

การสร้างแบบจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้า  
ปรีก สอนพลังงานมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร



นิวัติ คลังสีดา

วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาการจัดการพลังงานและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี

มิถุนายน 2566

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

การสร้างแบบจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีก สวณพลังงาน  
มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร



นิวัตี คลังสีดา

วิทยานิพนธ์เสนอมหาวิทยาลัยพะเยา เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาการจัดการพลังงานและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี

มิถุนายน 2566

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยพะเยา

MODEL OF BATTERY BANK MANAGEMENT FOR DISTRIBUTION RETAIL AT ENERGY PARK  
KAMPHAENGPHEET RAJABHAT UNIVERSITY



A Dissertation Submitted to University of Phayao  
in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Doctor of Philosophy Degree in Energy Management and Smart Grid Technology  
June 2023

Copyright 2023 by University of Phayao

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การสร้างแบบจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีก สวณพลังงาน  
มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

ของ นวัตกรรม คลังสินค้า

ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา

หลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการพลังงานและสมรรถกิริตเทคโนโลยี

ของมหาวิทยาลัยพะเยา

..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ประพิศาริ ธนารักษ์)

..... ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วชิระ วงศ์ปัญญา)

..... กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์  
(รองศาสตราจารย์ ดร. วัฒนพงศ์ รัชวิเชียร)

..... กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์  
(ดร. บุญวัฒน์ วิจารย์พล)

..... อาจารย์บัณฑิตศึกษามหาวิทยาลัยพะเยา  
(ดร. ประเมษฐ์ สิทธิสันต์)

..... ผู้ทรงคุณวุฒิ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ฐิติพร เจาะจง)

..... คณบดีคณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ต่อพงศ์ กวีธาชาติ)

<b>เรื่อง:</b>	การสร้างแบบจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีก สวนพลังงานมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
<b>ผู้วิจัย:</b>	นิวัติ คลั่งลีดา, วิทยานิพนธ์: ปร.ด. (การจัดการพลังงานและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี), มหาวิทยาลัยพะเยา, 2566
<b>อาจารย์ที่ปรึกษา:</b>	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วัชระ วงศ์ปัญญา อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รองศาสตราจารย์ ดร. วัฒนพงศ์ รัชนีวิเชียร ดร.บุญวัฒน์ วิจารณ์ผล
<b>คำสำคัญ:</b>	ระบบการจัดการแบตเตอรี่, อัตราตามช่วงเวลาของการไฟฟ้า, ความมั่นคงด้านพลังงาน, เวลารวมการใช้ไฟฟ้า, ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์

### บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างแบบจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีกและเพื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ เนื่องจากปัญหาความต้องการการใช้ปริมาณไฟฟ้าที่สูงขึ้นภายในสวนพลังงาน จึงเป็นภาระการเสียค่าไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดการลดค่าไฟฟ้าและขายไฟฟ้าเพื่อแบ่งเบาภาระให้กับมหาวิทยาลัยฯ ด้วยการสร้างแบบจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีกเรียกว่า “TOUPVES model” ดำเนินการหาความต้องการใช้ไฟฟ้าด้านโหลดห้องพักอาจารย์ในสวนพลังงาน ทดสอบความสามารถในการผลิตกำลังไฟฟ้าของ PV ขนาด 2.7 kW วิเคราะห์อัตราค่าไฟฟ้า TOU และนำมาออกแบบจำลอง TOUPVES model และทดสอบด้วยเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ และวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ ผลการวิจัยพบว่า TOUPVES model เป็นแบบจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีก ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ พบว่า คืนทุนของโครงการในปีที่ 8 อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน 6.34 มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ 380,336.62 บาท อัตราส่วนผลตอบแทนภายในโครงการ 15.83% มีค่าสูงกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินลงทุน 6.6% จะเห็นว่า TOUPVES model มีความคุ้มค่าต่อการลงทุน นอกจากนี้ราคาแบตเตอรี่ในอนาคตมีแนวโน้มลดลงดังนั้น TOUPVES model จึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำหรับผู้บริโภคไฟฟ้าที่สามารถผลิตไฟฟ้ากักเก็บไฟฟ้าไว้ขายด้านหลักมิเตอร์ (Behind the meter: BTM) ผู้ผลิตและจำหน่าย (Prosumer) กำหนดราคาขายให้กับลูกค้าภาคครัวเรือนหรือระหว่างองค์กรโดยคำนึงถึงต้นทุนการติดตั้งและผลกำไร การจัดการด้านการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้า (Demand Side Management, DSM) ประหยัดพลังงาน (Energy conservation : EC) ใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ (Energy Efficiency: EE) ตอบสนองด้านโหลดเป็นการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า (Demand response : DR)

**Title:** MODEL OF BATTERY BANK MANAGEMENT FOR DISTRIBUTION RETAIL AT ENERGY PARK  
KAMPHAENGPHEH RAJABHAT UNIVERSITY

**Author:** NIVADEE KLUNGSIDA, Dissertation: Ph.D. (Energy Management and Smart Grid Technology),  
University of Phayao, 2023

**Advisor:** Assistant Professor Dr. watchara wongpanyo Co–advisor Associate Professor Dr.Wattanapong  
Rakwichian Dr.Bunyawat Vichanpol

**Keywords:** Battery management system (BMS), Time of Use Rate (TOU), Energy Security, Load shifting,  
Economical value

### ABSTRACT

The purpose of this research is to create a model of Battery bank management for distribution retail at energy park (TOUPVES model) and analyze the economic feasibility of the model. The problem of increasing electricity demand within the energy park has become a burden on the electricity bill of Kamphaeng Phet Rajabhat University. The researcher has studied energy management to create value by using solar cells combined with batteries to save electricity and sell retail electricity. The idea to creating the model of battery bank management for distribution retail at energy called the "TOUPVES model". The study conducted an analysis of the electricity demand for faculty housing in the energy park, tested the electricity production capacity of a 2.7 kW PV, analyzed TOU electricity rates, designed and tested the TOUPVES model using decision tree techniques, and analyzed the economic feasibility. The economic analysis shows that the TOUPVES model is a worthwhile investment as it has a payback period of 8 years, a return on investment ratio of 6.34, and a net present value of 380,336.62 baht. The internal rate of return of 15.83% is higher than the capital cost interest rate of 6.6%. This indicates that the TOUPVES model is a cost-effective investment. With the trend of decreasing battery prices in the future, the TOUPVES model is 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).

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จขึ้นตามความตั้งใจของผู้เขียนได้ เนื่องจากความเมตตาและกรุณาของอาจารย์ที่ปรึกษาที่มีพระคุณทั้งสองท่าน ท่านแรกขอกราบขอบพระคุณในความเมตตาเป็นอย่างสูงจากท่านอาจารย์ รองศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒนพงศ์ รัักษ์วิเชียร ที่ท่านได้ให้ความอนุเคราะห์ในการรับเป็นที่ปรึกษาที่ได้ให้ข้อเสนอแนะในการหาหัวข้อวิทยานิพนธ์และแนวทางการเขียนวิทยานิพนธ์ รวมทั้งคอยกำกับติดตามดูแล และให้คำแนะนำการเขียนวิทยานิพนธ์จนสำเร็จ อีกทั้งท่านกราบขอบพระคุณท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัชรระ วงศ์ปัญญา ที่กรุณาเป็นที่ปรึกษาและเสียสละเวลาอันมีค่าในการให้คำที่ปรึกษาเกี่ยวกับแนวคิดในการทำวิทยานิพนธ์ ตรวจสอบความเรียบร้อยและข้อเสนอแนะในการแก้ไขความถูกต้องตามหลักวิชาการ ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ ดร.บุญวัฒน์ วิจารณ์พล ที่คอยให้คำแนะนำในทุกๆ ปัญหาคอยแนะนำการทำวิทยานิพนธ์ สนับสนุนข้อมูลในการทำวิทยานิพนธ์รวมถึงช่วยแก้ไขปัญหาในการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณอาจารย์ในสาขาวิชาทุกท่านที่ให้ข้อเสนอแนะและช่วยแก้ไขปัญหาในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จในทุก ๆ ด้าน ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ ในสาขาวิชาทุกท่านที่คอยสนับสนุนและประสานงานในการทำวิทยานิพนธ์และขอบคุณพี่น้องทุกรุ่น ทุกท่าน ที่ช่วยเป็นกำลังใจคอยสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์และการเรียนเสมอมา สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดาและญาติพี่น้องทุกท่านเป็นอย่างสูงที่คอยสนับสนุนการเรียนและคอยให้กำลังใจในวันที่ท้อแท้จนสามารถผ่านพ้นอุปสรรคต่าง ๆ มาได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณครูบาอาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ทั้งปวงให้กับผู้เขียน

นิวัติ คลังสีดา

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย .....	5
ขอบเขตของการวิจัย .....	5
กรอบแนวคิดการวิจัย .....	5
ประโยชน์ที่จะได้รับจากการวิจัย.....	6
นิยามคำศัพท์เฉพาะ.....	7
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) .....	8
หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ .....	8
ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์.....	10
แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Modules).....	13
ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์.....	13
ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังต่อไปนี้.....	14
อุปกรณ์สำหรับติดตั้งโซลาร์เซลล์ .....	15
ระบบโซลาร์เซลล์ .....	16

ขยายการทดสอบ สร้างความมั่นใจในการซื้อขายจริง .....	20
เทคโนโลยีระบบกักเก็บพลังงาน (Energy Storage System, ESS).....	22
บทบาทสำคัญของ ระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) ในระบบไฟฟ้าแห่งอนาคต .....	23
อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOU.....	30
สมาร์ทกริด.....	33
ระบบไมโครกริด (Microgrid) .....	37
ระบบกักเก็บพลังงาน Energy Storage System : ESS.....	37
เทคโนโลยีอื่น ๆ ที่ช่วยสนับสนุนการดำเนินการด้านสมาร์ทกริด.....	40
แผนงานด้านสมาร์ทกริดของประเทศไทยแผนแม่บทการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด ของ ประเทศไทย พ.ศ. 2558 – 2579 .....	42
การวิเคราะห์ผลการตอบแทนการลงทุน.....	55
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	58
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย .....	62
ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย .....	62
ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาความต้องการใช้ไฟฟ้าด้านโหลด (Demand Side : DS) ของห้องพัก อาจารย์.....	65
ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาความสามารถในการผลิตกำลังไฟฟ้าของโซลาร์เซลล์ (PV) ขนาด 2.7 kW ด้วยการวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง .....	67
ขั้นตอนที่ 3 ศึกษาการใช้ไฟฟ้าอัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาการใช้อัตรา TOU ของการไฟฟ้า ส่วนภูมิภาค (PEA) .....	67
ขั้นตอนที่ 4 ออกแบบจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีก (TOUPVES model).....	69
ขั้นตอนที่ 5 วิเคราะห์ TOUPVES model ด้วยโมเดลต้นไม้การตัดสินใจ Decision tree หรือ Regression tree.....	72
ขั้นตอนที่ 6 วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ ของ TOUPVES model .....	73

บทที่ 4 ผลการวิจัย .....	76
ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาความต้องการใช้ไฟฟ้าด้านโหลด (Demand Side : DS) ทำการเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าในห้องพักอาจารย์.....	77
ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาความสามารถในการผลิตกำลังไฟฟ้าของโซล่าเซลล์ (PV) ขนาด 2.7 kW ด้วยการวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง .....	79
ขั้นตอนที่ 3 ศึกษาการใช้ไฟฟ้าอัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาการใช้อัตรา TOU ของ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (PEA) .....	81
ขั้นตอนที่ 4 ออกแบบจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีก (TOUPVES model).....	82
ขั้นตอนที่ 5 นำ TOUPVES model มาวิเคราะห์ด้วยโมเดลต้นไม้การตัดสินใจ Decision tree หรือ Regression tree.....	97
ขั้นตอนที่ 6 วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ ของ TOUPVES model .....	107
บทที่ 5 บทสรุป.....	124
สรุปผลการวิจัย .....	124
ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ .....	127
ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป .....	127
บรรณานุกรม .....	128
ภาคผนวก .....	133
ภาคผนวก ก ชี้แจง ft จากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค .....	134
ภาคผนวก ข คุณสมบัติของโซล่าเซลล์ BQ72-18X 540W .....	135
ภาคผนวก ค คุณสมบัติของแบตเตอรี่ Huawei LUNA 200-5.....	137
อภิธานศัพท์ .....	140
ประวัติผู้วิจัย .....	142

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 1 สถิติการค่า ft ย้อนหลัก ปี 2565 ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค [1].....	1
ตาราง 2 ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่าง ๆ [8].....	12
ตาราง 3 อัตราค่าไฟฟ้ารายเดือนระดับแรงดันไฟฟ้า .....	31
ตาราง 4 เปรียบเทียบค่าไฟฟ้าอัตราปกติกับอัตรา TOU .....	32
ตาราง 5 อัตราค่าไฟฟ้ารายเดือนระดับแรงดันไฟฟ้า 69 kV .....	32
ตาราง 6 เปรียบเทียบค่าไฟฟ้าอัตรา TOD กับ TOU.....	33
ตาราง 7 แสดงอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าในห้องพักอาจารย์ กำลังไฟฟ้ารวม 2.142 kW .....	66
ตาราง 8 พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าของ PV.....	67
ตาราง 9 ตารางจับคู่ระหว่างอัตราค่าไฟฟ้า TOU และ ความสามารถในการผลิตพลังงานของ PV.....	69
ตาราง 10 แสดงการตัดสินใจเลือกการใช้พลังงานไฟฟ้าของ Load และการตัดสินใจชาร์จพลังงานไฟฟ้าของ ES.....	70
ตาราง 11 ความหมายและเงื่อนไขของ เกณฑ์ (Criteria) การตัดสินใจเพื่อเลือกรูปแบบที่เหมาะสมของ TOUPVES model.....	71
ตาราง 12 ตัวอย่างตารางคัดเลือกรูปแบบ ตามเกณฑ์ (Criteria).....	72
ตาราง 13 ตัวอย่างตารางการจำแนกข้อมูล (Classification) ของ TOUPVES model .....	73
ตาราง 14 แสดงอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าในห้องพักอาจารย์ กำลังไฟฟ้ารวม 2.142 kW.....	77
ตาราง 15 แสดงค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าของห้องพักอาจารย์ วันทำงานและวันหยุด..	78
ตาราง 16 ค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยของ PV.....	80
ตาราง 17 จับคู่เชื่อมโยงตามเงื่อนไขของช่วงเวลาอัตราค่าไฟฟ้า TOU กับความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV ในช่วงวันทำงาน.....	84

ตาราง 18 จับคู่เชื่อมโยงตามเงื่อนไขของช่วงเวลาอัตราค่าไฟฟ้า TOU กับความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV ในช่วงวันหยุด .....	86
ตาราง 19 การตัดสินใจทำงานของ Load และ ES ตามช่วงเวลาของ TOU และความสามารถการผลิตไฟฟ้าของ PV ในวันทำงาน.....	88
ตาราง 20 การตัดสินใจทำงานของ Load และ ES ตามช่วงเวลาของ TOU และความสามารถการผลิตไฟฟ้าของ PV ในวันหยุด .....	90
ตาราง 21 ความหมายและเงื่อนไขของ เกณฑ์ (Criteria) การตัดสินใจเพื่อเลือกรูปแบบที่เหมาะสมในการจัดการ TOUPVES model.....	92
ตาราง 22 การคัดเลือกรูปแบบ ตามเกณฑ์ (Criteria) วันทำงาน.....	92
ตาราง 23 การคัดเลือกรูปแบบ ตามเกณฑ์ (Criteria) วันหยุด .....	94
ตาราง 24 การคัดเลือกเงื่อนไข วันทำงาน ตามเกณฑ์.....	95
ตาราง 25 ผลการคัดเลือกเงื่อนไข วันหยุด ตามเกณฑ์.....	95
ตาราง 26 การจำแนกข้อมูล (Classification) ของ TOUPVES model .....	97
ตาราง 27 แสดงความหมายของเงื่อนไข จากโปรแกรม WEKA .....	100
ตาราง 28 ตรวจสอบเงื่อนไขผลลัพธ์ TOUPVES model.....	101
ตาราง 29 แสดงการจัดการแบบเตอริที่ เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีกของ TOUPVES model วันทำงาน.....	103
ตาราง 30 แสดงการจัดการแบบเตอริที่ เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีกของ TOUPVES model วันหยุด.....	105
ตาราง 31 ราคาอุปกรณ์และค่าใช้จ่ายอื่น ๆ .....	107
ตาราง 32 ตารางแสดงการคำนวณการใช้ไฟฟ้าและความต้องการการใช้ไฟฟ้า 24 ชั่วโมงตามอัตรา TOU .....	108
ตาราง 33 จำนวนวันหยุดของปี 2567 ถึง ปี 2581.....	110
ตาราง 34 ค่าไฟฟ้าปกติตามอัตรา TOU ปี 2567 – ปี 2581.....	112
ตาราง 35 ตารางแสดงการคำนวณการใช้ไฟฟ้าและความต้องการการใช้ไฟฟ้า 24 ชั่วโมง วันทำงาน ของ TOUPVES model.....	114

ตาราง 36 ตารางแสดงการคำนวณการใช้ไฟฟ้าและความต้องการการใช้ไฟฟ้า 24 ชั่วโมง  
วันหยุด ของ TOUPVES model.....116

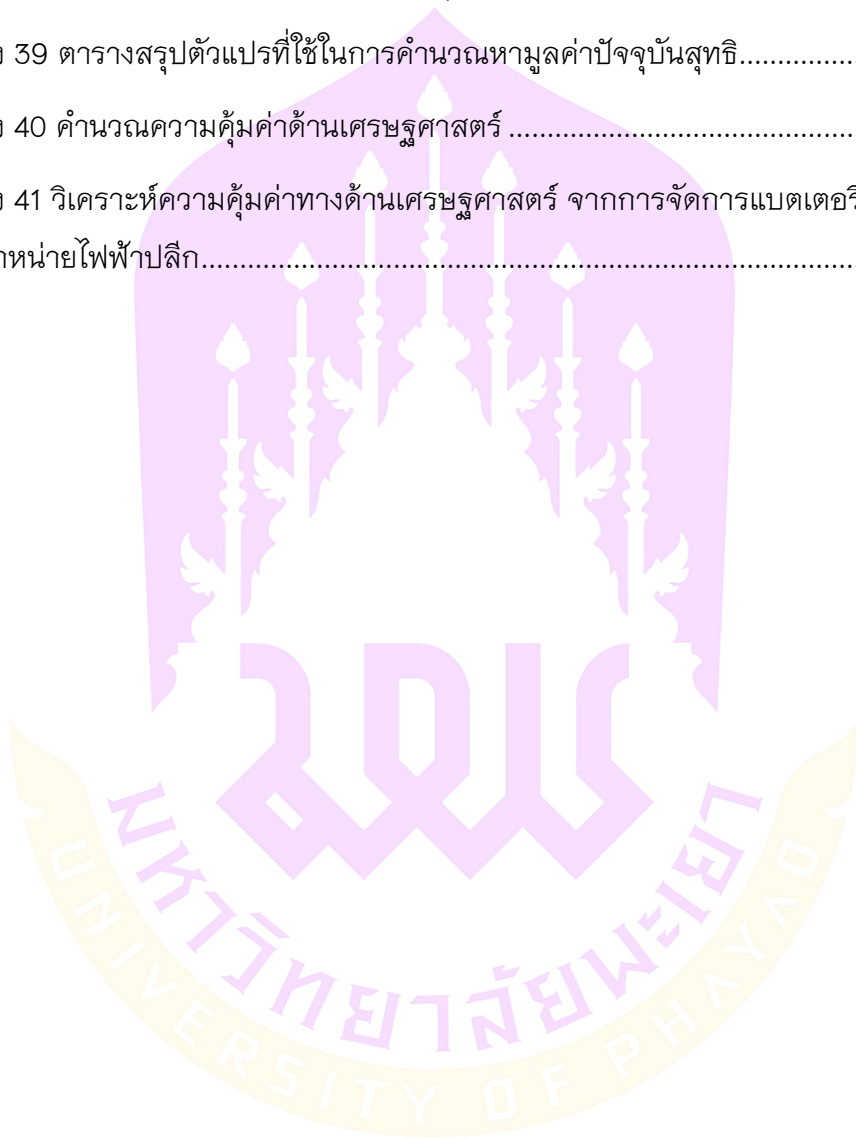
ตาราง 37 ค่าไฟฟ้าของ TOUPVES model ปี 2567 – ปี 2581.....119

ตาราง 38 แสดงค่าผลตอบแทนของการลงทุน ..... 120

ตาราง 39 ตารางสรุปตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ.....121

ตาราง 40 คำนวณความคุ้มค่าด้านเศรษฐศาสตร์ ..... 122

ตาราง 41 วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ จากการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อ  
การจำหน่ายไฟฟ้าปลีก..... 123



## สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพ 1 การจัดการด้านการใช้ไฟฟ้า (Demand Side Management, DSM).....	3
ภาพ 2 ค่าไฟฟ้ามหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ของเดือน มกราคม 2565 ถึง.....	4
ภาพ 3 กรอบแนวคิดการวิจัย สร้างแบบจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสม.....	6
ภาพ 4 เซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ [6].....	9
ภาพ 5 หลักการทำงานของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ [7].....	9
ภาพ 6 เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีโครงสร้างแบบต่าง ๆ [8] .....	10
ภาพ 7 กระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอน [8].....	13
ภาพ 8 Inverter ชนิดต่าง ๆ [9].....	15
ภาพ 9 แบตเตอรี่ (Battery) [10].....	16
ภาพ 10 Peer-to-Peer Energy Trading แพลตฟอร์มให้บริการ Prosumer กฟผ.[11] .....	18
ภาพ 11 โครงการ TU EGAT Energy มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต [11] .....	19
ภาพ 12 โครงการศรีแสงธรรมโมเดล จ.อุบลราชธานี [11] .....	19
ภาพ 13 โครงการเวนิวโพลว์ แจ็งวัฒนะ จ.นนทบุรี [11] .....	20
ภาพ 14 EGAT's P2P Trading Platform [11].....	21
ภาพ 15 โครงการ Solar Plus หมู่บ้านศุภาลักษณ์การ์เด้นวิลล์ รังสิตคลอง 2.....	21
ภาพ 16 ระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) มีประโยชน์ในทุกส่วนของระบบไฟฟ้า [12] .....	23
ภาพ 17 เก็บไฟฟ้าส่วนเกินจากโซลาร์เซลล์บนหลังคา (Solar roof top) ตอนกลางวัน.....	24
ภาพ 18 กราฟรูปเป็ด (duck curve) [12].....	24
ภาพ 19 การคาดการณ์การใช้งานแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน ในปี ค.ศ. 2030 .....	29
ภาพ 20 การคาดการณ์การเติบโตของยานยนต์ไฟฟ้าในปี ค.ศ.2030.....	29
ภาพ 21 แนวทางการกำหนดวิสัยทัศน์และเป้าหมายภาพรวม [13].....	30

ภาพ 22 ภาพรวมของ Home Energy Management System: HEMS [15] .....	34
ภาพ 23 ภาพรวมของ Building Energy Management System: BEMS [15] .....	34
ภาพ 24 Factory Energy Management System: FEMS [15] .....	35
ภาพ 25 เทคโนโลยีดิจิทัลกับการสนับสนุนงานด้านสมาร์ตกริด [15] .....	40
ภาพ 26 ภาพรวมเสาหลักที่ 1 การตอบสนองด้านโหลดและระบบบริหาร.....	44
ภาพ 27 ภาพรวมเสาหลักที่ 2 การพยากรณ์ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานหมุนเวียน.....	46
ภาพ 28 ภาพรวมเสาหลักที่ 3 ระบบไมโครกริดและโปรซูเมอร์ .....	47
ภาพ 29 ภาพรวมเสาหลักที่ 4 (ESS) [16].....	49
ภาพ 30 ภาพรวมเสาหลักที่ 5 การบูรณาการยานยนต์ไฟฟ้า (EV Integration) [16].....	51
ภาพ 31 ภาพรวมแผนอำนวยการสนับสนุนด้านสมาร์ตกริด [16] .....	52
ภาพ 32 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	63
ภาพ 33 ภาพรวมการดำเนินงานวิจัย.....	64
ภาพ 34 ห้องพักอาจารย์ ในสวนพลังงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร .....	65
ภาพ 35 อุปกรณ์เครื่องมือวัด Wi-Fi Smart Switch Energy Meter.....	66
ภาพ 36 PV Mono half cell ขนาด 540 W ต่อกุณกรม ขนาด 2.7 kW ในสวนพลังงาน .....	67
ภาพ 37 รายละเอียดของผู้ใช้ไฟฟ้า ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่ ของการไฟฟ้าส่วน .....	68
ภาพ 38 แบตเตอรี่ลิเทียมไฮดรอกไซด์ (LifePO4) Huawei LUNA 2000 Battery .....	75
ภาพ 39 แผนภูมิการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ของวันทำงานและวันหยุด .....	79
ภาพ 40 ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV .....	80
ภาพ 41 กราฟแสดงช่วงเวลาตามอัตราค่าไฟฟ้าของวันทำงานและวันหยุด .....	82
ภาพ 42 ความสามารถในการผลิตไฟฟ้าของ PV กับ อัตรา TOU เทียบกับการใช้ไฟฟ้า.....	83
ภาพ 43 ความสามารถในการผลิตไฟฟ้าของ PV กับ อัตรา TOU เทียบกับการใช้ไฟฟ้า.....	86
ภาพ 44 ผลลัพธ์จากโปรแกรม WEKA.....	99
ภาพ 45 โมเดลต้นไม้การตัดสินใจ Decision tree ของ TOUPVES model .....	100

ภาพ 46 Algorithm ของ TOUPVES model..... 102

ภาพ 47 ตัวอย่างบิลแจ้งค่าไฟฟ้ามหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ..... 111

ภาพ 48 ตัวอย่างคำนวณค่าไฟฟ้า ของเดือน มกราคม 2567 ..... 111

ภาพ 49 ตัวอย่างการคำนวณค่าไฟฟ้าของ TOUPVES model ของเดือน มกราคม 2567 .....118



## บทที่ 1

### บทนำ

#### ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สถิติความต้องการใช้ไฟฟ้ามีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น โดยเฉพาะภาคอุตสาหกรรม ภาคธุรกิจ และภาครัฐ ถึงแม้ประเทศไทยมีไฟฟ้าเพียงพอรองรับความต้องการใช้ที่เพิ่มขึ้นด้วย ปริมาณไฟฟ้าสำรองของไทยสูงถึง 30% จากระดับปกติควรอยู่ที่ 15% แต่อย่างไรก็ตามต้นทุนการผลิตไฟฟ้าหรือแม้แต่การนำเข้าจะสูง หรือปัจจัยอื่นเช่น ราคาเชื้อเพลิง อัตราเงินเฟ้อ อัตราแลกเปลี่ยนเงินตราต่างประเทศ มีผลกับค่าไฟฟ้าโดยเฉพาะค่า ft (Float time) ซึ่งเป็นค่าของ ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าที่ จากสถิติการค่า ft ย้อนหลัง ปี 2565 ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค แสดง ตามตาราง 1

ตาราง 1 สถิติการค่า ft ย้อนหลัง ปี 2565 ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค [1]

ปี 2565	ค่า ft	ค่า ft ก่อน	ค่า ft เพิ่ม
	บาท/หน่วย	บาท/หน่วย	บาท/หน่วย
มกราคม – เมษายน	0.0139	-0.1532	0.1671
พฤษภาคม – สิงหาคม	0.2477	0.0139	0.2338
กันยายน – ธันวาคม	0.9343	0.2477	0.6866

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (PEA) แสดงรายละเอียดการพิจารณาของคณะกรรมการ นโยบายพลังงานแห่งชาติ กกพ. ของค่า ft สำหรับเรียกเก็บจากผู้ใช้ไฟฟ้ารวบรวมของปี 2565 สาเหตุหลักมาจากราคาเชื้อเพลิงที่สูงขึ้นตามราคาพลังงานในตลาดโลก โดยเฉพาะสัดส่วน การนำเข้าก๊าซธรรมชาติเหลว (LNG) ที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น และมีราคาสูง รวมถึงอัตรา แลกเปลี่ยนมีแนวโน้มอ่อนค่าลงค่าซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชน จึงส่งผลให้ค่า ft เพิ่มสูงขึ้นมาก [1] ปัญหาด้านพลังงานมีการวางแผนผ่านนโยบายของชาติ โดยเฉพาะการทำแผนแม่บท พัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของประเทศไทย พ.ศ. 2558-2579 เป็นการร่วมมือกัน ระหว่าง หน่วยงานภาครัฐ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) การไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) และ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) โดยแผนแม่บทฯ ได้แบ่งระยะการดำเนินงาน

ออกเป็น 4 ระยะ ได้แก่ ระยะเตรียมการ (พ.ศ. 2558–2559) เป็นการเตรียมการด้านนโยบายต่าง ๆ เพื่อรองรับการขับเคลื่อนการพัฒนาทั้งระบบ ระยะสั้น (พ.ศ. 2560–2564) เป็นระยะของการพัฒนาโครงการนำร่องเพื่อทดสอบความเหมาะสมทางเทคนิคและความคุ้มค่าของการลงทุนในแต่ละเทคโนโลยี และนำผลที่ได้จากการศึกษาของแต่ละเทคโนโลยีในโครงการนำร่องมาพิจารณาทบทวนถึงความเหมาะสมในการนำไปใช้พัฒนาจริงในระยะต่อไประยะปานกลาง (พ.ศ. 2565 –2574) เป็นระยะของการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานต่าง ๆ ที่จำเป็นสำหรับการเปลี่ยนผ่านไปสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้ายุคใหม่ และระยะยาว (พ.ศ. 2575–2579) เป็นการทดลองใช้ความสามารถของระบบโครงข่ายสมาร์ตกริดและเริ่มปรับปรุงความสามารถของระบบไฟฟ้าเพิ่มเติมโดยอาศัยเทคโนโลยีที่ต่อยอดจากโครงสร้างพื้นฐานที่พัฒนาขึ้น [2]

ขณะนี้การดำเนินงานอยู่ในระยะปานกลาง พ.ศ. 2565–2574 “ส่งเสริมให้เกิดการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานต่าง ๆ และการจัดการทรัพยากรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่จำเป็นรองรับการเปลี่ยนผ่านไปสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้ายุคใหม่อย่างมีประสิทธิภาพและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม” แผนการขับเคลื่อนและแผนอำนวยการสนับสนุน สอดคล้องกับภาพรวมของแผนหรือนโยบายของประเทศไทย มีอยู่ 5 เสาหลัก ได้แก่

เสาหลักที่ 1 การตอบสนองด้านโหลดและระบบบริหารจัดการพลังงาน (DR & EMS)

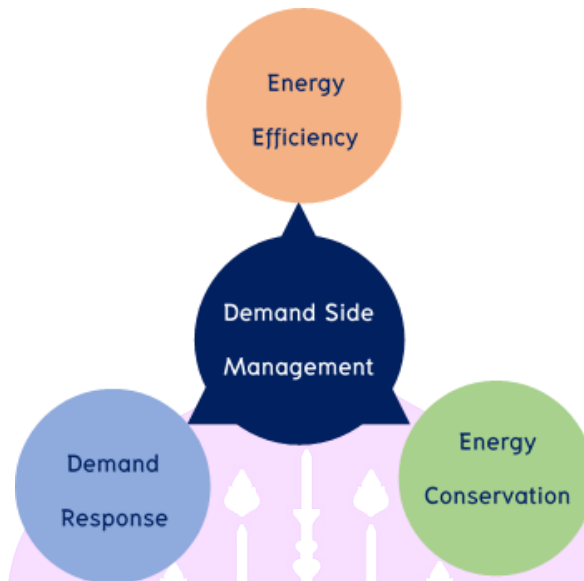
เสาหลักที่ 2 การพยากรณ์ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานหมุนเวียน (RE Forecast)

เสาหลักที่ 3 ระบบไมโครกริด และ โปรซูเมอร์(Micro grid & Prosumer)

เสาหลักที่ 4 ระบบกักเก็บพลังงาน (ESS)

เสาหลักที่ 5 การบูรณาการยานยนต์ไฟฟ้า (EV Integration)

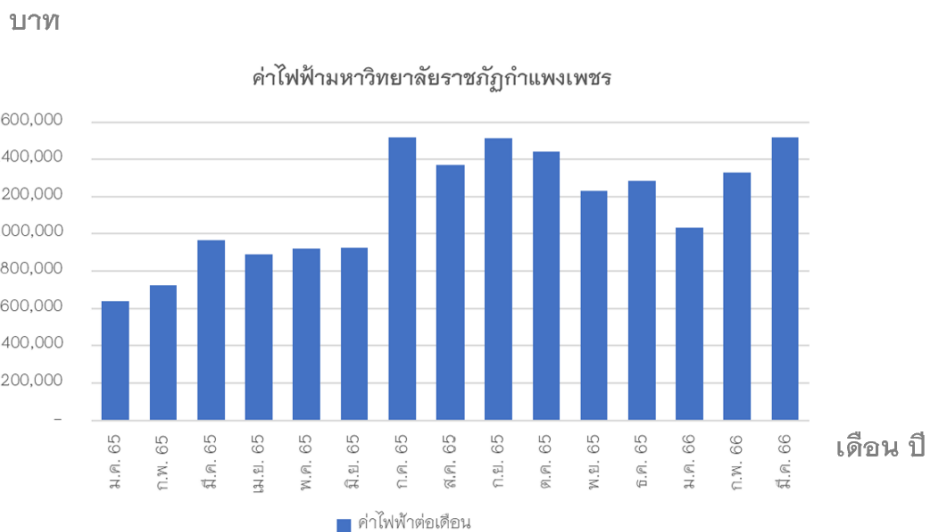
จากปัญหาอัตราค่าไฟฟ้าที่สูงขึ้นผู้ใช้ไฟฟ้าต้องปรับตนเองเพื่อตอบสนองนโยบายภาครัฐเพื่อแก้ปัญหาร่วมกันการจัดการด้านผู้ใช้ไฟฟ้าไม่ว่าจะเป็นการประหยัดไฟฟ้าปรับเปลี่ยนเวลาการใช้ไฟฟ้ามาใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาที่ค่าไฟฟ้าถูก หรือแม้กระทั่งการติดตั้งโซลาร์เซลล์ใช้เองหรือขายไฟฟ้าให้กับภาครัฐ ดังนั้น นโยบายของเสาหลักที่ 1 การตอบสนองด้านโหลดและระบบบริหารจัดการพลังงาน (DR & EMS) จึงเป็นสิ่งใกล้ตัวของผู้ใช้ไฟฟ้าที่สามารถปรับเปลี่ยนเพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า ดังนั้น การจัดการด้านการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้า (Demand Side Management, DSM) มีอยู่สามส่วนหลักคือการอนุรักษ์พลังงานหรือประหยัดพลังงาน (Energy conservation : EC) การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ (Energy Efficiency: EE) การตอบสนองด้านโหลดเป็นการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า (Demand response : DR) [3]



ภาพ 1 การจัดการด้านการใช้ไฟฟ้า (Demand Side Management, DSM)

และอีก 1 เสาหลักที่สำคัญต่อการประหยัดไฟฟ้าคือ เสาหลักที่ 4 ระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) ถึงแม้จะดูไกลตัวจากผู้ใช้ไฟฟ้าและต้นทุนการติดตั้งสูงแต่ความคุ้มค่าในอนาคตที่ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถผลิตไฟฟ้าและกักเก็บไฟฟ้าไว้ใช้และสามารถขายได้สอดคล้องกับเสาหลักอื่น ๆ ที่ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถบริหารจัดการไฟฟ้าผันตัวเองเป็นผู้ขายไฟฟ้า (Prosumer) และรองรับการใช้รถไฟฟ้าที่ต้องชาร์จไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ที่กักเก็บไว้ได้

มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร เป็นหน่วยงานที่ใช้ไฟฟ้าสูงและปรับตัวเพื่อตอบสนองนโยบายภาครัฐไม่ว่าจะเป็นการดำเนินการตามมาตรฐานสำนักงานสีเขียว Green Office [4] ใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ (Energy Efficiency: EE) ดำเนินการจัดการพลังงานตามมาตรการอนุรักษ์พลังงาน (Energy Conservation: EC) โดยปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้พลังงาน กำหนดเวลาเปิด-ปิดไฟส่องสว่างและเครื่องใช้ไฟฟ้า [5] ตรวจเช็คซ่อมแซมสภาพอุปกรณ์ใช้พลังงานอย่างสม่ำเสมอ และมาตรการตอบสนองด้านโหลด (Demand response : DR) โดยตอบสนองด้านโหลดต่อกลไกราคา (Price-based Options) ใช้อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาการใช้ (Time of Use Rates) การดำเนินการเพื่อลดค่าไฟฟ้ามีการปฏิบัติอย่างต่อเนื่องแต่มีอีกหลายปัจจัยที่ไม่สามารถลดค่าไฟฟ้าได้ตามเป้าหมายจากแนวโน้มการเสียค่าไฟฟ้าของ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร แสดงดังภาพ 2



ภาพ 2 ค่าไฟฟ้ามหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ของเดือน มกราคม 2565 ถึง เดือน มีนาคม 2566

จากภาพ 2 การเสียดค่าไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ในแต่ละเดือน แนวโน้มค่าไฟฟ้าสูงขึ้น ปัจจัยที่มีผลการสร้างอาคารใหม่ การใช้ไฟฟ้าสูงขึ้นหลังจากวิกฤตโควิด การแก้ปัญหาค่าไฟฟ้านอกจากจะปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่ซำรุดและใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ประหยัดพลังงานอาจจะไม่เพียงพอ การใช้พลังงานไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ก็เป็นอีกทางเลือกของมหาวิทยาลัย แต่มาพร้อมกับต้นทุนการติดตั้งการดูแลรักษาในแต่ละปี ความคุ้มค่าที่มหาวิทยาลัย ต้องลงทุน ดังนั้นการใช้ไฟฟ้าให้เกิดความคุ้มค่า ลดค่าไฟฟ้า และสามารถขายไฟฟ้าได้ เป็นการบริหารจัดการเกิดประโยชน์กับมหาวิทยาลัย ผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ให้เกิดความคุ้มค่าด้วยการกักเก็บใช้ในช่วงเวลาที่ค่าไฟฟ้าต่ำ สามารถกักเก็บไว้เพื่อขาย ด้วยการออกแบบและสร้างแบบจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมสามารถลดค่าไฟฟ้าและจำหน่ายไฟฟ้าผู้วิจัยเรียกแบบจำลองนี้ว่า TOUPVES model ซึ่งเป็นอีกหนึ่งแนวทางในการแก้ไขปัญหาค่าไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร การดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ศึกษาการใช้ไฟฟ้าใน สวมพลังงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ซึ่งพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าเหมือนกับการใช้ไฟฟ้าของมหาวิทยาลัย มีการทำงานเวลา 8.30 น. ถึง 16.30 น. หยุดเสาร์ อาทิตย์ และวันหยุดนักชัตฤกษ์ โดยทำการศึกษากับอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าในห้องพักอาจารย์ เทียบกับระบบโซลาร์เซลล์ 2.7 KW และแบตเตอรี่ ลิเทียมไอออนฟอสเฟต (LifePO4) ปลอ่ยพลังงานไฟฟ้าได้ 2.5 kWh โดยมีปัจจัยเสริมคือช่วงเวลา

การเสียค่าไฟฟ้าอัตรา TOU ซึ่งทางมหาวิทยาลัยราชภัฏ-กำแพงเพชร ได้ใช้อัตรากการเสียค่าไฟฟ้าแบบ TOU ประเภทที่ 4 และแบบจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมมาวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์เพื่อเกิดประโยชน์กับมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร และหน่วยงานภาครัฐ ที่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าแบบเดียวกัน

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. สร้างแบบจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีก
2. วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ จากการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีก

### ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตด้านเนื้อหา

การวิจัยเป็นสร้างแบบจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีก ทำการศึกษานโยบายและแผน ด้านพลังงาน การจัดการสมาร์ตกริด การจัดการพลังงาน การจัดการแบตเตอรี่ แนวโน้มต้นทุนการลงทุนติดตั้งระบบ ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์

ขอบเขตด้านสถานที่

กรณีศึกษา สวนพลังงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

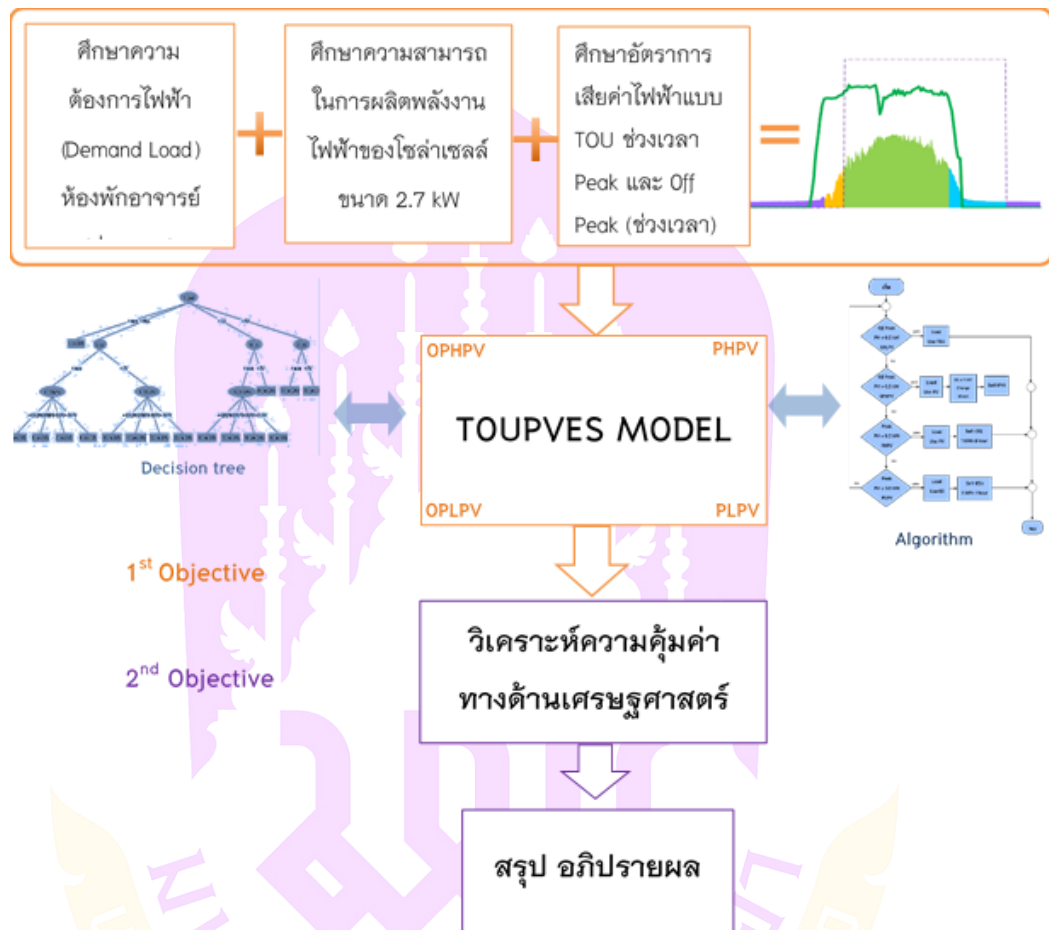
ขอบเขตด้านระยะเวลา

เดือนธันวาคม 2558 ถึง เมษายน 2566

### กรอบแนวคิดการวิจัย

แนวคิดงานวิจัยสร้างแบบจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีกสวนพลังงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร เป้าหมายหลักคือบริหารจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้าให้เกิดความคุ้มค่ามากที่สุดด้วยการกักเก็บพลังงานไว้ใช้เมื่อค่าไฟฟ้าแพงถ้าเหลือก็นำไปขายหรือเลือกใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้าในช่วงเวลาอัตราค่าไฟฟ้าถูก แนวทางการวิจัยเริ่มจากศึกษาความต้องการไฟฟ้าในห้องพักอาจารย์โดยทำการวัดค่าพลังงานที่ใช้ต่อวันจะทำให้เห็นภาพของช่วงการใช้ไฟฟ้าประกอบกับศึกษา ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของโซลาร์เซลล์ PV ผลิตไฟฟ้าได้ช่วงไหนของวันและสุดท้ายศึกษาช่วงเวลาการเสียค่าไฟฟ้าแบบ TOU ที่มีอัตราการเสียค่าไฟฟ้าต่างกัน แล้วนำข้อมูลทั้งสามมาวิเคราะห์ผ่านกราฟแบ่งช่วงเวลาเพื่อบริหารจัดการการใช้ไฟฟ้า ช่วงไหนเหมาะสมกับการกักเก็บพลังงาน (ES) ของแบตเตอรี่

ช่วงเวลาไหนควรใช้ไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ รวมไปถึงการใช้ไฟฟ้าและขายไฟฟ้า กรอบแนวคิดการวิจัยแสดงดังภาพ 3



ภาพ 3 กรอบแนวคิดการวิจัย สร้างแบบจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีก

ประโยชน์ที่จะได้รับการวิจัย

1. ลดค่าไฟฟ้าให้กับมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรหรือหน่วยงานอื่น ๆ
2. บริหารจัดการการใช้ไฟฟ้าและขายไฟฟ้า
3. แนวทางการตัดสินใจการติดตั้งโซล่าเซลล์เพื่อกักเก็บพลังงานต่อความคุ้มค่าการลงทุนการติดตั้งโซล่าเซลล์

## นิยามคำศัพท์เฉพาะ

1. **อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate : TOU)** คือ อัตราค่าไฟฟ้าที่ขึ้นอยู่กับช่วงเวลาการใช้งาน ช่วงเวลาค่าไฟฟ้าสูง (On Peak) และ ช่วงเวลาค่าไฟฟ้าต่ำ (Off Peak)

2. **TOUPVES model** คือ แบบจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีก ที่เกิดจากการศึกษาพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของโซลาร์เซลล์เทียบกับอัตรา TOU ในสวนพลังงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

3. **การจัดการแบตเตอรี่** คือ การจัดการการใช้งานแบตเตอรี่ที่สอดคล้องกับช่วงเวลา on peak และ off peak ของอัตราการใช้ไฟฟ้าแบบ TOU

4. **การจำหน่ายไฟฟ้าปลีก** คือ การขายไฟฟ้าด้วยการจัดการ TOUPVES model เป็นการจำหน่ายไฟฟ้าหลังมิเตอร์ BTM ที่ผู้ขายสามารถตกลงราคาร่วมกับผู้ซื้อ



## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การสร้างแบบจำลองการจัดการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีกสวนพลังงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรผู้วิจัยได้ศึกษา เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมาใช้ในการงานวิจัย จึงได้รวบรวมเนื้อหาที่เกี่ยวข้องในประเด็นที่สำคัญดังนี้ เซลล์แสงอาทิตย์ กักเก็บพลังงาน อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOU สมาร์ทกริด แผนแม่บทการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด ของประเทศไทย การวิเคราะห์ผลการตอบแทนการลงทุน การตัดสินใจแบบโครงสร้างต้นไม้ และวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell)

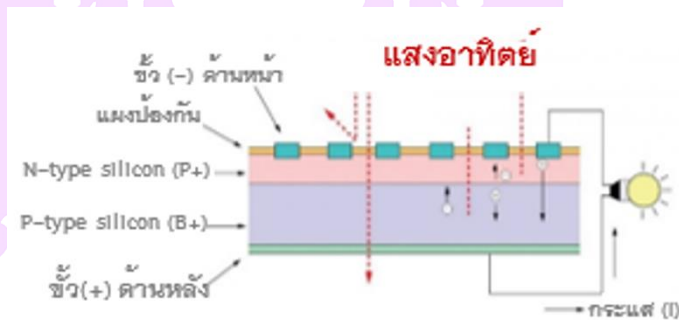
การศึกษาและทำความเข้าใจเกี่ยวกับหลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์จึงเป็นแนวทางปฏิบัติเพื่อการคิดค้นและพัฒนาพลังงานทดแทนเพื่อแก้ไขปัญหาวิกฤตการณ์น้ำมัน เซลล์แสงอาทิตย์ หรือเซลล์สุริยะ ที่เรียกสั้น ๆ ว่า Solar Cell คือ เครื่องกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์จะตกสู่แผงเซลล์สุริยะที่ทำมาจากวัสดุจำพวกสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) แล้วกระตุ้นให้เกิดการไหลของอิเล็กตรอนในวัสดุนี้ เมื่อวงจรของอิเล็กตรอนที่ไหลสมบูรณ์ กระแสไฟฟ้าก็จะเกิดขึ้น [6]

#### หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

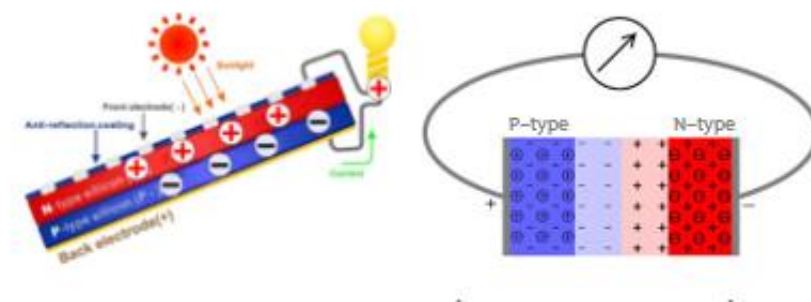
วัสดุที่เป็นหัวใจสำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์ คือ สารกึ่งตัวนำ โดยวัสดุกึ่งตัวนำส่วนใหญ่ที่ใช้กันคือ ซิลิคอน ซิลิคอนมีลักษณะพิเศษเนื่องจากมีโครงสร้างที่เป็นผลึก มี 14 อะตอมที่เรียงตัวกันอยู่ในเซลล์ต่าง ๆ ทั้งหมด 3 ชั้น ซึ่งเซลล์ชั้นนอกสุดจะมีอิเล็กตรอน 4 ตัว และสามารถมีพันธะร่วมกับอิเล็กตรอนของอะตอมข้างเคียง ทำให้เกิดโครงสร้างที่เป็นผลึกซึ่งมีความสำคัญต่อเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ ผลึกของซิลิคอนบริสุทธิ์เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ไม่ดีเนื่องจากไม่มีอิเล็กตรอนอิสระ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงสมบัติเล็กน้อยก่อนที่จะนำไปใช้ในเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ การปรับปรุงสมบัติของซิลิคอนทำได้โดยการเติมสารเจือปน (Impurity) เช่น โบรอน (B) หรือฟอสฟอรัส (P) เป็นต้น ลงในซิลิคอนบริสุทธิ์ เรียกว่า “การโด๊ป” (Doping) การเติม ฟอสฟอรัสซึ่งมีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 5 ตัวลงไปโครงสร้างอิเล็กตรอนของซิลิคอนจะทำให้เกิดอิเล็กตรอน อิสระเหลือ 1 ตัว ซึ่งอิเล็กตรอนอิสระนี้จะเคลื่อนที่เมื่อได้รับ

แสงจากดวงอาทิตย์ การโด๊ปซิลิคอนด้วย ฟอสฟอรัสจะทำให้เกิดซิลิคอนชนิด N (N-Type Silicon) ในทางตรงกันข้าม ถ้าเราโด๊ปซิลิคอนด้วยโบรอน ซึ่งมีวาเลนซ์อิเล็กตรอนเพียง 3 ตัว จะทำให้เกิดช่องว่างอิสระ (Free Hole) ในโครงสร้างผลึกของซิลิคอน ทำให้เกิดเป็นซิลิคอนชนิด P (P-Type Silicon)

เมื่อเรานำซิลิคอนชนิด N และ P มาวางซ้อนกัน โดยซิลิคอนชนิด N อยู่ด้านบนของเซลล์ แสงอาทิตย์ เพื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ ส่วนชนิด P จะวางอยู่ด้านล่างของเซลล์ พลังงานแสงอาทิตย์ ดังแสดงในภาพ 4 บริเวณรอยต่อระหว่างซิลิคอนทั้ง 2 ชนิด เรียกว่า รอยต่อ P-N (PN Junction) เป็นบริเวณที่มีประจุอิสระเคลื่อนที่ผ่านรอยต่อนี้ ทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน โดยปกติแล้วซิลิคอน N-Type จะประกอบด้วยส่วนที่พร้อมจะให้อิเล็กตรอน และมีส่วนช่องว่างอยู่เล็กน้อย ส่วนซิลิคอน P-Type จะประกอบด้วยช่องว่างเป็นส่วนใหญ่ และมีอิเล็กตรอนเป็นส่วนน้อยปะปนอยู่ ดังแสดงในภาพ 4



ภาพ 4 เซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ [6]

