

**การจำลองระบบบริหารจัดการพลังงานในสถานะ  
ใกล้เวลาจริงของสภาพแวดล้อม  
ณ อาคารเกเวอร์ต สแควร์**

---

**นายพรพิพัฒน์ แก้วเขียว เลขประจำตัวนิสิต 6430255221  
นายภูวดล ดำนิล เลขประจำตัวนิสิต 6432136621**

**อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. จิตโกมุต สังศิริ**

**ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**

# สารบัญ

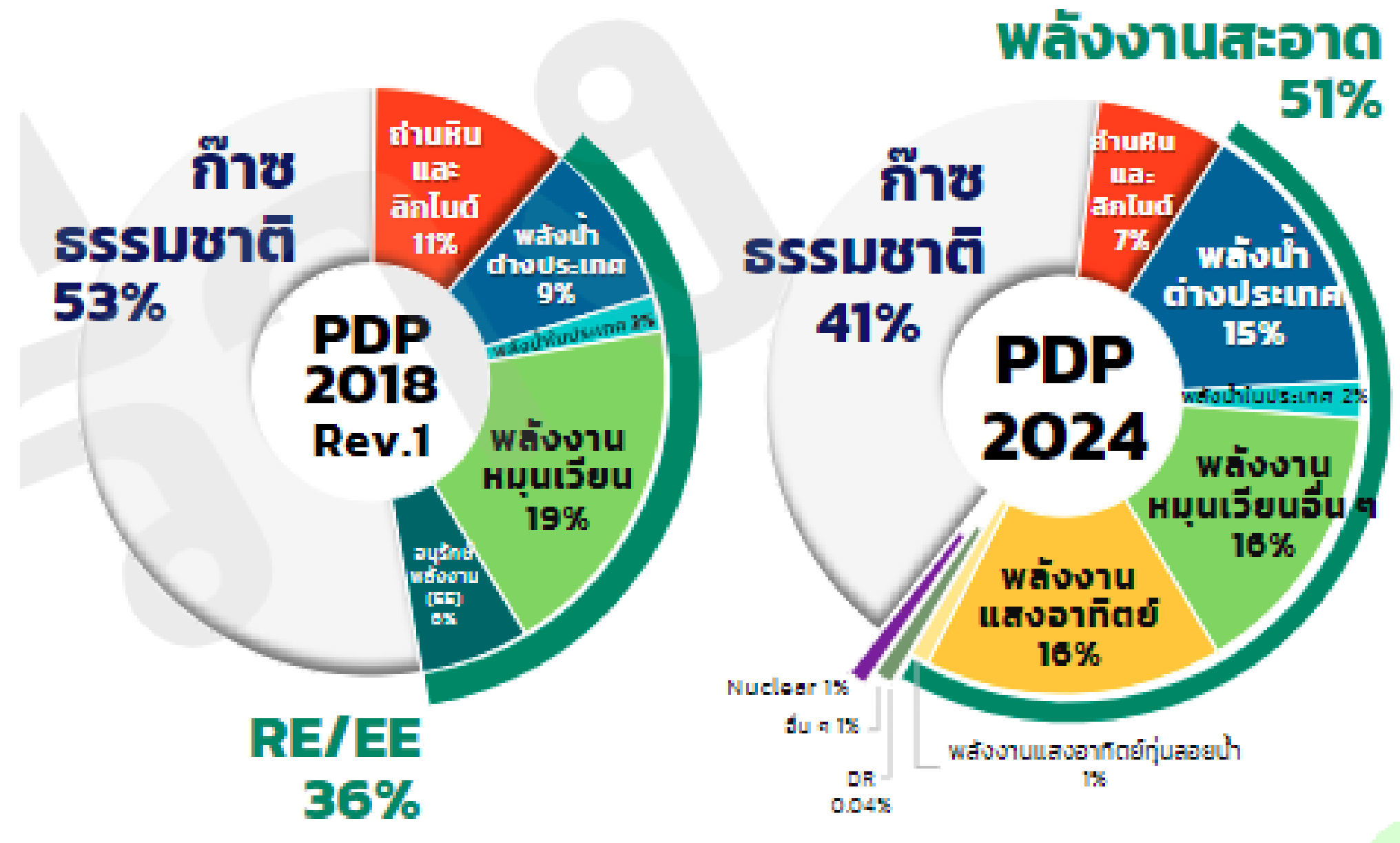
---

- บทนำ
- หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
- แนวทางการดำเนินการ
- ผลลัพธ์จากการดำเนินการเบื้องต้น
- บทสรุป



**บทนำ**

# ที่มาและความสำคัญของโครงการ



ที่มา: <https://policywatch.thaipbs.or.th/article/economy-60>

# วัตถุประสงค์ของโครงการ

---



เพื่อพัฒนาระบบการจัดการพลังงาน  
สำหรับอาคารเกเวอร์ต สแควร์  
โดยใช้การจำลองในสถานะเสมือนจริง  
ประเมินประสิทธิภาพของ EMS

ที่มา: <http://www.sustainability.chula.ac.th/th/report/3594/>

---

**บทนำ** หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง แนวทางการดำเนินงาน ผลลัพธ์จากการดำเนินการเบื้องต้น บทสรุป

# ขอบเขตของโครงการ

---

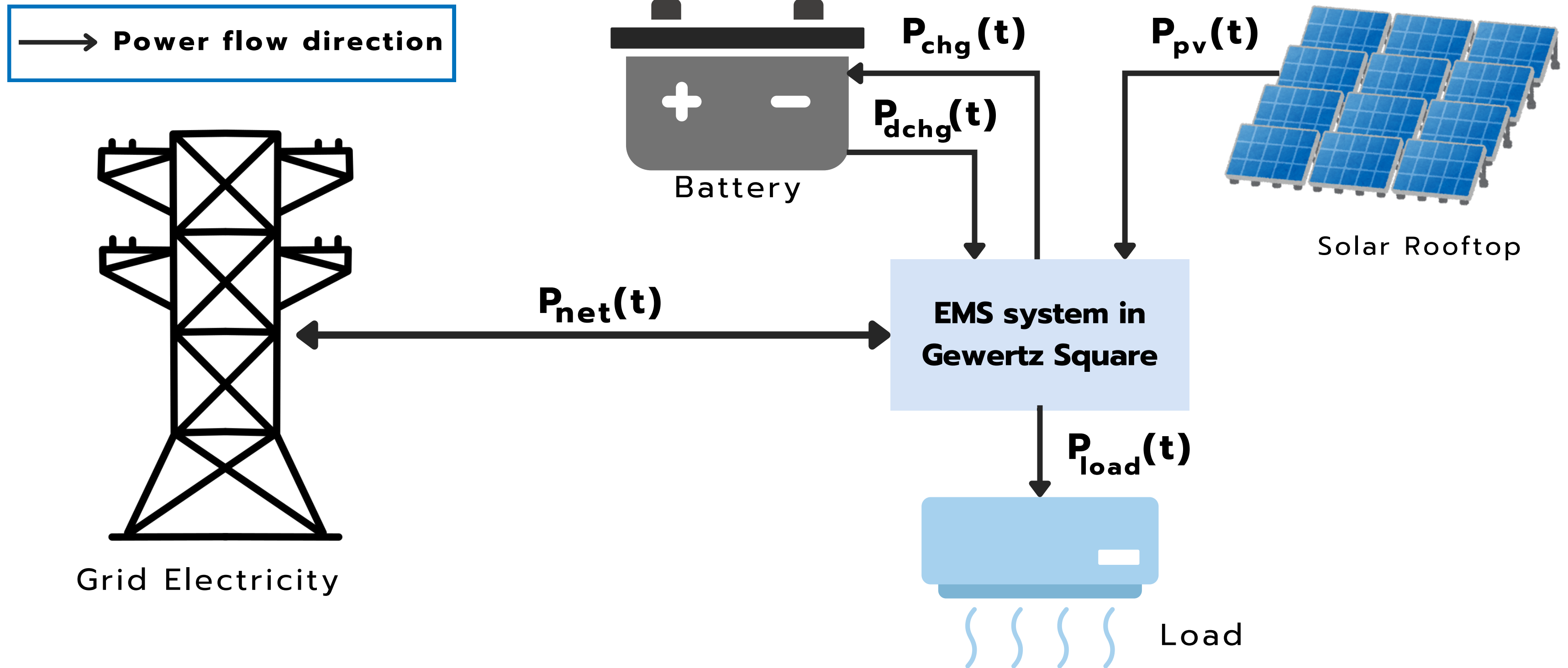
- ทำระบบการจัดการพลังงานสำหรับอาคารเกเวอร์ตสแควร์
- จำลองการทำงานของ EMS ในสถานะใกล้เคียงกับเวลาจริงที่คำนวณทุก 5 นาที
- มีฟังก์ชันจุดประสงค์ที่หลากหลาย
  - ฟังก์ชันการประหยัดค่าไฟของ EMS
    - การประหยัดพลังงาน
    - การประหยัดค่าไฟ
    - การสร้างผลกำไร
  - ฟังก์ชันจุดประสงค์ของแบตเตอรี่
    - การชาร์จแบตเตอรี่ให้เป็นไปตามรูปแบบที่ปรับเรียบ
    - การชาร์จแบตเตอรี่หลายลูกให้ทำงานคล้ายกัน
    - การส่งเสริมการชาร์จแบตเตอรี่

# หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

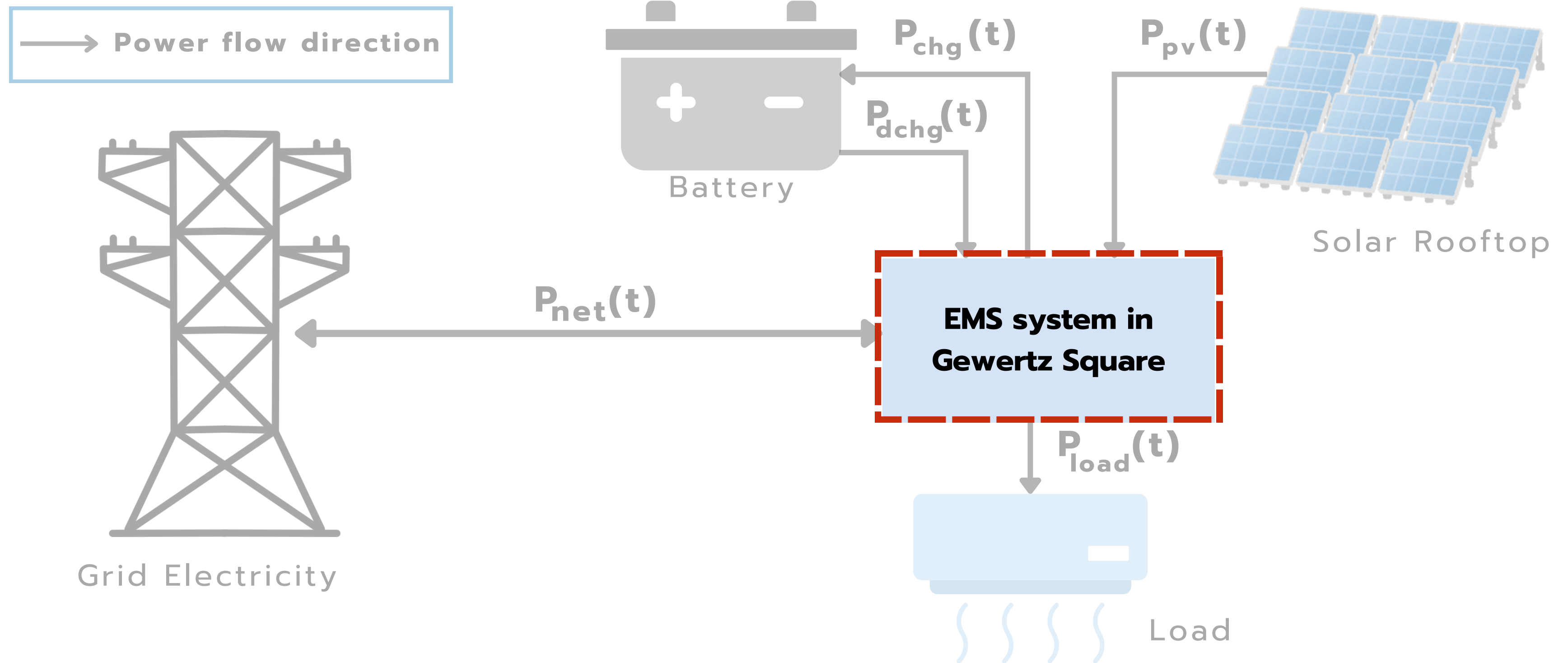
---

# ระบบจัดการพลังงาน (Energy Management System)

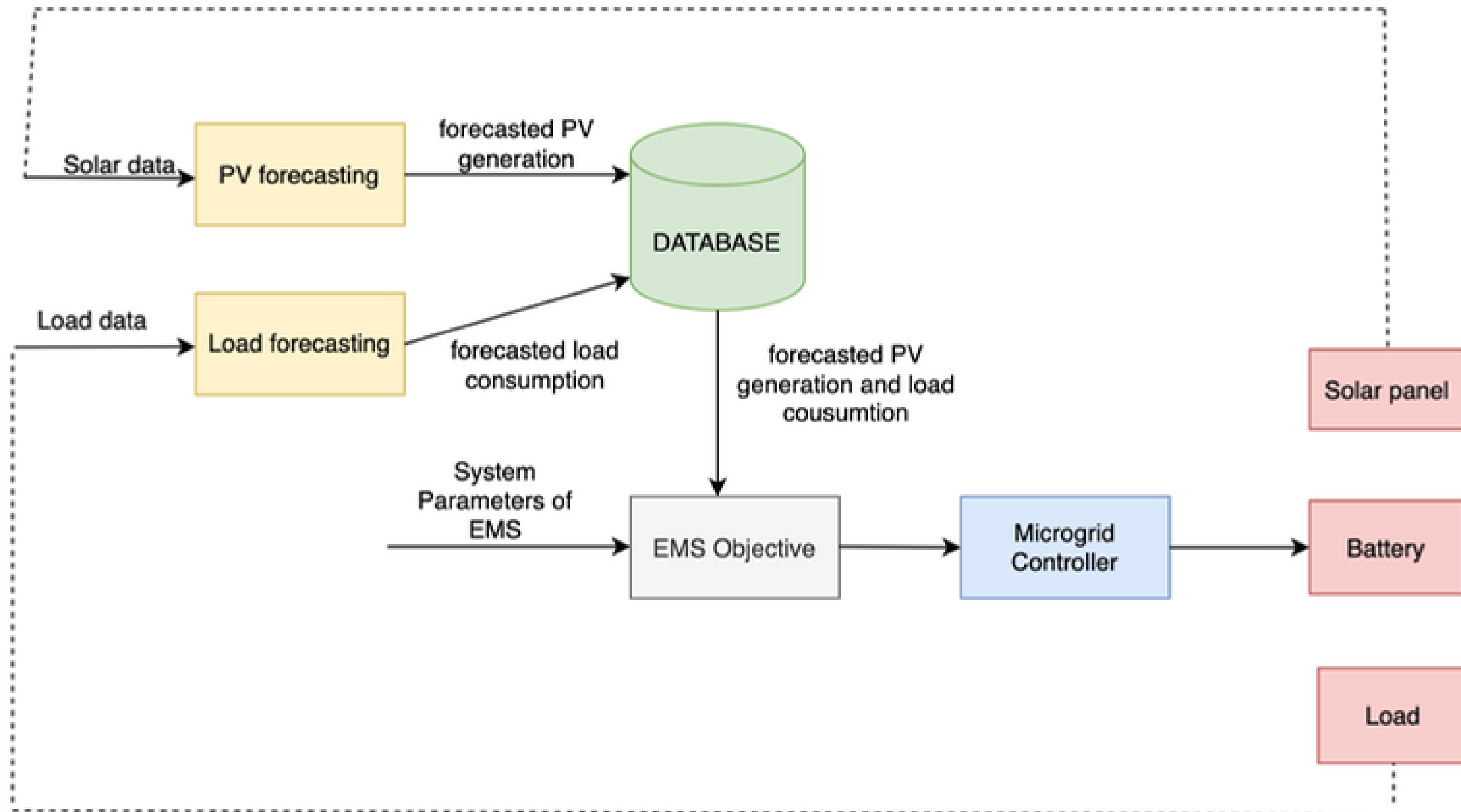
# ระบบจัดการพลังงาน



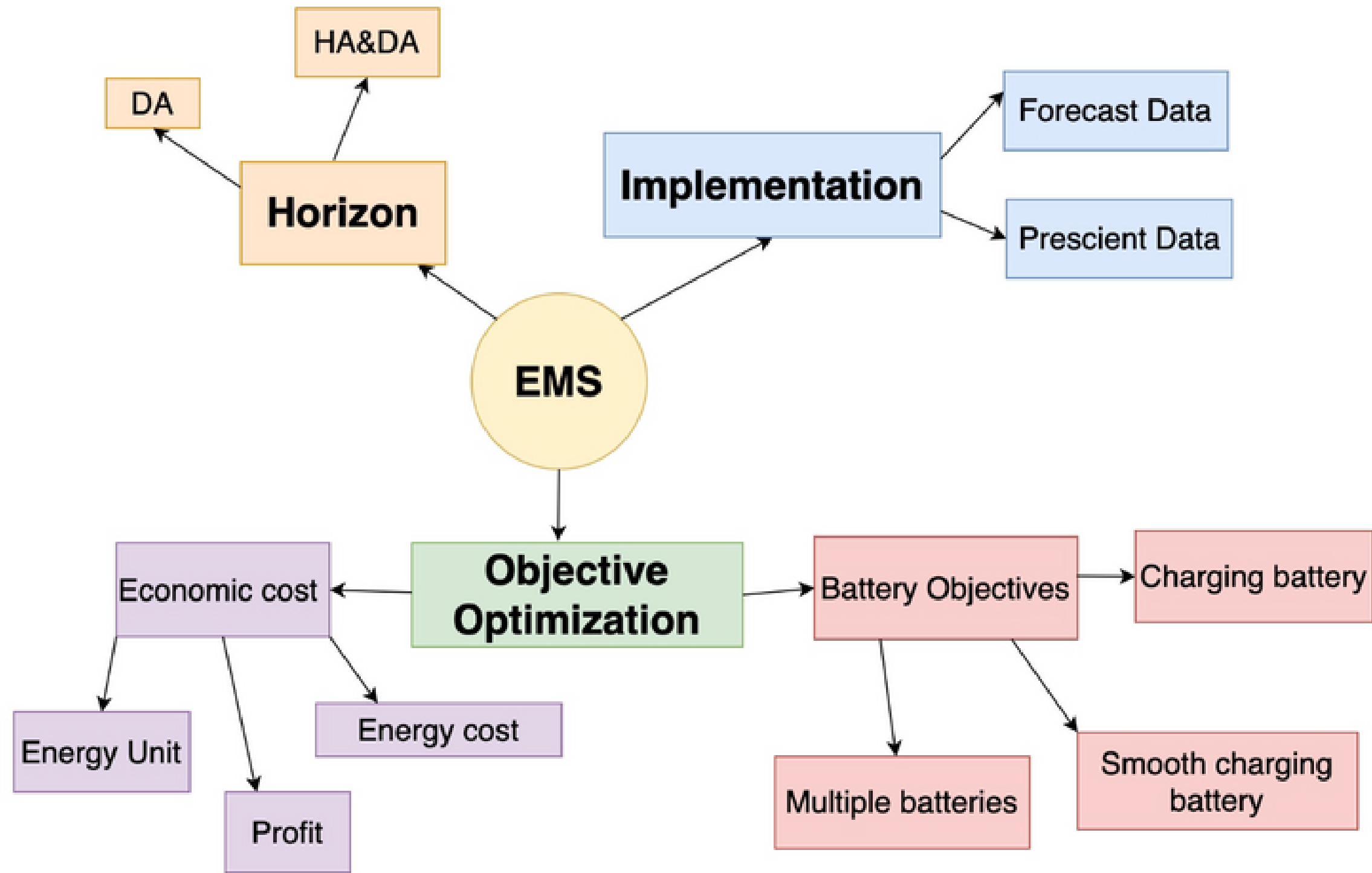
# ระบบจัดการพลังงาน



# ระบบจัดการพลังงาน



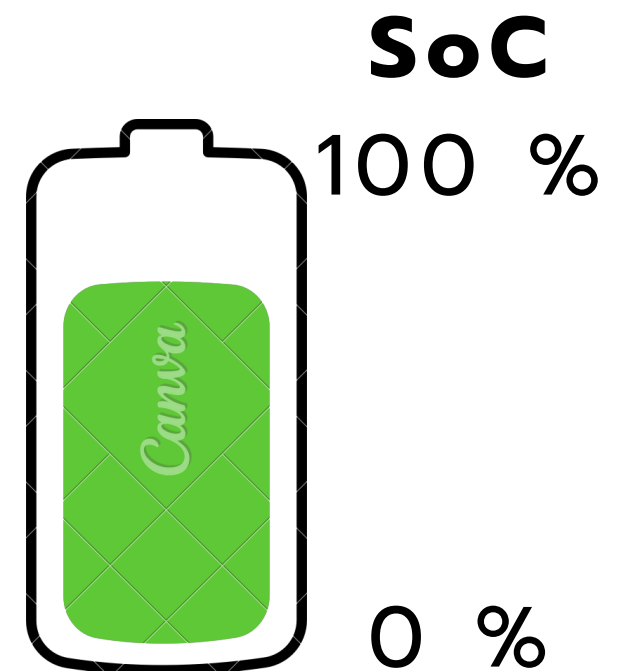
# แผนภาพของระบบจัดการพลังงาน



# แบตเตอรี่

## สมการบรรยายพลวัตสถานะของแบตเตอรี่

$$\text{SoC}_i(t+1) = \text{SoC}_i(t) + \frac{100}{\text{BattCapacity}} \left( \eta_c P_{\text{chg}}^{(i)}(t) \Delta t - \frac{P_{\text{dchg}}^{(i)}(t) \Delta t}{\eta_d} \right) \quad (1)$$



โดยที่ :

$\text{SoC}_i(t)$  : สถานะการชาร์จของแบตเตอรี่ (state of charge)

