



แบบจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีก A MODEL OF BATTERY BANK MANAGEMENT FOR DISTRIBUTION RETAIL

นิวดี คลังสีดา, บุญวัฒน์ วิจารณ์พล, วัชระ วงศ์ปัญญา*

Nivadee Klungsida, Bunyawat Vichanpol, Watchara Wongpanyo*

คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา อ.เมือง จ.พะเยา ประเทศไทย 56000

School of Energy and environment, University of Phayao, Muang, Phayao, Thailand 56000

*Corresponding author e-mail: watchara.wo@up.ac.th

วันที่รับระบบ 15 เมษายน 2566

วันที่แก้ไขบทความ 21 พฤษภาคม 2566

วันที่ตอบรับบทความ 23 พฤษภาคม 2566

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างแบบจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีกเนื่องจากปัญหาค่าไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าไฟฟ้ามหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรสูงขึ้น ผู้วิจัยได้ทำการศึกษารูปแบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าเพื่อให้เกิดความคุ้มค่าด้วยการใช้โซลาร์เซลล์ร่วมกับแบตเตอรี่ เพื่อประหยัดไฟฟ้าและขายไฟฟ้าปลีกได้ ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ สวมพลังงาน นำข้อมูลมาสร้างและออกแบบจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีก ดำเนินการ ศึกษาความต้องการใช้ไฟฟ้าด้านโหลด ศึกษาความสามารถในการผลิตกำลังไฟฟ้าของ PV และศึกษาอัตราค่าไฟฟ้า TOU นำข้อมูลมาออกแบบจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีกผู้วิจัยเรียกว่า TOUPVES model ผลการวิจัยพบว่า วันทำงานเสียค่าไฟฟ้าอัตรา TOU ปกติ วันละ 60.79 บาท เมื่อผ่านการจัดการด้วย TOUPVES model เสียค่าไฟฟ้าเพียงวัน 2.897 บาทและขายไฟฟ้าได้วันละ 39.951 บาท วันหยุด เสียค่าไฟฟ้าอัตรา TOU ปกติ วันละ 12.886 บาท เมื่อผ่านการจัดการด้วย TOUPVES model เสียค่าไฟฟ้าเพียงวัน 2.818 บาทและขายไฟฟ้าได้วันละ 52.751 บาท ต่อไปราคาแบตเตอรี่ในอนาคตมีแนวโน้มลดลงดังนั้น TOUPVES model จึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำหรับผู้บริโภคไฟฟ้าที่สามารถผลิตไฟฟ้ากักเก็บไฟฟ้าไว้ขายด้านหลักมิเตอร์ (Behind the meter: BTM) ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถผลิตและจำหน่าย (Prosumer) กำหนดราคาขายให้กับลูกค้าภาคครัวเรือนหรือระหว่างองค์กร เป็นการจัดการด้านการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้า (Demand side management, DSM) ช่วยประหยัดพลังงาน (Energy conservation: EC) และใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ (Energy efficiency: EE) เป็นกระบวนการตอบสนองด้านโหลด (Demand response: DR) ได้เกิดประโยชน์สูงสุด

คำสำคัญ: ระบบการจัดการแบตเตอรี่, อัตราตามช่วงเวลาของการไฟฟ้า, ความมั่นคงด้านพลังงาน, เลื่อนเวลาการใช้ไฟฟ้า, ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์

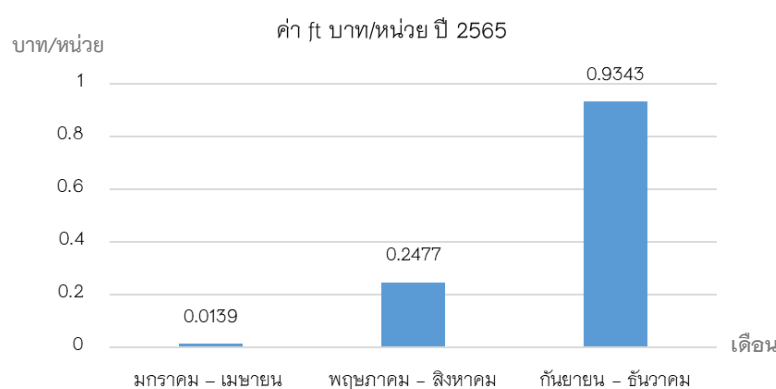
Abstract

The purpose of this research was to create a model of battery bank management suitable for electricity retail (TOUPVES model). The problem of rising electricity costs made the electricity bills of Kamphaeng Phet Rajabhat University rise. The researcher studied energy management to create value by using solar cells combined with batteries to save electricity and sell retail electricity. The experiment was carried out with the use of electricity in faculty offices and at the energy park in Kamphaeng Phet Rajabhat University. The research process included the following steps: studying electricity demand in the load, studying the ability to produce electricity from PV, studying TOU electricity rate and developing the TOUPVES model based on the data. The research results showed that on a typical working day, electricity consumption cost 60.79 baht a day under TOU rate. However, when managed with the TOUPVES model, the electricity consumption cost only 2.897 baht per day, while also enabling the sale of excess electricity for 39.951 baht per day. at weekend, electricity consumption cost 12.886 baht under TOU rate. However, when managed with the TOUPVES model, the electricity consumption cost only 2.818 baht per day, while also enabling the sale of excess electricity for 52.751 baht per day. In summary, the TOUPVES battery management model is suitable for electricity retail. With the trend of decreasing battery prices in the future, the TOUPVES model should be another option for electricity users who can generate and sell electricity (prosumer) by managing their batteries and store electricity to sell it behind the meter (BTM). The prosumers can set the price based on their costs and profits. This is the demand side management (DSM) such as: energy conservation (EC), energy efficiency (EE) and demand response (DR).

Keywords: Battery management system (BMS), Time of use rate (TOU), Energy security, Load shifting, Economical value

1. บทนำ

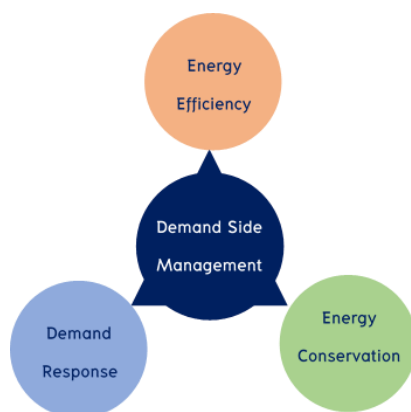
สถิติความต้องการใช้ไฟฟ้ามีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะภาคอุตสาหกรรม ภาคธุรกิจ และภาครัฐ ถึงแม้ประเทศไทยมีไฟฟ้าเพียงพอรองรับความต้องการใช้ที่เพิ่มขึ้นด้วยปริมาณไฟฟ้าสำรองของไทยสูงถึง 30% จากระดับปกติควรอยู่ที่ 15% แต่อย่างไรก็ตามต้นทุนการผลิตไฟฟ้าหรือแม้แต่การนำเข้าจะสูง หรือปัจจัยอื่นเช่น ราคาเชื้อเพลิง อัตราเงินเฟ้อ อัตราแลกเปลี่ยนเงินตราต่างประเทศ มีผลกับค่าไฟฟ้าโดยเฉพาะค่า ft (Float time) ซึ่งเป็นค่าของต้นทุนการผลิตไฟฟ้าที่ จากสถิติการค่า ft ย้อนหลัง ปี 2565 ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 จากสถิติการค่า ft ปี 2565 ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (PEA) แสดงรายละเอียดการพิจารณาของคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ กกพ. ของค่า ft สำหรับเรียกเก็บจากผู้ไฟฟ้ารวบรวมของปี 2565 สาเหตุหลักมาจากราคาเชื้อเพลิงที่สูงขึ้นตามราคาพลังงานในตลาดโลก โดยเฉพาะสัดส่วน การนำเข้าก๊าซธรรมชาติเหลว (LNG) ที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และมีราคาสูง รวมถึงอัตราแลกเปลี่ยนมีแนวโน้มอ่อนค่าลงค่าซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชน จึงส่งผลให้ค่า ft เพิ่มสูงขึ้นมาก (กองอัตราและธุรกิจไฟฟ้าการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2566) ปัญหาด้านพลังงานมีการวางแผนผ่านนโยบายของชาติ โดยเฉพาะการทำแผนแม่บทพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของประเทศไทย ปัจจุบันการดำเนินงานอยู่ในระยะปานกลาง พ.ศ. 2565-2574 “ส่งเสริมให้เกิดการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานต่าง ๆ และการจัดการทรัพยากรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่จำเป็น รองรับการเปลี่ยนผ่านไปสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้ายุคใหม่อย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม” มีอยู่ 5 เสาหลัก ได้แก่ 1) การตอบสนองด้านโหลดและระบบบริหารจัดการพลังงาน (DR & EMS) 2) การพยากรณ์ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานหมุนเวียน (RE Forecast) 3) ระบบไมโครกริด และ โปรซูเมอร์ (Micro grid & Prosumer) 4) ระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) และ 5) การบูรณาการยานยนต์ไฟฟ้า (EV integration)