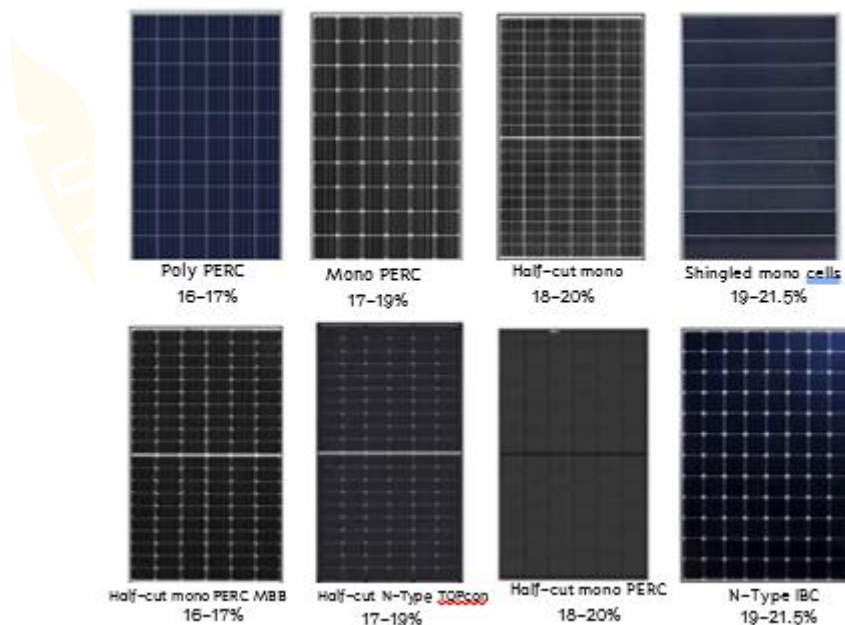


ภาพ 5 หลักการทำงานของเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ [7]

โดยที่ด้านบนของซิลิคอน N-Type จะมีแถบโลหะที่เรียกว่า Front Electrode ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน ส่วนทางด้านล่างของซิลิคอน P-Type จะมีแถบโลหะที่เรียกว่า Back Electrode ซึ่งทำหน้าที่รวบรวมช่องว่างในซิลิคอนชนิดนี้ นอกจากนี้ที่ด้านบนของ N-Type จะมีการเคลือบสารเพื่อลดการสะท้อนของแสงอาทิตย์ด้วยเมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบลงบนเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ จะทำให้อิเล็กตรอนและช่องว่าง (Hole) เคลื่อนที่ ซึ่งทั้งอิเล็กตรอนจะพยายามจับคู่กับโฮล โดยอิเล็กตรอนจะวิ่งไปยัง N-Type ส่วน Hole จะวิ่งไปยัง P-Type ส่วนอิเล็กตรอนที่เหลือจะวิ่งไปรวมกันที่ Front Electrode และ Hole จะไปรวมกันที่ Back เมื่อวงจรไฟฟ้าถูกต่อระหว่างขั้วอิเล็กโทรดทั้งสองจะทำให้วงจรสมบูรณ์ โดยกระแสไฟฟ้าจะไหลและเกิดศักย์ไฟฟ้าขึ้น

### ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในปัจจุบันทำมาจากซิลิคอน ซึ่งเป็นธาตุที่มีอยู่มากในโลก ซิลิคอนส่วนใหญ่อยู่ในรูปของสารประกอบ เช่น ททราย หินต่าง ๆ การนำซิลิคอนบริสุทธิ์มาใช้เป็นสารกึ่งตัวนำจำเป็นต้องผ่าน กระบวนการต่าง ๆ เพื่อให้ได้ซิลิคอนบริสุทธิ์ออกมา เซลล์แสงอาทิตย์แบ่งตามโครงสร้างของวัสดุได้ดังภาพ 6 ดังนี้



ภาพ 6 เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีโครงสร้างแบบต่าง ๆ [8]

### 1. ชนิดผลึกเดี่ยว (Single Crystalline Silicon Solar Cell หรือ C-Si)

อาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Monocrystalline Silicon Solar Cell หรือ Single Crystalline Solar Cell) เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูงและนิยมใช้กันมาก กระบวนการผลิต ของเซลล์ชนิดนี้เริ่มจากการนำซิลิคอนก้อนก่อนที่มีความบริสุทธิ์สูงมาก (99.99%) ไปหลอมละลายที่อุณหภูมิ ประมาณ 1,500 °C เพื่อทำการสร้างผลึกขนาดใหญ่โดยใช้ผลึกขนาดเล็กเป็นตัวล่อผลึก จากนั้นแท่งผลึก ที่ได้จะถูกนำไปตัดเป็นแผ่นบาง ๆ ที่เรียกว่าเวเฟอร์ (Wafer) ซึ่งมีความหนาประมาณ 300 ไมโครเมตร จากนั้นแผ่นเวเฟอร์จะถูกนำไปขัดผิวให้เรียบโดยสารอัลคาไล ก่อนนำไปทำการโดปเป็นซิลิคอนชนิด N-Type หรือ P-Type ต่อไป

### 2. ชนิดผลึกรวม (Polycrystalline Silicon Solar Cell หรือ PC-Si)

กระบวนการผลิตผลึกชนิดนี้เริ่มจากการนำซิลิคอนบริสุทธิ์มาหลอมเป็นแท่ง แล้วปล่อยให้เย็นตัวอย่างช้า ๆ ก่อนที่จะนำมาตัดเป็นแผ่นบาง ๆ หรือเวเฟอร์ ซึ่งหนาประมาณ 300-400 ไมโครเมตร เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้มีราคาต่ำกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยว การสังเกตความแตกต่างระหว่างเซลล์ชนิดเดี่ยวและผลึกรวม คือ เซลล์ผลึกรวมจะเห็นหน้าผลึกหลาย ๆ ด้านในแผ่นเซลล์ ในขณะที่แผ่นผลึกเดี่ยวจะเห็นเป็นสีน้ำเงินเข้มสีเดียว ประสิทธิภาพของเซลล์ชนิดผลึกรวมนี้จะมีค่าต่ำ





















### 3. ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell หรือ A-Si)

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้มีลักษณะไม่เป็นผลึกเหมือนกับสองชนิดที่กล่าวมาแล้ว แต่จะมีการใส่สาร อะมอร์ฟัสเพื่อทำให้เกิดฟิล์มบาง ๆ ของซิลิคอนซึ่งมีสีน้ำตาลปนม่วง มีความหนาประมาณ 0.3-0.5 ไมครอน ทำให้ไม่เปลืองเนื้อวัสดุ ดังนั้น เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้จึงมีลักษณะเบาและทำการผลิตได้ง่าย อะมอร์ฟัส ซิลิคอนยังไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถบดงอได้โดยไม่แตกหัก ประสิทธิภาพของเซลล์ชนิดนี้ จะมีค่าประมาณ 5-10% อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้เซลล์ชนิดนี้ ได้แก่ เครื่องคิดเลข นาฬิกาข้อมือ และวิทยุ โทรานซิสเตอร์ เป็นต้น กระบวนการผลิตจะเริ่มจากการสร้างฟิล์มบางของซิลิคอนเป็นฐานรองโดยใช้เทคนิค CVD (Chemical Vapor Deposition) โดยการนำก๊าซไซเรนผ่านท่อสุญญากาศ แล้วกระตุ้นโดยสามารถทำการโดปในขณะที่ซิลิคอนสะสมลงบนแผ่นนี้ได้เช่นกัน การโดปด้วยก๊าซไดโบเรน จะให้ อุณหภูมิอยู่ที่ 200-300 °C จากนั้นซิลิคอนจะสะสมบนวัสดุนี้กลายเป็นแผ่นของอะมอร์ฟัสซิลิคอน ซึ่งเรา อะมอร์ฟัสซิลิคอนชนิด P-Type ส่วนการโดปด้วยก๊าซฟอสฟีน จะให้อะมอร์ฟัสซิลิคอนชนิด N-Type

#### 4. ชนิดที่ทำจากสารกึ่งตัวนำอื่น ๆ

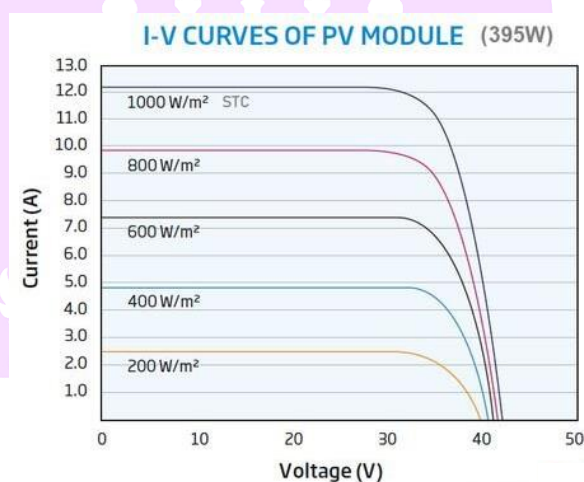
สารประกอบบางชนิด เช่น แกลเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs) อินเดียมฟอสไฟด์ (InP) แคดเมียมเทลลูไรด์ (CdTe) และคอปเปอร์อินเดียมไดเซเลไนด์ (CIS) สามารถนำไปใช้ผลิตเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ได้ โดยโครงสร้างเป็นได้ทั้งชนิดผลึกเดี่ยวและผลึกรวม เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้จะมีประสิทธิภาพสูงถึง 20-25% ซึ่งถือว่าสูงกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ 3 ชนิดแรก แต่ราคาจะแพงมาก ดังนั้น จึงต้องใช้ในงานที่มีความสำคัญมาก ๆ เช่น งานด้านอวกาศ ประสิทธิภาพของเซลล์ชนิดต่าง ๆ เป็นดังตาราง 2

ตาราง 2 ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่าง ๆ [8]

CLEAN ENERGY REVIEWS		Most Efficient Solar Panels 2022*		V3.0- Jan 2022	
Manufacturer	Model	Max power (W)	Cell Type	Efficiency	
 SUNPOWER	Maxeon 3	400W	N-type IBC	22.6%	
 LG	Neon R	405W	N-type IBC	22.3%	
 Panasonic	EverVolt H	410W	N-type HJT Half-cut	22.2%	
 REC Solar	Alpha Pure	405W	N-type HJT Half-cut	21.9%	
 Silfab SOLAR	Elite Bk	405W	P-type IBC	21.4%	
 Jinko Solar	Tiger N-type 66TR	410W	N-type Mono Half-cut	21.4%	
 FuturaSun	FU 360 M Zebra	360W	N-type IBC Half-cut	21.3%	
 HYUNDAI	HiE-S400UV	400W	P-type Mono Shingled	21.3%	
 risen	Titan S	410W	P-type Mono Half-cut	21.3%	
 SUMEC Phono Solar	TwinPlus Pro	415W	P-type Mono Half-cut	21.2%	
 AXITEC	AXIpremium HC	415W	P-type Mono Half-cut	21.2%	
 TrinaSolar	Vertex 5	405W	P-type Mono Half-cut	21.1%	
 LONGI Solar	Hi-Mo 4m	385W	P-type Mono Half-cut	21.1%	
 SPIC Solar	Andromeda	355W	N-type IBC Half-cut	21.0%	
 ASTRONERGY	Astro 4 Semi	380W	P-type Mono Half-cut	20.9%	
 Q CELLS	Q PEAK DUO ML-G9	390W	P-type Mono Half-cut	20.8%	
 YINGLI SOLAR	YLM 120	380W	P-type Mono Half-cut	20.8%	
 WINAICO	WST-375MG	375W	P-type Mono Half-cut	20.6%	
 SOLARIA	Power XT	370W	P-type Mono Half-cut	20.5%	
 CanadianSolar	HiDM CS1H-MS	345W	P-type Mono Shingled	20.4%	

## แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Modules)

คุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์จะขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมา โดยทั่วไปซิลิคอนจะมีค่าความต่างศักย์ ประมาณ 0.5 V ซึ่งค่าความต่างศักย์จะไม่ขึ้นกับการแผ่รังสีของแสง เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำมาจากซิลิคอนขนาด  $100 \text{ cm}^2$  จะสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ถึง 2 A เมื่อมีการแผ่รังสี  $1,000 \text{ W/m}^2$  ดังแสดงในภาพ 7 ในขณะที่กระแสไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับการแผ่รังสีของแสง กำลังที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ ได้จากผลคูณของกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้า โดยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิสูงจะทำให้ได้กำลังต่ำ ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพต่ำด้วย



ภาพ 7 กระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอน [8]

## ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

แสงอาทิตย์เป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เซลล์แสงอาทิตย์ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อให้เข้าใจ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างแสงกับเซลล์แสงอาทิตย์ จะกล่าวถึงค่าจำกัดความต่าง ๆ อย่างคร่าว ๆ ดังนี้

### 1. ความยาวคลื่น ความถี่ และพลังงาน

แสงอาทิตย์เป็นสิ่งที่มีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตบนโลกนี้ทั้งทางตรงและทางอ้อม แสงอาทิตย์เป็นตัวกำหนดอุณหภูมิของโลก และเป็นแหล่งพลังงานของระบบธรรมชาติ และวัฏจักรต่าง ๆ ดวงอาทิตย์จะแผ่รังสีที่มีความยาวคลื่นต่าง ๆ จาก  $2 \times 10^7$  ถึง  $4 \times 10^0 \text{ m}$  ซึ่งพลังงานของดวงอาทิตย์จะอยู่ในช่วงที่ตามองเห็นได้โดยความยาวคลื่นจะแปรผกผันกับความถี่ ดังนั้น ถ้าความยาวคลื่นต่ำก็จะมีค่าความถี่สูงและให้พลังงานมากซึ่งพลังงานจะมีหน่วย

เป็นอิเล็กทรอนิกส์ (V) แสงสีแดงที่มีความยาวคลื่นสูงจะมีความถี่และพลังงานต่ำในขณะที่แสงสีม่วงจะมีความยาวคลื่นสั้น แต่จะมีความถี่และพลังงานมากเนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์จะตอบสนองกับแสงที่มีความยาวคลื่นต่าง ๆ ที่แตกต่างกัน ดังนั้น เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากผลึกซิลิคอนในช่วงแสงอินฟราเรดซึ่งมีพลังงานต่ำจะทำให้ได้กระแสไฟฟ้าในเซลล์ต่ำในขณะที่ช่วงแสงที่มีพลังงานสูงเกินไปก็ไม่เหมาะสมในการใช้ประโยชน์เช่นกัน

## 2. มวลอากาศ (Air Mass)

แม้ว่าดวงอาทิตย์จะเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานที่ใหญ่ที่สุดในระบบสุริยะจักรวาลแต่พลังงานจำนวนน้อยมากเท่านั้นที่จะถูกดูดซับโดยโลกชั้นบรรยากาศภายนอกโลกจะได้รับพลังงานประมาณ  $1,367 \text{ W/m}^2$  ตารางเมตร พลังงานในแสงอาทิตย์จะเกิดการสูญเสียไปในอากาศ ดังนั้น ถ้าอากาศมีความหนาแน่นมากพลังงานของแสงอาทิตย์ก็ยิ่งสูญเสียมากขึ้น

## 3. แสงแบบตรงและแบบกระจาย (Direct and Diffuse Light)

นอกจากพลังงานในแสงอาทิตย์จะสูญเสียไปในอากาศแล้วไอน้ำหรือเมฆก็ยังดูดซับสะท้อน และ ทำให้เกิดการกระจายตัวของรังสีจากดวงอาทิตย์ รังสีจากดวงอาทิตย์จึงแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ แบบตรงและแบบกระจายซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบ (Flat Plate System) จะใช้ประโยชน์จากแสงทั้งสอง ประเภทส่วนเซลล์แสงอาทิตย์แบบรวม (Concentrator System) จะใช้ประโยชน์จากแสงแบบตรงเท่านั้น

## ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. ความลาดเอียงของเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งจะต้องมีความเหมาะสมในการรับแสงมากที่สุดโดยทำมุมเอียงจากแนวราบประมาณ 15 องศา การเอียงของแผงเซลล์นอกจากจะช่วยในการรับแสงแล้ว ยังเป็นการช่วยชำระสิ่งสกปรกในขณะที่ฝนตกสำหรับประเทศไทยแผงรับแสงอาทิตย์ควรหันไปทางทิศใต้ นอกจากนี้ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ยังเป็นระบบที่สามารถปรับแผงตามการโคจรของดวงอาทิตย์ (Tracking Cell) ได้ ส่งผลให้เซลล์แสงอาทิตย์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดแต่เซลล์ชนิดนี้จะมีราคาแพง

2. ปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ส่องมายังโลก (Insolation) จะขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และมุมที่แผงเบนจากทิศใต้ อัตราการตกกระทบของรังสีจากดวงอาทิตย์จะมีค่า สูงสุดคือ  $1,000 \text{ W/m}^2$  ที่อุณหภูมิ  $25^\circ\text{C}$  ซึ่งในค่ามาตรฐาน เราสามารถนำค่านี้มาคูณกับจำนวนชั่วโมงที่ใช้ จะให้ผลลัพธ์คือจำนวน  $\text{kWh-h/m}^2/\text{day}$

3. อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยทั่วไปเซลล์แสงอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพลดลง 0.4% เมื่อ อุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 °C เนื่องจากความต่างศักย์จะขึ้นกับอุณหภูมิ นอกจากนี้ชนิดของเซลล์ยังมี ผลให้ประสิทธิภาพลดลงต่างกันในช่วงอุณหภูมิเดียวกัน

4. ประสิทธิภาพของระบบ (Electrical Conversion Efficiency) ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ประกอบด้วยชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ปรกรณ์ต่อเชื่อมรวมถึงเครื่องแปลงไฟฟ้ากระแสลับ อุปกรณ์เหล่านี้ก็ทำให้เกิดการสูญเสียขึ้นส่งผลต่อประสิทธิภาพโดยรวมของระบบเซลล์แสงอาทิตย์

### อุปกรณ์สำหรับติดตั้งโซล่าเซลล์

#### 1. เครื่องแปลงไฟฟ้า (Inverter)



ภาพ 8 Inverter ชนิดต่าง ๆ [9]

Inverter เป็นอุปกรณ์ทางไฟฟ้าชนิดหนึ่ง ที่ใช้สำหรับเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งไฟฟ้าที่ได้จากแผงโซล่าเซลล์จะเป็นไฟฟ้ากระแสตรง และจะส่งผ่านไปยัง Inverter มีหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ สามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ

1. แบบที่ใช้กับระบบสแตนด์อโลน (Stand-Alone System)

2. แบบระบบกริดไทน์ Inverter (Grid-Tied Inverter) ใช้กับระบบที่ทำงานสัมพันธ์กับการไฟฟ้า (ระบบออนกริด On-grid System)

มีการใช้งานต่างกันคือ แบบที่ใช้กับระบบสแตนด์อโลน (Stand-Alone System) จะใช้กับการติดตั้งโซล่าเซลล์แบบ Off-grid หรือ แบบที่สำรองไฟฟ้าไว้ใน แบตเตอรี่ แต่ กริดไทน์ Inverter (Grid-Tied Inverter) จะใช้กับการติดตั้งโซล่าเซลล์ด้วยระบบ On-grid ซึ่งสามารถอ่านต่อเพิ่มเติมบทความแผงโซล่าเซลล์

### 1. เครื่องควบคุมการชาร์จไฟฟ้า (Solar Charge Controller)

เป็นเครื่องควบคุมประจุแบตเตอรี่ของโซลาร์เซลล์ โดยจะชาร์จเข้าแบตเตอรี่ต้องอาศัยเครื่องควบคุมประจุแบตเตอรี่ เนื่องจากหากต่อระบบโซลาร์เซลล์เข้ากับแบตเตอรี่โดยตรง จะมีการแรงดันไฟฟ้าที่ดันกันระหว่างแรงดันไฟฟ้าของโซลาร์เซลล์กับแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ โดยจะต้องเครื่องควบคุมประจุแบตเตอรี่ให้รองรับกับแรงดันระบบที่เลือกใช้

### 1. แบตเตอรี่ (Battery)



ภาพ 9 แบตเตอรี่ (Battery) [10]

เป็นตัวที่จะช่วยเก็บสะสมพลังงานไฟฟ้า เมื่อนำแบตเตอรี่ไปใช้งานกระแสที่ปล่อยออกมาจะเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแต่ถ้าต้องการให้กลายเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้ตามที่อยู่อาศัย จะต้องมีการติดตั้งอินเวอร์เตอร์เพื่อแปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับซึ่งแบตเตอรี่ในปัจจุบันจะมีหลายแบบหลายประเภทจะต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับประเภทของการใช้งานสำหรับแบตเตอรี่ที่ใช้แนะนำเป็นแบตเตอรี่ที่มีไว้สำรองไฟฟ้า (Stationary/Standby Battery) แบตเตอรี่นี้มีหน้าเก็บพลังงานไว้ใช้ในยามฉุกเฉิน กรณีไฟตก ไฟดับ และไฟกระชาก เป็นต้น

### ระบบโซลาร์เซลล์

การติดตั้งระบบโซลาร์เซลล์ในปัจจุบันสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระบบหลัก ๆ ด้วยกัน เพื่อให้เหมาะสมกับรูปแบบของการใช้งาน และ เหมาะสมกับพื้นที่การติดตั้ง ดังนี้

ระบบออนกริด On Grid : เป็นระบบโซลาร์เซลล์ที่ใช้ทั้งไฟจากการไฟฟ้า และไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงโซลาร์เซลล์ เหมาะสำหรับบ้านพักอาศัยใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลากลางวันมาก โดย

ระบบนี้จะไม่มีการเชื่อมต่อสายส่งไฟฟ้าผลิตไฟฟ้าได้แล้วใช้เลย ซึ่งก่อนติดตั้งโซลาร์เซลล์ระบบนี้จะต้องขออนุญาตการไฟฟ้าก่อนในปัจจุบันระบบนี้นิยมติดมากที่สุด

ระบบออฟกริด Off-Grid : เป็นระบบโซลาร์เซลล์ที่ไม่เชื่อมต่อการไฟฟ้า โดยจะมีผลิตกระแสไฟฟ้าแล้วใช้ได้เลยทันทีในตอนกลางวัน และที่เหลือจะมีการสำรองไว้ในแบตเตอรี่ไว้ใช้ในตอนกลางคืน (หรือเรียกว่าเป็นระบบ Stand Alone) ไม่ต้องขออนุญาตจากการไฟฟ้านิวเคลียร์ การติดตั้งด้วยระบบนี้เหมาะกับสถานที่ที่ไฟจากการไฟฟ้าไปไม่ถึง เช่น พื้นที่ห่างไกล บนดอยสูง

ระบบไฮบริด Hybrid : เป็นการผสมระหว่างระบบ Off Grid และ On Grid คือ มีการเชื่อมต่อไฟจากการไฟฟ้า ร่วมกับการใช้ไฟที่ผลิตได้จากแผงโซลาร์เซลล์ และไฟจากแบตเตอรี่ ในกรณีที่แผงโซลาร์เซลล์ผลิตกระแสไฟฟ้ามากเกินไปการใช้งานกระแสไฟฟ้าจะถูกส่งไปเก็บไว้ที่แบตเตอรี่ และสามารถดึงมาใช้ในช่วงเวลากลางคืน แต่ระบบไฮบริดจะไม่สามารถขายกระแสไฟให้กับภาครัฐได้ อีกทั้งยังมีราคาการติดตั้งที่สูงมากจึงทำให้ยังไม่ค่อยได้รับความนิยม

### ตัวอย่างเทคโนโลยีการติดตั้งโซลาร์เซลล์ในปัจจุบัน

ผลิตและขายไฟฟ้าเองได้ “Peer-to-Peer Energy Trading” แพลตฟอร์มซื้อขายพลังงานไฟฟ้าแห่งอนาคตด้วยเทคโนโลยี นวัตกรรมในปัจจุบันที่มีความก้าวหน้ามากขึ้นทำให้เกิดการบัญญัติคำว่า “Prosumer” ขึ้น ซึ่งมาจากคำว่า Consumer ที่แปลว่าผู้บริโภครวมกับคำว่า Producer ที่แปลว่าผู้ผลิต Prosumer คือการที่ผู้บริโภคผันตัวเองจากการเป็นเพียงคนที่จ่ายเงินซื้อสินค้าและบริการอยู่ฝ่ายเดียวมาเป็นทั้งผู้ซื้อและผลิตสินค้าหรือบริการ เช่นเดียวกันในอุตสาหกรรมพลังงานเองก็มีเทคโนโลยีที่ส่งเสริมให้ Prosumer สามารถซื้อขายไฟฟ้าได้เองง่าย ๆ ผ่านแพลตฟอร์มซื้อขายไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยหรือ กฟผ. ที่ชื่อว่า “Peer-to-Peer Energy Trading” [11]



ภาพ 10 Peer-to-Peer Energy Trading แพลตฟอร์มให้บริการ Prosumer กฟผ.[11]  
ทดสอบการซื้อขายจริงผ่าน 3 โครงการนำร่อง

สำหรับแพลตฟอร์ม ของ กฟผ. เป็นแพลตฟอร์มที่ให้บริการ Prosumer หรือผู้ที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานสะอาด นำไฟฟ้าส่วนที่เกินจากความต้องการใช้งานมาเสนอซื้อ-ขายระหว่างกันได้โดยตรง (Peer-to-Peer) ซึ่งผ่านการทดลองใช้งานจริงแล้วในโครงการทดสอบนวัตกรรมที่นำเทคโนโลยีมาสนับสนุนการให้บริการด้านพลังงาน ระยะที่ 1 (ERC Sandbox ระยะที่ 1) ของสำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (กกพ.) โดยรองรับการตกลงซื้อขายพลังงานไฟฟ้าในรูปแบบสัญญาทวิภาคี (Bilateral Trading) ระหว่างผู้ผลิตและผู้ซื้อไฟฟ้า ซึ่งแพลตฟอร์ม Peer-to-Peer Energy Trading ได้ทดสอบในสภาพแวดล้อมการใช้งานจริงจากผู้เข้าร่วมทดสอบใน 3 โครงการ [11] ได้แก่ “โครงการ TU EGAT Energy” นำร่องทดสอบซื้อขายไฟฟ้าระหว่างอาคารของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต



ภาพ 11 โครงการ TU EGAT Energy มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต [11]

“โครงการศรีแสงธรรมโมเดล” ซื่อขายไฟฟ้าระหว่าง 4 พื้นที่ของบ้านดงดิบ จ.อุบลราชธานี โรงเรียนศรีแสงธรรม วัดป่าศรีแสงธรรม โรงเรียนบ้านดงดิบ และศูนย์เด็กเล็กบ้านดงดิบ



ภาพ 12 โครงการศรีแสงธรรมโมเดล จ.อุบลราชธานี [11]

“โครงการ ENGY Energy is Yours” ซึ่ง กฟผ. ร่วมกับภาคธุรกิจอสังหาริมทรัพย์ ดำเนินการศึกษาทดสอบในพื้นที่นำร่องแล้ว 3 แห่ง คือ โครงการเวนิวโฟลว์ (Venue Flow) แจ็งวัฒนะ โครงการเพอเฟคพาร์ค (Perfect Park) และโครงการคาซ่า พรีเมียม (Casa Premium) ราชพฤกษ์-แจ็งวัฒนะ

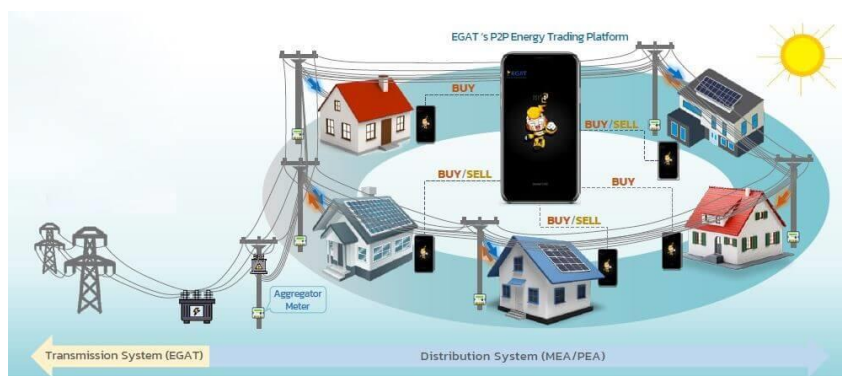


ภาพ 13 โครงการเวนิวโพล์ แจ็งวัฒนะ จ.นนทบุรี [11]

ทั้ง 3 โครงการมีการทดลองซื้อขายไฟระหว่างกันในพื้นที่ผ่านแพลตฟอร์มดังกล่าว ซึ่งผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถตรวจสอบติดตามค่าการผลิตและใช้พลังงานไฟฟ้าได้แบบเรียลไทม์ผ่าน แอปพลิเคชัน รวมทั้งดูประวัติย้อนหลังได้ตลอดเวลา ทำให้สามารถบริหารจัดการการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งเสริมการประหยัดพลังงานได้อย่างดีอีกด้วย ทั้งนี้ ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการเตรียมการออกแบบ กำหนดกฎกติกา มาตรการส่งเสริม หรือมาตรการป้องกันที่คำนึงถึงผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นต่อระบบไฟฟ้า อย่างรอบด้าน พร้อมทั้งจำกัดความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นต่อผู้บริโภค รวมถึงระบบกิจการพลังงาน โดยรวมของประเทศที่จะนำไปสู่การผลักดันให้เกิดรูปแบบธุรกิจด้านพลังงานใหม่ ๆ ต่อไปในอนาคต

### ขยายการทดสอบ สร้างความมั่นใจในการซื้อขายจริง

กฟผ. เร่งพัฒนาแพลตฟอร์มให้สามารถใช้งานได้ง่ายและเป็นที่แพร่หลายมากขึ้น พร้อมเตรียมขยายผลสู่การใช้งานในเชิงพาณิชย์ ตอบโจทย์การใช้งานของผู้ใช้ไฟฟ้าในยุค ดิจิทัล โดย “Peer-to-Peer Energy Trading” ของ กฟผ. ได้รับการอนุมัติให้เข้าร่วมโครงการ ทดสอบนวัตกรรมที่นำเทคโนโลยีมาสนับสนุนการให้บริการด้านพลังงาน ระยะที่ 2 (ERC Sandbox ระยะที่ 2) ซึ่งจะพัฒนาต่อยอดการดำเนินการซื้อขายพลังงานไฟฟ้าจริงในพื้นที่ โครงการนำร่องทั้ง 3 โครงการของ ERC Sandbox ระยะที่ 1 และ กฟผ. ได้เร่งมองหาพื้นที่ในการทดสอบใหม่ ๆ เพื่อสร้างความมั่นใจให้กับ Prosumer ที่ต้องการซื้อขายไฟฟ้าจากพลังงาน สะอาด



ภาพ 14 EGAT's P2P Trading Platform [11]

นอกจากนี้ กฟผ. ได้จับมือกับ 4 หน่วยงานพันธมิตร ได้แก่ ธนาคารกสิกรไทย บริษัท พีอีเอ อินคอม สมาร์ท โซลูชั่น จำกัด บริษัท ศุภาลัย จำกัด (มหาชน) และบริษัท อินโนพาวเวอร์ จำกัด นำแพลตฟอร์ม “Peer-to-Peer Energy Trading” มาเป็นศูนย์กลางซื้อขายแลกเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าโดยตรงระหว่างผู้ผลิตและผู้บริโภคที่ติดตั้ง Solar Rooftop ในโครงการ Solar Plus นำร่องที่หมู่บ้านศุภาลัย การ์ดैनวิลล์ รังสิต คลอง 2 จ.ปทุมธานี เพื่อใช้ในการบริหารจัดการพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นศูนย์กลางในการซื้อขายพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานสีเขียว มุ่งหวังเป็นต้นแบบของโครงการซื้อขายพลังงานแบบ Peer-to-Peer Energy Trading ที่กำลังจะเกิดขึ้นในอนาคต



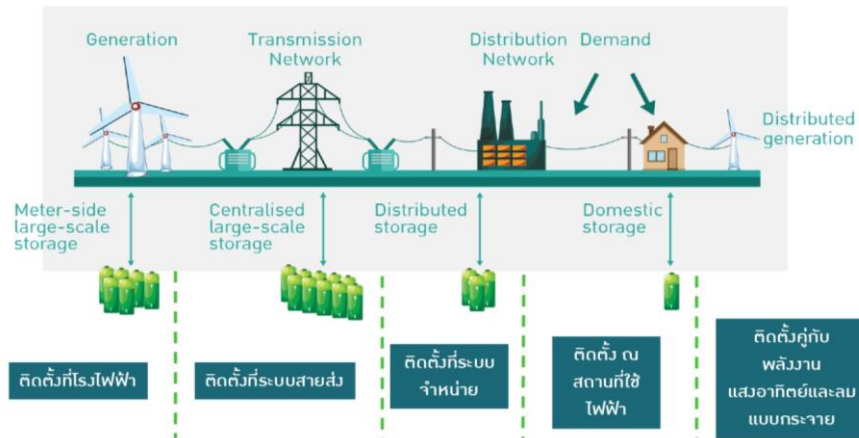
ภาพ 15 โครงการ Solar Plus หมู่บ้านศุภาลัยการ์ดैनวิลล์ รังสิตคลอง 2 จ.ปทุมธานี [11]

ความสำเร็จและความคืบหน้าของโครงการต่าง ๆ ข้างต้น สะท้อนให้เห็นว่า กฟผ. มุ่งมั่นพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานอย่างต่อเนื่องเพื่อตอบสนองโจทย์เทรนด์การใช้ไฟฟ้าจากพลังงานสะอาดให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด การซื้อขายพลังงานไฟฟ้าระหว่างกันสามารถทำได้โดยสะดวกมากขึ้น พร้อมเดินหน้าผลิตไฟฟ้าจากพลังงานสะอาด เพื่อมุ่งสู่เป้าหมายความเป็นกลางทางคาร์บอน ของ กฟผ. (EGAT Carbon Neutrality) ภายในปี ค.ศ. 2050 และเป้าหมายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิเป็นศูนย์ของประเทศ (Net Zero Emissions) ในปี ค.ศ. 2065 ตลอดจนเป็นผู้ให้บริการด้านพลังงาน Smart Energy Solutions แบบครบวงจรในอนาคตอย่างยั่งยืน

### เทคโนโลยีระบบกักเก็บพลังงาน (Energy Storage System, ESS)

คุณสมบัติสำคัญของ ระบบกักเก็บพลังงาน (ESS)

1. โยกย้ายพลังงานไฟฟ้าระหว่างเวลาได้เก็บไฟฟ้าที่ผลิตได้ตอน Demand ต่ำไว้ใช้ตอน Demand สูง (รวมถึงไฟฟ้าจากพลังงาน หมุนเวียน)
2. ไม่ต้องสร้าง scale ใหญ่เหมือนกับ สร้างโรงไฟฟ้าสามารถเลือกระดับลงทุนที่เหมาะสมกับความ จำเป็น ลดความเสี่ยงในการลงทุน
3. ระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) บางประเภท สามารถปล่อยและเก็บพลังงานไฟฟ้าได้อย่างรวดเร็วเหมาะแก่การนำมาใช้งานเพื่อรักษาเสถียรภาพ ของระบบไฟฟ้า ลดต้นทุนในการใช้โรงไฟฟ้า เพื่อรักษาเสถียรภาพ
4. ระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) สามารถเคลื่อนย้ายได้ และ ตอบสนองการใช้งานที่หลากหลาย สามารถนำไปใช้ในที่ห่างไกล และปรับเปลี่ยน การทำงานได้หลากหลาย จึงเกิดเป็นการประหยัดจากขอบเขต (economy of scope) [12]



ภาพ 16 ระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) มีประโยชน์ในทุกส่วนของระบบไฟฟ้า [12]

จากภาพ 16 ระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) สามารถกักเก็บพลังงานในทุกส่วนของระบบไฟฟ้าดังนี้

1. ติดตั้งที่โรงไฟฟ้า (Generation) Meter-side large-scale storage
2. ติดตั้งที่ระบบสายส่ง (Transmission Network) Centralized large-scale storage
3. ติดตั้งที่ระบบจำหน่าย (Distribution Network) Domestic storage Distributed storage
4. ติดตั้ง ณ สถานที่ใช้พลังงานไฟฟ้า (Demand) Domestic storage
5. ติดตั้งคู่กับพลังงานแสงอาทิตย์และลมแบบกระจาย Distributed-generation

#### บทบาทสำคัญของ ระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) ในระบบไฟฟ้าแห่งอนาคต

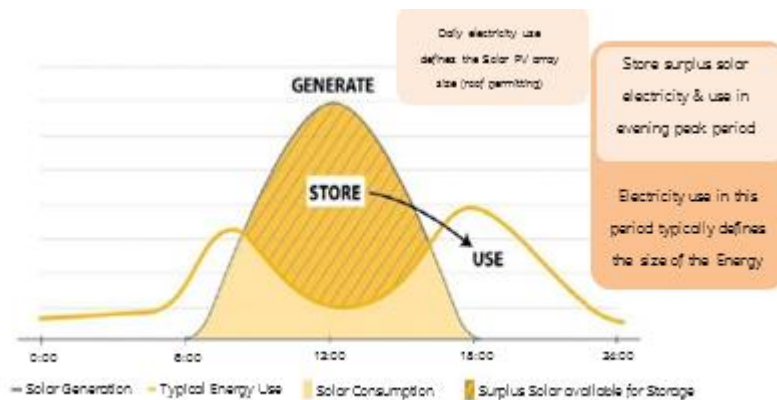
1. ช่วยให้ระบบไฟฟ้า “สะอาด” รองรับพลังงานหมุนเวียนได้มากขึ้น
 

ลักษณะเฉพาะของพลังงานหมุนเวียน (โดยเฉพาะลมและแสงอาทิตย์) มีความผันผวน (variable) ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ อาจไม่ตรงกับความต้องการเสมอไป

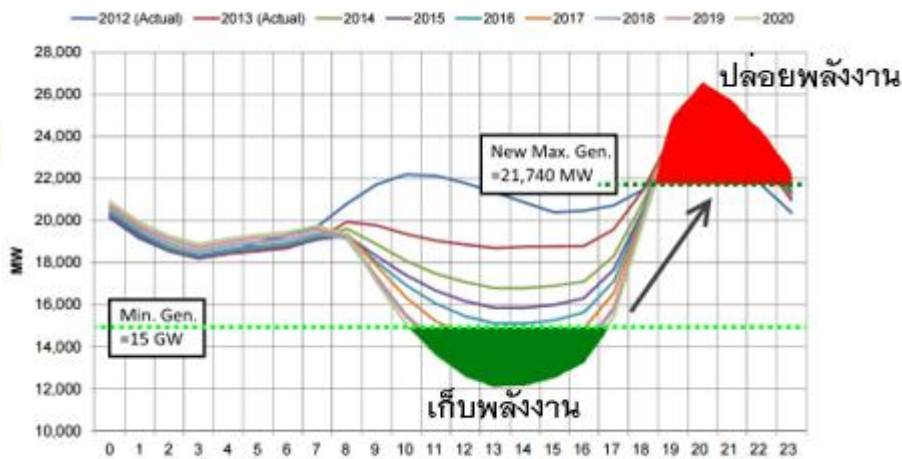
ตัวอย่างการใช้งาน ระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) เพื่อเพิ่มมูลค่าให้พลังงานหมุนเวียน

  - 1.1 เพิ่มเสถียรภาพของพลังงานหมุนเวียน ติดตั้งโดย กฟผ. และ/หรือ wind farm, solar farm เพื่อลดต้นทุนจากการสำรองไฟฟ้าและการสร้างโรงไฟฟ้าเพิ่ม
  - 1.2 เพิ่มมูลค่าให้กับพลังงานหมุนเวียน โดยเก็บไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน ในช่วงที่มีมูลค่าต่ำ (ความต้องการต่ำ) ไว้ใช้ในช่วงที่มีมูลค่าสูง (ความต้องการสูง) ติดตั้งโดย

กฟผ. เพื่อลดต้นทุนในการจัดหาไฟฟ้า ติดตั้งโดยผู้ใช้ไฟฟ้าพร้อมแผงโซลาร์เซลล์เพื่อลดการซื้อไฟฟ้าจากโครงข่าย



ภาพ 17 เก็บไฟฟ้าส่วนเกินจากโซลาร์เซลล์บนหลังคา (Solar roof top) ตอนกลางวัน ด้านผู้ใช้ไฟฟ้า [12]



ภาพ 18 กราฟรูปเบ็ด (duck curve) [12]

ระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) บรรเทาการเกิดกราฟรูปเบ็ด (duck curve) ที่เกิดจาก PV ลดความจำเป็นในการสำรองไฟฟ้า และลดต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าช่วง peak กลางคืน

2. ช่วยลดต้นทุนของระบบไฟฟ้า และต้นทุนของสังคม

ระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) สามารถช่วยเสริมการทำงานของโรงไฟฟ้าเพื่อลดต้นทุนในการบริหารจัดการระบบไฟฟ้าหลัก

ตัวอย่าง การใช้งาน ระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในระบบไฟฟ้า (ติดตั้งโดย กฟผ. หรือผู้ให้บริการเอกชน)

2.1 ลดต้นทุนการผลิตไฟฟ้า โดยการเก็บพลังงานไฟฟ้าในช่วงที่ความต้องการต่ำ/ ต้นทุนถูก (เช่นตอนกลางคืน) ไว้จ่ายให้โครงข่ายในช่วงที่ความต้องการสูง/ ต้นทุนสูงได้

2.2 ลดพีคไฟฟ้า เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าในช่วงที่เกิดความต้องการสูงสุดความจำเป็นในการ สร้างโรงไฟฟ้า

2.3 รักษาเสถียรภาพในระบบไฟฟ้า ระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) บางประเภทสามารถจ่ายไฟได้เร็ว จึงสามารถนำมาใช้สร้างเสถียรภาพให้กับระบบไฟฟ้าร่วมกับโรงไฟฟ้าได้

เสถียรภาพ คือ สมดุลระหว่างการผลิตและความต้องการไฟฟ้า ณ ขณะใดขณะหนึ่ง ความไม่สมดุลมีแนวโน้มสูงขึ้นตามสัดส่วนของพลังงานหมุนเวียนในระบบ

2.4 ชะลอการลงทุนในสายส่ง ติดตั้ง ระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) ในบริเวณที่มีความต้องการสูง ลดความแออัดของสายส่ง และชะลอการลงทุนในสายส่ง

3. ช่วยให้ชุมชนและธุรกิจ “มีส่วนร่วม” ในการผลิตไฟฟ้าและบริหารโครงข่ายย่อย

โครงข่ายไฟฟ้าแบบกระจายศูนย์ (distributed grid): ผู้ใช้ไฟฟ้ามีส่วนร่วมในการผลิตไฟฟ้า การขายไฟฟ้าและบริหารพลังงานไฟฟ้าในเครือข่ายย่อย ๆ ของตน

ตัวอย่าง การใช้งาน ระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) ในโครงข่ายแบบกระจายศูนย์ (ติดตั้งโดยผู้ใช้ไฟฟ้า)

3.1 บริหารจัดการพลังงานหมุนเวียนในเครือข่าย เก็บพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานหมุนเวียนในเครือข่ายไว้ใช้ ลดการสูญเสียจากการส่งไฟฟ้าลดต้นทุนการซื้อไฟฟ้า

3.2 ลดค่าไฟฟ้า บริหารจัดการการใช้ไฟฟ้าภายในอาคาร หรือภายใน โครงข่ายย่อย ๆ ร่วมกับอุปกรณ์สื่อสาร (IoT) ช่วยลด peak และ ลดค่าไฟฟ้า

3.3 เพิ่มความมั่นคง ใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรอง (Uninterrupted Power Supply, UPS) หรือเพื่อรักษาคุณภาพไฟฟ้าในยามที่ไฟตก หรือไฟดับ มูลค่าจะสูงมากในอนาคต เมื่อใช้ในธุรกิจด้านข้อมูล และการสื่อสาร เช่น Data center และเครือข่ายสื่อสารข้อมูล เป็นต้น บทบาทของ ระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) ด้านผู้ดูแลระบบ/กฟผ. บริหารจัดการโครงข่ายง่ายขึ้น แม้จะมีพลังงานหมุนเวียนเพิ่ม มีต้นทุนการจัดหาไฟฟ้า และดูแล เสถียรภาพของโครงข่ายที่ต่ำลงบทบาทของ ระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) ด้านผู้ใช้ไฟฟ้า/ชุมชน/ธุรกิจ มีความมั่นคงทาง

พลังงานไฟฟ้ามากขึ้นลดต้นทุนค่าไฟฟ้าที่ซื้อจากโครงข่ายหลัก (อาจ) มีรายได้จากการขายไฟฟ้าส่วนเกินไม่ต้องจ่ายค่าไฟฟ้าแพงในระยะยาว

แบตเตอรี่ Lithium-ion เป็นเทคโนโลยีที่ศักยภาพสูงสุด มีคุณสมบัติที่หลากหลาย จึงสามารถตอบโจทย์การใช้งานได้หลายรูปแบบ ต้นทุนต่ำลงอย่างรวดเร็ว ในขณะที่ประสิทธิภาพและรอบการทำงานสูงขึ้น อันเป็นผลจาก การพัฒนาตลาด consumer electronics (มือถือ, กล้องถ่ายรูป, แล็ปท็อป) และยานยนต์ไฟฟ้า

ความคุ้มค่าของระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) ที่นำมาในโครงข่ายไฟฟ้า

ประโยชน์จากการลงทุนใน ระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) ในประเทศไทย อยู่ในรูปของการลดต้นทุนเป็นหลัก

จุดคุ้มทุน: ประโยชน์ของ ระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) (ต่อผู้ลงทุน) > ต้นทุน ระบบกักเก็บพลังงาน (ESS)

ประโยชน์ต่อผู้ ลงทุน ระบบกักเก็บพลังงาน (ESS)

1. ลดต้นทุนการ ให้บริการ ระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการให้บริการบาง ประเภท จึงให้ผลตอบแทนในรูปของต้นทุนที่ลดลงเมื่อเทียบกับตัวเลือกปัจจุบัน
2. เพิ่มรายได้ระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) สามารถร่วมให้บริการในระบบไฟฟ้าควบคุมได้กับโรงไฟฟ้าได้

ในบริบทของประเทศไทย ประโยชน์ส่วนใหญ่ของ ระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) จะอยู่ในรูปของการลดต้นทุน เนื่องจาก กติกาในระบบไฟฟ้าปัจจุบัน ยังไม่รองรับให้ ระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) มีส่วนร่วมให้บริการเพื่อสร้างรายได้ตัวอย่างความคุ้มค่าของการใช้แบตเตอรี่ควบคู่กับพลังงานหมุนเวียนเท่านั้น

การใช้ระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) ร่วมกับพลังงานหมุนเวียน

การใช้ ระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) ร่วมกับพลังงานหมุนเวียน ช่วยชะลอการสร้างโรงไฟฟ้าเพิ่มพลังงานลมและแสงอาทิตย์ อาจไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้เต็มกำลังในช่วงที่มีความต้องการสูง ระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) สามารถช่วยให้ผลผลิตไฟฟ้าจากระบบพลังงานหมุนเวียน มีความสม่ำเสมอและคงที่เทียบเท่าโรงไฟฟ้า เชื้อเพลิงฟอสซิล

รูปแบบการผลิตไฟฟ้าจาก โซลาร์เซลล์ Solar PV + ระบบกักเก็บพลังงาน (ESS)

โซลาร์เซลล์ Solar PV (1 kW) + ระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) (3 kWh) ชะลอ การสร้างโรงไฟฟ้าถ่านหินได้ 0.2 kW: เทียบเท่ากับผลประโยชน์ 8,574 บาท ต่อ 1kWh ระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) (ระยะเวลา 10 ปี)

โซลาร์เซลล์ Solar PV (1 kW) + ระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) (3 kWh) ครอบคลุม การสร้าง โรงไฟฟ้ากังหันแก๊สได้ 0.26 kW: เทียบเท่ากับผลประหยัด 4,343 บาท ต่อ 1 kWh ระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) (ระยะเวลา 10 ปี)

คำนวณ โดยใช้สมมติฐานว่าระบบ ระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) มีอายุการใช้งาน 10 ปี และระบบ ระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) ถูกนำมาใช้ติดคู่กับระบบ Solar PV ขนาด 1 kW ที่มีอยู่แล้วในระบบ เพื่อให้พลังงานที่ผลิตแต่ละช่วงเวลา เป็นไปตามข้อกำหนดการผลิตไฟฟ้า ตามประกาศการรับซื้อไฟฟ้าในโครงการ SPP Hybrid Firm พ.ศ. 2560

การใช้ระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) ร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์

การใช้ ระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) ร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์ มีแนวโน้มจะคุ้มค่า ในเวลาอันใกล้เสริมความมั่นคงให้แก่โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ มีแนวโน้มจะคุ้มค่าภายใน ระยะเวลา 5- 10 ปีจากนี้ ดังนั้น แผนพลังงานระยะยาวของประเทศ ควรพิจารณาทางเลือก เทคโนโลยีพลังงานใหม่ ๆ มาใช้

การใช้งานระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) ในประเทศไทย

การใช้งาน ระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) ในประเทศไทยยังไม่แพร่หลายในปัจจุบัน เพราะผลตอบแทนน้อย เมื่อเทียบกับต้นทุนระบบ ระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) แต่อย่างไรก็ตาม ต้นทุนเทคโนโลยี แนวโน้มเทคโนโลยีจะถูกลงเรื่อย ๆ จากการแข่งขันในตลาดโลกและ ขึ้นอยู่กับนโยบายของรัฐประโชชน์ (ผลตอบแทน)

1. ความคุ้มค่าแต่ละ Application น้อยเพราะโครงสร้างราคาในระบบไฟฟ้าปัจจุบันทำให้ผลประหยัดจากระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) มีมูลค่าไม่สูงมาก

2. โอกาสในการใช้ ระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) พร้อมกันหลาย Application เพื่อเพิ่มมูลค่าทำได้ยากเพราะกติกาในระบบไฟฟ้ายังไม่อำนวยความสะดวกให้ระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) มีส่วนร่วมให้บริการในระบบ

การนำระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) มาใช้งาน

การนำระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) สามารถนำมาใช้งานในหลายรูปแบบพร้อม ๆ กัน สามารถเพิ่มความคุ้มค่าโดยรวมให้กับระบบได้ทำให้ “Benefit stacking” คุ้มทุนเร็วขึ้น

การใช้งานระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) ที่เกิดพร้อมกัน

1. ลดต้นทุนการผลิตไฟฟ้าลดพีคชะลอการลงทุนในสายส่งติดตั้งที่โครงข่ายไฟฟ้า (ใช้งานโดย กฟผ.)

