การแบ่งกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าเพื่อการขอความร่วมมือในการดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดได้อย่างเหมาะสม

นายวุทธิพงศ์ ปุพเพตะนันท์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CLASSIFICATION OF ELECTRICITY USERS TO REQUEST FOR COOPERATION IN IMPLEMENTING DEMAND RESPONSE PROGRAMS APPROPRIATELY

Mr. Wuttiphong Pupatanun

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering
Department of Electrical Engineering
FACULTY OF ENGINEERING
Chulalongkorn University
Academic Year 2020

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การแบ่งกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าเพื่อการขอความร่วมมือในการดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดได้อย่างเหมาะสม
โดย	นายวุทธิพงศ์ ปุพเพตะนันท์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ศาสตราจารย์ ดร.วาทิต เบญจพลกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุรชัย ชัยทัศนีย์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ศาสตราจารย์ ดร.วาทิต เบญจพลกุล)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิทยากร อัศดรวิเศษ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.ชัยพร เขมะภาตะพันธ์)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วุทธิพงศ์ ปุพเพตะนันท์ : การแบ่งกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าเพื่อการขอความร่วมมือในการดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดได้อย่างเหมาะสม. (CLASSIFICATION OF ELECTRICITY USERS TO REQUEST FOR COOPERATION IN IMPLEMENTING DEMAND RESPONSE PROGRAMS APPROPRIATELY) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ศ. ดร. วาทิต เบญจพลกุล

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงเพื่อการขอความร่วมมือในการดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดได้อย่างเหมาะสมด้วยการพิจารณาจากค่าการใช้ไฟฟ้าต่ำที่สุดและค่าการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดเทียบกับค่าการใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลาต่างๆของวันของบ้านหลังนั้นโดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-Means และวิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ Fuzzy C-Means และมีการจำลองสถานการณ์การดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดแบบ Emergency Demand Response Program จากข้อมูลกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าที่แบ่งกลุ่มได้ดังกล่าวด้วยการขอความร่วมมือให้มีการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้เครื่องปรับอากาศโดยเพิ่มอุณหภูมิการใช้เครื่องปรับอากาศเป็น 27°C ในช่วงเวลาที่จำลองสถานการณ์การดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลด (ช่วงเวลาที่มีการใช้ไฟฟ้าสูง 3 ชั่วโมงของวัน) เพื่อการคำนวณการลดการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาดังกล่าว จากการวิเคราะห์ลักษณะพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าจากผลรวมค่าการใช้ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงตามช่วงเวลาต่างๆ พบว่าสามารถพิจารณาการดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดในช่วงเวลาที่มีการใช้ไฟฟ้าสูง 3 ชั่วโมงของวันได้แก่ 0.15 - 03.15 น., 09.00 - 12.00 น., 13.00 - 16.00 น. และ 20.15 - 23.15 น. ผลลัพธ์การแบ่งกลุ่มพบว่าสามารถแบ่งกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงได้เป็น 7 กลุ่มที่แตกต่างกัน และวิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-Means ให้ผลลัพธ์การแบ่งกลุ่มข้อมูลได้ดีกว่าวิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ แบบ Fuzzy C-Means เนื่องจากวิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-Means สามารถจับกลุ่มข้อมูลบ้านอยู่อาศัยที่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดที่เหมือนกันให้สามารถมารวมกลุ่มกันได้ทั้งหมด แต่วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ Fuzzy C-Means สามารถจับกลุ่มข้อมูลบ้านอยู่อาศัยที่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดที่เหมือนกัน ให้สามารถมารวมกลุ่มกันเพียงบางส่วนเท่านั้น เมื่อพิจารณาการดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดในช่วงเวลาที่มีการใช้ไฟฟ้าสูง 3 ชั่วโมงของวัน ผลการจำลองสถานการณ์ขอความร่วมมือบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงดังกล่าวให้เปิดใช้เครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 27°C ซึ่งอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่ยอมรับได้ด้านความสะดวกสบายของคนไทยในอาคารพักอาศัยที่มีเครื่องปรับอากาศ พบว่าสามารถลดการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาดังกล่าวลงได้ 20.4 เปอร์เซ็นต์, 20.1 เปอร์เซ็นต์, 19.7 เปอร์เซ็นต์ และ 21.3 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2563 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

6170407021 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING
KEYWORD:

Wuttiphong Pupatanun : CLASSIFICATION OF ELECTRICITY USERS TO REQUEST FOR COOPERATION IN IMPLEMENTING DEMAND RESPONSE PROGRAMS APPROPRIATELY . Advisor: Prof. Watit Benjapolakul, Ph.D.