จากปัญหาค่าไฟฟ้าที่สูงขึ้นผู้ใช้ไฟฟ้าต้องปรับตนเองเพื่อตอบสนองนโยบายภาครัฐเพื่อแก้ปัญหาพร้อมกันการจัดการด้านผู้ใช้ไฟฟ้าไม่ว่าจะเป็นการประหยัดไฟฟ้า ปรับเปลี่ยนเวลาการใช้ไฟฟ้ามาใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาที่ค่าไฟฟ้าถูก หรือแม้กระทั่งการติดตั้งโซล่าเซลล์ใช้เองหรือขายไฟฟ้าให้กับภาครัฐ ดังนั้น นโยบายตามเสาหลักที่ 1 การตอบสนองด้านโหลดและระบบบริหารจัดการพลังงาน (DR & EMS) จึงเป็นสิ่งสำคัญของผู้ใช้ไฟฟ้าที่สามารถปรับเปลี่ยนเพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า ดังนั้น การจัดการด้านการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้า (Demand side management, DSM) มีอยู่สามส่วนหลักคือการอนุรักษ์พลังงาน หรือประหยัดพลังงาน (Energy conservation: EC) การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ (Energy efficiency: EE) การตอบสนองด้านโหลดเป็นการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า (Demand response: DR) (สมาร์ตกริดไทยแลนด์, 2565)

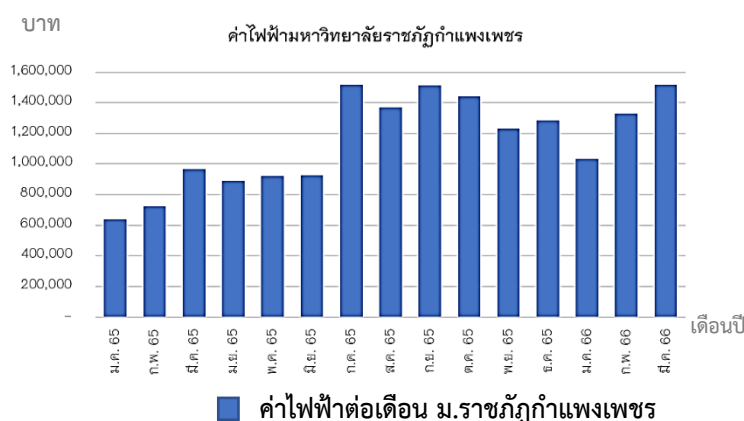


ภาพที่ 2 การจัดการด้านการใช้ไฟฟ้า (Demand side management, DSM)

และ เสาหลักที่ 4 ระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) ถึงแม้จะดูไกลตัวจากผู้ใช้ไฟฟ้าและต้นทุนการติดตั้งสูงแต่ความคุ้มค่าในอนาคตที่ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถผลิตไฟฟ้าและกักเก็บไฟฟ้าไว้ใช้และสามารถขายได้สอดคล้องกับเสาหลักอื่นๆ ที่ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถบริหารจัดการไฟฟ้าผันตัวเองเป็นผู้ขายไฟฟ้า (Prosumer) และรองรับการใช้รถไฟฟ้าที่ต้องชาร์จไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ที่กักเก็บไว้ได้

มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร เป็นหน่วยงานที่ใช้ไฟฟ้าสูงและปรับตัวเพื่อตอบสนองนโยบายภาครัฐไม่จะเป็นการดำเนินการตามมาตรฐานสำนักงานสีเขียว Green office (สยาม, 2560) ใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ (Energy efficiency: EE) ดำเนินการจัดการพลังงานตามมาตรการอนุรักษ์พลังงาน (Energy conservation: EC) โดยปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้พลังงานกำหนดเวลาเปิด-ปิดไฟส่องสว่างและเครื่องใช้ไฟฟ้า (กระทรวงพลังงาน, 2555) ตรวจสอบซ่อมแซมสภาพอุปกรณ์ใช้พลังงานอย่างสม่ำเสมอ และมาตรการตอบสนองด้านโหลด (Demand response: DR) โดยตอบสนองด้านโหลดต่อกลไกราคา (Price-based options) ใช้อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาการใช้

(Time of use rates) การดำเนินการเพื่อลดค่าไฟฟ้ามีการปฏิบัติอย่างต่อเนื่องแต่มีอีกหลายปัจจัยที่ไม่สามารถลดค่าไฟฟ้าได้ตามเป้าหมายจากแนวโน้มการเสียค่าไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ค่าไฟฟ้ามหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
ของเดือน มกราคม 2565 ถึงเดือน มีนาคม 2566

จากภาพที่ 3 การเสียค่าไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ในแต่ละเดือนแนวโน้มค่าไฟฟ้าสูงขึ้น ปัจจัยนี้มีผลการสร้างอาคารใหม่ การใช้ไฟฟ้าสูงขึ้นหลังจากวิกฤตโควิด การแก้ปัญหาค่าไฟฟ้านอกจากจะปรับเปลี่ยนพฤติกรรมเปลี่ยนอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ชำรุดและใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ประหยัดพลังงานอาจจะไม่เพียงพอ การใช้พลังงานไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์ก็เป็นอีกทางเลือกของมหาวิทยาลัยฯ แต่มาพร้อมกับต้นทุนการติดตั้งการดูแลรักษาในแต่ละปี ความคุ้มค่าที่มหาวิทยาลัยฯ ต้องลงทุน ดังนั้นการใช้ไฟฟ้าให้เกิดความคุ้มค่า ลดค่าไฟฟ้า และสามารถขายไฟฟ้าได้ เป็นการบริหารจัดการเกิดประโยชน์กับมหาวิทยาลัยฯ ผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์ให้เกิดความคุ้มค่าด้วยการกักเก็บใช้ในช่วงเวลาที่ค่าไฟฟ้าต่ำ สามารถกักเก็บไว้เพื่อขาย ด้วยการออกแบบและสร้างแบบจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมสามารถลดค่าไฟฟ้าและจำหน่ายไฟฟ้า ผู้วิจัยเรียกแบบจำลองนี้ว่า TOUPVES model ซึ่งเป็นอีกหนึ่งแนวทางในการแก้ไขปัญหาค่าไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร การดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ศึกษาการใช้ไฟฟ้าใน สวนพลังงานมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ซึ่งพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าเหมือนกับการใช้ไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยฯ มีการทำงานเวลา 8.30 น. ถึง 16.30 น. หยุดเสาร์ อาทิตย์ และวันหยุดนักขัตฤกษ์ โดยทำการศึกษาเกี่ยวกับอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าในห้องพักอาจารย์ เทียบกับระบบโซล่าเซลล์ 2.7 kW และแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนฟอสเฟต (LifePO4) ปล่อยพลังงานไฟฟ้าได้ 2.5 kWh โดยมีปัจจัยเสริมคือช่วงเวลาที่เสียค่าไฟฟ้าอัตรา TOU ซึ่งทางมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ได้ใช้อัตราการเสียค่าไฟฟ้าแบบ TOU