2. เพิ่มมูลค่าให้พลังงานหมุนเวียนเพิ่มเสถียรภาพให้พลังงานหมุนเวียนติดตั้งที่โครงข่ายไฟฟ้า (ใช้งานโดย กฟผ.) และ ติดตั้งโดยผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทอาคารและโรงงาน

3. ลดค่าไฟฟ้าแบบ TOU ลดค่า Demand charge เพิ่มความมั่นคงของแหล่งไฟฟ้า ติดตั้งโดยผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทอาคารและโรงงาน

สรุปและข้อเสนอแนะ

1. การผลิตไฟฟ้าจากถ่านหินและเชื้อเพลิงฟอสซิลจะเป็นทางเลือกที่การผลิตไฟฟ้าที่มีบทบาทลดลงเรื่อย ๆ ในอนาคต

2. ระบบไฟฟ้าของประเทศจึงต้องปรับไปสู่ระบบไฟฟ้าแห่งอนาคตซึ่งเป็นระบบที่สะอาดชุมชนมีส่วนร่วม และต้นทุนต่ำ

3. ระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) เป็นหัวใจสำคัญที่จะช่วยรองรับการเปลี่ยนดังกล่าว

4. ระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) จะสร้างประโยชน์ให้กับ

4.1 ผู้ดูแลระบบไฟฟ้า – ในรูปแบบของต้นทุนที่ต่ำลงและการบริหารจัดการที่ง่ายขึ้น

4.2 ผู้ใช้ไฟฟ้า – ในรูปแบบของค่าไฟฟ้าที่ถูกลงและความมั่นคงของพลังงานไฟฟ้า

ที่เพิ่มขึ้น

4.3 ธุรกิจ – ในรูปแบบของรายได้จากการให้บริการในระบบไฟฟ้า

4.3.1 เทคโนโลยีระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) ที่มีศักยภาพสูงในระยะสั้น/ปานกลางคือ เทคโนโลยีแบตเตอรี่ Lithium-ion

4.3.2 ปัจจุบันการใช้งานระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) ในประเทศไทยยังไม่แพร่หลายเนื่องจากต้นทุน ระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) ยังสูงและโอกาสสร้างรายได้ในกิจการไฟฟ้ามีจำกัด

4.3.3 นวัตกรรมใช้ระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) ในระบบไฟฟ้าของประเทศไทยในไม่ช้าจะเริ่มคืบค้ำในอีกไม่ช้าดังนั้นภาครัฐการไฟฟ้าแห่งประเทศไทยภาคธุรกิจและผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องศึกษาและทำความเข้าใจประโยชน์ของการนำระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) มาใช้งานในรูปแบบต่าง ๆ อย่างละเอียดติดตามความก้าวหน้าของเทคโนโลยีเพื่อให้สามารถนำมาใช้ได้ทันทีที่คุ้มค่าโดยเฉพาะภาครัฐซึ่งเป็นผู้คอยกำกับดูแลพิจารณาบทบาทของเทคโนโลยีพลังงานใหม่ ๆ ในแผนพลังงานระยะยาวของประเทศและปรับกติกาของกิจการไฟฟ้า เปิดโอกาสให้เทคโนโลยีพลังงานรูปแบบใหม่ ๆ เข้ามามีส่วนร่วมให้บริการในระบบไฟฟ้า [12]

การคาดการณ์การเติบโตของระบบแบตเตอรี่กักเก็บพลังงานและยานยนต์ไฟฟ้า

จากข้อมูลของ Bloomberg NEF พบว่า ณ ปี ค.ศ. 2030 ต้นทุนของแบตเตอรี่ประเภท Li-ion จะลดลงจนอยู่ในระดับ 62 USD/kWh หรือ 1,860 บาทต่อ kWh จากในปัจจุบันที่อยู่ 156 USD/kWh หรือ 4,680 บาท/kWh ดังแสดงในภาพ 19 ซึ่งเป็นทิศทางเดียวกับกำลังการผลิตที่เพิ่มขึ้นจากโรงงานแบตเตอรี่จากปัจจุบัน 455 GWh/ปี ไปเป็น 2,272 GWh/ปี ในปี ค.ศ. 2029

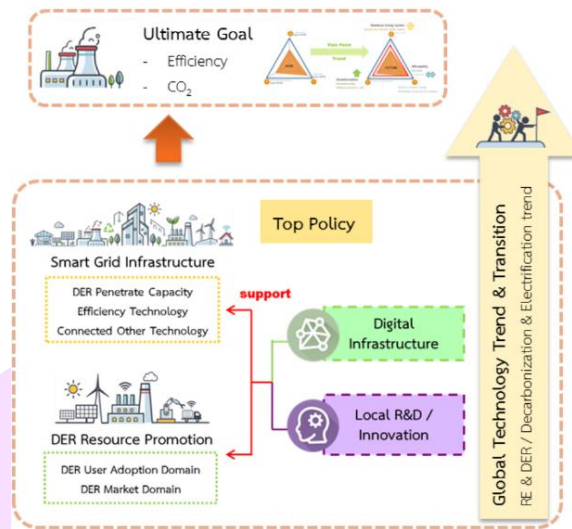
ซึ่งต้นทุนของแบตเตอรี่ที่ลดลงอย่างมากนอกจากจะส่งผลให้เกิดการใช้งาน ระบบกักเก็บพลังงานเพิ่มขึ้นจากในปัจจุบัน 30 GWh ไปเป็น 745 GWh และ 9,000 GWh ใน ปี ค.ศ. 2030 และ ค.ศ. 2050 แล้วบริบทดังกล่าวก็ยังเป็นแรงหนุนให้มีการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าอย่างแพร่หลายมากขึ้นด้วยเช่นกันซึ่งคาดการณ์ว่าในปี ค.ศ. 2030 จะมีปริมาณของยานยนต์ไฟฟ้าสะสมกว่า 379 ล้านคัน และเพิ่มขึ้นเป็น 1,109 ล้าน คันในปี ค.ศ. 2050 จากในปัจจุบันที่มีปริมาณเพียง 7.9 ล้านคัน ดังแสดงได้ในภาพ 10 – 11 ซึ่งยานยนต์ไฟฟ้าปริมาณดังกล่าวยังสามารถนำมาใช้งานเป็นระบบกักเก็บพลังงานเพื่อสนับสนุนระบบโครงข่ายได้สูงถึง 14,145 GWh [13]

	2030	2050	
คาดการณ์ราคาแบตเตอรี่ Li-Ion (แหล่งที่มา : BloombergNEF 2019)	62 USD/kWh (1,860 Baht/kWh)	-	(จากปัจจุบัน 2019 : 156 USD/kWh (4,680 Baht/kWh) *หมายเหตุ : อัตราแลกเปลี่ยน 30 Baht/USD (จากปัจจุบัน 2019 : 455 GWh/ปี)
คาดการณ์โรงงานผลิตแบตเตอรี่ (แหล่งที่มา : BloombergNEF 2019)	2,272 GWh/ปี (คาดการณ์ ณ ปี 2029)	-	
คาดการณ์การใช้งาน Storage Stationary	745 GWh (1,860 Baht/kWh)	9,000 GWh	(จากปัจจุบัน 2019 : 30 GWh/ปี)
คาดการณ์การใช้งาน Storage EVs (แหล่งที่มา : IRENA,2020)	5,056 GWh	14,145 GWh	(จากปัจจุบัน 2019 : 200 GWh/ปี)

ภาพ 19 การคาดการณ์การใช้งานแบตเตอรี่กักเก็บพลังงาน ในปี ค.ศ. 2030 และ ค.ศ. 2050 [13]

	2030	2050	
ภาพรวมยอดขาย EV (Global Passenger EV Sales)	28 ล้านคัน/ปี	56 ล้านคัน/ปี (ปี 2040)	(จากปัจจุบัน 2018 : 2.1 ล้านคัน/ปี)
คาดการณ์ EV Share (New Car Sale) (แหล่งที่มา : BloombergNEF 2019)	28%	58% (ปี 2040)	(จากปัจจุบัน 2020 : 2.7%)
คาดการณ์ปริมาณ EV สะสม (แหล่งที่มา : IRENA,2020)	379 ล้านคัน	1,109 ล้านคัน	(จากปัจจุบัน 2019 : 7.9 ล้านคัน)

ภาพ 20 การคาดการณ์การเติบโตของยานยนต์ไฟฟ้าในปี ค.ศ.2030 และ ค.ศ. 2050 [13]



ภาพ 21 แนวทางการกำหนดวิสัยทัศน์และเป้าหมายภาพรวม [13]

### อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOU

อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOU จะช่วยลดค่าใช้จ่ายพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

1. หลีกเลี่ยงการใช้อุปกรณ์หรือเครื่องจักรที่ก่อให้เกิดความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดในช่วง On Peak เพื่อลดค่าพลังงานไฟฟ้า
2. สามารถเลื่อนกระบวนการผลิตบางส่วนให้ไปอยู่ในช่วง Off Peak เพื่อ ลดค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดและค่าพลังงานไฟฟ้าจะถูกกว่าช่วง On Peak ประมาณ 2.3 เท่า
3. สามารถเลือกวันทำงานได้โดยทำงานวันเสาร์และหรือวันอาทิตย์แทนวันทำงานปกติ (ในกรณีที่หยุดวัน อาทิตย์) เนื่องจากวันเสาร์และอาทิตย์ไม่เสียค่าพลังงานไฟฟ้าและค่าพลังงานไฟฟ้าจะถูกกว่าวันปกติในช่วง On Peak ประมาณ 2.3 เท่า
4. อุตสาหกรรมที่มีการผลิตอย่างต่อเนื่องตลอด 24 ชั่วโมง และมีการใช้พลังงานอย่างสม่ำเสมอ
5. ผู้ที่ใช้ระดับแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 69 kV ขึ้นไปและผู้ใช้ไฟฟ้าที่กำลังใช้อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOD ที่ใช้ระดับแรงดันไฟฟ้าระหว่าง 22-33 kV ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าช่วง On Peak สูงกว่าช่วง Partial Peak [14]

อย่างไรก็ตาม ควรทำการศึกษาลักษณะการใช้ไฟฟ้าเป็นราย ๆ ไปเพื่อจะได้ทราบว่าอัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOU เหมาะสมกับลักษณะการใช้ไฟฟ้าของอาคารหรือโรงงานของตนหรือไม่

ตัวอย่างที่ 1 การคำนวณและเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าแบบ TOU และอัตราปกติ

โรงพยาบาลเอกชนขนาดกลางแห่งหนึ่งในเขตกรุงเทพฯ ระดับแรงดันไฟฟ้า (12 kV ได้ทำการศึกษาลักษณะการใช้ไฟฟ้าของตนเองเพื่อเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าแบบ TOU และอัตราปกติดังต่อไปนี้

ข้อมูลจากการบันทึกการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลาของการใช้เป็นเวลา 1 เดือนมีดังนี้

พลังงานไฟฟ้าช่วง On Peak (วันจันทร์-วันศุกร์ 9.00-22.00 น.)	105,255 kWh
พลังงานไฟฟ้าช่วง Off Peak (วันจันทร์-วันศุกร์ 22.00-9.00 น.) และวันเสาร์-อาทิตย์ และวันหยุดราชการทั้งวัน)	139,745 kWh
รวม	245,000 kWh

ตาราง 3 อัตราค่าไฟฟ้ายรายเดือนระดับแรงดันไฟฟ้า

อัตราค่าไฟฟ้ายรายเดือนระดับแรงดันไฟฟ้า < 12 kV		
ค่าไฟฟ้า	อัตราปกติ	อัตรา TOU
พลังไฟฟ้าสูงสุด (บาท/kWh)	221.50	210
พลังงานไฟฟ้า (บาท/kWh)	1.7314	2.8408 (On Peak) 1.2246 (Off Peak)
ค่าบริการ (บาท)	-	228.17

**หมายเหตุ:** ค่าพลังไฟฟ้าสูงสุดของอัตราปกติคิดจากความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาที สูงสุดที่เวลาใด ๆ ของเดือนนั้น

จากข้อมูลและลักษณะการใช้ไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้าสูงสุดของโรงพยาบาลเท่ากับ 500 kWh ที่เวลา 22.30 น. ซึ่งถือว่าเป็นช่วง Off Peak ของ อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOU ดังนั้นถ้าใช้อัตราค่า ไฟฟ้าแบบ TOU โรงพยาบาลนี้จะเสียค่าพลังงานไฟฟ้าในช่วง On Peak เพียง 450 kWh ซึ่งเกิดที่เวลา 9.00 น. ซึ่งถ้าดูคร่าว ๆ แล้ว การใช้ อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOU น่าจะช่วยลดค่าใช้ไฟฟ้าลงได้แต่จากการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าเห็นว่าอัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOU ไม่ได้ช่วยลดค่าไฟฟ้าของโรงพยาบาลแห่งนี้

ตาราง 4 เปรียบเทียบค่าไฟฟ้าอัตราปกติกับอัตรา TOU

เปรียบเทียบค่าไฟฟ้า		
ค่าไฟฟ้า	อัตราปกติ (บาท)	อัตรา TOU (บาท)
ค่าพลังไฟฟ้าสูงสุด (1)	110,750	94,500.00
ค่าพลังงานไฟฟ้า (2)	424,193	470,140.13
ค่าบริการ (3)	0	228.17
รวม(4)=(1)+(2)+(3)	534,943	564,868.30

ตัวอย่างที่ 2 การคำนวณและเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าแบบ TOU และแบบ TOD  
โรงงานผลิตปูนซีเมนต์แห่งหนึ่งในเขตการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคระดับแรงดันไฟฟ้า 69 kV ได้ทำการศึกษาลักษณะการใช้ไฟฟ้าของตนเองเพื่อเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าแบบ TOU และ TOD ดังนี้

พลังไฟฟ้าสูงสุด พิจารณาตามแบบ TOD

ช่วง On Peak (ที่เวลา 21.00 น.)	51,000	kWh
ช่วง Partial Peak (ที่เวลา 13.00 น.)	56,000	kWh
ช่วง Off Peak (ที่เวลา 01.00 น.)	57,000	kWh

พลังงานไฟฟ้า พิจารณาตามแบบ TOU

ช่วง On Peak (วันจันทร์-ศุกร์ 9.00-22.00 น.)	12,000,000	kWh
ช่วง Off Peak (วันจันทร์-ศุกร์ 22.00-9.00 น. และวันเสาร์-อาทิตย์ และวันหยุดราชการทั้งวัน)	22,400,000	kWh
รวม	34,400,000	kWh

ตาราง 5 อัตราค่าไฟฟ้ารายเดือนระดับแรงดันไฟฟ้า 69 kV

อัตราค่าไฟฟ้ารายเดือนระดับแรงดันไฟฟ้า 69 kV		
อัตราค่าไฟฟ้ารายเดือนระดับ แรงดันไฟฟ้า 69 kV	อัตรา TOD	อัตรา TOU
พลังไฟฟ้าสูงสุด (บาท/kWh)	224.30 (On Peak) 29.91 (Partial Peak)	74.14 (On Peak)
พลังงานไฟฟ้า (บาท/kWh)	1.6660	2.6136 (On Peak) 1.1726 (Off Peak)
ค่าบริการ (บาท)		228.17

ตาราง 6 เปรียบเทียบค่าไฟฟ้าอัตรา TOD กับ TOU

เปรียบเทียบค่าไฟฟ้า		
ค่าไฟฟ้า	อัตรา TOD (บาท)	อัตรา TOU (บาท)
ค่าพลังไฟฟ้าสูงสุด (1)	11,588,850	4,151,840
ค่าพลังงานไฟฟ้า (2)	57,310,400	57,629,440
ค่าบริการ (3)	0	228.17
รวม(4)=(1)+(2)+(3)	68,899,250	61,781,508.17

จากการคำนวณค่าไฟฟ้าของโรงงานผลิตปูนซีเมนต์แห่งนี้จะเห็นว่าอัตราค่าไฟฟ้าแบบTOUจะสามารถลดค่าใช้จ่ายพลังงานได้ประมาณ 7 ล้านบาทต่อเดือน [14]

### สมาร์ตกริด

สมาร์ตกริด คือการพัฒนาให้ระบบไฟฟ้าที่นำเทคโนโลยีหลายประเภทเข้ามาทำงานร่วมกันเพื่อให้สามารถตอบสนองต่อการทำงานได้อย่างชาญฉลาดมากขึ้นระบบไฟฟ้าจะมีความสามารถมากขึ้นโดยใช้ทรัพยากรที่น้อยลงมีประสิทธิภาพมีความน่าเชื่อถือปลอดภัยและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม [15]

ระบบบริหารจัดการพลังงาน Energy Management System: EMS

ระบบบริหารจัดการพลังงาน Energy Management System: EMS หมายถึง ระบบอัตโนมัติที่นำเข้ามาใช้ในการควบคุมให้การผลิตการส่งและการใช้พลังงานรวมถึงประสานกันระหว่างอุปกรณ์ตรวจวัด (Sensor) สมาร์ทมิเตอร์ (Smart meter) และระบบควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าอัตโนมัติ (Actuator หรือ Controller) บนโครงสร้างของระบบเทคโนโลยีและสารสนเทศ (Information Technology : IT) โดยอาจมีการติดตั้ง ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน (เช่น พลังงาน แสงอาทิตย์) และระบบกักเก็บพลังงานร่วมด้วยเพื่อบริหารจัดการการใช้ไฟฟ้าให้เกิดประโยชน์สูงสุด

ระบบบริหารจัดการพลังงาน แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. Home Energy Management System: HEMS เป็นระบบที่เชื่อมโยงอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านเข้าด้วยกันและสามารถแสดงสถานการณ์การใช้ไฟฟ้าได้ โดย HEMS ที่มีความสามารถในระดับสูงจะสามารถนำข้อมูลที่เกี่ยวข้องมาประมวลผล พร้อมทั้งเสนอแนะต่อผู้ใช้ไฟฟ้าถึงวิธีการใช้พลังงานการใช้พลังงานอย่างอัตโนมัติทำให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด



ภาพ 22 ภาพรวมของ Home Energy Management System: HEMS [15]

2. Building Energy Management System: BEMS เป็นระบบการจัดการพลังงานที่ช่วยในการควบคุมและติดตามระบบพลังงานภายในอาคาร เช่น ระบบปรับอากาศระบบไฟแสงสว่าง เป็นต้น โดยจะรวบรวมข้อมูลที่ตรวจวัดได้มาประมวลและส่งข้อมูลที่จำเป็นให้แก่ผู้ควบคุมระบบอาคาร



ภาพ 23 ภาพรวมของ Building Energy Management System: BEMS [15]

3. Factory Energy Management System: FEMS เป็นระบบการจัดการพลังงานที่ช่วยในการจัดการควบคุมและติดตามระบบพลังงานภายในโรงงาน โดย FEMS จะเป็นระบบที่มี

ความซับซ้อนมากที่สุดเนื่องจากการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงานจะแตกต่างกันตามกระบวนการผลิตของโรงงานในขณะที่ระบบ BEMS หรือ HEMS มักจะควบคุมระบบปรับอากาศ ระบบทำความร้อนระบบแสงสว่าง เป็นต้น



ภาพ 24 Factory Energy Management System: FEMS [15]

การตอบสนองด้านโหลด Demand Response

การตอบสนองด้านโหลด Demand Response คือ การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมและรูปแบบการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าซึ่งอยู่ทางด้านอุปสงค์ (Demand) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อตอบสนองต่อความจำเป็นที่เกิดขึ้นในการบริหารจัดการระบบไฟฟ้าหรือการเปลี่ยนแปลงราคาไฟฟ้าในช่วงเวลาหนึ่ง ๆ หรือต่อผลตอบแทน (Incentive) ที่ออกแบบมาเพื่อโน้มน้าวให้ผู้ใช้ไฟฟ้าเปลี่ยนหรือลดการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาที่ราคาค่าไฟฟ้าสูงความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้าอยู่ในสภาวะผิดปกติโดยมีรูปแบบการสั่งการ 3 แบบ ดังนี้

1. ระบบสั่งการด้วยคน (Manual Demand Response System) สั่งการด้วยคนในทุกขั้นตอนเริ่มตั้งแต่การสั่งการของผู้ดูแลระบบมายังผู้จำหน่ายไฟฟ้าจนถึงผู้ใช้ไฟฟ้าผ่านช่องทางการสื่อสารต่าง ๆ ได้แก่จดหมายโทรศัพท์หรือไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์โดยเมื่อผู้ใช้ไฟฟ้าได้รับคำสั่งหรือการร้องขอแล้วจะพิจารณาตัดสินใจว่าจะเข้าร่วมตอบสนองด้านโหลดในระดับใดและเลือกใช้อุปกรณ์หรือวิธีการดำเนินการอย่างไรจากนั้นจึงสั่งการไปยังผู้ที่ควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ให้ปิดหรือปรับการควบคุมการทำงานเพื่อลดการใช้ไฟฟ้า

2. ระบบสั่งการแบบกึ่งอัตโนมัติ (Semi-automated Demand Response System) สั่งการด้วยระบบอัตโนมัติจากผู้ดูแลระบบผ่านผู้จำหน่ายไฟฟ้าไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าโดยผู้ใช้ไฟฟ้าจะเป็นผู้พิจารณาเลือกวิธีการดำเนินการทั้งนี้ในการดำเนินการผู้ดูแลระบบจะอาศัยเทคโนโลยีระบบบริหารจัดการพลังงานหรือการเชื่อมต่อข้อมูลต่าง ๆ ในการส่งคำสั่งหรือแจ้งการสั่งการไปยังหน้ามิเตอร์ของผู้ใช้ไฟฟ้าเมื่อผู้ใช้ไฟฟ้าได้รับคำสั่งหรือการร้องขอแล้วจะพิจารณาตัดสินใจว่าจะเข้าร่วมตอบสนองด้านโหลดต่อไป

3. ระบบสั่งการแบบอัตโนมัติ (Automated Demand Response System) สั่งการแบบอัตโนมัติในทุกขั้นตอนโดยระบบคอมพิวเตอร์ส่วนกลางจะติดตามสถานะของระบบโครงข่ายไฟฟ้าสถานะการผลิตไฟฟ้าและสถานะการใช้ไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องตลอดเวลาโดยเมื่อระบบประเมินแล้วเห็นความเสี่ยงที่ระดับความเชื่อมั่นของระบบไฟฟ้าต่ำกว่าเกณฑ์หรือประเมินเห็นความจำเป็นในการบริหารจัดการโหลดเพื่อลดต้นทุนการผลิตไฟฟ้าระบบก็จะออกคำสั่งร้องขอการตอบสนองด้านโหลดผ่านระบบสื่อสารไปยังระบบควบคุมของผู้ใช้ไฟฟ้าเพื่อปิดหรือปรับการทำงานของกระบวนการผลิตหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ โดยอัตโนมัติส่วนผู้ดูแลระบบจะทำงานเพียงตรวจสอบติดตามการทำงานของระบบอัตโนมัติเท่านั้น

ระบบพยากรณ์ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานหมุนเวียน RE Forecast

ระบบพยากรณ์ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานหมุนเวียน RE Forecast คือ การพยากรณ์ปริมาณไฟฟ้าที่คาดว่าจะผลิตได้จากโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนที่มีความผันแปรตามสภาพพื้นที่หรือสภาพภูมิอากาศในช่วงระยะเวลาที่สนใจโดยใช้แบบจำลองทางสภาพอากาศและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณร่วมกับข้อมูลนำเข้า (Data Input) ที่จำเป็น เช่น ข้อมูลตำแหน่งที่ตั้งของโรงไฟฟ้า ข้อมูลพิกัดของโรงไฟฟ้า ข้อมูลความพร้อมจ่ายของโรงไฟฟ้า อุณหภูมิ ความเร็วลม ความชื้นชื้น แสงอาทิตย์ เป็นต้น ซึ่งจะเป็นข้อมูลทางสถิติในอดีต รวมถึงข้อมูลในปัจจุบัน ทั้งนี้ หากมีการใช้เทคโนโลยีต่าง ๆ ด้านสมาร์ตกริด ทั้งระบบตรวจวัดและระบบการสื่อสารในการรับส่งข้อมูลสำคัญได้อย่างรวดเร็วจะช่วยให้การพัฒนาระบบการพยากรณ์มีความถูกต้องและแม่นยำมากยิ่งขึ้น

โดยทั่วไประบบพยากรณ์ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานหมุนเวียนจะเน้นการพยากรณ์ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมเป็นหลักเนื่องจากเป็นแหล่งพลังงานที่มีความผันผวนสูง (Variable Renewable Energy: VRE)

ประโยชน์ที่เกิดขึ้นจากการพยากรณ์ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานหมุนเวียน

1. สามารถใช้ในการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและการจ่ายโหลดอย่างเหมาะสม เพื่อสนับสนุนการใช้พลังงานหมุนเวียนโดยเฉพาะพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลม

2. การพยากรณ์ที่ดีมีส่วนทำให้ความเชื่อถือได้ในระบบไฟฟ้าดีขึ้นและลดปัญหาการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมที่มีความผันผวน

3. การพยากรณ์ที่แม่นยำขึ้นทำให้ผู้ควบคุมระบบสามารถควบคุมและเดินเครื่องได้ยืดหยุ่นมากยิ่งขึ้นเพื่อการจัดการกับความไม่แน่นอนและความแปรปรวนในขณะที่ยังคงรักษาความสมดุลของระบบไฟฟ้า

### ระบบไมโครกริด (Microgrid)

ระบบไมโครกริด (Microgrid) คือ ระบบไฟฟ้าขนาดเล็กที่มีการรวมระบบผลิตไฟฟ้าจ่ายไฟฟ้าและควบคุมสั่งการเข้าไว้ด้วยกันสามารถทำงานประสานเชื่อมกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าหลักและยังทำงานแยกตัวอิสระได้โดยหลักการสำคัญของระบบไมโครกริด คือ การสร้างความสมดุลระหว่างการผลิตพลังงานให้พอดีกับความต้องการใช้พลังงานภายในโครงข่ายไมโครกริด และใช้ระบบโครงข่ายไฟฟ้าหลักเพื่อเสริมความมั่นคง เท่านั้น ซึ่งประโยชน์ที่สำคัญของระบบไมโครกริด คือ การเพิ่มความน่าเชื่อถือ (Reliability) ทางไฟฟ้าภายในระบบไมโครกริดนั้น ๆ โดยเฉพาะกรณีเกิดปัญหาขัดข้องขึ้นกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าหลักนอกจากนี้ยังช่วยลดการสูญเสียไฟฟ้าในระบบส่งและระบบจำหน่ายได้จากการส่งไฟฟ้าเป็นระยะทางไกลอีกด้วย

ระบบไมโครกริดประกอบด้วย

1. โหลดไฟฟ้า ได้แก่ ผู้ใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ ภายในระบบไมโครกริดซึ่งโหลดไฟฟ้าเหล่านี้จะถูกจัดลำดับความสำคัญ (Priority) จากมากไปน้อยเพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการตัดสินใจของระบบควบคุมไมโครกริด
2. แหล่งพลังงานแบบกระจายตัว ทำหน้าที่ผลิตไฟฟ้าขึ้นภายในระบบไมโครกริดเองเพื่อจ่ายให้กับโหลดไฟฟ้าภายในระบบไมโครกริดโดยทั่วไปแล้วจะเป็นระบบผลิตพลังงานที่มีขนาดเล็กและกระจายตัวอยู่
3. ระบบควบคุมไมโครกริด เป็นระบบบริหารจัดการพลังงานในรูปแบบหนึ่งซึ่งกำหนดหน้าที่บริหารจัดการการผลิตไฟฟ้าและการใช้ไฟฟ้าภายในระบบ
4. ระบบเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าหลัก ทำหน้าที่ควบคุมสั่งการการเชื่อมต่อหรือการตัดการเชื่อมต่อระหว่างระบบไมโครกริดกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าหลัก

### ระบบกักเก็บพลังงาน Energy Storage System : ESS

ระบบกักเก็บพลังงาน Energy Storage System : ESS คือ เทคโนโลยีที่สามารถกักเก็บพลังงานในช่วงเวลาหนึ่งเพื่อไปตอบสนองความต้องการพลังงานในอีกช่วงเวลาหนึ่งได้ ทั้ง

ในส่วนของการจัดหาพลังงาน (Supply) และการใช้พลังงาน (Demand) ระบบกักเก็บพลังงาน จึงเป็นเทคโนโลยีที่มีบทบาทสำคัญต่อยุคเปลี่ยนผ่านด้านพลังงานในระยะถัดไปเป็นอย่างมาก เพราะไม่เพียงสามารถช่วยให้ระบบไฟฟ้ามีความยืดหยุ่น สร้างความมั่นคง และรักษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทดแทนหรือแหล่งพลังงานที่มีความผันผวนสูงยังช่วยลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอุตสาหกรรมพลังงานไฟฟ้าอย่างชัดเจนเนื่องจากช่วยลดการเดินเครื่องโรงไฟฟ้าอีกทั้งระบบกักเก็บพลังงานจะเข้ามามีบทบาทที่สำคัญในการบริหารจัดการพลังงานในระบบไมโครกริด (Microgrid) โปรซูเมอร์ (Prosumer) และยานยนต์ไฟฟ้า (Electrical Vehicles: EV) ซึ่งจะมีความต้องการใช้งานมากขึ้นในอนาคตอย่างแน่นอน

การประยุกต์ใช้งานระบบกักเก็บพลังงาน สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. Utility Scale (Front of the meter: FTM) เป็นระบบกักเก็บพลังงานที่เชื่อมต่อบนเครือข่าย ของระบบส่งและจ่ายกำลังไฟฟ้าฟังก์ชันการทำงานของระบบกักเก็บพลังงานด้านหน้ามิเตอร์ถูกกำหนดโดยผู้ให้บริการระบบ (Utility sector) เช่น เพื่อเสริมความมั่นคงของระบบไฟฟ้า (Ancillary Service) หรือลดปัญหาความหนาแน่นของเครือข่ายไฟฟ้า เป็นต้น

2. End-user Scale (Behind the meter: BTM) เป็นระบบกักเก็บพลังงานที่เชื่อมต่อด้านหลังมิเตอร์ ของลูกค้าภาคครัวเรือน (Residential) ภาคธุรกิจและอุตสาหกรรม (Commercial and Industrial, C&I) ใช้เพื่อช่วยลดค่าใช้จ่ายเป็นหลักโดยลดการใช้พลังงานในช่วงที่มีความต้องการสูงและเพิ่มการใช้พลังงานที่ผลิต ได้ด้วยตนเอง (Self-Consumption) จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา (Solar Rooftop)

โปรซูเมอร์ Prosumer

โปรซูเมอร์ Prosumer คือ การผลิตโดยผู้บริโภค (Production by Consumer) ซึ่งในธุรกิจไฟฟ้าจะหมายถึงการผลิตไฟฟ้าโดยบุคคลหรือนิติบุคคลที่เป็นผู้ใช้ไฟฟ้า (ผู้บริโภค) เพื่อใช้เองหรือจำหน่ายให้กับผู้ใช้ไฟฟ้ารายอื่นผ่านระบบของการไฟฟ้า (National Grid) โดยบทบาทของผู้ใช้ไฟฟ้าจะเปลี่ยนไปเป็นทั้งผู้ใช้และผู้ผลิตซึ่งปัจจุบันแนวโน้มของ Prosumer ที่ผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานหมุนเวียนมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอันเนื่องมาจากต้นทุนของเทคโนโลยีที่ถูกลงทำให้ Prosumer มีบทบาทในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนเข้ามาในระบบไฟฟ้า (Renewable Energy Integration)

การเปลี่ยนแปลงลักษณะดังกล่าวจะเกิดขึ้นได้ต้องอาศัยความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีและค่านิยมทางสังคมที่เปลี่ยนแปลงไปของผู้บริโภคที่จะเป็นแรงขับเคลื่อนในด้านพลังงานไฟฟ้า โดยเทคโนโลยีที่เป็นตัว ขับเคลื่อนการพลิกโฉมอุตสาหกรรมพลังงานดังกล่าว

ได้แก่ เซลล์แสงอาทิตย์ ยานยนต์ไฟฟ้า ระบบ กักเก็บพลังงาน เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์และ อินเทอร์เน็ตซึ่งนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงลักษณะการใช้งานที่เป็นอยู่ในปัจจุบันอย่างรวดเร็ว

นอกจากนี้การผลิตพลังงานของ Prosumer สามารถช่วยลดความต้องการไฟฟ้าของประเทศชะลอการสร้างโรงไฟฟ้าหรือการขยายระบบส่งและระบบจำหน่ายใหม่แต่หาก Prosumer ที่ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนที่มีความผันผวนเข้ามาเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าหลักในปริมาณที่มากอาจส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าหลักมีปัญหาเชิงคุณภาพไฟฟ้าและความน่าเชื่อถือได้ จึงต้องมีการวางแผนและการบริหารจัดการที่มีประสิทธิภาพ

#### การบูรณาการ ยานยนต์ไฟฟ้า EV Integration

การใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าที่คาดว่าจะมีแนวโน้มสูงมากขึ้นในอนาคต อาจส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าเนื่องจากยานยนต์ไฟฟ้าต้องการการอัดประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ด้วยกำลังไฟฟ้าที่สูงในขณะเดียวกันแบตเตอรี่ก็สามารถคายประจุไฟฟ้าเพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าคืนให้กับระบบไฟฟ้า หรือจ่ายให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ได้ซึ่งการบูรณาการยานยนต์ไฟฟ้าจะเป็นการใช้ทรัพยากรต่าง ๆ ที่อยู่ในระบบไฟฟ้าและมีความเกี่ยวข้องกับยานยนต์ไฟฟ้าให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและก่อให้เกิดประโยชน์โดยมีการบริหารจัดการที่เหมาะสมผ่านกลไกต่าง ๆ เช่น การควบคุมโดยตรงการควบคุมโดยใช้ราคาเป็นต้น

#### ประโยชน์ที่เกิดขึ้นจากการบูรณาการยานยนต์ไฟฟ้า

1. เพิ่มความยืดหยุ่นในระบบไฟฟ้าทั้งในระบบส่งและระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยทำหน้าที่เสมือนเป็นแหล่งกักเก็บพลังงานแบบกระจายตัวจำนวนมาก
2. เพิ่มความสามารถในการทำงานร่วมกับพลังงานทดแทนที่มีความผันผวนได้อย่างมีประสิทธิภาพเป็นการชะลอการลงทุนด้านโครงสร้างพื้นฐานของระบบไฟฟ้าเพื่อรองรับการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าที่คาดว่าจะเพิ่มเข้ามาสูงขึ้นในอนาคต
3. สนับสนุนการรักษาสมดุลในระบบไฟฟ้ากำลังโดยการปรับระดับกำลังไฟฟ้าในการอัดประจุไฟฟ้าให้กับยานยนต์ไฟฟ้าเพื่อเป็นการรักษาเสถียรภาพของระดับแรงดันไฟฟ้าและความถี่
4. สามารถช่วยลดความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Peak Shaving) และให้บริการเสริมความมั่นคงแก่ระบบไฟฟ้ากำลัง (Ancillary Services)
5. การบริหารจัดการการใช้ไฟฟ้า (Energy Arbitrage) และ การสำรองพลังงานไฟฟ้า (Back-up Power) ในระดับผู้ใช้ไฟฟ้าหรือโปรซูเมอร์ (Prosumers)

### เทคโนโลยีอื่น ๆ ที่ช่วยสนับสนุนการดำเนินการด้านสมาร์ตกริด

นอกเหนือจากเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับด้านสมาร์ตกริดโดยตรงแล้วในการพัฒนาระบบสมาร์ตกริดให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดอาจต้องอาศัยการพัฒนาเทคโนโลยีด้านดิจิทัลควบคู่กันไปด้วย อาทิ เทคโนโลยีด้านการสื่อสารและเชื่อมต่อข้อมูลหรือการส่งการเทคโนโลยีด้านการจัดเก็บและการจัดการฐานข้อมูลขนาดใหญ่รวมถึงการพัฒนาความมั่นคงปลอดภัยทางด้านไซเบอร์ซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างยิ่งในยุคดิจิทัล

#### เทคโนโลยี 5G

เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายเจเนอเรชันที่ 5 ที่มีการพัฒนาขีดความสามารถในเรื่องของความเร็วนบนเครือข่ายไร้สายให้เสถียรและเร็วขึ้นโดยหากเปรียบเทียบกับเทคโนโลยี 4G จะมีความเร็วได้เร็วกว่าถึง 10 เท่า ซึ่งในอนาคตจะไม่ได้ใช้ประโยชน์แค่โทรศัพท์มือถือแต่จะรวมถึงอุปกรณ์ทุกชนิดที่เชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตได้ (Internet of Things)



ภาพ 25 เทคโนโลยีดิจิทัลกับการสนับสนุนงานด้านสมาร์ตกริด [15]

สำหรับบริบทของเทคโนโลยี 5G จะมีส่วนสำคัญในการเชื่อมต่อข้อมูลระบบสั่งการต่าง ๆ และการสื่อสารที่ต้องการความถูกต้องและรวดเร็วของระบบโครงข่ายไฟฟ้าและระบบสมาร์ตกริดในอนาคต ทั้งนี้ ตัวอย่าง การใช้งานที่คาดว่าจะเกิดขึ้น ได้แก่ (1) ระบบอัตโนมัติของสายป้อนระบบจำหน่าย (2) การควบคุมโหลดแบบเรียลไทม์ (3) การเก็บข้อมูลจากผู้ใช้งาน (4) การกระจายตัวของแหล่งจ่ายพลังงาน เป็นต้น

### เทคโนโลยีบล็อกเชน (Blockchain)

เป็นเทคโนโลยีระบบการจัดเก็บข้อมูล (Database) รูปแบบหนึ่งที่มีโครงสร้างแบบกระจายศูนย์ (Decentralized) ซึ่งจะทำให้การบันทึกข้อมูลไว้เป็นบล็อก (Block) และต่อกันเป็นสายโซ่ (Chain) จึงเป็นที่มาของชื่อว่าเป็นบล็อกเชน (Blockchain) เป็นเทคโนโลยีที่ช่วยนำมาซึ่งความปลอดภัย น่าเชื่อถือ โดยไม่ต้อง อาศัยคนกลาง

ปัจจุบันมีหลายอุตสาหกรรมที่นำเทคโนโลยีบล็อกเชนไปใช้งานเพื่อช่วยการแก้ไขปัญหา ยกตัวอย่าง เช่น ด้านการเงินการธนาคาร การปรับปรุงการทำงานของภาครัฐการใช้บล็อกเชนร่วมกับห่วงโซ่อุปทาน เป็นต้น

ทั้งนี้ สำหรับการใช้งานเทคโนโลยี Blockchain ในอุตสาหกรรมพลังงานนั้นจะอยู่ในส่วนของตลาดพลังงานที่มีการซื้อขาย เช่น น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน ไฟฟ้าและพลังงานอื่น ๆ ระหว่างผู้ผลิต ผู้จัดจำหน่าย ผู้ซื้อ และสถาบันการเงิน ซึ่งอาจมีส่วนช่วยสนับสนุนการซื้อขายพลังงานในระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในอนาคตให้มีประสิทธิภาพ

### เทคโนโลยีการบูรณาการข้อมูล (Big Data) และปัญญาประดิษฐ์ (AI)

Big Data คือ ข้อมูลขนาดใหญ่/ปริมาณมากหรือข้อมูลจำนวนมากมหาศาล (Volume) ที่ต้องการความเร็วในการจัดการข้อมูล (Velocity) และมีความหลากหลายของรูปแบบแหล่งที่มาข้อมูล (Variety) ซึ่งมีความซับซ้อนจนไม่สามารถประมวลผลหรือวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้วิธีแบบดั้งเดิมได้ จึงต้องอาศัยเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (AI) ซึ่งเป็นระบบประมวลผลที่มีการวิเคราะห์เชิงลึกเพื่อเพิ่มศักยภาพในการจัดการและวิเคราะห์ข้อมูลจำนวนมากได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดย AI ถือเป็นเทคโนโลยีที่สืบทบาทสำคัญอย่างมากในการเพิ่มมูลค่าทางธุรกิจและอุตสาหกรรม

สำหรับการนำระบบ Big Data มาใช้กับอุตสาหกรรมพลังงานนั้นจะมีการทำงานบนแพลตฟอร์มดิจิทัลที่ออกแบบเชื่อมโยงกับระบบ Internet of Thing (IoT) โดยมีระบบสมองกลอัจฉริยะ (AI) มาช่วยประเมินและวิเคราะห์ข้อมูลที่จะแปลงจากข้อมูลปกติเป็นข้อมูลเชิงลึก (Insights) ด้านพลังงานต่อยอดไปสู่การใช้งานอื่น ๆ ได้อีกมากมาย อาทิ การวิเคราะห์การใช้พลังงานในบ้าน การพยากรณ์พลังงานล่วงหน้า การตอบสนองด้านโหลด (Demand Respond) การวิเคราะห์ผู้บริโภคเพื่อช่วยพัฒนาการให้บริการ การบริหารจัดการความยืดหยุ่นในระบบไฟฟ้า (Flexibility Asset) เป็นต้น

### ความมั่นคงปลอดภัยทางไซเบอร์ Cyber Security

เป็นเทคโนโลยี กระบวนการและวิธีปฏิบัติที่ออกแบบมาเพื่อปกป้องเครือข่ายอุปกรณ์ โปรแกรมและข้อมูลจากการโจมตีความเสียหายหรือการเข้าถึงจากบุคคลที่สามโดยไม่ได้รับ

อนุญาต ซึ่งอาจเรียกว่า “ความมั่นคงปลอดภัยทางไซเบอร์” การรักษาความมั่นคงปลอดภัยทางไซเบอร์มีความสำคัญอย่างยิ่งเนื่องจากเกือบทุกหน่วยงานต่างจัดเก็บรวบรวมประมวลผลและส่งผ่านข้อมูลจำนวนมากบนคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์อื่น ๆ ซึ่งข้อมูลเหล่านั้นอาจเป็นข้อมูลที่ค่อนข้างละเอียดอ่อนและมีความสำคัญทั้งข้อมูลส่วนบุคคลข้อมูลเชิงธุรกิจข้อมูลทางการเงิน ดังนั้นหากมีบุคคลใดสามารถเข้าถึงหรือเปิดเผยข้อมูลได้โดยไม่ได้รับอนุญาตอาจส่งผลกระทบต่อความเสียหายต่อหน่วยงานได้ซึ่งเป็นภัยคุกคามที่สำคัญที่สุดต่อการทำธุรกิจ

ทั้งนี้ในการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ตกริดนั้นโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญอย่างหนึ่งของระบบเทคโนโลยีสารสนเทศ คือ การป้องกันภัยคุกคามทางไซเบอร์ (Cyber Security) ที่อาจเกิดขึ้นตลอดเวลาตามความเจริญก้าวหน้าของเทคโนโลยีต่าง ๆ โดยในภาคอุตสาหกรรมไฟฟ้าควรจะต้องให้ความสำคัญกับนโยบาย/กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการรักษาความมั่นคงปลอดภัยไซเบอร์ เพื่อให้การบริหารจัดการระบบไฟฟ้าในยุคดิจิทัลเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและมีความมั่นคงปลอดภัยจากภัยคุกคามที่อาจเกิดขึ้นได้ [15]

#### **แผนงานด้านสมาร์ตกริดของประเทศไทยแผนแม่บทการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ตกริดของประเทศไทย พ.ศ. 2558 – 2579**

กระทรวงพลังงานได้ดำเนินการจัดทำและประกาศแผนแม่บทการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ตกริดของประเทศไทย พ.ศ. 2558-2579 (แผนแม่บทฯ) ในเดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2558 ซึ่งสำนักงานนโยบายและแผนพลังงานผู้จัดทำแผนแม่บทฯ ได้กำหนดวิสัยทัศน์ (Vision) ในการพัฒนาระบบสมาร์ตกริด ไว้ว่า “ส่งเสริมให้เกิดการจัดหาไฟฟ้าได้อย่างเพียงพอ มีประสิทธิภาพ ยั่งยืน มีคุณภาพบริการที่ดีและเกิดประโยชน์สูงสุดต่อประเทศ” [16]

แผนแม่บทฯ ได้กำหนดประเด็นยุทธศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาระบบสมาร์ตกริดใน 5 ด้าน ได้แก่

การพัฒนาความเชื่อถือได้และคุณภาพของไฟฟ้า ผลิตไฟฟ้าได้เพียงพอมีความต่อเนื่องของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้และไม่มีปัญหาคุณภาพแรงดันไฟฟ้า

ความยั่งยืนและประสิทธิภาพของการผลิตและใช้พลังงาน ลดต้นทุนการผลิตไฟฟ้า บรรเทาปัญหาการจัดแหล่งเชื้อเพลิงลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

การพัฒนาศักยภาพการแข่งขันทางเศรษฐกิจและอุตสาหกรรม สร้างองค์ความรู้พัฒนาเทคโนโลยีและส่งเสริมอุตสาหกรรมภายในประเทศ

การพัฒนาการทำงานและการให้บริการของหน่วยงานการไฟฟ้า การดำเนินการของการไฟฟ้าทั้งด้านเทคนิค และการให้บริการมีประสิทธิภาพและขึ้น

แผนการขับเคลื่อนการดำเนินงานด้านสมาร์ตกริดของประเทศไทย ระยะปานกลาง พ.ศ. 2565 – 2574

#### วิสัยทัศน์และเป้าหมาย

สมาร์ตกริด (Smart Grid) มีความสำคัญต่อการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานต่าง ๆ เพื่อเชื่อมต่อและบริหารจัดการร่วมกับทรัพยากรในระบบจำหน่ายที่เป็นผลมาจากการเปลี่ยนผ่านของการพัฒนาเทคโนโลยีในอนาคตซึ่งมีลักษณะเป็นแหล่งทรัพยากรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าหรือแหล่งพลังงานแบบกระจายศูนย์ (Distributed energy resources; DER) เพื่อให้ระบบไฟฟ้ามีความยืดหยุ่นเพิ่มมากขึ้นและรองรับการเปลี่ยนผ่านไปสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้ายุคใหม่ที่มีประสิทธิภาพและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมสามารถมุ่งไปสู่เป้าหมายการลดการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบโดยรวมของประเทศ

#### วิสัยทัศน์

“ส่งเสริมให้เกิดการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานต่าง ๆ และการจัดการทรัพยากรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่จำเป็นรองรับการเปลี่ยนผ่านไปสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้ายุคใหม่อย่างมีประสิทธิภาพและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม”

เป้าหมายภาพรวม : แบ่งออกเป็น 2 ระยะ ได้แก่

ระยะ 1-5 ปี (พ.ศ. 2565-2569) : การเตรียมความพร้อมและพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานต่าง ๆ ที่จำเป็นและนำร่องการจัดการ DER ในรูปแบบเชิงพาณิชย์รองรับการเปลี่ยนผ่านแนวโน้มเทคโนโลยีรูปแบบใหม่ที่เริ่มส่งผลต่อการบริหารจัดการระบบไฟฟ้า

ระยะ 6-10 ปี (พ.ศ. 2570-2574) : การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานและเร่งการจัดการ DER อย่าง เต็มรูปแบบเชิงพาณิชย์รองรับการเปลี่ยนผ่านแนวโน้มเทคโนโลยีรูปแบบใหม่ที่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการบริหารจัดการระบบไฟฟ้า

เสาหลักภายใต้แผนการขับเคลื่อนฯ ระยะปานกลาง

เนื่องจากเหตุผลและความจำเป็นในการเตรียมความพร้อมรองรับการเปลี่ยนผ่านทางด้านพลังงานที่มีเปลี่ยนไปจากช่วงเวลาตามแผนการขับเคลื่อนฯ ระยะสั้นตามที่กล่าวไปแล้วในข้างต้นจึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเสาหลักภายใต้แผนการขับเคลื่อนฯ ระยะปานกลางโดยการเพิ่มเติมเสาหลักจากแผนการขับเคลื่อนฯ ระยะสั้นจากเดิม 3 เสาหลักและแผนอำนวยการสนับสนุน เป็น 5 เสาหลัก

รายละเอียดของเป้าหมายสำคัญ (Key Milestone) และแผนกลยุทธ์การดำเนินงาน (Strategic Plan) ของทั้ง 5 เสาหลัก และแผนอำนวยการสนับสนุนสรุปได้ดังนี้

เสาหลักที่ 1 การตอบสนองด้านโหลดและระบบบริหาร จัดการพลังงาน (DR & EMS)

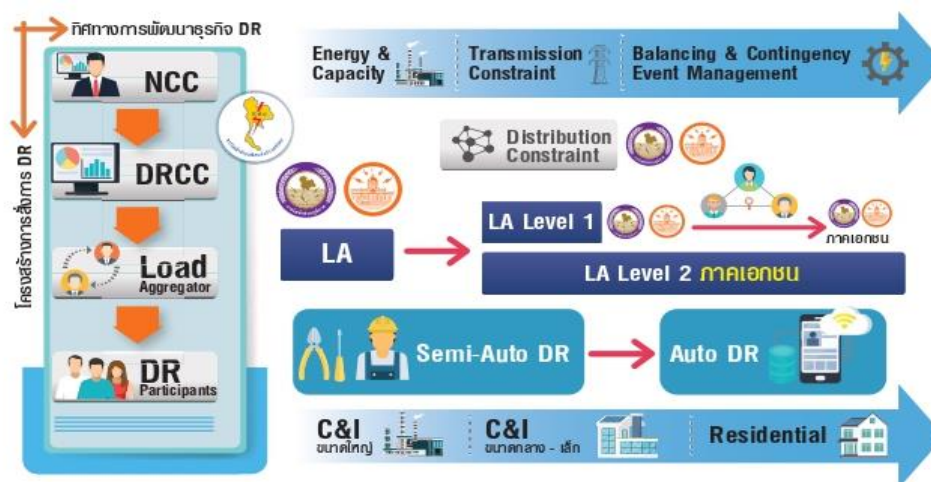
ภาพรวมทิศทางการพัฒนาการตอบสนองด้านโหลด (DR) ของประเทศไทยในอนาคต จะมีโครงสร้าง การสั่งการ DR แบ่งออกเป็น 4 ส่วนหลัก ประกอบด้วย

1. ศูนย์ควบคุมระบบกำลังไฟฟ้าแห่งชาติ (National Control Center, NCC) มีหน้าที่วางแผนและสั่งการการผลิตไฟฟ้ารวมถึงการดำเนินการด้าน DR ตามช่วงเวลาที่เหมาะสม เพื่อใช้ทดแทนผลิตภัณท์ในระบบไฟฟ้า (Grid Service) ครอบคลุมทุกประเภท ซึ่งจะช่วยบริหารจัดการให้เกิด สมดุลระหว่างความต้องการไฟฟ้า (Demand Side) และกำลังการผลิตไฟฟ้า (Supply Side)

2. ศูนย์สั่งการการตอบสนองด้านโหลด (Demand Response Control Center, DRCC) มีหน้าที่รับคำสั่งดำเนินการ DR จาก NCC โดยตรงก่อนจะนำคำสั่งดังกล่าวมาบริหารจัดการ และสั่งการต่อไปยังผู้รวบรวมโหลด

3. ผู้รวบรวมโหลด (Load Aggregator; LA) มีหน้าที่เป็นตัวกลางในการรวบรวมความสามารถของการตอบสนองด้านโหลดจากผู้ใช้ไฟฟ้าให้ได้ครบปริมาณและส่งมอบตามคำสั่งจากศูนย์ DRCC

4. ผู้เข้าร่วมการตอบสนองด้านโหลด (DR Participants) เป็นผู้ใช้ไฟฟ้าที่เข้าร่วมโปรแกรม DR ทั้งผู้ใช้ไฟฟ้าในกลุ่มภาคธุรกิจและอุตสาหกรรม (Commercial & Industrial) รวมถึงบ้านอยู่อาศัย (Residential) โดยจะต้องปรับเปลี่ยนพฤติกรรมหรือลดการใช้ไฟฟ้า ในช่วงเวลาที่เกิดการร้องขอจาก LA



ภาพ 26 ภาพรวมเสาหลักที่ 1 การตอบสนองด้านโหลดและระบบบริหารจัดการพลังงาน (DR & EMS) [16]

เป้าหมายสำคัญของเสาหลักที่ 1 (DR & EMS)

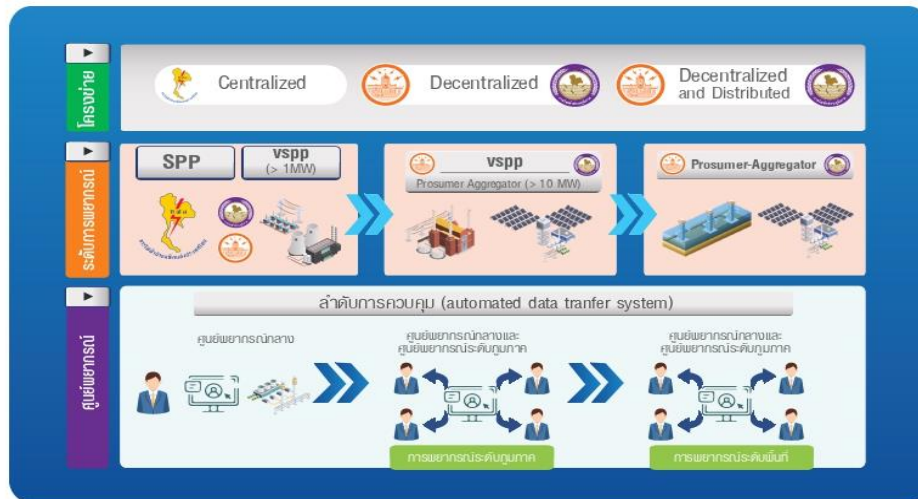
“เกิดการสั่งการและใช้งานการตอบสนองด้านโหลด (DR) แบบกึ่งอัตโนมัติ (Semi-Auto DR) และแบบอัตโนมัติ (Auto DR) ครอบคลุมผู้ใช้ไฟฟ้าทุกประเภทสามารถทดแทนผลิตภัณฑ์ในระบบไฟฟ้าได้หลากหลายในเชิงพาณิชย์และครอบคลุมทุกรูปแบบการให้บริการ (Grid Service) โดยจะกำหนดเป้าหมายการตอบสนองด้านโหลด (DR) ลงในแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศ (Power Development Plan: PDP)”

