

## การวิเคราะห์ช่วงเวลาการขายประจุของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ เพื่อลดความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด

### THE DISCHARGE TIME ANALYSIS OF THE BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEM TO REDUCE THE PEAK DEMAND

บุญเลิศ สื่อเฉย<sup>1</sup> สมศักดิ์ สิริโพรานานนท์<sup>2</sup> และ ปิยวัฒน์ บุญประเสริฐ<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>อาจารย์, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

19/1 ถนนเพชรเกษม เขตหนองแขม กรุงเทพมหานคร 10160, tdlert@hotmail.com

<sup>3</sup>วิศวกรไฟฟ้า, บริษัทเตต้า จำกัด 99/2 อาคารซอฟต์แวร์ปาร์ค ชั้น 34 หมู่ที่ 4 ถนนแจ้งวัฒนะ

ตำบลคลองเกลือ อำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี 11120, piyawat.boonprasert@gmail.com

Boonlert Suechoey<sup>1</sup>, Somsak Siriporananon<sup>2</sup> and Piyawat Boonprasert<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Lecturer, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering,

Southeast Asia University, 19/1 Phetchakasem Road, Nongkhaem, Bangkok, 10160,

<sup>1</sup>tdlert@hotmail.com, <sup>2</sup>somsaks@sau.ac.th

<sup>3</sup>Electrical Engineer, Teda Co., Ltd., 99/2 Moo 4, Software Park Building 34<sup>th</sup> Fl.,

Chaengwattana Rd., Klong Gluar, Pak-kred, Nonthaburi, piyawat.boonprasert@gmail.com

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ นำเสนอการลดความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดในช่วงเวลา On Peak ด้วยการนำพลังงานในช่วงเวลา Off Peak จากระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่มาทดแทน อ้างอิงตามช่วงเวลาของอัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate: TOU) ของการไฟฟ้านครหลวง (MEA) หรือ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (PEA) งานวิจัยนี้ได้นำเสนอแบบจำลองโครงข่ายระบบไฟฟ้าของอาคารที่ใช้ไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดกลาง ที่มีระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่เชื่อมต่อกันมาใช้ในการออกแบบอัลกอริทึมสำหรับการหาช่วงเวลาการคายประจุ โดยใช้ผลลัพธ์จากวิธีการประมาณเส้นแนวโน้ม เพื่อพยากรณ์ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าและช่วงเวลาการคายประจุที่เหมาะสมที่สุด ในงานวิจัยได้ทำการพยากรณ์และวิเคราะห์ผลที่ได้จำนวน 15 วัน จากข้อมูล 20 วัน ผลจากการวิจัยพบว่า ค่าเฉลี่ยจากการประมาณเส้นแนวโน้มยกกำลังสามารถลดกำลังไฟฟ้าสูงสุดและพลังงานไฟฟ้าช่วง On Peak ได้มากที่สุด คือ 34.94% และ 40.62% และการประมาณเส้นแนวโน้มเชิงเส้นลดกำลังไฟฟ้าสูงสุดและพลังงานไฟฟ้าช่วง On Peak ได้น้อยที่สุด คือ 30.50% และ 39.48%

**คำสำคัญ:** ความต้องการพลังไฟฟ้า, อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้, ระบบกักเก็บพลังงานแบบเตอรี

### ABSTRACT

This paper presents the reduction of peak demand during on peak period by replacing the energy during off peak period with battery energy storage system (BESS). Then this period was reference from time of use rate (TOU) of Metropolitan Electricity Authority (MEA) or Provincial Electricity Authority (PEA) of Thailand. The research has proposed a model of Grid-connected of Medium General Service with BESS to design to algorithm for finding the discharge time periods (FDTP). The Algorithm has to the results from forecasting with trend line estimation to predict optimal of load profile and discharged time. This research will be forecast and analyze the results of 15 days from 20 days of data. The results of case study showed that the value average from the power trend line estimation could reduced the peak demand and consumption the most are 34.94% and 40.62% and the linear trend is worst estimation will be reduced the peak demand and consumption are 30.50% and 39.48%.

**KEYWORDS:** peak demand, time of use rate (TOU), battery energy storage system (BESS)

### 1. บทนำ

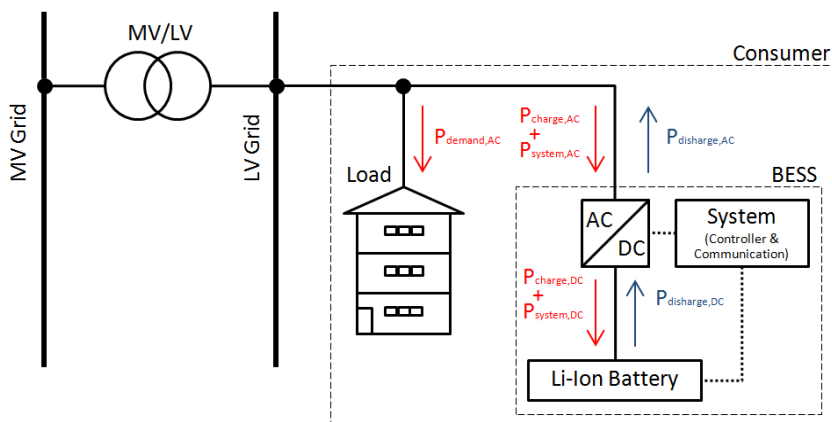
การใช้ประโยชน์จากระบบกักเก็บพลังงานแบบเตอรีนั้นมีหลายประเภท ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การใช้งานได้แก่ การลดต้นทุนการผลิตไฟฟ้า การรักษาเสถียรภาพระบบไฟฟ้า การปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้า การลดค่าความต้องการพลังไฟฟ้า การบริหารจัดการพลังงานหมุนเวียนในเครือข่าย และเป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรอง เป็นต้น ซึ่งในกรณีศึกษานี้ได้มุ่งเน้นศึกษาในด้านการลดลดความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดในช่วงเวลา On Peak โดยใช้ระบบกักเก็บพลังงานแบบเตอรีชนิดลิเธียมไอออน มาใช้ในการเก็บประจุช่วงเวลา Off Peak และคายประจุช่วงเวลา On Peak ซึ่งในการเก็บประจุและคายประจุจะมีค่าประสิทธิภาพประมาณ 80-90% [1] หรือ 80% [2] แต่เมื่อหากเทียบกับอัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลาง [3] จะเห็นได้ชัดว่า อัตราค่าไฟฟ้าระหว่างช่วงเวลา On Peak กับ Off Peak มีค่าต่างกันมาก ทั้งในด้านค่าความต้องการพลังไฟฟ้าและค่าพลังงานไฟฟ้า ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้สร้างแบบจำลองโครงข่ายระบบไฟฟ้าที่มีระบบกักเก็บพลังงานแบบเตอรีเชื่อมต่ออยู่ [4, 5] ในรูปแบบของอาคารที่ใช้ไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดกลาง เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลของงานวิจัยนี้