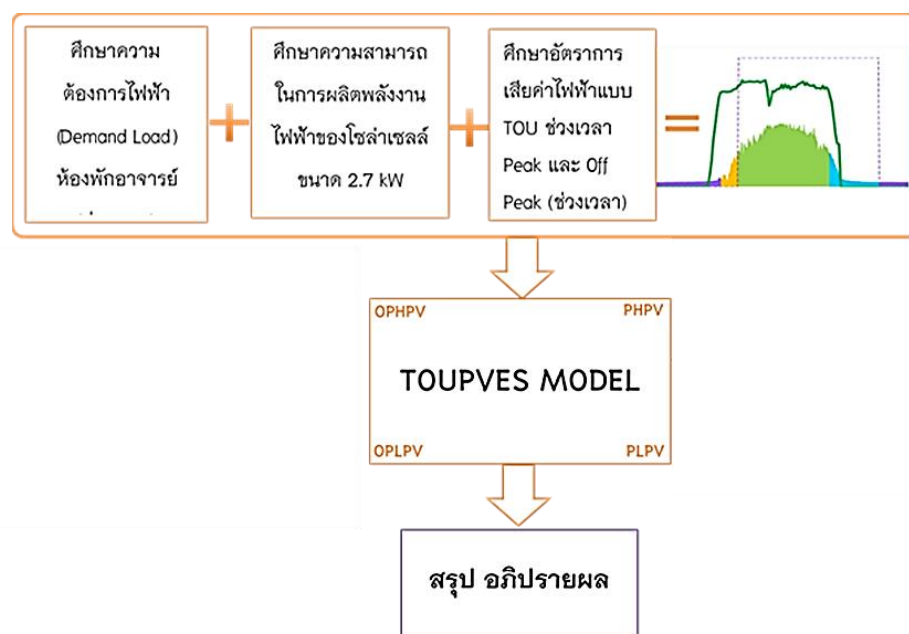
ประเภทที่ 4 และแบบจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมมาวิเคราะห์การประหยัดไฟฟ้าและการขายไฟฟ้า เพื่อเกิดประโยชน์กับมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร และหน่วยงานภาครัฐ ที่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าแบบเดียวกัน

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

สร้างแบบจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีก

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

กรอบแนวคิดการวิจัยแสดงดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 กรอบแนวคิดการวิจัย สร้างแบบจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีก

จากภาพที่ 4 สามารถแบ่งขั้นตอนการดำเนินการวิจัยได้ 4 ขั้นตอนดังนี้

1. ศึกษาความต้องการใช้ไฟฟ้าด้านโหลด (Demand Side: DS) ทำการเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าในห้องพักอาจารย์
2. ศึกษาความสามารถในการผลิตกำลังไฟฟ้าของโซลาร์เซลล์ (PV) ขนาด 2.7 kW ด้วยการวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง

3. ศึกษาการใช้ไฟฟ้าอัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาการใช้อัตรา TOU ของ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (PEA)
4. ออกแบบจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีก (TOUPVES model)

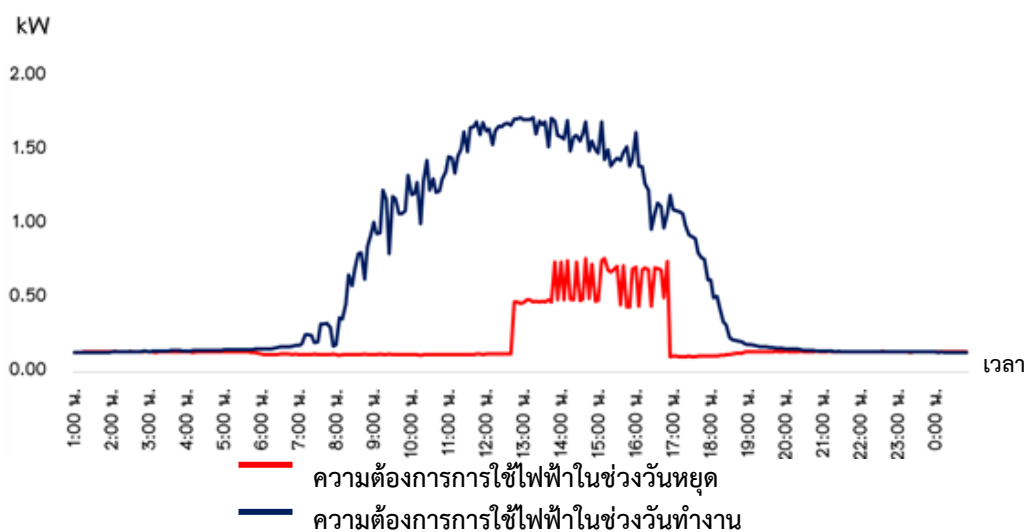
4. ผลการทดลอง

ผลการศึกษาขั้นตอนที่ 1 ความต้องการใช้ไฟฟ้าด้านโหลด (Demand side : DS) ทำการเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าในห้องพักอาจารย์ ในสวนพลังงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ห้องพักอาจารย์ในสวนพลังงานแสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ห้องพักอาจารย์ ในสวนพลังงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

เก็บข้อมูลกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า และวัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เฉลี่ยต่อวันเพื่อดูแนวโน้มการใช้พลังงานไฟฟ้าด้านโหลด (Demand Side) อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า ได้แก่ เครื่องปรับอากาศ ขนาด 18000 btu 1.55 kW 1 เครื่อง ทีวีขนาด 43 นิ้ว 0.13 kW 1 เครื่อง จอคอมพิวเตอร์ 0.06 kW 1 เครื่อง พัดลม 0.05 kW 1 เครื่อง โน้ตบุ๊ก 0.09 kW 2 เครื่อง หลอดฟลูออเรสเซนต์ 18 W 0.018 kW 4 หลอด ตู้เย็น 6.5 คิว 0.08 kW 1 เครื่อง เครื่องกรองน้ำ 0.02 kW 1 เครื่อง กำลังไฟฟ้ารวม 2.142 kW ผลการวัดค่าพลังงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าแสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 การใช้พลังงานไฟฟ้าห้องพักอาจารย์สวนพลังงาน

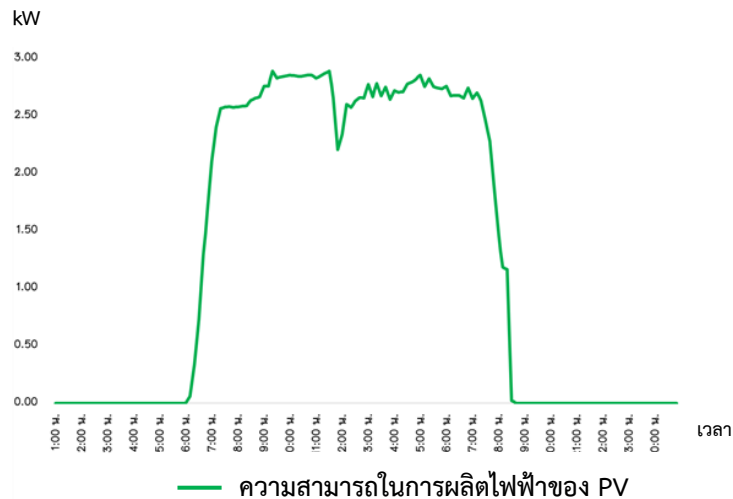
จากภาพที่ 6 แสดงแผนภูมิการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง วันทำงาน ใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อวัน 0.64 kWh ช่วงความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด (Demand side) ตั้งแต่ เวลา 11.00 น. ถึง 16.00 น. ค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 1.589 kWh กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้สูงสุด (Load peak) เวลา 13.15 น. กำลังไฟฟ้า 1.72 kW วันหยุด ใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อวัน 0.21 kWh ช่วงความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด (Demand side) ตั้งแต่ เวลา 12.30 น. ถึง 16.30 น. ค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 0.548 kWh กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้สูงสุด (Load peak) เวลา 14.40 น. กำลังไฟฟ้า 0.77 kW