โดยในช่วงระยะสั้น 1-2 ปีแรก จะเน้นการพัฒนาไปยังกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีความพร้อมมากที่สุดก่อน ซึ่งได้แก่ ภาคอาคารและโรงงานขนาดใหญ่โดยจะดำเนินการควบคู่ไปกับการพัฒนาตลาดในรูปแบบ Energy & Capacity ซึ่งการไฟฟ้าจะทำหน้าที่เป็นผู้รวบรวมโหลดให้ได้ครบปริมาณ 50 MW เพื่อนำไปสู่การเรียกใช้งาน DR แบบกึ่งอัตโนมัติ (Semi-Auto) ต่อไป โดยหลังจากผ่านช่วง 1-2 ปีแรกไปแล้วจะเริ่มมีการขยายผลการดำเนินการไปยังกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าขนาดเล็กจนครอบคลุมผู้ใช้ไฟฟ้าทุกประเภทในที่สุดเช่นเดียวกับทิศทางของการพัฒนาตลาดที่จะค่อย ๆ ขยายขอบเขตให้ครอบคลุมตลาดที่มีความซับซ้อนและต้องการความรวดเร็วในการตอบสนองมากขึ้นจนสามารถขยายตลาดให้ครอบคลุมทุกรูปแบบการให้บริการในระยะยาว โดยจะดำเนินการคู่ขนานไปกับการพัฒนาความมีส่วนร่วมจากผู้รวบรวมโหลดในระดับต่าง ๆ ทั้งจากภาคการไฟฟ้าและภาคเอกชนที่จะเข้ามาทำหน้าที่รวบรวมและขยายฐานของ DR Resource ให้สอดคล้องกับเป้าหมายการเรียกใช้งานแบบอัตโนมัติ (Auto-DR) ในปริมาณที่เหมาะสมกับบริบทของระบบไฟฟ้าประเทศไทยมากที่สุด

เสาหลักที่ 2 การพยากรณ์ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานหมุนเวียน (RE Forecast)

การวางแผนพัฒนาด้านการพยากรณ์กำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนภายใต้แผนการขับเคลื่อนฯ ระยะปานกลางสามารถแบ่งขั้นตอนการพัฒนาออก 3 ช่วงหลัก คือ 1) ระบบการพยากรณ์แบบรวมศูนย์กลาง (Centralized) 2) ระบบการพยากรณ์แบบแยกจากศูนย์กลาง (Decentralized) และ 3) ระบบการพยากรณ์แบบแยกจากศูนย์กลางและแบบกระจายศูนย์ (Decentralized and Distributed) โดยในช่วงแรกของการพัฒนาจะเป็นรูปแบบของระบบการพยากรณ์แบบศูนย์กลางที่มุ่งเน้นไปที่ศูนย์/หน่วย การพยากรณ์ระดับประเทศซึ่งมีการกำหนดให้การพัฒนาการพยากรณ์ในระดับพื้นที่และเริ่มต้นให้หน่วยงานกลางรับผิดชอบการพยากรณ์การผลิตกำลังไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้า SPP รวมทั้งสนับสนุนให้มีความสามารถในการพยากรณ์ด้วยตนเองและมีการรับส่งข้อมูลแบบอัตโนมัติระหว่างศูนย์กลางการพยากรณ์กับโรงไฟฟ้า SPP โดยการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยจะทำหน้าที่ควบคุมดูแลการพยากรณ์ในระดับดังกล่าวก่อนที่การพัฒนาในระยะถัดไป (3-5 ปี) จะเพิ่มความละเอียดในการพยากรณ์ใน

ระดับโรงไฟฟ้าประเภท VSPP ที่กำลังการผลิตมากกว่า 1 MW ซึ่งการไฟฟ้าทั้ง 3 แห่งสามารถพยากรณ์หรือได้รับข้อมูลการพยากรณ์การผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้า VSPP พร้อมทั้งสนับสนุนให้โรงไฟฟ้า VSPP สามารถพยากรณ์การผลิตกำลังไฟฟ้าด้วยตนเองเช่นเดียวกัน



ภาพ 27 ภาพรวมเสาหลักที่ 2 การพยากรณ์ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานหมุนเวียน (RE Forecast) [16]

เป้าหมายสำคัญของเสาหลักที่ 2 (RE Forecast)

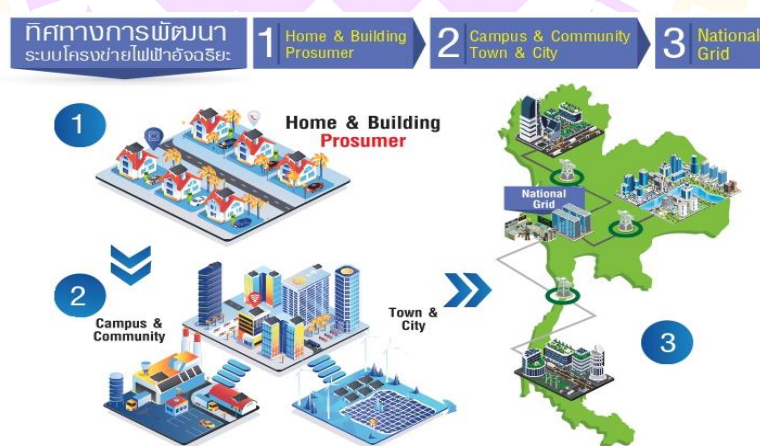
“เกิดการใช้งานระบบพยากรณ์การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน ครอบคลุมทั้งโรงไฟฟ้า SPP, VSPP รวมถึง Prosumer-Aggregator”

โดยในช่วง 1-2 ปี แรกจะเน้นการพัฒนาและเชื่อมต่อระบบพยากรณ์การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนในกลุ่มโรงไฟฟ้าที่มีความพร้อมมากที่สุดก่อนซึ่งได้แก่ โรงไฟฟ้าประเภท SPP โดยจะดำเนินการควบคู่ไปกับการพัฒนารูปแบบการพยากรณ์ที่จะยังคงเป็นแบบรวมศูนย์ก่อนในช่วงแรกแต่จะมีรูปแบบการรับข้อมูลกลับมาที่ส่วนกลางแบบอัตโนมัติโดยหลังจากผ่านช่วง 1-2 ปีแรกไปแล้วจะเริ่มมีการขยายผลการดำเนินการไปยังโรงไฟฟ้าที่มีขนาดเล็กลงอย่าง VSPP จนครอบคลุมไปถึงระดับ Prosumer-Aggregator ที่จะทำหน้าที่ดูแลรับผิดชอบแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าในระดับ BTM เป็นต้นไป เช่นเดียวกับทิศทางของการพัฒนารูปแบบการพยากรณ์ที่จะค่อย ๆ กระจายการพยากรณ์ให้เป็นแบบแยกจากศูนย์กลางที่จะมีขอบเขตการพยากรณ์ครอบคลุมพื้นที่เป็นรายภูมิภาคก่อนจะพัฒนาไปสู่

รูปแบบการพยากรณ์ แบบกระจายที่จะครอบคลุมเป็นพื้นที่ย่อย ๆ โดยในภาพรวมจะมีการรับข้อมูลกลับมาสู่ศูนย์ในระดับต่าง ๆ เป็นแบบอัตโนมัติทั้งหมด

เสาหลักที่ 3 ระบบไมโครกริดและโปรซูเมอร์ (Microgrid & Prosumer)

ไมโครกริดและโปรซูเมอร์มีรูปแบบการใช้งานที่หลากหลาย เช่น ไมโครกริดแบบอัตโนมัติ (Autonomous Full Service; AF) ซึ่งเป็นไมโครกริดในพื้นที่ off-grid หรือพื้นที่ห่างไกลที่เน้นไปที่การเพิ่มสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy: RE) และมีการบริหารจัดการแบบอัตโนมัติและครอบคลุมการให้บริการ 24 ชั่วโมง 7 วัน อีกทั้งยังรวมถึงโปรซูเมอร์ (Prosumer) ซึ่งจะเป็นผู้ผลิตพลังงานที่อยู่กระจัดกระจายในกลุ่มบ้านอยู่อาศัยหรืออาคารต่าง ๆ ส่วนโครงข่ายไมโครกริด (Community Microgrid CM) จะเป็นไมโครกริดในพื้นที่ on-grid ระดับชุมชนที่มีแหล่งผลิตไฟฟ้าหลักมาจากพลังงานหมุนเวียนและรองรับการบริหารจัดการโหลดที่มีความผันผวน (Variable load) จากยานยนต์ไฟฟ้า (EV) ซึ่งจะเกิดขึ้นในชุมชนต่าง ๆ ได้แก่ไมโครกริดในกลุ่มอุตสาหกรรม (Industrial Microgrid; IM) ซึ่งเป็นไมโครกริดในพื้นที่ on-grid ระดับอุตสาหกรรมที่มีแหล่งผลิตไฟฟ้าหลักมาจากพลังงานหมุนเวียนและรองรับโหลด ที่ต้องการความเชื่อถือได้สูง (High reliable load) ทั้งนี้จากรูปแบบการใช้งานที่หลากหลายทำให้ ไมโครกริดและโปรซูเมอร์มีผู้ใช้งานตั้งแต่ระดับครัวเรือนไปจนถึงกลุ่มอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัย อาคาร ของรัฐและเอกชน ซึ่งในภาพรวมผู้ใช้งานในระดับดังกล่าวจะมีความสำคัญต่อการรักษาความมั่นคงของการผลิตพลังงานในระดับประเทศด้วยเช่นเดียวกัน



ภาพ 28 ภาพรวมเสาหลักที่ 3 ระบบไมโครกริดและโปรซูเมอร์ (Microgrid & Prosumer) [16]

### เป้าหมายสำคัญของเสาหลักที่ 3 (Microgrid & Prosumer)

“เกิดการใช้งานพลังงานหมุนเวียนสำหรับไมโครกริดและโปรซูเมอร์ (RE base Microgrid / Prosumer) เชิงพาณิชย์ที่เป็นการดำเนินการปกติ (Business as Usual) และ ไมโครกริด (Microgrid) ช่วยในการบริหารจัดการโครงข่ายไฟฟ้าที่มีสัดส่วนพลังงานหมุนเวียนสูง (High %RE Penetration)”

โดยในช่วง 1-2 ปีแรกจะมุ่งเน้นการพัฒนาไมโครกริดจากพลังงานหมุนเวียน (RE-Based Micro Grid) ในพื้นที่ห่างไกลเป็นลำดับแรกโดยดำเนินการในรูปแบบที่ไม่เชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าหลัก (Off-grid) มีระบบบริหารจัดการแบบอัตโนมัติครอบคลุมการทำงานตลอดเวลา (Autonomous Full-Service 24/7) ควบคู่ไปกับพื้นที่อื่น ๆ โดยเฉพาะ Prosumer ที่มีการใช้งานเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าหลัก (On-grid) และจะเริ่มนำร่องระบบไมโครกริดในระดับชุมชน (Community Microgrid) ให้มีความสามารถบริหารจัดการกับความต้องการไฟฟ้าที่ผันผวนจากยานยนต์ไฟฟ้า (EV) โดยหลังจากผ่านช่วง 1-2 ปีแรกไปแล้วจะเริ่มมีการขยายผลการดำเนินการไปยังรูปแบบการใช้งานในเชิงพาณิชย์มากยิ่งขึ้นทั้งในรูปแบบของไมโครกริดในระดับชุมชน (Community Microgrid) และไมโครกริดในระดับพื้นที่อุตสาหกรรม (Industrial Microgrid) เพื่อให้เกิดความสอดคล้องกับแนวโน้มของการเติบโตด้านการใช้งานแบบ Business-as-Usual จนสามารถเชื่อมต่อเข้าหากันบนแพลตฟอร์มโรงไฟฟ้าเสมือน (VPP Platform) ได้ในที่สุดโดยจะดำเนินการคู่ขนานไปกับการพัฒนาความมีส่วนร่วมจากภาครัฐ ก่อนที่จะขยายผลไปสู่ภาคเอกชนที่จะเข้ามาเป็นผู้เล่นที่มีความสำคัญต่อการเปลี่ยนผ่านสู่ระบบไฟฟ้ารูปแบบใหม่ควบคู่ไปกับการยกระดับความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้า

### เสาหลักที่ 4 ระบบกักเก็บพลังงาน (ESS)

การพิจารณาระดับระยะเวลาการใช้งานของเทคโนโลยีกักเก็บพลังงานถือว่าเป็นสิ่งสำคัญในโครงข่ายไฟฟ้าเนื่องจากมีผลต่อการรักษาเสถียรภาพความมั่นคงและความยืดหยุ่นสูง ซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งที่ควรเลือกเทคโนโลยีระบบกักเก็บพลังงานที่เหมาะสมต่อการบริการต่าง ๆ ตามระดับระยะเวลาของการนำไปใช้งานตั้งแต่ทันทีทันใดไปจนถึงเป็นวันสัปดาห์หรือเป็นเดือน โดยบางเทคโนโลยีสามารถทำงานในระดับระยะเวลาที่หลากหลายได้เช่นเดียวกัน ทั้งนี้รูปแบบการให้บริการของระบบกักเก็บพลังงานที่มีการนำไปใช้งานในระบบโครงข่ายไฟฟ้าโดยมีบริการหลักอยู่ 5 บริการ ในระบบโครงข่ายไฟฟ้า

โดยจะเห็นได้ว่า ทั้ง 5 บริการ มีการใช้งานระบบกักเก็บพลังงานที่หลากหลายเพื่อให้เกิดความคุ้มค่าการใช้งานที่สูงที่สุด (Value stacking) เช่น การใช้ระบบกักเก็บพลังงานในระดับสายส่ง (Transmission level) เพื่อเพิ่มการใช้ไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนให้มากขึ้นในโครงข่าย

ไฟฟ้าเกิดบริการเสริมความมั่นคงของระบบโครงข่ายไฟฟ้าตามเทคโนโลยีระบบกักเก็บพลังงานที่นำมาใช้หรือในกรณีมีการเชื่อมต่อกับระดับจำหน่าย (Distribution level) ระบบกักเก็บพลังงานสามารถให้บริการที่หลากหลายการใช้งานซึ่งมีผลให้ระบบโครงข่ายไฟฟ้ามีคุณภาพกำลังไฟฟ้า (Power quality) และความเชื่อถือได้ (Reliability) ที่สถานีย่อยไฟฟ้า (Local substation) ช่วยลด การลงทุนที่เกี่ยวข้องกับระบบจำหน่ายและการเพิ่มสัดส่วนการใช้งานร่วมกันของเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าแบบกระจายศูนย์ (Distributed Energy Resources, DERs) การใช้งานของระบบกักเก็บพลังงานเพื่อสนับสนุนการรักษาเสถียรภาพของโครงข่ายไฟฟ้ารองรับการส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนหรือการเพิ่มขึ้นของความต้องการไฟฟ้าจากยานยนต์ไฟฟ้าจึงทำให้ระบบกักเก็บพลังงานเป็นเทคโนโลยีที่สามารถนำไปใช้ได้ทั้งระดับการไฟฟ้า (Utility scale) ไม่ว่าจะเป็นในรูปแบบ Operating Reserves หรือ Peaking Capacity ที่จะสามารถรองรับสัดส่วน VRE ที่เพิ่มขึ้นจนถึงระดับ 25% อีกทั้งยังเป็นการสร้างโอกาสของรูปแบบธุรกิจใหม่ ๆ ในลักษณะ ESS Aggregator อีกด้วย



ภาพ 29 ภาพรวมเสาหลักที่ 4 (ESS) [16]

แต่อย่างไรก็ดี ในระยะยาวภาครัฐควรจะมุ่งเน้นการพัฒนาและสนับสนุนให้เกิดการใช้งานในรูปแบบเปลี่ยนช่วงเวลาการใช้พลังงาน (Energy time shift) เพื่อรองรับสัดส่วน VRE ที่เพิ่มขึ้นจนถึงระดับ 50 % ควบคู่ไปกับยกระดับความสามารถในการรองรับเดบิตของโปรซูเมอร์และยานยนต์ไฟฟ้าปริมาณมากในอนาคตทั้งนี้ในภาพรวมเมื่อต้นทุนของระบบกักเก็บพลังงานมี

ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์จนสามารถติดตั้งในระดับหลังมิเตอร์ได้เป็นที่เรียบร้อยแล้ว ผู้ใช้งานในระดับดังกล่าวก็จะสามารถเข้ามามีส่วนร่วมหรือจัดหารูปแบบการบริการในระบบ ไฟฟ้าประเภทต่าง ๆ ได้เช่นเดียวกัน

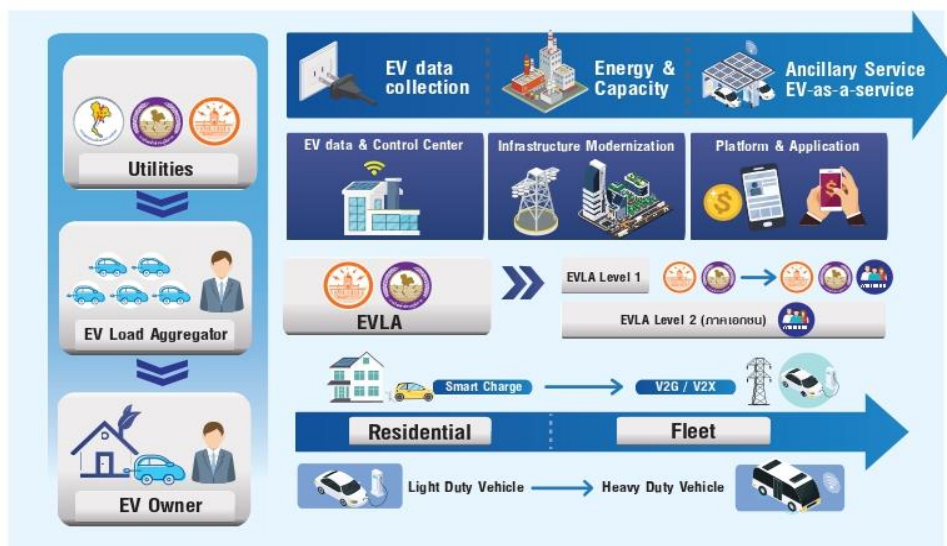
#### เป้าหมายสำคัญของเสาหลักที่ 4 (ESS)

“การใช้งานในทุกรูปแบบการบริการของระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) ที่เกี่ยวข้องกับ โครงข่ายไฟฟ้าของประเทศไทย รวมถึงมาตรการส่งเสริมรูปแบบธุรกิจใหม่ ๆ (New Business) ของระบบกักเก็บพลังงาน (ESS)”

โดยในช่วง 1-2 ปีแรกจะมุ่งเน้นการพัฒนาให้เกิดการนำร่องใช้งานระดับ Utility Scale ภายใต้การไฟฟ้าทั้ง 3 แห่งและระดับ End-User Scale จากภาคอาคารและโรงงาน (C&I) ขนาดใหญ่ที่สามารถเข้ามาสนับสนุนระบบโครงข่ายไฟฟ้าเป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง/วัน ควบคู่ไปกับการ กำหนดเป้าหมายที่เหมาะสมในแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย (PDP) เพื่อเตรียมความพร้อมรองรับปริมาณพลังงานหมุนเวียนที่ถูกนำเข้ามาใช้งานร่วมกับระบบไฟฟ้าในสัดส่วนที่สูงขึ้นอย่างมากในอนาคตโดยหลังจากผ่านช่วง 1-2 ปีแรก ไปแล้วจะเริ่มมีการขยายผลการ ดำเนินการให้เกิดการใช้งานในวงกว้างทั้งในระดับ Grid Scale และ End-User Scale ให้สอดคล้องกับแนวโน้มของต้นทุนราคากระบบกักเก็บพลังงานที่จะลดลงอย่างต่อเนื่องจนเกิดความคุ้มค่าใน การใช้งานเชิงพาณิชย์โดยจะดำเนินการคู่ขนานไปกับการพัฒนาความมีส่วนร่วมจากผู้รวบรวม ศักยภาพระบบกักเก็บพลังงาน (ESS Aggregator) ในระดับต่าง ๆ ทั้งจากภาคการไฟฟ้าและ ภาคเอกชนที่จะเป็นรูปแบบธุรกิจที่มีบทบาทสำคัญในการรวบรวมและขยายฐานของการ ให้บริการในระบบไฟฟ้าออกไปยังผู้ใช้งาน ระดับต่าง ๆ ให้สอดคล้องกับเป้าหมายการใช้งาน ตอบสนองต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้าที่ของประเทศไทยในระยะยาว

#### เสาหลักที่ 5 การบูรณาการยานยนต์ไฟฟ้า (EV Integration)

การบูรณาการยานยนต์ไฟฟ้า (EV Integration) เป็นแนวทางสำคัญในการช่วยบรรเทา ผลกระทบของระบบไฟฟ้าจากการใช้ยานยนต์ไฟฟ้าปริมาณมากที่จะเกิดขึ้นในอนาคตอีกทั้ง หากมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องยานยนต์ไฟฟ้าจะสามารถเป็นหนึ่งในทรัพยากรที่สามารถ ให้บริการกับระบบไฟฟ้าในรูปแบบต่าง ๆ ได้เนื่องจากยานยนต์ไฟฟ้าเปรียบเสมือนแหล่งกักเก็บ พลังงานที่กระจายตัวอยู่ทั่วทุกพื้นที่นั่นเอง



ภาพ 30 ภาพรวมเสาหลักที่ 5 การบูรณาการยานยนต์ไฟฟ้า (EV Integration) [16]

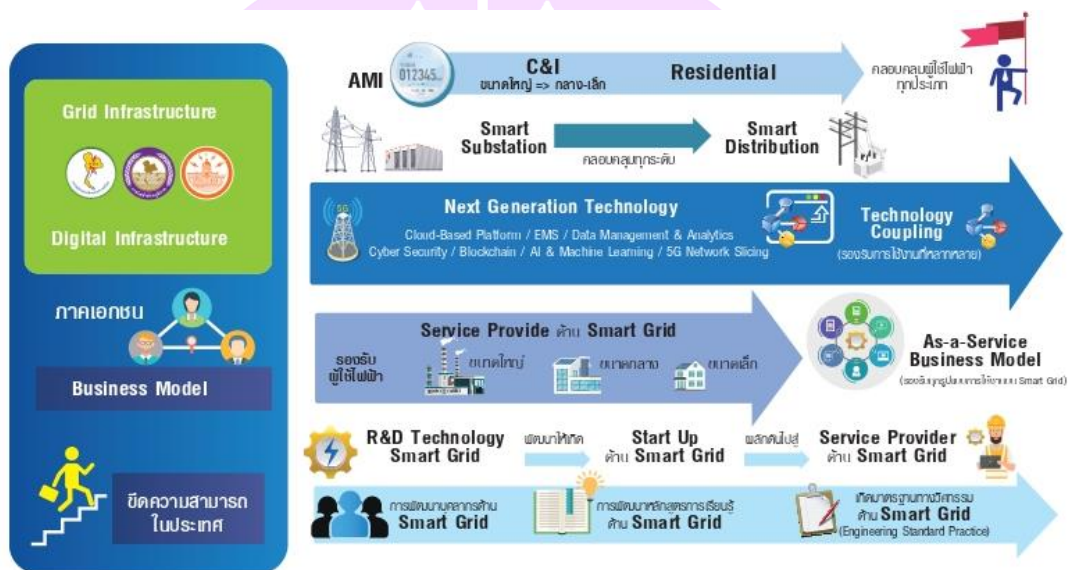
เป้าหมายสำคัญของเสาหลักที่ 5 (EV Integration)

“เกิดการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้า (EV) ที่มีการเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าแบบ VIG และ V2X ครอบคลุมผู้ใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าทุกประเภทตามแผนการส่งเสริมยานยนต์ไฟฟ้าของประเทศไทย”

โดยในช่วง 1-2 ปีแรก จะมุ่งเน้นไปที่การเตรียมความพร้อมเพื่อรองรับการใช้งาน EV ที่จะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องทั้งในส่วนของศูนย์ข้อมูล (EV Data Center) และการติดตั้งสมาร์ทมิเตอร์ (AMI) ในพื้นที่นำร่องอีกทั้งยังจำเป็นต้องเริ่มพัฒนาตลาดด้วยการสร้างแรงจูงใจในการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าควบคู่ไปกับการพัฒนารูปแบบธุรกิจผู้รวบรวมโหลดจากยานยนต์ไฟฟ้า (EVLA) ซึ่งจะมีการไฟฟ้ารับผิดชอบหน้าที่ดังกล่าวก่อนในช่วงแรกโดยหลังจากผ่านช่วง 1-2 ปีแรกไปแล้วปริมาณยานยนต์ไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องตามแผนส่งเสริมยานยนต์ไฟฟ้าของประเทศไทยจะดำเนินควบคู่ไปกับการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานให้ครอบคลุมครบถ้วนทุกกลุ่มผู้ใช้งานและสามารถรองรับการใช้งานตอบสนองต่อระบบไฟฟ้าครอบคลุมตั้งแต่ VIG ถึง V2X ผ่านตลาด Energy & Capacity, Ancillary Service จนสามารถเข้าไปทำหน้าที่ในระบบไฟฟ้าได้ทุกรูปแบบการให้บริการผ่านการพัฒนารูปแบบธุรกิจผู้รวบรวมโหลดยานยนต์ไฟฟ้า ในระดับต่าง ๆ ทั้งจากภาคการไฟฟ้าและภาคเอกชนที่จะเข้ามาทำหน้าที่รวบรวมและขยายฐานของ EV Resource ให้สอดคล้องและเหมาะสมกับบริบทของระบบไฟฟ้าประเทศไทยมากที่สุด

### แผนอำนวยการสนับสนุน

นอกเหนือจากภารกิจตามเสาหลัก 5 เสาหลัก แผนขับเคลื่อน ๗ ระยะปานกลางยังประกอบด้วยภารกิจหรือกิจกรรมอื่น ๆ ที่มีได้อยู่ภายใต้เสาหลักใดเสาหลักหนึ่งแต่ภารกิจหรือกิจกรรมดังกล่าวมีความสำคัญและจำเป็นที่ต้องดำเนินการคู่ขนานไปด้วยหรือมีความสัมพันธ์และเกี่ยวข้องกับหลายเสาหลักดังนั้นแผนอำนวยการสนับสนุนจึงถูกตั้งขึ้นภายใต้แผนการขับเคลื่อน ๗ ระยะปานกลางเพื่อทำหน้าที่สนับสนุนคู่ขนานไปกับ 5 เสาหลัก



ภาพ 31 ภาพรวมแผนอำนวยการสนับสนุนด้านสมาร์ทกริด [16]

เป้าหมายสำคัญของแผนอำนวยการสนับสนุน

“เพื่อช่วยสนับสนุนคู่ขนานไปกับ 5 เสาหลัก รวมถึงพัฒนาเทคโนโลยีสมัยใหม่เพื่อสนับสนุนงาน Smart Grid และพัฒนาให้เกิดรูปแบบธุรกิจใหม่ ๆ (New Business Model)”

โดยในช่วง 1-2 ปีแรกจะมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานหลักทั้งระบบโครงข่ายและระบบดิจิทัลตามลำดับความสำคัญ ได้แก่ Smart Substation และสมาร์ทมิเตอร์ (AMI) โดยจะเริ่มต้นจากในกลุ่มผู้ผลิตไฟฟ้าและผู้ใช้ไฟฟ้าขนาดใหญ่รวมถึงการติดตั้งและเชื่อมโยงระบบบริหารจัดการพลังงาน Cloud-Based Platform การขยายพื้นที่การให้บริการของโครงข่ายสื่อสาร 5G ควบคู่ไปกับการพัฒนารูปแบบธุรกิจประเภท Service Provider ด้าน Software-as-a-Service และ Cloud-Based Platform เพื่อรองรับการใช้งานผู้ใช้ไฟฟ้ารายใหญ่เป็นลำดับแรกก่อนนอกจากนี้ยังจำเป็นต้องสนับสนุนให้เกิดการวิจัยและพัฒนาทั้งในด้าน

เทคโนโลยีและบุคลากร ซึ่งจะมีส่วนช่วยยกระดับขีดความสามารถของประเทศได้อย่างยั่งยืน โดยหลังจากผ่านช่วง 1-2 ปีแรกไปแล้วจะเริ่มมีการขยายการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานในระบบโครงข่ายไฟฟ้าไปยังกลุ่มผู้ผลิตไฟฟ้าและผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีขนาดเล็กจนครอบคลุมครบถ้วนทุกพื้นที่ พร้อมรองรับการบูรณาการกับเทคโนโลยีด้านดิจิทัลที่ล้ำสมัยอย่าง Data Analytic, Cyber Security, Blockchain, AI & Machine Learning และ 5G Network Slicing ควบคู่ไปกับการขยายรูปแบบการให้บริการของ Service Provider ให้ครอบคลุมผู้ใช้ไฟฟ้าและการให้บริการในระบบไฟฟ้าทุกประเภทเพื่อก้าวข้ามข้อจำกัดการให้บริการในระบบไฟฟ้าพร้อมรองรับการเติบโตของ DERs และการเปลี่ยนผ่านไปสู่ระบบสมาร์ตกริดได้อย่างสมบูรณ์

ประโยชน์ของการขับเคลื่อนการดำเนินงานด้านสมาร์ตกริดของประเทศไทย ระยะปานกลาง พ.ศ. 2565 – 2574

#### 1. ด้านการบริหารการขับเคลื่อนการดำเนินงานด้านสมาร์ตกริดของประเทศไทย

1.1 เกิดการทำงานร่วมกันแบบบูรณาการของหน่วยงานในภาคส่วนต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อให้การดำเนินงานบรรลุเป้าหมายสำคัญอย่างครบถ้วนที่จะทำให้การพัฒนา ระบบสมาร์ตกริดประสบผลสำเร็จซึ่งจะก่อให้เกิดประโยชน์กับทุกภาคส่วนที่เกี่ยวข้อง

1.2 เกิดการจัดสรรงบประมาณทรัพยากรทางการเงินและบุคลากรได้อย่างเป็นระบบเพียงพอ ทำให้ลดความซ้ำซ้อน

1.3 มีกลไกในการติดตามการพัฒนาและเปลี่ยนแปลงกิจการไฟฟ้าอย่างเป็นระบบ

#### 2. ด้านการเตรียมความพร้อมด้านเทคโนโลยีและโครงสร้างพื้นฐาน

2.1 มีการกำหนดคุณสมบัติและความสามารถการทำงานของระบบสมาร์ตกริดที่ตอบสนองต่อการพัฒนาประเทศเป้าหมายตามแผนยุทธศาสตร์ชาติแผนการปฏิรูปประเทศรวมทั้งเป้าหมายของหน่วยงานในภาคส่วนต่าง ๆ ที่ดำเนินงานร่วมกันอย่างครบถ้วน ๆ

2.2 ลดปัญหาอุปสรรคในการพัฒนาโครงการที่ใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่หรือธุรกิจรูปแบบใหม่ ๆ

2.3 มีกลไกในการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานร่วมกับภาคส่วนกิจการอื่น ๆ

#### 3. ด้านการพัฒนาหน่วยงานและบุคลากรภายในประเทศ

3.1 ภาคเอกชนและภาคการศึกษาที่เข้ามามีส่วนร่วมเห็นทิศทางการเปลี่ยนผ่านใน ส่วนของกิจการไฟฟ้าและเกิดวิสัยทัศน์ในการพัฒนาองค์กรในการตอบสนองต่อแผนการขับเคลื่อน ๆ ระยะปานกลางซึ่งจะทำให้เกิดการสร้างโอกาสในการพัฒนาเศรษฐกิจอุตสาหกรรม นวัตกรรมและการพัฒนาบุคลากรในประเทศ

3.2 เกิดการสนับสนุนผลักดันให้เกิดการพัฒนาเปลี่ยนแปลงและปฏิรูปของภาค

รัฐวิสาหกิจ บริษัทเอกชน หน่วยงานวิจัยและการศึกษาต่าง ๆ ให้ตอบสนองต่อกิจการไฟฟ้าสมัยใหม่ที่มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงจากรูปแบบเดิมอย่างมาก ทั้งในด้านเทคโนโลยี ด้านตลาด และด้านการบริหารจัดการระบบ

3.3 เกิดเวทีและกระบวนการที่เปิดกว้างให้ผู้มีส่วนได้ส่วนเสียได้เข้ามามีส่วนร่วมอย่างใดก็ได้ จากเป้าหมายของแผนการขับเคลื่อนฯ ระยะปานกลางดังที่กล่าวมาข้างต้นนั้นสามารถนำไปสู่ประโยชน์ต่าง ๆ โดยแบ่งออกตามเสาหลักได้ดังนี้

ประโยชน์ของเสาหลักที่ 1 การตอบสนองด้านโหลดและระบบบริหารจัดการพลังงาน (DR & EMS) ก่อให้เกิดผลประหยัดจากการหลีกเลี่ยงการลงทุนก่อสร้างโรงไฟฟ้าระบบส่ง และระบบจำหน่ายรวมถึงการสั่งเดินเครื่องโรงไฟฟ้าในบางช่วงเวลาโดยเฉพาะช่วงที่มีความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (Peak) ซึ่งจะส่งผลให้อัตราค่าไฟฟ้าโดยรวมของประชาชนลดลงทั้งนี้การตอบสนองด้านโหลดที่ดำเนินการควบคู่ไปกับระบบบริหารจัดการพลังงานเพื่อมุ่งไปสู่การตอบสนองด้านโหลดแบบกึ่งอัตโนมัติและแบบอัตโนมัติในระยะยาวนั้นจะเป็นการช่วยสนับสนุนให้ระบบไฟฟ้ามีความยืดหยุ่นมากยิ่งขึ้นสามารถรองรับการเพิ่มขึ้นของพลังงานหมุนเวียนและแหล่งพลังงานแบบกระจายศูนย์ (DERs) ประเภทต่าง ๆ ปริมาณมากตามทิศทางแนวโน้มของโลก รวมถึงการกำหนดเป้าหมายของประเทศไทยในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ประโยชน์ของเสาหลักที่ 2 การพยากรณ์ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานหมุนเวียน (RE Forecast) ช่วยสนับสนุนในการบริหารจัดการและการวางแผนการผลิตไฟฟ้าทั้งในส่วนของการเดินโรงไฟฟ้าและการจ่ายโหลด (Economic Dispatch) อย่างมีประสิทธิภาพการกำหนดปริมาณกำลังผลิตสำรองซึ่งส่งผลต่ออัตราค่าไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าโดยตรงจากการเพิ่มขึ้นของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนอย่างแพร่หลายทั้งในระดับโรงไฟฟ้า SPP หรือ VSPP จนไปถึงระดับอาคารหรือบ้านอยู่อาศัยในรูปแบบ โปรซูเมอร์ (Prosumer) ตามแนวโน้มต้นทุนที่ลดลงอย่างต่อเนื่องรวมถึงจากการขับเคลื่อนและส่งเสริมพลังงานหมุนเวียนของภาครัฐทั้งนี้การพยากรณ์ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานหมุนเวียนที่มีความแม่นยำในระดับต่าง ๆ จึงก่อให้เกิดประโยชน์ต่อประเทศผู้ดูแลระบบไฟฟ้าและผู้ใช้ไฟฟ้าโดยตรงซึ่งส่งผลให้ระบบไฟฟ้าสามารถรองรับการเข้ามาของพลังงานหมุนเวียนในปริมาณมากในอนาคตได้

ประโยชน์ของเสาหลักที่ 3 ระบบไมโครกริดและโปรซูเมอร์ (Microgrid & Prosumer) ทำให้ระบบไฟฟ้าของประเทศไทยสามารถรองรับการเชื่อมต่อของโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน โดยเฉพาะพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานลมได้เพิ่มสูงขึ้นสอดคล้องตามแผน AEDP รวมถึงรองรับการเพิ่มขึ้นของกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้า โปรซูเมอร์ (Prosumer) โดยระบบไมโครกริดจะช่วยรักษาความมั่นคงและเพิ่มความสามารถในการบริหารจัดการโครงข่ายไฟฟ้าให้มีความยืดหยุ่นมากขึ้น

เกิดรูปแบบธุรกิจใหม่เพิ่มผู้เล่นในอุตสาหกรรมไฟฟ้าและการกระจายโอกาสการเข้าถึงการใช้พลังงานสะอาดของประชาชนในประเทศ

ประโยชน์ของเสาหลักที่ 4 ระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) จะช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ารวมถึงเพิ่มความยืดหยุ่นและความมั่นคงในโครงข่ายไฟฟ้าของประเทศ จาก การเพิ่มขึ้นของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน และแนวโน้มการผลิตไฟฟ้าใช้เองของผู้ใช้ไฟฟ้าระบบกักเก็บพลังงานจะเปลี่ยนรูปแบบของอุตสาหกรรมไฟฟ้าของประเทศในอนาคตและทำให้เกิดธุรกิจและบริการพลังงานรูปแบบใหม่ ๆ ในประเทศ

ประโยชน์ของเสาหลักที่ 5 การบูรณาการยานยนต์ไฟฟ้า (EV Integration) จะช่วยให้การวางแผนการลงทุนและการดำเนินงานทั้งในระบบผลิตระบบส่งและระบบจำหน่ายของ ไฟฟ้ารวมถึงการบริหารจัดการสินทรัพย์ (Asset Management) เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นโดยสามารถลดผลกระทบหรือปัญหาต่อระบบไฟฟ้าจากการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าที่ คาดว่าจะแพร่หลายมากขึ้นสอดคล้องตามแนวโน้มของโลกรวมถึงการกำหนดเป้าหมายการ ส่งเสริมการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยด้วยเทคโนโลยีการอัดประจุอัจฉริยะ (Smart Charge) และประยุกต์ใช้ยานยนต์ไฟฟ้าให้เป็นทรัพยากรที่มีประโยชน์ต่อโครงข่ายด้วย เทคโนโลยียานยนต์สู่โครงข่าย (V2G) และขยายผลไปสู่ V2X ในอนาคต

ประโยชน์ของแผนอำนวยการสนับสนุน สำหรับแผนอำนวยการสนับสนุนจะเป็นส่วน สนับสนุนการดำเนินงานคู่ขนานไปกับ 5 เสาหลักให้บรรลุเป้าหมายที่กำหนดไว้อย่างมี ประสิทธิภาพภายใต้แผนการขับเคลื่อน ฯ ระยะปานกลางทั้งด้านการเตรียมความพร้อม โครงสร้างพื้นฐานการพัฒนา รูปแบบธุรกิจที่เกี่ยวข้องกับ สมาร์ทกริดการพัฒนาขีด ความสามารถด้านสมาร์ตกริดของหน่วยงานบุคลากรที่เกี่ยวข้อง รวมถึงประชาชนทั่วไปใน ประเทศนอกจากนี้ยังสนับสนุนให้ระบบโครงข่ายไฟฟ้าของประเทศไทยมีความทันสมัยและ ยืดหยุ่นมากยิ่งขึ้นด้วยการใช้เทคโนโลยีด้านระบบไฟฟ้าเทคโนโลยีดิจิทัล และเทคโนโลยีแห่ง อนาคตให้สามารถรองรับการเข้ามาของพลังงานหมุนเวียน แหล่งพลังงานแบบกระจายศูนย์ (DERs) หรือเทคโนโลยีพลิกโฉม (Disruptive Technology) ที่จะเพิ่มขึ้น อย่างต่อเนื่องในอนาคต ได้อีกด้วย

#### การวิเคราะห์ผลการตอบแทนการลงทุน

วิธีการคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

การคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์คำนึงถึงต้นทุนต่อหน่วยตลอดอายุ โครงการ พิจารณาด้วยวิธีการประเมินจากดัชนีชี้วัดความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์จากค่า

อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit Cost Ratio : B/C Ratio) เพื่อใช้ในการบ่งชี้มูลค่าของประโยชน์ในการลงทุนระบบกักเก็บพลังงานประเภทแบตเตอรี่ อย่างไรก็ตามในการวิเคราะห์จะมีการพิจารณาดัชนีชี้วัดความคุ้มค่าอื่น ๆ ประกอบด้วยจำนวน 3 ค่าได้แก่ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) อัตราส่วนผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR) และระยะเวลาการคืนทุนของโครงการ (Payback Period: PBP) สามารถวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วยตลอดอายุโครงการ (Levelized Cost of Storage, LCOS) เพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจเบื้องต้นในการลงทุนจากสมการที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้ [17]

อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุนโครงการ (Benefit-cost Ratio: B/C Ratio)

อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุนโครงการ หมายถึง อัตราส่วนเปรียบเทียบระหว่างราคาปัจจุบันของผลตอบแทนของต้นทุนซึ่งหากมีค่ามากกว่า 1 แสดงว่ามีผลตอบแทนเกินกว่าเงินที่ลงทุนดังสมการ

$$PVB = \sum_{(t=1)}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} \quad (1)$$

$$PVC = \sum_{(t=1)}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

$$\frac{B}{C} \text{ Ratio} = \frac{PVB}{PVC} = \frac{\sum_{(t=1)}^n \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{(t=1)}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}}$$

กำหนดให้	$B_t$	คือ	ผลประโยชน์ของโครงการในปีที่ t
	$C_t$	คือ	ค่าใช้จ่ายของโครงการในปีที่ t
	t	คือ	ปีของโครงการมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n
	n	คือ	อายุของโครงการ (Project Lifetime)
	r	คือ	อัตราคิดลด (Discount rate)
	PVB	คือ	มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทน
	PVC	คือ	มูลค่าปัจจุบันของต้นทุน

มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ (Net Present Value: NPV)

มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ หมายถึงการนำกระแสเงินสดสุทธิที่ได้รับในแต่ละปีมาคำนวณหาค่าสุทธิปัจจุบัน ซึ่งเกิดจากกำไรที่เกิดขึ้นก่อนหักค่าดอกเบี้ยและภาษี ในการคำนวณเปรียบเทียบผลรวมที่ได้เทียบกับเงินลงทุนครั้งแรกว่ามีค่าเป็นบวกหรือมากกว่า

$$NPV = PVB - PVC$$

กำหนดให้ NPV คือ มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์สุทธิจากโครงการ

อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (Internal Rate of Return: IRR)

อัตราผลตอบแทนภายในโครงการ หมายถึง การหาผลตอบแทนเป็นร้อยละที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการตั้งแต่เริ่มจนกระทั่งสิ้นสุดระยะเวลาโครงการมีค่าเท่ากับมูลค่าปัจจุบันสุทธิของต้นทุนอัตราส่วนนี้แสดงให้เห็นถึงผลตอบแทนที่จะได้รับจากการลงทุนว่ามีผลตอบแทนเป็นร้อยละเท่าไร

$$\sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1 - IRR)^t} = 0$$

กำหนดให้	$B_t$	คือ	ผลประโยชน์ของโครงการในปีที่ t
	$C_t$	คือ	ค่าใช้จ่ายของโครงการในปีที่ t
	t	คือ	ปีของโครงการมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n
	n	คือ	อายุของโครงการ (Project Line)
	IRR	คือ	อัตราส่วนผลตอบแทนภายในการดำเนินงาน

ระยะเวลาดำเนินโครงการ (Payback Period: PBP)

ระยะเวลาดำเนินโครงการ (Payback Period: PBP) หมายถึง จำนวนปีในการดำเนินการที่ทำให้ผลตอบแทนสุทธิเฉลี่ยต่อปีมีค่ารวมกันเท่ากับเงินลงทุนเริ่มแรก

$$\text{ระยะเวลาดำเนินโครงการ} = \frac{\text{เงินลงทุนเริ่มแรก}}{\text{ผลประโยชน์สุทธิเฉลี่ยต่อปี}}$$

เกณฑ์การตัดสินใจในการลงทุน อาศัยการพิจารณาจากค่าต่าง ๆ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ระยะเวลาดำเนินโครงการ (Payback Period: PBP)
2. อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C Ratio) โดยพิจารณาจากการดำเนินงานมีค่าเท่ากับหรือมากกว่า 1 เนื่องจากการที่ได้รับผลตอบแทนต่อทุนสูงกว่าเงินลงทุนก่อให้เกิดผลประโยชน์หรือกำไรเกิดขึ้นจึงมีเหมาะสมในการพิจารณาตัดสินใจเพื่อลงทุน
3. มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ (NPV) โดยพิจารณาจากการดำเนินงานมีค่ามากกว่า 0 โดยส่วนที่เป็นบวกจะเป็นส่วนของค่าตอบแทนของผู้ลงทุน แสดงว่าการลงทุนใน Application ดังกล่าวให้ผลคุ้มค่า

4. อัตราส่วนผลตอบแทนภายในโครงการ (IRR) โดยพิจารณาจากการดำเนินงานมีค่าสูงกว่าต้นทุนของเงินทุนหรืออัตราดอกเบี้ยเงินทุน

### งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ยอดธง เม่นสิน [13] ได้มีการนำเสนอเทคโนโลยีสมาร์ทกริดกับการเปลี่ยนผ่านพลังงานไปสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอนด้วยประเทศไทยมีส่วนร่วมในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและเป็นประเทศที่มีความเปราะบางและมีความเสี่ยงจากผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ดังนั้นจึงต้องมีการดำเนินการตามมาตรการระหว่างประเทศที่มุ่งสู่การเติบโตด้านเศรษฐกิจ สังคม สิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนและการบูรณาการกับแนวทางการพัฒนาประเทศในระยะยาว การเตรียมความพร้อมด้านข้อมูลองค์ความรู้และความตระหนักรู้ของประชาชน เทคโนโลยีสมาร์ทกริดมีส่วนสำคัญในการเปลี่ยนผ่านพลังงานไปสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน เนื่องจากภาคพลังงานและขนส่งมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในสัดส่วนที่สูง ระบบโครงข่ายไฟฟ้าที่มีความชาญฉลาดยิ่งขึ้นจากการเชื่อมโยงเทคโนโลยีที่ทันสมัยจากหลายด้านเข้าด้วยกัน อาทิ เทคโนโลยีด้านสารสนเทศและการสื่อสาร เทคโนโลยีทางด้านการตรวจวัดเทคโนโลยีการด้านการควบคุมและสั่งการเทคโนโลยีด้านการผลิตไฟฟ้าและการส่งจ่ายไฟฟ้าเทคโนโลยีด้านการบริหารจัดการพลังงานตลอดจนเทคโนโลยีด้านการพยากรณ์และคาดการณ์ เป็นต้น เมื่อองค์ประกอบเหล่านี้ถูกจัดสรรให้สามารถทำงานร่วมกันได้อย่างมีระบบ ก็ย่อมส่งผลให้เกิดการพัฒนาความเชื่อถือได้และคุณภาพของไฟฟ้าความยั่งยืนและประสิทธิภาพของการผลิตและการใช้พลังงานการพัฒนาการทำงานและการให้บริการของหน่วยงานการไฟฟ้าการกำหนดมาตรฐานความเข้ากันได้ของอุปกรณ์การพัฒนาคักยภาพการแข่งขันทางเศรษฐกิจและอุตสาหกรรม เทคโนโลยีสมาร์ทกริดช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นให้กับระบบโครงข่ายไฟฟ้าเพื่อให้สามารถรองรับการเพิ่มขึ้นของพลังงานหมุนเวียน รวมถึงการบูรณาการเชื่อมต่อและใช้ประโยชน์จากแหล่งพลังงานแบบกระจายศูนย์ (Distributed Energy Resources) ประเภทต่าง ๆ ที่จะเติบโตตามแนวโน้มของโลกร่วมกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อช่วยสนับสนุนให้ประเทศไทยสามารถมุ่งไปสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน (Carbon Neutrality) ตามกรอบแผนพลังงานชาติเทคนิคของงานวิจัยไปใช้เรื่องการค้าคาร์บอนเครดิตการเติบโตของระบบแบตเตอรี่ กักเก็บพลังงานและยานยนต์ไฟฟ้า

วิวัฒน์ ขโนวิทย์ [18] (2557) คณะพัฒนาการเศรษฐกิจ สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์ (NIDA) ได้นำเสนอเกี่ยวกับการวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนของโครงการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาประเภทที่พักอาศัยในพื้นที่แตกต่างกันของประเทศไทย

เพื่อศึกษาความคุ้มค่าของต้นทุนและผลตอบแทนของการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาประเภทที่พักอาศัยขนาด 4 kW ในกรณีที่เข้าร่วมโครงการจำหน่ายไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และสามารถจำหน่ายเข้าระบบสายส่งของการไฟฟ้า (On grid) เปรียบเทียบกับกรณีที่ใช้ไฟฟ้าเองใน ที่พักอาศัยตลอดอายุโครงการ 25 ปี โดยศึกษาความคุ้มค่าทางด้านการเงินและทางด้านเศรษฐศาสตร์ในพื้นที่ที่แตกต่างกันด้านความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ 3 พื้นที่ ของประเทศไทยได้แก่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง และภาคเหนือ ซึ่งใช้ตัวชี้วัดคือ NPV, B/C Ratio และ IRR

นำเทคนิคของงานวิจัยไปใช้ในเรื่องของการคำนวณด้านเศรษฐศาสตร์ความคุ้มค่าสมพล โคศรี [19] (2554) ได้มีการนำเสนอเกี่ยวกับระบบควบคุมและจัดการพลังงานสมาร์ทกริดสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าแบบแยกเดี่ยวจากพลังงานทดแทนโดยระบบที่ใช้เป็นแบบผสมผสานประกอบด้วยเครื่องจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ แบตเตอรี่ และชุดพลังงานไฟฟ้าสำรองที่สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าแก่ภาระทางไฟฟ้าได้ตามขนาดพิกัดและสามารถจ่ายพลังงานเพื่อประจุแบตเตอรี่จากพลังงานที่เหลือจากการจ่ายไหลได้

นำเทคนิคของงานวิจัยไปใช้ในเรื่องของการจัดการสมาร์ทกริดและแบตเตอรี่สำรอง Ehsan Reihani [20] (2014) ได้มีการนำเสนอ Energy management at the distribution grid using a battery Energy Storage System (BESS) การควบคุมระบบสะสมพลังงานในแบตเตอรี่สามารถจัดการกับแหล่งพลังงานที่สม่ำเสมอของระบบพลังงานที่ขึ้นทั้งปัญหาของวงจร Circuit และ ปัญหาของแต่ละชั้นของระบบการจำลอง simulation และผลของการทดลองใช้ Algorithm ของการการ Charge และ discharge ของ ระบบสะสมพลังงานของแบตเตอรี่ คือ การแสดงข้อมูลที่แท้จริงของการควบคุมระบบการจับเก็บพลังงานของแบตเตอรี่ด้วยการลดความต้องการไฟฟ้าสูงสุด หรือ Peak Shaving ความ smooth ของ power curve และ แรงดันไฟฟ้าของหม้อแปลงไฟฟ้าระบบจำหน่ายสองเป้าหมายของการหาค่าที่เหมาะสม สำหรับการลดความต้องการไฟฟ้าสูงสุด หรือ Peak Shaving คือ การแสดงให้เห็นถึงวิธีการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าในระยะยาวการประยุกต์ของระบบเก็บพลังงานของแบตเตอรี่สำหรับ แรงดันคือการพิจารณาและวิเคราะห์ผลทดสอบที่แตกต่างและคูณผลโดยการอภิปราย

นำเทคนิคของงานวิจัยไปใช้ในเรื่องของระบบสะสมพลังงานการจับเก็บแบตเตอรี่ Yubo Wang [21] (2016). ได้มีการนำเสนอ Energy management for a commercial building microgrid with stationary and mobile battery storage ได้แสดงถึงการสำรวจความต้องการฝั่ง Demand (DSM) ในอาคารที่ผลิตไฟฟ้าจาก โซลาร์เซลล์ ระบบจัดการแบตเตอรี่ และ แสงอาทิตย์รุ่นคำนึงถึงรูปแบบการกำหนดราคาที่เราควบคุมแรกที่เรากำหนด กำหนดผสม

ปัญหาโปรแกรมเชิงเส้นสมมติว่าความรู้ที่สมบูรณ์แบบของความไม่แน่นอนใน ระบบสอง ขั้นตอนสุ่ม DSM มีการพัฒนาต่อไปว่าอยู่ในลักษณะสุ่มในการผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ไหลด ว่าง EV และความต้องการพลังงาน EV DSMs เสนอมีการตรวจสอบที่มีการผลิตพลังงาน แสงอาทิตย์จริงไหลด BESS และข้อมูล EV ใช้การประมาณค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง กรณีศึกษารายละเอียดแสดงให้เห็นว่าสุ่ม DSM มีประสิทธิภาพดีกว่าคู่ที่กำหนดสำหรับการ ประหยัดค่าใช้จ่ายสำหรับหลากหลายของราคา แต่ค่าใช้จ่ายของการคำนวณเวลาที่สูงขึ้น ผล การคำนวณยังแสดงให้เห็นว่าจำนวนปานกลางของ EVs ช่วยในการลดการโยนการดำเนินงาน โดยรวมซึ่งหายไบบนผลประโยชน์ของการรวมขนาดใหญ่ในอนาคต EV ถึงสมารถบิดึง