จากแบบจำลองที่ออกแบบไว้ ได้นำมาใช้ในการออกแบบอัลกอริทึมสำหรับการหาช่วงเวลาการคายประจุ โดยใช้ข้อมูลจำเพาะของระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ [2, 5, 6] การหาค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสีย [7] และการประมาณเส้นแนวโน้ม [8] จากข้อมูลการใช้ไฟฟ้า 5 วัน เพื่อพยากรณ์ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าและวิเคราะห์ช่วงเวลาการคายประจุที่เหมาะสมที่สุดในวันถัดไป จากนั้นทำการกำหนดให้ระบบกักเก็บพลังงานคายประจุตามเวลาที่กำหนดในวันถัดไป ผลลัพธ์ที่ได้จะวัดผลในเชิงประสิทธิภาพซึ่งประกอบด้วย การลดค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด การลดค่าพลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลา On Peak และค่าพลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นในช่วงเวลา Off Peak ผลลัพธ์ที่ได้จะมี 15 วันจากข้อมูลทั้งหมด 20 วัน และปรับเปลี่ยนการประมาณเส้นแนวโน้มเชิงเส้น เส้นแนวโน้มลอการิทึม เส้นแนวโน้มเอกซ์โพเนนเชียล และเส้นแนวโน้มยกกำลัง เพื่อนำผลลัพธ์ทั้งหมดมาวิเคราะห์เปรียบเทียบหาเส้นแนวโน้มที่ทำให้ค้นหาช่วงเวลาการคายประจุที่ดีที่สุด

## 2. วิธีดำเนินงานวิจัย

### 2.1 ส่วนของการออกแบบ

ในการออกแบบสำหรับการศึกษาลดความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่นี้ ใช้โปรแกรมไมโครซอฟต์เอ็กเซลในการจำลองกระบวนการทางคณิตศาสตร์ การแสดงผลเชิงกราฟ และตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่ได้ และสร้างแบบจำลองโครงข่ายระบบไฟฟ้าของอาคารที่ใช้ไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดกลาง ที่มีระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่เชื่อมต่ออยู่ [4, 5] ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แบบจำลองโครงข่ายระบบไฟฟ้าของอาคารที่ใช้ไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดกลางที่มีระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่เชื่อมต่ออยู่ ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

## 2.2 เงื่อนไขในการวิเคราะห์

ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าที่นำมาวิเคราะห์และการปรับเศษทศนิยมของข้อมูลการใช้ไฟฟ้า อ้างอิงอัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้ประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลาง [3] ดังรูปที่ 2

**3.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Tariff : TOU Tariff)**

**อัตรารายเดือน**

แรงดัน	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)		ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		ค่าบริการ (บาท/เดือน)
	On Peak	Off Peak	On Peak	Off Peak	
3.2.1 69 กิโลโวลต์ขึ้นไป	74.14	0	4.1025	2.5849	312.24
3.2.2 12-24 กิโลโวลต์	132.93	0	4.1839	2.6037	312.24
3.2.3 ต่ำกว่า 12 กิโลโวลต์	210.00	0	4.3297	2.6369	312.24

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 (ไม่รวมวันพืชมงคลและวันหยุดชดเชย)

รูปที่ 2 อัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาของการใช้ ประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลาง ของ MEA

ดังนั้น ในแต่ละประเภทของวันจะมีข้อมูลค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย ณ คาบเวลาทุก ๆ 15 นาที หรือ 1 time ดังนั้นใน 1 วัน จึงมี 96 times ( $T = 1, 2, \dots, 96$ ) และสามารถแบ่งช่วงคาบเวลาเป็น 2 ช่วง ดังนี้

ช่วง On Peak: เวลา 09.00 น.-22.00 น. คือ  $T = 36, 37, \dots, 87$

ช่วง Off Peak: เวลา 22.00 น.-09.00 น. คือ  $T = 1, 2, \dots, 35$  และ  $T = 88, 90, \dots, 96$

## 2.3 ค่าประสิทธิภาพในระหว่างการอัดและคายประจุ (Conversion round-trip efficiency:

$$\eta_{conversion})$$

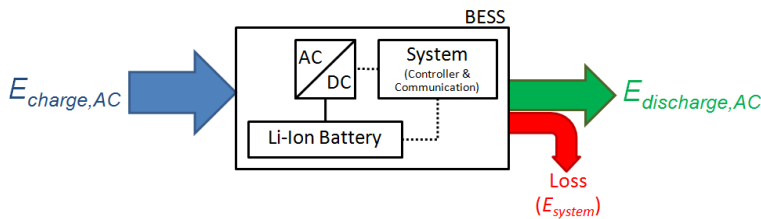
เป็นค่าประสิทธิภาพที่เกิดจากการแปลงระบบไฟฟ้า AC-to-DC-Battery-DC-to-AC บริษัทผู้ผลิตได้ทำการทดสอบและระบุค่า  $\eta_{conversion}$  ไว้แล้ว โดยมีค่าประมาณ 97.4% [5] และมีสมการ ดังนี้[1]

$$\eta_{conversion} = \frac{E_{discharge,AC}}{E_{charge,AC}} \quad (1)$$

โดยที่  $E_{discharge,AC}$  คือพลังงานไฟฟ้าระบบ AC ที่ไหลออกในช่วง Battery Discharge  
 $E_{charge,AC}$  คือพลังงานไฟฟ้าระบบ AC ที่ไหลเข้าในช่วง Battery Charge

**2.4 ค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียภายใน BESS (System Consumption:  $E_{system}$ )**

ค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดจากการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ในระบบ เช่น ระบบปรับอากาศ ระบบสื่อสาร ระบบจอแสดงผล ระบบควบคุมต่าง ๆ และ  $\eta_{conversion}$  เป็นต้น ซึ่งค่าสูญเสียพลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ที่ผู้ผลิตได้ออกแบบไว้ สามารถเขียนแผนภาพได้รูปที่ 3



