี้อุณหภูมิที่สูงเกินไปในบางช่วงเวลาอาจส่งผลให้ประสิทธิภาพของแผงลดลงเล็กน้อย ความแตกต่างของพลังงานแสงอาทิตย์ในแต่ละเดือนจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องนำมาพิจารณาในการออกแบบและวางแผนระบบพลังงานหมุนเวียน เพื่อให้สามารถรองรับการใช้งานได้อย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ การเข้าใจถึงความเปลี่ยนแปลงนี้จะช่วยในการประเมินกำลังผลิตเฉลี่ยและพลังงานสะสมตลอดปี รวมถึงการวางแผนการใช้พลังงานสำรองหรือการบริหารจัดการโหลดที่เหมาะสม เพื่อให้ระบบไฟฟ้าของอาคารทำงานได้อย่างต่อเนื่องและมั่นคง

4. สรุป

การพัฒนาของระบบไฟฟ้าของอาคารเรียนรวมช่วงอุตสาหกรรม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย มุ่งเน้นการลดการใช้พลังงานและเพิ่มประสิทธิภาพสูงสุดของการใช้พลังงาน โดยอาศัยข้อมูลโหลดไฟฟ้าจริงมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบระบบที่สามารถลดการสูญเสียพลังงาน และรองรับการใช้พลังงานหมุนเวียนได้อย่างยั่งยืน การนำเทคโนโลยีอัจฉริยะเข้ามาประยุกต์ใช้ในระบบไฟฟ้า เช่น ระบบมอนิเตอร์แบบเรียลไทม์ การจัดการโหลดอย่างชาญฉลาด และการวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้พลังงาน ช่วยให้สามารถบริหารจัดการพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ลดความสูญเสีย และเพิ่มความยืดหยุ่นของระบบ อย่างไรก็ตามยังมีความท้าทายสำคัญที่ต้องพิจารณา เช่น ความไม่แน่นอนของสภาพอากาศที่ส่งผลต่อการผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ พฤติกรรมการใช้พลังงานของผู้ใช้ที่เปลี่ยนแปลงได้ และข้อจำกัดด้านข้อมูลเรียลไทม์ที่อาจกระทบต่อการวิเคราะห์โหลดและวางแผนระบบสำรองพลังงานในอนาคต แนวทางการพัฒนาเพิ่มเติมอาจรวมถึงการทดสอบระบบในฤดูกาลที่หลากหลาย การประยุกต์ใช้ AI และ Machine Learning เพื่อพยากรณ์โหลดได้แม่นยำยิ่งขึ้น การศึกษาเทคโนโลยีแบตเตอรี่ประสิทธิภาพสูง เช่น Solid-State Battery ตลอดจนการพัฒนาแนวคิด Grid-Interactive Buildings ที่สามารถเชื่อมต่อและสื่อสารกับโครงข่ายไฟฟ้า เพื่อเพิ่มเสถียรภาพและลดต้นทุนการดำเนินงาน ด้วยแนวทางเหล่านี้ Net Zero Energy Building จะไม่ใช่เพียงเป้าหมายของการพัฒนาอาคารเท่านั้น แต่คือรากฐานของอาคารยุคใหม่ที่ชาญฉลาด มีเสถียรภาพ และยั่งยืน รองรับอนาคตของโลกพลังงานสะอาดอย่างแท้จริง

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] R. Tu, Z. Guo, L. Liu, S. Wang, and X. Yang, “Reviews of Photovoltaic and Energy Storage Systems in Buildings for Sustainable Power Generation and Utilization from Perspectives of System Integration and Optimization,” *Energies*, vol. 18, no. 11, Art. 2683, 2025.
- [2] H. Haggi and J. M. Fenton, “Techno-Economic Assessment of Net-Zero Energy Buildings: Financial Projections and Incentives for Achieving Energy Decarbonization Goals,” arXiv preprint, Dec. 1, 2024. [Online]. Available: <https://arxiv.org/>
- [3] “A Comprehensive Review on Technologies for Achieving Zero-Energy Buildings,” *Sustainability*, vol. 16, no. 24, 2024.
- [4] “Smart building energy management with renewables and storage,” *Scientific Reports*, 2024.
- [5] “Building energy technologies towards achieving net-zero pathway,” *ScienceDirect*, 2025.
- [6] M. W. S. Mubarak, S. Ramadhani, and M. I. Tsaqif, “Renewable Energy Solutions for Achieving Net Zero Building,” *Journal of Building Research and Environment (JBREV)*, vol. 2, no. 1, pp. 11–20, May 2024.
- [7] “Advancing smart net-zero energy buildings with renewable energy,” *Journal of Energy Storage*, 2025.
- [8] “Recent Progress in Net-Zero Energy Buildings in Tropical Climates,” in *Recent Progress in Earth Surface and Coastal Studies*, Springer, 2024.
- [9] EnergyX DY Building (South Korea): First plus-zero commercial ZEB, self-sufficiency 121.7%, 2023. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/EnergyX_DY-Building
- [10] K. M. Anderson, “The role of renewable energy in achieving net zero energy buildings: A case study on smart building integration,” Master’s thesis, Univ. of California, 2019.