นำเทคนิคของงานวิจัยไปใช้ในเรื่องของการจัดการแบตเตอรี่ทั้งด้านของผู้ขายไฟฟ้า

Nobumasa Matsui [22] (2016). ได้นำเสนอ A Development of Evaluation and Verification System of Smart Grid with Modeling of Green Energy in University Campus ได้ แสดงถึงการพัฒนาของการจำลองความเร็วสูงและการจำลองเวลาจริงสำหรับระบบการ จัดการที่ใช้พลังงานไฮบริดระบบ DC / AC ในตารางสมาร์ต เพื่อที่จะปรับปรุงความถูกต้องของ รูปแบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในระบบนี้รูปแบบรังสีแสงอาทิตย์ทั่วโลกตามสมการ Bouguerของการติดตั้งเป็นแบบจำลองสภาพใหม่เขตแดน ระบบสามารถใช้เพื่อให้การประมาณ การการทำนายและตรวจสอบกลยุทธ์การจัดการ ระบบประกอบด้วยรถเมล์สายซีในขณะ ที่ไหลดและยูทิลิตี้ตารางเชื่อมต่อกับรถเมล์สาย AC ที่มีแบตเตอรี่สำรองที่เชื่อมต่อกับแหล่ง พลังงานทดแทนหลายคนเป็นแบบจำลอง กำลังเพิ่มเติมจากอุปกรณ์รองแบตเตอรี่และยูทิลิตี้ ตารางเมื่อพลังงานทดแทนจะกลายเป็นที่ต่ำกว่าความต้องการ มันเป็นสิ่งจำเป็นในการ พัฒนาโปรแกรมจำลองสำหรับการวิเคราะห์การดำเนินงานอย่างดีที่สุดเพื่อการควบคุมของรัฐ ของความสมดุลพลังงาน นอกจากนี้ยังมีการจำลองและการจำลองการใช้อุปกรณ์การ ตรวจสอบที่เกิดขึ้นจริงเป็นสิ่งจำเป็น จำลองความเร็วสูงสำหรับการสำนึกของการบริหารจัดการ พลังงานที่มีประสิทธิภาพในการทำนายและการวิเคราะห์เพราะของการใช้รูปแบบการใช้ พลังงาน ในการจำลองที่มีระบบการประเมินผลการออกแบบที่เป็นกำลังการผลิตและการ รวมกันของระบบไฟฟ้าในโรงพยาบาลขนาดใหญ่ เป็นผลให้กำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าโซล่า เซลล์ควรจะต้องติดตั้งมากกว่า 1000 kW ในโรงพยาบาล

นำเทคนิคของงานวิจัยไปใช้ในเรื่องของการสร้างแบบจำลอง

Jinghong GUO [23] (2015). ได้นำเสนอ A routing algorithm to long lifetime network for the intelligent power distribution network in smart grid ได้แสดงถึงเครือข่ายสายส่งเชื่อม ระหว่างระบบส่งกำลังและอำนาจของผู้บริโภคซึ่งเป็นส่วนสำคัญของความรู้ลึกโดยตรงคุณภาพ

การให้บริการของแหล่งจ่ายไฟจากผู้บริโภค เครือข่ายสายส่ง smart grid เป็นวิธีที่สำคัญในการปรับปรุงความน่าเชื่อถือ Power Supply และคุณภาพของแหล่งจ่ายไฟและการตรวจสอบเวลาจริงของเครือข่ายการกระจายเป็นรากฐานที่สำคัญสำหรับการสำนึกของเครือข่ายการกระจายอัจฉริยะไร้สายเครือข่ายเซนเซอร์ (WSN) ดึงดูด ให้ความสนใจอย่างมากในเครือข่ายการจ่ายไฟฟ้าอย่างชาญฉลาดเพราะมีความยืดหยุ่นสามารถปรับขนาดตัวเองและความสามารถในการจัดระเบียบตัวเองพื้นฐาน แต่อายุการใช้งานเครือข่ายแบบดั้งเดิม WSN ล้นเนื่องจากพลังงานจำกัด ของโหนดเซ็นเซอร์ บทความนี้นำเสนอวิธีการกำหนดเส้นทางยาวอายุการใช้งานเครือข่ายที่มุ่งเน้นไปยังเครือข่ายการกระจายสายส่งซึ่งสามารถรักษาความสมดุลของการใช้พลังงานของโหนดเครือข่ายและขยายอายุการใช้งานเครือข่าย ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าวิธีที่นำเสนอได้อย่างมีประสิทธิภาพสามารถยืดอายุการใช้งานเครือข่ายและเหมาะสมสำหรับใช้ในการสื่อสารของเครือข่ายการกระจายศูนย์ของสายส่ง

นำเทคนิคของงานวิจัยไปใช้ในเรื่องของการใช้ระบบเซ็นเซอร์เพื่อควบคุมการจ่ายไฟฟ้าบน smart grid

Bakhe Nleya [24] (2016). ได้นำเสนอ A Smart Grid Based Algorithm For Improving Energy Efficiency of Large Scale Cooperating Distributed Systems ซึ่งแสดงถึงสมาร์ตกริด (SG) เป็นไฮบริดระบบผลิตไฟฟ้าแบบบูรณาการ sophisticatedly ซึ่งจะช่วยให้พลังงานแบบสองทิศทางเช่นเดียวกับการแลกเปลี่ยนการจัดการข้อมูล ในบทความนี้เรามองไปที่การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในขนาดใหญ่ให้ความร่วมมือใช้พลังงานเช่นเดียวกับระบบผลิตไฟฟ้า คลัสเตอร์เช่นเดียวกับขั้นตอนวิธีการตั้งเวลากำลังไฟฟ้าลำดับชั้นที่จะมุ่งสู่การเพิ่มประสิทธิภาพการบริหารจัดการของอัตราภาษีอำนาจการจับเก็บและการจัดจำหน่ายในรูปแบบสหกรณ์ จากมุมมองทำนายความเข้มของแสงอาทิตย์จะเสนอสำหรับการพยากรณ์การผลิตกระแสไฟฟ้าและในขณะที่จากมุมมองของการใช้พลังงานที่เราประเมินและรูปแบบการใช้พลังงานที่บริโภคโดยระบบกระจายเหล่านี้ (ผู้บริโภค) และนำเสนอการปรับปรุงการจัดสรรทรัพยากรการตั้งเวลาและเครือข่ายการจัดการจราจรเพื่อให้เป็นไป ทำให้พลังของเครือข่ายและทรัพยากรคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น นำเทคนิคของงานวิจัยไปใช้ในเรื่องของการจัดการจ่ายไฟฟ้าด้วยระบบคอมพิวเตอร์

## บทที่ 3

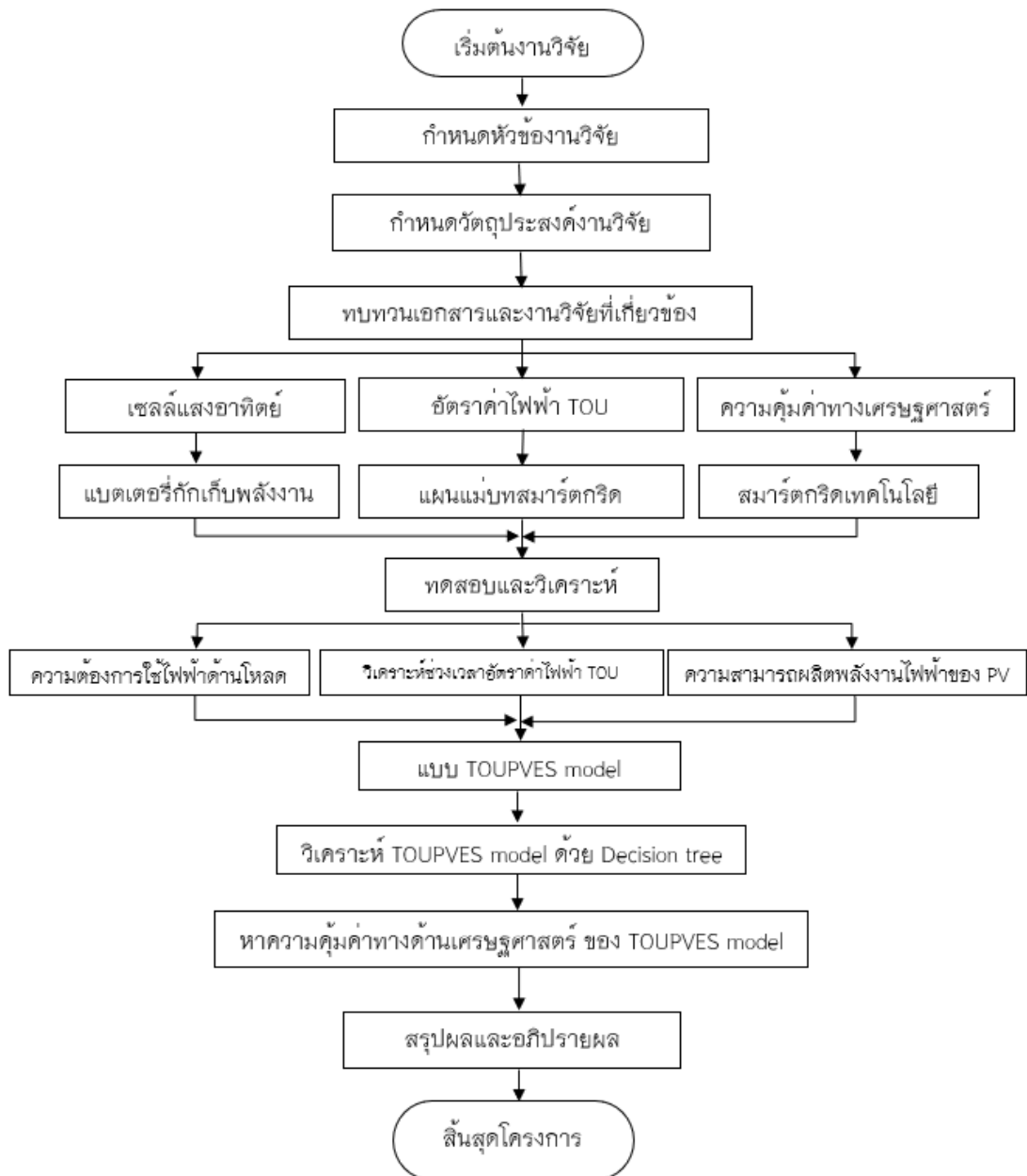
### วิธีการดำเนินงานวิจัย

#### ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

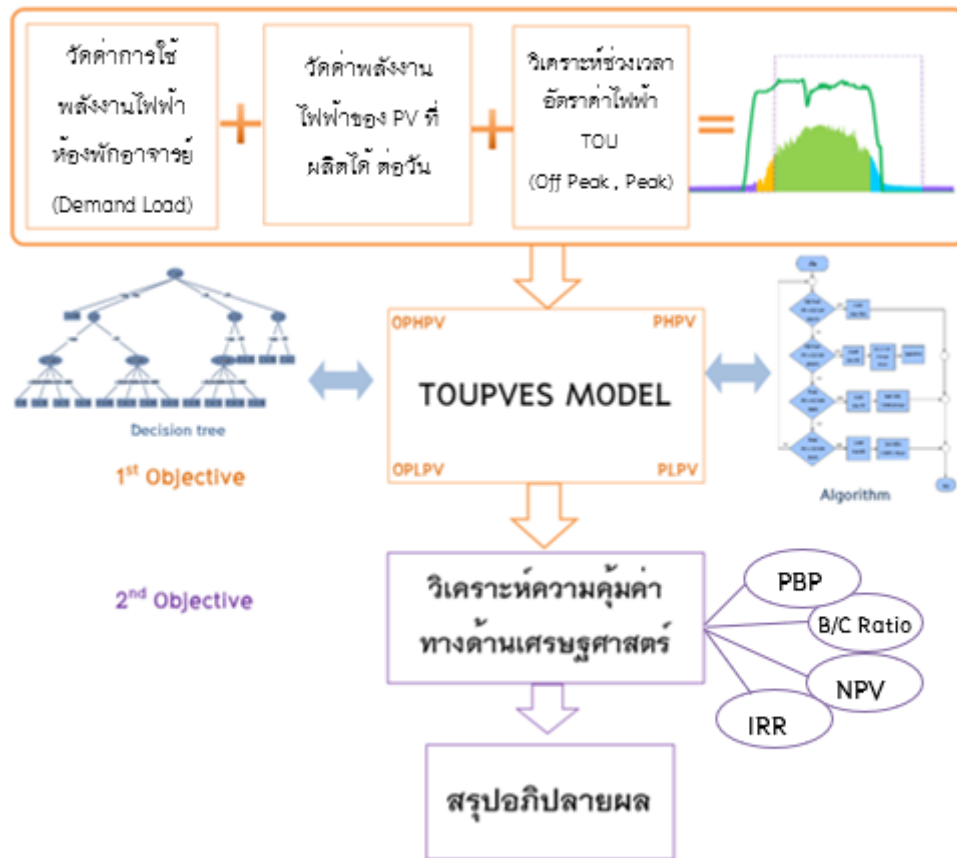
แนวทางการวิจัยสร้างแบบจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีก สวณพลังงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร เพื่อดำเนินงานวิจัยอย่างมีระบบ บรรลุตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยอย่างครบถ้วนและสำเร็จลุล่วงตามแผนการดำเนินงานที่กำหนดไว้ ผู้วิจัยจึงกำหนดขั้นตอนการวิจัยดังนี้

1. กำหนดหัวข้องานวิจัย
2. กำหนดวัตถุประสงค์ของงานวิจัย
3. การทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
4. ศึกษาความต้องการใช้ไฟฟ้าด้านโหลด (Demand Side : DS) ทำการเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าในห้องพักอาจารย์
5. ศึกษาความสามารถในการผลิตกำลังไฟฟ้าของโซลาร์เซลล์ (PV) ขนาด 2.7 kW
6. ศึกษาการใช้ไฟฟ้าอัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาการใช้อัตรา TOU
7. ออกแบบจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีก (TOUPVES model)
8. วิเคราะห์ TOUPVES model ด้วยโมเดลต้นไม้การตัดสินใจ Decision tree หรือ Regression tree
9. หาค่าความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ ของ TOUPVES model
10. สรุปผลและอภิปรายผล

## ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยแสดง ภาพ 32



ภาพ 32 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย



ภาพ 33 ภาพรวมการดำเนินงานวิจัย

จากภาพ 33 ผู้วิจัยกำหนดขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง และวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ ของการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีก สวมพลังงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาความต้องการใช้ไฟฟ้าด้านโหลด (Demand Side : DS) ทำการเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าในห้องพักอาจารย์

ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาความสามารถในการผลิตกำลังไฟฟ้าของโซลาร์เซลล์ (PV) ขนาด 2.7 kW ด้วยการวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง

ขั้นตอนที่ 3 ศึกษาการใช้ไฟฟ้าอัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาการใช้อัตรา TOU ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (PEA)

ขั้นตอนที่ 4 ออกแบบจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีก (TOUPVES model)

ขั้นตอนที่ 5 วิเคราะห์ TOUPVES model ด้วยโมเดลต้นไม้การตัดสินใจ Decision tree หรือ Regression tree

ขั้นตอนที่ 6 หาความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ ของ TOUPVES model

### ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาความต้องการใช้ไฟฟ้าด้านโหลด (Demand Side : DS) ของห้องพักอาจารย์

ศึกษาความต้องการการใช้ไฟฟ้าด้านโหลดทำการศึกษาจากห้องพักอาจารย์ในสวนพลังงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ด้วยการเก็บข้อมูลกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและวัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เฉลี่ยต่อวันเพื่อดูแนวโน้มการใช้พลังงาน การใช้ไฟฟ้าด้านโหลด (Demand Side) อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าในห้องพักอาจารย์ สวนพลังงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ได้แก่ ตู้เย็น 6.5 คิว เครื่องกรองน้ำ ที่วิขนาด 43 นิ้ว จอคอมพิวเตอร์ พัดลม โน้ตบุ๊ก และหลอดฟลูออเรสเซนต์ 18 W ห้องพักอาจารย์ในสวนพลังงานแสดงดังภาพ 34 และค่ากำลังไฟฟ้าแสดงดังตาราง 7



ภาพ 34 ห้องพักอาจารย์ ในสวนพลังงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าในห้องพักอาจารย์ ในสวนพลังงานแสดงดังตาราง 7

ตาราง 7 แสดงอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าในห้องพักอาจารย์ กำลังไฟฟ้ารวม 2.142 kW

ลำดับ	รายการ	ขนาด (kW)	จำนวน (เครื่อง)	รวมกำลังไฟฟ้า (kW)
1	เครื่องปรับอากาศ ขนาด 18000 btu	1.55	1	1.55
2	ทีวีขนาด 43 นิ้ว	0.13	1	0.13
3	จอกคอมพิวเตอร้	0.06	1	0.06
7	พัดลม	0.05	1	0.05
5	ไม้ตบ้ค	0.09	2	0.018
6	หลอดฟลูออเรสเซนต์ 18 W	0.018	4	0.072
4	ตู้เย็น 6.5 คิว	0.08	1	0.08
8	เครื่องกรองน้ำ	0.02	1	0.02
<b>รวม</b>				<b>2.142</b>

การศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าในห้องพักอาจารย์ ครั้งนี้ผ่านอุปกรณ์ Wi-Fi Smart Switch Energy Meter แสดงดังภาพ 35



ภาพ 35 อุปกรณ์เครื่องมือวัด Wi-Fi Smart Switch Energy Meter

เก็บข้อมูลเป็นเวลา 1 เดือน และนำผลมาหาค่าเฉลี่ย ต่อ 24 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 1.00 – 24.00 แสดงผลข้อมูลอยู่ในรูปของกราฟ

## ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาความสามารถในการผลิตกำลังไฟฟ้าของโซลาร์เซลล์ (PV) ขนาด 2.7 kW ด้วยการวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง

ความสามารถในผลิตกำลังไฟฟ้าของ PV ที่อยู่ในสวนพลังงาน แบบ Mono half cell ขนาด 540 W แรงดัน Open Circuit 49.53V กระแส Short circuit Current 13.85A จำนวน 5 แผง ต่ออนุกรม ขนาด 2.7 kW แสดงการติดตั้งดังภาพ 36 การวัดค่าพลังงานไฟฟ้าของ PV ทำการวัด ตั้งแต่วันที่ 10 เมษายน 2566 ถึงวันที่ 14 เมษายน 2566 เป็นเวลา 5 วัน



ภาพ 36 PV Mono half cell ขนาด 540 W ต่ออนุกรม ขนาด 2.7 kW ในสวนพลังงาน

ตารางเก็บข้อมูลแสดงดังตาราง 8

ตาราง 8 พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าของ PV

เวลา	พลังงานไฟฟ้าเครื่องใช้ไฟฟ้า kWh			PV kWh
	วันทำงาน	วันหยุด	รวม	
1:00				
....				
....				
0:00				

## ขั้นตอนที่ 3 ศึกษาการใช้ไฟฟ้าอัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาการใช้อัตรา TOU ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (PEA)

PEA ได้กำหนดอัตราค่าไฟฟ้า TOU ตามรูปแบบของการใช้ไฟฟ้าซึ่งมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร อยู่ในประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ อุตสาหกรรม ส่วนราชการ สำนักงาน หรือหน่วยงานอื่นใดของรัฐ องค์การปกครองส่วนท้องถิ่น รัฐวิสาหกิจ สถานทูต สถานที่ทำการของหน่วยงานราชการต่างประเทศ สถานที่ทำการของ

องค์การระหว่างประเทศหรืออื่น ๆ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาที สูงสุดในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง ตั้งแต่ 1,000 kW ขึ้นไป หรือมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือน ก่อนหน้าเกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน แรงดัน 22-33 KV

อัตราค่าไฟฟ้าคิดจากการแบ่งเวลาในแต่ละวันของสัปดาห์ออกเป็น 3 ช่วงตามอัตรา TOU คือ

ช่วง P (PEAK) ระหว่างเวลา 9.00 – 22.00 น. ของวันจันทร์ถึงศุกร์ที่ไม่ใช่วันหยุดราชการ ค่าไฟฟ้า ต่อหน่วย 4.1839 บาท

ช่วง OP (OFF PEAK) ระหว่างเวลา 22.00 – 9.00 น. ของวันจันทร์ถึงศุกร์ที่ไม่ใช่วันหยุดราชการ ค่าไฟฟ้า ต่อหน่วย 2.6037 บาท

ช่วง H (HOLIDAYS) หรือ วันหยุด ระหว่างเวลา 0.00 – 24.00 น. ของวันเสาร์ อาทิตย์ และวันหยุดราชการตามปกติ ค่าไฟฟ้า ต่อหน่วย 2.6037 บาท

แสดงรายละเอียดของผู้ใช้ไฟฟ้า ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่ ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (PEA) ตามภาพ 37

ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่				
4.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate : TOU)				
	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		ค่าบริการ (บาท/เดือน)
	Peak	Peak	Off Peak	
4.2.1 แรงดันตั้งแต่ 69 กิโลโวลต์ขึ้นไป	74.14	4.1025	2.5849	312.24
4.2.2 แรงดัน 22 – 33 กิโลโวลต์	132.93	4.1839	2.6037	312.24
4.2.3 แรงดันต่ำกว่า 22 กิโลโวลต์	210.00	4.3297	2.6369	312.24

อัตราขั้นต่ำ : ค่าไฟฟ้าค่าสูงสุดไม่ได้กว่าร้อยละ 70 ของค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมาสิ้นสุดในเดือนปัจจุบัน

หมายเหตุ 1. ประเภทที่ 4.1 เป็นอัตราสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าในอัตราประเภทที่ 4.1 อยู่เดิมก่อนค่าไฟฟ้าประจำเดือนพฤศจิกายน 2558 และสามารถเลือกใช้อัตราประเภทที่ 4.2 ได้ โดยต้องชำระค่าใช้จ่ายตามการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนด ทั้งนี้ เมื่อเลือกใช้แล้วจะกลับไปใช้อัตราประเภทที่ 4.1 ไม่ได้

2. เดือนใดมีความต้องการพลังไฟฟ้าไม่ถึง 1,000 กิโลวัตต์ หรือมีการใช้ไฟฟ้าไม่เกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน ค่าไฟฟ้ายังคงคำนวณตามอัตราดังกล่าว หากความต้องการพลังไฟฟ้าไม่ถึง 30 กิโลวัตต์ ติดต่อกันเป็นเวลา 12 เดือน และในเดือนถัดไปยังไม่ถึง 30 กิโลวัตต์อีก ให้เปลี่ยนประเภทผู้ใช้ไฟฟ้าเป็นประเภทที่ 2.1 หรือ 2.2 แล้วแต่กรณี ทั้งนี้ ผู้ใช้ไฟฟ้าที่เคยเลือกใช้อัตรา TOU และได้ชำระค่าใช้จ่ายไปแล้ว จะไม่เรียกเก็บค่าใช้จ่ายอีก

ภาพ 37 รายละเอียดของผู้ใช้ไฟฟ้า ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่ ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (PEA) [5]

หมายเหตุ: On Peak เวลา 09.00 – 22.00 น. วันจันทร์ – วันศุกร์

Off Peak เวลา 22.00 – 09.00 น. วันจันทร์ – วันศุกร์

เวลา 00.00 – 24.00 น. วันเสาร์ – วันอาทิตย์ วันแรงงานแห่งชาติ

วันหยุดราชการตามปกติ (ไม่รวมวันพีชมงคลและวันหยุดชดเชย)

#### ขั้นตอนที่ 4 ออกแบบจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีก (TOUPVES model)

ออกแบบจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีก (TOUPVES model) มีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

1. วิเคราะห์ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV กับ อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOU กำหนดให้ช่วงอัตราสูง Peak = P ช่วงอัตราค่าไฟฟ้าต่ำ Off Peak = OP แทนค่าความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV ช่วงสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ High PV = HPV ช่วงที่ไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ Low PV = LPV จับคู่จะได้ OPLPV หมายถึง ช่วงเวลาอัตราค่าไฟฟ้าต่ำความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV ต่ำ OPHPV หมายถึง ช่วงเวลาอัตราค่าไฟฟ้าต่ำความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV สูง PPHPV หมายถึง ช่วงเวลาอัตราค่าไฟฟ้าสูงความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV สูง PLPV หมายถึง ช่วงเวลาอัตราค่าไฟฟ้าสูงความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV ต่ำ ตารางจับคู่เชื่อมโยง แสดงดังตาราง 8

ตาราง 9 ตารางจับคู่ระหว่างอัตราค่าไฟฟ้า TOU และ ความสามารถในการผลิตพลังงานของ PV

Time Conditions	Low PV	High PV
Work day	01.01-07.30 & 17.31-01.00	07.31 - 17.30
OP (Off Peak)	OPLPV	OPHPV
22.00 - 9.00	01.01 - 07.30 & 22.01-01.00	07.31 - 09.00
2.6037฿ per Unit	9 hours 30 minutes	1 hour 30 minutes
P (Peak)	PLPV	PHPV
09.00 - 22.00	17.31 - 22.00	09.01 - 17.30
4.1839฿ per Unit	4 hours 30 minutes	8 hours 30 minutes

2. หาเงื่อนไขการตัดสินใจเลือกใช้พลังงานไฟฟ้าของ Load ตัดสินใจเลือกใช้พลังงานจากการไฟฟ้า (PEA) จากโซลาร์เซลล์ (PV) หรือ จากแบตเตอรี่ (ES) และ เงื่อนไขการตัดสินใจเลือกชาร์จพลังงานไฟฟ้าของแบตเตอรี่ (ES) ว่าจะเลือก ชาร์จไฟฟ้าจากการไฟฟ้า (PEA) หรือ จากโซลาร์เซลล์ (PV) ขั้นตอนนี้ให้เลือกตัดสินใจทุกกรณี แสดงผลตามตาราง 9

ตาราง 10 แสดงการตัดสินใจเลือกการใช้พลังงานไฟฟ้าของ Load และ การตัดสินใจ  
ชาร์จพลังงานไฟฟ้าของ ES

TOUPVES model วันทำงาน		Load			ES	
		PEA	PV	ES	PEA	PV
ช่วง Off Peak PV ไม่สามารถผลิตไฟฟ้า เวลา 01.01 น. ถึง 07.30 น. และ เวลา 22.01 น. ถึง 01.00 น. ระยะเวลา 9 ชั่วโมง 30 นาที	OPLPV1	●		●	●	
	.	●		●	○	
	.	●		○	●	
	.	●	ไม่สามารถ ผลิตไฟฟ้าได้	○	○	ไม่สามารถผลิต ไฟฟ้าได้
	.	○		●	○	
.	○		○	●		
.	○		○	○		
	OPLPVn	○		○	○	
ช่วง Off Peak PV สามารถผลิตไฟฟ้า เวลา 07.31 น. ถึง 09.00 น. ระยะเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที	OHPV1					
	.					
	.					
	OHPVn					
ช่วง Peak PV สามารถผลิตไฟฟ้า เวลา 09.01 น. ถึง 17.30 น. ระยะเวลา 8 ชั่วโมง 30 นาที	PHPV1					
	.	อัตราค่า			อัตราค่า	
	.	ไฟฟ้าสูง			ไฟฟ้าสูง	
	PHPVn					
ช่วง Peak PV ไม่สามารถผลิตไฟฟ้า เวลา 17.31 ถึง 22.00 น. ระยะเวลา 4 ชั่วโมง 30 นาที	PLPV1					
	PLPVn	อัตราค่า	ไม่สามารถ		อัตราค่า	ไม่สามารถผลิต
		ไฟฟ้าสูง	ผลิตไฟฟ้าได้		ไฟฟ้าสูง	ไฟฟ้าได้

จากตัวอย่างตาราง 9 กำหนดให้ใส่จุด ● แทนการใช้ไฟฟ้า และ จุด ○ แทนการไม่ใช้ไฟฟ้า แสดงตัวอย่างการตามตาราง 10 ช่วง OPLPV และกำหนดให้ n แทนจำนวนครั้งของการจับคู่ในแต่ละช่วงอธิบายดังต่อไปนี้

ช่วงเวลา OPLPV1 ถึง OPLPVn หมายถึง จับคู่ได้ตั้งแต่ครั้งที่ 1 OPLPV1 ถึง ครั้งที่ n จนกว่าจะจับคู่ไม่ได้ โดยมีเงื่อนไขของ PV ไม่นำมาจับคู่ เพราะ PV ไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้

ช่วงเวลา OPHPV1 ถึง OPHPVn หมายถึง จับคู่ได้ตั้งแต่ครั้งที่ 1 OPHPV1 ถึง ครั้งที่ n จนกว่าจะจับคู่ไม่ได้ เงื่อนไขสามารถจับคู่กันได้ทุกช่อง

ช่วงเวลา PHPV1 ถึง PHPVn หมายถึง จับคู่ได้ตั้งแต่ครั้งที่ 1 PHPV1 ถึง ครั้งที่ n จนกว่าจะจับคู่ไม่ได้ โดยมีเงื่อนไขช่อง PEA ไม่นำมาจับคู่ เพราะเป็นช่วงของ Peak อัตราค่าไฟฟ้าสูง

ช่วงเวลา PLPV1 ถึง PLPVn หมายถึง จับคู่ได้ตั้งแต่ครั้งที่ 1 OPLPV1 ถึง ครั้งที่ n จนกว่าจะจับคู่ไม่ได้ โดยมีเงื่อนไขช่อง PV ไม่นำมาจับคู่ เพราะ PV ไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ และ ช่อง PEA ไม่นำมาจับคู่ เพราะเป็นช่วงของ Peak อัตราค่าไฟฟ้าสูง

1. วิเคราะห์ความเหมาะสมโดยใช้เกณฑ์การตัดสินใจ ได้แก่ ความมั่นคงด้านพลังงาน (Energy security) เลื่อนเวลาการใช้ไฟฟ้า (Load shifting) และ การซื้อขายไฟฟ้า ซื้อถูกขายแพง (Buy Low, Sell High) ตาราง 11 ให้ความหมายและเงื่อนไขของแต่ละเกณฑ์การตัดสินใจ

**ตาราง 11 ความหมายและเงื่อนไขของ เกณฑ์ (Criteria) การตัดสินใจเพื่อเลือกรูปแบบที่เหมาะสมของ TOUPVES model**

เกณฑ์ (Criteria)	ความหมาย	เงื่อนไข
Energy security ความมั่นคงด้านพลังงาน	คือการกักเก็บพลังงานให้ใช้ไฟฟ้าได้อย่างเพียงพอทั้งใช้ในปัจจุบันและกักเก็บไว้ใช้ในอนาคต หรือใช้ในชั้วงวิกฤต	กักเก็บช่วง Off-Peak or ช่วงที่โซลาร์เซลล์สามารถผลิตไฟฟ้า (High PV) และไม่มีการใช้ไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ No discharge
Load shifting เลื่อนเวลาการใช้ไฟฟ้า	เลื่อนการใช้ไฟฟ้าจากช่วง Peak มาสู่ Off-Peak โดยผู้ใช้ไฟฟ้า (ข้อมูลจาก EGAT)	ใช้ไฟฟ้า ช่วง Off-Peak
การซื้อขายไฟฟ้าใน รูปแบบของการซื้อถูก ขายแพง Buy Low, Sell High	กักเก็บไฟฟ้าไว้ขายในช่วงเวลา Off peak และนำมาขายในช่วงราคาไฟฟ้าแพง Peak	กักเก็บช่วง Off-Peak หรือ ช่วงที่โซลาร์เซลล์สามารถผลิตไฟฟ้า HPV ขายไฟฟ้าช่วง Peak

แสดงตารางตัวอย่างใส่ข้อมูลเลือกความเหมาะสมตามเกณฑ์ดังตาราง 12

ตาราง 12 ตัวอย่างตารางคัดเลือกรูปแบบ ตามเกณฑ์ (Criteria)

รหัส	Load	ES	เกณฑ์ (Criteria)			หมายเหตุ
			Energy security	Load shifting	Buy Low, Sell High	
OPLPV1	PEA:ES	PEA D		●		
OPLPV2	PEA:ES	D		●		
OPLPV3	PEA	PEA	●	●	●	
OPLPV4	PEA			●		
OPLPV5	ES	PEA D		●		
OPLPV6	ES	D		●		
OPLPV7		PEA				
<hr/>						
OPHPV1						
.						
.						
OPHPVn						
<hr/>						
PHPV1						
.						
.						
PHPVn						
<hr/>						
PLPV1	ES				●	ขายไฟฟ้า

จากตัวอย่างตาราง 11 กำหนดให้สัญลักษณ์ ● เงื่อนไขที่ถูกเลือกแทนความมั่นคง กับ  
 เลื่อนเวลาการใช้ไฟฟ้า ● ซื้อไฟฟ้าช่วง OP ซื้อถูก ● ขายไฟฟ้าช่วง P ขายแพง

### ขั้นตอนที่ 5 วิเคราะห์ TOUPVES model ด้วยโมเดลต้นไม้การตัดสินใจ Decision tree หรือ Regression tree

ขั้นตอนนี้ทำการจำแนกข้อมูล (Classification) ของ TOUPVES model โดยกำหนด out  
 put เป็น yes หรือ no ตามเงื่อนไข ตัวอย่างตารางจำแนกข้อมูลแสดงดังตาราง 13

ตาราง 13 ตัวอย่างตารางการจำแนกข้อมูล (Classification) ของ TOUPVES model

TOU/PV	Load	ES	decision
OPLPV	none	none	no
OPLPV	PEA	none	yes
OPLPV	ES	none	no
OPHPV	.....	.....	.....
PLPV	.....	.....	.....
PHPV	.....	.....	.....

จากตาราง 12 การจำแนกข้อมูลและสร้างเงื่อนไขการตัดสินใจ yes หรือ no ตามเงื่อนไขของ TOUPVES model ในตารางจะใส่ข้อมูลจับคู่ TOU/PV และเงื่อนไขของโหลด Load ใช้ไฟฟ้าจาก PEA หรือ PV หรือ ES และ ES เลือกชาร์จไฟฟ้าจาก PEA หรือ PV ไม่ว่า Load จะเลือกใช้พลังงานไฟฟ้าจากที่ไหน หรือ ES จะตัดสินใจชาร์จจากแหล่งหากเงื่อนไขของ TOUPVES model ถูกต้อง ต้นไม้การตัดสินใจ Decision tree ก็จะได้แสดงเงื่อนไขตรงตามกับ TOUPVES model ใช้โปรแกรมเวกา (WEKA) เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ โมเดลต้นไม้การตัดสินใจ Decision tree โดยนำข้อมูลจากตาราง 13 ใส่ลงไปโปรแกรมเวกา โปรแกรมจะทำการประมวลผลและแสดงข้อมูลออกมาเป็นกราฟต้นไม้และแสดงผลความถูกต้องของ model จากนั้นนำไปสร้าง Algorithm ของ TOUPVES model

### ขั้นตอนที่ 6 วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ ของ TOUPVES model

ขั้นตอนการหาค่าความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ของ TOUPVES model มีดังนี้

1. เลือกอุปกรณ์ที่นำมาคำนวณต้นทุนการติดตั้งทั้งนี้ผู้วิจัยเลือกอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าในห้องพักอาจารย์ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าในห้องพักอาจารย์ โซล่าเซลล์ชนิดเดียวกับที่นำมาสร้าง TOUPEVS model จำนวน 5 แผง กำลังการผลิต ขนาด 2.7 kW ร่วมกับแบตเตอรี่ลิเทียมที่อยู่ในสวนพลังงานขนาด 5 kW กำลังไฟฟ้าขาออก 2.5 kW
2. ศึกษาคุณสมบัติของอุปกรณ์ที่นำมาติดตั้งเพื่อนำไปประกอบการคิดต้นทุนการติดตั้งและการเสื่อมของอุปกรณ์ตามระยะเวลา จำนวนรอบชีวิต life cycle ของแบตเตอรี่ค่าสูญเสียระหว่างทาง

3. คำนวณต้นทุนการติดตั้งอ้างอิงถึงระเบียบการเงินจัดซื้อจัดจ้างของมหาวิทยาลัย ราชภัฏกำแพงเพชรและอ้างอิงราคาอุปกรณ์ ค่าจ้างติดตั้งและค่าซ่อมบำรุง ในจังหวัด กำแพงเพชรโดยเทียบ 3 ร้าน ได้แก่ ร้านอัญญาพาณิชย์ ร้านกันต์เซอร์วิส และ หจก.สุริยะเอ็นเนอร์จี้เซอร์วิส

4. คำนวณค่าตอบแทนมีสองส่วนได้แก่ ค่าประหยัดไฟฟ้า และ ค่าขายไฟฟ้า การ คำนวณค่าไฟฟ้าใช้ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าในห้องพักอาจารย์ต่อวันและนำไปคิดการเสียค่าไฟฟ้าต่อ ปีโดยใช้ปีปฏิทิน 2566 เป็นปีที่ 0 เริ่ม ปี 2567 เป็นปีที่ 1 จน สิ้นสุดโครงการ ตรวจสอบวัน ทำงานและหยุดตามปฏิทิน เพื่อนำมาคำนวณอัตราการเสียค่าไฟฟ้าแยกวันทำงานและวันหยุด ตามอัตราเสียค่าแบบ TOU คำนวณตามบิลเสียค่าไฟฟ้าประเภท 4.2 และทำการคำนวณค่า ไฟฟ้าของ TOUPVES model จำแนกเป็นค่าไฟฟ้า และ ค่าขายไฟฟ้า นำค่าไฟฟ้าที่ได้ไปลบกับ ค่าไฟฟ้า TOU เพื่อหาค่าการประหยัดไฟฟ้า

5. นำข้อมูลทั้งค่าลงทุนและค่าผลตอบแทน มาคำนวณหาค่าดังต่อไปนี้

5.1 ระยะเวลาคืนทุนโครงการ (Payback Period: PBP)

5.2 อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C Ratio) โดยพิจารณาจากการดำเนินงาน มีค่า เท่ากับหรือมากกว่า 1 เนื่องจากการที่ได้รับผลตอบแทนต่อทุนสูงกว่าเงินลงทุน ก่อให้เกิด ผลประโยชน์หรือกำไรเกิดขึ้น จึงมีเหมาะสมในการพิจารณาตัดสินใจเพื่อลงทุน

5.3 มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ (NPV) โดยพิจารณาจากการดำเนินงานมี ค่า มากกว่า 0 โดยส่วนที่เป็นบวกจะเป็นส่วนของค่าตอบแทนของผู้ลงทุน แสดงว่าการลงทุน ดังกล่าวให้ผลคุ้มค่า

5.4 อัตราส่วนผลตอบแทนภายในโครงการ (IRR) โดยพิจารณาจากการดำเนินงาน มีค่าสูงกว่าต้นทุนของเงินทุนหรืออัตราดอกเบี้ยเงินลงทุน

การสร้างแบบ TOUPVES model เพื่อจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการ จำหน่ายไฟฟ้าปลีก ในสวนพลังงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ผู้วิจัยได้ทำการเก็บ ข้อมูลของการใช้ไฟฟ้าในห้องพักอาจารย์ อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้ากำลังไฟฟ้ารวม 2.142 kW มีความต้องการการใช้ไฟฟ้าวันทำงานสูงสุด 1.67 kW และวันหยุดสูงสุด 0.63 kW จากข้อมูล พฤติกรรมนำมาเทียบกับศักยภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าของโซล่าเซลล์ขนาด 2.7 kW ที่ติดตั้ง ในสวนพลังงาน และนำอัตราการเสียค่าไฟฟ้า TOU มาทำการวิเคราะห์สร้าง TOUPVES model ในส่วนของการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์นี้ผู้วิจัยได้นำข้อมูลต้นทุนการติดตั้ง โซล่าเซลล์ขนาด 2.7 kW การคิดค่าไฟฟ้าในอัตรา TOU จากพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในห้องพัก อาจารย์มาประกอบการคิดค่าไฟฟ้าและอุปกรณ์สำคัญคือแบตเตอรี่ ผู้วิจัยเลือกใช้แบตเตอรี่ลิ

เชื่อมโพลีโพรพิลีน (LifePO4) Huawei LUNA 2000 Battery Smart Kit 5 kW กำลังไฟฟ้าขาออกสูงสุด 2.5 kW แสดงดังภาพ 37 นำมาคำนวณวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์เนื่องจากแบตเตอรี่มีขนาดที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าได้เหมาะสมกับความต้องการของการใช้ไฟฟ้าในห้องพักอาจารย์และ สามารถติดตั้งกับ แผงโซลาร์เซลล์ 540 W MONO BQ SOLAR จำนวน 5 แผง ขนาด 2.7 kW แบตเตอรี่ลิเทียมโพลีโพรพิลีน (LifePO4) แสดงดังภาพ 38



ภาพ 38 แบตเตอรี่ลิเทียมโพลีโพรพิลีน (LifePO4) Huawei LUNA 2000 Battery Smart Kit 5 kW ติดตั้งสวนพลังงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

การวิจัยเรื่องการสร้างแบบจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีกสวนพลังงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อสร้างแบบจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีก และ 2) เพื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ จากการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีกโดยผลที่ได้จากการทดสอบ ตาม 2 วัตถุประสงค์ 6 ขั้นตอนต่อไปนี้

วัตถุประสงค์ที่ 1 เพื่อสร้างแบบจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีก

ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาความต้องการใช้ไฟฟ้าด้านโหลด (Demand Side : DS) ทำการเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าในห้องพักอาจารย์

ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาความสามารถในการผลิตกำลังไฟฟ้าของโซลาร์เซลล์ (PV) ขนาด 2.7 kW ด้วยการวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง

ขั้นตอนที่ 3 ศึกษาการใช้ไฟฟ้าอัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาการใช้อัตรา TOU ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (PEA)

ขั้นตอนที่ 4 ออกแบบจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีก (TOUPVES model)

ขั้นตอนที่ 5 วิเคราะห์ TOUPVES model ด้วยโมเดลต้นไม้การตัดสินใจ Decision tree หรือ Regression tree

วัตถุประสงค์ที่ 2 เพื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ จากการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีก

ขั้นตอนที่ 6 หาความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ ของ TOUPVES model

## ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาความต้องการใช้ไฟฟ้าด้านโหลด (Demand Side : DS) ทำการเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าในห้องพักอาจารย์

ศึกษาความต้องการการใช้ไฟฟ้าด้านโหลด ทำการศึกษาจากห้องพักอาจารย์ ในสวนพลังงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ด้วยการเก็บข้อมูลกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า และวัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เฉลี่ยต่อวันเพื่อดูแนวโน้มการใช้พลังงาน การใช้ไฟฟ้าด้านโหลด (Demand Side) อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าในห้องพักอาจารย์ สวนพลังงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ได้แก่ ตู้เย็น 6.5 คิว เครื่องกรองน้ำ ที่วีขนาด 43 นิ้ว จอคอมพิวเตอร์ พัดลม โน้ตบุ๊ก และหลอดฟลูออเรสเซนต์ 18 W แสดงดังตาราง

ตาราง 14 แสดงอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าในห้องพักอาจารย์ กำลังไฟฟ้ารวม 2.142 kW

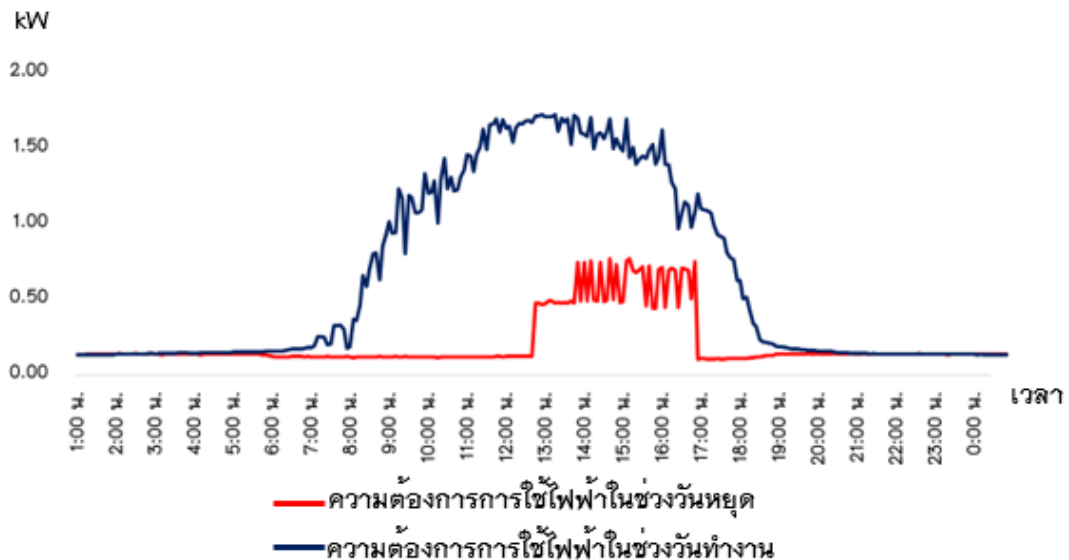
ลำดับ	รายการ	ขนาด (kW)	จำนวน (เครื่อง)	รวมกำลังไฟฟ้า (kW)
1	เครื่องปรับอากาศ ขนาด 18000 btu	1.55	1	1.55
2	ที่วีขนาด 43 นิ้ว	0.13	1	0.13
3	จอคอมพิวเตอร์	0.06	1	0.06
7	พัดลม	0.05	1	0.05
5	โน้ตบุ๊ก	0.09	2	0.018
6	หลอดฟลูออเรสเซนต์ 18 W	0.018	4	0.072
4	ตู้เย็น 6.5 คิว	0.08	1	0.08
8	เครื่องกรองน้ำ	0.02	1	0.02
<b>รวม</b>				<b>2.142</b>

การศึกษาค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในห้องพักอาจารย์ ครั้งนี้ผ่านอุปกรณ์ Wi-Fi Smart Switch Energy Meter การเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของห้องพักอาจารย์ ดำเนินการเก็บเป็นเวลา อาทิตย์ที่ 28 สิงหาคม พ.ศ. 2565 ถึงวัน พุธที่ 1 กันยายน 2565 รวมทั้งหมด 12 วันโดยผลเฉลี่ยการใช้พลังงานไฟฟ้า ต่อวัน ของ วันทำงาน และ วันหยุด ตั้งแต่ เวลา 01.00 น. ถึง 00.00 น. ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าวันทำงานและวันหยุดของห้องพักอาจารย์ แสดงดังตาราง 15

ตาราง 15 แสดงค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าของห้องพักอาจารย์ วันทำงานและวันหยุด

เวลา	พลังงานไฟฟ้าเครื่องใช้ไฟฟ้า kWh		
	วันทำงาน	วันหยุด	รวม
1:00	0.132	0.134	0.132
2:00	0.137	0.137	0.137
3:00	0.143	0.135	0.143
4:00	0.146	0.135	0.146
5:00	0.151	0.134	0.151
6:00	0.166	0.119	0.936
7:00	0.248	0.118	2.738
8:00	0.611	0.116	3.237
9:00	1.085	0.118	3.913
10:00	1.255	0.117	4.108
11:00	1.552	0.118	4.250
12:00	1.663	0.208	4.259
13:00	1.673	0.501	4.388
14:00	1.583	0.597	4.345
15:00	1.472	0.627	4.247
16:00	1.205	0.594	3.900
17:00	0.921	0.106	3.305
18:00	0.333	0.118	0.912
19:00	0.170	0.137	0.170
20:00	0.150	0.137	0.150
21:00	0.139	0.136	0.139
22:00	0.137	0.136	0.137
23:00	0.135	0.135	0.135
0:00	0.133	0.135	0.133

จากข้อมูลค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าของห้องพักอาจารย์ สนวนพลังงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ในวันทำงานและวันหยุดสามารถนำมาสร้างกราฟ ดังภาพ 39



ภาพ 39 แผนภูมิการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ของวันทำงานและวันหยุด  
ห้องพักอาจารย์สนวนพลังงาน

จากภาพ 40 แสดงแผนภูมิการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 24 ชั่วโมง ของวันทำงานและวันหยุดห้องพักอาจารย์ ในสนวนพลังงาน ตั้งแต่ เวลา 01.00 น. ถึง 00.00 น.