รูปที่ 3 อัตราส่วนของพลังงานไหลเข้า ต่อพลังงานที่ไหลออกใน PCS เมื่อมี Loss ( $E_{system}$ )

โดยทั่วไปค่าประสิทธิภาพในระหว่างการอัดและคายประจุทั้งหมดของ BESS (Round-Trip Efficiency:  $\eta_{rt}$ ) หรือ ประสิทธิภาพทั้งหมด  $\eta_{total}$  มีค่าประมาณ 80-90% [1] หรือ ประมาณ 80% [2] และจากรูปที่ 3 สามารถเขียนสมการเพื่อหา  $\eta_{rt}$  ได้ดังนี้ [7]

$$\eta_{rt} = \frac{E_{discharge,AC}}{E_{charge,AC} + E_{system}} \tag{2}$$

เมื่อนำสมการที่ (1) มาแทนลงในสมการที่ (2) สามารถหา  $E_{system}$  ได้ดังสมการต่อไปนี้

$$E_{system} = \frac{\eta_{conversion} \times E_{charge,AC}}{\eta_{rt}} - \frac{E_{discharge,AC}}{\eta_{conversion}} \tag{3}$$

**2.5 ระดับการคายประจุ (Dept of Discharge: DOD) และ ระดับสถานะประจุ (State of charge: SOC) [5]**

SOC เป็นค่าที่บ่งบอกถึงระดับสถานะประจุของ Battery Charge โดย SOC มีหน่วยเป็น เปอร์เซ็นต์ (0% = แบตเตอรี่ว่างเปล่า 100% = แบตเตอรี่เต็ม) ส่วน DOD บอกถึงสถานะระดับ

การคายประจุของการ Battery Discharge ซึ่ง DOD สามารถใช้หน่วย Ah (เช่น ถ้าแบตเตอรี่ = 50 Ah ดังนั้น 0 Ah = แบตเตอรี่เต็ม, 50 Ah = แบตเตอรี่ว่างเปล่า) หรือเปอร์เซ็นต์ (100% = แบตเตอรี่ว่างเปล่า, 0% = แบตเตอรี่เต็ม) แต่โดยปกติแล้ว DOD แสดงค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ (%) ดังนั้น จากสมการที่ (1) เมื่อ  $E_{discharge,AC}$  คือ พลังงานไฟฟ้าระบบ AC ที่ไหลออกในช่วง Battery Discharge และเมื่อ DOD คือสถานะระดับการ Discharge Battery จึงเขียนสมการได้ดังนี้

$$E_{discharge,AC} = Capacity \cdot \%DOD \cdot \eta_{conversion} \quad (4)$$

## 2.6 อัตราการชาร์จและคายประจุของแบตเตอรี่ (C-Rate) [5, 9]

อัตราการชาร์จและคายประจุของแบตเตอรี่ ที่ขึ้นอยู่กับค่าความจุของแบตเตอรี่ ซึ่งค่า 1C มีความหมายว่า แบตเตอรี่ที่ชาร์จเต็มแล้วที่มีขนาด 1 Ah ควรให้กระแส 1 A เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และแบตเตอรี่ที่คายประจุที่ 0.5C จะให้กระแส 500 mA เป็นเวลา 2 ชั่วโมง และที่ 2C จะให้กระแส 2 A เป็นเวลา 30 นาที การสูญเสียในการคายประจุอย่างรวดเร็วทำให้ช่วยลดเวลาในการคายประจุและการสูญเสียเหล่านี้ส่งผลต่อเวลาในการอัดประจุ

## 2.7 การประมาณแนวโน้มเชิงเส้น [8]

การประมาณแนวโน้มเชิงเส้นเป็นเทคนิคทางสถิติเพื่อช่วยในการประมาณการข้อมูล โดยอาศัยข้อมูลในแบบอนุกรมเวลามาสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ตามแนวโน้มของข้อมูลที่ใช้ และใช้อธิบายพฤติกรรมของข้อมูลที่สังเกต ในกรณีนี้การประมาณแนวโน้มเชิงเส้นเป็นการแสดงถึงข้อมูลที่เป็นฟังก์ชันเชิงเส้นของเวลา และนำมาประยุกต์ใช้ในการพยากรณ์ข้อมูลที่กำลังจะเกิดขึ้น เช่น ใช้ข้อมูล 1-5 วันแรก เพื่อพยากรณ์ข้อมูลของวันที่ 6 และใช้ข้อมูล 2-6 วันแรก เพื่อพยากรณ์ข้อมูลของวันที่ 7 เป็นต้น เพื่อวิเคราะห์หาสมการทางคณิตศาสตร์ ที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้ คือเส้นแนวโน้มเชิงเส้น (Linear Trend Line) เส้นแนวโน้มลอการิทึม (Logarithmic Trend Line) เส้นแนวโน้มแบบเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential Trend Line) และเส้นแนวโน้มแบบยกกำลัง (Power Trend Line)

## 2.8 การกำหนดตัวแปรและสมการสำหรับการลด Peak Demand

การศึกษาตัวแปรสำหรับการลดค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วย BESS นั้นได้พิจารณาข้อมูลจำเพาะของ BESS ที่มีจำหน่ายจริงจากผู้ผลิตในปัจจุบัน เพื่อนำมาประยุกต์ในการกำหนดตัวแปรดังตารางที่ 1 และออกแบบสมการที่จำเป็นต้องใช้ ดังนี้

ค่า Capacity พิจารณาจากการนำ BESS มาลด Peak Demand ดังนั้น Capacity ของ BESS ควรน้อยกว่าพลังงานไฟฟ้าช่วง On peak งานวิจัยนี้ได้กำหนด  $BESS_{Capacity}$  ประมาณ 40% ของ

พลังงานไฟฟ้าช่วง On peak ซึ่งกำหนดไว้ที่ 50 kWh สำหรับค่า C-rate ( $C_{rate}$ ) ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดไว้ที่ 0.5C หรือ 30 times สามารถหาได้จากสมการ

$$Time_{charge} = \frac{60 \text{ minutes}}{C_{rate} \cdot 4 \text{ times}} \quad (5)$$