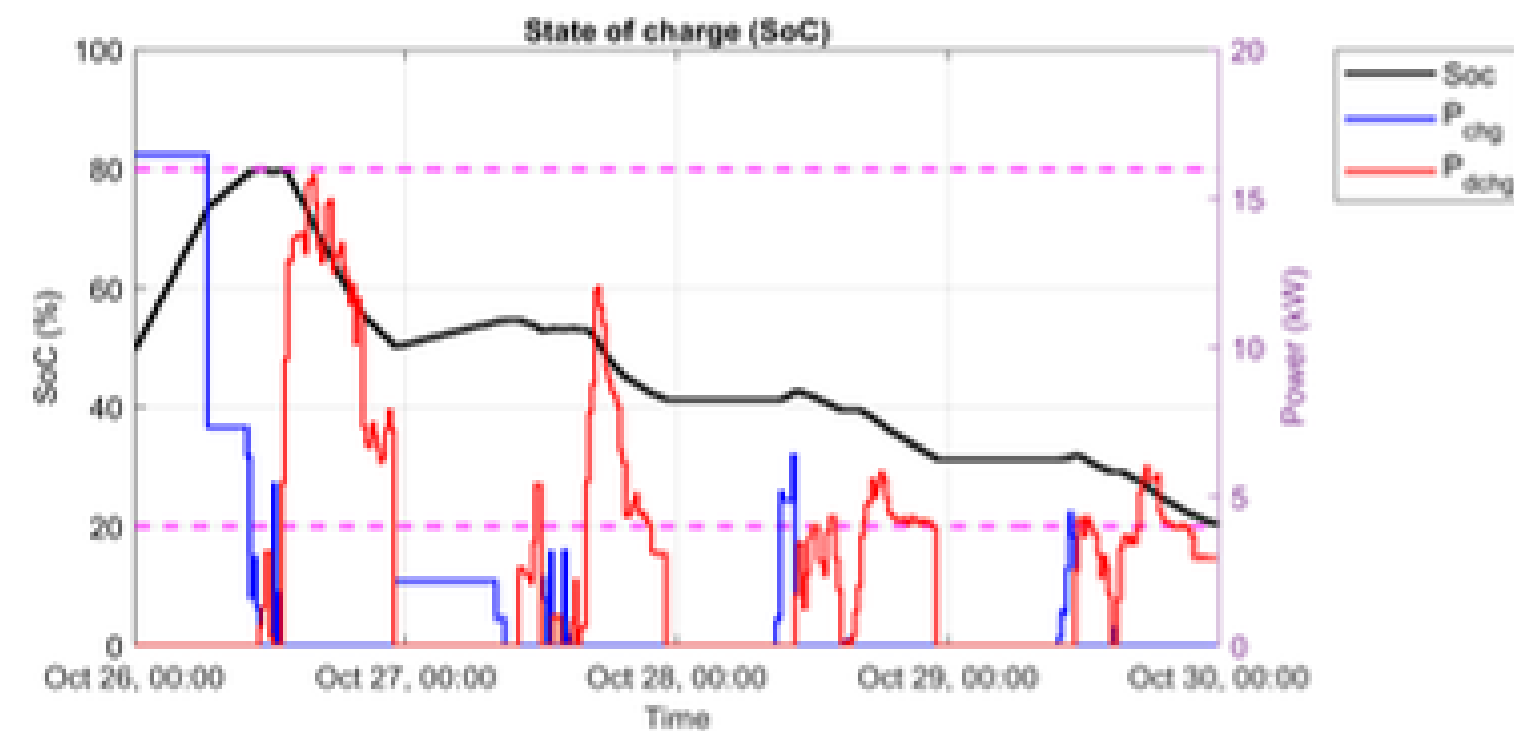
$P_{\text{chg}}^{(i)}(t)$  : กำลังไฟฟ้าที่อัดเข้าสู่แบตเตอรี่ตัวที่  $i$  (charging power)

$P_{\text{dchg}}^{(i)}(t)$  : กำลังไฟฟ้าที่คายออกมาจากแบตเตอรี่ตัวที่  $i$  (discharging power)

BattCapacity : ความจุของแบตเตอรี่ (battery capacity)

$\Delta t$  : ความละเอียดของเวลา (time resolution)

$\eta_d, \eta_c < 1$  : ค่าคงตัวประสิทธิภาพขณะคายกำลังไฟฟ้าและถูกชาร์จกำลังไฟฟ้าเข้า



# แบตเตอรี่

## อสมการแสดงข้อจำกัดในการอัดและคายประจุของแบตเตอรี่

$$P_{\text{chg}}^{(i)}(t) \leq \text{MAX CHARGE RATE}, \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (2)$$
$$i = 1, 2, \dots, N_{\text{Batt}}$$

$$P_{\text{dchg}}^{(i)}(t) \leq \text{MAX DISCHARGE RATE}, \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (3)$$
$$i = 1, 2, \dots, N_{\text{Batt}}$$

## อสมการบรรยายข้อจำกัดสถานะของแบตเตอรี่

$$\text{SoC}_{\text{min},i} \leq \text{SoC}_i(t) \leq \text{SoC}_{\text{max},i} \quad (4)$$

## อสมการแสดงข้อจำกัดสถานะการชาร์จ ณ ปลายวัน

$$\text{SoC}_i(T) \geq 40 \quad (5)$$

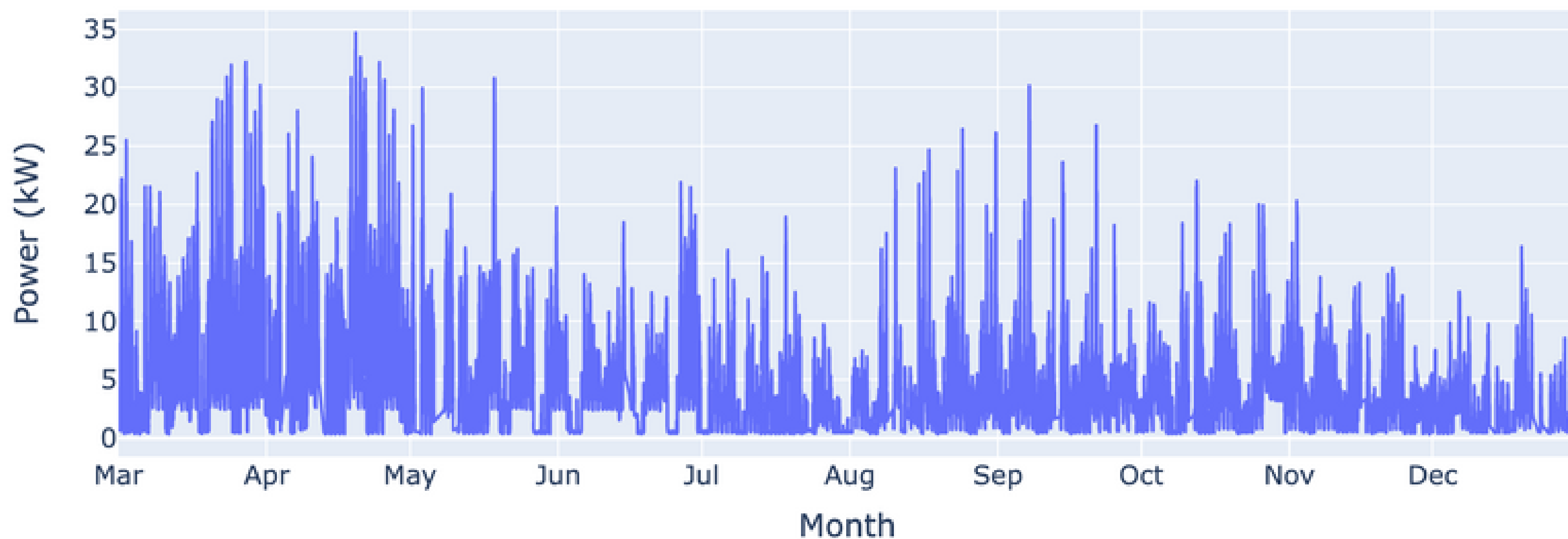
# โหลดไฟฟ้า



โหลดไฟฟ้า ณ อาคารเกเวอร์ต สแควร์ ในช่วง  
เดือนมีนาคม พ.ศ. 2566 ถึง เดือนกุมภาพันธ์  
พ.ศ. 2567 มีค่าโหลดไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 35 kW

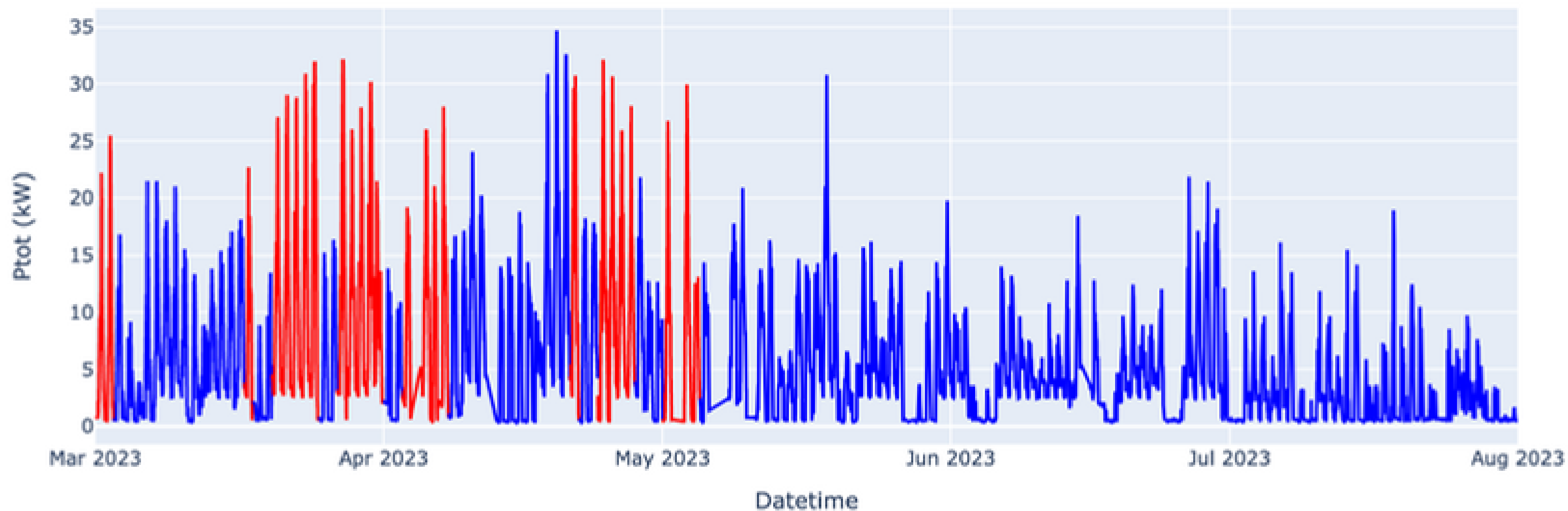
# โหลดไฟฟ้า

Load Consumption



# โหลดไฟฟ้า

Load Power Consumption Over Time with Lab Days Highlighted

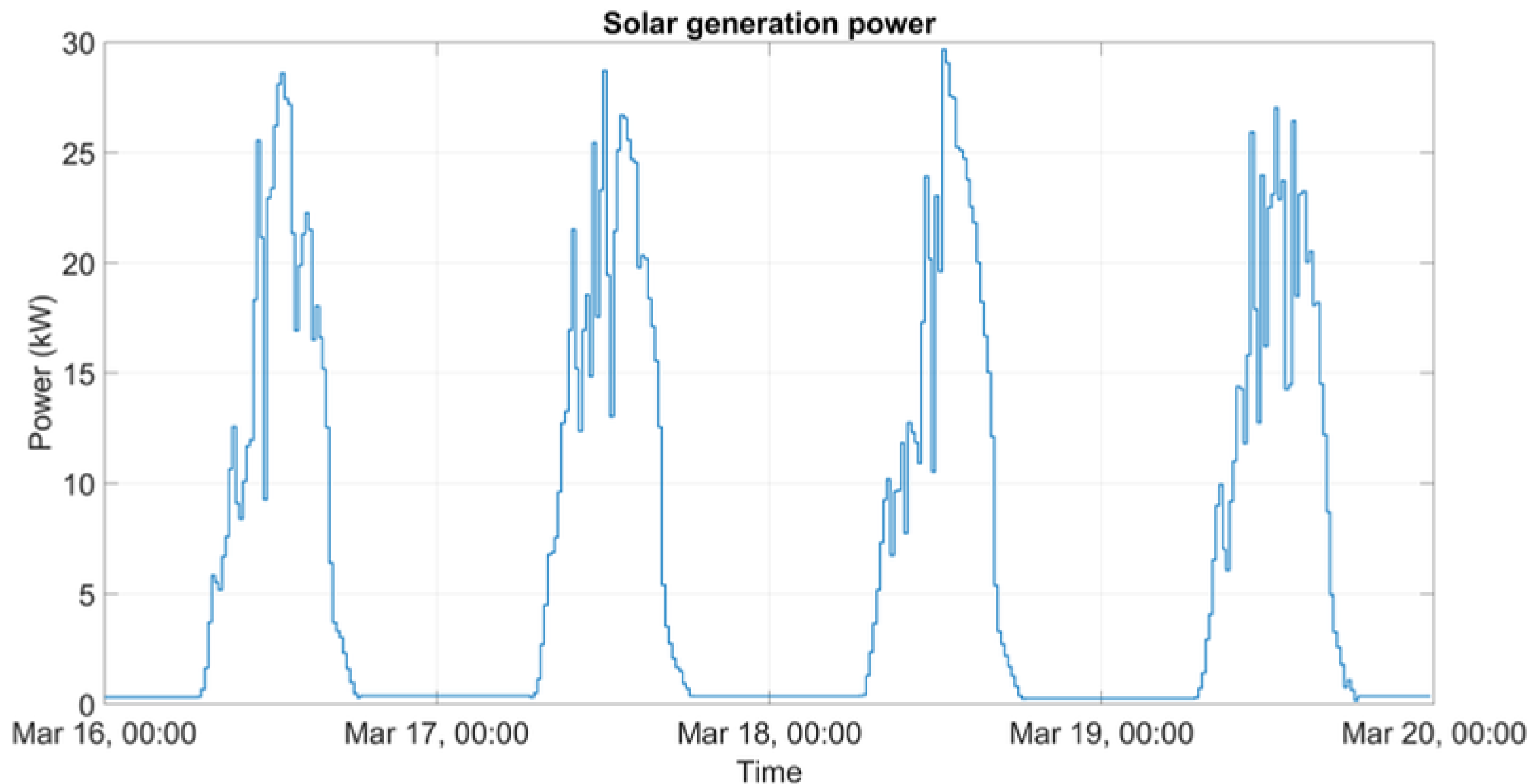


# แผงโซลาร์บนหลังคา (Solar Rooftop)

- แผงโซลาร์ที่เชื่อมต่อกับอาคารบุญรอด มีจำนวนทั้งหมด 49 แผง และมีกำลังการผลิตรวมสูงสุดคือ 8 kW
- แผงโซลาร์ที่จะติดตั้งที่อาคารเกเวอร์ต มีกำลังการผลิตสูงสุดที่ 50 kW
- ข้อมูลกำลังไฟฟ้าที่แผงโซลาร์ผลิตได้ ของอาคารบุญรอด ถูกปรับสเกลให้มีกำลังการผลิตสูงสุดที่ 50 kW เทียบเท่ากับแผงโซลาร์ที่จะติดตั้งที่อาคารเกเวอร์ต



# แผงโซลาร์บนหลังคา (Solar Rooftop)



---

# ปัญหาการคำนวณที่เหมาะสมที่สุดของ EMS

# ปัญหาการคำนวณที่เหมาะสมที่สุดของ EMS

## ตัวแปรตัดสินใจในระบบ EMS

| ตัวแปร                     | นิยาม                                             | หน่วย          |
|----------------------------|---------------------------------------------------|----------------|
| $P_{\text{net}}(t)$        | กำลังไฟฟ้าที่บริโภคหักล้างกับกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ | กิโลวัตต์ (kW) |
| $P_{\text{chg}}^{(i)}(t)$  | กำลังไฟฟ้าที่อัดเข้าสู่แบตเตอรี่ตัวที่ $i$        | กิโลวัตต์ (kW) |
| $P_{\text{dchg}}^{(i)}(t)$ | กำลังไฟฟ้าที่คายออกมาจากแบตเตอรี่ตัวที่ $i$       | กิโลวัตต์ (kW) |
| $\text{SoC}_i(t)$          | สถานะการชาร์จของแบตเตอรี่                         | %              |

# เงื่อนไขบังคับของ EMS

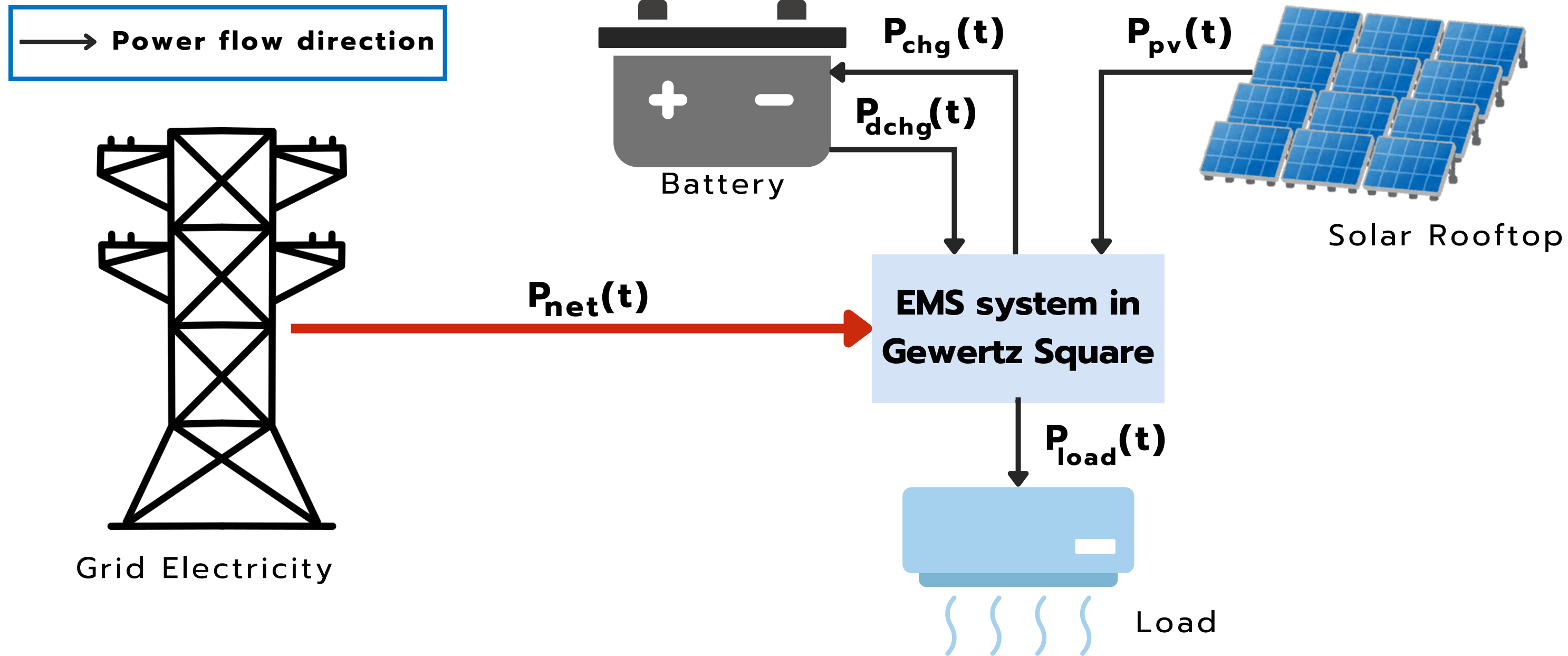
สมการแสดงกำลังไฟฟ้าสุทธิที่ต้องการจากกริด

$$P_{\text{net}}(t) = P_{\text{load}}(t) - P_{\text{pv}}(t) + \sum_{i=1}^n \left( P_{\text{chg}}^{(i)}(t) - P_{\text{dchg}}^{(i)}(t) \right), \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (7)$$

- $P_{\text{net}} > 0$  : ระบบต้องการดึงไฟฟ้าจากกริด
- $P_{\text{net}} < 0$  : ระบบจึงไม่ต้องการดึงไฟฟ้าจากกริดและสามารถขายไฟฟ้าคืนให้กับกริดได้
- $P_{\text{net}} = 0$  : ระบบจึงไม่ต้องการดึงไฟฟ้าจากกริด