ผลการศึกษาระดับตอนที่ 2 ความสามารถในการผลิตกำลังไฟฟ้าของโซลาร์เซลล์ (PV) ขนาด 2.7 kW ด้วยการวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง PV แบบ Mono half cell ขนาด 540 W แรงดัน Open circuit 49.53 V กระแส Short circuit current 13.85A จำนวน 5 แผง ต่ออนุกรม ขนาด 2.7 kW แสดงการติดตั้งดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 PV Mono half cell ขนาด 540 W ต่ออนุกรม ขนาด 2.7 kW ในสวนพลังงาน

ข้อมูลความสามารถการผลิตไฟฟ้าของ PV แสดงดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV

จากภาพที่ 8 กราฟแสดงการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV ขนาด 2.7 kW เริ่มผลิตกำลังไฟฟ้าตั้งแต่ดวงอาทิตย์ขึ้น เวลา 6.30 น. และเริ่มสูงขึ้นตั้งแต่เวลา 07.30 น. ถึง 17.30 น. อาทิตย์ ตกเวลา 18.30 น. ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ผลิตได้ 2.89 kW ในเวลา 11.30 น. และค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ของ PV เฉลี่ย 1.29 kWh

ผลการศึกษาค้นตอนที่ 3 การใช้ไฟฟ้าอัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาการใช้อัตรา TOU ของ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (PEA) ได้กำหนดอัตราค่าไฟฟ้า TOU ตามรูปแบบของการใช้ไฟฟ้าซึ่งมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร อยู่ในประเภทที่ 4

อัตราค่าไฟฟ้าคิดจากการแบ่งเวลาในแต่ละวันของสัปดาห์ออกเป็น 3 ช่วงตามอัตรา TOU คือ

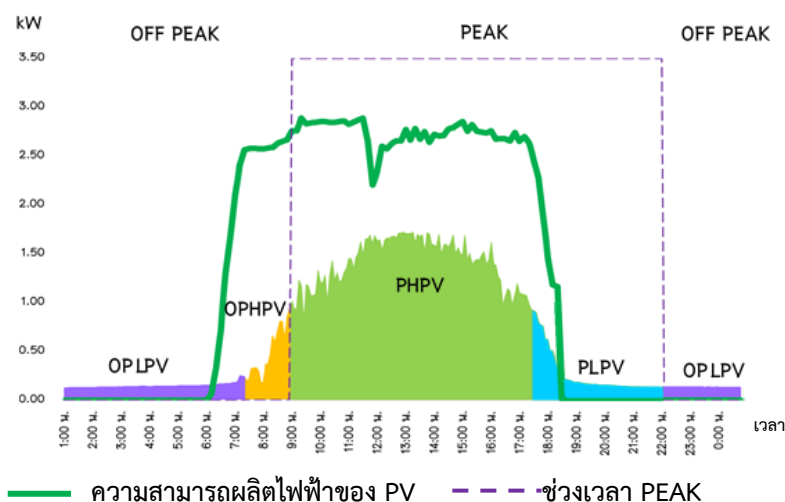
ช่วง P (PEAK) ระหว่างเวลา 9.00 - 22.00 น. วันจันทร์ถึงวันศุกร์ที่ และวันพืชมงคล ค่าไฟฟ้า ต่อหน่วย 4.1839 บาท

ช่วง OP (OFF PEAK) ระหว่างเวลา 22.00 - 9.00 น. วันจันทร์ถึงวันศุกร์ และวันพืชมงคล ค่าไฟฟ้า ต่อหน่วย 2.6037 บาท

ช่วง H (HOLIDAYS) หรือ วันหยุด ระหว่างเวลา 0.00 - 24.00 น. ของวันเสาร์ วันอาทิตย์ และวันแรงงานแห่งชาติ, วันพืชมงคลที่ตรงกับวันเสาร์ – อาทิตย์ และวันหยุดราชการตามปกติ (ไม่รวมวันหยุดชดเชย) ค่าไฟฟ้า ต่อหน่วย 2.6037 บาท

ผลการออกแบบขั้นตอนที่ 4 แบบจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีก (TOUPVES model) เป็นการจัดการด้านไฟฟ้าการตอบสนองด้านโหลด (DR management) ด้วยการบริหารจัดการการใช้ไฟฟ้า ในช่วงอัตราค่าไฟฟ้า TOU ที่สอดคล้องกับ

ความสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV เพื่อนำพลังงานมาเก็บ (ES) ช่วงเวลาของการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV ผู้วิจัยเรียกูปแบบการจำลอง นี้ว่า TOUPVES การแบบจำลองการแสดงดังภาพที่ 9

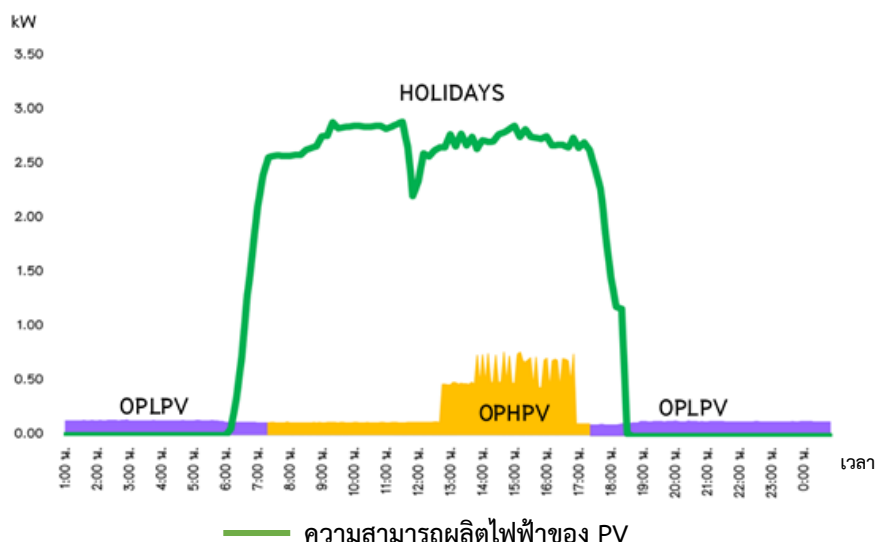


ภาพที่ 9 ความสามารถในการผลิตไฟฟ้าของ PV กับ อัตรา TOU
เทียบกับการใช้ไฟฟ้าห้องพักอาจารย์ช่วงวันทำงาน

ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV กับอัตราค่าไฟฟ้าในช่วงเวลา TOU ซึ่งสามารถแบ่งช่วงการใช้พลังงานไฟฟ้าเครื่องใช้ไฟฟ้า ออกเป็น 4 ช่วง เวลาดังนี้

1. OPLPV ช่วงเวลา Off-Peak อัตราค่าไฟฟ้าต่ำ 2.6037 บาทต่อหน่วย ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV ต่ำ แบ่งออกเป็น 2 ช่วงเวลา ตั้งแต่เวลา 01.01 น. ถึง 07.30 น. และเวลา 22.01 น. ถึง 01.00 น. รวมระยะเวลา 9 ชั่วโมง 30 นาที
2. OPHPV ช่วงเวลา Off-Peak อัตราค่าไฟฟ้าต่ำ 2.6037 บาทต่อหน่วย ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV สูง เริ่ม ตั้งแต่เวลา 07.31 น. ถึง 09.00 น. รวมระยะเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที
3. PHPV ช่วงเวลา Peak อัตราค่าไฟฟ้าสูง 4.1839 บาทต่อหน่วย ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV สูง เริ่ม ตั้งแต่เวลา 09.01 น. ถึง 17.30 น. รวมระยะเวลา 8 ชั่วโมง 30 นาที
4. PHPV ช่วงเวลา Peak อัตราค่าไฟฟ้าสูง 4.1839 บาทต่อหน่วย ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV ต่ำ เริ่ม ตั้งแต่เวลา 17.31 น. ถึง 22.00 น. รวมระยะเวลา 4 ชั่วโมง 30 นาที