เพื่อป้องกันการกำหนด  $C_{rate}$  ไม่ให้มีค่าต่ำเกินไป ซึ่งทำให้  $Time_{charge}$  มีเวลามากจนกระทบช่วง On Peak ดังนั้น จึงได้กำหนดให้  $Time_{charge} \leq 42 \text{ times}$  หรือ  $C_{rate} \geq 0.358C$  โดยประมาณ

เมื่อ  $E_{charge,AC} = E_{discharge,AC}$  โดยที่  $\eta_{conversion} = 1$  ดังนั้นจากสมการที่ (5) จึงนิยามได้ว่า “ $P_{cha.} \times Time_{charge} = E_{discharge,AC}$ ” เมื่อนำไปแทนในสมการที่ (1) จะได้ดังนี้

$$E_{cha.} = \frac{P_{cha.} \times Time_{charge}}{\eta_{conversion}} \quad (6)$$

#### ตารางที่ 1 ตัวแปรที่ใช้ในงานวิจัย

ตัวแปร	ค่าที่ใช้ในงานวิจัย	ตัวแปร	ค่าที่ใช้ในงานวิจัย
Capacity	50 kWh	Energy for Discharge ( $E_{dis.}$ )	ดั่งสมการที่ (4)
%DOD	90%	Energy for Charge ( $E_{cha.}$ )	ดั่งสมการที่ (6)
Conversion Efficiency ( $\eta_{conversion}$ )	97%	Power for Charge ( $P_{cha.}$ )	ดั่งสมการที่ (7)
Round-Trip Efficiency ( $\eta_{rt}$ )	80%	Power for Discharge ( $P_{dis.}$ )	ดั่งสมการที่ (8)
C-rate ( $C_{rate}$ )	0.5C หรือ 30 times		

เมื่อนำสมการที่ (4) และ (6) แทนลงใน (1) เพื่อหาค่า  $P_{cha.}$  จะได้สมการ ดังนี้

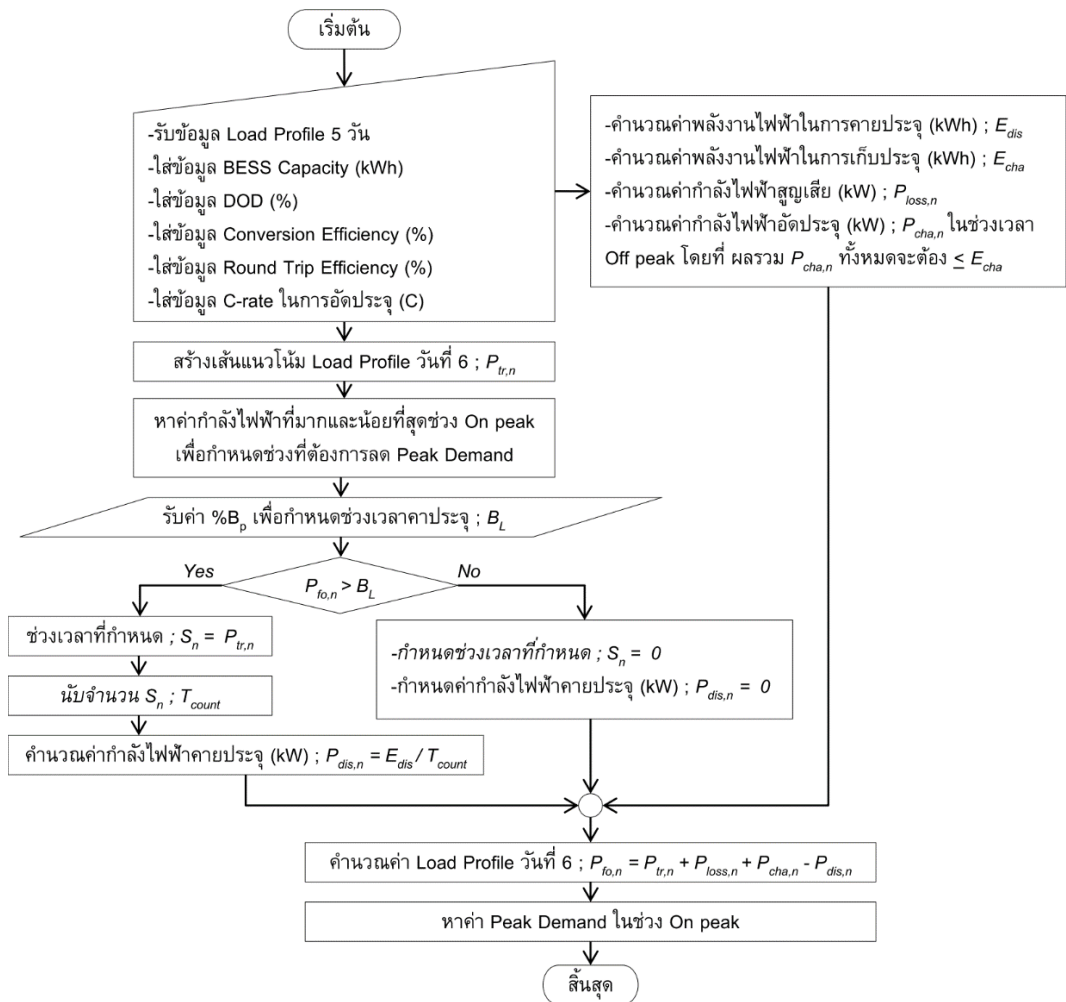
$$P_{cha.} = \frac{Capacity \times \%DOD \times \eta_{conversion}}{Time_{charge}} \quad (7)$$

เมื่อนำ  $E_{dis.}$  หารด้วยช่วงเวลาคายประจุ ( $Time_{discharge}$ ) โดยที่  $Time_{discharge}$  ถูกกำหนดตามการออกแบบอัลกอริทึมสำหรับการหาเวลา Discharge ดังนั้นสามารถหาสมการได้ดังนี้

$$P_{dis.} = \frac{E_{dis.}}{Time_{charge}} \quad (8)$$

**2.9 อัลกอริทึมสำหรับการหาเวลาคายประจุ (Algorithm for Finding the Discharge Time Periods: FDTP Algorithm)**

จากการกำหนดตัวแปรและสมการแล้วนำมาใช้ออกแบบอัลกอริทึมสำหรับการหาเวลาคายประจุสามารถนำมาเขียนเป็นแผนภาพแสดงลำดับขั้นตอนการทำงานของ FDTP Algorithm ได้ ดังรูปที่ 4