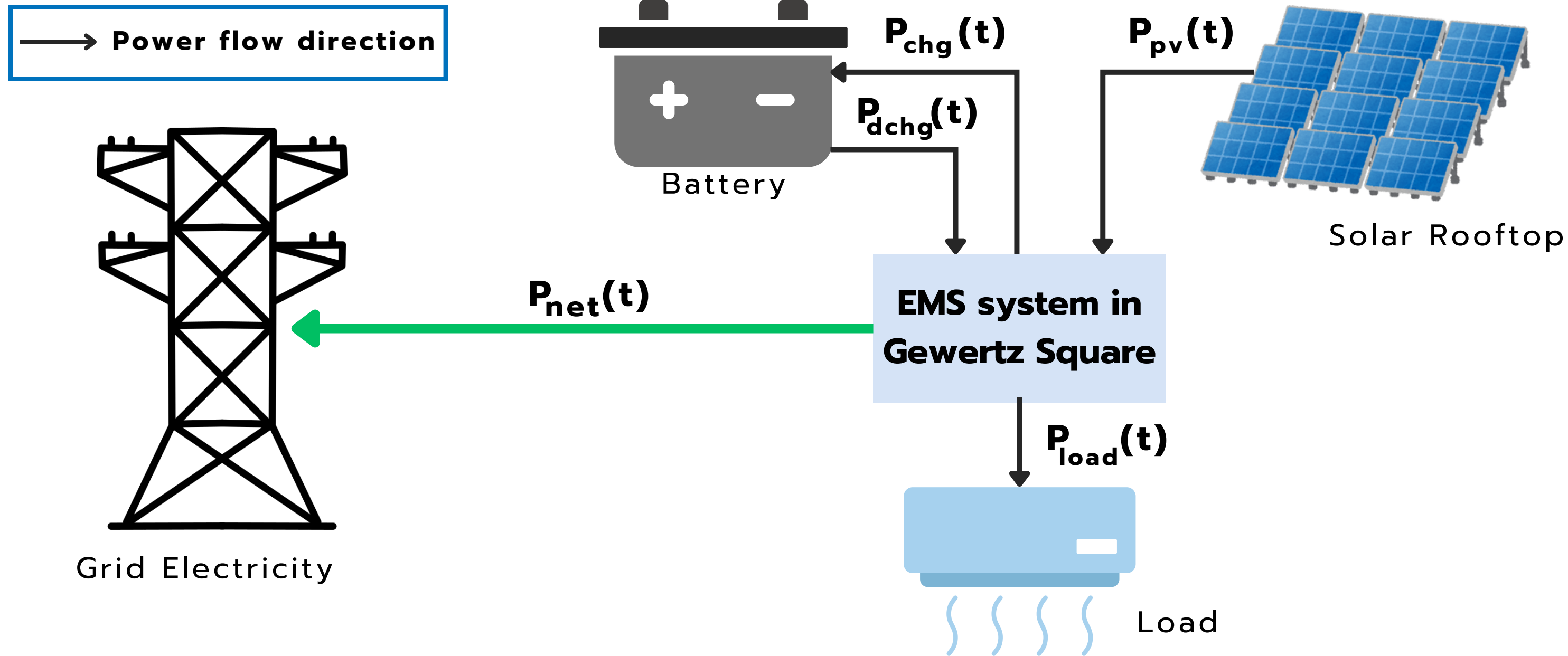
# เงื่อนไขบังคับของ EMS

- $P_{\text{net}} > 0$  : ระบบต้องการดึงไฟฟ้าจากกริด



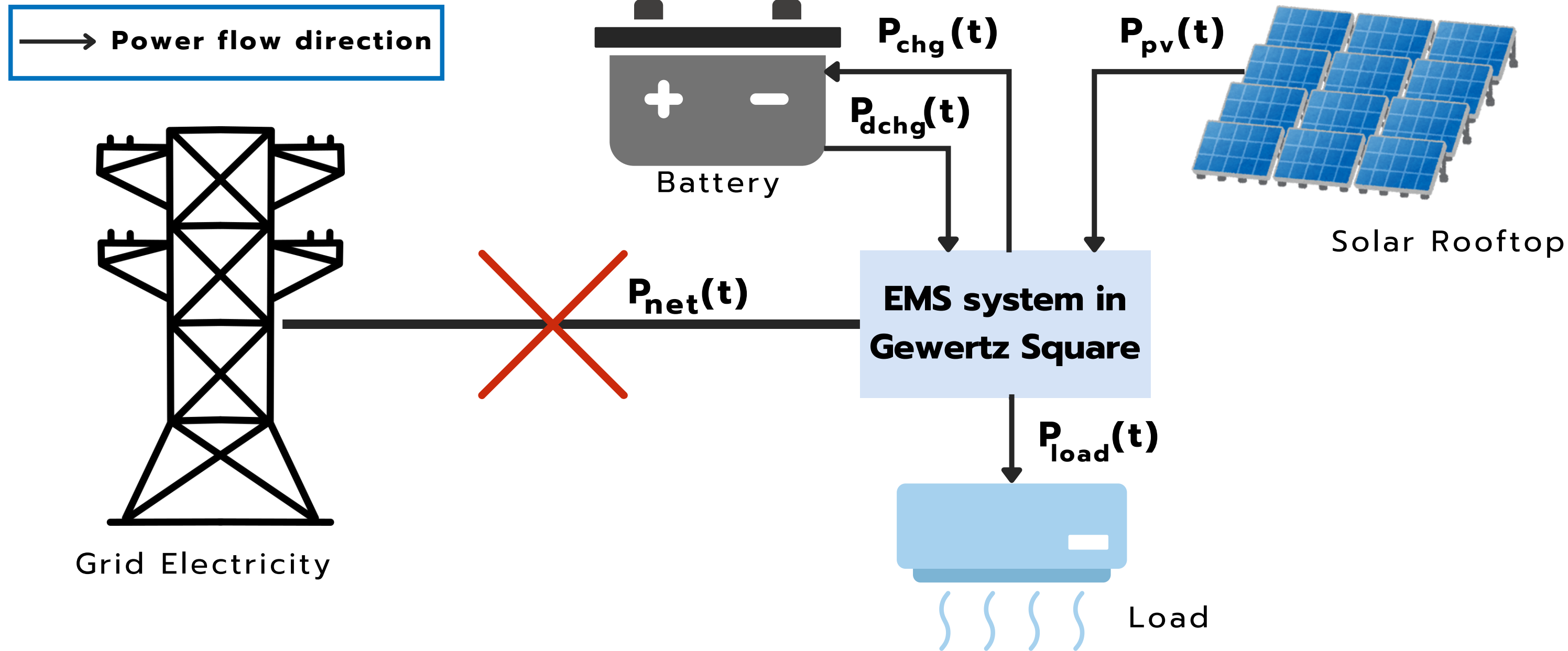
# เงื่อนไขบังคับของ EMS

- $P_{\text{net}} < 0$  : ระบบจึงไม่ต้องการดึงไฟฟ้าจากกริดและสามารถขายไฟฟ้าคืนให้กับกริดได้



# เงื่อนไขบังคับของ EMS

- $P_{\text{net}} = 0$  : ระบบจึงไม่ต้องการดึงไฟฟ้าจากกริด



# เงื่อนไขบังคับของ EMS

---

สมการบรรยายพลวัตสถานะของแบตเตอรี่ (1)

สมการแสดงข้อจำกัดในการอัดและคายประจุของแบตเตอรี่ (2)-(3)

สมการบรรยายข้อจำกัดสถานะของแบตเตอรี่ (4)

สมการแสดงข้อจำกัดสถานะการชาร์จ ณ ปลายวัน (5)

# ฟังก์ชันจุดประสงค์ของ EMS

ฟังก์ชันการประหยัดค่าไฟของ EMS

ฟังก์ชันจุดประสงค์ของแบตเตอรี่

minimize  $J_{\text{cost}} + w_m J_{\text{multibatt}} + w_s J_{\text{smooth charge}} + w_c J_{\text{charge batt}}$   
 subject to  
 Power balance constraints (7)  
 Battery dynamic (1)  
 Battery charge/discharge constraints  
 Battery's terminal SOC (5)  
 Battery's SOC constraint (4)

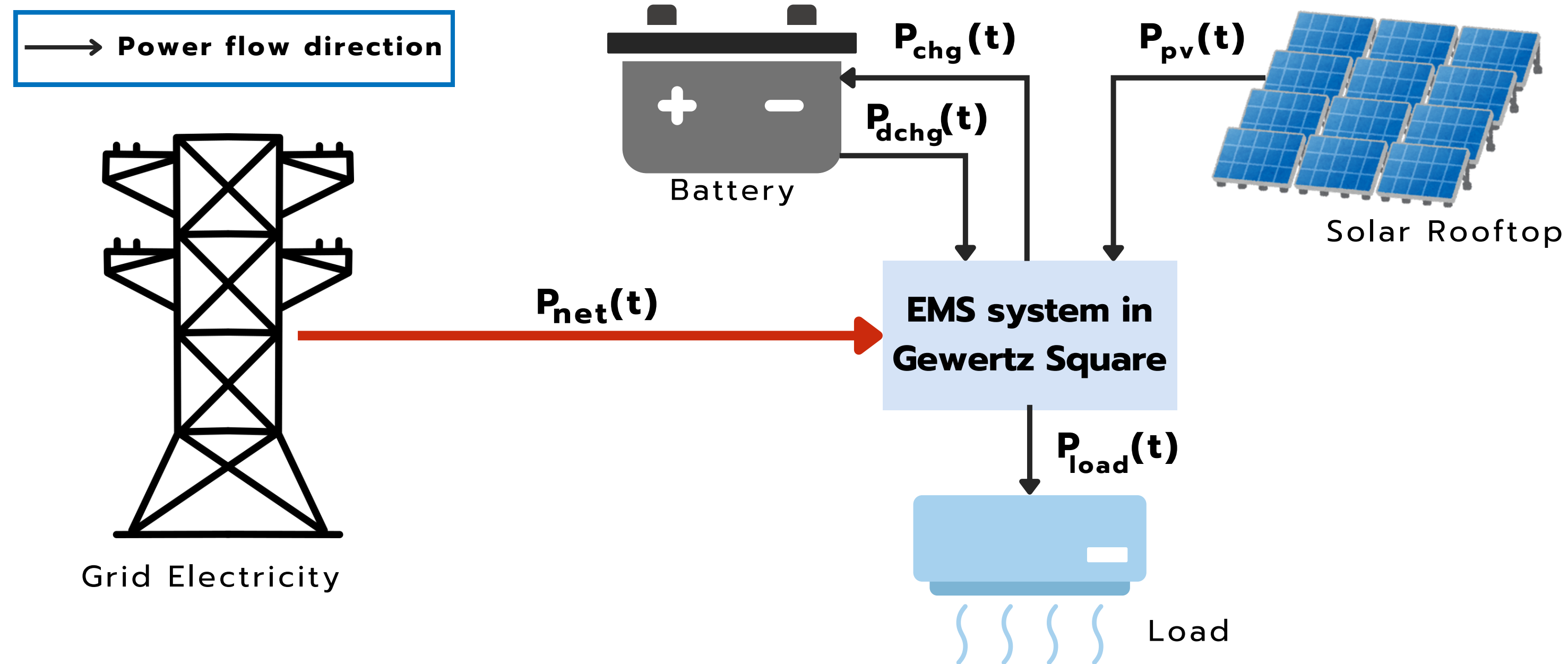
# ฟังก์ชันการประหยัดค่าไฟของ EMS

---

- พลังงานไฟฟ้าที่ดึงจากกริด (Energy Unit)
- ค่าไฟที่ต้องจ่ายเมื่อดึงพลังงานจากกริด (Energy Cost)
- กำไรที่ได้จากการซื้อและขายไฟจากกริด (Profit)

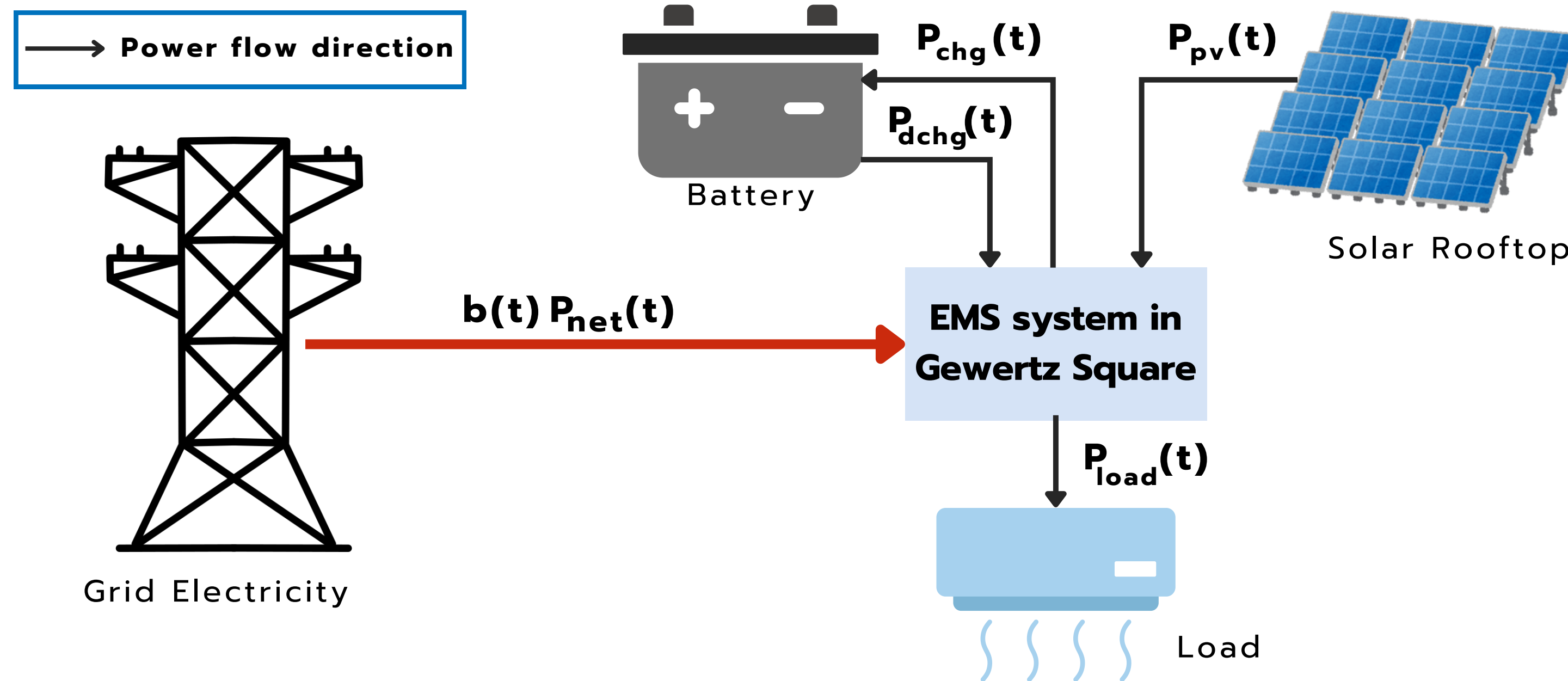
# ฟังก์ชันการประหยัดค่าไฟของ EMS

- พลังงานไฟฟ้าที่ดึงจากกริด (Energy Unit)



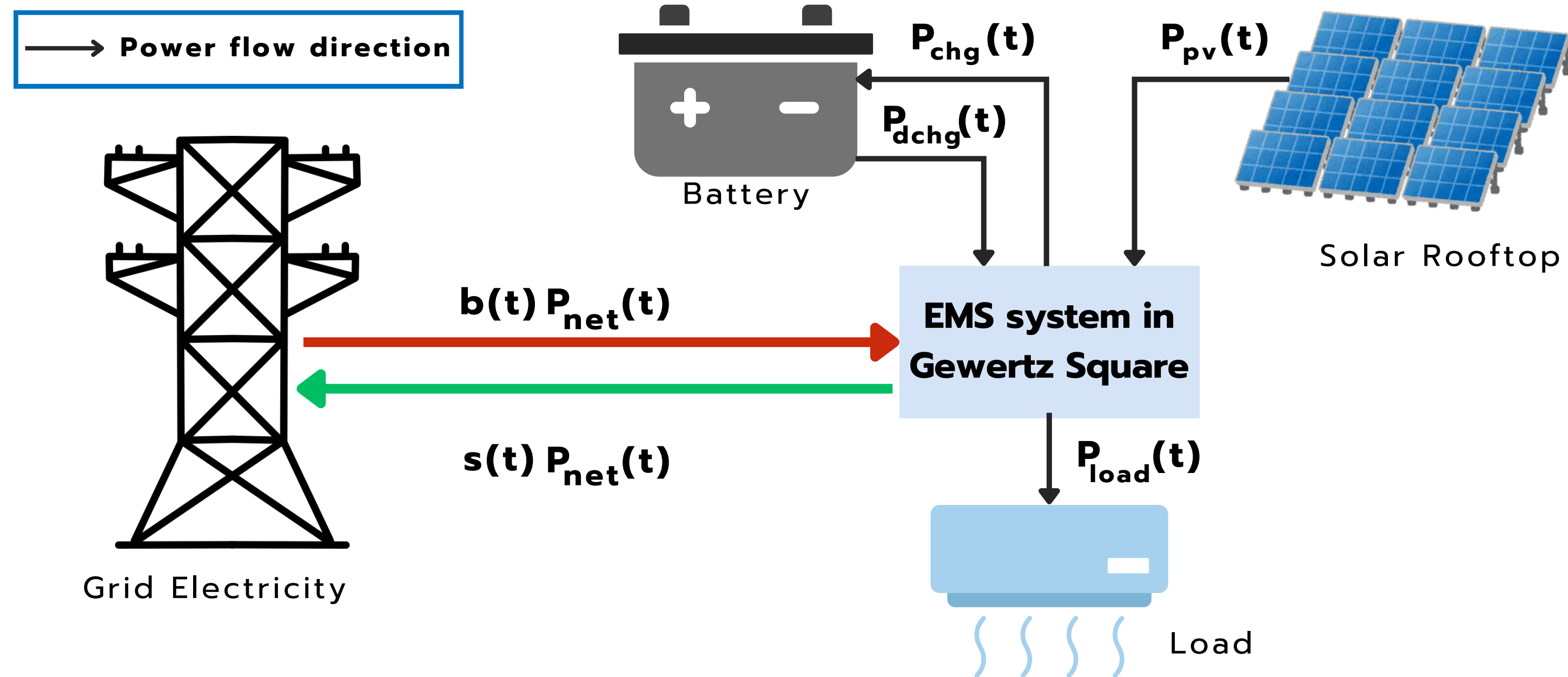
# ฟังก์ชันการประหยัดค่าไฟของ EMS

- ค่าไฟที่ต้องจ่ายเมื่อดึงพลังงานจากกริด (Energy Cost)



# ฟังก์ชันการประหยัดค่าไฟของ EMS

- กำไรที่ได้จากการซื้อและขายไฟจากกริด (Profit)



# ฟังก์ชันจุดประสงค์ของแบตเตอรี่

---

- การชาร์จแบตเตอรี่ให้มีรูปแบบปรับเรียบ (smooth charging)
- การชาร์จแบตเตอรี่หลายลูกให้ทำงานคล้ายกัน (managing multiple batteries)
- การส่งเสริมการชาร์จแบตเตอรี่ (encouragement to charge battery)

# ปัญหาการคำนวณที่เหมาะสมที่สุดของ EMS

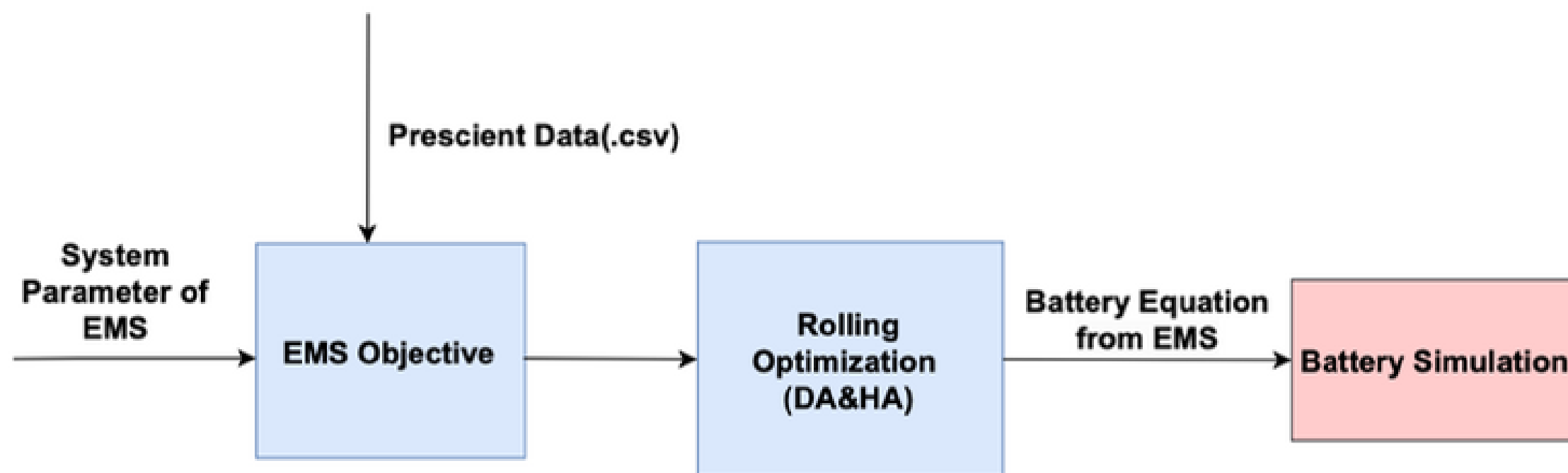
minimize  $J_{\text{cost}} + w_m J_{\text{multibatt}} + w_s J_{\text{smooth charge}} + w_c J_{\text{charge batt}}$   
 subject to  
 Power balance constraints (7)  
 Battery dynamic (1)  
 Battery charge/discharge constraints  
 Battery's terminal SOC (5)  
 Battery's SOC constraint (4)

**สามารถจัดให้อยู่ในรูปของโปรแกรมเชิงเส้นได้**

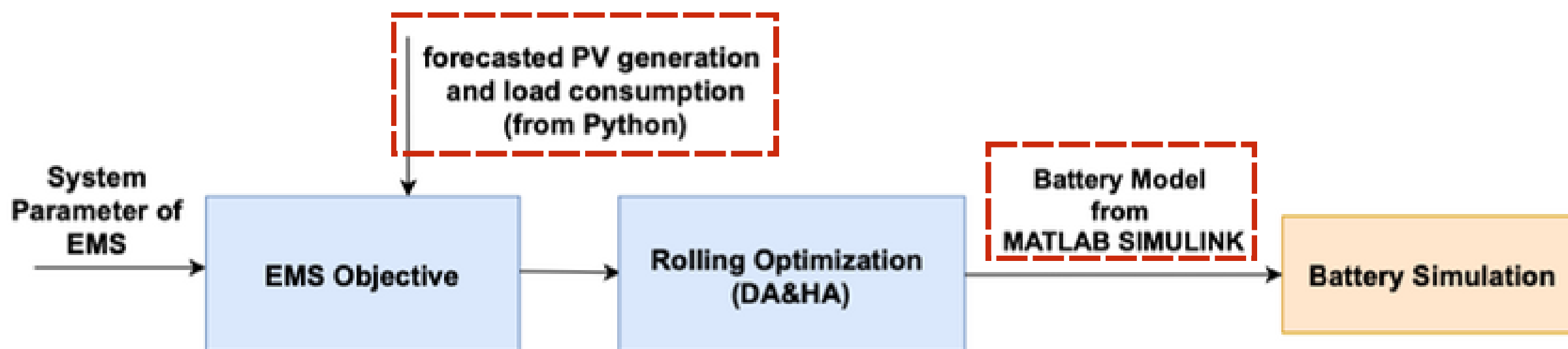
# แนวทางการดำเนินงาน

# แนวทางการดำเนินงาน

2102490



2102499



**ผลลัพธ์จากการดำเนินการเบื้องต้น**

# ผลลัพธ์จากการดำเนินการเบื้องต้น

---

1. การเตรียมข้อมูล
2. การหาค่าเหมาะที่สุดด้วยเทคนิค LP เทียบกับ MILP
3. พังค์ชันวัตถุประสงค์และข้อจำกัดของแบบเตอรี
4. การหาค่าเหมาะที่สุดแบบเลื่อนแกน (Rolling optimization)