This research aims to study the performance of electrical usage among the customers living in the areas under the service of the Metropolitan Electricity Authority. The electrical consuming data of each house in these areas are compared in the various times considering from the highest and lowest amounts by using K-Mean clustering algorithm and Fussy C-Means clustering algorithm. This research also performed the demand response action scenario in the simulated situations of Emergency Demand Response Program with these housing groups which were asked to give cooperation in setting the temperature of air condition to 27°C during the study times (the 3 highest electrical daily usage ranking times during 0:15-03:15 a.m. 09:00-12:00a.m. 1:00-4:00 p.m. and 8:15-11:15 p.m.) to find possible practical ways for reducing electrical usage. From the electrical usage performances among the studied 60 houses, the study shows that the implementation of Demand Response Programs action scenario during these peak 3-hour periods of each day can be considered. The K-Mean clustering algorithm can classify the data to give better results than the Fussy C-Means clustering algorithm. The reason is that the K-Means clustering algorithm can group the electrical consumers having the same electricity behavioral usage into the same Demand Response times while The Fuzzy C-Means clustering can classify and used to group the electrical usages among only some consumers having the same electricity usage behaviors. The results of the electrical usage can also be classified into 7 different groups. The results can be used to adjust and to set the 27°C air conditioner temperature in their houses. The populations agree and feel comfortable with the air conditioning temperature setting. This study also shows the decreasing electrical consumption peaks of 20.4 percent, 20.10 percent, 19.7 percent and 21.3 percent during the four 3-hour period times mentioned respectively.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Field of Study:	Electrical Engineering	Student's Signature .....
Academic Year:	2020	Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ การไฟฟ้านครหลวง สำหรับการให้ข้อมูลผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัยและข้อมูลด้านต่างๆ ประกอบการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และให้ความอนุเคราะห์รับผู้จัดทำวิทยานิพนธ์เข้าฝึกงาน

ขอขอบคุณท่านอาจารย์ ศ.ดร.ศุภวัจน์ รุ่งสุริยะวิบูลย์ สำหรับการให้ข้อมูลโครงการสำรวจและปรับปรุงการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าเพื่อการอนุรักษ์พลังงานในระยะยาว ประกอบการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณท่านอาจารย์ ศ.ดร. วาทิต เบญจพลกุล, คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน, ท่านอาจารย์ ผศ.ดร. ภควรรณ ปักษี และอาจารย์ทุกท่าน สำหรับความรู้, คำแนะนำ และความช่วยเหลือทุกๆ ด้านที่ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณคุณพ่อของผม อาจารย์อำนวย ปุพเพตะนันท์ ที่คอยให้กำลังใจ ตลอดจนความรู้และคำแนะนำต่างๆ ประกอบการทำวิจัยฉบับนี้ ทำให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

และสุดท้ายนี้ ขอขอบคุณตัวเอง ที่มีความพยายาม มุมานะ อดทน และไม่ยอมแพ้ต่อปัญหาอะไรง่ายๆ จนทำให้ถึงจุดหมายที่ตั้งใจเอาไว้

วุทธิพงศ์ ปุพเพตะนันท์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ซ

สารบัญรูป ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญ 1

1.2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2

1.3. ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ 3

1.4. วิธีการดำเนินงานวิจัย 4

1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 7

2.1. มาตรการการตอบสนองด้านโหลด (Demand Response) 7

2.2. ประเภทของผู้ใช้ไฟฟ้า 12

2.3. ลักษณะโหลด 14

2.4. ความต้องการไฟฟ้า (Demand) 16

2.5. การแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบเคมีน (K-Means clustering) 21

2.6 การแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ Fuzzy C-Means 22

2.7. ลำดับความสำคัญของ Load มีดังนี้ 22

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.8. โครงการสำรวจและปรับปรุงการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าเพื่อการอนุรักษ์พลังงานในระยะยาว 25
2.9. ความสบายเชิงความร้อน (Thermal Comfort) 28
2.10. การคำนวณค่าการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ 32
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 33
3.1. ปัญหาที่พบจากงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้อง และแนวทางการต่อยอด 33
3.2. แนวทางการดำเนินงานวิจัย 36
3.3. การเก็บรวมรวมข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัย 37
3.4. การคิดค่าการใช้ไฟฟ้าฐาน (Base Line) 37
3.5. วิธีการแบ่งกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าที่วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอ 39
3.6. การปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้เครื่องปรับอากาศในการจำลองสถานการณ์การดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลด 39
3.7. พฤติกรรมการใช้เครื่องปรับอากาศของบ้านแต่ละหลัง 40
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 43
4.1. ผลการวิเคราะห์และแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวง 43
4.2. ผลการพิจารณาพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศของบ้านอยู่อาศัยในพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงทั้ง 60 หลัง 84
4.3. การคำนวณอัตราการลดการใช้ไฟฟ้าเมื่อบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงทั้ง 60 หลังดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดที่ช่วงเวลาต่างๆ 89
บทที่ 5 สรุปผล 102
บรรณานุกรม 107
ประวัติผู้เขียน 111