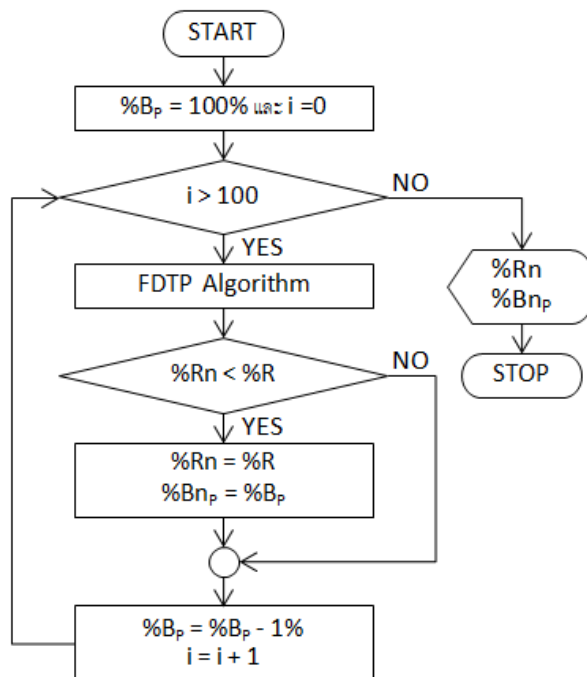
รูปที่ 4 แผนภาพลำดับขั้นตอนการทำงานของ FDTP Algorithm



## 2.10 การหาเวลาขายประจุที่เหมาะสมที่สุด

จากอัลกอริทึมสำหรับการหาเวลาขายประจุ (FDTP Algorithm) ที่ออกแบบไว้ให้ผลลัพธ์ของช่วงเวลาขายประจุตามค่า  $%B_p$  ที่ป้อนเข้าไป ค่าที่ได้จึงยังไม่สามารถบ่งชี้ได้ว่าสามารถลด Peak Demand ได้ดีที่ที่สุดหรือไม่ ดังนั้นจึงต้องมีฟังก์ชันเสริมคือ การใช้ VBA Code (Visual Basic for Applications Code) ในการเขียนโค้ดควบคุมโปรแกรมประยุกต์อื่นๆ หรือเรียกว่า Macro เช่น Microsoft Office, Auto CAD เป็นต้น เข้ามาช่วยกำหนดค่า  $%B_p$  โดยมีลำดับการทำงานที่แสดงไว้ดังรูปที่ 5

โดยหลักการการทำงานกำหนดให้  $%B_p = 100%$  และป้อนเข้าสู่กระบวนการ FDTP Algorithm ผลลัพธ์จาก FDTP Algorithm ที่ได้ในปัจจุบัน ( $%R_n$ ) ถูกเก็บไว้เปรียบเทียบกับผลลัพธ์เดิม ( $%R$ ) โดยที่ผลลัพธ์สุดท้ายจะเก็บค่าที่มากที่สุดเสมอ หรือกล่าวได้ว่า Peak Demand ที่ลดลงที่ดีที่สุด จากนั้นทำการลด  $%B_p$  ลง 1% ในทุก ๆ รอบของกระบวนการจนครบ 100 รอบ (100%, 99%, 98, . . . , 1 %) จึงนำค่า  $%R_n$  และ  $%B_{n_p}$  ที่ดีที่สุดมาแสดงผล โดย  $%B_p$  คือเปอร์เซ็นต์ Base Peak  $%R$  คือเปอร์เซ็นต์ Peak Demand ที่ลดลง  $%B_{n_p}$  คือเปอร์เซ็นต์ Base Peak ที่ดีที่สุด และ  $%R_n$  คือเปอร์เซ็นต์ Peak Demand ที่ลดลงที่ดีที่สุด



รูปที่ 5 แผนภาพลำดับขั้นตอนการทำงานของ การหาเวลาขายประจุที่เหมาะสมที่สุด

### 3. ขั้นตอนการทดสอบ

การทดสอบสามารถอธิบายได้ดังนี้

- 1) ใส่ข้อมูล Load Profile ที่ได้ทำการเก็บข้อมูลจากการใช้พลังงานไฟฟ้าจริงของโรงงานแห่งหนึ่ง ในวันที่ 1-6 วันแรก เพื่อพยากรณ์และเปรียบเทียบข้อมูล ในประเภทเส้นแนวโน้มเชิงเส้น
- 2) เริ่มต้นโปรแกรมโดยการกด [RUN] Macro และรอการประมวลผล
- 3) เก็บข้อมูลผลต่าง คือความต้องการกำลังไฟฟ้าที่ลดลง ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงช่วง On Peak และค่าพลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นช่วง Off Peak
- 4) ใส่ข้อมูล Load Profile ในวันที่ 2-7 วันแรก เพื่อพยากรณ์และเปรียบเทียบข้อมูลถัดไปเรื่อยๆ จนครบ 20 วัน
- 5) เปลี่ยนประเภทเส้นแนวโน้มถัดไป ดังนี้ เส้นแนวโน้มลอการิทึม เส้นแนวโน้มแบบเอกซ์โพเนนเชียล และเส้นแนวโน้มแบบยกกำลัง โดยแต่ละประเภทจะดำเนินการซ้ำตามลำดับขั้นตอนข้อที่ 1) ถึง 4)

วิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้ โดยเปรียบเทียบประเภทของเส้นแนวโน้มที่สามารถลดความต้องการกำลังไฟฟ้า และ ค่าพลังงานไฟฟ้าช่วง On Peak ที่เหมาะสมที่สุด

### 4. ผลการวิจัย

ผลการหาความต้องการกำลังไฟฟ้าที่ลดลงและค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงช่วง On Peak โดยวิธีการหาเส้นแนวโน้มเชิงเส้น (Linear Trend Line) เส้นแนวโน้มลอการิทึม (Logarithmic Trend Line) เส้นแนวโน้มแบบเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential Trend Line) และเส้นแนวโน้มแบบยกกำลัง (Power Trend Line) ผลการวิจัยแสดงดังตารางที่ 2 รูปที่ 6 และรูปที่ 7 สำหรับค่าพลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นช่วง Off Peak แสดงดังตารางที่ 3 และรูปที่ 8

ตารางที่ 2 ความต้องการกำลังไฟฟ้าที่ลดลงและค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงช่วง On Peak