---

# การเตรียมข้อมูล

# การเตรียมข้อมูล

---

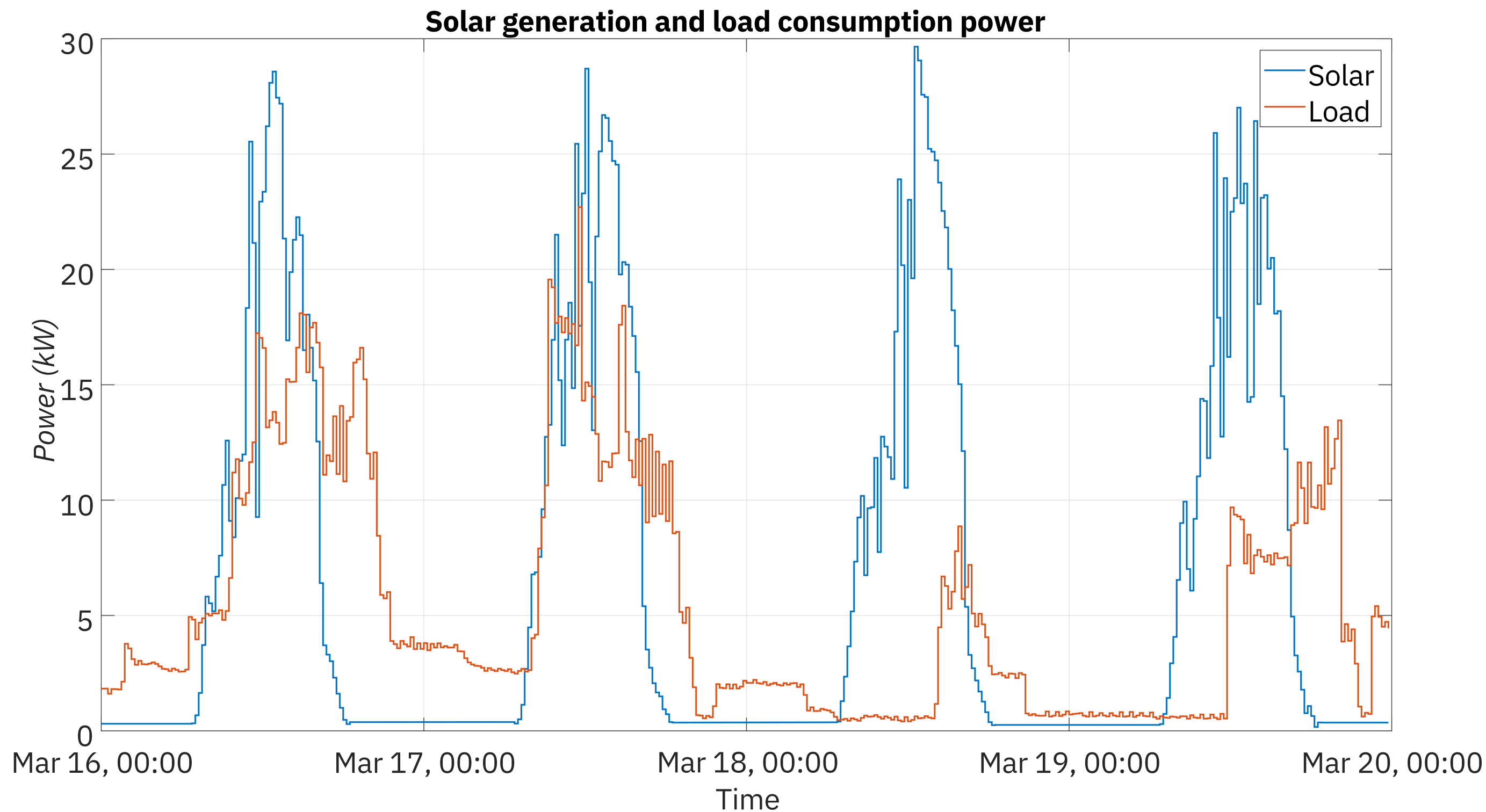
## 1. ข้อมูลโหลด

- ข้อมูลได้มาจากแพลตฟอร์ม CUBEM และมีเตอร์ของ รศ. ดร. สุรพงศ์ สุวรรณกวี
- ข้อมูลถูกปรับความละเอียดให้เป็น 15 นาที

## 2. ข้อมูลกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ของแผงโซลาร์

- ข้อมูลได้มาจากแพลตฟอร์ม CUEE และมีเตอร์ของ รศ. ดร. สุรพงศ์ สุวรรณกวี
- ข้อมูลถูกปรับความละเอียดให้เป็น 15 นาที
- แผงโซลาร์ปัจจุบันมีกำลังการผลิตสูงสุดที่ 8 kW แต่แผงโซลาร์ใหม่มีกำลังการผลิตได้สูงสุดถึง 50 kW จึงได้ปรับสเกลข้อมูลให้สอดคล้องกับกำลังการผลิตใหม่

# การเตรียมข้อมูล



# การเตรียมข้อมูล

---

## 3. แบตเตอรี่

- ทีมวิจัย CEPT วางแผนจัดซื้อแบตเตอรี่จำนวน 2 ลูก



แบตเตอรี่ Jinko ความจุ 215 kWh

<https://jinkosolarenergystorage.com.au/product/jks-215klaa-100plaa/>

# การเตรียมข้อมูล

## 4. ข้อมูลราคาซื้อและขายค่าไฟฟ้า

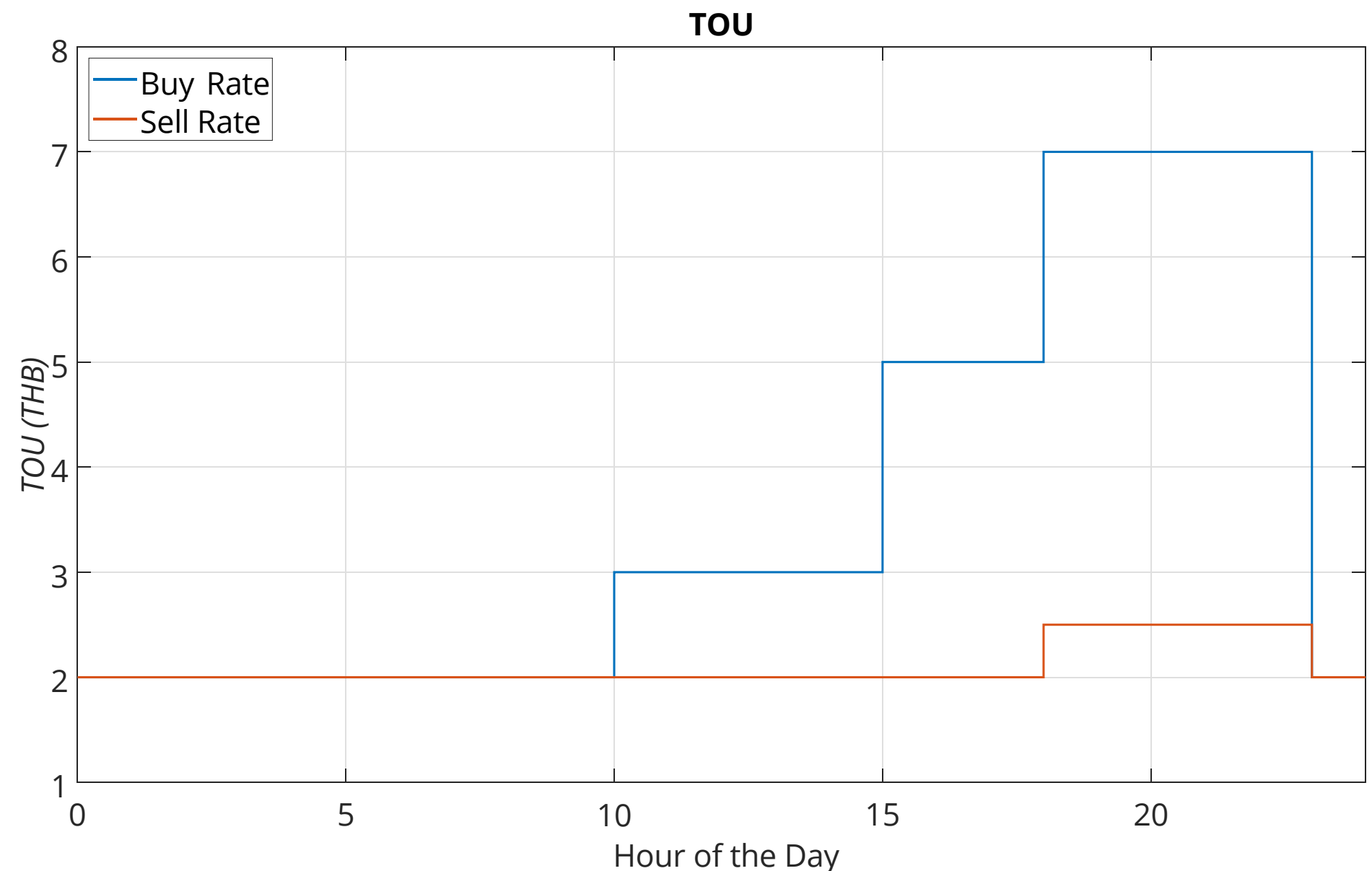
- ข้อมูลราคาซื้อและขายค่าไฟฟ้าถูกออกแบบให้เปลี่ยนแปลงตามเวลา (TOU)

- ราคาซื้อค่าไฟฟ้า:

- เวลา 22:00 - 10:00 น. ราคา 2 บาท
- เวลา 10:00 - 14:00 น. ราคา 3 บาท
- เวลา 14:00 - 18:00 น. ราคา 5 บาท
- เวลา 18:00 - 22:00 น. ราคา 7 บาท

- ราคาขายค่าไฟฟ้า:

- เวลา 22:00 - 18:00 น. ราคา 2 บาท
- เวลา 18:00 - 22:00 น. ราคา 2.5 บาท



---

# การหาค่าเหมาะที่สุดด้วยเทคนิค LP เทียบกับ MILP

# การหาค่าเหมาะที่สุดด้วยเทคนิค LP เทียบกับ MILP

- ในโครงการปี 2566 มีตัวแปรที่เป็นตัวแปรฐานสอง (binary)

$$P_{\text{chg}}(t) \leq x_{\text{dchg}}(t) \cdot \text{MAX CHARGE RATE} \quad (17)$$

$$P_{\text{dchg}}(t) \leq x_{\text{chg}}(t) \cdot \text{MAX DISCHARGE RATE} \quad (18)$$

$$0 \leq x_{\text{chg}}(t) + x_{\text{dchg}}(t) \leq 1 \quad \text{เมื่อ} \quad x_{\text{chg}}(t), x_{\text{dchg}}(t) \in \{0, 1\} \quad (19)$$

**MILP**

**LP**

**Pchg และ Pdchg > 0 kW  
พร้อมกัน ???**

$$P_{\text{chg}}^{(i)}(t) \leq \text{MAX CHARGE RATE}, \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (2)$$

$$i = 1, 2, \dots, N_{\text{Batt}}$$

$$P_{\text{dchg}}^{(i)}(t) \leq \text{MAX DISCHARGE RATE}, \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (3)$$

$$i = 1, 2, \dots, N_{\text{Batt}}$$

# การหาค่าเหมาะที่สุดด้วยเทคนิค LP เทียบกับ MILP

- จากการทดลองพบว่า ผลเฉลยของ Pchg และ Pdchg ไม่เคยมีค่ามากกว่า 0 kW พร้อมกันเลย

สมการบรรยายพลวัตสถานะของแบตเตอรี่

$$\text{SoC}_i(t+1) = \text{SoC}_i(t) + \frac{100}{\text{BattCapacity}} \left( \eta_c P_{\text{chg}}^{(i)}(t) \Delta t - \frac{P_{\text{dchg}}^{(i)}(t) \Delta t}{\eta_d} \right) \quad (1)$$

สมการแสดงกำลังไฟฟ้าสุทธิที่ต้องการจากกริด

$$P_{\text{net}}(t) = P_{\text{load}}(t) - P_{\text{pv}}(t) + \sum_{i=1}^n \left( P_{\text{chg}}^{(i)}(t) - P_{\text{dchg}}^{(i)}(t) \right), \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (7)$$

ฟังก์ชันจุดประสงค์การประหยัดค่าไฟของ EMS

$$J_{\text{cost}} = \text{Energy unit} = \sum_{t=1}^T \max(0, P_{\text{net}}(t)) \Delta t \quad (12)$$

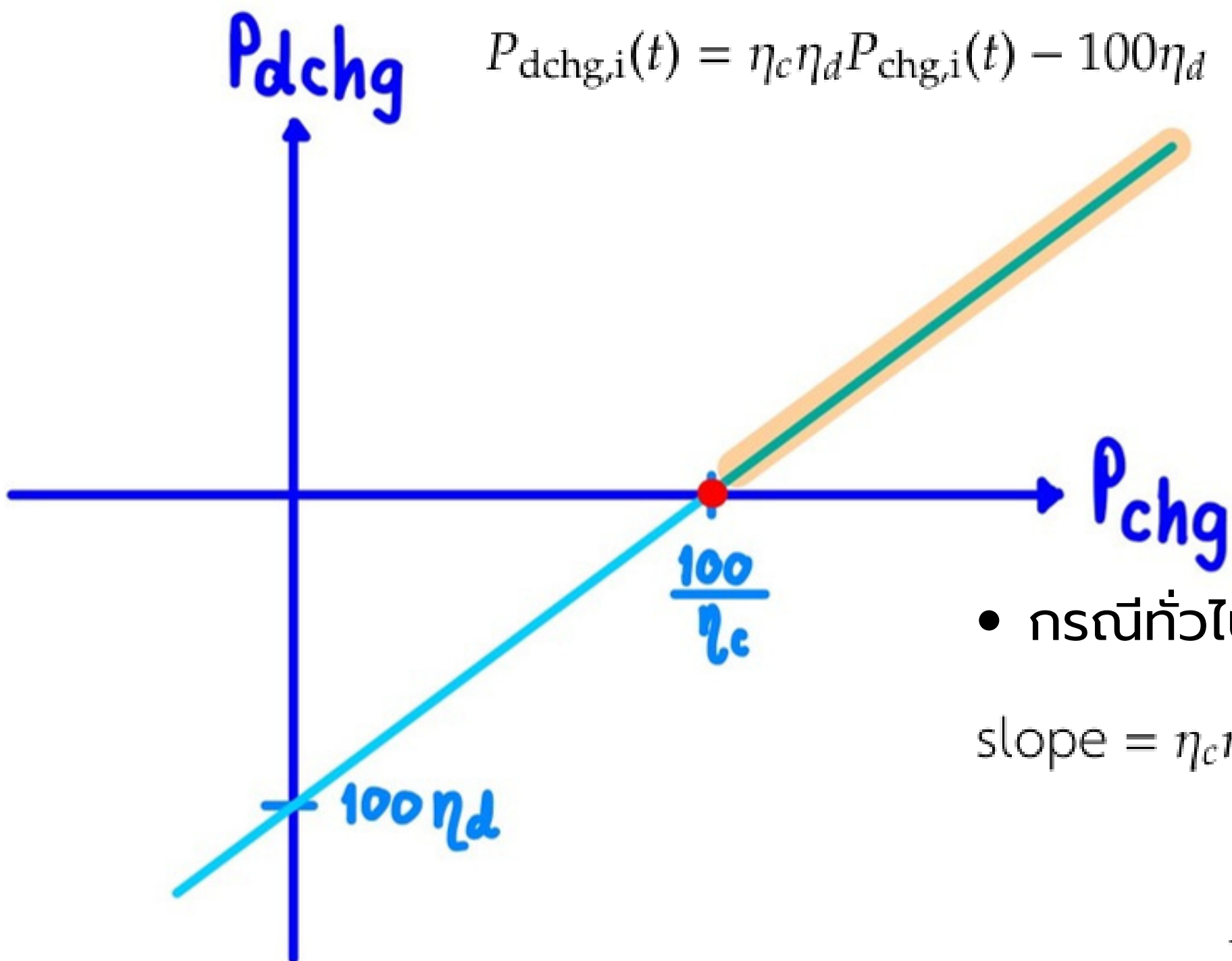
# การหาค่าเหมาะที่สุดด้วยเทคนิค LP เทียบกับ MILP

- การทดลองพบว่าค่า  $P_{net}$  ที่ต่ำที่สุด มาจากการกรณีที่  $P_{chg}$  และ  $P_{dchg}$  ไม่เคยมีค่ามากกว่า 0 kW พร้อมกันเลย
- การพิสูจน์ว่า  $P_{chg}$  และ  $P_{dchg}$  ไม่เคยมีค่ามากกว่า 0 kW พร้อมกันเลย กำหนดให้  $\Delta SoC$  มีค่าเท่ากัน,  $\eta_c = 0.95$ , และ  $\eta_d = 0.9$

$$\frac{\Delta SoC_i \cdot BattCapacity}{100\Delta t} = \eta_c P_{chg,i}(t) - \frac{P_{dchg,i}(t)}{\eta_d}$$

100

# การหาค่าเหมาะที่สุดด้วยเทคนิค LP เทียบกับ MILP



- กรณีที่กำหนดให้  $P_{dchg} = 0$  kW
  - คำนวณได้ค่า  $P_{chg} = 105$  kW
  - $P_{net} = \text{Net Load} + 105$  kW
- กรณีที่กำหนดให้  $P_{dchg} = 50$  kW
  - คำนวณได้ค่า  $P_{chg} = 165$  kW
  - $P_{net} = \text{Net Load} + 115$  kW

• กรณีทั่วไป

$$\text{slope} = \eta_c \eta_d = \frac{P_{dchg}}{P_{chg} - \frac{100}{\eta_c}} \longrightarrow P_{dchg} = \eta_c \eta_d \left( P_{chg} - \frac{100}{\eta_c} \right)$$

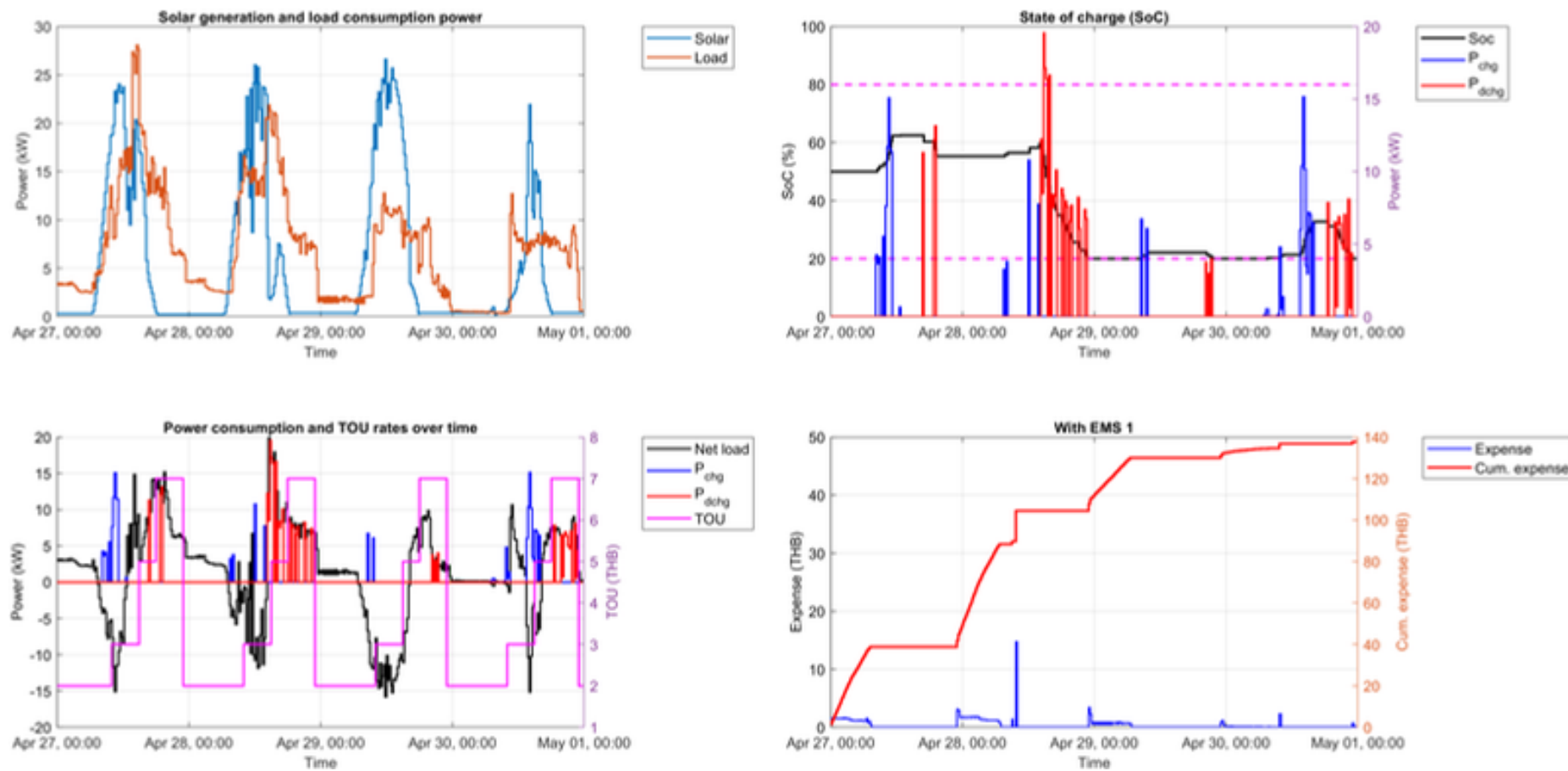
$$P_{net} = \text{Net Load} + \frac{100}{\eta_c} + \boxed{(1 - \eta_c \eta_d) P_{chg}} > 0 \text{ เสมอ}$$