ผลการวิเคราะห์ภาพรวมของช่วงวันหยุดแสดงดัง ภาพที่ 10



ภาพที่ 10 ความสามารถในการผลิตไฟฟ้าของ PV กับ อัตรา TOU
เทียบกับการใช้ไฟฟ้าห้องพักอาจารย์ช่วง วันหยุด

ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV กับอัตราค่าไฟฟ้า TOU ซึ่งสามารถแบ่งช่วงการใช้พลังงานไฟฟ้าเครื่องใช้ไฟฟ้าได้เพียง 2 ช่วงเวลาดังนี้

1. OPLPV ช่วงเวลา Off-Peak อัตราค่าไฟฟ้าต่ำ 2.6037 บาทต่อหน่วย ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV ต่ำ แบ่งออกเป็น 2 ช่วงเวลา ตั้งแต่เวลา 01.00 น. ถึง 07.30 น. และเวลา 17.31 น. ถึง 10.00 น. รวมระยะเวลา 14 ชั่วโมง

2. OPHPV ช่วงเวลา Off-Peak อัตราค่าไฟฟ้าต่ำ 2.6037 บาทต่อหน่วย ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV สูง เริ่ม ตั้งแต่เวลา 07.31 น. ถึง 17.30 น. รวมระยะเวลา 10 ชั่วโมง

จากนั้นนำข้อมูลการใช้ไฟฟ้าและการกักเก็บไฟฟ้า จากช่วงเวลา TOU และ ความสามารถผลิตไฟฟ้าของ PV มาทำการวิเคราะห์ความเหมาะสม โดยใช้เกณฑ์การตัดสินใจ ได้แก่

1. **ความมั่นคงด้านพลังงาน (Energy security)** คือการกักเก็บพลังงานให้ใช้ไฟฟ้าได้อย่างเพียงพอทั้งในปัจจุบันและกักเก็บไว้ใช้ในอนาคต หรือใช้ในช่วงวิกฤต เงื่อนไขกักเก็บช่วง Off-Peak or ช่วงที่โซลาร์เซลล์สามารถผลิตไฟฟ้า (High PV) และไม่มีการใช้ไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ No discharge

2. **เลื่อนเวลาการใช้ไฟฟ้า (Load shifting)** คือการเลื่อนการใช้ไฟฟ้าจากช่วง Peak มาสู่ Off-Peak โดยผู้ใช้ไฟฟ้า (ข้อมูลจาก EGAT) เงื่อนไขใช้ไฟฟ้า ช่วง Off-peak

3. การซื้อไฟฟ้าถูกขายไฟฟ้าแพง (Buy low, Sell high) คือการกักเก็บไฟฟ้าไว้ขายในช่วงเวลา Off peak และนำมาขายในช่วงราคาไฟฟ้าแพง Peak เงื่อนไขกักเก็บช่วง Off-peak หรือช่วงที่โซล่าเซลล์สามารถผลิตไฟฟ้า HPV ขายไฟฟ้าช่วง Peak

ได้ TOUPVES model ในวันทำงาน ดังนี้

OPLPV ช่วงเวลา Off-Peak อัตราค่าไฟฟ้าต่ำ 2.6037 บาทต่อหน่วย ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV เฉลี่ย 0.332 kWh เริ่มตั้งแต่เวลา 01.01 น. ถึง 07.30 น. และ เวลา 22.01 น. ถึง 01.00 น. รวมระยะเวลา 9 ชั่วโมง 30 นาที เครื่องใช้ไฟฟ้าใช้พลังงานไฟฟ้า เฉลี่ย 0.287 kWh เครื่องใช้ไฟฟ้าห้องพักอาจารย์ใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้า และไม่กักเก็บไฟฟ้า (ไม่ชาร์จแบตเตอรี่)

OPHPV ช่วงเวลา Off-Peak อัตราค่าไฟฟ้าต่ำ 2.6037 บาทต่อหน่วย ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV เฉลี่ย 2.621 kWh เริ่มตั้งแต่เวลา 07.30 น. ถึง 09.00 น. รวมระยะเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที เครื่องใช้ไฟฟ้าใช้พลังงานไฟฟ้า เฉลี่ย 0.544 kWh เครื่องใช้ไฟฟ้าห้องพักอาจารย์ใช้ไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์และหากโซล่าเซลล์ไม่พอกรณีไม่มีแดดจะใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้าแทน และแบตเตอรี่ชาร์จไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์ และขายไฟฟ้าได้ในอัตราค่าไฟฟ้าต่ำ 2.6037 บาทต่อหน่วย หากโซล่าเซลล์มีความสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าค่ามากกว่า 0.5 kWh

PHPV ช่วงเวลา Peak อัตราค่าไฟฟ้าสูง 4.1839 บาทต่อหน่วย ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV เฉลี่ย 2.732 kWh เริ่มตั้งแต่เวลา 09.01 น. ถึง 17.30 น. รวมระยะเวลา 8 ชั่วโมง 30 นาที โดยที่เครื่องใช้ไฟฟ้าใช้พลังงานไฟฟ้า เฉลี่ย 1.412 kWh เครื่องใช้ไฟฟ้าห้องพักอาจารย์ใช้ไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์ และ แบตเตอรี่ชาร์จไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์ และเป็นช่วงเวลาของการขายไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์ อัตราค่าไฟฟ้า 4.1839 บาทต่อหน่วย หากโซล่าเซลล์มีความสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าค่ามากกว่า 0.5 kWh

PLPV ช่วงเวลา Off-Peak อัตราค่าไฟฟ้าสูง 4.1839 บาทต่อหน่วย ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV เฉลี่ย 0.325 kWh เริ่มตั้งแต่เวลา 17.31 น. ถึง 22.00 น. รวมระยะเวลา 4 ชั่วโมง 30 นาที โดยที่เครื่องใช้ไฟฟ้าใช้พลังงานไฟฟ้า เฉลี่ย 0.252 kWh เครื่องใช้ไฟฟ้าห้องพักอาจารย์ใช้ไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ พร้อมกับขายไฟฟ้าจากแบตเตอรี่หากแบตเตอรี่มีพลังงานไฟฟ้ามากกว่า 1 kWh