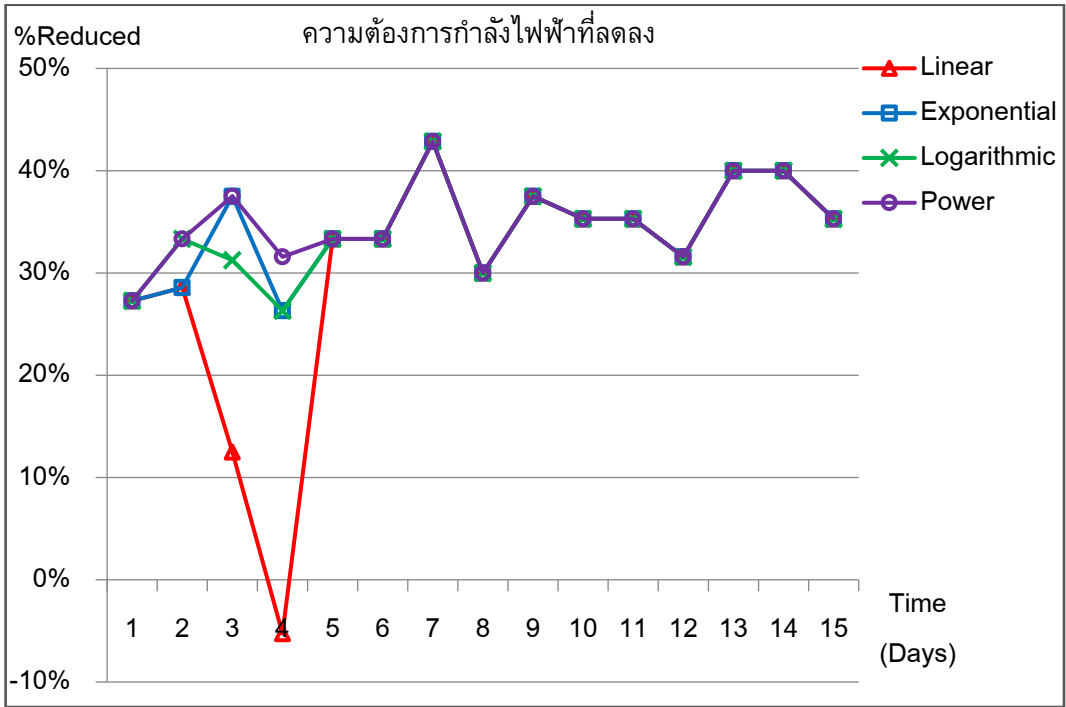
ความต้องการกำลังไฟฟ้าที่ลดลง (%)					ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงช่วง On Peak (%)				
Time (Days)	Linear	Logarithmic	Exponential	Power	Time (Days)	Linear	Logarithmic	Exponential	Power
1	27.27%	27.27%	27.27%	27.27%	1	33.68%	33.68%	33.68%	33.68%
2	28.57%	33.33%	28.57%	33.33%	2	38.78%	39.71%	38.78%	39.71%
3	12.50%	31.25%	37.50%	37.50%	3	27.48%	40.76%	41.35%	41.35%
4	-5.26%	26.32%	26.32%	31.58%	4	35.60%	35.70%	36.58%	36.80%
5	33.33%	33.33%	33.33%	33.33%	5	36.23%	36.23%	36.23%	36.23%

ตารางที่ 2 ความต้องการกำลังไฟฟ้าที่ลดลงและค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงช่วง On Peak (ต่อ)

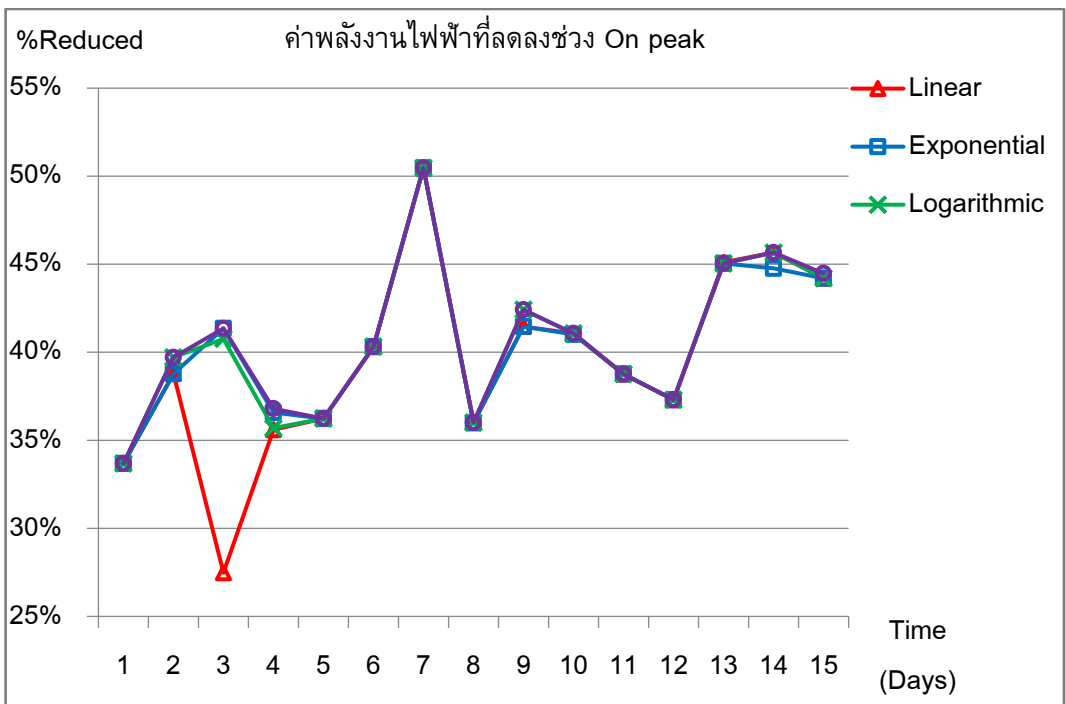
ความต้องการกำลังไฟฟ้าที่ลดลง (%)					ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงช่วง On Peak (%)				
Time (Days)	Linear	Logarithmic	Exponential	Power	Time (Days)	Linear	Logarithmic	Exponential	Power
6	33.33%	33.33%	33.33%	33.33%	6	40.31%	40.31%	40.31%	40.31%
7	42.86%	42.86%	42.86%	42.86%	7	50.47%	50.47%	50.47%	50.47%
8	30.00%	30.00%	30.00%	30.00%	8	36.01%	36.01%	35.98%	36.01%
9	37.50%	37.50%	37.50%	37.50%	9	41.46%	42.41%	41.46%	42.41%
10	35.29%	35.29%	35.29%	35.29%	10	41.07%	41.07%	41.01%	41.07%
11	35.29%	35.29%	35.29%	35.29%	11	38.76%	38.76%	38.76%	38.76%
12	31.58%	31.58%	31.58%	31.58%	12	37.30%	37.30%	37.30%	37.30%
13	40.00%	40.00%	40.00%	40.00%	13	45.11%	45.04%	45.04%	45.04%
14	40.00%	40.00%	40.00%	40.00%	14	45.66%	45.66%	44.76%	45.66%
15	35.29%	35.29%	35.29%	35.29%	15	44.20%	44.20%	44.20%	44.47%
<b>Avg.</b>	30.50%	34.18%	34.28%	34.94%	<b>Avg.</b>	39.48%	40.49%	40.40%	40.62%