# การหาค่าเหมาะที่สุดด้วยเทคนิค LP เทียบกับ MILP

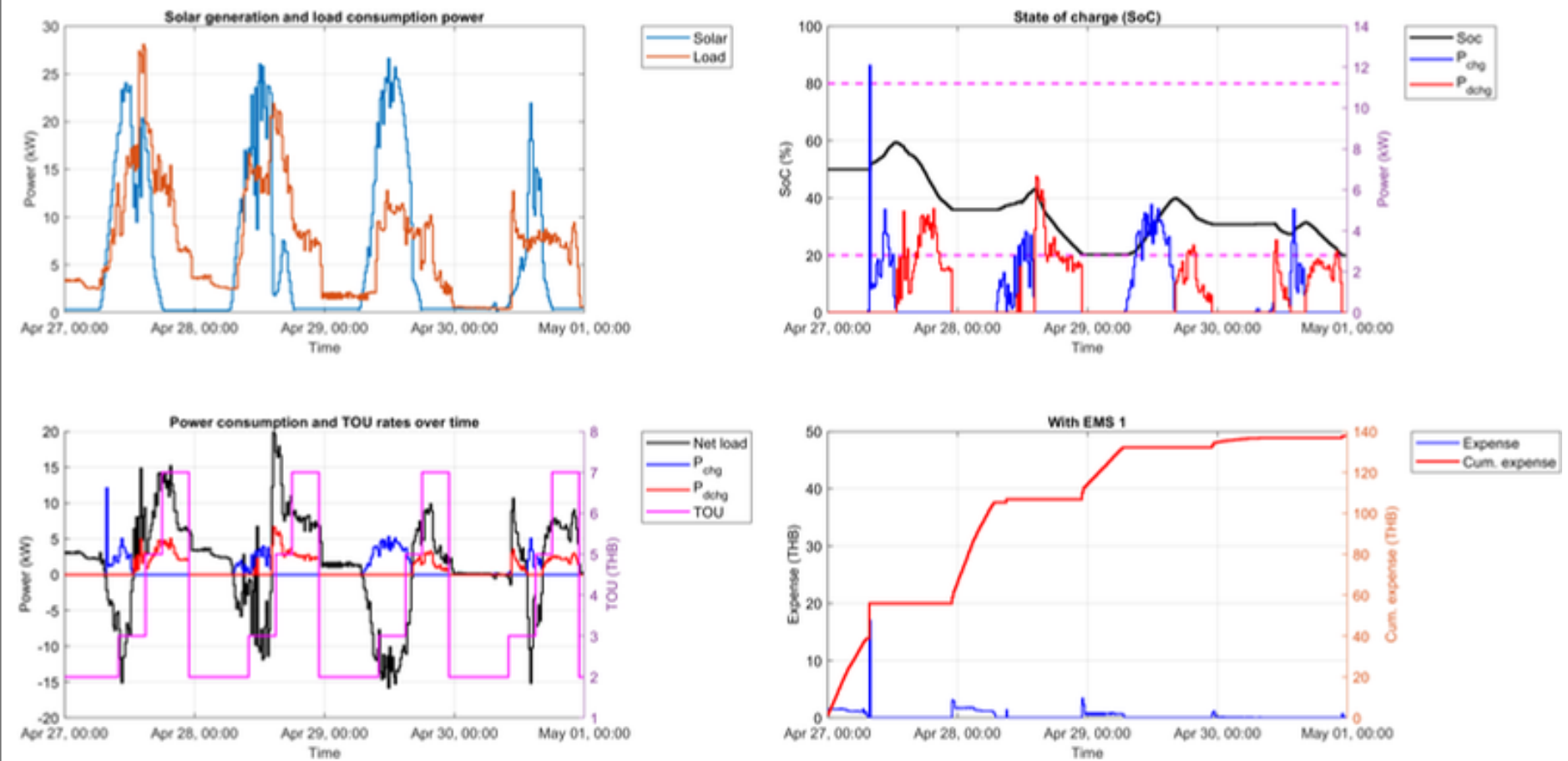
- วัตถุประสงค์ คือ วิเคราะห์ผลเฉลยและค่าไฟฟ้ารวมของปัญหาแบบ LP และ MILP

| พารามิเตอร์              | ค่า                 | หน่วย |
|--------------------------|---------------------|-------|
| $\eta_c$                 | 0.95                | -     |
| $\eta_d$                 | $0.95 * 0.93$       | -     |
| อัตราการชาร์จประจุสูงสุด | 200                 | kW    |
| อัตราการคายประจุสูงสุด   | 200                 | kW    |
| ความจุแบตเตอรี่          | 430                 | kWh   |
| SoC(1)                   | 50                  | %     |
| SoC <sub>min</sub>       | 20                  | %     |
| SoC <sub>max</sub>       | 80                  | %     |
| ค่าปลาย SoC              | 0                   | %     |
| แรงดันไฟฟ้ามาตรฐาน       | $\frac{672+864}{2}$ | V     |
| จำนวนแบตเตอรี่           | 1                   | ลูก   |
| $w_s$                    | 0                   | -     |
| $w_m$                    | 0                   | -     |
| $w_c$                    | 0                   | -     |

# การหาค่าเหมาะที่สุดด้วยเทคนิค LP เทียบกับ MILP



**MILP**



**LP**

บทนำ    หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง    แนวทางการดำเนินงาน    ผลลัพธ์จากการดำเนินการเบื้องต้น    บทสรุป

---

# ฟังก์ชันวัตถุประสงค์และข้อจำกัดของแบบเตอรี

# ฟังก์ชันวัตถุประสงค์และข้อจำกัดของแบตเตอรี่

---

1. การชาร์จแบตเตอรี่ให้มีรูปแบบปรับเรียบ (Smooth charging)
2. การชาร์จแบตเตอรี่หลายลูกให้ทำงานคล้ายกัน (Multi battery)
3. การส่งเสริมการชาร์จแบตเตอรี่ (Encourage charge)
4. การเพิ่มข้อจำกัดของสถานะการชาร์จ ณ ปลายวัน (SoC terminal)

# Smooth charging

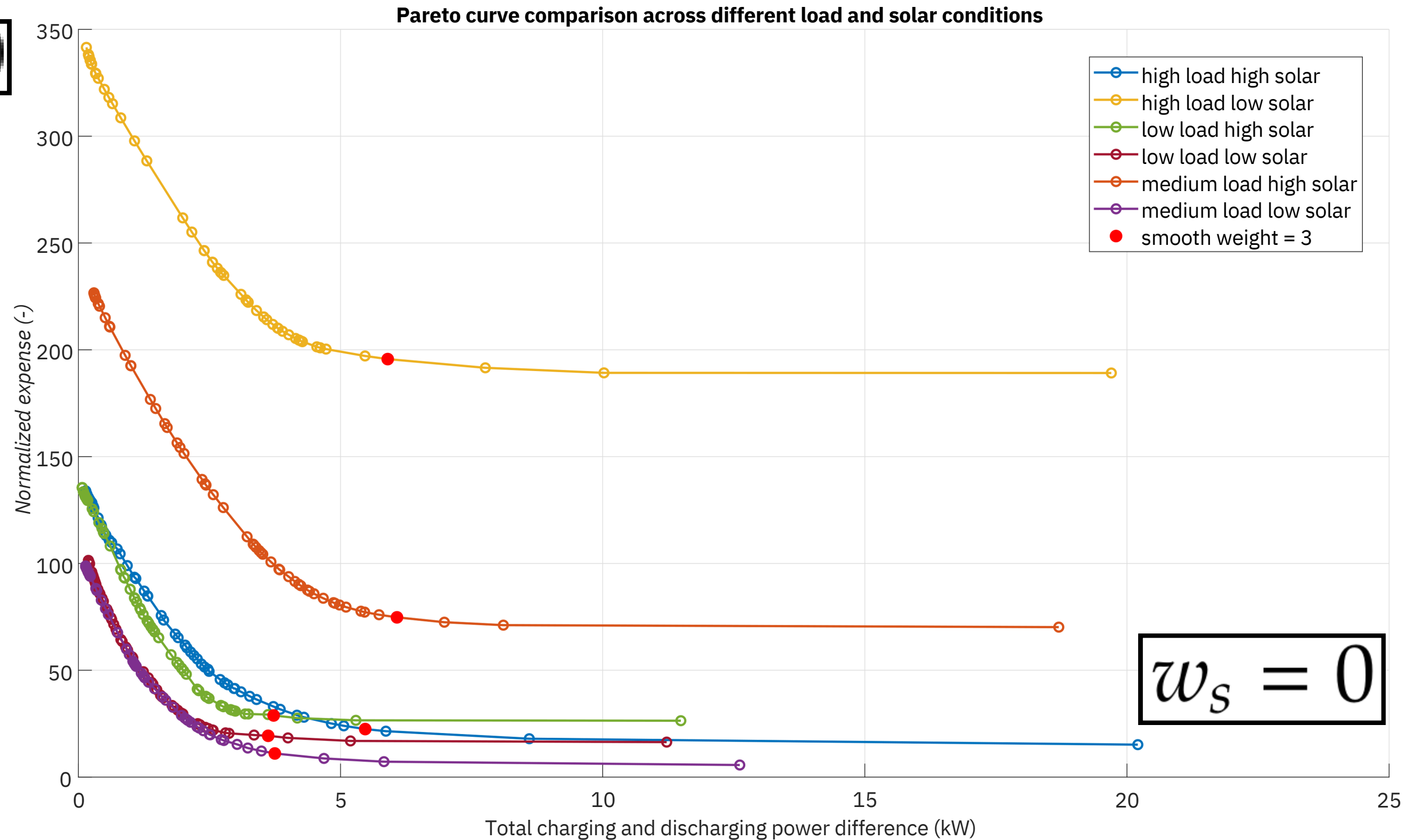
- วัตถุประสงค์ คือ หาค่าถ่วงน้ำหนักของการชาร์จแบตเตอรี่ให้มีรูปแบบปรับเรียบที่เหมาะสม

minimize  $J_{\text{cost}} + w_s J_{\text{smooth charge}}$   
 subject to Power balance constraints (7)  
 Battery dynamic (1)  
 Battery charge/discharge constraints (2) - (3)  
 Battery's SOC constraint (4)

| พารามิเตอร์              | ค่า                 | หน่วย |
|--------------------------|---------------------|-------|
| $\eta_c$                 | 0.95                | -     |
| $\eta_d$                 | $0.95 * 0.93$       | -     |
| อัตราการชาร์จประจุสูงสุด | 200                 | kW    |
| อัตราการคายประจุสูงสุด   | 200                 | kW    |
| ความจุแบตเตอรี่          | 430                 | kWh   |
| SoC(1)                   | 50                  | %     |
| SoC <sub>min</sub>       | 20                  | %     |
| SoC <sub>max</sub>       | 80                  | %     |
| ค่าปลาย SoC              | 0                   | %     |
| แรงดันไฟฟ้ามาตรฐาน       | $\frac{672+864}{2}$ | V     |
| จำนวนแบตเตอรี่           | 1                   | ลูก   |
| $w_s$                    | 0 ถึง 100           | -     |
| $w_m$                    | 0                   | -     |
| $w_c$                    | 0                   | -     |

# Smooth charging

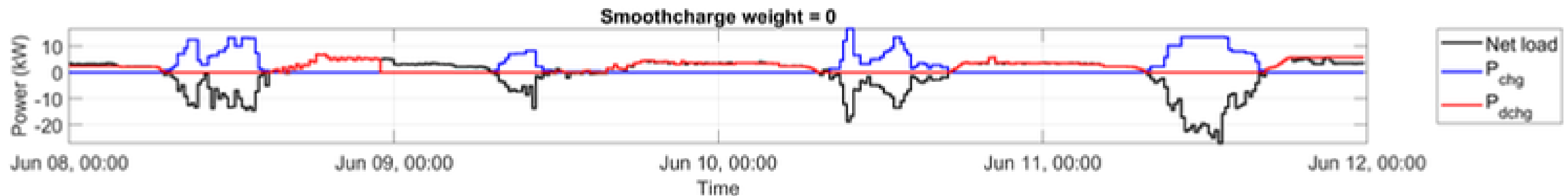
$$w_s = 100$$



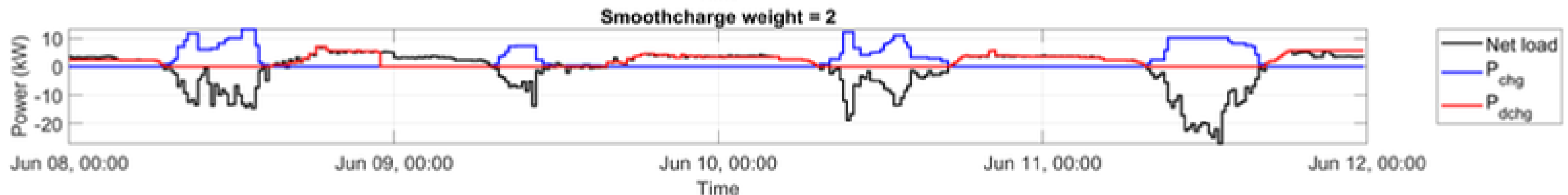
$$w_s = 0$$

# Smooth charging

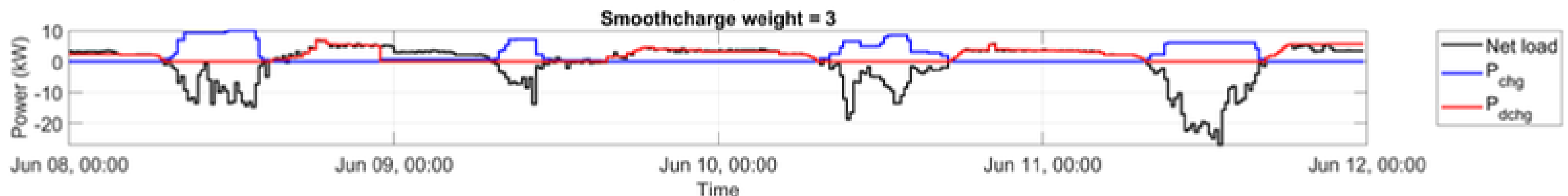
$$w_s = 0$$



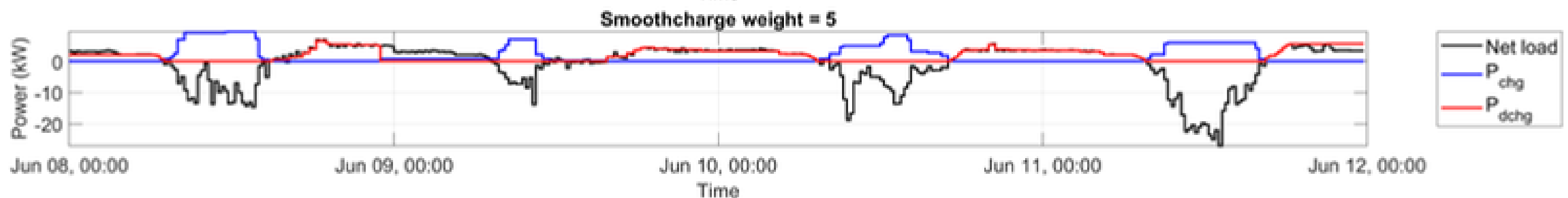
$$w_s = 2$$



$$w_s = 3$$



$$w_s = 5$$



บทนำ หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง แนวทางการดำเนินงาน ผลลัพธ์จากการดำเนินการเบื้องต้น บทสรุป

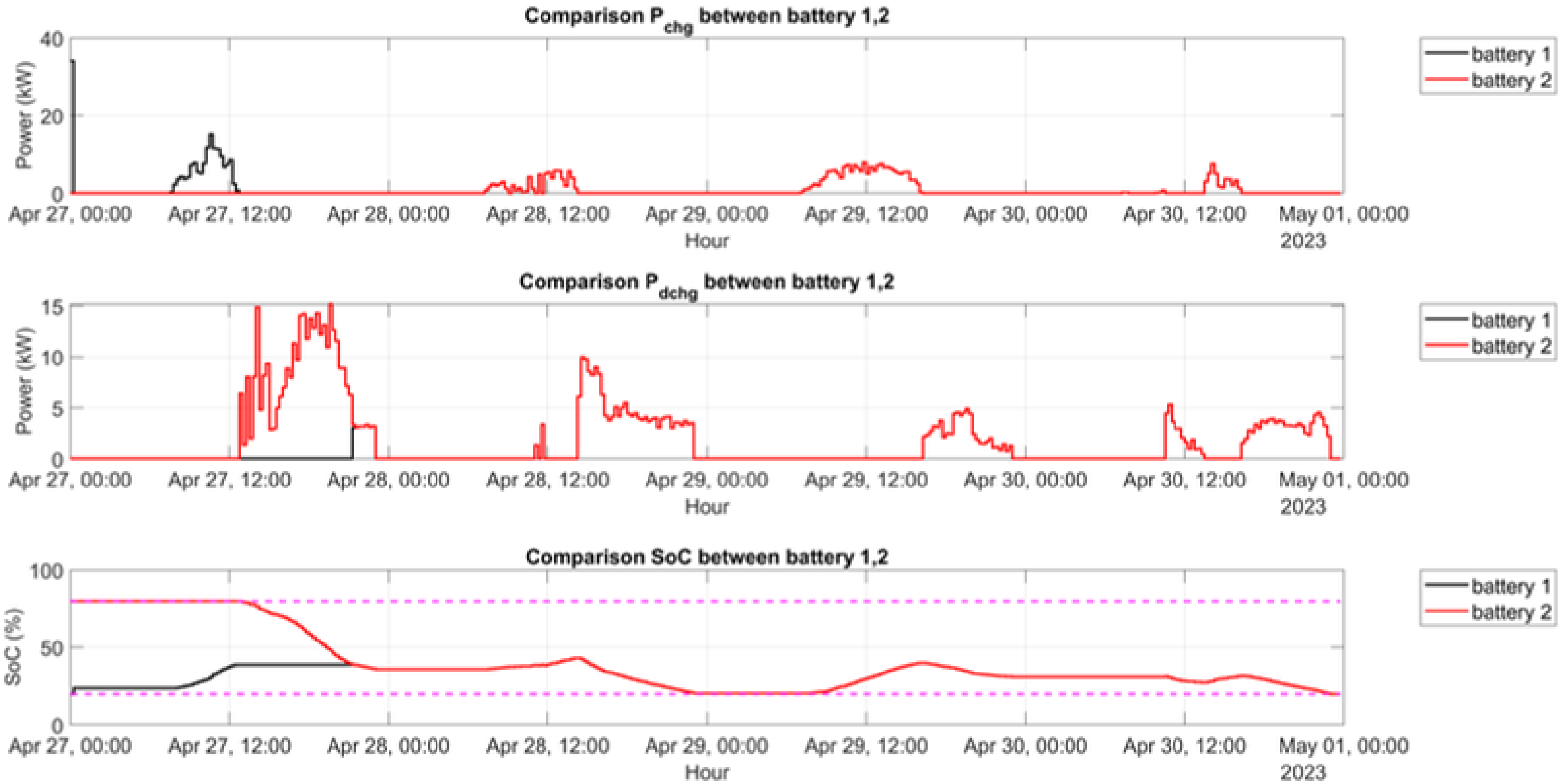
# Multi battery

- วัตถุประสงค์ คือ หาค่าถ่วงน้ำหนักของการชาร์จแบตเตอรี่หลายลูกให้ทำงานคล้ายกันที่เหมาะสม

minimize  $J_{\text{cost}} + w_m J_{\text{multibatt}}$   
 subject to Power balance constraints (7)  
 Battery dynamic (1)  
 Battery charge/discharge constraints (2) - (3)  
 Battery's SOC constraint (4)

| พารามิเตอร์              | ค่า                 | หน่วย |
|--------------------------|---------------------|-------|
| $\eta_c$                 | 0.95                | -     |
| $\eta_d$                 | $0.95 * 0.93$       | -     |
| อัตราการชาร์จประจุสูงสุด | 100                 | kW    |
| อัตราการคายประจุสูงสุด   | 100                 | kW    |
| ความจุแบตเตอรี่          | 215                 | kWh   |
| $\text{SoC}_1(1)$        | 20                  | %     |
| $\text{SoC}_2(1)$        | 80                  | %     |
| $\text{SoC}_{\min}$      | 20                  | %     |
| $\text{SoC}_{\max}$      | 80                  | %     |
| ค่าปลาย SoC              | 0                   | %     |
| แรงดันไฟฟ้ามาตรฐาน       | $\frac{672+864}{2}$ | V     |
| จำนวนแบตเตอรี่           | 2                   | ลูก   |
| $w_s$                    | 0                   | -     |
| $w_m$                    | $10^{-4}$           | -     |
| $w_c$                    | 0                   | -     |

# Multi battery



---

# การหาค่าเหมาะที่สุดแบบเลื่อนแกน (Rolling optimization)

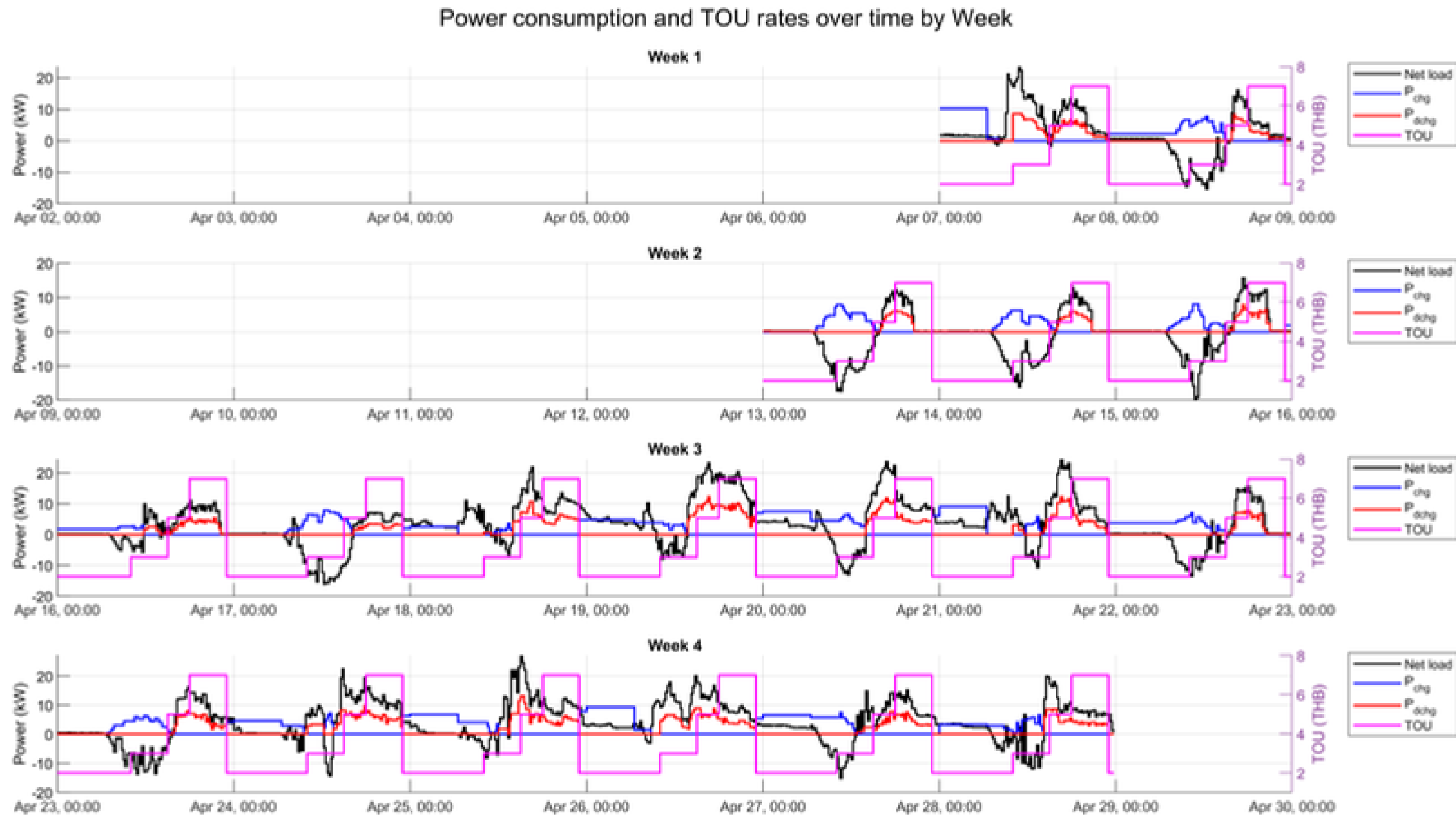
# Rolling optimization

- วัตถุประสงค์ คือ เปรียบเทียบค่าไฟฟ้ารวมระหว่างไม่ใช้และใช้ EMS และเปรียบเทียบค่าไฟฟ้ารวมระหว่างไม่มีและมีข้อจำกัดของสถานะการชาร์จ ณ ปลายวัน

minimize  $J_{\text{cost}} + w_m J_{\text{multibatt}} + w_s J_{\text{smooth charge}} + w_c J_{\text{charge batt}}$   
 subject to Power balance constraints (7)  
 Battery dynamic (1)  
 Battery charge/discharge constraints (2) - (3)  
 Battery's terminal SOC (5)  
 Battery's SOC constraint (4)