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

**ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาความสามารถในการผลิตกำลังไฟฟ้าของโซลาร์เซลล์ (PV) ขนาด 2.7 kW ด้วยการวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้ เฉลี่ย 24 ชั่วโมง**

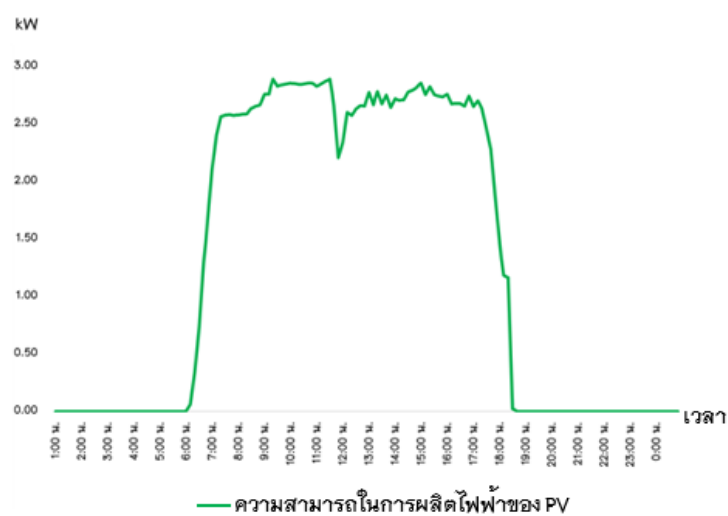
ความสามารถในผลิตกำลังไฟฟ้าของ PV ที่อยู่ในสนวนพลังงาน แบบ Mono half cell ขนาด 540 W แรงดัน Open Circuit 49.53V กระแส Short circuit Current 13.85A จำนวน 5 แผง

ต่ออนุกรม ขนาด 2.7 kW การวัดค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยของ PV ทำการวัด ตั้งแต่วันที่ 10 เมษายน 2566 ถึงวันที่ 14 เมษายน 2566 เป็นเวลา 5 วัน แสดงดังตาราง 16

ตาราง 16 ค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยของ PV

เวลา	PV (kWh)	เวลา	PV (kWh)
1:00	0	13:00	2.715
2:00	0	14:00	2.763
3:00	0	15:00	2.776
4:00	0	16:00	2.696
5:00	0	17:00	2.384
6:00	0.770	18:00	0.579
7:00	2.490	19:00	0
8:00	2.627	20:00	0
9:00	2.827	21:00	0
10:00	2.853	22:00	0
11:00	2.698	23:00	0
12:00	2.597	0:00	0

ข้อมูลความสามารถการผลิตไฟฟ้าของ PV แสดงดังภาพ 40



ภาพ 40 ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV

จากภาพ 41 กราฟแสดงการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV ขนาด 2.7 kW เริ่มผลิตกำลังไฟฟ้าตั้งแต่พระอาทิตย์ขึ้น 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

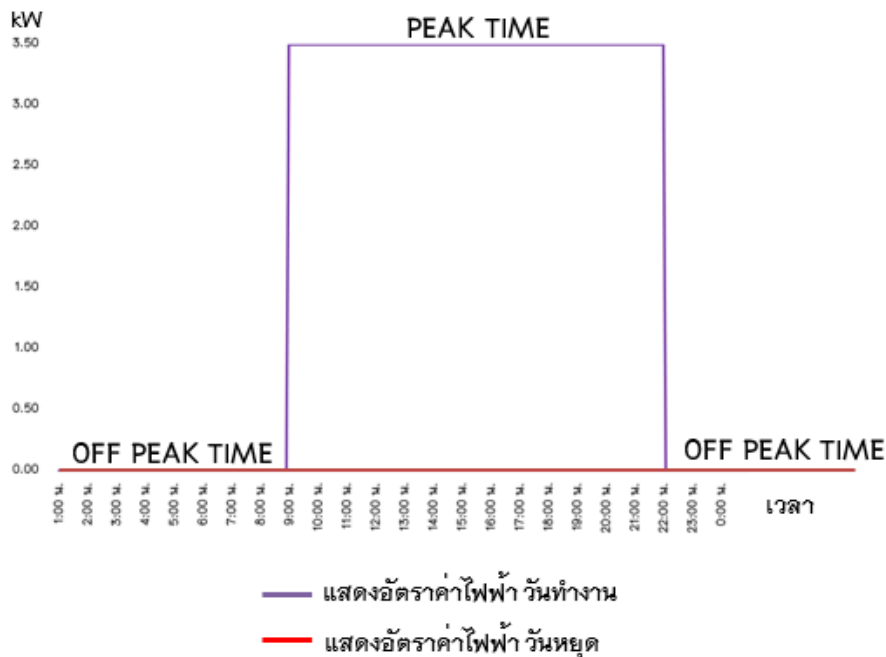
### ขั้นตอนที่ 3 ศึกษาการใช้ไฟฟ้าอัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาการใช้อัตรา TOU ของ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (PEA)

PEA ได้กำหนดอัตราค่าไฟฟ้า TOU ตามรูปแบบของการใช้ไฟฟ้าซึ่งมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร อยู่ในประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจอุตสาหกรรม ส่วนราชการ สำนักงาน หรือหน่วยงานอื่นใดของรัฐ องค์การปกครองส่วนท้องถิ่น รัฐวิสาหกิจ สถานทูต สถานที่ทำการของหน่วยงานราชการต่างประเทศ สถานที่ทำการขององค์การระหว่างประเทศ หรืออื่น ๆ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาที สูงสุดในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง ตั้งแต่ 1,000 kW ขึ้นไป หรือมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือน ก่อนหน้าเกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน แรงดัน 22-33 KV อัตราค่าไฟฟ้าคิดจากการแบ่งเวลาในแต่ละวันของสัปดาห์ออกเป็น 3 ช่วงตามอัตรา TOU คือ

ช่วง P (PEAK) ระหว่างเวลา 9.00 – 22.00 น. วันจันทร์ถึงวันศุกร์ที่ และวันพืชมงคล ค่าไฟฟ้า ต่อหน่วย 4.1839 บาท ความต้องการการใช้ไฟฟ้าสูงสุด (demand Peak) มีค่าเท่ากับ 1.673 kW การใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 13.20 kWh

ช่วง OP (OFF PEAK) ระหว่างเวลา 22.00 – 9.00 น. วันจันทร์ถึงวันศุกร์ และวันพืชมงคล ค่าไฟฟ้า ต่อหน่วย 2.6037 บาท ความต้องการการใช้ไฟฟ้าสูงสุด (demand Peak) มีค่าเท่ากับ 0.611 kW การใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 2.137 kWh

ช่วง H (HOLIDAYS) หรือ วันหยุด ระหว่างเวลา 0.00 – 24.00 น. ของวันเสาร์ วันอาทิตย์และวันแรงงานแห่งชาติ, วันพืชมงคลที่ตรงกับวันเสาร์ – อาทิตย์ และวันหยุดราชการตามปกติ (ไม่รวมวันหยุดชดเชย) ค่าไฟฟ้า ต่อหน่วย 2.6037 บาท ความต้องการการใช้ไฟฟ้าสูงสุด (demand Peak) มีค่าเท่ากับ 0.6272 kW การใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 4.95 kWh

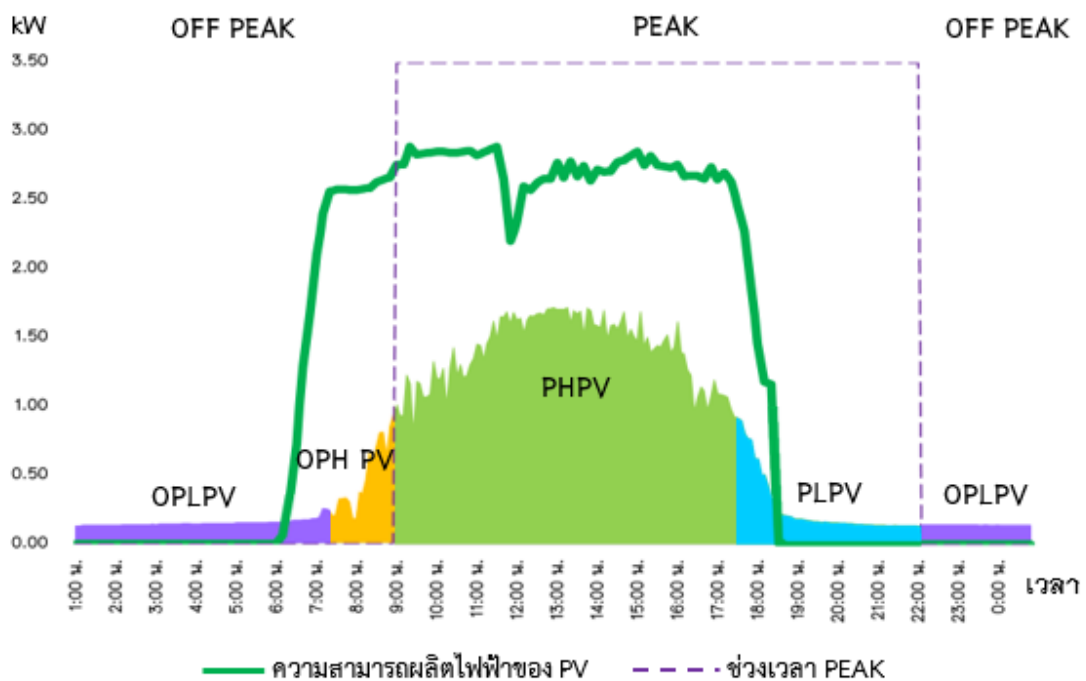


ภาพ 41 กราฟแสดงช่วงเวลาตามอัตราการเสียค่าไฟฟ้าของวันทำงานและวันหยุด

#### ขั้นตอนที่ 4 ออกแบบจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีก (TOUPVES model)

การการสร้างแบบจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีกนี้เป็นการจัดการด้านไฟฟ้าการตอบสนองด้านโหลด (DR management) ด้วยการบริหารจัดการการใช้ไฟฟ้า ในช่วงอัตราค่าไฟฟ้า TOU ที่สอดคล้องกับความสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV เพื่อนำพลังงานมากักเก็บ (ES) และบริหารจัดการด้านมั่นคงพลังงาน (Energy security) มีพลังงานใช้เมื่อขาดแคลน เลื่อนเวลาการใช้ไฟฟ้า (Load shifting) ใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาที่อัตราค่าไฟฟ้าต่ำในช่วงอัตราค่าไฟฟ้าสูงกลับมาใช้ไฟฟ้าจาก PV หรือ ES และการซื้อขายไฟฟ้า ผลกำไรจากการซื้อถูกขายแพง (Buy low, Sell high) ซื้อไฟฟ้ามาใช้ในช่วงอัตราค่าไฟฟ้าต่ำ และขายไฟฟ้าเมื่ออัตราค่าไฟฟ้าสูง ทั้งสามด้านนี้จะเป็นเกณฑ์ในการเลือกเวลาการกักเก็บไฟฟ้า การใช้ไฟฟ้า และขายไฟฟ้า ตามเงื่อนไขเวลาของ อัตราค่าไฟฟ้า TOU และช่วงเวลาของการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV ผู้วิจัยเรียกรูปแบบการจำลอง นี้ว่า TOUPVES model การแบบจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีก นี้ได้นำข้อมูล การข้อมูลความต้องการการใช้ไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้า (Demand Side : DS) หองพักอาจารย์ในสวนพลังงาน ความสามารถมารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของโซลาร์เซลล์ (PV) ซึ่ง

ขึ้นอยู่กับความเข้มดวงอาทิตย์ ดังนั้นแนวโน้มการผลิตพลังงานไฟฟ้าสูง (High PV : HPV) จะอยู่ที่ช่วงเวลาดอนกลางวัน และช่วงผลิตพลังงานไฟฟ้าต่ำอยู่ในช่วงเวลากลางคืน (Low PV : LPV) และอัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาการใช้ (TOU) ของ PEA อัตราค่าไฟฟ้า TOU แบ่งคิดค่าไฟฟ้าในวันทำงาน ช่วงเวลาอัตราค่าไฟฟ้าสูง Peak ตั้งแต่เวลา 9.00 น. ถึง 22.00 น. ช่วงอัตราค่าไฟฟ้าต่ำ Off Peak ตั้งแต่เวลา 22.00 น. ถึง 9.00 น. และวันหยุด อัตราค่าไฟฟ้าต่ำ Off Peak ทั้งวัน ผลการวิเคราะห์ภาพรวมของความสามารถในการผลิตไฟฟ้าของ PV กับอัตราการใช้ไฟฟ้าช่วง TOU เทียบกับการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าห้องพักอาจารย์ สวนพลังงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ในช่วงวันทำงานแสดงดังภาพ 43



ภาพ 42 ความสามารถในการผลิตไฟฟ้าของ PV กับ อัตรา TOU เทียบกับการใช้ไฟฟ้าห้องพักอาจารย์ช่วง วันทำงาน

จากภาพ 43 ช่วงวันทำงานความต้องการการใช้ไฟฟ้าในห้องพักอาจารย์ในวันทำงานมีความต้องการการใช้ไฟฟ้าสูงสุด (Demand Peak) เวลา 11.00 น. ถึง 16.00 น. ค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 1.589 kWh ความสามารถในการผลิตไฟฟ้าของ PV สามารถผลิตไฟฟ้าได้เริ่มตั้งแต่วันที่ 07.30 น. ถึง 17.30 น. เฉลี่ย 1.29 kWh จะเห็นว่าการจัดการพลังงานด้านผู้ใช้ไฟฟ้ามีตัว

แปรหลักอยู่สองตัวก็คือ ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV กับอัตราค่าไฟฟ้าในช่วงเวลา TOU ซึ่งสามารถแบ่งช่วงการใช้พลังงานไฟฟ้าเครื่องใช้ไฟฟ้า ออกเป็น 4 ช่วง แต่ละช่วงจะมีรูปแบบการลดค่าไฟฟ้า การกักเก็บพลังงาน และความสามารถในการซื้อขายไฟฟ้า เพื่อให้เห็นภาพชัดเจนมากขึ้นผู้วิจัยได้ทำการเชื่อมโยงความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV กับอัตราค่าไฟฟ้า TOU แสดงดังตาราง 16

ตาราง 17 จับคู่เชื่อมโยงตามเงื่อนไขของช่วงเวลาอัตราค่าไฟฟ้า TOU กับความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV ในช่วงวันทำงาน

Time Conditions	Low PV	High PV
Work day	01.00–07.29 & 17.50–0.59	07.00 – 17.30
OP (Off Peak)	OPLPV	OPHPV
22.00 – 9.00	01.01 – 07.30 & 22.01–01.00	07.31 – 09.00
2.6037฿ per Unit	9 hours 30 minutes Load 0.287 kWh 11.50% PV 0.332 kWh 5.52%	1 hour 30 minutes Load 0.544 kWh 21.81% PV 2.621 kWh 43.61%
P (Peak)	PLPV	PHPV
09.00 – 22.00	17.31 – 22.00	09.01 – 17.30
4.1839฿ per Unit	4 hours 30 minutes Load 0.252 kWh 10.11% PV 0.325 kWh 5.40%	8 hours 30 minutes Load 1.412 kWh 56.58 % PV 2.732 kWh 45.46 %

การจับคู่ตามเชื่อมโยงเงื่อนไขของช่วงเวลาอัตราค่าไฟฟ้า TOU กับความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV สอดคล้องกับภาพ 42 ซึ่งสามารถอธิบายรายละเอียดของช่วงเวลาทั้ง 4 ช่วงเวลาดังนี้

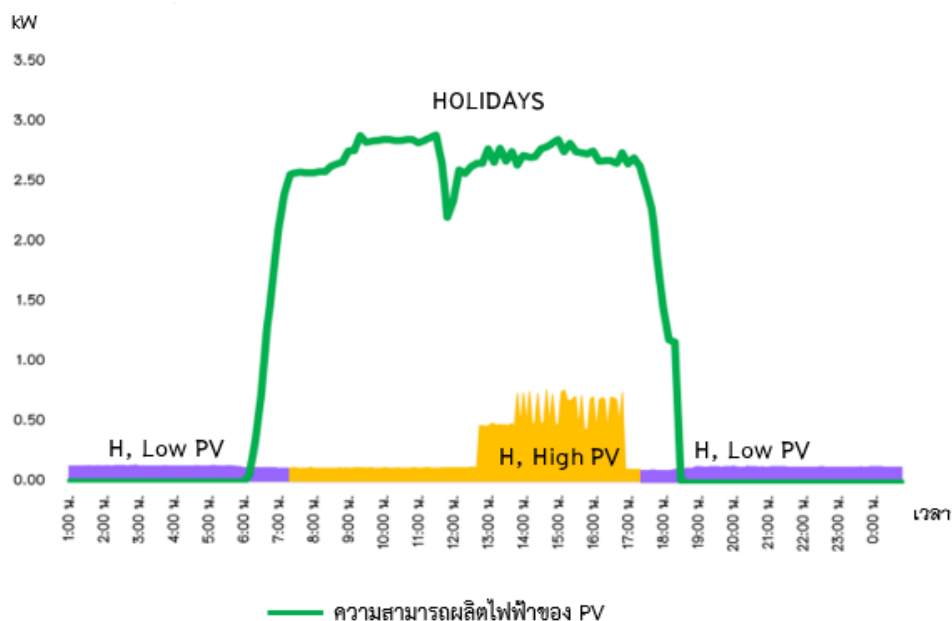
1. OPLPV ช่วงเวลา Off-Peak อัตราค่าไฟฟ้าต่ำ 2.6037 บาทต่อหน่วย ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV ต่ำ แบ่งออกเป็น 2 ช่วงเวลา ตั้งแต่เวลา 01.01 น. ถึง 07.30 น. และ เวลา 22.01 น. ถึง 01.00 น. รวมระยะเวลา 9 ชั่วโมง 30 นาที โดยที่เครื่องใช้ไฟฟ้าใช้พลังงานไฟฟ้า เฉลี่ย 0.287 kWh คิดเป็น 11.50% ของการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยทั้งวัน ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV เฉลี่ย 0.332 kWh คิดเป็น 5.52% ของความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยทั้งวัน

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 โดยที่เครื่องใช้ไฟฟ้าใช้พลังงานไฟฟ้า เฉลี่ย 0.544 kWh คิดเป็น 21.81% ของการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยทั้งวัน ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV เฉลี่ย 2.621 kWh คิดเป็น 21.81% ของความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยทั้งวัน

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 โดยที่เครื่องใช้ไฟฟ้าใช้พลังงานไฟฟ้า เฉลี่ย 1.412 kWh คิดเป็น 56.58 % ของการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยทั้งวัน ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV เฉลี่ย 2.732 คิดเป็น kWh 45.46 % ของความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยทั้งวัน

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 โดยที่เครื่องใช้ไฟฟ้าใช้พลังงานไฟฟ้า เฉลี่ย 0.252 kWh คิดเป็น 10.11 % ของการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยทั้งวัน ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV เฉลี่ย 0.325 คิดเป็น kWh 5.40% ของความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยทั้งวัน

ผลการวิเคราะห์ภาพรวมของความสามารถในการผลิตไฟฟ้าของ PV กับอัตราการใช้ไฟฟ้าช่วง TOU เทียบกับการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าห้องพักอาจารย์ สวนพลังงานมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ในช่วงวันหยุดแสดงดัง ภาพ 44



ภาพ 43 ความสามารถในการผลิตไฟฟ้าของ PV กับ อัตรา TOU เทียบกับการใช้ไฟฟ้า  
ห้องพักอาจารย์ช่วง วันหยุด

จากภาพ 43 ช่วงวันหยุด การใช้ไฟฟ้าในห้องพักอาจารย์ เริ่มตั้งแต่ 01.00 น. ถึง 00.00 น. ความต้องการการใช้ไฟฟ้าสูงสุด (Demand Peak) คือ ช่วงเวลา 12.40 – 16.50 น. ความสามารถในการผลิตไฟฟ้าของ PV สามารถผลิตไฟฟ้าได้เริ่มตั้งแต่วันที่ 06.30 น. ถึง 17.30 น. อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOU ช่วง OP (OFF PEAK) ทั้งวัน อัตรา ค่าไฟฟ้า ต่อหน่วย 2.6037 บาท และความสามารถของ PV ที่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย ต่อวัน 1.29 kWh ในส่วนของวันหยุด ได้ทำการเชื่อมโยงความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV กับอัตราค่าไฟฟ้า TOU ซึ่งสามารถแบ่งช่วงการใช้พลังงานไฟฟ้าเครื่องใช้ไฟฟ้าได้เพียง 2 ช่วง แสดงดังตาราง 17

ตาราง 18 จับคู่เชื่อมโยงตามเงื่อนไขของช่วงเวลาอัตราค่าไฟฟ้า TOU กับความสามารถ  
ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV ในช่วงวันหยุด

Time Conditions	Low PV	High PV
Holiday	01.01–07.30 & 17.31–01.00	07.31 – 17.30
HP (Holidays Peak)	HLPV or OPLPV	HHPV or OPHPV
0.00 – 24.00	01.01–07.30 & 17.31 – 01.00	07.31 – 17.30
2.6037฿ per Unit	14 hours	10 hours

ตาราง 18 (ต่อ)

Time Conditions	Low PV	High PV
Holiday	01.01–07.30 & 17.31–01.00	07.31 – 17.30
	Load 0.263 kWh 45.84%	Load 0.311 kWh 54.16%
	PV 0.527 kWh 16.25%	PV 2.715 kWh 83.74%

การจับคู่ตามเชื่อมโยงเงื่อนโซ่ของช่วงเวลาอัตราค่าไฟฟ้า TOU กับความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV สอดคล้องกับภาพ 43 ซึ่งสามารถอธิบายรายละเอียดของช่วงเวลาทั้ง 2 ช่วงเวลาดังนี้

1. OPLPV ช่วงเวลา Off-Peak อัตราค่าไฟฟ้าต่ำ 2.6037 บาทต่อหน่วย ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV ต่ำ แบ่งเป็น 2 ช่วงเวลา ตั้งแต่เวลา 01.01 น. ถึง 07.30 น. และ เวลา 17.31 น. ถึง 01.00 น. รวมระยะเวลา 14 ชั่วโมงโดยที่เครื่องใช้ไฟฟ้าใช้พลังงานไฟฟ้า เฉลี่ย 0.263 kWh คิดเป็น 45.84% ของการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยทั้งวัน ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV เฉลี่ย 0.527 kWh คิดเป็น 16.25% ของความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยทั้งวัน

2. OPHPV ช่วงเวลา Off-Peak อัตราค่าไฟฟ้าต่ำ 2.6037 บาทต่อหน่วย ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV สูง เริ่ม ตั้งแต่เวลา 07.31 น. ถึง 17.30 น. รวมระยะเวลา 10 ชั่วโมง โดยที่เครื่องใช้ไฟฟ้าใช้พลังงานไฟฟ้า เฉลี่ย 0.311 kWh คิดเป็น 54.16% ของการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยทั้งวัน ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV เฉลี่ย 2.715 kWh คิดเป็น 83.74% ของความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยทั้งวัน

จากข้อมูลเชื่อมโยงจะเห็นว่าในวันทำงานจะแบ่งเวลา 4 ช่วง วันหยุดแบ่งเวลาได้เป็น 2 ช่วง ซึ่งแต่ละช่วงเวลามีคุณสมบัติการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ กับ การเสียค่าไฟฟ้าในอัตราค่าไฟฟ้าสูงต่ำไม่เท่ากัน ดังนั้นการจะตัดสินใจใช้ไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้า (Load) หรือกักเก็บไฟฟ้า (ES) เพื่อให้เหมาะสมที่สุดจึงทำการทดลองสถานการณ์ที่เป็นไปได้ทั้งหมดของการตัดสินใจทำงานของ Load และ ES ซึ่ง Load จะเลือกใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้า (PEA) หรือจากโซลาร์เซลล์ (PV) หรือใช้ไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ (ES) ส่วนในด้านแบตเตอรี่ (ES) ก็เช่นกันจะเลือกชาร์จไฟฟ้าจากการไฟฟ้า (PEA) หรือ จากโซลาร์เซลล์ (PV) แสดงดังตาราง 19

ตาราง 19 การตัดสินใจทำงานของ Load และ ES ตามช่วงเวลาของ TOU และความสามารถ  
การผลิตไฟฟ้าของ PV ในวันทำงาน

TOUPVES model วันทำงาน	Load			ES		
	PEA	PV	ES	PEA	PV	
ช่วง Off Peak PV ไม่สามารถผลิตไฟฟ้า เวลา 01.01 น. ถึง 07.30 น. และ เวลา 22.01 น. ถึง 01.00 น. ระยะเวลา 9 ชั่วโมง 30 นาที	OPLPV1	●	●	●	●	
	OPLPV2	●	●	●	○	
	OPLPV3	●	ไม่ สามารถ ผลิต ไฟฟ้าได้	○	●	
	OPLPV4	●	●	○	○	ไม่สามารถ ผลิตไฟฟ้าได้
	OPLPV5	○	●	●	●	●
	OPLPV6	○	●	●	○	●
	OPLPV7	○	○	○	●	○
	OPLPV8	○	○	○	○	○
ช่วง Off Peak PV สามารถผลิตไฟฟ้า เวลา 07.31 น. ถึง 09.00 น. ระยะเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที	OPHPV1	●	●	●	●	●
	OPHPV2	●	●	●	●	○
	OPHPV3	●	●	●	○	●
	OPHPV4	●	●	●	○	○
	OPHPV5	●	●	○	●	●
	OPHPV6	●	●	○	●	○
	OPHPV7	●	●	○	○	●
	OPHPV8	●	●	○	○	○
	OPHPV9	●	○	●	●	●
	OPHPV10	●	○	●	●	○
	OPHPV11	●	○	●	○	●
	OPHPV12	●	○	●	○	○
	OPHPV13	●	○	○	●	●
	OPHPV14	●	○	○	●	○
	OPHPV15	●	○	○	○	●
	OPHPV16	●	○	○	○	○

ตาราง 19 (ต่อ)

TOUPVES model		Load			ES	
วันทำงาน		PEA	PV	ES	PEA	PV
	OPHPV17	○	●	●	●	●
	OPHPV18	○	●	●	●	○
	OPHPV19	○	●	●	○	●
	OPHPV20	○	●	●	○	○
	OPHPV21	○	●	○	●	●
	OPHPV22	○	●	○	●	○
ช่วง Off Peak	OPHPV23	○	●	○	○	●
PV สามารถผลิตไฟฟ้า	OPHPV24	○	●	○	○	○
เวลา 07.31 น. ถึง 09.00 น.	OPHPV25	○	○	●	●	●
ระยะเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที	OPHPV26	○	○	●	●	○
	OPHPV27	○	○	●	○	●
	OPHPV28	○	○	●	○	○
	OPHPV29	○	○	○	●	●
	OPHPV30	○	○	○	●	○
	OPHPV31	○	○	○	○	●
	OPHPV32	○	○	○	○	○
	PHPV1		●	●		●
	PHPV2		●	●		○
ช่วง Peak	PHPV3	อัตรา	●	○	อัตรา	●
PV สามารถผลิตไฟฟ้า	PHPV4	ค่า	●	○	ค่า	○
เวลา 09.01 น. ถึง 17.30 น.	PHPV5	ไฟฟ้า	○	●	ไฟฟ้า	●
ระยะเวลา 8 ชั่วโมง 30 นาที	PHPV6	สูง	○	●	สูง	○
	PHPV7		○	○		●
	PHPV8		○	○		○
ช่วง Peak	PLPV1	อัตรา	ไม่	●	อัตรา	
PV ไม่สามารถผลิตไฟฟ้า	PLPV2	ค่า	สามารถ		ค่า	ไม่สามารถ
เวลา 17.31 ถึง 22.00 น.		ไฟฟ้า	ผลิต	○	ไฟฟ้า	ผลิตไฟฟ้าได้
ระยะเวลา 4 ชั่วโมง 30 นาที		สูง	ไฟฟ้าได้		สูง	

หมายเหตุ: ● ใช้ไฟฟ้า ○ ไม่ใช้ไฟฟ้า

ตาราง 20 การตัดสินใจทำงานของ Load และ ES ตามช่วงเวลาของ TOU และความสามารถ  
การผลิตไฟฟ้าของ PV ในวันหยุด

TOU/PV วันหยุด		Load			ES	
		PEA	PV	ES	PEA	PV
ช่วง Off Peak PV ไม่สามารถผลิตไฟฟ้า ระยะเวลา 14 ชั่วโมง	OPLPV1	●		●	●	
	OPLPV2	●		●	○	
	OPLPV3	●	ไม่	○	●	
	OPLPV4	●	สามารถ	○	○	ไม่สามารถ
	OPLPV5	○	ผลิต	●	●	ผลิตไฟฟ้าได้
	OPLPV6	○	ไฟฟ้าได้	●	○	
	OPLPV7	○		○	●	
	OPLPV8	○		○	○	
ช่วง Off Peak PV สามารถผลิตไฟฟ้า ระยะเวลา 10 ชั่วโมง	OPHPV1	●	●	●	●	●
	OPHPV2	●	●	●	●	○
	OPHPV3	●	●	●	○	●
	OPHPV4	●	●	●	○	○
	OPHPV5	●	●	○	●	●
	OPHPV6	●	●	○	●	○
	OPHPV7	●	●	○	○	●
	OPHPV8	●	●	○	○	○
	OPHPV9	●	○	●	●	●
	OPHPV10	●	○	●	●	○
	OPHPV11	●	○	●	○	●
	OPHPV12	●	○	●	○	○
	OPHPV13	●	○	○	●	●
	OPHPV14	●	○	○	●	○
	OPHPV15	●	○	○	○	●
	OPHPV16	●	○	○	○	○
	OPHPV17	○	●	●	●	●
	OPHPV18	○	●	●	●	○
	OPHPV19	○	●	●	○	●

ตาราง 20 (ต่อ)

TOU/PV วันหยุด		Load			ES	
		PEA	PV	ES	PEA	PV
	OPHPV20	○	●	●	○	○
	OPHPV21	○	●	○	●	●
	OPHPV22	○	●	○	●	○
	OPHPV23	○	●	○	○	●
	OPHPV24	○	●	○	○	○
ช่วง Off Peak	OPHPV25	○	○	●	●	●
PV สามารถผลิตไฟฟ้า	OPHPV26	○	○	●	●	○
ระยะเวลา 10 ชั่วโมง	OPHPV27	○	○	●	○	●
	OPHPV28	○	○	●	○	○
	OPHPV29	○	○	○	●	●
	OPHPV30	○	○	○	●	○
	OPHPV31	○	○	○	○	●
	OPHPV32	○	○	○	○	○

หมายเหตุ: ● ใช้ไฟฟ้า ○ ไม่ใช้ไฟฟ้า

จากตาราง 18 และ ตาราง 19 จะเห็นได้ว่ามีเหตุการณ์ที่เป็นไปได้และเป็นไปไม่ได้  
ดังนั้นเหตุการณ์ที่เป็นไปไม่ได้ ไม่สมเหตุสมผล และมีแนวโน้มทำให้เสียค่าไฟฟ้ามาก จะถูกคัด  
ออก ซึ่งได้แก่

1. เหตุการณ์ ที่มี จุด ○ ทั้งหมด หมายความว่าไม่มีการใช้ไฟฟ้าและไม่มีการผลิต  
ไฟฟ้า
2. เหตุการณ์ ที่มี จุด ○ ตรง Load ทั้งหมด หมายความว่า ไม่มีการใช้ไฟฟ้าซึ่งเป็นไปไม่ได้  
เพราะมีเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต้องใช้ไฟฟ้า 24 ชั่วโมง ได้แก่ตู้เย็นและเครื่องกรองน้ำ

จากนั้นนำข้อมูลการใช้ไฟฟ้าและการกักเก็บไฟฟ้า จากช่วงเวลา TOU และ  
ความสามารถผลิตไฟฟ้าของ PV มาทำการวิเคราะห์ความเหมาะสม โดยใช้เกณฑ์การตัดสินใจ  
ได้แก่ ความมั่นคงด้านพลังงาน (Energy security) เลื่อนเวลาการใช้ไฟฟ้า (Load shifting) และ

การซื้อไฟฟ้าถูกขายไฟฟ้าแพง (Buy Low, Sell High) ตาราง 21 ให้ความหมายและเงื่อนไขของ แต่ละเกณฑ์การตัดสินใจ

ตาราง 21 ความหมายและเงื่อนไขของ เกณฑ์ (Criteria) การตัดสินใจเพื่อเลือกรูปแบบ ที่เหมาะสมในการจัดการ TOUPVES model

เกณฑ์ (Criteria)	ความหมาย	เงื่อนไข
Energy security ความมั่นคงด้านพลังงาน	คือการกักเก็บพลังงานให้ใช้ ไฟฟ้าได้อย่างเพียงพอทั้งใช้ใน ปัจจุบันและกักเก็บไว้ใช้ใน อนาคต หรือใช้ในชั่วงวิกฤต	กักเก็บช่วง Off-Peak or ช่วงที่ โซลาร์เซลล์สามารถผลิตไฟฟ้า (High PV) และไม่มีการใช้ไฟฟ้า จากแบตเตอรี่ No discharge
Load shifting เลื่อนเวลาการใช้ไฟฟ้า	เลื่อนการใช้ไฟฟ้าจากช่วง Peak มาสู่ Off-Peak โดยผู้ใช้ ไฟฟ้า (ข้อมูลจาก EGAT)	ใช้ไฟฟ้า ช่วง Off-Peak
การซื้อขายไฟฟ้า ผล กำไรจากการซื้อถูกขาย แพง Buy Low, Sell High	กักเก็บไฟฟ้าไว้ขายในช่วงเวลา Off peak และนำมาขายในช่วง ราคาไฟฟ้าแพง Peak	กักเก็บช่วง Off-Peak หรือ ช่วง ที่โซลาร์เซลล์สามารถผลิตไฟฟ้า HPV ขายไฟฟ้าช่วง Peak

รูปแบบ TOUPVES model ตามเกณฑ์ (Criteria) ความมั่นคงด้านพลังงาน (Energy security) เลื่อนเวลาการใช้ไฟฟ้า (Load shifting) และ การซื้อขายไฟฟ้า ผลกำไรจากการซื้อถูกขายแพง (Buy Low, Sell High) แสดงดังตาราง 22

ตาราง 22 การคัดเลือกรูปแบบ ตามเกณฑ์ (Criteria) วันทำงาน

รหัส	Load	ES	เกณฑ์ (Criteria)			หมายเหตุ
			Energy security	Load shifting	Buy Low, Sell High	
OPLPV1	PEA:ES	PEA	D	●		
OPLPV2	PEA:ES		D	●		
OPLPV3	PEA	PEA	●	●	●	
OPLPV4	PEA			●		
OPLPV5	ES	PEA	D	●		
OPLPV6	ES		D	●		
OPLPV7		PEA				

ตาราง 22 (ต่อ)

รหัส	Load	ES	เกณฑ์ (Criteria)			หมายเหตุ
			Energy security	Load shifting	Buy Low, Sell High	
OPHPV1	PEA:PV:ES	PEA:PV	D	●		
OPHPV2	PEA:PV:ES	PEA	D	●		
OPHPV3	PEA:PV:ES	PV	D	●		
OPHPV4	PEA:PV:ES		D	●		
OPHPV5	PEA:PV	PEA:PV	●	●		
OPHPV6	PEA:PV	PEA	●	●		
OPHPV7	PEA:PV	PV	●	●	●	ได้ฟรีจาก PV
OPHPV8	PEA:PV			●		
OPHPV9	PEA:ES	PEA:PV	D	●		
OPHPV10	PEA:ES	PEA	D	●		
OPHPV11	PEA:ES	PV	D	●		
OPHPV12	PEA:ES		D	●		
OPHPV13	PEA	PEA:PV	●	●		
OPHPV14	PEA	PEA	●	●		
OPHPV15	PEA	PV	●	●	●	ได้ฟรีจาก PV
OPHPV16	PEA			●		
OPHPV17	PV:ES	PEA:PV	D	●		
OPHPV18	PV:ES	PEA	D	●		
OPHPV19	PV	PV	●	●	●	ได้ฟรีจาก PV
OPHPV20	PV			●		
OPHPV21	ES	PEA:PV	D	●		
OPHPV22	ES	PEA	D	●		
OPHPV23	ES	PV	D	●		
OPHPV24	ES		D	●		
PHPV1	PV:ES	PV	D		●	
PHPV2	PV:ES		D		●	
PHPV3	PV	PV		●	●	
PHPV4	PV				●	
PHPV5	ES	PV	D		●	
PHPV6	ES		D		●	
PLPV1	ES				●	ขายไฟฟ้า

หมายเหตุ: ● เงื่อนไขที่ถูกเลือกแทนความมั่นคง กับ เลื่อนเวลาการใช้ไฟฟ้า

- ชื้อไฟฟ้าช่วง OP ชื้อถูก
- ขายไฟฟ้าช่วง P ขายแพง

ตาราง 23 การคัดเลือกรูปแบบ ตามเกณฑ์ (Criteria) วันหยุด

รหัส	Load	ES	เกณฑ์ (Criteria)			หมายเหตุ
			ความมั่นคง กักเก็บไฟฟ้า	Load shifting ใช้ไฟฟ้า OP	ชื้อถูก ขายแพง	
OPLPV1	PEA:ES	PEA	D	●		
OPLPV2	PEA:ES		D	●		
OPLPV3	PEA	PEA	●	●		
OPLPV4	PEA			●	●	
OPLPV5	ES	PEA	D	●		
OPLPV6	ES		D	●		
OPLPV7		PEA				Load ไม่ใช้ไฟฟ้า
OPHPV1	PEA:PV:ES	PEA:PV	D	●		
OPHPV2	PEA:PV:ES	PEA	D	●		
OPHPV3	PEA:PV:ES	PV	D	●		
OPHPV4	PEA:PV:ES		D	●		
OPHPV5	PEA:PV	PEA:PV	●	●		
OPHPV6	PEA:PV	PEA	●	●		
OPHPV7	PEA:PV	PV	●	●	●	ได้ฟรีจาก PV
OPHPV8	PEA:PV			●		
OPHPV9	PEA:ES	PEA:PV	D	●		
OPHPV10	PEA:ES	PEA	D	●		
OPHPV11	PEA:ES	PV	D	●		
OPHPV12	PEA:ES		D	●		
OPHPV13	PEA	PEA:PV	●	●		
OPHPV14	PEA	PEA	●	●		
OPHPV15	PEA	PV	●	●	●	ได้ฟรีจาก PV
OPHPV16	PEA			●		
OPHPV17	PV:ES	PEA:PV	D	●		
OPHPV18	PV:ES	PEA	D	●		
OPHPV19	PV	PV	●	●	●	ได้ฟรีจาก PV
OPHPV20	PV			●		
OPHPV21	ES	PEA:PV	D	●		
OPHPV22	ES	PEA	D	●		
OPHPV23	ES	PV	D	●		
OPHPV24	ES		D	●		

ผลการคัดเลือกแสดงดังตาราง 21 และ 22 แสดงดังตาราง 23 และ 24 ดังนี้

ตาราง 24 การคัดเลือกเงื่อนไข วันทำงาน ตามเกณฑ์

รหัส	Load	ES	เกณฑ์ (Criteria)			หมายเหตุ
			ความมั่นคง กักเก็บไฟฟ้า	Load shifting ใช้ไฟฟ้า OP	ซื้อถูก ขายแพง	
OPLPV4	PEA			●	●	
OPHPV15	PEA	PV	●	●	●	ได้ฟรีจาก PV
OPHPV19	PV	PV	●	●	●	ได้ฟรีจาก PV
PHPV3	PV	PV	●		●	
PLPV1	ES				●	

จากตาราง 24 ช่วงที่ 1 ที่ถูกเลือกคือ OPLPV4 ช่วงที่ 2 ที่ถูกเลือก คือ OPHPV15 และ OPHPV19 ช่วงที่ 3 ที่ถูกเลือก คือ PHPV3 และช่วงที่ 4 ที่ถูกเลือกคือ PLPV1

ตาราง 25 ผลการคัดเลือกเงื่อนไข วันหยุด ตามเกณฑ์

รหัส	Load	ES	เกณฑ์ (Criteria)			หมายเหตุ
			ความมั่นคง กักเก็บไฟฟ้า	Load shifting ใช้ไฟฟ้า OP	ซื้อถูก ขายแพง	
OPLPV4	PEA			●	●	
OPHPV15	PEA	PV	●	●	●	ได้ฟรีจาก PV
OPHPV19	PV	PV	●	●	●	ได้ฟรีจาก PV

จากตาราง 24 ช่วงที่ 1 ที่ถูกเลือกคือ OPLPV4 ช่วงที่ 2 ที่ถูกเลือก คือ OPHPV15 และ OPHPV19 ช่วงที่ 3 ที่ถูกเลือก คือ PHPV3 และช่วงที่ 4 ที่ถูกเลือกคือ PLPV1

TOUPVES model ในวันทำงาน ดังต่อไปนี้

รูปแบบ OPLPV4, OPHPV15 และ OPHPV19 ,PHPV3, PLPV1

OPLPV4 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

เงื่อนไขคือ เครื่องใช้ไฟฟ้าห้องพักอาจารย์ใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้า และไม่กักเก็บไฟฟ้า (ไม่ชาร์จแบตเตอรี่)

OPHPV15,19 ช่วงเวลา Off-Peak อัตราค่าไฟฟ้าต่ำ 2.6037 บาทต่อหน่วย ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV เฉลี่ย 2.621 kWh เริ่มตั้งแต่เวลา 07.31 ถึง 09.00 น. รวมระยะเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที เครื่องใช้ไฟฟ้าใช้พลังงานไฟฟ้า เฉลี่ย 0.544 kWh

เงื่อนไขคือ เครื่องใช้ไฟฟ้าห้องพักอาจารย์ใช้ไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์และหากโซลาร์เซลล์ไม่พอกรณีไม่มีแดดจะใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้าแทน และแบตเตอรี่ชาร์จไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ และขายไฟฟ้าได้ในอัตราค่าไฟฟ้าต่ำ 2.6037 บาทต่อหน่วย หากโซลาร์เซลล์มีความสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าค่ามากกว่า 0.5 kWh

PHPV3 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

เงื่อนไขคือ เครื่องใช้ไฟฟ้าห้องพักอาจารย์ใช้ไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ และ แบตเตอรี่ชาร์จไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ และเป็นช่วงเวลาของการขายไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ อัตราค่าไฟฟ้า 4.1839 บาทต่อหน่วย หากโซลาร์เซลล์มีความสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าค่ามากกว่า 0.5 kWh

PLPV1 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

เงื่อนไขคือ เครื่องใช้ไฟฟ้าห้องพักอาจารย์ใช้ไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ พร้อมกับขายไฟฟ้าจากแบตเตอรี่หากแบตเตอรี่มีพลังงานไฟฟ้ามากกว่า 1 kWh

TOUPVES model ในวันหยุด ดังต่อไปนี้

รูปแบบ OPLPV4, OPHPV15 และ OPHPV19

OPLPV4 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

เงื่อนไขคือ เครื่องใช้ไฟฟ้าห้องพักอาจารย์ใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้า และไม่กักเก็บไฟฟ้า (ไม่ชาร์จแบตเตอรี่)

OPHPV15,19 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

เงื่อนไขคือ เครื่องใช้ไฟฟ้าห้องพักอาจารย์ใช้ไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์และหากโซลาร์เซลล์ไม่พอกรณีไม่มีแดดจะใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้าแทน และแบตเตอรี่ชาร์จไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ และขายไฟฟ้าได้ในอัตราค่าไฟฟ้าต่ำ 2.6037 บาทต่อหน่วย หากโซลาร์เซลล์มีความสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าค่ามากกว่า 0.5 kWh

### ขั้นตอนที่ 5 นำ TOUPVES model มาวิเคราะห์ด้วยโมเดลต้นไม้การตัดสินใจ Decision tree หรือ Regression tree

การนำ TOUPVES model มาวิเคราะห์เพื่อตรวจสอบความถูกต้องโดยการใช้เทคนิคต้นไม้ตัดสินใจ Decision tree ซึ่งเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจเลือกรูปแบบที่เหมาะสมด้วยวิธีวิเคราะห์จากเหตุการณ์ สถานการณ์ หรือเป้าหมายของคำตอบที่กำหนดหรือวางแผนไว้ ต้นไม้การตัดสินใจมีลักษณะเป็นกราฟรูปร่างต้นไม้ ซึ่งแสดงที่ตั้งต้นที่มีรากและแขนงต่าง ๆ แตกออกมาจากต้นไม้ไปในทิศทางเดียว จนกระทั่งนำไปสู่ข้อสรุปสำหรับการตัดสินใจ ขั้นตอนแรกทำการนำข้อมูลมาคัดเลือกซึ่งข้อมูลที่เลือกมาทดสอบนั้นเป็นชนิดเดียวกับเงื่อนไข ของ TOUPVES model ทำการจำแนกข้อมูล (Classification) แสดงดังตาราง 26

ตาราง 26 การจำแนกข้อมูล (Classification) ของ TOUPVES model

TOU/PV	Load	ES	decision
OPLPV	none	none	no
OPLPV	PEA	none	yes
OPLPV	ES	none	no
OPHPV	none	none	no
OPHPV	PEA	none	no
OPHPV	PV	none	no
OPHPV	ES	none	no
OPHPV	none	PV	no
OPHPV	PEA	PV	yes
OPHPV	PV	PV	yes
OPHPV	ES	PV	no

ตาราง 26 (ต่อ)

TOU/PV	Load	ES	decision
PLPV	none	none	no
PLPV	PEA	none	no
PLPV	ES	none	yes
PHPV	none	none	no
PHPV	PEA	none	no
PHPV	PV	none	no
PHPV	ES	none	no
PHPV	none	PV	no
PHPV	PEA	PV	no
PHPV	PV	PV	yes
PHPV	ES	PV	no

จากตาราง 25 จะเห็นว่าข้อมูลตั้งต้นหลักคืออัตรา TOU (Peak, Off Peak) และความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ PV ซึ่งจับคู่รหัส ซึ่งสอดคล้องกับการใช้ไฟฟ้าของ Load และ การกักเก็บแบตเตอรี่ ES โดยเลือกเงื่อนไขคำตอบเพื่อทดสอบ TOUPVES model ผู้วิจัยใช้โปรแกรมเวกา (WEKA) เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ โมเดลต้นไม้การตัดสินใจ Decision tree โดยนำข้อมูลจากตาราง 25 ใส่ลงไปโปรแกรมเวกา โปรแกรมจะทำการประมวลผลและแสดงข้อมูลออกมาเป็นกราฟ แสดงดังภาพ 44

```

Load = none : no (6/0)
Load = PEA
| ES = none
| | TOU/EV = OPLEV : yes (1/0)
| | TOU/EV = OPHPV : no (1/0)
| | TOU/EV = PLPV : no (1/0)
| | TOU/EV = PHPV : no (1/0)
| ES = PV
| | TOU/EV = OPLEV : no (0/0)
| | TOU/EV = OPHPV : yes (1/0)
| | TOU/EV = PLPV : no (0/0)
| | TOU/EV = PHPV : no (1/0)
Load = ES
| ES = none
| | TOU/EV = OPLEV : no (1/0)
| | TOU/EV = OPHPV : no (1/0)
| | TOU/EV = PLPV : yes (1/0)
| | TOU/EV = PHPV : no (1/0)
| ES = PV : no (2/0)
Load = PV
| ES = none : no (2/0)
| ES = PV : yes (2/0)

Size of the tree : 23

Time taken to build model: 0 seconds

=== Evaluation on training set ===

Time taken to test model on training data: 0 seconds

=== Summary ===
Correctly Classified Instances      22      100 %
Incorrectly Classified Instances    0         0 %
Kappa statistic                    1
Mean absolute error                 0
Root mean squared error             0
Relative absolute error             0 %
Root relative squared error         0 %
Total Number of Instances          22
Ignored Class Unknown Instances    15

=== Detailed Accuracy By Class ===

      TP Rate  FP Rate  Precision  Recall  F-Measure  MCC      ROC Area  PRC Area  Class
1.000  0.000  1.000    1.000  1.000    1.000  1.000    1.000    no
1.000  0.000  1.000    1.000  1.000    1.000  1.000    1.000    yes
Weighted Avg.  1.000  0.000  1.000    1.000  1.000    1.000  1.000    1.000

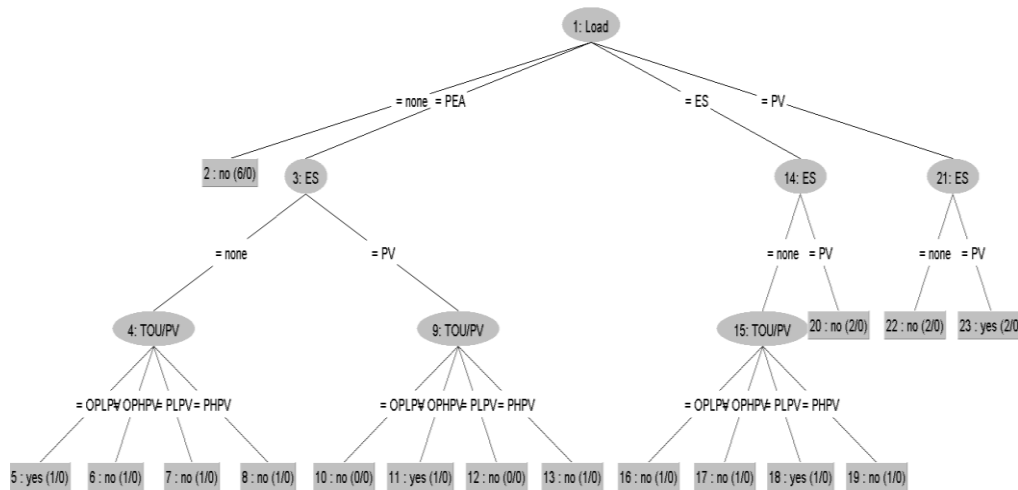
```

ภาพ 44 ผลลัพธ์จากโปรแกรม WEKA

จากภาพ 45 ประสิทธิภาพของ TOUPVES model สามารถพิจารณา ผลได้ดังนี้

1. Correctly Classified Instances จากข้อมูล 22 Instances โมเดลสามารถ ทำนาย ข้อมูลถูกต้อง 22 Instances หรือคิดเป็น 100% ของทั้งหมด
2. Incorrectly Classified Instances จากข้อมูล 22 Instances โมเดลทำนาย ข้อมูลไม่ ถูกต้อง มีผลลัพธ์เท่ากับ 0 Instances หรือคิดเป็น 0 % ของทั้งหมด

3. Root Mean Squared Error (RMSE) ค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างค่าจริง และค่าที่พยากรณ์ได้ มีค่าเท่ากับ 0



ภาพ 45 โมเดลต้นไม้การตัดสินใจ Decision tree ของ TOUPVES model

จากภาพ 46 นำมา Decision tree แปลความหมายเงื่อนไข แสดงดังตาราง 26

ตาราง 27 แสดงความหมายของเงื่อนไข จากโปรแกรม WEKA

เงื่อนไขที่ได้จากการโปรแกรม WEKA	ความหมายของเงื่อนไข
Load = none : no (6/0)	ถ้า Load = none จะเป็น no หมายความว่าไม่โหลดไม่ใช้ไฟฟ้า
Load = PEA	เป็น แท้จ
ES = none	ถ้า Load = PEA โหลดใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้า และ
TOU/PV = OPLPV : yes (1/0)	ถ้า ES = none ไม่มีการกักเก็บไฟฟ้า
TOU/PV = OPHPV : no (1/0)	TOU/PV = OPLPV เงื่อนไขเดียวที่เป็นจริง (yes) สรุปได้ว่าช่วง
TOU/PV = PLPV : no (1/0)	OPLPV Load จะใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้า แบตเตอรี่ไม่ชาร์จ
TOU/PV = PHPV : no (1/0)	ไฟฟ้า (กักเก็บไฟฟ้า)
ES = PV	ถ้า Load = PEA โหลดใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้า และ
TOU/PV = OPLPV : no (0/0)	ถ้า ES = PV มีการกักเก็บไฟฟ้าจาก PV
TOU/PV = OPHPV : yes (1/0)	TOU/PV = OPHPV เงื่อนไขเดียวที่เป็นจริง (yes) สรุปได้ว่า
TOU/PV = PLPV : no (0/0)	ช่วง OPHPV Load จะใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้า แบตเตอรี่ชาร์จ
TOU/PV = PHPV : no (1/0)	ไฟฟ้า(กักเก็บไฟฟ้า) จากโซลาร์เซลล์

## ตาราง 27 (ต่อ)

เงื่อนไขที่ได้จากการโปรแกรม WEKA	ความหมายของเงื่อนไข
Load = ES	ถ้า Load = ES โหลดใช้ไฟฟ้าจาก ES (แบตเตอรี่) และ ถ้า ES
ES = none	= none ไม่มีการกักเก็บไฟฟ้า
TOU/PV = OPLPV : no (1/0)	TOU/PV = PLPV เงื่อนไขเดียวที่เป็นจริง (yes) สรุปได้ว่า ช่วง
TOU/PV = OPHPV : no (1/0)	PLPV Load จะใช้ไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ แบตเตอรี่ไม่ชาร์จไฟฟ้า
TOU/PV = PLPV : yes (1/0)	(กักเก็บไฟฟ้า)
TOU/PV = PHPV : no (1/0)	ถ้า Load = ES โหลดใช้ไฟฟ้าจาก ES (แบตเตอรี่) และ ถ้า ES
ES = PV : no (2/0)	= PV มีการกักเก็บไฟฟ้าจาก PV เป็นเท็จ (no) สรุปได้ว่าไม่เกิด เหตุการณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าจะใช้ไฟฟ้าจากแบตเตอรี่พร้อมกับ แบตเตอรี่ทำการชาร์จไฟฟ้าไปด้วย
Load = PV	ถ้า Load = PV โหลดใช้ไฟฟ้าจาก PV และ ถ้า ES = PV มีการ
ES = none: no (2/0)	กักเก็บไฟฟ้าจาก PV เงื่อนไขนี้เป็นจริง (yes) สรุปได้ว่าไม่ว่า
ES = PV : yes (2/0)	ช่วงไหนก็ตาม เมื่อมีโหลดใช้ไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์ได้แบตเตอรี่ สามารถกักเก็บไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์ได้เช่นกัน แสดงได้ว่า ช่วงเวลานี้จะต้องเป็นช่วงที่ ความสามารถในการผลิตไฟฟ้าของ โซล่าเซลล์สูง

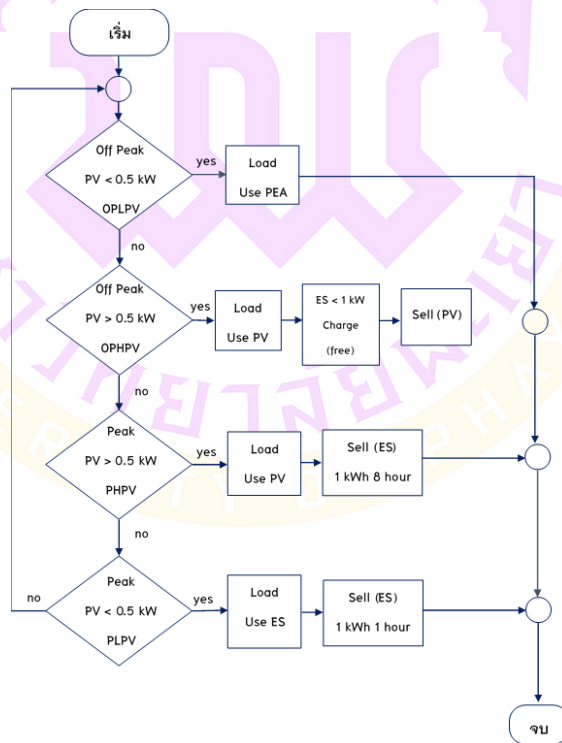
นำผลลัพธ์ของ เงื่อนไข TOUPVES model จากตอนที่ 4 มาเปรียบเทียบกับ ผลลัพธ์ที่ได้จาก Decision tree แสดงดังตาราง 26

## ตาราง 28 ตรวจสอบเงื่อนไขผลลัพธ์ TOUPVES model

TOUPVES model จากขั้นตอนที่ 4	TOUPVES model จาก Decision tree
OPLPV Load ใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้า และแบตเตอรี่ไม่ชาร์จ	OPLPV Load จะใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้า แบตเตอรี่ไม่ชาร์จไฟฟ้า (กักเก็บไฟฟ้า)
OPHPV Load ใช้ไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์และหากไฟฟ้าไม่พอจากโซล่าเซลล์จะใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้าแทน และแบตเตอรี่ชาร์จไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์	OPHPV Load จะใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้า แบตเตอรี่ชาร์จไฟฟ้า (กักเก็บไฟฟ้า) จากโซล่าเซลล์
PLPV Load ใช้ไฟฟ้าจากแบตเตอรี่	PLPV Load จะใช้ไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ แบตเตอรี่ไม่ชาร์จไฟฟ้า (กักเก็บไฟฟ้า)
PHPV Load ใช้ไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์ และเก็บไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์	ช่วงไหนก็ตาม Load ใช้ไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์ แบตเตอรี่สามารถกักเก็บไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์ได้

จากตาราง 27 เปรียบเทียบผลลัพธ์ของเงื่อนไข ซึ่งส่วนใหญ่จะตรงกันมีข้อสุดท้ายของ decision tree ไม่ได้แสดงช่วง PHPV แต่แสดงเงื่อนไขการใช้ไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่สามารถใช้ไฟฟ้าได้จากโซลาร์เซลล์และแบตเตอรี่สามารถชาร์จไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ซึ่งตรงกับเงื่อนไขในช่วง PHPV