ตารางที่ 3 ค่าพลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นช่วง Off Peak

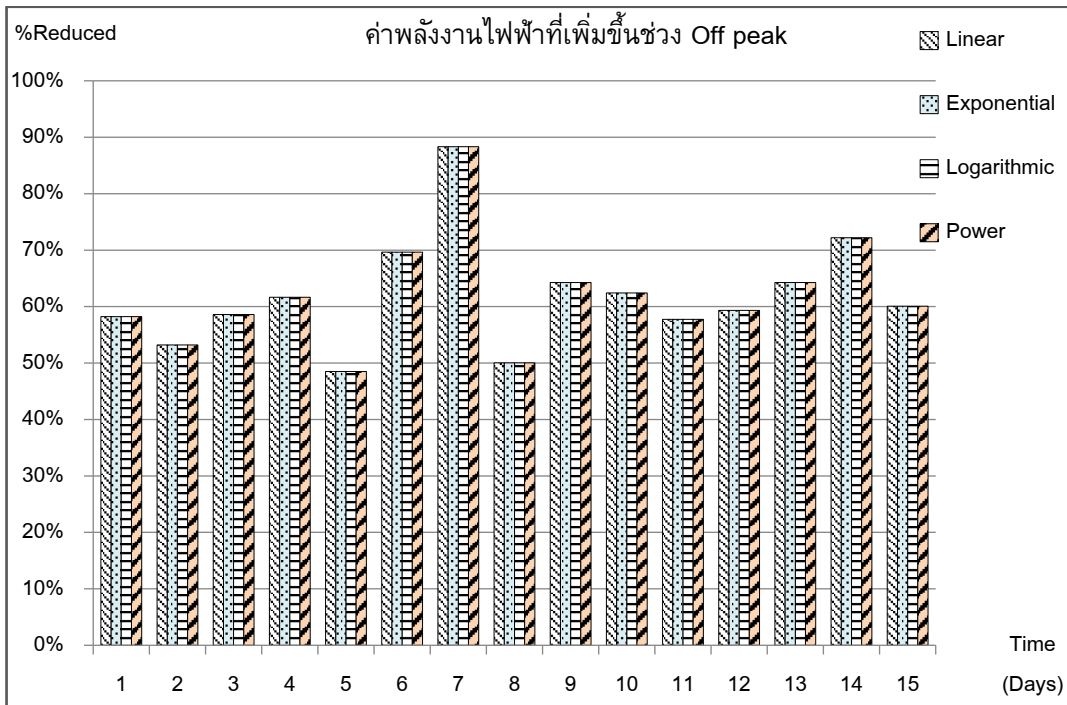
ค่าพลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นช่วง Off Peak (%)									
Time (Days)	Linear	Logarithmic	Exponential	Power	Time (Days)	Linear	Logarithmic	Exponential	Power
1	58.22%	58.22%	58.22%	58.22%	9	64.27%	64.27%	64.27%	64.27%
2	53.22%	53.22%	53.22%	53.22%	10	62.41%	62.41%	62.41%	62.41%
3	58.60%	58.60%	58.60%	58.60%	11	57.74%	57.74%	57.74%	57.74%
4	61.67%	61.67%	61.67%	61.67%	12	59.33%	59.33%	59.33%	59.33%
5	48.51%	48.51%	48.51%	48.51%	13	64.27%	64.27%	64.27%	64.27%
6	69.63%	69.63%	69.63%	69.63%	14	72.21%	72.21%	72.21%	72.21%
7	88.32%	88.32%	88.32%	88.32%	15	60.07%	60.07%	60.07%	60.07%
8	50.03%	50.03%	50.03%	50.03%	<b>Avg.</b>	<b>61.90%</b>	<b>61.90%</b>	<b>61.90%</b>	<b>61.90%</b>



รูปที่ 6 ความต้องการกำลังไฟฟ้าที่ลดลง



รูปที่ 7 ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงช่วง On Peak



รูปที่ 8 ค่าพลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นช่วง Off Peak

## 5. สรุป

แบบจำลองโครงข่ายระบบไฟฟ้าของอาคารที่ใช้ไฟฟ้าประเภทกิจการขนาดกลางที่มีระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่เชื่อมต่อยู่และอัลกอริทึมเพื่อใช้หาช่วงเวลาขายประจุที่เหมาะสมที่สุดที่สร้างขึ้นนี้ ได้แสดงผลของการลดความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดในช่วงเวลา On Peak ได้เฉลี่ยประมาณ 30.50% ถึง 34.94% นอกจากนี้ยังแสดงผลของการลดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงช่วง On Peak ได้เฉลี่ยประมาณ 39.48% ถึง 40.62% และค่าพลังงานไฟฟ้าช่วง Off Peak เพิ่มขึ้นเฉลี่ยประมาณ 61.90% จากผลที่ได้จะเห็นว่าค่าพลังงานไฟฟ้าช่วง Off Peak จะสูงกว่า On Peak อันเป็นผลมาจากค่าประสิทธิภาพในระหว่างการอัดและคายประจุทั้งหมดของ BESS ( $\eta_{rt}$ ) แต่อัตราค่าไฟฟ้าช่วง Off Peak ก็ถูกกว่าช่วง On Peak อย่างมาก