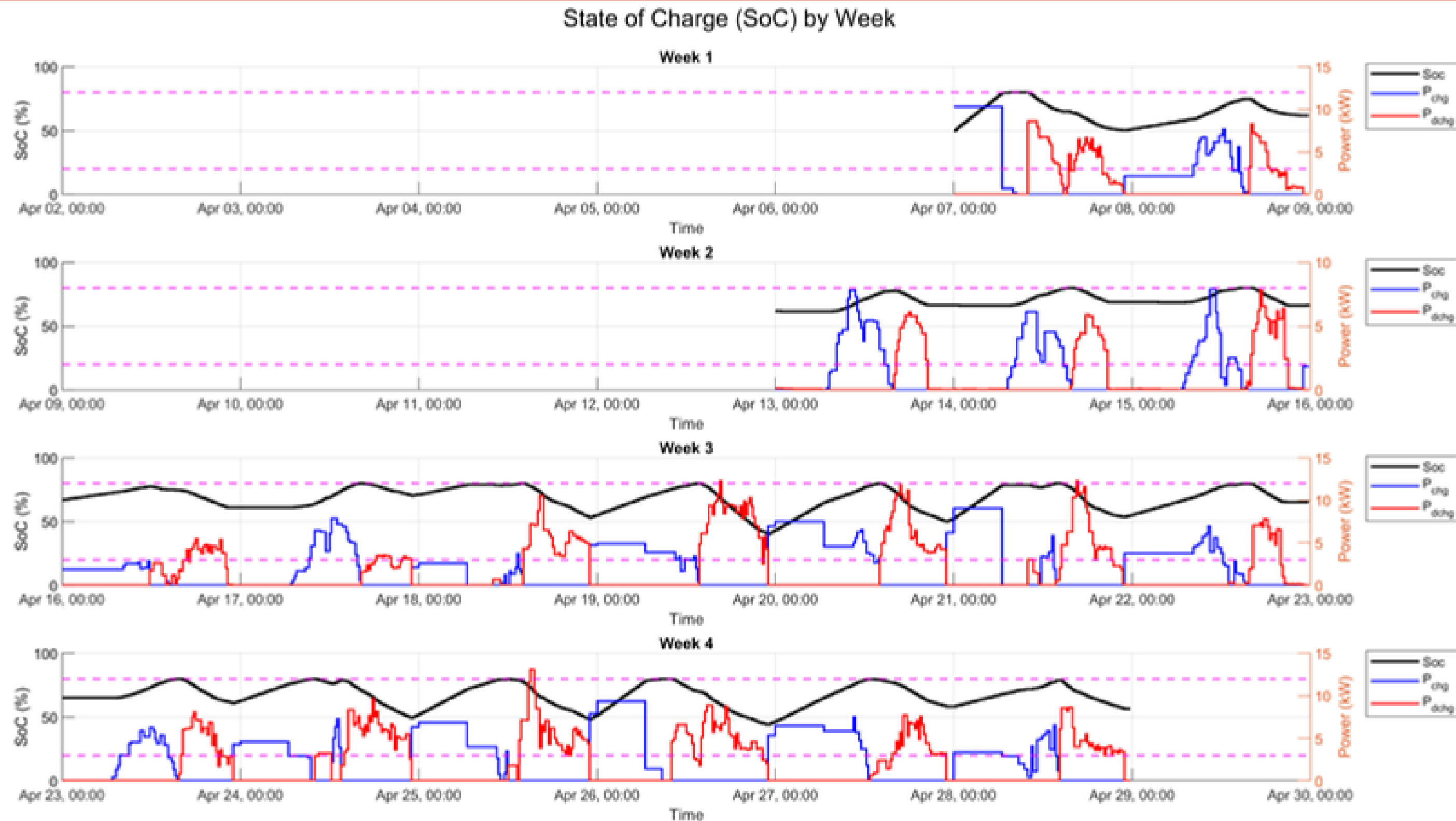
| พารามิเตอร์              | ค่า                 | หน่วย |
|--------------------------|---------------------|-------|
| $\eta_c$                 | 0.95                | -     |
| $\eta_d$                 | $0.95 * 0.93$       | -     |
| อัตราการชาร์จประจุสูงสุด | 100                 | kW    |
| อัตราการคายประจุสูงสุด   | 100                 | kW    |
| ความจุแบตเตอรี่          | 215                 | kWh   |
| SoC <sub>1</sub> (1)     | 50                  | %     |
| SoC <sub>2</sub> (1)     | 50                  | %     |
| SoC <sub>min</sub>       | 20                  | %     |
| SoC <sub>max</sub>       | 80                  | %     |
| ค่าปลาย SoC              | 0 หรือ 40           | %     |
| แรงดันไฟฟ้ามาตรฐาน       | $\frac{672+864}{2}$ | V     |
| จำนวนแบตเตอรี่           | 2                   | ลูก   |
| $w_s$                    | 3                   | -     |
| $w_m$                    | $10^{-4}$           | -     |
| $w_c$                    | 0.05                | -     |

# Rolling optimization



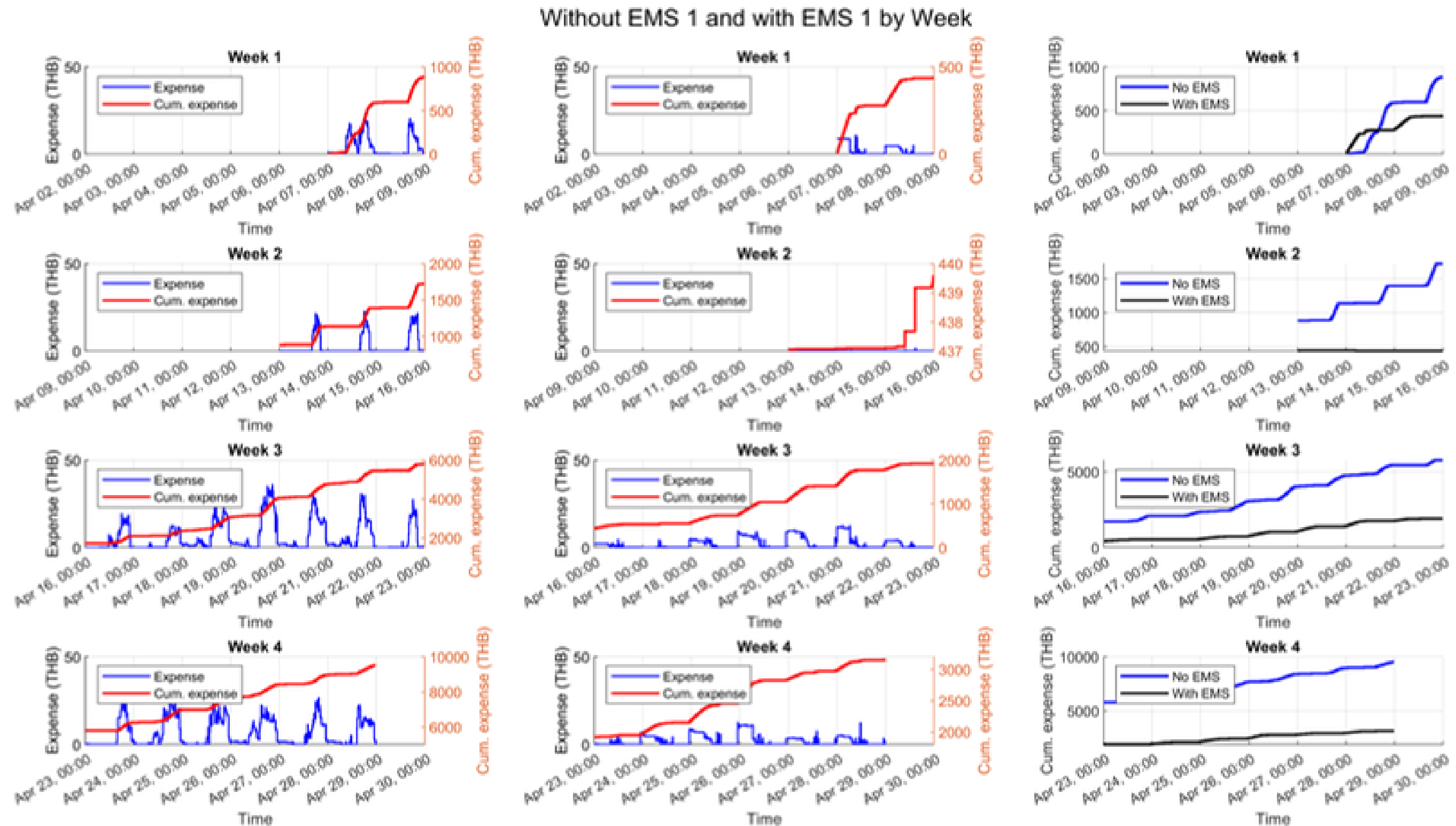
บทนำ หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง แนวทางการดำเนินงาน ผลลัพธ์จากการดำเนินการเบื้องต้น บทสรุป

# Rolling optimization



บทนำ    หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง    แนวทางการดำเนินงาน    **ผลลัพธ์จากการดำเนินการเบื้องต้น**    บทสรุป

# Rolling optimization



unşu

# บทสรุปการทำโครงการจนถึงปัจจุบัน

---

- การแปลงปัญหาจาก MILP เป็น LP
- การแปลงค่าน้ำหนักของฟังก์ชันจุดประสงค์ให้เป็นมาตรฐาน
- การหาค่าเหมาะที่สุดแบบเลื่อนแกนโดยใช้ข้อมูลซึ่งรู้ล่วงหน้า
- การจำลองการทำงานของแบตเตอรี่โดยใช้สมการ  
สถานะแบตเตอรี่จากระบบจัดการพลังงาน

# แผนการดำเนินงานที่จะทำในอนาคต

---

- การปรับปรุงแบบจำลองพยากรณ์ความต้องการใช้ไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าแสงอาทิตย์
- การหาค่าเหมาะที่สุดแบบเลื่อนแกนโดยใช้ข้อมูลพยากรณ์
- การจำลองการทำงานของแบตเตอรี่ในสถานะใกล้เวลาจริงโดยใช้สมการสถานะการชาร์จของแบตเตอรี่จาก Battery Model ใน MATLAB Simulink

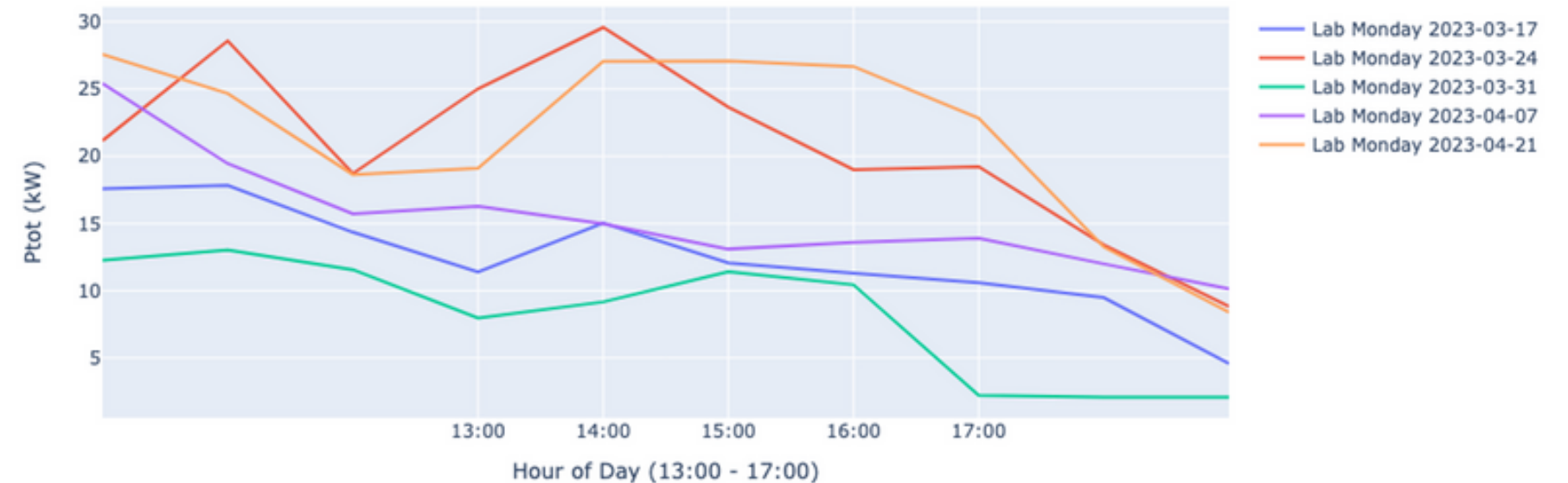
**Q & A**

# Supplement

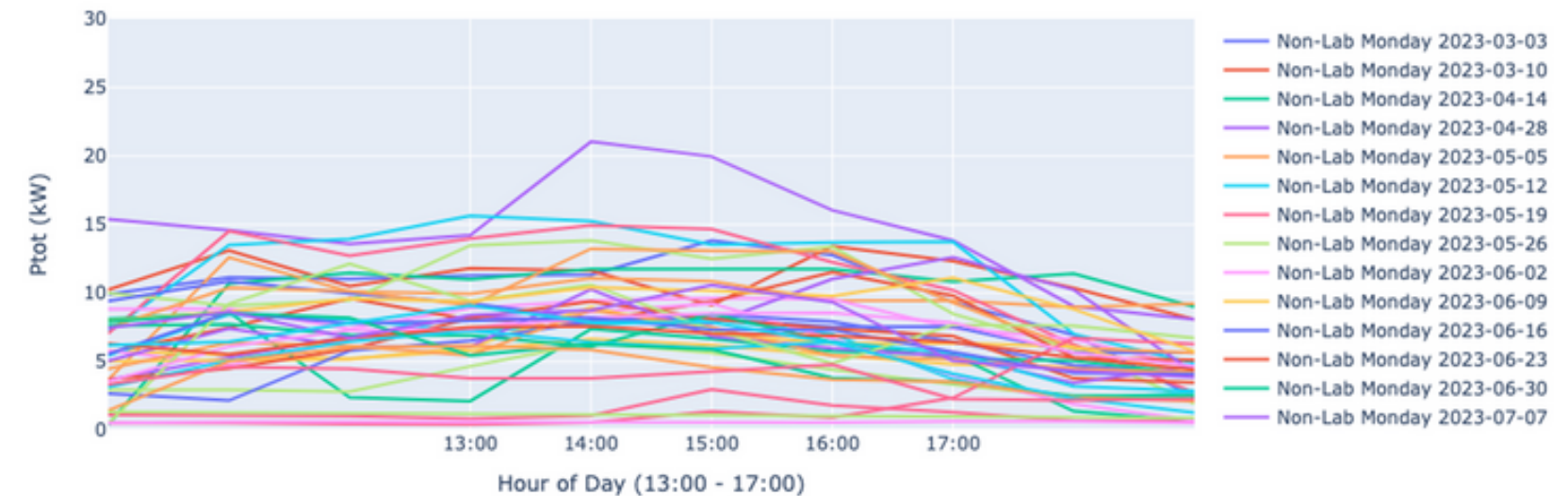
# โหลดไฟฟ้า

ตารางการใช้ห้องแลปในแต่ละวันจะอยู่ในช่วงเวลา 13:00-17:00 น. ดังนั้นในวันที่มีการใช้ห้องแลปจะพบว่าการใช้กำลังไฟฟ้ามากกว่าวันที่ไม่มีการใช้ห้องแลปในช่วงเวลา 13:00-17:00 น.

Power Consumption for Lab Mondays (13:00 to 17:00)

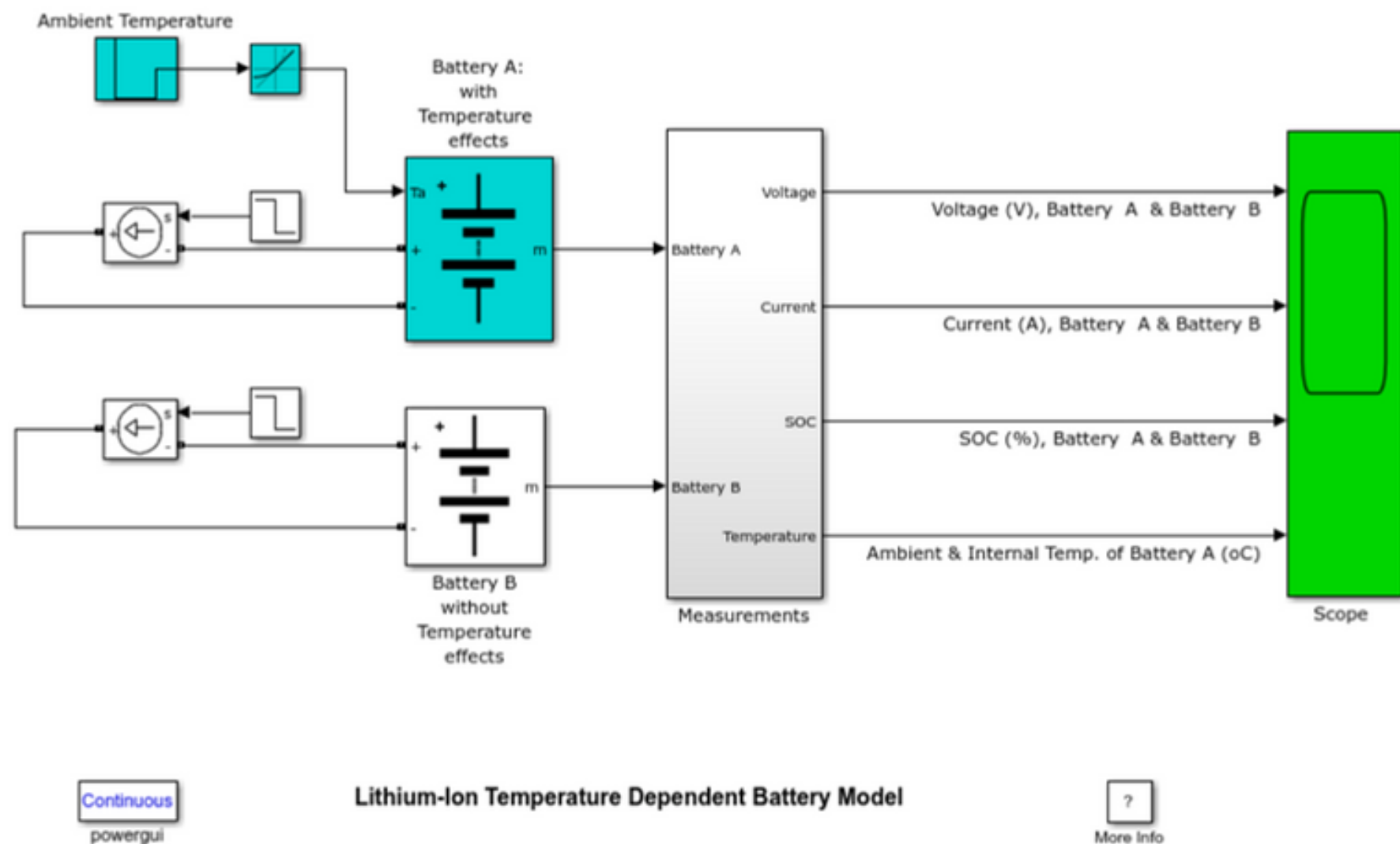


Power Consumption for Non-Lab Mondays (13:00 to 17:00)



# แบบจำลองการทำงานเชิงพลวัตของแบตเตอรี่

## แบบจำลองแบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออน



## พารามิเตอร์ของแบตเตอรี่ลิเทียม-ไอออน

Block Parameters: Battery B without Temperature effects

Battery (mask) (link)  
Implements a generic battery model for most popular battery types. Temperature and aging (due to cycling) effects can be specified for Lithium-Ion battery type.

Parameters Discharge

Type: Lithium-Ion

Temperature

☐ Simulate temperature effects

Aging

☐ Simulate aging effects

Nominal voltage (V) 230

Rated capacity (Ah) 580

Initial state-of-charge (%) 50

Battery response time (s) 30

OK Cancel Help Apply

Block Parameters: Battery B without Temperature effects

Battery (mask) (link)  
Implements a generic battery model for most popular battery types. Temperature and aging (due to cycling) effects can be specified for Lithium-Ion battery type.