เมื่อได้ข้อสรุปเงื่อนไขของ TOUPVES model นำมาสร้าง Algorithm ผู้วิจัยได้ทำการเปลี่ยน HPV และ LPV ให้เป็นค่าของตัวเลขตามประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์ 540W MONO BQ SOLAR 5 20% ซึ่งจากการทดลองจากขั้นตอนที่ 1 พบว่า โซลาร์เซลล์สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด เท่ากับ 2.89 kW ดังนั้นเงื่อนไขของคำว่า HPV จะหมายถึง  $PV > 20\%$  นั้นหมายความว่า  $PV > 0.5 \text{ kW}$  ส่วน LPV หมายถึง  $PV < 0.5 \text{ kW}$  และในส่วนของภารกิจเก็บพลังงาน ES ของแบตเตอรี่ ถึงแม้ผู้วิจัยจะใช้แบตเตอรี่ Huawei LUNA 2000 Battery Smart Kit 5 kW (DOD 100%) ซึ่งเป็นแบตเตอรี่ ชนิด Lithium Iron Phosphate (LFP) มีค่า DOD 100% เพื่อเป็นการป้องกันระบบและยืดอายุการทำงานของ แบตเตอรี่ ผู้วิจัยจึงกำหนดให้แบตเตอรี่ที่ถูกใช้งานไม่ต่ำกว่า 40% ของค่าสูงสุดของ แบตเตอรี่คือ 1 kW นั้นหมายความว่า  $ES < 1 \text{ kW}$ ,  $ES > 1 \text{ kW}$  ตามเงื่อนไข ซึ่งแสดง Algorithm ของ TOUPVES model ดังภาพ 47



ภาพ 46 Algorithm ของ TOUPVES model

ผลการนำ TOUPVES model ไปใช้คำนวณตาม Algorithm การจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีกภายในสวนพลังงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร แสดงดังตาราง 29

ตาราง 29 แสดงการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีกของ TOUPVES model วันทำงาน

Time	TOUPVES Model	Demand load (kWh)			Demand ES (kWh)	Status Energy (kWh)			Sell (kWh)	
		PEA (Buy)	PV <sub>L</sub>	ES <sub>L</sub>		PV <sub>ES</sub>	PV <sub>L</sub> - PV <sub>S</sub> > 0.5 kWh	ES <sub>L</sub> - ES <sub>S</sub> > 1 kWh	PV <sub>S</sub>	ES <sub>S</sub>
1:00		0.132	0.000	0.000	0.000	0.000	1.041	0.000	0.000	0.000
2:00		0.137	0.000	0.000	0.000	0.000	1.041	0.000	0.000	0.000
3:00		0.143	0.000	0.000	0.000	0.000	1.041	0.000	0.000	0.000
4:00	OPLPV	0.146	0.000	0.000	0.000	0.000	1.041	0.000	0.000	0.000
5:00		0.151	0.000	0.000	0.000	0.000	1.041	0.000	0.000	0.000
6:00		0.000	0.166	0.000	0.000	0.505	1.546	0.100	0.000	0.100
7:00		0.000	0.248	0.000	0.000	0.541	1.546	1.700	0.000	1.700
8:00	OPHPV	0.000	0.611	0.000	0.954	0.502	2.500	0.560	0.000	0.560
9:00		0.000	1.085	0.000	0.000	0.542	2.500	1.200	0.000	1.200
10:00		0.000	1.255	0.000	0.000	0.548	2.500	1.050	0.000	1.050
11:00		0.000	1.552	0.000	0.000	0.546	2.500	0.600	0.000	0.600
12:00		0.000	1.663	0.000	0.000	0.534	2.500	0.400	0.000	0.400
13:00	PHPV	0.000	1.673	0.000	0.000	0.542	2.500	0.500	0.000	0.500
14:00		0.000	1.583	0.000	0.000	0.500	2.500	0.680	0.000	0.680
15:00		0.000	1.472	0.000	0.000	0.504	2.500	0.800	0.000	0.800
16:00		0.000	1.205	0.000	0.000	0.541	2.500	0.950	0.000	0.950
17:00		0.000	0.921	0.000	0.000	0.563	2.500	0.900	0.000	0.900
18:00		0.000	0.000	0.000	0.000	0.579	1.500	0.000	0.000	1.000
19:00		0.000	0.000	0.170	0.000	0.000	1.330	0.000	0.000	0.000
20:00	PLPV	0.000	0.000	0.150	0.000	0.000	1.180	0.000	0.000	0.000
21:00		0.000	0.000	0.139	0.000	0.000	1.041	0.000	0.000	0.000
22:00		0.137	0.000	0.000	0.000	0.000	1.041	0.000	0.000	0.000
23:00	OPLPV	0.135	0.000	0.000	0.000	0.000	1.041	0.000	0.000	0.000
0:00		0.133	0.000	0.000	0.000	0.000	1.041	0.000	0.000	0.000
ซื้อไฟฟ้าจาก PEA (Buy) นำข้อมูลไปคำนวณค่าไฟฟ้า		ขายไฟฟ้า 39.95 บาทต่อวัน								
Demand		นำไปคำนวณผลตอบแทน								
Peak		0.000								
Off Peak		0.151								
Total										
Peak		0.000								
Off Peak		1.113								

จากตาราง 29 เมื่อทำการวิเคราะห์ตามช่วง ของ TOUPVES model เริ่มจาก

ช่วง OPLPV (เช้า) 01.01 น. ถึง 07.30 น. เป็นช่วงอัตราค่าไฟฟ้าต่ำ 2.6037 บาทต่อหน่วย ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของโซลาร์เซลล์ (PV) ผลิตได้ทั้งหมดเฉลี่ย 1.630 kWh ห้องพักอาจารย์ใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้า 0.142 kWh และใช้ไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ 0.207 kWh ไม่กักเก็บพลังงาน ขายไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโซลาร์เซลล์ 0.900 kWh สภาวะทางไฟฟ้าของโซลาร์เซลล์เหลือ 0.523 kWh มากกว่า 0.5 kWh สภาวะแบตเตอรี่เหลือ 1.116 kWh มากกว่า 1 kWh

ช่วง OPHPV 07.31 น. ถึง 09.00 น. เป็นช่วงอัตราค่าไฟฟ้าต่ำ 2.6037 บาทต่อหน่วย ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของโซลาร์เซลล์ (PV) ผลิตได้ทั้งหมดเฉลี่ย 2.627 kWh ห้องพักอาจารย์ใช้ไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ 0.611 kWh และชาร์จกักเก็บพลังงานไว้ในแบตเตอรี่ 0.954 kWh ขายไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโซลาร์เซลล์ 0.560 kWh สภาวะทางไฟฟ้าของโซลาร์เซลล์เหลือ 0.502 kWh มากกว่า 0.5 kWh สภาวะแบตเตอรี่เหลือ 2.431 kWh มากกว่า 1 kWh

ช่วง PHPV 09.01 น. ถึง 17.30 น. เป็นช่วงอัตราค่าไฟฟ้าสูง 4.1839 บาทต่อหน่วย ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของโซลาร์เซลล์ (PV) ผลิตได้ทั้งหมดเฉลี่ย 2.701 kWh ห้องพักอาจารย์ใช้ไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ 1.379 kWh ไม่กักเก็บพลังงาน ขายไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโซลาร์เซลล์ 0.815 kWh สภาวะทางไฟฟ้าของโซลาร์เซลล์เหลือ 0.508 kWh มากกว่า 0.5 kWh สภาวะแบตเตอรี่เหลือ 2.438 kWh มากกว่า 1 kWh

ช่วง PLPV 17.31 น. ถึง 22.00 น. เป็นช่วงอัตราค่าไฟฟ้าสูง 4.1839 บาทต่อหน่วย ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของโซลาร์ (PV) ผลิตได้ทั้งหมดเฉลี่ย 0.579 kWh ห้องพักอาจารย์ใช้ไฟฟ้าจากแบตเตอรี่เฉลี่ย 0.153 kWh ไม่กักเก็บพลังงาน ขายไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโซลาร์เซลล์เฉลี่ย 0.078 kWh ขายไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแบตเตอรี่เฉลี่ย 1.040 kWh สภาวะทางไฟฟ้าของโซลาร์เซลล์เหลือ 0.501 kWh มากกว่า 0.5 kWh สภาวะแบตเตอรี่เหลือ 1.194 kWh มากกว่า 1 kWh

ช่วง OPLPV (ค่ำ) 22.01 น. ถึง 01.00 น. เป็นช่วงอัตราค่าไฟฟ้าต่ำ 2.6037 บาทต่อหน่วย ไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าของโซลาร์เซลล์ (PV) ห้องพักอาจารย์ใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้า (ซื้อ) 0.135 kWh ไม่กักเก็บพลังงาน ไม่ขายไฟฟ้า สภาวะแบตเตอรี่เหลือ 1.001 kWh มากกว่า 1 kWh

ตาราง 30 แสดงการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีกของ  
TOUPVES model วันหยุด

Time	TOUPVES Model	Demand load (kWh)			Demand ES (kWh)	Status Energy (kWh)			Sell (kWh)	
		PEA (Buy)	PV <sub>L</sub>	ES <sub>L</sub>		PV <sub>ES</sub>	PV <sub>L</sub> – PV <sub>S</sub> > 0.5 kWh	ES <sub>L</sub> – ES <sub>S</sub> > 1 kWh	PV <sub>S</sub>	ES <sub>S</sub>
1:00		0.134	0.000	0.000	0.000	0.000	1.090	0.000	0.000	0.000
2:00		0.137	0.000	0.000	0.000	0.000	1.090	0.000	0.000	0.000
3:00		0.135	0.000	0.000	0.000	0.000	1.090	0.000	0.000	0.000
4:00	OPLPV	0.135	0.000	0.000	0.000	0.000	1.090	0.000	0.000	0.000
5:00		0.134	0.000	0.000	0.000	0.000	1.090	0.000	0.000	0.000
6:00		0.000	0.119	0.000	0.000	0.401	1.090	0.250	0.000	0.250
7:00		0.000	0.118	0.000	0.000	0.412	1.090	1.960	0.000	1.960
8:00		0.000	0.116	0.000	1.410	0.500	2.500	0.600	0.000	0.600
9:00		0.000	0.118	0.000	0.000	0.510	2.500	2.200	0.000	2.200
10:00		0.000	0.117	0.000	0.000	0.536	2.500	2.200	0.000	2.200
11:00		0.000	0.118	0.000	0.000	0.580	2.500	2.000	0.000	2.000
12:00	OPHPV	0.000	0.208	0.000	0.000	0.538	2.500	1.850	0.000	1.850
13:00		0.000	0.501	0.000	0.000	0.514	2.500	1.700	0.000	1.700
14:00		0.000	0.597	0.000	0.000	0.566	2.500	1.600	0.000	1.600
15:00		0.000	0.627	0.000	0.000	0.548	2.500	1.600	0.000	1.600
16:00		0.000	0.594	0.000	0.000	0.501	2.500	1.600	0.000	1.600
17:00		0.000	0.106	0.000	0.000	0.578	2.500	1.700	0.000	1.700
18:00		0.000	0.118	0.000	0.000	0.462	1.500	0.000	1.000	1.000
19:00		0.000	0.000	0.137	0.000	0.000	1.363	0.000	0.000	0.000
20:00		0.000	0.000	0.137	0.000	0.000	1.226	0.000	0.000	0.000
21:00	OPLPV	0.000	0.000	0.136	0.000	0.000	1.090	0.000	0.000	0.000
22:00		0.136	0.000	0.000	0.000	0.000	1.090	0.000	0.000	0.000
23:00		0.135	0.000	0.000	0.000	0.000	1.090	0.000	0.000	0.000
0:00		0.135	0.000	0.000	0.000	0.000	1.090	0.000	0.000	0.000
		ซื้อไฟฟ้าจาก PEA (Buy) นำข้อมูลไปคำนวณค่าไฟฟ้า							ขายไฟฟ้า 52.75 บาทต่อวัน	
		<b>Demand</b>							นำไปคำนวณผลตอบแทน	
		Holiday Peak		0.1371						
		<b>Total</b>								
		Holiday Peak		1.08						

จากตาราง 29 เมื่อทำการวิเคราะห์ตามช่วง ของ TOUPVES model ดังนี้

ช่วง OPLPV (เช้า) เวลา 01.01 น. ถึง 07.30 น. เป็นช่วงอัตราค่าไฟฟ้าต่ำ 2.6037 บาทต่อหน่วย ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของโซลาร์เซลล์ (PV) ผลิตได้ทั้งหมดเฉลี่ย 1.630 kWh ห้องพักอาจารย์ใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้า 0.142 kWh และใช้ไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ 0.207 kWh ไม่กักเก็บพลังงาน ขายไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโซลาร์เซลล์ 0.900 kWh สภาวะ

ทางไฟฟ้าของโซลาร์เซลล์เหลือ 0.523 kWh มากกว่า 0.5 kWh สภาวะแบตเตอรี่เหลือ 1.116 kWh มากกว่า 1 kWh

ช่วง OPHPV เวลา 07.31 kWh ถึง 17.30 kWh เป็นช่วงอัตราค่าไฟฟ้าต่ำ 2.6037 บาทต่อหน่วย ความสามารถในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของโซลาร์เซลล์ (PV) ผลิตได้ทั้งหมดเฉลี่ย 2.627 kWh ห้องพักอาจารย์ใช้ไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ 0.611 kWh และซาร์จกักเก็บพลังงานไว้ในแบตเตอรี่ 0.954 kWh ขายไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโซลาร์เซลล์ 0.560 kWh สภาวะทางไฟฟ้าของโซลาร์เซลล์เหลือ 0.502 kWh มากกว่า 0.5 kWh สภาวะแบตเตอรี่เหลือ 2.431 kWh มากกว่า 1 kWh

ช่วง OPLPV (ค่า) เวลา 17.31 kWh ถึง 01.00 kWh เป็นช่วงอัตราค่าไฟฟ้าต่ำ 2.6037 บาทต่อหน่วย ไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าของโซลาร์เซลล์ (PV) ห้องพักอาจารย์ใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้า (ซื้อ) 0.135 kWh ไม่กักเก็บพลังงาน ไม่ขายไฟฟ้า สภาวะแบตเตอรี่เหลือ 1.001 kWh มากกว่า 1 kWh

จากตาราง 28 และตาราง 29 แสดงการใช้ TOUPVES model มาจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีก การจัดการการซื้อขายอยู่กับเงื่อนไขการผลิตไฟฟ้าของโซลาร์เซลล์และช่วงเวลาค่าไฟฟ้าถูกตั้งนั้นในตารางแสดงสถานะการคงอยู่ของค่าไฟฟ้าของทั้งโซลาร์เซลล์ และ แบตเตอรี่ แสดงในช่องตาราง Status Power (kWh) ซึ่งเป็นการแสดงค่าพลังงานไฟฟ้าที่โซลาร์เซลล์ยังคงอยู่ไม่ว่าจะนำพลังงานไฟฟ้าไปใช้ในเครื่องใช้ไฟฟ้าหรือนำไปขายก็ตามค่าพลังงานไฟฟ้าในโซลาร์เซลล์ไม่ต่ำกว่า 0.5 kWh การคำนวณแสดงดังสมการ 1

$$PV_L - PV_S > 0.5 \text{ kWh} \quad (1)$$

$PV_L$  : PV (Load) หมายถึง พลังงานไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ป้อนให้เครื่องใช้ไฟฟ้า

$PV_{sell}$  : PV (Sell) หมายถึง พลังงานไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์นำไปขายปลีก

ในด้านการจัดการของแบตเตอรี่เพื่อจ่ายไฟฟ้าให้เครื่องใช้ไฟฟ้าหรือนำไปขาย ก็ต้องขึ้นอยู่กับเงื่อนไขไม่ให้ค่าไฟฟ้าในแบตเตอรี่ต่ำกว่า 1 kW การคำนวณแสดงดังสมการ 2

$$ES_L - ES_S > 1 \text{ kW} \quad (2)$$

$ES_L$  : ES (Load) หมายถึง พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ป้อนให้เครื่องใช้ไฟฟ้า

$ES_S$  : ES (Sell) หมายถึง พลังงานไฟฟ้าจากแบตเตอรี่นำไปขายปลีก

ผลลัพธ์ของการประหยัดไฟฟ้าและความสามารถในการขายไฟฟ้าของ TOUPVES model สามารถคำนวณค่าความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ในขั้นตอนที่ 6

## ขั้นตอนที่ 6 วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ ของ TOUPVES model

ตัวแปรสำคัญในการคำนวณความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ ของ TOUPVES model ได้แก่ ต้นทุนการติดตั้งและค่าบำรุงรักษาและค่าตอบแทนคำนวณสองส่วนคือจำนวนเงินที่ประหยัดค่าไฟฟ้าต่อปีและรายได้จากการขายไฟฟ้า คำนวณหาค่าต้นทุนการติดตั้ง แสดงดังตาราง 31

ตาราง 31 ราคาอุปกรณ์และค่าใช้จ่ายอื่น ๆ

รายการ	เงินลงทุนรวม
Huawei LUNA 2000 Battery Smart Kit 5 kW (DOD 100%)	150,000.00
Huawei Hybrid Inverter/On Grid SUN2000	33,490.00
ราคาติดตั้งรวมค่าอุปกรณ์	70,000.00
-Combiner Box DC (ตู้ควบคุมตามมาตรฐาน)	
-Combiner Box AC (ตู้ควบคุมตามมาตรฐาน)	
-Power Sensor (อุปกรณ์กันย้อน)	
-Solar Mounting (อุปกรณ์ รางอลูมิเนียมยึดแผ่นโซลาร์เซลล์สำหรับยึดหลังคาเมทัลชีท )	
-งานติดตั้งระบบและอุปกรณ์ (ติดตั้งแผง/ระบบกราวด์/สายไฟ AC DC )	
ค่าดำเนินการขออนุญาต	30,000.00
แผงโซลาร์เซลล์ 540W MONO BQ SOLAR (รับประกันสินค้า 25 ปี) 5 แผงๆ	32,750.00
ละ 6,550 บาท	
อุปกรณ์ DR program (การขายไฟฟ้า)	15,000.00
<b>รวมเป็นเงิน</b>	<b>331,240.00</b>
ค่าซ่อมบำรุงครั้งละ 5,000 บาท 3 ครั้งต่อ 1 ปี รับประกันปีแรก	20,000.00
- ล้างแผงโซลาร์เซลล์ ทำความสะอาด ตรวจสอบเช็คแผงโซลาร์เซลล์ ตรวจสอบแผงโซลาร์เซลล์	
- ตรวจสอบโครงสร้าง การติดตั้ง Mounting	
- ตรวจสอบ จุดเชื่อมต่อ MC4 , Cable terminal	
- ตรวจสอบวัดการทำงาน ของแต่ละวงจร แต่ละ String	
- ทำความสะอาด PM ตู้AC /DC BOX.	

## ตาราง 31 (ต่อ)

รายการ	เงินลงทุนรวม
- ดูแลรักษาโซลาร์เซลล์	
- ทำความสะอาด ล้างแผงโซลาร์เซลล์ ซ่อมบำรุงโซลาร์เซลล์ บนหลังคาตู้คอนเทนเนอร์	
- ย้ายแผงโซลาร์เซลล์ เปลี่ยนแผงโซลาร์เซลล์ ติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์เพิ่มเติม	
ตรวจสอบ ตรวจสอบ เช็ค แผงโซลาร์เซลล์	

หลังจากได้ข้อมูลการลงทุนนำไปเพื่อนำไปวิเคราะห์ความคุ้มค่าด้านเศรษฐศาสตร์อีก  
หนึ่งสำคัญคือ ผลตอบแทน ตอบแทนที่ได้รับ

การหาผลตอบแทน

การหาผลตอบแทนของ TOUPVES model แบ่งออกเป็นสองส่วนคือ การประหยัดค่า  
ไฟฟ้าและการขายไฟฟ้า

การคำนวณการประหยัดค่าไฟฟ้านำเอาการเสียค่าไฟฟ้าในช่วง TOU ปกติ มาลบ  
ด้วย การเสียค่าไฟฟ้าของ TOUPVES model การคำนวณค่าไฟฟ้าตามอัตรา TOU นำข้อมูลการ  
ใช้พลังงานไฟฟ้าของห้องพักอาจารย์ต่อ 1 วันมาคำนวณและนำไปคูณจำนวนวัน ซึ่งแยกวัน  
ทำงาน และวันหยุด ของปี 2567 – ปี 2581 เป็นเวลา 15 ปี ตารางแสดงช่วง Off Peak และ On  
Peak เทียบความต้องการการใช้ไฟฟ้าของห้องพักอาจารย์ แสดงดังตาราง 31

ตาราง 32 ตารางแสดงการคำนวณการใช้ไฟฟ้าและความต้องการการใช้ไฟฟ้า 24  
ชั่วโมงตามอัตรา TOU

เวลา	วันทำงาน		วันหยุด	
	ช่วง TOU	กำลังไฟฟ้า (kW)	ช่วง TOU	กำลังไฟฟ้า (kW)
1:00 น.	Off Peak	0.132	Off Peak	0.132
2:00 น.	Off Peak	0.137	Off Peak	0.137
3:00 น.	Off Peak	0.143	Off Peak	0.143
4:00 น.	Off Peak	0.146	Off Peak	0.146
5:00 น.	Off Peak	0.151	Off Peak	0.151
6:00 น.	Off Peak	0.166	Off Peak	0.166
7:00 น.	Off Peak	0.248	Off Peak	0.248

ตาราง 32 (ต่อ)

เวลา	วันทำงาน		วันหยุด	
	ช่วง TOU	กำลังไฟฟ้า (kW)	ช่วง TOU	กำลังไฟฟ้า (kW)
8:00 น.	Off Peak	0.611	Off Peak	0.611
9:00 น.	Peak	1.085	Off Peak	1.085
10:00 น.	Peak	1.255	Off Peak	1.255
11:00 น.	Peak	1.552	Off Peak	1.552
12:00 น.	Peak	1.663	Off Peak	1.663
13:00 น.	Peak	1.673	Off Peak	1.673
14:00 น.	Peak	1.583	Off Peak	1.583
15:00 น.	Peak	1.472	Off Peak	1.472
16:00 น.	Peak	1.205	Off Peak	1.205
17:00 น.	Peak	0.921	Off Peak	0.921
18:00 น.	Peak	0.333	Off Peak	0.333
19:00 น.	Peak	0.170	Off Peak	0.170
20:00 น.	Peak	0.150	Off Peak	0.150
21:00 น.	Peak	0.139	Off Peak	0.139
22:00 น.	Off Peak	0.137	Off Peak	0.137
23:00 น.	Off Peak	0.135	Off Peak	0.135
0:00 น.	Off Peak	0.133	Off Peak	0.133
Demand Peak (ความต้องการไฟฟ้าสูงสุด)				
Peak	วันทำงาน	1.673 kW	Holiday	0.6272 kW
Off Peak		0.611 kW	วันหยุด	
ผลรวมการใช้พลังงานไฟฟ้า				
Peak	วันทำงาน	13.200 kWh	Holiday	4.95 kWh
Off Peak		2.137 kWh	วันหยุด	

จากตาราง 32 แสดงข้อมูลการใช้ไฟฟ้าตลอด 24 ชั่วโมง นำค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (Demand Peak) ช่วง Peak คือ 1.673 kW ช่วง Off Peak คือ 0.611 kW และวันหยุด 0.6272 kW ผลรวมค่าไฟฟ้าใช้ต่อวัน ช่วง Peak คือ 13.200 kWh ช่วง Off Peak คือ 2.137

kWh และวันหยุด 4.95 kWh นำข้อมูลในตาราง 4.16 นี้ไปคำนวณเพื่อหาอัตราการใช้ไฟฟ้าต่อปี ซึ่งผู้วิจัยวิเคราะห์จำนวนวันทำงาน และวันหยุดโดยตั้งจากปฏิทิน ปี 2567 ถึง ปี 2581 ข้อมูล แสดงจำนวนวันหยุดของปี 2567 ถึง ปี 2581 แสดงดังตาราง 33

ตาราง 33 จำนวนวันหยุดของปี 2567 ถึง ปี 2581

เดือน	จำนวนวันหยุดของแต่ละปี (วัน)														
	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81
มกราคม	9	9	10	11	10	9	9	9	10	10	11	10	10	9	9
กุมภาพันธ์	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
มีนาคม	10	10	9	8	8	9	10	10	8	8	8	8	8	9	10
เมษายน	9	11	12	12	13	12	9	10	12	13	12	13	13	11	9
พฤษภาคม	9	10	10	10	8	8	7	8	9	9	9	9	8	8	9
มิถุนายน	11	10	9	9	8	9	11	10	9	9	9	8	10	9	11
กรกฎาคม	8	9	9	10	11	10	8	9	10	11	8	11	11	9	8
สิงหาคม	10	11	11	11	8	8	10	11	10	11	10	9	8	8	10
กันยายน	10	9	9	9	9	11	11	10	9	8	9	8	9	11	11
ตุลาคม	9	10	11	9	12	9	9	10	11	11	11	11	12	9	9
พฤศจิกายน	9	10	10	8	8	8	9	10	8	9	8	8	8	8	9
ธันวาคม	12	12	10	10	11	13	12	11	11	10	10	10	11	13	12

นำจำนวนวันทำงานและวันหยุดมาคำนวณหาค่าไฟฟ้ารวมค่าความต้องการการใช้ไฟฟ้าสูงสุด และผลรวมการใช้พลังงานไฟฟ้าตัวอย่างการคิดค่าไฟฟ้าตามอัตราค่าไฟฟ้า TOU ตัวอย่างบิลค่าไฟฟ้า อัตรา TOU ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่ แรงดันไฟฟ้า 22- 33 kV ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า 132.93 ค่าบริการ 312.24 บาท แสดงดังภาพ 47

**ใบแจ้งค่าไฟฟ้า**  
Smart Invoice (ไม่ใช้ใบเสร็จรับเงิน/ใบกำกับภาษี)  
การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจังหวัดแม่ฮ่องสอน โทร. 0-5571-1181  
ชื่อผู้ใช้ไฟฟ้า หนามู้อิงพิงก์ มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร  
Name  
สถานที่ใช้ไฟฟ้า 69 ม.1 นครชุม อ.เมืองกำแพงเพชร จ.กำแพงเพชร 62000  
Address

หมายเลขใช้ไฟฟ้า 020010716387  
เลขที่ใบแจ้งค่าไฟฟ้า 849008634670  
จำนวนเงิน (บาท) 1,286,616.58  
วันที่ครบกำหนดค่าไฟฟ้าเดือนปัจจุบัน 09 มกราคม 2566

รหัสการไฟฟ้า	สายจดหน่วย	รหัสเครื่องวัด	ประเภท	วันที่อ่านหน่วย	ประจำเดือน	แรงดัน	ตัวคูณ
B04101	BKPP9807	27662631	4224	20/12/2565	12/2565	22-33 KV	12000

เลขอ่านเครื่องวัด	เลขอ่านเครื่องวัดก่อน	จำนวนที่ใช้	รายละเอียดค่าไฟฟ้าฐาน	ราคาหน่วย	จำนวนเงิน	ประวัติการใช้ไฟฟ้า
Peak Reading	Previous Reading	Consumption (kWh)	Tarif	Rate/Unit	Amount (Baht)	Usage History
13.692	13.596	1150.97	Peak 1150.97 กว.	132.9300	152,998.44	วันที่อ่านหน่วย
8.216	8.156	719.36	Off Peak 719.36 กว.	0.0000	0.00	จำนวนหน่วยที่ใช้
9.520	9.472	575.49	Peak 138596.54 หน่วย	4.1839	579,874.06	Minor Reading Date
1628.230	1616.670	138596.54	Off Peak 96034.46 หน่วย	2.6037	250,044.92	Consumption Unit
436.730	433.340	40643.80	ค่าบริการรายเดือน (Service Charge)		312.24	19/11/65 216570.99
695.890	691.270	55390.66	รวมเงินค่าไฟฟ้าฐาน (Total Based Amount)		983,229.66	20/10/65 252587.00
		234631.00	กว. P1152.00, OP720.00, H576.00			19/09/65 274313.00
		287.74	หักมิเตอร์ย่อย 209.00 หน่วย			20/08/65 287902.00
						20/07/65 314683.00
						19/06/65 200574.00

จำนวนเงิน (บาท)	
เงินค่าไฟฟ้าฐาน (Based Amount)	983,229.66
ค่า Ft น.ม.65-อ.ค.65-0.9343 บาท/หน่วย	219,215.74
*ส่วนลด (Discount)	
รวมเงินค่าไฟฟ้า (Sub Total)	1,202,445.40
ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7.00 % (VAT)	84,171.18
รวมเงินค่าไฟฟ้าเดือนปัจจุบัน (Total)	1,286,616.58
<b>รวมเงินทั้งสิ้น (Grand Total)</b>	<b>1,286,616.58</b>

**ข้อความประชาสัมพันธ์**

เชิญรวมค่าใช้จ่ายทบทวนเป็นมิตร PEA e-Bill เดี่ยว  
ใบแจ้งค่าไฟฟ้า (Smart Invoice) หรือใบเสร็จรับเงิน/  
ใบกำกับภาษีอิเล็กทรอนิกส์ (e-Tax Invoice) ผ่าน SMS  
หรือผ่าน e-mail บนมือถือได้ที่ <https://service.pea.co.th/ebill>

ภาพ 47 ตัวอย่างบิลแจ้งค่าไฟฟ้ามหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร

การคำนวณค่าไฟฟ้าไม่ได้จดค่ามิเตอร์ตามแบบ PEA แต่ผู้วิจัยใช้ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของแต่ละเดือนจากการคำนวณการใช้ไฟฟ้า 24 ชั่วโมงมาคูณกับจำนวนวันทำงานและวันหยุดในแต่ละวันการคำนวณค่าไฟฟ้าผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม Excel สร้างรูปแบบคล้ายกับบิลค่าไฟฟ้าและเว้นช่องเพื่อใส่ ข้อมูลความต้องการใช้ไฟฟ้าและการใช้พลังงานไฟฟ้ามาใส่ลงในช่องตัวอย่างผลการคำนวณค่าไฟฟ้า ของเดือน มกราคม 2567 แสดงดังภาพ 49

มกราคม 2567

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ขอแจ้งค่าไฟฟ้าประจำเดือน 2567 ตามรายละเอียดดังนี้

รหัสการไฟฟ้า	สายจดหน่วย	รหัสเครื่องวัด	ประเภทอัตรา	วันที่อ่านหน่วย	แรงดัน	ตัวคูณ
B04101	BKPP9807	27662631	4224		22-33 KV	12,000.000

เลขอ่านเครื่องวัด	เลขอ่านเครื่องวัดก่อน	จำนวนที่ใช้	รายละเอียดค่าไฟฟ้าฐาน	ราคาหน่วย (บาท)	จำนวนเงิน (บาท)
พลังไฟสูงสุด (กิโลวัตต์)		36.797	Peak	36.797	4,891.43
		13.436	Off Peak	13.436	0.0000
		5.645	Peak	290.392	1,214.97
พลังงานไฟฟ้า (หน่วย)		290.392	Off Peak	91.560	238.39
		47.019	ค่าบริการรายเดือน (Service Charge)		312.24
		44.541	<b>รวมเงินค่าไฟฟ้าฐาน (Total Based Amount)</b>		<b>6,657.03</b>
รวม		381.952	กว.P1152.00,OP720.00,H576.00		
กิโลวัตต์			หักมิเตอร์ย่อย 209.00 หน่วย		
				0.620	22.803

	จำนวนเงิน (บาท)
เงินค่าไฟฟ้าฐาน (Based Amount)	6,657.033
0.9343 ค่า Ft 0.9343 บาท/หน่วย	356.86
ส่วนลด (Discount)	
รวมเงินค่าไฟฟ้า	7,013.89
ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7%	490.97
รวมเงินค่าไฟฟ้า	7,504.86
<b>รวมเงินทั้งสิ้น (Grand Total)</b>	<b>7,504.86</b>

ภาพ 48 ตัวอย่างคำนวณค่าไฟฟ้า ของเดือน มกราคม 2567

จากภาพ 49 เป็นการคำนวณค่าไฟฟ้าโดยผู้วิจัยนำค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (Demand Peak) มาคูณจำนวนวันของเดือนมกราคม ตามกรอบสีแดงตัวอย่างการคำนวณ

$$\text{ช่วง Peak (P)} \times \text{จำนวนวันทำงาน} = 1.673 \text{ kW} \times 22 \text{ วัน} = 36.797 \text{ kW}$$

$$\text{ช่วง Off Peak (OP)} \times \text{จำนวนวันทำงาน} = 0.611 \text{ kW} \times 22 \text{ วัน} = 13.436 \text{ kW}$$

$$\text{ช่วง Holiday (H)} \times \text{จำนวนวันหยุด} = 0.6272 \text{ kW} \times 9 \text{ วัน} = 5.645 \text{ kW}$$

ส่วนค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ามาคูณจำนวนวันของเดือนมกราคม ตามกรอบสีน้ำเงิน ตัวอย่างเช่น

$$\text{ช่วง Peak (P)} \times \text{จำนวนวันทำงาน} = 13.200 \text{ kWh} \times 22 \text{ วัน} = 290.392 \text{ kWh}$$

$$\text{ช่วง Off Peak (OP)} \times \text{จำนวนวันทำงาน} = 2.137 \text{ kWh} \times 22 \text{ วัน} = 47.019 \text{ kWh}$$

$$\text{ช่วง Holiday (H)} \times \text{จำนวนวันหยุด} = 4.95 \text{ kWh} \times 9 \text{ วัน} = 44.541 \text{ kWh}$$

เมื่อได้ผลลัพธ์นำค่าที่ได้ไปคำนวณ โดยนำค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (Demand Peak) 36.797 kW ไปคูณด้วย ค่าความต้องการพลังงาน 132.93 มีค่าเท่ากับ 4,891.43 บาท และนำค่าพลังงานไฟฟ้าสูงสุด (Peak) 290.392 kWh คูณด้วยอัตราค่าไฟฟ้าในช่วง Peak 4.1839 มีค่าเท่ากับ 1,214.97 บาท และนำค่าพลังงานไฟฟ้าต่ำสุด (Off Peak) 91.560 kWh คูณด้วยอัตราค่าไฟฟ้าช่วง Off Peak 2.6037 มีค่าเท่ากับ 238.39 บาท ผลรวมทั้งสามค่าเป็น ค่าไฟฟ้าฐาน มีค่าเท่ากับ 6,657.03 บาท ไปรวมกับค่า ft และค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% รวมค่าไฟฟ้าที่ต้องจ่ายในเดือน มกราคม ปี 2567 โดยประมาณ 7,504.86 และผู้วิจัยได้ทำการคำนวณทั้ง 12 เดือน รวมเป็นผลการเสียค่าไฟฟ้าในปี พ.ศ. 2567 และ คำนวณเช่นเดียวกันนี้จนครบ จนถึงปี 2581 เวลา 15 ปี แสดงดังตาราง 33

ตาราง 34 ค่าไฟฟ้าปกติตามอัตรา TOU ปี 2567 – ปี 2581

ปี พ.ศ.	ปีที่	ค่าไฟฟ้าปกติ ตามอัตรา TOU (บาท)
2566	0	86,351.41
2567	1	84,853.68
2568	2	85,153.23
2569	3	86,051.86
2570	4	86,351.41
2571	5	86,351.41
2572	6	86,650.95
2573	7	85,752.32

ตาราง 34 (ต่อ)

ปี พ.ศ.	ปีที่	ค่าไฟฟ้าปกติ ตามอัตรา TOU (บาท)
2574	8	86,051.86
2575	9	85,452.77
2576	10	86,650.95
2577	11	86,650.95
2578	12	85,752.32
2579	13	86,950.50
2580	14	86,051.86
2581	15	86,351.41

#### การคำนวณค่าประหยัดไฟฟ้า

ในส่วนของ การประหยัดค่าไฟฟ้านั้น ผู้วิจัยได้ทำการคำนวณค่าไฟฟ้าในรูปแบบเดียวกันกับการคิดค่าไฟฟ้าปกติอัตรา TOU ใช้การคำนวณค่าไฟฟ้าตาม TOUPVES model ตามเงื่อนไขของ 4 ช่วง ได้แก่ OPLPV OPHPV PHPV และ PLPV และในแต่ละช่วงทำการกักเก็บไฟฟ้า การใช้ไฟฟ้า การขายไฟฟ้า และ ซื้อไฟฟ้าตามเงื่อนไข ของ อัลกอริทึมที่ได้ออกแบบไว้ การคำนวณค่า แสดงดังตาราง 34 และ ตาราง 35

ตาราง 35 ตารางแสดงการคำนวณการใช้ไฟฟ้าและค่าความต้องการการใช้ไฟฟ้า 24 ชั่วโมง วันทำงาน ของ TOUPVES model

TOUPVES MODEL AT THE WORK DAY

Time	TOU rate ฿	PV ability kWh	Demand load (kW)				Status Power (kW)				Buy				Sell (kWh)				Net Sales (฿)				Condition				
			PV		ES		PV		ES		PV		ES		PV		ES		PV		ES						
			Demand load kWh	PEA (buy)	Demand load kWh	PEA (buy)	Demand load kWh	PEA (buy)	Demand load kWh	PEA (buy)	ES>1.0	PV>0.5	ES>1.0	PEA (kWh)	Net buy (฿)	PV	ES	Total	PV	ES	Total	PV		ES	Total		
1:00	2.6037	0	0.1321	0.132	0.000	0.000	0.000	0.000	1.001	0.344	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.132	0.000	0.000	0.132	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	OPLPV	
2:00	2.6037	0	0.1366	0.137	0.000	0.000	0.000	0.000	1.001	0.356	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.137	0.000	0.000	0.137	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	Es>40%	
3:00	2.6037	0	0.1427	0.143	0.000	0.000	0.000	0.000	1.001	0.372	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.143	0.000	0.000	0.143	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	Es>1.0	
4:00	2.6037	0	0.1461	0.146	0.000	0.000	0.000	0.000	1.001	0.380	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.146	0.000	0.000	0.146	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	Es>1.0
5:00	2.6037	0	0.1508	0.151	0.000	0.000	0.000	0.000	1.001	0.393	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.151	0.000	0.000	0.151	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	Es>1.0
6:00	2.6037	0.77	0.1656	0.000	0.166	0.000	0.000	0.505	1.506	0.000	0.100	0.000	0.000	0.000	0.100	0.000	0.260	0.000	0.000	0.260	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.260	Es>1.0
7:00	2.6037	2.49	0.2481	0.000	0.248	0.000	0.000	0.541	1.506	0.000	1.700	0.000	0.000	1.700	0.000	0.000	4.426	0.000	0.000	4.426	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.426	Es>1.0
8:00	2.6037	2.627	0.6107	0.000	0.611	0.000	0.000	0.502	2.460	0.000	0.560	0.000	0.560	0.000	0.560	0.000	1.458	0.000	0.000	1.458	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.458	OHPV
9:00	4.1839	2.827	1.0854	0.000	1.085	0.000	0.000	0.510	2.460	0.000	1.232	0.000	1.232	0.000	1.232	0.000	5.155	0.000	0.000	5.155	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.155	PHPV
10:00	4.1839	2.853	1.2554	0.000	1.255	0.000	0.000	0.508	2.460	0.000	1.090	0.000	1.090	0.000	1.090	0.000	4.560	0.000	0.000	4.560	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.560	PV>20%
11:00	4.1839	2.698	1.5521	0.000	1.552	0.000	0.000	0.516	2.460	0.000	0.630	0.000	0.630	0.000	0.630	0.000	2.636	0.000	0.000	2.636	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.636	PV>0.5
12:00	4.1839	2.597	1.6626	0.000	1.663	0.000	0.000	0.510	2.460	0.000	0.424	0.000	0.424	0.000	0.424	0.000	1.774	0.000	0.000	1.774	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.774	PV>0.5
13:00	4.1839	2.715	1.6726	0.000	1.673	0.000	0.000	0.510	2.460	0.000	0.532	0.000	0.532	0.000	0.532	0.000	2.226	0.000	0.000	2.226	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.226	PV>0.5
14:00	4.1839	2.763	1.5827	0.000	1.583	0.000	0.000	0.500	2.460	0.000	0.680	0.000	0.680	0.000	0.680	0.000	2.845	0.000	0.000	2.845	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.845	PV>0.5
15:00	4.1839	2.776	1.4716	0.000	1.472	0.000	0.000	0.504	2.460	0.000	0.800	0.000	0.800	0.000	0.800	0.000	3.347	0.000	0.000	3.347	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	3.347	PV>0.5



ตาราง 36 ตารางแสดงการคำนวณการใช้ไฟฟ้าและความต้องการการใช้ไฟฟ้า 24 ชั่วโมง วันหยุด ของ TOUPVES model

Time	TOU rate # per Unit	PV kWh ability	Demand Load (kW)						Status Power (kW)			Buy			Sell (kWh)			Net Sales (฿)			Condition		
			Demand		ES		PV		PV>0.5	ES>1.0	PEA	Net buy		PV	ES	Total	PV	ES	Total				
			Demand	PEA	PV	ES	PV	ES				PV	ES										
1:00	2.6037	0	0.1342	0.134	0.000	0.000	0.000	0.000	1.090	0.349	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.134	OPLPV	
2:00	2.6037	0	0.1371	0.137	0.000	0.000	0.000	0.000	1.090	0.357	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.137	Es>40%	
3:00	2.6037	0	0.1352	0.135	0.000	0.000	0.000	0.000	1.090	0.352	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.135	Es>1.0	
4:00	2.6037	0	0.1352	0.135	0.000	0.000	0.000	0.000	1.090	0.352	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.135		
5:00	2.6037	0	0.1342	0.134	0.000	0.000	0.000	0.000	1.090	0.350	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.134		
6:00	2.6037	0.7701	0.1191	0.000	0.119	0.000	0.000	0.501	1.090	0.000	0.150	0.000	0.150	0.000	0.391	0.000	0.000	0.391	0.000	0.391	0.000	0.000	
7:00	2.6037	2.4896	0.1175	0.000	0.118	0.000	0.000	0.512	1.090	0.000	1.860	0.000	1.860	0.000	4.843	0.000	0.000	4.843	0.000	4.843	0.000	0.000	
8:00	2.6037	2.6266	0.1164	0.000	0.116	0.000	1.410	0.500	2.500	0.000	0.600	0.000	0.600	0.000	1.562	0.000	0.000	1.562	0.000	1.562	0.000	0.000	PHPV
9:00	2.6037	2.8273	0.1177	0.000	0.118	0.000	0.000	0.510	1.000	0.000	2.200	0.000	2.200	1.500	5.728	3.906	3.906	5.728	3.906	9.634	0.000	0.000	PV>20%
10:00	2.6037	2.853	0.117	0.000	0.117	0.000	0.000	0.506	1.000	0.000	2.230	0.000	2.230	0.000	5.806	0.000	0.000	5.806	0.000	5.806	0.000	0.000	PV>0.5
11:00	2.6037	2.6979	0.1181	0.000	0.118	0.000	0.000	0.510	1.000	0.000	2.070	0.000	2.070	0.000	5.390	0.000	0.000	5.390	0.000	5.390	0.000	0.000	
12:00	2.6037	2.5966	0.2084	0.000	0.208	0.000	0.000	0.500	1.000	0.000	1.888	0.000	1.888	0.000	4.916	0.000	0.000	4.916	0.000	4.916	0.000	0.000	
13:00	2.6037	2.715	0.501	0.000	0.501	0.000	0.000	0.514	1.000	0.000	1.700	0.000	1.700	0.000	4.426	0.000	0.000	4.426	0.000	4.426	0.000	0.000	
14:00	2.6037	2.7627	0.5965	0.000	0.597	0.000	0.000	0.506	1.000	0.000	1.660	0.000	1.660	0.000	4.322	0.000	0.000	4.322	0.000	4.322	0.000	0.000	
15:00	2.6037	2.7757	0.6272	0.000	0.627	0.000	0.000	0.504	1.000	0.000	1.644	0.000	1.644	0.000	4.280	0.000	0.000	4.280	0.000	4.280	0.000	0.000	

ตาราง 36 (ต่อ)

TOUPVES MODEL AT THE WEEK END

Time	TOU rate ฿ per Unit	PV ability kWh	Demand Load (kW)				Status Power (kW)				Buy			Sell (kWh)			Net Sales (฿)			Condition			
			Demand	PEA	PV	ES	Demand ES	PV	PV>0.5	ES>1.0	PEA	Net buy	PV	ES	Total	PV	ES	Total					
16:00	2.6037	2.6956	0.5944	0.000	0.594	0.000	0.000	0.501	1.000	0.000	1.600	0.000	1.600	0.000	0.000	4.166	0.000	4.166	0.000	0.000			
17:00	2.6037	2.384	0.1061	0.000	0.106	0.000	0.000	0.501	2.500	0.000	1.777	0.000	1.777	0.000	0.000	4.627	0.000	4.627	0.000	0.000			
18:00	2.6037	0.5795	0.1175	0.000	0.071	0.000	0.000	0.508	1.500	0.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.000	0.000	2.604	2.604	0.000	OPLPV			
19:00	2.6037	0	0.1366	0.000	0.000	0.137	0.000	0.000	1.363	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
20:00	2.6037	0	0.1369	0.000	0.000	0.137	0.000	0.000	1.226	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
21:00	2.6037	0	0.1363	0.000	0.000	0.136	0.000	0.000	1.090	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
22:00	2.6037	0	0.1357	0.136	0.000	0.000	0.000	0.000	1.090	0.353	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.136	0.000			
23:00	2.6037	0	0.1354	0.135	0.000	0.000	0.000	0.000	1.090	0.352	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.135	0.000			
0:00	2.6037	0	0.1353	0.135	0.000	0.000	0.000	0.000	1.090	0.352	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.135	0.000			
			Demand load	Peak	0.137																ขายไฟฟ้าต่อวัน	56.966	บาท
				total	1.082																		

ผลการคำนวณ จากตาราง 34 และ ตาราง 35 ได้ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าและความต้องการการใช้ไฟฟ้า 24 ชั่วโมง วันทำงาน ของ TOUPVES model นำค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (Demand Peak) วันทำงาน Peak 0.000 kW และ Off Peak 0.151 kW และวันหยุด Holiday 0.1371 kW ผลรวมการใช้พลังงานไฟฟ้าวันทำงาน Peak 0.000 kW และ Off Peak 1.113 kW และวันหยุด Holiday 1.082 kW ใส่ค่าลงในโปรแกรม excel ผล ของการเสียดค่าไฟฟ้า ของ TOUPVES model แสดงดังภาพ 49

มกราคม 2567						
การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ขอแจ้งค่าไฟฟ้าประจำเดือน				2567 ตามรายละเอียดดังนี้		
รหัสการไฟฟ้า	สายจดหน่วย	รหัสเครื่องวัด	ประเภทอัตรา	วันที่อ่านหน่วย	แรงดัน	ตัวคูณ
B04101	BKPP9807	27662631	4224		22-33 KV	12,000.000
เลขอ่านครั้งหลัง	เลขอ่านครั้งก่อน	จำนวนที่ใช้	รายละเอียดค่าไฟฟ้าฐาน	ราคา/หน่วย (บาท)	จำนวนเงิน (บาท)	
พลังไฟสูงสุด (กิโลวัตต์)	P	-	Peak	-	-	-
	OP	3.319	Off Peak	3.319	0.0000	0.00
	H	1.234	Peak	-	-	-
พลังงานไฟฟ้า (หน่วย)	P	-	Off Peak	34.221	2.6037	89.10
	OP	24.482	ค่าบริการรายเดือน (Service Charge)			312.24
	H	9.739	<b>รวมเงินค่าไฟฟ้าฐาน (Total Based Amount)</b>			<b>401.34</b>
รวม		34.221	กว.พี1152.00,OP720.00,H576.00			
กิโลวาร์			หักมิเตอร์ย่อย 209.00 หน่วย			
		จำนวนเงิน (บาท)				
เงินค่าไฟฟ้าฐาน (Based Amount)		401.342				
0.9343	ค่า Ft 0.9343 บาท/หน่วย	31.97				
ส่วนลด (Discount)						
รวมเงินค่าไฟฟ้า		433.32				
ภาษีมูลค่าเพิ่ม 7%		30.33				
รวมเงินค่าไฟฟ้า		463.65				
<b>รวมเงินทั้งสิ้น (Grand Total)</b>		<b>463.65</b>				

ภาพ 49 ตัวอย่างการคำนวณค่าไฟฟ้าของ TOUPVES model ของเดือน มกราคม 2567

นำค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (Demand Peak) มาคูณจำนวนวันของเดือนมกราคม ตามกรอบสีแดงตัวอย่างการคำนวณ

$$\text{ช่วง Peak (P)} \times \text{จำนวนวันทำงาน} = 0 \text{ kW} \times 22 \text{ วัน} = 0 \text{ kW}$$

$$\text{ช่วง Off Peak (OP)} \times \text{จำนวนวันทำงาน} = 0.151 \text{ kW} \times 22 \text{ วัน} = 3.319 \text{ kW}$$

$$\text{ช่วง Holiday (H)} \times \text{จำนวนวันหยุด} = 0.1371 \text{ kW} \times 9 \text{ วัน} = 1.234 \text{ kW}$$

ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้ามาคูณจำนวนวันของเดือนมกราคม ตามกรอบสีน้ำเงิน

$$\text{ช่วง Peak (P)} \times \text{จำนวนวันทำงาน} = 0 \text{ kWh} \times 22 \text{ วัน} = 0 \text{ kWh}$$

ช่วง Off Peak (OP) x จำนวนวันทำงาน = 1.113 kWh x 22 วัน = 24.482 kWh

ช่วง Holiday (H) x จำนวนวันหยุด = 1.08 kWh x 9 วัน = 9.739 kWh

เมื่อได้ผลลัพธ์นำค่าที่ได้ไปคำนวณ โดยนำค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (Demand Peak)

0 kW ไปคูณด้วย ค่าความต้องการพลังงาน 132.93 ได้ผลลัพธ์ 0 บาท และนำค่าพลังงานไฟฟ้าสูงสุด (Peak) 0 kWh คูณด้วยอัตราค่าไฟฟ้าในช่วง Peak 4.1839 ได้ผลลัพธ์ 0 บาท และนำผลรวมค่าพลังงานไฟฟ้าต่ำสุด (Off Peak และ Holiday) 34.221 kWh คูณด้วยอัตราค่าไฟฟ้าช่วง Off Peak 2.6037 มีค่าเท่ากับ 89.10 บาท ผลรวมทั้งสามค่าเป็นค่าไฟฟ้าฐาน รวมกับค่าบริการ 312.24 บาท ไปรวมกับค่า Ft และค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% รวมค่าไฟฟ้าที่ต้องจ่ายในเดือน มกราคม ปี 2567 ที่ผ่านการ จัดการ DR program โดยประมาณ 463.65 และผู้วิจัยได้ทำการคำนวณทั้ง 12 เดือนจนครบ 15 ปี จน ถึงปี 2581 แลวดังตาราง 37

ตาราง 37 ค่าไฟฟ้าของ TOUPVES model ปี 2567 – ปี 2581

ปี พ.ศ.	ปีที่	ค่าไฟฟ้า TOUPVES model (บาท)
2566	0	
2567	1	5,537.80
2568	2	5,537.22
2569	3	5,537.33
2570	4	5,537.68
2571	5	5,537.80
2572	6	5,537.80
2573	7	5,537.91
2574	8	5,537.57
2575	9	5,537.68
2576	10	5,537.45
2577	11	5,537.91
2578	12	5,537.91
2579	13	5,537.57
2580	14	5,538.03
2581	15	5,537.68

TOUPVES model ระบบจะจัดการเหลือพลังงานไฟฟ้าเพื่อนำไปขายซึ่งสามารถขายได้ทั้งการผลิตจาก โซลาร์เซลล์และแบตเตอรี่ ค่าของพลังงานที่เหลือและคำนวณเป็นค่าไฟฟ้าโดยใช้อัตราค่าไฟฟ้าตามอัตรา TOU แสดงดังตาราง 38 การขายไฟฟ้าต่อ 1 วัน

ตาราง 34 และตาราง 35 แสดงการขายไฟฟ้าของวันทำงานและวันหยุด ด้วยอัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOU ช่วง P (PEAK) ขายไฟฟ้าหน่วยละ 4.1839 บาท ช่วง OP (OFF PEAK) ขายหน่วยละ 2.6037 บาท บาทต่อหน่วย ช่วง H (HOLIDAYS) หรือ วันหยุด ขายหน่วยละ 2.6037 บาทวันจากการคำนวณค่าไฟฟ้า ผลสรุปได้ว่า วันทำงานขายไฟฟ้าได้ 39.951 บาท ต่อวัน วันหยุด จะขายไฟฟ้าได้ 60.562 บาท ต่อวัน นำข้อมูลการขายไปคำนวณเป็นการเสียค่าไฟฟ้ารายปี นำมาคำนวณเป็นค่าไฟฟ้ารายปีและรวมผลตอบแทนดังตาราง 38