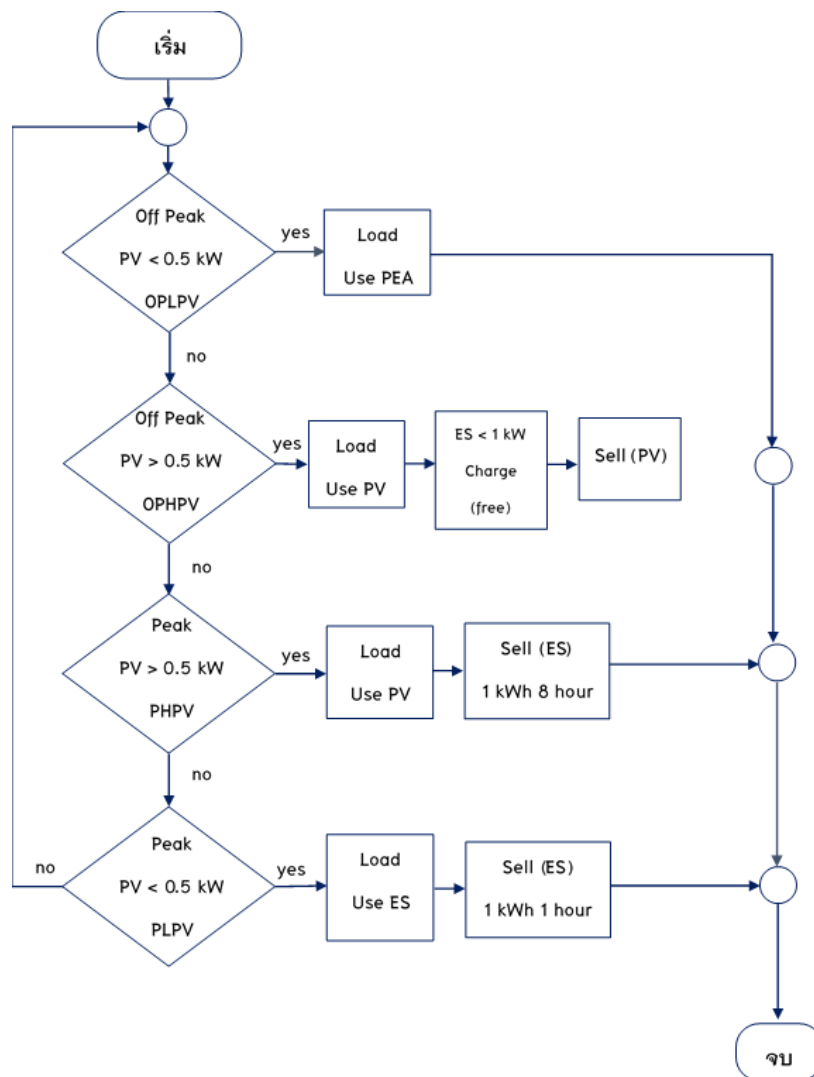
TOUPVES model ในวันหยุด ดังนี้

OPLPV ช่วงเวลา Off-Peak อัตราค่าไฟฟ้าต่ำ 2.6037 บาทต่อหน่วย ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV เฉลี่ย 0.263 kWh เริ่มตั้งแต่เวลา 01.00 น. ถึง 07.30 น. และ เวลา 17.31 น. ถึง 10.00 น. รวมระยะเวลา 14 ชั่วโมง เครื่องใช้ไฟฟ้าใช้พลังงานไฟฟ้า เฉลี่ย 0.287 kWh เครื่องใช้ไฟฟ้าห้องพักอาจารย์ใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้า และไม่กักเก็บไฟฟ้า (ไม่ชาร์จแบตเตอรี่)

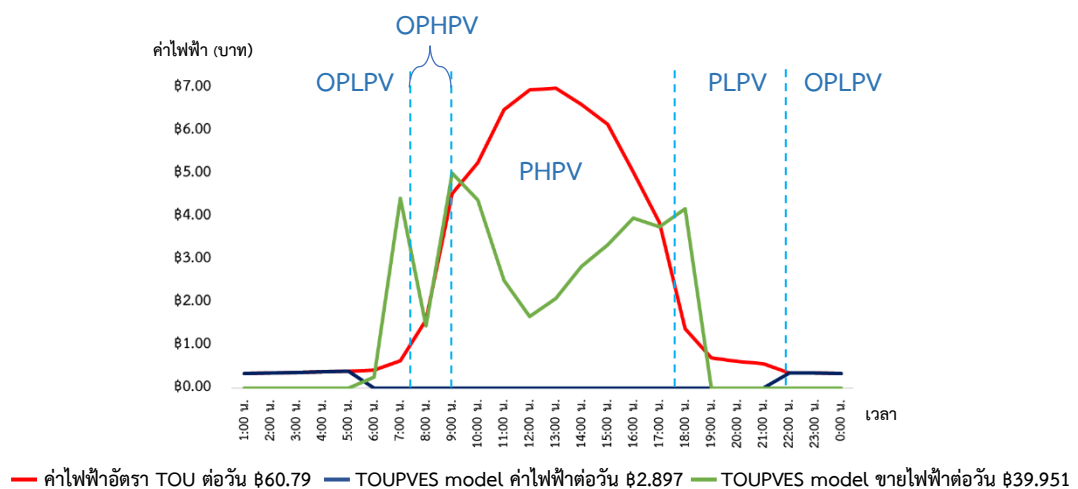
OPHPV ช่วงเวลา Off-Peak อัตราค่าไฟฟ้าต่ำ 2.6037 บาทต่อหน่วย ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV เฉลี่ย 2.715 kWh เริ่มตั้งแต่เวลา 07.31 น. ถึง 17.30 น. รวมระยะเวลา 10 ชั่วโมง เครื่องใช้ไฟฟ้าใช้พลังงานไฟฟ้า เฉลี่ย 0.311 kWh เครื่องใช้ไฟฟ้าห้องพักอาจารย์ใช้ไฟฟ้าจาก PV ถ้า มีค่ามากกว่า 0.5 kWh และแบตเตอรี่ชาร์จไฟฟ้าจาก PV และขายไฟฟ้าได้ในอัตราค่าไฟฟ้าต่ำ 2.6037 บาทต่อหน่วย

สร้าง Algorithm ของ TOUPVES model เปลี่ยน HPV และ LPV ให้เป็นค่าของตัวเลขตามประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์ 540W MONO BQ SOLAR 5 20% ซึ่งจากการทดลองจากขั้นตอนที่ 1 พบว่า โซลาร์เซลล์สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด เท่ากับ 2.89 kW ดังนั้นเงื่อนไขของคำว่า HPV จะหมายถึงว่า $PV > 20\%$ นั้นหมายความว่า $PV > 0.5$ kW ส่วน LPV หมายถึง $PV < 0.5$ kW และในส่วนของการกักเก็บพลังงาน ES ของแบตเตอรี่ ถึงแม้ผู้วิจัยจะใช้แบตเตอรี่ Huawei LUNA 2000 Battery smart kit 5 kW (DOD 100%) ซึ่งเป็นแบตเตอรี่ ชนิด Lithium Iron Phosphate (LFP) มีค่า DOD 100% เพื่อเป็นการป้องกันระบบและยืดอายุการทำงานของ แบตเตอรี่ ผู้วิจัยจึงกำหนดให้ แบตเตอรี่ที่ถูกใช้งานไม่ต่ำกว่า 40% ของค่าสูงสุดของ แบตเตอรี่คือ 1 kW นั้นหมายความว่า $ES < 1$ kW, $ES > 1$ kW) ตามเงื่อนไข ซึ่งแสดง Algorithm ของ TOUPVES model ดังภาพที่ 11

จาก Algorithm TOUPVES model มาวิเคราะห์ผล การเสียค่าไฟฟ้าแบบอัตรา TOU ปกติ และการเสียค่าไฟฟ้าเมื่อผ่าน TOUPVES model และ ความสามารถในการขายไฟฟ้าต่อวัน วันทำงานแสดงดังภาพที่ 12 และ วันหยุด แสดงดังภาพที่ 13



ภาพที่ 11 Algorithm ของ TOUPVES model



ภาพที่ 12 กราฟเปรียบเทียบการเสียค่าไฟฟ้าอัตรา TOU ปกติ และการเสียค่าไฟฟ้าและขายไฟฟ้า
เมื่อผ่าน TOUPVES model ของวันทำงาน

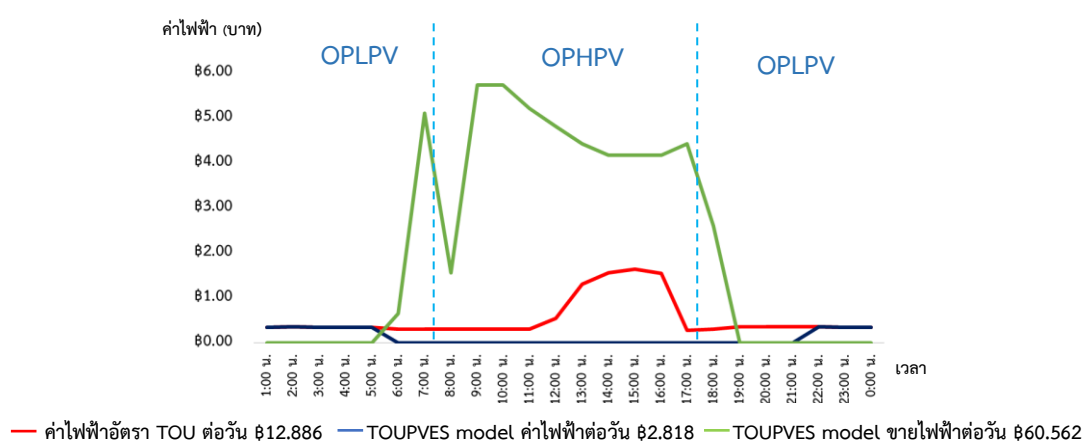
จากภาพที่ 12 เสียค่าไฟฟ้าอัตรา TOU ต่อวัน 60.79 บาท ตามเส้นกราฟสีแดงเปรียบเทียบกับ การเสียค่าไฟฟ้าและขายไฟฟ้าโดยพิจารณาแต่ละช่วงเวลาของ TOUPVES model ของวันทำงาน ดังนี้