Parameters Discharge

☐ Determined from the nominal parameters of the battery

Maximum capacity (Ah) 580

Cut-off Voltage (V) 229

Fully charged voltage (V) 240

Nominal discharge current (A) 284.0909

Internal resistance (Ohms) 0.2

Capacity (Ah) at nominal voltage 568.1818

Exponential zone [Voltage (V), Capacity (Ah)] [235 50]

Display characteristics

Discharge current [i1, i2, i3,...] (A) [71.0227 142.0454 284.0909]

Units Ampere-hour Plot

OK Cancel Help Apply

# ฟังก์ชันการประหยัดค่าไฟของ EMS

---

**พลังงานไฟฟ้าที่ดึงจากกริด (Energy Unit)**

$$J_{\text{cost}} = \text{Energy unit} = \sum_{t=1}^T \max(0, P_{\text{net}}(t)) \Delta t$$

**ค่าไฟที่ต้องจ่ายเมื่อดึงพลังงานจากกริด (Energy Cost)**

$$J_{\text{cost}} = \text{Energy cost} = \sum_{t=1}^T b(t) \max(0, P_{\text{net}}(t)) \Delta t$$

**กำไรที่ได้จากการซื้อและขายไฟจากกริด (Profit)**

$$J_{\text{cost}} = \sum_{t=1}^T [s(t) \max(0, -P_{\text{net}}(t)) - b(t) \max(0, P_{\text{net}}(t))] \Delta t$$

# ฟังก์ชันจุดประสงค์ของแบตเตอรี่

การชาร์จแบตเตอรี่ให้มีรูปแบบเรียบ (smooth charging)

$$J_{\text{smoothcharge}} = \sum_{t=1}^{T-1} \sum_{i=1}^{N_{\text{Batt}}} \left( \frac{|P_{\text{chg}}^{(i)}(t+1) - P_{\text{chg}}^{(i)}(t)|}{\text{MAX CHARGE RATE}} + \frac{|P_{\text{dchg}}^{(i)}(t+1) - P_{\text{dchg}}^{(i)}(t)|}{\text{MAX DISCHARGE RATE}} \right) \quad (8)$$

การชาร์จแบตเตอรี่หลายลูกให้ทำงานคล้ายกัน (managing multiple batteries)

สำหรับแบตเตอรี่มากกว่าหรือเท่ากับ 3 ลูก

$$J_{\text{multibatt}} = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^{N_{\text{Batt}}} \frac{|\text{SoC}_i(t) - \text{SoC}_c(t)|}{100} \quad (9)$$

สำหรับแบตเตอรี่ 2 ลูก

$$J_{\text{multibatt}} = \sum_{t=1}^T \frac{|\text{SoC}_1(t) - \text{SoC}_2(t)|}{100} \quad (10)$$

# ฟังก์ชันจุดประสงค์ของแบตเตอรี่

---

การส่งเสริมการชาร์จแบตเตอรี่ (encouragement to charge battery)

$$J_{\text{chargebatt}} = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^{N_{\text{Batt}}} \frac{\text{SoC}_{\text{max},i} - \text{SoC}_i(t)}{\text{SoC}_{\text{max},i} - \text{SoC}_{\text{min},i}} \quad (11)$$

# ปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุด

## โปรแกรมเชิงเส้น (Linear programming, LP)

### • รูปแบบทั่วไปของ LP

$$\begin{array}{ll}
 \text{minimize} & c^T x \\
 \text{subject to} & Ax \leq b \\
 & Gx = h
 \end{array}
 \quad \left. \begin{array}{l} \text{ฟังก์ชันจุดประสงค์เป็นเชิงเส้น} \\ \text{เงื่อนไขบังคับเป็นเชิงเส้น} \end{array} \right\} \quad (6)$$

- $x = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in \mathbf{R}^n$  เป็นตัวแปรตัดสินใจ (Decision variable)
- $A \in \mathbf{R}^{m \times n}$  และ  $b \in \mathbf{R}^m$
- $G \in \mathbf{R}^{p \times n}$  และ  $h \in \mathbf{R}^p$

# การแปลงปัญหาค่าเหมาะที่สุด

## การชาร์จแบตเตอรี่ให้มีรูปแบบปรับเรียบ

$$J_{\text{smoothcharge}} = \sum_{t=1}^{T-1} \sum_{i=1}^{N_{\text{Batt}}} \left( \frac{|P_{\text{chg}}^{(i)}(t+1) - P_{\text{chg}}^{(i)}(t)|}{\text{MAX CHARGE RATE}} + \frac{|P_{\text{dchg}}^{(i)}(t+1) - P_{\text{dchg}}^{(i)}(t)|}{\text{MAX DISCHARGE RATE}} \right)$$

จะใช้ตัวแปรเสริม  $z_{\text{chg}}^{(i)}(t)$  และ  $z_{\text{dchg}}^{(i)}(t)$  โดยที่กำหนดให้

$$\frac{|P_{\text{chg}}^{(i)}(t+1) - P_{\text{chg}}^{(i)}(t)|}{\text{MAX CHARGE RATE}} \leq z_{\text{chg}}^{(i)}(t), \quad t = 1, 2, \dots, T-1$$

$$i = 1, 2, \dots, N_{\text{Batt}}$$

$$\frac{|P_{\text{dchg}}^{(i)}(t+1) - P_{\text{dchg}}^{(i)}(t)|}{\text{MAX DISCHARGE RATE}} \leq z_{\text{dchg}}^{(i)}(t), \quad t = 1, 2, \dots, T-1$$

$$i = 1, 2, \dots, N_{\text{Batt}}$$

จะได้ว่าปัญหา

$$\text{minimize } J_{\text{smoothcharge}} = \sum_{t=1}^{T-1} \sum_{i=1}^{N_{\text{Batt}}} \left( \frac{|P_{\text{chg}}^{(i)}(t+1) - P_{\text{chg}}^{(i)}(t)|}{\text{MAX CHARGE RATE}} + \frac{|P_{\text{dchg}}^{(i)}(t+1) - P_{\text{dchg}}^{(i)}(t)|}{\text{MAX DISCHARGE RATE}} \right)$$

สมมูลกับ

$$\text{minimize } \sum_{t=1}^{T-1} \sum_{i=1}^{N_{\text{Batt}}} (z_{\text{chg}}^{(i)}(t) + z_{\text{dchg}}^{(i)}(t))$$

$$\text{subject to } z_{\text{chg}}^{(i)}(t) \geq \frac{P_{\text{chg}}^{(i)}(t+1) - P_{\text{chg}}^{(i)}(t)}{\text{MAX CHARGE RATE}}, \quad t = 1, 2, \dots, T-1$$

$$i = 1, 2, \dots, N_{\text{Batt}}$$

$$z_{\text{chg}}^{(i)}(t) \geq \frac{-(P_{\text{chg}}^{(i)}(t+1) - P_{\text{chg}}^{(i)}(t))}{\text{MAX CHARGE RATE}}, \quad t = 1, 2, \dots, T-1$$

$$i = 1, 2, \dots, N_{\text{Batt}}$$

$$z_{\text{dchg}}^{(i)}(t) \geq \frac{P_{\text{dchg}}^{(i)}(t+1) - P_{\text{dchg}}^{(i)}(t)}{\text{MAX DISCHARGE RATE}}, \quad t = 1, 2, \dots, T-1$$

$$i = 1, 2, \dots, N_{\text{Batt}}$$

$$z_{\text{dchg}}^{(i)}(t) \geq \frac{-(P_{\text{dchg}}^{(i)}(t+1) - P_{\text{dchg}}^{(i)}(t))}{\text{MAX DISCHARGE RATE}}, \quad t = 1, 2, \dots, T-1$$

$$i = 1, 2, \dots, N_{\text{Batt}}$$

จากการจัดให้อยู่รูปของ epigraph form จะพบว่าปัญหาใหม่นี้มีฟังก์ชันจุดประสงค์และเงื่อนไขบังคับเป็นเชิงเส้นในตัวแปร  $z_{\text{chg}}^{(i)}, z_{\text{dchg}}^{(i)}, P_{\text{chg}}^{(i)}, P_{\text{dchg}}^{(i)}$

# การแปลงปัญหาค่าเหมาะที่สุด

## พลังงานไฟฟ้าที่ดึงจากกริด (Energy Unit)

$$J_{\text{cost}} = \text{Energy unit} = \sum_{t=1}^T \max(0, P_{\text{net}}(t)) \Delta t$$

จะใช้ตัวแปรเสริม  $Z(t)$  โดยที่ กำหนดให้

$$Z(t) \geq \max(0, P_{\text{net}}(t)), \quad t = 1, 2, \dots, T$$

จึงได้ว่าปัญหา

$$\text{minimize } \sum_{t=1}^T \max(0, P_{\text{net}}(t)) \Delta t$$

สมมูลกับ

$$\begin{aligned} &\text{minimize } \sum_{t=1}^T Z(t) \Delta t \\ &\text{subject to } Z(t) \geq 0, \quad t = 1, 2, \dots, T \\ &\quad Z(t) \geq P_{\text{net}}(t), \quad t = 1, 2, \dots, T \end{aligned}$$

จากการจัดให้อยู่รูปของ epigraph form จะพบว่าปัญหาใหม่นี้มีฟังก์ชันจุดประสงค์และเงื่อนไขบังคับเป็นเชิงเส้นในตัวแปร  $Z(t)$ ,  $P_{\text{net}}$  โดย  $P_{\text{net}}$  นั้นเป็นเชิงเส้นในตัวแปร  $P_{\text{chg}}, P_{\text{dchg}}, P_{\text{load}}, P_{\text{pv}}$  ตาม (7)

# การแปลงปัญหาค่าเหมาะสมที่สุด

## กำไรที่ได้จากการซื้อและขายไฟจากกริด (Profit)

$$J_{\text{cost}} = \sum_{t=1}^T [s(t) \max(0, -P_{\text{net}}(t)) - b(t) \max(0, P_{\text{net}}(t))] \Delta t$$

จะใช้ตัวแปรเสริม  $S(t)$  และ  $B(t)$  โดยที่

$$S(t) \geq s(t) \max(0, -P_{\text{net}}(t)), \quad t = 1, 2, \dots, T$$

$$B(t) \geq b(t) \max(0, P_{\text{net}}(t)), \quad t = 1, 2, \dots, T$$

จึงได้ว่าปัญหา

$$\text{minimize} \quad \sum_{t=1}^T [s(t) \max(0, -P_{\text{net}}(t)) - b(t) \max(0, P_{\text{net}}(t))] \Delta t$$

สมมูลกับ

$$\begin{aligned} &\text{minimize} \quad \sum_{t=1}^T (S(t) - B(t)) \Delta t \\ &\text{subject to} \quad B(t) \geq 0, \quad t = 1, 2, \dots, T \\ &\quad \quad \quad S(t) \geq 0, \quad t = 1, 2, \dots, T \\ &\quad \quad \quad B(t) \geq b(t) P_{\text{net}}(t), \quad t = 1, 2, \dots, T \\ &\quad \quad \quad S(t) \geq -s(t) P_{\text{net}}(t), \quad t = 1, 2, \dots, T \end{aligned}$$

จากการจัดให้อยู่รูปของ epigraph form จะพบว่าปัญหาใหม่มีฟังก์ชันจุดประสงค์และเงื่อนไขบังคับเป็นเชิงเส้นในตัวแปร  $S_t, B_t, P_{\text{net}}$  โดย  $P_{\text{net}}$  เป็นเชิงเส้นในตัวแปร  $P_{\text{chg}}, P_{\text{dchg}}, P_{\text{load}}, P_{\text{pv}}$  ตาม (7)

# Encourage charge

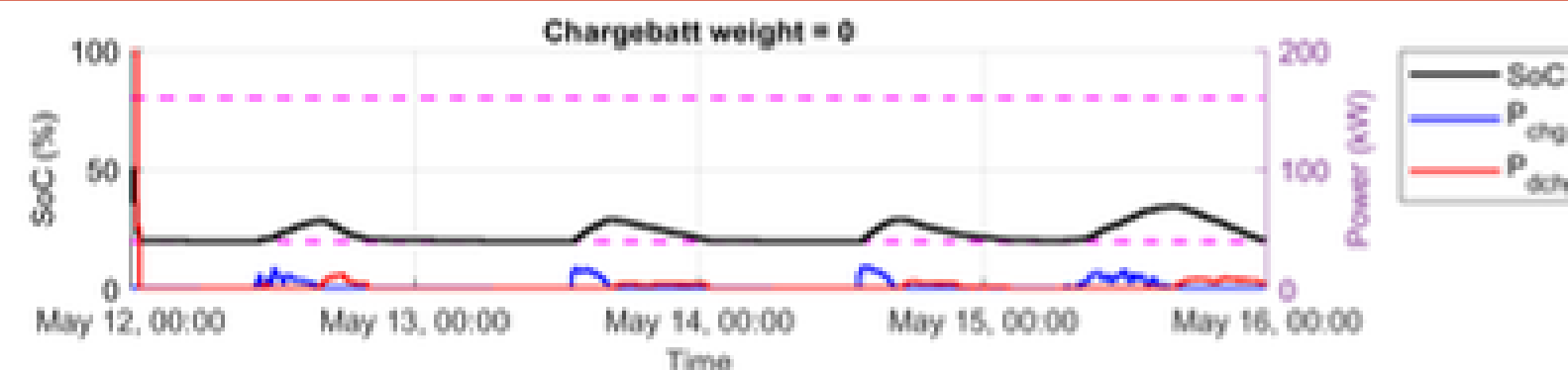
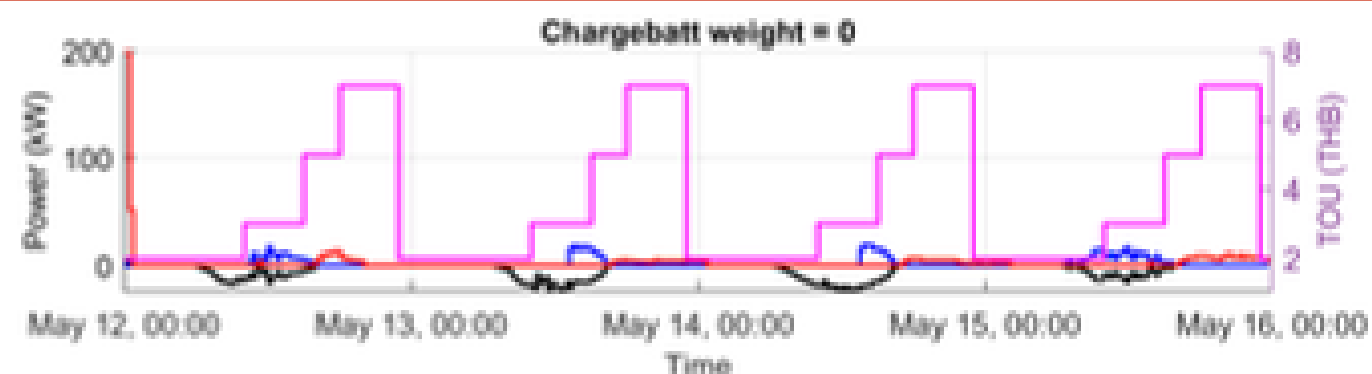
- วัตถุประสงค์ คือ หาค่าถ่วงน้ำหนักของการส่งเสริมการชาร์จแบตเตอรี่ที่เหมาะสม

minimize  $J_{\text{cost}} + w_c J_{\text{charge batt}}$   
 subject to Power balance constraints (7)  
 Battery dynamic (1)  
 Battery charge/discharge constraints (2) - (3)  
 Battery's SOC constraint (4)

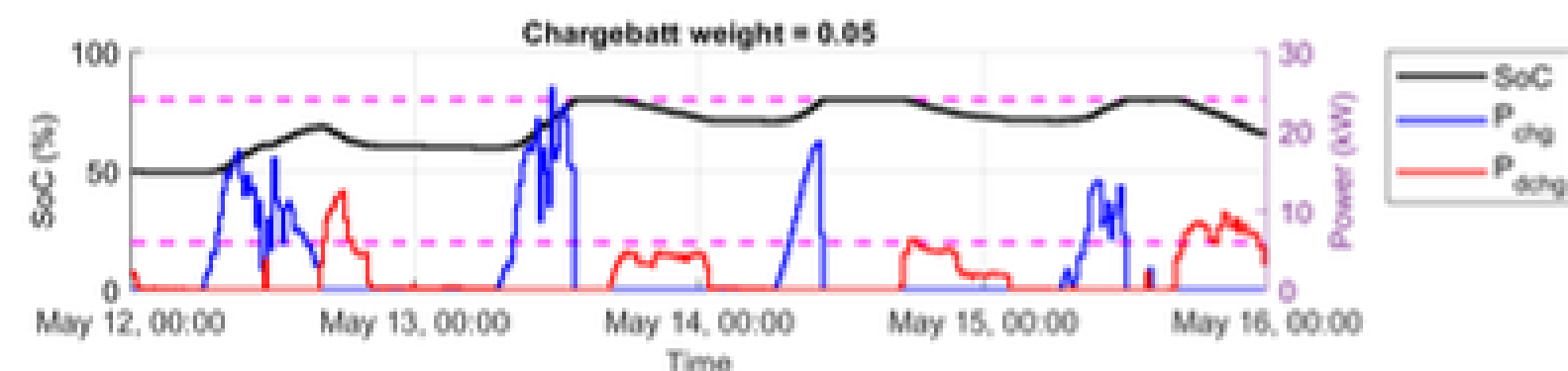
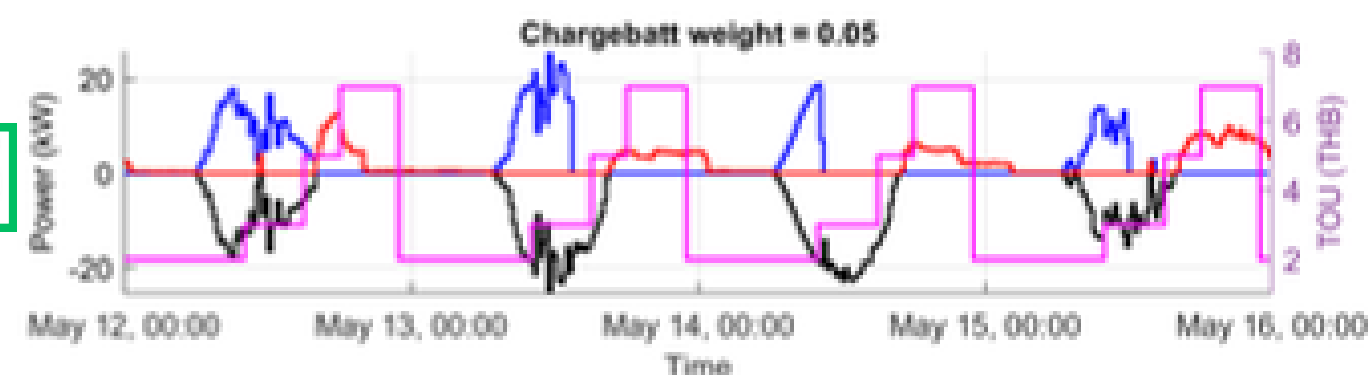
| พารามิเตอร์              | ค่า                 | หน่วย |
|--------------------------|---------------------|-------|
| $\eta_c$                 | 0.95                | -     |
| $\eta_d$                 | $0.95 * 0.93$       | -     |
| อัตราการชาร์จประจุสูงสุด | 200                 | kW    |
| อัตราการคายประจุสูงสุด   | 200                 | kW    |
| ความจุแบตเตอรี่          | 430                 | kWh   |
| SoC(1)                   | 50                  | %     |
| SoC <sub>min</sub>       | 20                  | %     |
| SoC <sub>max</sub>       | 80                  | %     |
| ค่าปลาย SoC              | 0                   | %     |
| แรงดันไฟฟ้ามาตรฐาน       | $\frac{672+864}{2}$ | V     |
| จำนวนแบตเตอรี่           | 1                   | ลูก   |
| $w_s$                    | 0                   | -     |
| $w_m$                    | 0                   | -     |
| $w_c$                    | 0, 0.05, 0.1, 1     | -     |

# Encourage charge

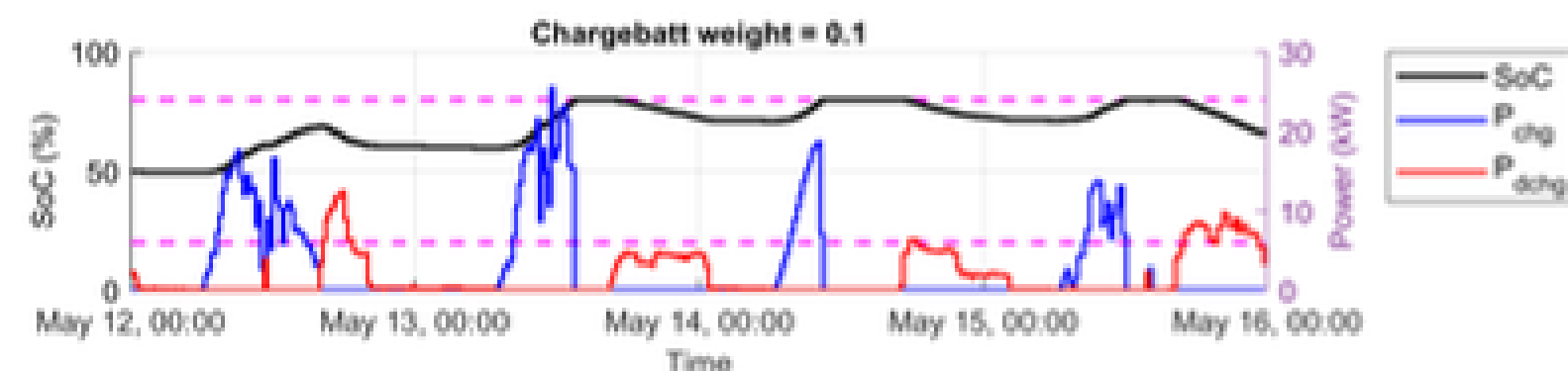
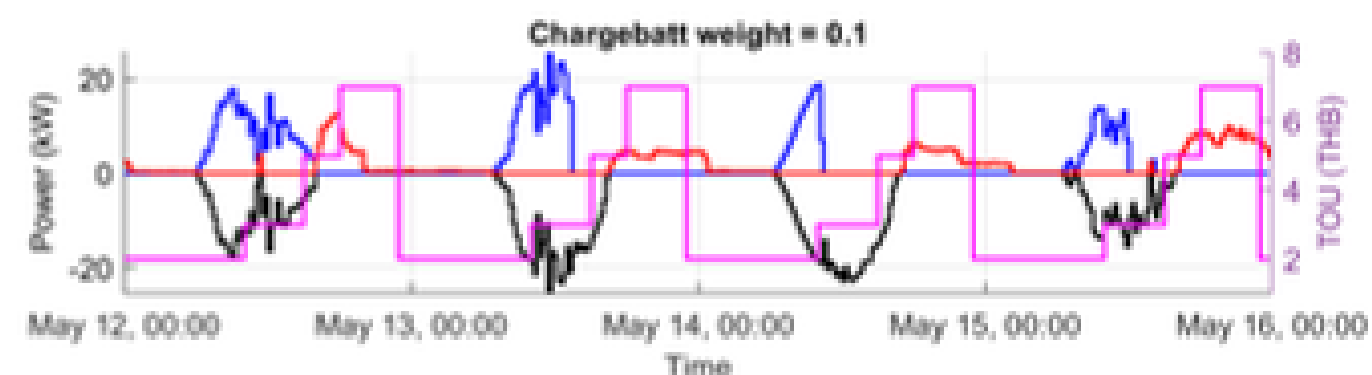
$$w_c = 0$$