ตาราง 38 แสดงค่าผลตอบแทนของการลงทุน

ปีที่	ค่าไฟฟ้าอัตรา TOU (บาท)	ค่าไฟของ TOUPVES (บาท)	ผลการ ประหยัดไฟ (บาท)	การขาย ไฟฟ้า(บาท)	รวมผลตอบแทน (บาท)
0					
1	86,351.41	5,537.80	80,813.61	16,950.78	97,764.39
2	84,853.68	5,537.22	79,316.47	16,986.64	96,303.11
3	85,153.23	5,537.33	79,615.89	16,971.17	96,587.07
4	86,051.86	5,537.68	80,514.18	16,924.76	97,438.94
5	86,351.41	5,537.80	80,813.61	16,950.78	97,764.39
6	86,351.41	5,537.80	80,813.61	16,909.28	97,722.89
7	86,650.95	5,537.91	81,113.04	16,893.81	98,006.85
8	85,752.32	5,537.57	80,214.75	16,940.23	97,154.98
9	86,051.86	5,537.68	80,514.18	16,966.25	97,480.43
10	85,452.77	5,537.45	79,915.32	16,955.70	96,871.02
11	86,650.95	5,537.91	81,113.04	16,893.81	98,006.85
12	86,650.95	5,537.91	81,113.04	16,893.81	98,006.85
13	85,752.32	5,537.57	80,214.75	16,981.72	97,196.47
14	86,950.50	5,538.03	81,412.46	16,878.34	98,290.81
15	86,051.86	5,537.68	80,514.18	16,924.76	97,438.94

นำค่าลงทุน ค่าผลตอบแทน โดยวิเคราะห์ค่าดังต่อไปนี้

1. ระยะเวลาคืนทุนโครงการ (Payback Period: PBP)
2. อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C Ratio) โดยพิจารณาจากการดำเนินงานมีค่าเท่ากับหรือมากกว่า 1 เนื่องจากการที่ได้รับผลตอบแทนต่อทุนสูงกว่าเงินลงทุน ก่อให้เกิดผลประโยชน์หรือกำไรเกิดขึ้น จึงมีเหมาะสมในการพิจารณาตัดสินใจเพื่อลงทุน
3. มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ (NPV) โดยพิจารณาจากการดำเนินงานมีค่ามากกว่า 0 โดยส่วนที่เป็นบวกจะเป็นส่วนของค่าตอบแทนของผู้ลงทุน แสดงว่าการลงทุนดังกล่าวให้ผลคุ้มค่า
4. อัตราส่วนผลตอบแทนภายในโครงการ (IRR) โดยพิจารณาจากการดำเนินงานมีค่าสูงกว่าต้นทุนของเงินทุนหรืออัตราดอกเบี้ยเงินลงทุน

ตาราง 39 ตารางสรุปตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ

ตัวแปร	ข้อมูล	ที่มา
ผลประโยชน์จากโครงการในปีที่ t (B <sub>t</sub> )	ตาราง 37 แสดงค่าผลตอบแทนของการลงทุน	การคำนวณ
ค่าใช้จ่ายของโครงการในปีที่ t (C <sub>t</sub> )	ตาราง 30 ราคาอุปกรณ์และค่าใช้จ่ายอื่น ๆ	ประเมินราคาโดยผู้รับเหมา บริษัทและร้านค้าในจังหวัดกำแพงเพชร
อายุโครงการ (project life)	10 ปี	ตามคุณลักษณะของอุปกรณ์แบตเตอรี่อินเวอร์เตอร์ และโซลาร์เซลล์
อัตราส่วนลด(Discount Rate)	6.6 % ต่อปี	สินเชื่อธุรกิจเพื่อการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม เพื่อการติดตั้ง Solar Cell/ Solar Rooftop ผู้ประกอบการขนาดเล็ก อัตราดอกเบี้ยลูกค้ำรายใหญ่ขั้นต่ำ ประเภทเงินกู้แบบมีระยะเวลา (Minimum Loan Rate)ธ. กรุงเทพ MLR 3 เม.ย. 2566
ค่าประสิทธิภาพของแบตเตอรี่จะลดลง 10%	ลดลง 10% ทุก ๆ 5 ปี	ใช้ 2,000 Cycles ที่ปี ที่ 5 ปี

ตารางการคำนวณความคุ้มค่าด้านเศรษฐศาสตร์ แสดงดังตาราง 39

ตาราง 40 ค่าความคุ้มค่าที่คำนวณด้วยสูตรศาสตร์

ปีที่	Bt	Ct	Bt - Ct	(1+r) <sup>t</sup>	(Bt - Ct) / (1+r) <sup>t</sup>	Bt/(1+r) <sup>t</sup>	Ct/(1+r) <sup>t</sup>	B/C (ratio)	(1+irr) <sup>t</sup>	(Bt - Ct)/(1+irr) <sup>t</sup>
0		331,240.00	- 331,240.00	1.000	- 331,240.00	-	331,240.00	0	1.00	- 331,240.00
1	97,764.39	0.00	97,764.39	1.066	91,711.43	91,711.43	-	0	1.23	79,185.93
2	96,303.11	15,000.00	81,303.11	1.136	71,547.22	84,747.31	13,200.09	6.42	1.52	53,338.63
3	96,587.07	15,150.00	81,437.07	1.211	67,228.05	79,734.70	12,506.65	6.38	1.88	43,273.71
4	97,438.94	15,301.50	82,137.44	1.291	63,608.08	75,457.73	11,849.64	6.37	2.32	35,351.72
5	97,764.39	15,454.52	82,309.87	1.377	59,795.14	71,022.29	11,227.15	6.33	2.87	28,693.84
6	87,950.60	15,609.06	72,341.54	1.467	49,299.73	59,937.08	10,637.35	5.63	3.54	20,426.40
7	88,206.16	15,765.15	72,441.01	1.564	46,310.99	56,389.53	10,078.54	5.60	4.37	16,567.46
8	87,439.48	15,922.80	71,516.68	1.667	42,889.37	52,438.46	9,549.09	5.49	5.40	13,247.87
9	87,732.39	16,082.03	71,650.36	1.778	40,309.14	49,356.59	9,047.45	5.46	6.66	10,750.40
10	87,183.92	16,242.85	70,941.07	1.895	37,439.12	46,011.28	8,572.16	5.37	8.23	8,621.27
11	80,570.06	16,405.28	64,164.79	2.020	31,766.36	39,888.20	8,121.84	4.91	10.16	6,315.93
12	81,892.84	16,569.33	65,323.50	2.153	30,337.73	38,032.90	7,695.18	4.94	12.54	5,208.08
13	80,817.91	16,735.03	64,082.88	2.295	27,918.90	35,209.83	7,290.93	4.83	15.49	4,138.26
14	82,127.22	16,902.38	65,224.85	2.447	26,657.06	33,564.97	6,907.91	4.86	19.12	3,411.58
15	81,013.49	17,071.40	63,942.09	2.608	24,514.82	31,059.84	6,545.02	4.75	23.60	2,708.93
					<b>15.82%</b>	<b>844,562.14</b>	<b>464,468.99</b>	<b>1.82</b>		<b>- 0.00</b>

นำค่าในตาราง 39 วิเคราะห์ความคุ้มค่าด้านเศรษฐศาสตร์

1. ระยะเวลาคืนทุนโครงการ (Payback Period: PBP)

$$\text{เมื่อผลประโยชน์สุทธิต่อปี} = \frac{\text{ผลรวมประโยชน์สุทธิ}}{\text{จำนวนปีของโครงการ}} = \frac{844,805.61}{15} = 56,304.14$$

$$\text{ระยะคืนทุน(ปี)} = \frac{464,468.99}{56,304.14} = 8.25 \text{ ปี}$$

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน (ปี)} = 8.25 \text{ ปี}$$

2. อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C Ratio) โดยพิจารณาจากการดำเนินงานมีค่าเท่ากับหรือมากกว่า 1 เนื่องจากการที่ได้รับผลตอบแทนต่อทุนสูงกว่าเงินลงทุน ก่อให้เกิดผลประโยชน์หรือกำไรเกิดขึ้น จึงมีเหมาะสมในการพิจารณาตัดสินใจเพื่อลงทุนมีค่าเท่ากับ 1.82

3. มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ (NPV) โดยพิจารณาจากการดำเนินงานมีค่ามากกว่า 0 โดยส่วนที่เป็นบวกจะเป็นส่วนของค่าตอบแทนของผู้ลงทุน แสดงว่าการลงทุนดังกล่าวให้ผลคุ้มค่า

$$\text{NPV} = 844,562.14 - 464,468.99 = 380,093.16 \text{ บาท}$$

4. อัตราส่วนผลตอบแทนภายในโครงการ (IRR) โดยพิจารณาจากการดำเนินงานมีค่าสูงกว่าต้นทุนของเงินทุนหรืออัตราดอกเบี้ยเงินทุน เท่ากับ 15.83%

**ตาราง 41 วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ จากการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีก**

ระยะเวลาคืนทุน (ปี)	8.25 ปี	คืนทุนปีที่ 8
อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C Ratio)	1.82	มีค่ามากกว่า 1
มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ (NPV)	380,093.16 บาท	มีค่ามากกว่า 0
อัตราส่วนผลตอบแทนภายในโครงการ (IRR) โดย	15.83%	สูงกว่าอัตราดอกเบี้ยเงินลงทุน 6.6%

## บทที่ 5

### บทสรุป

การวิจัยเรื่อง การสร้างแบบจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีกภายในสวนพลังงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อสร้างแบบจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีก 2) เพื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ จากการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีก สรุปผลการวิจัย ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้และ ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป ดังนี้

#### สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัยเรื่อง การสร้างแบบจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีกภายในสวนพลังงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร สามารถสรุปผลตามวัตถุประสงค์ได้ ดังนี้

1. ผลความต้องการใช้ไฟฟ้าด้านโหลด (Demand Side : DS) ของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า ของห้องพักอาจารย์ในสวนพลังงาน 8 ชนิด กำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าทั้งหมด 2.142 kW ความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด (Demand Side) ค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 1.589 kWh กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้สูงสุด (Load Peak) 1.72 kW วันหยุดความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด (Demand Side) ค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 0.548 kWh กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้สูงสุด (Load Peak) 0.77 kW

2. ความสามารถในการผลิตกำลังไฟฟ้าของโซลาร์เซลล์ (PV) ขนาด 2.7 kW PVผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ผลิตได้ 2.89 kW รวมค่าพลังงานไฟฟ้าผลิตได้ 30.77 kWh ต่อวัน

3. ผลการใช้ไฟฟ้าอัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาการใช้อัตรา TOU

ช่วง P (PEAK) ความต้องการการใช้ไฟฟ้าสูงสุด (demand Peak) มีค่าเท่ากับ 1.673 kW การใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 13.20 kWh

ช่วง OP (OFF PEAK) ความต้องการการใช้ไฟฟ้าสูงสุด (demand Peak) มีค่าเท่ากับ 0.611 kW การใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 2.137 kWh

ช่วง H (HOLIDAYS) ความต้องการการใช้ไฟฟ้าสูงสุด (demand Peak) มีค่าเท่ากับ 0.6272 kW การใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 4.95 kWh

4. ผลของแบบจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีก (TOUPVES model) ในวันทำงาน OPLPV โซลาร์เซลล์น้อยกว่า 0.5 kWh เครื่องใช้ไฟฟ้าใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้า แบตเตอรี่ไม่กักเก็บไฟฟ้า เวลา 9 ชั่วโมง 30 นาที OPHPV โซลาร์เซลล์มากกว่า 0.5 kWh เครื่องใช้ไฟฟ้าใช้ไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ แบตเตอรี่ชาร์จไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ และขายไฟฟ้าถ้าโซลาร์เซลล์มากกว่า 0.5 kWh เครื่องใช้ไฟฟ้าใช้พลังงานไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์และ แบตเตอรี่ชาร์จไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ และเป็นช่วงเวลาของการขายไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ เวลา 8 ชั่วโมง 30 นาที PHPV โซลาร์เซลล์น้อยกว่า 0.5 kWh เครื่องใช้ไฟฟ้าใช้ไฟฟ้าจากแบตเตอรี่พร้อมกับขายไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ถ้าแบตเตอรี่มีไฟฟ้ามากกว่า 1 kWh เวลา 4 ชั่วโมง 30 นาที

TOUPVES model ในวันหยุด OPLPV โซลาร์เซลล์น้อยกว่า 0.5 kWh เครื่องใช้ไฟฟ้าใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้า แบตเตอรี่ไม่กักเก็บไฟฟ้าเวลา 14 ชั่วโมง OPHPV โซลาร์เซลล์มากกว่า 0.5 kWh เครื่องใช้ไฟฟ้าใช้ไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์และ แบตเตอรี่ชาร์จไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ และขายไฟฟ้าได้ในอัตราค่าไฟฟ้าต่ำ 2.6037 บาทต่อหน่วย เวลา 10 ชั่วโมง

5. ผลการวิเคราะห์ TOUPVES model ด้วยโมเดลต้นไม้การตัดสินใจ (Decision tree) โมเดลสามารถ ทำนายข้อมูลถูกต้อง 100% ข้อมูลถูกต้องและไม่มีความคลาดเคลื่อน

6. ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ จากการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีก (TOUPVES model) ระยะเวลาคืนทุนโครงการ (Payback Period: PBP) 8.25 ปี อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C Ratio) ค่าเท่ากับ 1.82 มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิ (NPV) ค่าเท่ากับ 380,093.16 บาท และอัตราส่วนผลตอบแทนภายในโครงการ (IRR) เท่ากับ 15.83%

จากปัญหาค่าไฟฟ้าที่สูงสาเหตุหลักมาจากค่า ft ซึ่งขึ้นอยู่กับราคาเชื้อเพลิงที่สูงขึ้นตามราคาพลังงานในตลาดโลกมีแนวโน้มสูงขึ้น อัตราแลกเปลี่ยนเงินตราที่มีความผันผวนมีผลกับการซื้อไฟฟ้าจากต่างประเทศ แม้กระทั่งสถานการณ์สงคราม จากปัจจัยที่ทำให้ค่าไฟฟ้าสูงตั้งนั้นถึงเวลาที่หน่วยงานภาครัฐ เอกชน ประชาชนและทุกภาคส่วน จะต้องปรับตัวด้วยการตอบรับแผนนโยบายของชาติ แผนแม่บทพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของประเทศไทย ซึ่งขณะนี้การดำเนินงานแผนพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดอยู่ในระยะปานกลาง พ.ศ. 2565-2574 [15] “ส่งเสริมให้เกิดการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานต่าง ๆ และการจัดการทรัพยากรในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่จำเป็น รองรับการเปลี่ยนผ่านไปสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้ายุคใหม่อย่างมีประสิทธิภาพและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม” TOUPVES model ตอบสนองตามแผนโครงข่ายสมาร์ทกริดระยะปานกลางตามเสาหลักที่ 1 การตอบสนองด้านโหลดและระบบบริหารจัดการพลังงาน (DR & EMS) และ เสาหลักที่ 4 ระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) ถึงแม้จะมี

การลงทุนสูงแต่ก็คุ้มค่าต่อการลงทุน ตัวอย่างเช่นมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร ซึ่งเป็นหน่วยงานภาครัฐที่ใช้ไฟฟ้าสูงจะต้องปรับตัวให้ทันต่อวิกฤตค่าไฟฟ้าหันมาจัดบริหารจัดการการใช้ไฟฟ้าด้านผู้ใช้ (Demand Respond) ด้วยการบริหารจัดการด้วยระบบกักเก็บพลังงาน (ESS) [17] สามารถบริหารจัดการการใช้ไฟฟ้าที่กักเก็บไว้ให้เกิดความคุ้มค่ามากที่สุดซึ่งผลพลอยได้คือช่วยการเกิดกราฟรูปเบ็ด (duck curve) ซึ่งเป็นปัญหาของการใช้โซลาร์เซลล์แบบไม่กักเก็บแบตเตอรี่ ความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงหลังจากโซลาร์เซลล์ไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้หลังจากพระอาทิตย์ตก และยังมีหน่วยงานทางการเงินเข้ามาสนับสนุนการลงทุนด้านพลังงาน ตัวอย่างการวิเคราะห์การลงทุนแบตเตอรี่ติดตั้งกับโซลาร์เซลล์ของธนาคารกรุงไทย [33] ซึ่งเป็นธนาคารที่ให้เงินกู้สำหรับการลงทุนการติดตั้ง โซลาร์เซลล์บนหลังคา (Roof top) โดยอ้างอิงข้อมูลจาก Mordor Intelligence (2564) Bloomberg NEF (2563) วิเคราะห์แบตเตอรี่ลิเทียม เป็นเทคโนโลยีของแบตเตอรี่ที่กำลังได้รับความนิยมมากที่สุดในปัจจุบัน เนื่องจากมีส่วนแบ่งตลาดที่ 27.5% ซึ่งมากที่สุดคาดว่าทั่วโลกมีแนวโน้มเติบโตถึง 20% ต่อปี ในช่วงปี 2563-2568 ตามกระแส Green Economy สำหรับในไทย คาดว่าจะมีความต้องการแบตเตอรี่ลิเทียม เพิ่มขึ้นเช่นกันเฉลี่ยที่ 12% ต่อปี ในช่วงปี 2563-25682 ยิ่งมีความต้องการมากทำให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยีอย่างต่อเนื่อง ซึ่งรวมถึงการปรับเปลี่ยนวัตถุดิบให้ต้นทุนลดลง และการคิดค้นแบตเตอรี่ลิเทียม ประเภทใหม่ที่ชื่อว่า “Solid State Battery” ซึ่งคาดว่าจะมีความจุมากขึ้น และชาร์จไฟฟ้าได้เต็มเร็วขึ้น อีกทั้ง มีความทนทานต่อการใช้งานที่เพิ่มขึ้นและยังอ้างอิง 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 จะทำให้ราคาแบตเตอรี่ลิเทียมลดลงเช่นกัน TOUPVES model จึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำหรับผู้บริโภคไฟฟ้าที่สามารถผลิตไฟฟ้ากักเก็บไฟฟ้าไว้ขายด้านหลักมิเตอร์ (Behind the meter: BTM) เป็นผู้ผลิตและจำหน่าย (Prosumer) กำหนดราคาขายโดยคำนึงถึงต้นทุนการติดตั้งและผลกำไร สิ่งสำคัญ TOUPVES model เป็นตัวช่วยในการจัดการด้านผู้ใช้ไฟฟ้า (Demand Side Management : DSM) ประหยัดพลังงาน (Energy conservation : EC) ใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ (Energy Efficiency: EE) และตอบสนองด้านโหลดเป็นการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า (Demand response : DR) [3]

### ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1. การวิจัยการสร้าง TOUPVES model ครั้งนี้เป้าหมายหลักคือลดค่าไฟฟ้าให้กับมหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชรที่ต้องแบกรับค่าไฟฟ้า หากนำแนวทางของรูปแบบนี้ไปใช้จะทำให้มหาวิทยาลัยลดค่าไฟฟ้าและสามารถขายไฟฟ้าได้อีกด้วย

2. ในอนาคตการพัฒนาแบตเตอรี่ที่มีการแข่งขันสูงการกักเก็บพลังงานเป็นสิ่งบ่งชี้ความมั่นคงด้านพลังงานดังนั้นโอกาสและแนวโน้มของราคาแบตเตอรี่ที่ลดลงจนทำให้ทุกครัวเรือนสามารถจับต้องได้ TOUPVES model จึงเป็นทางเลือกที่สามารถทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าลดค่าไฟฟ้าและบริหารจัดการการขายไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ได้

3. TOUPVES model ตอบสนองนโยบายของภาครัฐที่ให้ผู้บริโภคใช้ไฟฟ้าสามารถบริหารจัดการพลังงานได้ทั้งการสามารถผลิตไฟฟ้าได้เองและขายไฟฟ้าให้กันได้เป็นไปตามแผนแม่บทพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของประเทศไทย

### ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1. นำ TOUPVES model มาสร้างเป็นอุปกรณ์ควบคุมการซื้อขายไฟฟ้าของแบตเตอรี่ไปจนถึงการบริหารจัดการการใช้ไฟฟ้าของโหลดให้เหมาะสมและเกิดความคุ้มค่าที่สุด

2. การวิจัยครั้งเป็นการทดลองกับแบตเตอรี่ที่จำหน่ายในประเทศไทยที่มีการใช้และติดตั้งจริง อนาคตมีแบบ Power wall มาใช้การวิจัยต่อไปนำแบตเตอรี่มาวิเคราะห์ตาม TOUPVES model เพื่อหาค่าความคุ้มค่าเพื่อตัดสินใจลงทุนติดตั้ง

## บรรณานุกรม

- [1] กองอัตราและธุรกิจไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. (2566). **ชี้แจงค่า Ft สำหรับเรียกเก็บจากผู้ใช้ ไฟฟ้าในใบเรียกเก็บเงินค่าไฟฟ้า**. สืบค้นเมื่อ 17 เมษายน 2566, จาก <https://www.pea.co.th>.
- [2] กระทรวงพลังงาน. (2558). **เป้าหมายของการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดในช่วง 3 ระยะ**. แผนแม่บทการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของประเทศไทย พ.ศ. 2558–2579. กรุงเทพฯ: กระทรวงพลังงาน.
- [3] สมาร์ทกริดไทยแลนด์. (2565). **แผนการขับเคลื่อนการดำเนินงานด้านสมาร์ทกริดของประเทศไทยระยะปานกลาง พ.ศ. 2565–2574**. กรุงเทพฯ: สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน.
- [4] สยาม อรุณศรีมรกด. (2560). **มาตรฐานสำนักงานสีเขียว Green Office. สำนักส่งเสริมการมีส่วนร่วมของประชาชน**. กรุงเทพฯ: กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม.
- [5] Energy Saving. (2555). **การบริหารจัดการอาคารด้วยระบบ Building Automation System (BAS) เพื่อการประหยัดพลังงาน**. สืบค้นเมื่อ 2 เมษายน 2566, จาก <http://www.energysavingmedia.com/news/page.php?>.
- [6] ไกรพัฒน์ จินขจร. (2550). **เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell). พลังงานหมุนเวียน**. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- [7] Department of Alternative Energy Development and Efficiency Ministry of Energy. (2014). **Solar power. In the Encyclopedia of Alternative Energy**. Retrieved April 15, 2023, from <https://ienergyguru.com/2015/02/พลังงานแสงอาทิตย์/>.
- [8] Jason Svarc. (2023). **Most Efficient Solar Panels 2023. Clean energy reviews**. Retrieved April 15, 2023, from <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/most-efficient-solar-panels>.
- [9] Jason Svarc. (2023). **Best Solar Inverters 2023. Clean energy reviews**. Retrieved April 15, 2023, from <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/best-grid-connect-solar-inverters-sma-fronius-solaredge-abb>.
- [10] Jason Svarc. (2022). **Best Solar Inverters 2023**. Clean energy reviews. Retrieved

April 15, 2023, form <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/best-grid-connect-solar-inverters-sma-fronius-solaredge-abb>.

- [11] การไฟฟ้าฝ่ายผลิต. (2565). **ตัวอย่างเทคโนโลยีการติดตั้งโซลาร์เซลล์ในปัจจุบัน**. “Peer-to-Peer Energy Trading” แพลตฟอร์มซื้อขายพลังงานไฟฟ้าแห่งอนาคต. จาก <https://www.egat.co.th/home/20220916-art01/>.
- [12] วิชสิทธิ์ วิบุลผลประเสริฐ และคณะ. (2562). **เทคโนโลยีกักเก็บพลังงานและระบบไฟฟ้าแห่งอนาคต สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนาประเทศไทย**. สืบค้นเมื่อ 15 เมษายน 2566, จาก [www.tdritv.com](http://www.tdritv.com)
- [13] ยอดธง เม่นสิน, นิพนธ์ เกตุจ้อย, วิสุทธิ แซ่มสะอาด, ธวัช สุริวงษ์, พรทิพย์ เม่นสิน มาลินี แก้วปัญหา และคณะ (2565). เทคโนโลยีสมาร์ทกริดกับการเปลี่ยนผ่านพลังงานไปสู่ความเป็นกลางทางคาร์บอน. **วารสารนวัตกรรมการเรียนรู้และเทคโนโลยี**, 2(2), 10-26.
- [14] วัชระ มั่งวิฑิตกุล. (2550). **อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOU กระบวนการและเทคนิคการลดค่าใช้จ่ายพลังงานสำหรับอาคารและโรงงานอุตสาหกรรม (พิมพ์ครั้งที่ 3)**. กรุงเทพฯ: บริษัท เรียล ยู พาวเวอร์ จำกัด.
- [15] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2565). **สมาร์ทกริดคืออะไร**. คู่มือโครงการพัฒนาแผนการขับเคลื่อนการดำเนินงานด้านสมาร์ทกริดของประเทศไทย ระยะปานกลาง พ.ศ. 2565-2574. กรุงเทพฯ: สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน.
- [16] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2565). **แผนงานด้านสมาร์ทกริดของประเทศไทย**. คู่มือโครงการพัฒนาแผนการขับเคลื่อนการดำเนินงานด้านสมาร์ทกริดของประเทศไทย ระยะปานกลาง พ.ศ. 2565-2574. กรุงเทพฯ: สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน.
- [17] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2565). **การวิเคราะห์ผลการตอบแทนการลงทุน**. รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการศึกษาเพื่อจัดทำแผนปฏิบัติการส่งเสริมอุตสาหกรรมการผลิตระบบกักเก็บพลังงานประเภทแบตเตอรี่, กรุงเทพฯ: สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน.
- [18] วิวัฒน์ ชโนวิทย์. (2557). **การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนของโครงการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์**. กรุงเทพฯ: คณะพัฒนาการเศรษฐกิจ สถาบันบัณฑิตพัฒนาบริหารศาสตร์ (NIDA).

- [19] สมพล โคคศรี. (2554). **ระบบควบคุมและจัดการพลังงานสมาร์ตกริดสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าแบบแยกเดี่ยวจากพลังงานทดแทน**. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล, ปทุมธานี.
- [20] Ehsan Reihani. (2014). Energy management at the distribution grid using a battery Energy Storage System (BESS). **Electrical Power and Energy Systems**, 77, 337–344.
- [21] Yubo Wang. (2016). Energy management for a commercial building microgrid with stationary and mobile battery storage. **Energy and Buildings**, 116, 141–150.
- [22] Nobumasa Matsui (speaker). (21–25 March 2016). A Development of Evaluation and Verification System of Smart Grid with Modeling of Green Energy in University Campus. In **2016 International Smart Grid Workshop and Certificate Program** (pp 1–7). Turkey: Istanbul.
- [23] Jinghong Guo (speaker). (19–20 December 2015). A routing algorithm to long lifetime network for the intelligent power distribution network in smart grid. In **2015 IEEE Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference** (pp. 1077–1082). China: Chongqing.
- [24] Bakhe Nleya. (speaker). (28 June – 3 July 2016). A Smart Grid Based Algorithm for Improving Energy Efficiency of Large Scale Cooperating Distributed Systems. In **2016 IEEE PES PowerAfrica** (pp.11–15). Zambia: Livingstone.
- [25] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2554). **เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์**. สืบค้นเมื่อ 21 พฤษภาคม 2559, จาก <http://www3.egat.co.th/re/solarcell/solarcell.htm>.
- [26] วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. (2559). **แบตเตอรี่**. สืบค้นเมื่อ 21 พฤษภาคม 2559, จาก <https://th.wikipedia.org/wiki/แบตเตอรี่>.
- [27] วัฒนพงษ์ รัชชวีเชียร. (2559). **Battery Charging Algorithm. Lecture of Digital Application and Information Technology**. พะเยา: มหาวิทยาลัยพะเยา.
- [28] T.R.Crompton. (2000). **Battery Reference Book**. Retrieved May 21, 2016, form <https://books.google.ca/books?id=QmVR7qiB5AUC&lpg=PA11&ots=ckHhIPVdcC&dq=battery%20one%20or%20more%20cells&pg=PA11#v=onepage&q&f=false>.
- [29] Merriam–Webster. (2011). **Battery – Definition of battery**. Retrieved May 21, 2016,

form <http://www.merriam-webster.com/dictionary/battery>.

- [30] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2554). **โครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart Grid)**. สืบค้น 21 พฤษภาคม 2559, จาก <http://www.ee.eng.chula.ac.th/smartgrids/index.php/smart-grids/80--smart-grids/smart-grid-doc/72>.
- [31] Energy Saving. (2555). **การบริหารจัดการอาคารด้วยระบบ Building Automation System (BAS) เพื่อการประหยัดพลังงาน**. สืบค้นเมื่อ 2 เมษายน 2566, จาก <http://www.energysavingmedia.com/news/page.php?a=10&n=114&cno=3162>.
- [32] รัตนา สังข์เจริญ. (2559). **การศึกษาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับครัวเรือนที่อยู่ห่างจากเขตจำหน่ายไฟฟ้าจากการใช้จริง**. สารนิพนธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยศรีปทุม, กรุงเทพฯ.
- [33] ธนาคารกรุงไทย. (2561). **วิเคราะห์ธุรกิจแบตเตอรี่ Lithium-ion**. สืบค้นเมื่อ 2 พฤษภาคม 2566, จาก <https://thaipublica.org/2021/05/krungthai-compass28/>.





ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก ชี้แจง Ft จากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค



การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค  
PROVINCIAL ELECTRICITY AUTHORITY

ชี้แจงค่า Ft สำหรับเรียกเก็บจากผู้ใช้ไฟฟ้า

ในใบเรียกเก็บเงินค่าไฟฟ้าประจำเดือนมกราคม - เมษายน ๒๕๖๖

คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (กกพ.) ในการประชุมเมื่อวันที่ ๒๖ ธันวาคม ๒๕๖๕ และวันที่ ๒๘ ธันวาคม ๒๕๖๕ มีมติเห็นชอบค่าไฟฟ้าตามสูตรการปรับอัตราค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ (Ft) สำหรับเรียกเก็บจากผู้ใช้ไฟฟ้าในใบเรียกเก็บเงินค่าไฟฟ้าประจำเดือนมกราคม - เมษายน ๒๕๖๖ สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัย เท่ากับ ๙๓.๔๓ สตางค์ต่อหน่วย (ไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม) และผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทอื่นๆ (ที่ไม่ใช่ประเภทบ้านอยู่อาศัย) เท่ากับ ๑๕๔.๙๒ สตางค์ต่อหน่วย (ไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม) โดยมีรายละเอียดการพิจารณาของ กกพ. ดังนี้

๑. ผลการคำนวณประมาณการค่า Ft ขยายปลีก ประจำเดือนมกราคม - เมษายน ๒๕๖๖ เท่ากับ ๑๔๕.๗๔ สตางค์ต่อหน่วย สำหรับสาเหตุที่ค่า Ft ปรับเพิ่มขึ้น เนื่องจากราคาเชื้อเพลิงที่สูงขึ้นตามราคาพลังงานในตลาดโลก โดยเฉพาะก๊าซธรรมชาติเหลว (LNG) ซึ่งมีราคาสูง และมีสัดส่วนการนำเข้าเพิ่มสูงขึ้น รวมถึงสถานการณ์อัตราแลกเปลี่ยนที่อ่อนค่า จึงส่งผลให้ค่า Ft เพิ่มขึ้นมาก

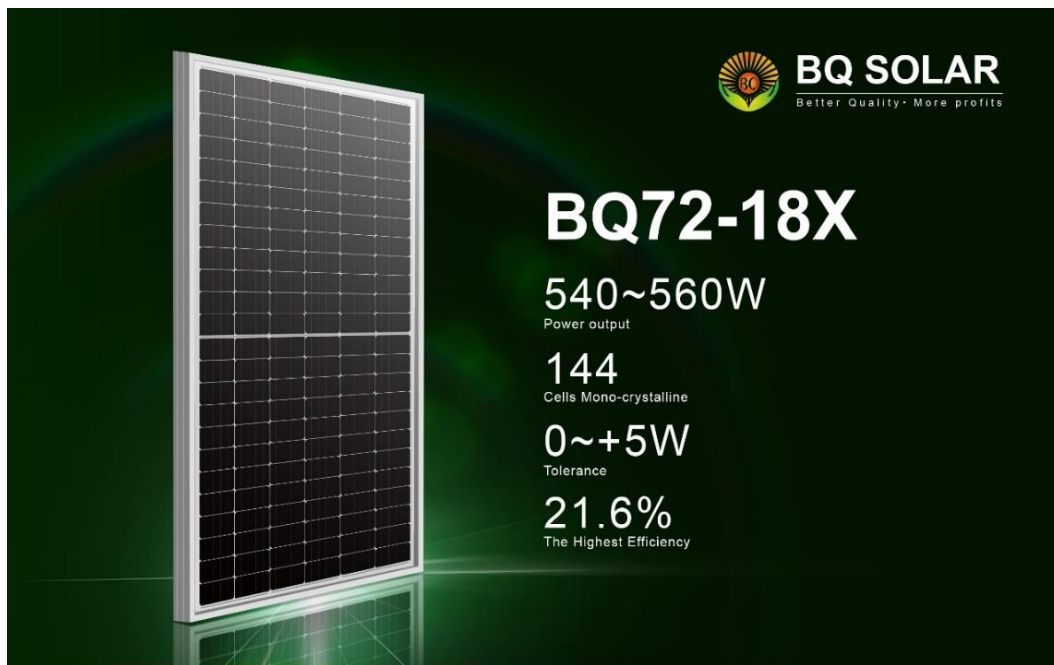
๒. กกพ. ได้พิจารณาค่า Ft เพิ่มเติมตามมติคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติเมื่อวันที่ ๒๕ พฤศจิกายน ๒๕๖๕ ที่กำหนดนโยบายให้ลดภาระค่าไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัย โดยจัดสรรก๊าซธรรมชาติจากอ่าวไทยหลังโรงแยกก๊าซธรรมชาติ เพื่อใช้สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัยเป็นลำดับแรก ในปริมาณที่ไม่เพิ่มภาระอัตราค่าไฟฟ้าจากปัจจุบัน ดังนั้น ค่า Ft ขยายปลีก สำหรับเรียกเก็บจากผู้ใช้ไฟฟ้าในใบเรียกเก็บเงินค่าไฟฟ้าประจำเดือนมกราคม - เมษายน ๒๕๖๖ มีดังนี้

๑) ค่า Ft ขยายปลีก สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัย เท่ากับ ๙๓.๔๓ สตางค์ต่อหน่วย (ไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม) โดยจัดสรรก๊าซธรรมชาติจากอ่าวไทยหลังโรงแยกก๊าซธรรมชาติ เพื่อใช้สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัยเป็นลำดับแรก ในปริมาณที่ไม่เพิ่มภาระอัตราค่าไฟฟ้าจากปัจจุบัน

๒) ค่า Ft ขยายปลีก สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทอื่นๆ (ที่ไม่ใช่ประเภทบ้านอยู่อาศัย) เท่ากับ ๑๕๔.๙๒ สตางค์ต่อหน่วย (ไม่รวมภาษีมูลค่าเพิ่ม)

UNIVERSITY OF P






ภาคผนวก ข คุณสมบัติของโซลาร์เซลล์ BQ72-18X 540W





BQ18X HALF-CELL series is produced with high efficiency multi-busbar cells, which can reduce the module internal power loss to improve its conversion efficiency, as well as lower the failure risk caused by cracks and broken busbar to enhance the module reliability Combined with half-cell technology, the module is highly resistant to hot-spot crisis caused by shadow effect.



KEY FEATURES

-  High module conversion efficiency (up to 21.6%), through superior manufacturing technology
-  Guaranteed 0~+5W positive power output tolerance ensures high reliability
-  Anti-reflective, hydrophobic coating improves light absorption and reduces surface dust
-  Excellent performance under low light environments (mornings, evenings and cloudy days)
-  Suitable for harsh environments, such as coasts, deserts and lakes Withstand high level of wind loads(2400pa) and snow loads(5400pa)

LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

-  12 YEAR Product Warranty
-  30 year Linear Power Warranty



[www.bqsolartech.com](http://www.bqsolartech.com)

# BQ72-18X 540~560W

[www.bqsolartech.com](http://www.bqsolartech.com)


## ELECTRICAL DATA(STC)

Rated Power in Watts-P <sub>max</sub> (Wp)	540	545	550	555	560
Open Circuit Voltage-V <sub>oc</sub> (V)	49.40	49.50	49.60	49.70	49.80
Short Circuit Current-I <sub>sc</sub> (A)	14.36	14.46	14.56	14.66	14.76
Maximum Power Voltage-V <sub>mp</sub> (V)	41.00	41.10	41.20	41.30	41.40
Maximum Power Current-I <sub>mp</sub> (A)	13.18	13.27	13.36	13.46	13.53
Module Efficiency (%)	22.70	22.90	23.10	23.30	23.50

STC: Irradiance 1000 W/m<sup>2</sup>, Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5 according to EN 60904-3

## ELECTRICAL DATA(NOCT)

Maximum Power-P <sub>max</sub> (Wp)	405	408	412	416	420
Open Circuit Voltage-V <sub>oc</sub> (V)	46.43	46.53	46.62	46.70	46.80
Short Circuit Current-I <sub>sc</sub> (A)	11.48	11.56	11.64	11.72	11.80
Maximum Power Voltage-V <sub>mp</sub> (V)	38.40	38.49	41.20	41.30	41.40
Maximum Power Current-I <sub>mp</sub> (A)	10.54	10.60	10.68	10.76	10.82

NOCT: Irradiance at 800W/m<sup>2</sup>, Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1 m/s

## MECHANICAL DATA

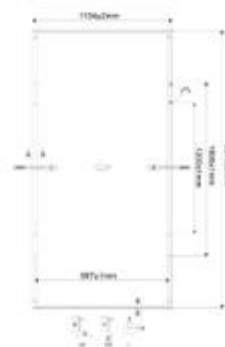
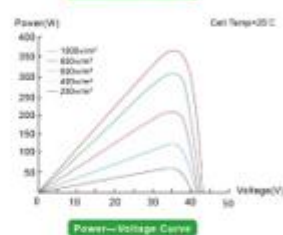
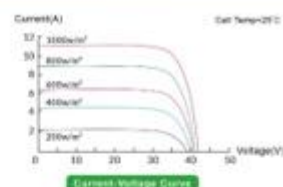
Solar Cells	Mono-crystalline 182*95mm, 9BB
Cell Configuration	144Cells (6x24)
Module Dimensions	2279x1134x35mm
Weight	28.5KG
Front Cover	3.2mm Tempered Glass
Frame Material	Anodized Aluminum Alloy
J-BOX	IP68
Cable	4mm <sup>2</sup> (IEC)/12AWG(VL), 300mm or customized
Connectors	MC4 or MC4 Compatible

## TEMPERATURE & MAXIMUM RATINGS

Nominal Operating Cell Temperature(NOCT)	45°C± 2°C
Temperature Coefficient of V <sub>oc</sub>	-0.32%/°C
Temperature Coefficient of I <sub>sc</sub>	0.05%/°C
Temperature Coefficient of P <sub>max</sub>	-0.39%/°C
Operational Temperature	-40~+85°C
Maximum System Voltage	1500V(IEC)
Max Series Fuse Rating	25A

## PACKAGING CONFIGURATION

Packing Type	45HQ
Piece/Pallet	620pcs
Pallet/Container	31pcs/pallet
Piece/Container	22pallets



☎ 0512-66310981

✉ info@bqsolartech.com

📍 Building 3, 689 Talahan Road, Suzhou Hi Tech Zone, China

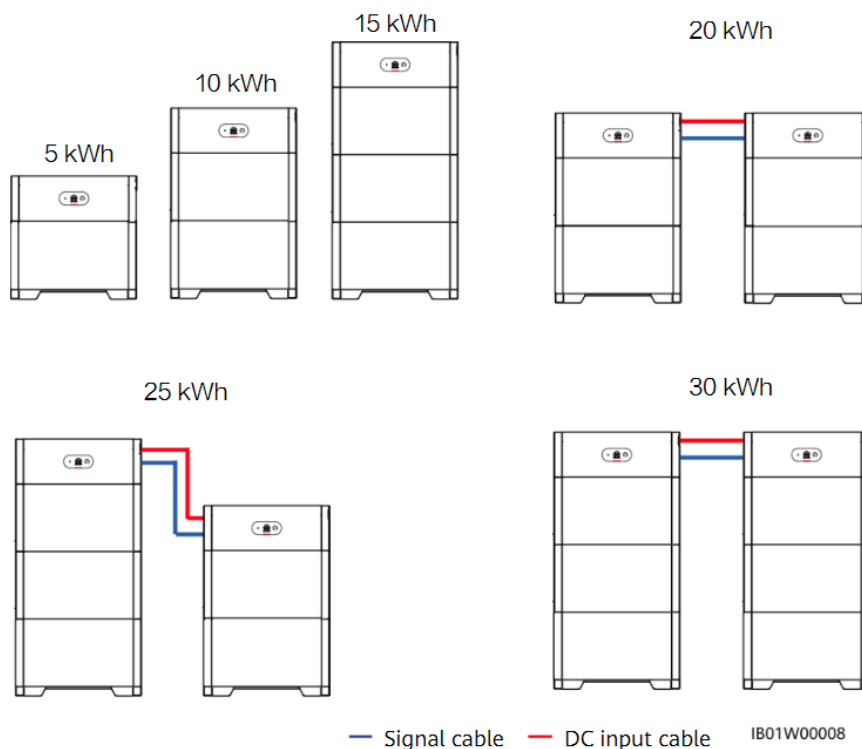


**BQ SOLAR**

Better Quality • More profits


## ภาคผนวก ค คุณสมบัติของแบตเตอรี่ Huawei LUNA 200-5

Technical Specification	LUNA2000-5-S0	LUNA2000-10-S0	LUNA2000-15-S0
Power module	LUNA2000-5KW-C0		
Number of power modules	1		
Battery module	LUNA2000-5-E0		
Battery module energy	5 kWh		
Number of battery Modules	1	2	3
Battery usable energy <sup>1</sup>	5 kWh	10 kWh	15 kWh
Max. output power	2.5 kW	5 kW	5 kW
Peak output power	3.5 kW, 10 s	7 kW, 10 s	7 kW, 10 s
Dimension (W*D*H)	670 * 150 * 600 mm (26.4 * 5.9 * 23.6 inch)	670 * 150 * 960 mm (26.4 * 5.9 * 37.8 inch)	670 * 150 * 1320 mm (26.4 * 5.9 * 60.0 inch)
Weight (Floor stand toolkit included)	63.8 kg (140.7 lb)	113.8 kg (250.9 lb)	163.8 kg (361.1 lb)
Installation	Floor stand (standard), Wall mount (optional)		
Operating temperature	-20°C ~ +55°C (-4°F ~ 131°F) <sup>2</sup>		
Environment	Indoor / Outdoor		
Cooling	Natural convection		
Protection rating	IP 66		
Noise emission	<29 dB		
Cell technology	Lithium-iron phosphate (LiFePO4)		
Scalability	Max. 2 systems in parallel operation		
Compatible inverters	SUN2000-2/3/3.68/4/4.6/5/6KTL-L1, SUN2000-3/4/5/6/8/10KTL-M0 <sup>4</sup> , SUN2000-3/4/5/6/8/10KTL-M1		




SUN2000-3/4/5/6/8/10KTL-M1  
**Technical Specification**

Technical Specification	SUN2000-3KTL-M1	SUN2000-4KTL-M1	SUN2000-5KTL-M1	SUN2000-6KTL-M1	SUN2000-8KTL-M1	SUN2000-10KTL-M1
<b>Efficiency</b>						
Max. efficiency	98.2%	98.3%	98.4%	98.6%	98.6%	98.6%
European weighted efficiency	96.7%	97.1%	97.5%	97.7%	98.0%	98.1%
<b>Input (PV)</b>						
Recommended max. PV power <sup>1</sup>	4,500 Wp	6,000 Wp	7,500 Wp	9,000 Wp	12,000 Wp	15,000 Wp
Max. input voltage <sup>2</sup>			1,100 V			
Operating voltage range <sup>3</sup>			140 V ~ 980 V			
Start-up voltage			200 V			
Rated input voltage			600 V			
Max. input current per MPPT			11 A			
Max. short-circuit current			15 A			
Number of MPP trackers			2			
Max. input number per MPP tracker			1			
<b>Input (DC/Battery)</b>						
Compatible Battery			HUAWEI Smart String ESS 5kWh ~ 30kWh			
Operating voltage range			600 V ~ 980 V			
Max operating current			16.7 A			
Max charge Power			10,000 W			
Max discharge Power	3,300 W	4,400 W	5,500 W	6,600 W	8,800 W	10,000 W
<b>Output (On Grid)</b>						
Grid connection			Three-phase			
Rated output power	3,000 W	4,000 W	5,000 W	6,000 W	8,000 W	10,000 W
Max. apparent power	3,300 VA	4,400 VA	5,500 VA	6,600 VA	8,800 VA	11,000 VA <sup>4</sup>
Rated output voltage			220 Vac / 380 Vac, 230 Vac / 400 Vac, 3W / N+PE			
Rated AC grid frequency			50 Hz / 60 Hz			
Max. output current	5.1 A	6.8 A	8.5 A	10.1 A	13.5 A	16.9 A
Adjustable power factor			0.8 leading ... 0.8 lagging			
Max. total harmonic distortion			≤ 3 %			
<b>Output (Off Grid)</b>						
Backup Box			Backup Box - B1			
Maximum apparent power	3,000 VA	3,300 VA	3,300 VA	3,300 VA	3,300 VA	3,300 VA
Rated output voltage			220 V / 230 V			
Maximum output current	13.6 A	15 A	15 A	15 A	15 A	15 A
Power factor range			0.8 leading ... 0.8 lagging			




**Active Safety**

AI Powered  
Active Arcing Protection




**Higher Yields**

Up to 30% More Energy  
with Optimizer<sup>1</sup>



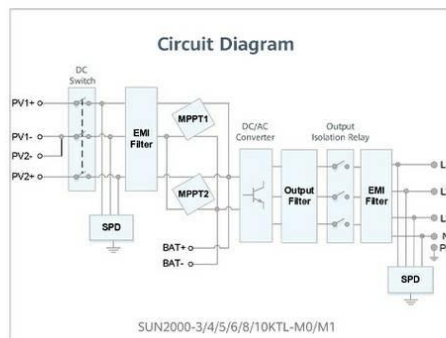
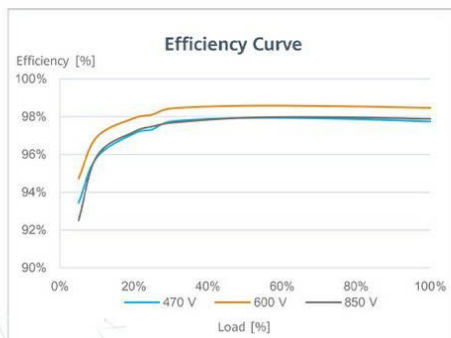
**Battery Ready**

Plug & Play battery interface<sup>2</sup>



**Flexible Communication**

WLAN, Fast Ethernet, 4G  
Communication Supported



<sup>1</sup> Only applicable to SUN2000-3/4/5/6/8/10KTL-M1 smart energy center.  
<sup>2</sup> SUN2000-3/4/5/6/8/10KTL-M0 will be compatible with HUAWEI smart string ESS in Q1, 2021

Technical Specification	SUN2000-3KTL-M1	SUN2000-4KTL-M1	SUN2000-5KTL-M1	SUN2000-6KTL-M1	SUN2000-8KTL-M1	SUN2000-10KTL-M1
<b>Features &amp; Protections</b>						
Input-side disconnection device						Yes
Anti-islanding protection						Yes
DC reverse polarity protection						Yes
Insulation monitoring						Yes
DC surge protection						Yes, compatible with TYPE II protection class according to EN/IEC 61643-11
AC surge protection						Yes, compatible with TYPE II protection class according to EN/IEC 61643-11
Residual current monitoring						Yes
AC overcurrent protection						Yes
AC short-circuit protection						Yes
AC overvoltage protection						Yes
Arc fault protection						Yes
Ripple receiver control						Yes
Integrated PID recovery <sup>5</sup>						Yes
Battery reverse charging from grid						Yes
<b>General Data</b>						
Operating temperature range	-25 ~ + 60 °C (-13 °F ~ 140 °F)					
Relative operating humidity	0 %RH ~ 100 %RH					
Max. operating altitude	4,000 m (13,123 ft.) (Derating above 2000 m)					
Cooling	Natural convection					
Display	LED Indicators; Integrated WLAN + FusionSolar App					
Communication	RS485; WLAN/Ethernet via Smart Dongle-WLAN-FE; 4G / 3G / 2G via Smart Dongle-4G (Optional)					
Weight (incl. mounting bracket)	17 kg (37.5 lb)					
Dimension (incl. mounting bracket)	525 x 470 x 146.5 mm (20.7 x 18.5 x 5.8 inch)					
Degree of protection	IP65					
Nighttime Power Consumption	< 5.5 W <sup>6</sup>					
<b>Optimizer Compatibility</b>						
DC MBUS compatible optimizer	SUN2000-450W-P					
<b>Standard Compliance (more available upon request)</b>						
Certificate	EN/IEC 62109-1, EN/IEC 62109-2, IEC 62116					
Grid connection standards	G98, G99, EN 50438, CEI 0-21, VDE-AR-N-4105, AS 4777, C10/11, ABNT, UTE C15-712, RD 1699, TOR D4, NRS 097-2-1, IEC61727, IEC62116, DEWA					

<sup>1</sup> Inverter max input PV power is 20,000 Wp when long strings are designed and fully connected with SUN2000-450W-P power optimizers.  
<sup>2</sup> The maximum input voltage is the upper limit of the DC voltage. Any higher input DC voltage would probably damage inverter.  
<sup>3</sup> Any DC input voltage beyond the operating voltage range may result in inverter improper operating. <sup>4</sup> C10 / 11: 10,000VA  
<sup>5</sup> SUN2000-3-10KTL-M1 raises potential between PV- and ground to above zero through integrated PID recovery function to recover module degradation from PID. Supported module types include: P-type (mono, poly).  
<sup>6</sup> < 10 W when PID recovery function is activated.  
 Version No.:04-(20201006) SOLAR.HUAWEI.COM/EU/





อธิธานศัพท์

### อภิธานศัพท์

TOUPVES model	แบบจำลองการจัดการแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการจำหน่ายไฟฟ้าปลีกภายในสวนพลังงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร
Time of Use Rate : TOU	อัตราค่าไฟฟ้าที่ขึ้นอยู่กับช่วงเวลาการใช้งาน ช่วงเวลาค่าไฟฟ้าสูง (On Peak) และ ช่วงเวลาค่าไฟฟ้าต่ำ (Off Peak)
Energy security	ความมั่นคงด้านพลังงานคือการกักเก็บพลังงานให้ใช้ไฟฟ้าได้อย่างเพียงพอทั้งใช้ในปัจจุบันและกักเก็บไว้ใช้ในอนาคต หรือใช้ในช้วงวิกฤต
Load shifting	เลื่อนเวลาการใช้ไฟฟ้า เลื่อนการใช้ไฟฟ้าจากช่วง Peak มาสู่ Off-Peak โดยผู้ใช้ไฟฟ้า (ข้อมูลจาก EGAT) ใช้ไฟฟ้าช่วง Off-Peak กักเก็บช่วง Off-Peak or ช่วงที่โซลาร์เซลล์สามารถผลิตไฟฟ้า (High PV) และไม่มีการใช้ไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ No discharge
Prosumer electricity price	ราคาการใช้ไฟฟ้าสำหรับผู้ผลิตและผู้ใช้พลังงานซึ่งราคาที่แตกต่างกันจากราคาไฟฟ้าปกติที่ผู้บริโภคทั่วไปใช้ได้ ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขและการตกลงในการขายและการใช้พลังงานระหว่างผู้ผลิตและผู้บริโภคตกลงกันหลังมิเตอร์ (Behind the meter : BTM)

## ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นิวัติ คลังสีดา
วัน เดือน ปี เกิด	26 มกราคม 2520
สถานที่เกิด	กำแพงเพชร
วุฒิการศึกษา	2549 วท.ม., (เทคโนโลยีสารสนเทศ), มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก. 2543 วศ.บ., (วิศวกรรมไฟฟ้า), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, กรุงเทพ.
ที่อยู่ปัจจุบัน	69 หมู่ 1 ตำบลนครชุม อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร 62000
ผลงานตีพิมพ์	[1] นิวัติ คลังสีดา, วัชระ วงศ์ปัญญา และบุญวัฒน์ วิจารณ์พล. (2565). พฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าเพื่อจำลองการบริหารจัดการแบตเตอรี่ จากระบบการคิดค่าไฟฟ้าแบบอัตรา TOU เพื่อลดค่าไฟฟ้าในสวน พลังงาน มหาวิทยาลัยราชภัฏกำแพงเพชร. วารสารวิชาการพลังงาน ทดแทนสู่ชุมชน, 5(3), 94-112. [2] นิวัติ คลังสีดา, วัชระ วงศ์ปัญญา และบุญวัฒน์ วิจารณ์พล. (2566). รูปแบบการจัดการด้านไฟฟ้าการตอบสนองด้านโหลด (DR Program) ด้วย ระบบกักเก็บพลังงานกับการใช้ไฟฟ้าอัตราค่าไฟฟ้าตาม ช่วงเวลาการใช้ ในสวนพลังงาน. วารสารวิชาการเทคโนโลยี อุตสาหกรรมและวิศวกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม, 5(2), (อยู่ระหว่างการตีพิมพ์)