1. OPLPV ช่วงเวลา Off-peak อัตราค่าไฟฟ้าต่ำ 2.6037 บาทต่อหน่วย ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV ต่ำ แบ่งออกเป็น 2 ช่วงเวลา ตั้งแต่เวลา 01.01 น. ถึง 07.30 น. และ เวลา 22.01 น. ถึง 01.00 น. Load ใช้ไฟฟ้าจาก PEA ดังนั้นช่วงนี้จึงเสียค่าไฟฟ้าตามเส้นกราฟสีน้ำเงิน รวมเสียค่าไฟฟ้าในช่วงนี้ต่อวัน 2.897 บาท Load จะใช้ไฟฟ้าจาก PV และ สามารถขายไฟฟ้าได้ ถ้า PV มากกว่า 0.5 kWh

2. OPHPV ช่วงเวลา Off-peak อัตราค่าไฟฟ้าต่ำ 2.6037 บาทต่อหน่วย ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV สูง เริ่ม ตั้งแต่เวลา 07.31 น. ถึง 09.00 น. Load ใช้ไฟฟ้าจาก PV หาก PV มีค่ามากกว่า 0.5 kWh PV จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน (ES) ช่วงนี้จะไม่มีการขายไฟฟ้าสังเกตจากรูปเส้นสีเขียวกราฟจะต่ำ

3. PHPV ช่วงเวลา Peak อัตราค่าไฟฟ้าสูง 4.1839 บาทต่อหน่วย ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV สูง เริ่ม ตั้งแต่เวลา 09.01 น. ถึง 17.30 น. Load ใช้ไฟฟ้าจาก PV กักเก็บพลังงานไว้ที่แบตเตอรี่ หาก PV ยังมีค่ามากกว่า 0.5 kW ก็นำพลังงานไฟฟ้าที่เหลือไปขาย

4. PLPV ช่วงเวลา Peak อัตราค่าไฟฟ้าสูง 4.1839 บาทต่อหน่วย ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV ต่ำ เริ่ม ตั้งแต่เวลา 17.31 น. ถึง 22.00 น. Load ใช้ไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ สามารถขายไฟฟ้าจาก PV ก่อนดวงอาทิตย์ตก โดยรวมสามารถขายไฟฟ้าต่อวันได้ 39.951 บาท



ภาพที่ 13 กราฟเปรียบเทียบการเสียค่าไฟฟ้าอัตรา TOU ปกติ และการเสียค่าไฟฟ้าและขายไฟฟ้าเมื่อผ่าน TOUPVES model ของวันหยุด

จากภาพที่ 13 พิจารณาตามช่วงเวลาของ TOUPVES model วันหยุด ดังนี้

1. OPLPV ช่วงเวลา Off-peak อัตราค่าไฟฟ้าต่ำ 2.6037 บาทต่อหน่วย ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV เฉลี่ย 0.263 kWh เริ่มตั้งแต่เวลา 01.00 น. ถึง 07.30 น. และ เวลา 17.31 น. ถึง 10.00 น. Load ใช้ไฟฟ้าจาก PEA ดังนั้นช่วงนี้จึงเสียค่าไฟฟ้าตามเส้นกราฟสีน้ำเงิน รวมการเสียค่าไฟฟ้าในช่วงนี้ต่อวัน 2.818 บาท แต่ช่วงดวงอาทิตย์ขึ้น เริ่ม เวลา 6.00 น. โดยประมาณ ถ้า PV มากกว่า 0.5 kWh Load จะใช้ไฟฟ้าจาก PV และ สามารถขายไฟฟ้าได้ในช่วงนี้

2. OPHPV ช่วงเวลา Off-peak อัตราค่าไฟฟ้าต่ำ 2.6037 บาทต่อหน่วย ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV เฉลี่ย 2.715 kWh เริ่มตั้งแต่เวลา 07.31 น. ถึง 17.30 น. Load ใช้ไฟฟ้าจาก PV หาก PV มีค่ามากกว่า 0.5 kWh PV จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน (ES) ช่วงนี้จะไม่มีการขายไฟฟ้าสังเกตจากกราฟเส้นสีเขียวกราฟจะต่ำ

โดยรวมสามารถขายไฟฟ้าต่อวันได้ 60.562 บาท การเสียค่าไฟฟ้าอัตรา TOU ต่อวัน 12.886 บาท ตามเส้นกราฟสีแดง

5. สรุปผลการวิจัย

จากปัญหาค่าไฟฟ้าที่สูงสาเหตุหลักมาจากค่า ft ที่สูงขึ้นปัจจัยหลักคือการผันผวนของสถานการณ์โลก ดังนั้นการพึ่งพาตนเองด้านพลังงานจึงมีความจำเป็นการผลิตพลังงานไฟฟ้าใช้ตัวเอง จากพลังทดแทนไม่ว่าจะเป็นพลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น การบริหารจัดการการนำไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนไปใช้จึงต้องมีแผนรองรับเช่น แผนแม่บทพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของประเทศไทยซึ่งขณะนี้ดำเนินงานแผนพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดอยู่ในระยะปานกลาง พ.ศ. 2565-2574 (สมาร์ทกริดไทยแลนด์, 2565) เป้าหมาย “ส่งเสริมให้เกิดการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานต่าง ๆ และการจัดการทรัพยากรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่จำเป็น รองรับการเปลี่ยนผ่านไปสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้ายุคใหม่อย่างมีประสิทธิภาพและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม” ดังนั้นแบบจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีก สวมพลังงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ได้ตอบสนองตามแผนโครงข่ายสมาร์ทกริดระยะปานกลางตามเสาหลักที่ 1 การตอบสนองด้านโหลด และระบบบริหารจัดการพลังงาน (DR & EMS) และ เสาหลักที่ 4 ระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) ถึงแม้จะมีการลงทุนสูงแต่ก็คุ้มค่าต่อการลงทุน ตัวอย่างสถาบันการศึกษาอย่างเช่นมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรเป็นหน่วยงานภาครัฐที่ใช้ไฟฟ้าสูงจะต้องปรับตัวให้ทันต่อวิกฤตดังกล่าวอีกทั้งยังเป็นสถานที่นําร่องเพื่อการศึกษาการจัดการพลังงานไฟฟ้าด้านผู้ใช้ (Demand respond) และบริหารจัดการด้วยระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2565) ผลพลอยได้ยังบรรเทาการเกิดกราฟรูปเป็ด (Duck curve) ไม่เป็นภาระในการใช้ไฟฟ้าหลักดวงอาทิตย์ตก ถึงแม้การลงทุนแบตเตอรี่ในปัจจุบันจะสูงแต่จากการวิเคราะห์ของธนาคารกรุงไทย (ธนาคารกรุงไทย, 2021)