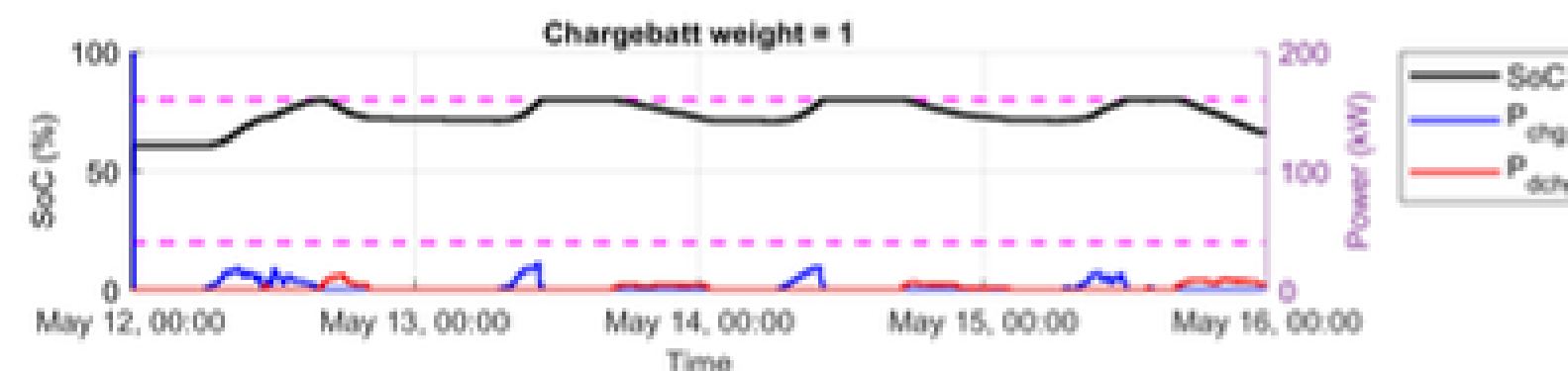
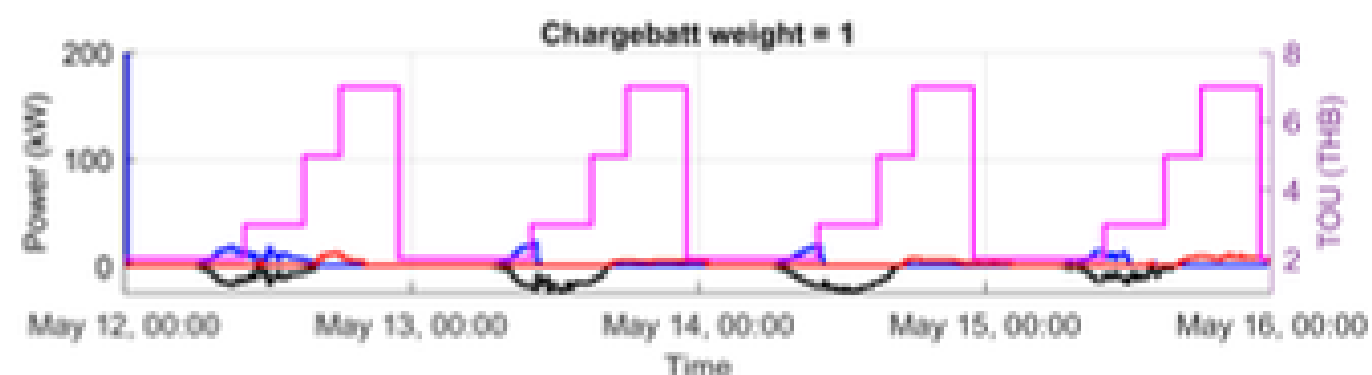
$$w_c = 0.05$$



$$w_c = 0.1$$



$$w_c = 1$$



บทนำ หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง แนวทางการดำเนินงาน ผลลัพธ์จากการดำเนินการเบื้องต้น บทสรุป

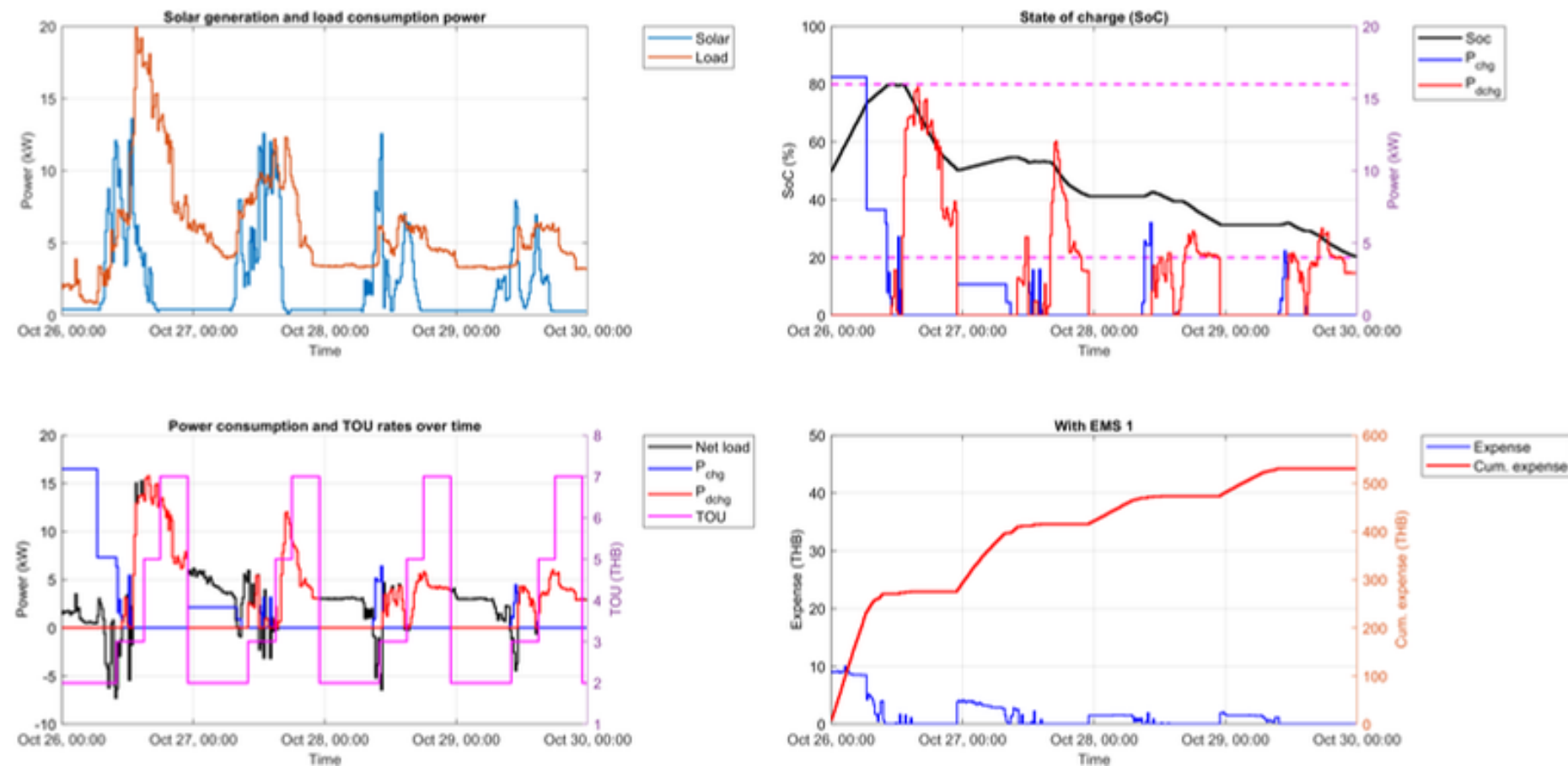
# SoC terminal

- วัตถุประสงค์ คือ เพื่อเปรียบเทียบค่าไฟฟ้ารวมและผลเฉลี่ยระหว่างการมีและไม่มีข้อจำกัดของสถานะการชาร์จ ณ ปลายวัน

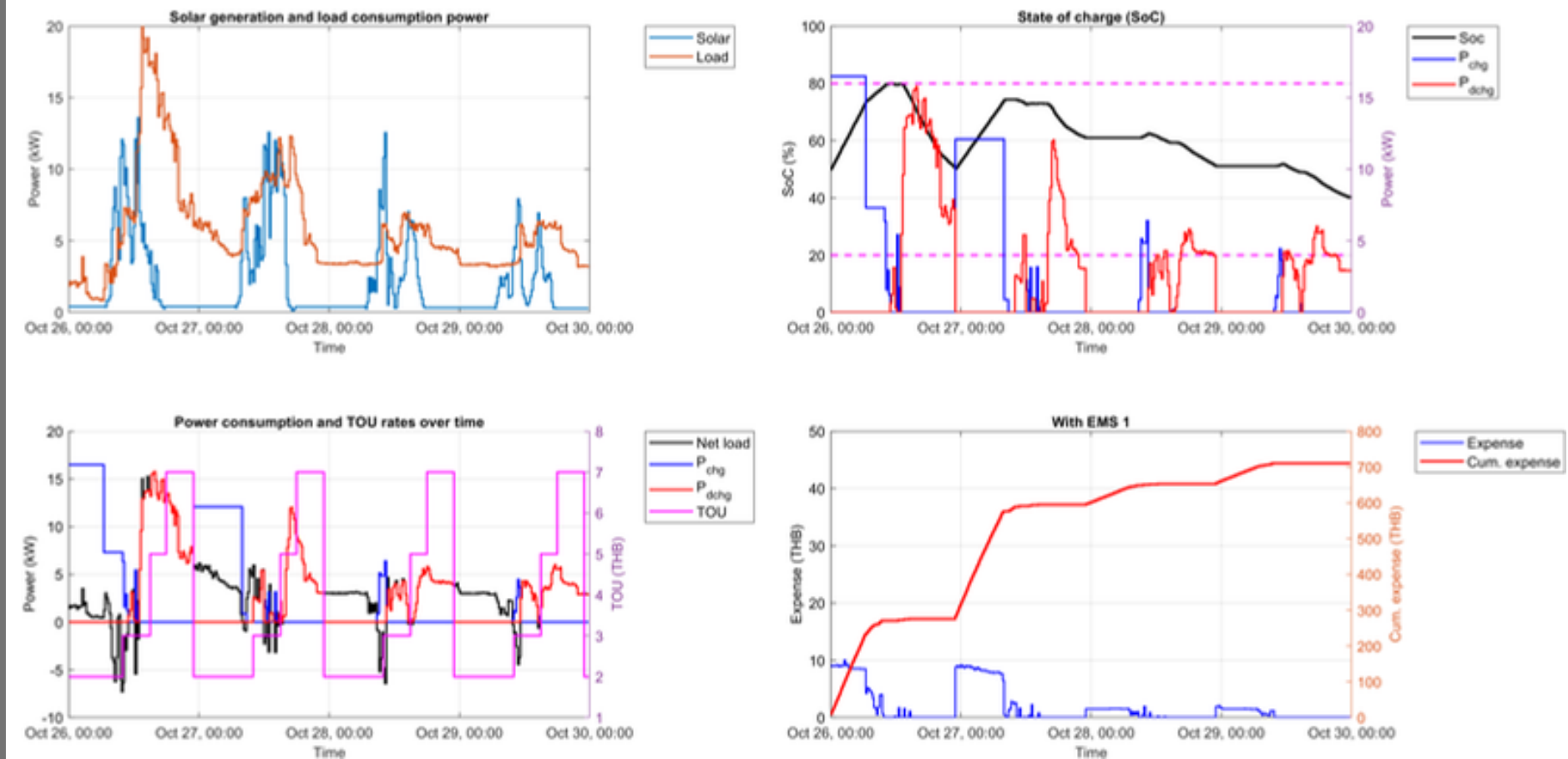
minimize  $J_{\text{cost}} + w_m J_{\text{multibatt}} + w_s J_{\text{smooth charge}} + w_c J_{\text{charge batt}}$   
 subject to  
 Power balance constraints (7)  
 Battery dynamic (1)  
 Battery charge/discharge constraints (2) - (3)  
 Battery's terminal SOC (5)  
 Battery's SOC constraint (4)

| พารามิเตอร์              | ค่า                 | หน่วย |
|--------------------------|---------------------|-------|
| $\eta_c$                 | 0.95                | -     |
| $\eta_d$                 | $0.95 * 0.93$       | -     |
| อัตราการชาร์จประจุสูงสุด | 200                 | kW    |
| อัตราการคายประจุสูงสุด   | 200                 | kW    |
| ความจุแบตเตอรี่          | 430                 | kWh   |
| SoC(1)                   | 50                  | %     |
| SoC <sub>min</sub>       | 20                  | %     |
| SoC <sub>max</sub>       | 80                  | %     |
| ค่าปลาย SoC              | 0 หรือ 40           | %     |
| แรงดันไฟฟ้ามาตรฐาน       | $\frac{672+864}{2}$ | V     |
| จำนวนแบตเตอรี่           | 1                   | ลูก   |
| $w_s$                    | 3                   | -     |
| $w_m$                    | 0                   | -     |
| $w_c$                    | 0.05                | -     |

# SoC terminal



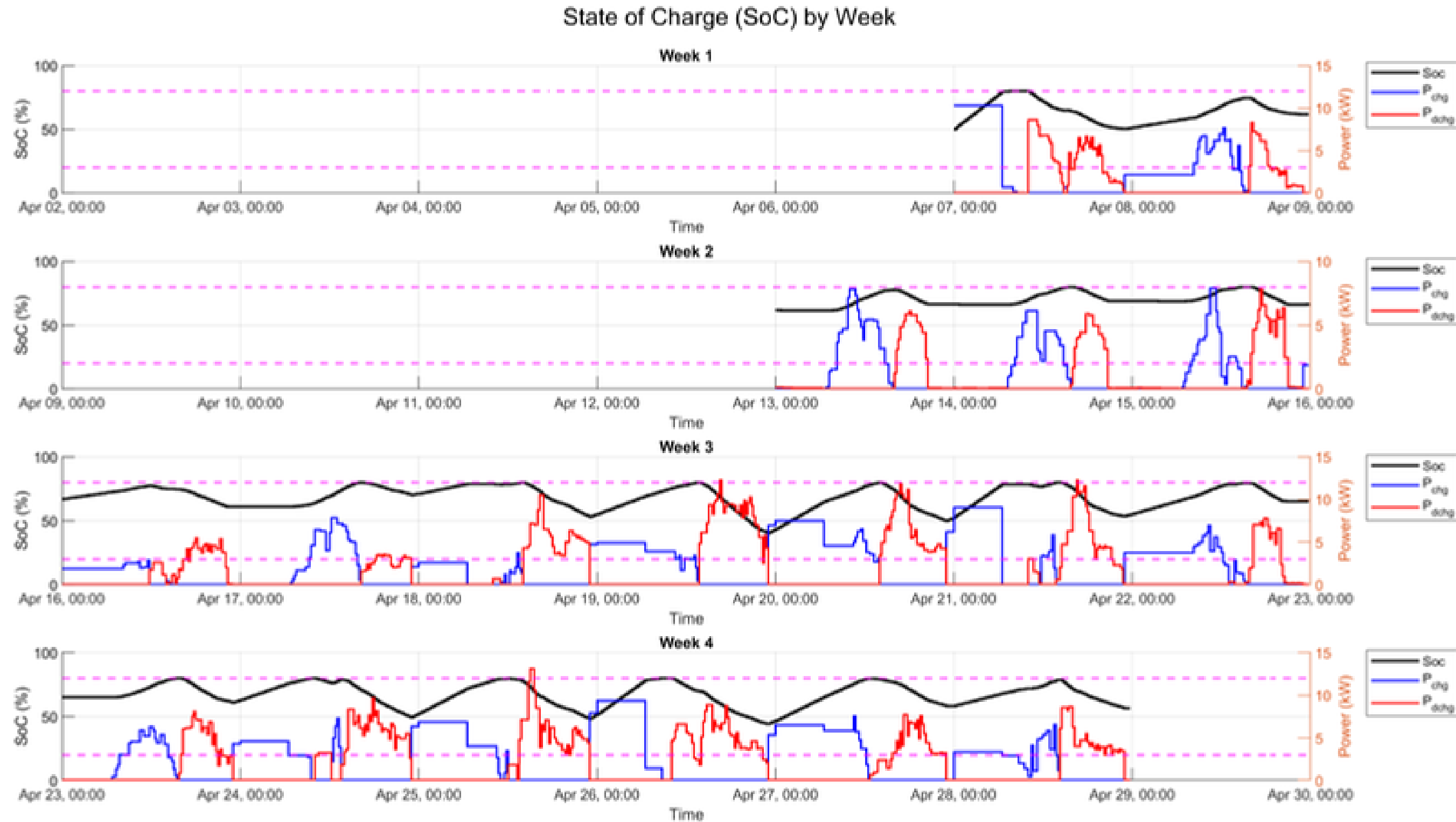
**ไม่มีข้อจำกัดของสถานะการชาร์จ ณ ปลายวัน**



**มีข้อจำกัดของสถานะการชาร์จ ณ ปลายวัน**

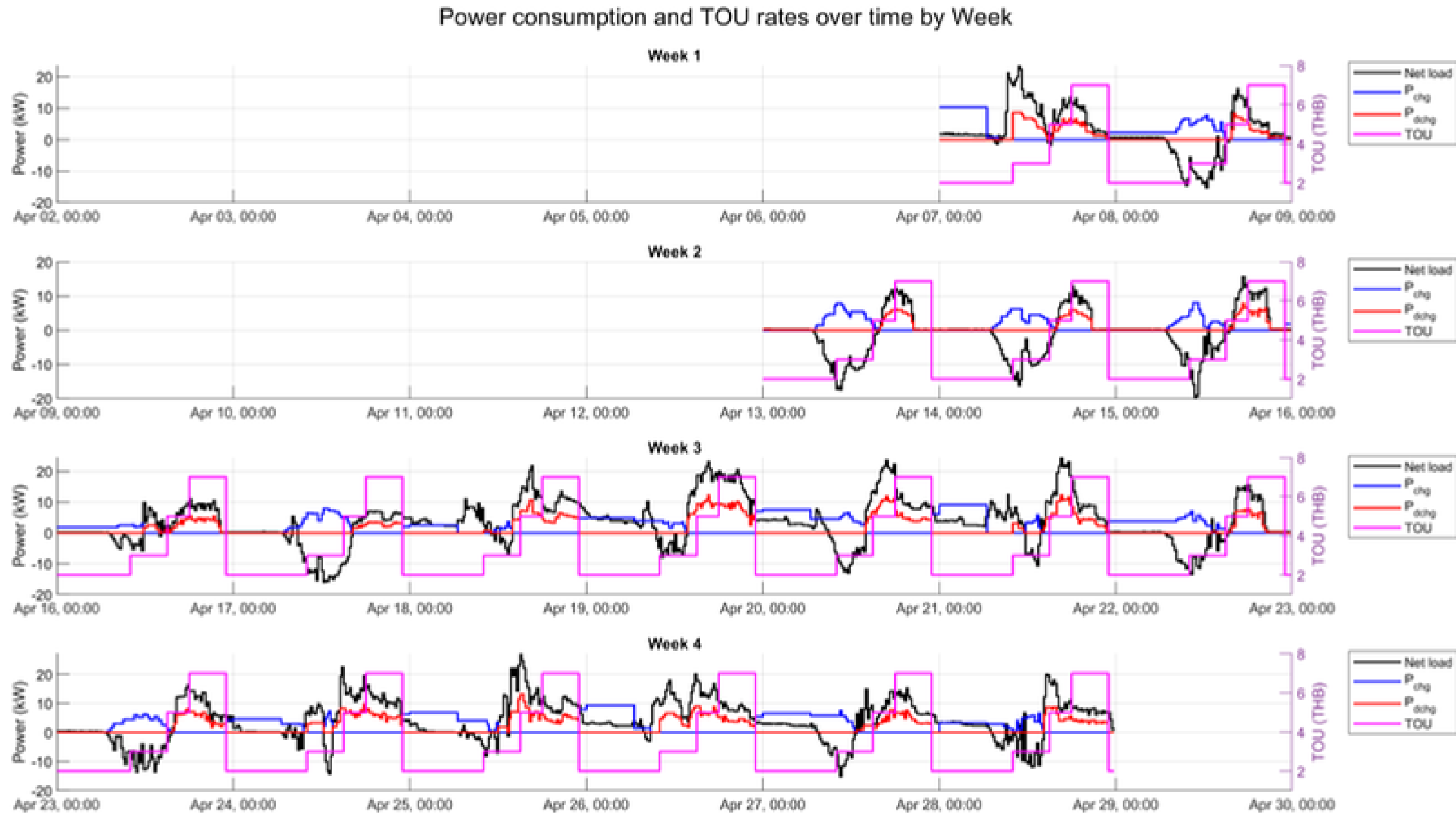
บทนำ    หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง    แนวทางการดำเนินงาน    **ผลลัพธ์จากการดำเนินการเบื้องต้น**    บทสรุป

# Rolling optimization (มีข้อจำกัดของสถานะการชาร์จ ณ ปลายวัน)



บทนำ    หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง    แนวทางการดำเนินงาน    **ผลลัพธ์จากการดำเนินการเบื้องต้น**    บทสรุป

# Rolling optimization (มีข้อจำกัดของสถานะการชาร์จ ณ ปลายวัน)



บทนำ    หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง    แนวทางการดำเนินงาน    **ผลลัพธ์จากการดำเนินการเบื้องต้น**    บทสรุป

# Rolling optimization (มีข้อจำกัดของสถานะการชาร์จ ณ ปลายวัน)