ดังนั้น จากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการลดความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดในช่วงเวลา On Peak ที่ดีขึ้นอยู่กับการพยากรณ์ที่แม่นยำ และจากงานวิจัยนี้สามารถนำไปวิเคราะห์เพิ่มเติมในการหาค่าความจุของ BESS ที่เหมาะสมที่สุด โดยพิจารณาในด้านจุดคุ้มทุน จากผลการทดสอบสามารถอภิปรายได้ดังนี้

1) จากตารางที่ 2 และรูปที่ 6 จะเห็นว่าสามารถลดความต้องการกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด 37.50% ของประเภทเส้นแนวโน้มแบบเอกซ์โพเนนเชียล และเส้นแนวโน้มแบบยกกำลัง

2) จากตารางที่ 2 และรูปที่ 6 จะเห็นว่าการลดความต้องการกำลังไฟฟ้าน้อยที่สุด คือ -5.26% ของประเภทเส้นแวนโหม้เชิงเส้น โดยคาร์้อยละที่ติดลบแสดงถึงการพยากรณ์ที่ผิดพลาดที่สุด ซึ่งเป็นผลมาจากการกำหนด  $Time_{discharge}$  ที่ไม่เหมาะสมและทำให้เกิดช่วงเวลาที่ไม่ได้ทำการลดความต้องการกำลังไฟฟ้าได้เลย

3) เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของการลดความต้องการกำลังไฟฟ้าที่สูงที่สุด คือ 34.94% ซึ่งเป็นประเภทเส้นแวนโหม้แบบยกกำลัง โดยเส้นแวนโหม้แบบเอกซ์โพเนนเชียล คือ 34.28% เส้นแวนโหม้ลอการิทึม คือ 34.18% และเส้นแวนโหม้เชิงเส้นคือ 30.50% ตามลำดับ

4) จากตารางที่ 2 และรูปที่ 7 จะเห็นว่าสามารถลดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงช่วง On Peak ได้สูงสุด 45.11% ของประเภทเส้นแวนโหม้เชิงเส้น

5) เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของการลดพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงช่วง On Peak ที่สูงที่สุด คือ 40.62% ซึ่งเป็นประเภทเส้นแวนโหม้แบบยกกำลัง โดยเส้นแวนโหม้ลอการิทึม คือ 40.49% เส้นแวนโหม้แบบเอกซ์โพเนนเชียล คือ 40.40% และเส้นแวนโหม้เชิงเส้นคือ 39.48% ตามลำดับ

6) การเพิ่มขึ้นของค่าพลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นช่วง Off Peak ดังตารางที่ 3 และรูปที่ 8 พบว่าผลลัพธ์ทุกประเภทเส้นแวนโหม้จะเท่ากัน ซึ่งเป็นผลมาจากโปรแกรมที่ได้ออกแบบให้มีช่วง  $Time_{charge}$  และ  $P_{cha}$  เท่ากันในแต่ละวัน

7) ผลการลดค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าได้สูงสุดและค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงช่วง On peak พบว่า การพยากรณ์ยิ่งแม่นยำจะยิ่งให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด และการพยากรณ์ที่เห็นควรว่าเหมาะสมที่สุดควรจะเป็นประเภทเส้นแวนโหม้แบบยกกำลัง

## References

- [1] Valøen LO, Shoesmith MI. The effect of PHEV and HEV duty cycles on battery and battery pack performance. PHEV 2007 conference: where the grid meets the road; 2007 Nov 1-2; Manitoba, Canada.
- [2] Homer Energy LLC. Battery roundtrip efficiency [Internet]. 2020 [cited 2020 Jan 12]. Available from: [https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/latest/battery\\_roundtrip\\_efficiency.html](https://www.homerenergy.com/products/pro/docs/latest/battery_roundtrip_efficiency.html)
- [3] Metropolitan Electricity Authority. Rate of charge - Type 3 medium industry [Internet]. 2020 [cited 2020 Dec 3]; Available from: <https://www.mea.or.th/profile/109/113>. (In Thai)
- [4] Xie B, Liu Y, Ji Y, Wang J. Two-stage battery energy storage system (BESS) in AC microgrids with balanced state-of-charge and guaranteed small-signal stability. China: School of Electrical Engineering and Automation, Harbin Institute of Technology; 2018.

- [5] Growatt New Energy Technology Co., Ltd. Residential energy storage solution [Internet]. 2020 [cited 2020 Jan 10]. Available from: <http://www.ginverter.com/Residential-storage-solution.html>
- [6] Rezvanizani SM, Liu Z, Chen Y, Lee J. Review and recent advances in battery health monitoring and prognostics technologies for electric vehicle (EV) safety and mobility. *Journal of Power Sources* 2014;256:110-24.
- [7] Schimpe M, Naumann M, Truong N, Hesse HC, Santhanagopalan S, Saxon A, et al. Energy efficiency evaluation of a stationary lithium-ion battery container storage system via electro-thermal modeling and detailed component analysis. *Applied Energy* 2018;210:211-29.
- [8] Qlik. Calculating trend lines, values and formulas on charts and tables in Qlik Sense [Internet]. 2020 [cited 2020 Aug 1]. Available from: <https://community.qlik.com/t5/Qlik-Sense-Documents-Videos/Calculating-trend-lines-values-and-formulas-on-charts-and-tables/ta-p/1479463>
- [9] Battery University™. BU-402: What Is C-rate? [Internet]. 2020 [cited 2020 Jan 20]. Available from: [https://batteryuniversity.com/learn/article/what\\_is\\_the\\_c\\_rate](https://batteryuniversity.com/learn/article/what_is_the_c_rate)

### ประวัติผู้เขียนบทความ



รศ. ดร.บุญเลิศ สื่อเจีย ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้อำนวยการหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ E-mail: [tdlert@hotmail.com](mailto:tdlert@hotmail.com)



ผศ. ดร.สมศักดิ์ สิริโปรภานนท์ ปัจจุบันดำรงตำแหน่งอาจารย์ประจำหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ E-mail: [somsaks@sau.ac.th](mailto:somsaks@sau.ac.th)



ปิยวัฒน์ บุญประเสริฐ ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง วิศวกรโครงการ(ไฟฟ้า)  
บริษัท เทต้า จำกัด E-mail: piyawat.boonprasert@gmail.com

---

**Article History:**

Received: November 2, 2020

Revised: March 20, 2021

Accepted: March 24, 2021