ซึ่งเป็นธนาคารที่ให้เงินกู้สำหรับการลงทุนการติดตั้ง โซลาร์เซลล์บนหลังคา (Roof top) โดยอ้างอิงข้อมูลจาก Mordor intelligence (2564) Bloomberg NEF (2563) พุดถึงแบตเตอรี่ลิเทียม เป็นเทคโนโลยีของแบตเตอรี่ที่กำลังได้รับความนิยมมากที่สุดในปัจจุบัน เนื่องจากมีส่วนแบ่งตลาดที่ 27.5% ซึ่งมากที่สุดคาดว่าทั่วโลกมีแนวโน้มเติบโตถึง 20% ต่อปี ในช่วงปี 2563-2568 ตามกระแส Green economy สำหรับในไทย คาดว่ามีความต้องการแบตเตอรี่ลิเทียม เพิ่มขึ้นเช่นกันเฉลี่ยที่ 12% ต่อปี ในช่วงปี 2563-25682 ทั้งนี้ จากความต้องการแบตเตอรี่ลิเทียม ที่มีแนวโน้มเติบโต และกำลังได้รับความนิยมนานาชาติทำให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยีอย่างต่อเนื่อง ซึ่งรวมถึงการปรับเปลี่ยนวัตถุดิบให้ต้นทุนลดลง และการคิดค้นแบตเตอรี่ลิเทียม ประเภทใหม่ที่มีชื่อว่า “Solid state battery” ซึ่งคาดว่าจะมีความจุมากขึ้น และชาร์จไฟฟ้าได้เต็มเร็วขึ้น อีกทั้ง มีความทนทานต่อการใช้งานที่เพิ่มขึ้น และยังอ้างอิง European federation for transport & Environment ที่ประเมินว่าความจุของแบตเตอรี่ลิเทียม จะถูกพัฒนาจนความจุมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น 75%-100% ในระยะ 4-9 ปี ข้างหน้า นอกจากนี้ ตัวแบตเตอรี่จะมีอายุการใช้งานที่เพิ่มขึ้นด้วยจาก 10-15 ปี การเติบโตของการใช้แบตเตอรี่ลิเทียม จะหนุนให้ผู้ผลิตเพิ่มกำลังการผลิตมากขึ้น จนเกิดการประหยัดจากขนาด (Economy of scale) ทั้งหมดนี้ จะช่วยหนุนให้ต้นทุนการผลิตแบตเตอรี่ลิเทียม มีทิศทางลดลง 8.9% ต่อปี ในช่วงปี 2563-2573 และการที่ต้นทุนแบตเตอรี่ลดลง จะทำให้ราคาแบตเตอรี่ลิเทียม ลดตาม จะเห็นได้ว่าภายในไม่กี่ปีข้างหน้าแบตเตอรี่มีราคาถูกลงการติดตั้งแบตเตอรี่เพื่อกักเก็บพลังงานไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์มาบริหารจัดการทั้งนำพลังงานไฟฟ้ามาใช้และนำไปขายโดยเฉพาะตามหลักของแบบจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีก (TOUPVES model) จะเป็นตัวแบบที่สามารถตอบโจทย์ให้ผู้ผลิตไฟฟ้ามาเป็นผู้ขายไฟฟ้า (Prosumers) กักเก็บพลังงานที่เชื่อมต่อด้านหลังมิเตอร์ (Behind the meter: BTM) ของลูกค้าภาคครัวเรือน (Residential) ภาคธุรกิจและอุตสาหกรรม (Commercial and Industrial, C&I) เพื่อช่วยลดค่าใช้จ่ายเป็นหลักโดยลดการใช้พลังงานในช่วงที่มีความต้องการสูงและเพิ่มการใช้พลังงานที่ผลิต ได้ด้วยตนเอง (Self-consumption) ตอบโจทย์ตามเงื่อนไขด้านความมั่นคงพลังงาน (Energy security) ด้านเลื่อนเวลาการใช้ไฟฟ้า (Load shifting) และ ด้านการซื้อขายไฟฟ้า ซื้อถูกขายแพง (Buy low, Sell high)

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณผู้บริหาร เจ้าหน้าที่ ของมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรที่สนับสนุนและให้ข้อมูลเกี่ยวกับการใช้ไฟฟ้าในมหาวิทยาลัยขอขอบคุณเพื่อนร่วมงาน อาจารย์ เจ้าหน้าที่และนักศึกษาที่ช่วยในการเก็บข้อมูล และสุดท้ายอาจารย์ที่ปรึกษาและอาจารย์ประจำหลักสูตรสาขาวิชาการจัดการพลังงานและสมรรถกิริตเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยพะเยาที่ให้คำแนะนำทั้งองค์ความรู้และแนวทางการดำเนินการวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

- กระทรวงพลังงาน. (2555). **การบริหารจัดการอาคารด้วยระบบ Building Automation System (BAS) เพื่อการประหยัดพลังงาน**. ค้นจาก <http://www.energysavingmedia.com/news/page.php>
- กระทรวงพลังงาน. (2557). **Solar power**. In the Encyclopedia of Alternative Energy. ค้นจาก <https://ienergyguru.com/2015/02/พลังงานแสงอาทิตย์>
- กระทรวงพลังงาน. (2558). เป้าหมายของการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในช่วง 3 ระยะ. **แผนแม่บทการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของประเทศไทย พ.ศ. 2558-2579**, 29-35.
- กระทรวงพลังงาน. (2565). **คู่มือโครงการพัฒนาแผนการขับเคลื่อนการดำเนินงานด้านสมรรถนะของประเทศไทย ระยะปานกลาง พ.ศ. 2565-2574**. ค้นจาก <https://thai-smartgrid.com>
- กระทรวงพลังงาน (2565). **แผนการขับเคลื่อนการดำเนินงานด้านสมรรถนะของประเทศไทยระยะปานกลาง พ.ศ. 2565- 2574**, 43- 45. ค้นจาก <https://www.eppo.go.th/index.php/th/eppo-intranet/item/17705-news-210165>
- กองอัตรากำลังและธุรกิจไฟฟ้าการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. (2566). **ชี้แจงค่า Ft สำหรับเรียกเก็บจากผู้บริโภคไฟฟ้าในใบเรียกเก็บเงินค่าไฟฟ้า**. ค้นจาก <https://www.pea.co.th>.
- การไฟฟ้าฝ่ายผลิต. (2565). ตัวอย่างเทคโนโลยีการติดตั้งโซลาร์เซลล์ในปัจจุบัน “Peer-to-Peer Energy Trading” แพลตฟอร์มซื้อขายพลังงานไฟฟ้าแห่งอนาคต. ค้นจาก <https://www.egat.co.th/home/20220916-art01/>
- ไกรพัฒน์ จินขจร. (2550). **พลังงานหมุนเวียน**. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- ธนาคารกรุงไทย. (2021). **วิเคราะห์ธุรกิจแบตเตอรี่ Lithium-ion**. ค้นจาก <https://thaipublica.org/2021/05/krungthai-compass28/>
- ไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2554). **โครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart Grid)**. ค้นจาก <http://www.ee.eng.chula.ac.th/smartgrids/index.php/smart-grids/80--smart-grids/smart-grid-doc/72>
- ยอดธง เม่นสิน, นิพนธ์ เกตุจ้อย, วิสุทธิ์ แซ่มสะอาด, ธวัช สุริวงษ์, พรทิพย์ เม่นสิน, มานินี แก้วปัญหา, พชรินทร์ เขียวรัตน์, และประพิศารีย์ ธนารักษ์. (2565). เทคโนโลยีสมรรถนะกับการเปลี่ยนผ่านพลังงานไปสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน. **วารสารนวัตกรรมการเรียนรู้และเทคโนโลยี**, 2(2), 10-26.
- วัชร มั่งวิฑิตกุล. (2550). **กระบวนการและเทคนิคการลดค่าใช้จ่ายพลังงาน สำหรับอาคารและโรงงานอุตสาหกรรม (พิมพ์ครั้งที่ 3)**. กรุงเทพฯ: บริษัท เรียล ยู พาวเวอร์ จำกัด.

- สมพล โคศรี. (2554). ระบบควบคุมและจัดการพลังงานสมาร์ตกริดสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าแบบแยกเดี่ยวจากพลังงานทดแทน. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี.
- EhsanReihani. (2014). Energy management at the distribution grid using a battery Energy Storage System (BESS). **Electrical Power and Energy Systems**, 337-344.
- Jason, S. (2023). **Best Solar Inverters 2023**. ค้นจาก <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/best-grid-connect-solar-inverters-sma-fronius-solaredge-abb>.
- Jason, S. (2023). **Most Efficient Solar Panels 2023**. Clean energy reviews. ค้นจาก <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/most-efficient-solar-panels>.
- Yubo, W. (2016). Energy management for a commercial building microgrid with stationary and mobile battery storage. **Energy and Buildings**, 141-150.