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2-1 ตารางแสดงจำนวนเครื่องปรับอากาศของบ้านอยู่อาศัยในพื้นที่การไฟฟ้านครหลวง.... 26

ตารางที่ 2-2 ตารางแสดงขนาดของเครื่องปรับอากาศของบ้านอยู่อาศัยในพื้นที่การไฟฟ้านครหลวง 27

ตารางที่ 2-3 ตารางแสดงช่วงเวลาการใช้งานของเครื่องปรับอากาศของบ้านอยู่อาศัยในพื้นที่การไฟฟ้านครหลวง 27

ตารางที่ 2-4 ตารางแสดงประเภท (การประหยัดไฟ/ไม่ประหยัดไฟ) ของเครื่องปรับอากาศของบ้านอยู่อาศัยในพื้นที่การไฟฟ้านครหลวง..... 28

ตารางที่ 2-5 ตารางแสดงระยะเวลาการใช้งานของเครื่องปรับอากาศของบ้านอยู่อาศัยในพื้นที่การไฟฟ้านครหลวง 28

ตารางที่ 2-6 ค่าดัชนีการวัดระดับความรู้สึกสบายเชิงความร้อนต่อสิ่งแวดล้อม [14]..... 29

ตารางที่ 4-1 ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยผลรวมของระยะห่างระหว่างทุกข้อมูลผู้ใช้ไฟฟ้าบ้านอยู่อาศัย 60 หลังในเขตพื้นที่ของการไฟฟ้านครหลวงในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการ การตอบสนองด้านโหลด กับค่าตำแหน่งจุดศูนย์กลางของกลุ่มที่แต่ละข้อมูลผู้ใช้ไฟฟ้าบ้านอยู่อาศัย 60 หลัง ในเขตพื้นที่ของการไฟฟ้านครหลวงเหล่านั้นจับกลุ่มได้ ของแต่ละจำนวนกลุ่มนั้นๆ ในช่วงของกลุ่มเพื่อใช้ในการแบ่งข้อมูลที่กำหนด 56

ตารางที่ 4-2 การเปรียบเทียบความใกล้เคียงกันของผลลัพธ์รูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า ในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลัง ในพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวง ที่ได้จากการวิเคราะห์และแบ่งกลุ่ม ระหว่างวิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-Means และวิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ Fuzzy C-Means 74

ตารางที่ 4-3 การเปรียบเทียบผลลัพธ์รูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลัง ในพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวง ที่ได้จากการวิเคราะห์และแบ่งกลุ่ม ระหว่างวิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-Means และวิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ Fuzzy C-Means โดยพิจารณาแต่ละหลัง 75

ตารางที่ 4-4 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดกับกลุ่มบ้านที่พิจารณาขอความร่วมมือลดการใช้ไฟฟ้า 84

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4-5 ตารางแสดงจำนวนเครื่องปรับอากาศของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ ของการไฟฟ้านครหลวงทั้ง 60 หลัง 85

ตารางที่ 4-6 ขนาดเครื่องปรับอากาศ (BTU) ของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของ การไฟฟ้านครหลวงทั้ง 60 หลัง 86

ตารางที่ 4-7 ชนิดของเครื่องปรับอากาศ (ประหยัดไฟ/ไม่ประหยัดไฟ) ของบ้านอยู่อาศัย ในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงทั้ง 60 หลัง 87

ตารางที่ 4-8 ระยะเวลาการใช้งานของเครื่องปรับอากาศใน 1 วันของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงทั้ง 60 หลัง 87

ตารางที่ 4-9 จำนวนเครื่องปรับอากาศที่เปิดใช้งานของบ้านอยู่อาศัยกลุ่มที่ 1, 3, 5 และ 6 ที่ได้จากการวิเคราะห์และแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของ บ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงใน ช่วงเวลา 0.15 – 03.15 น. 90

ตารางที่ 4-10 ระยะเวลาการใช้งานของเครื่องปรับอากาศของบ้านอยู่อาศัย กลุ่มที่ 1, 3, 5 และ 6 ที่ได้จากการวิเคราะห์และแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านคร หลวงในช่วงเวลา 0.15 – 03.15 น. 91

ตารางที่ 4-11 จำนวนเครื่องปรับอากาศที่เปิดใช้งานของบ้านอยู่อาศัยกลุ่มที่ 2, 3 และ 5 ที่ได้จากการวิเคราะห์และแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของ บ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงใน ช่วงเวลา 09.00 – 12.00 น. 92

ตารางที่ 4-12 ระยะเวลาการใช้งานของเครื่องปรับอากาศของบ้านอยู่อาศัย กลุ่มที่ 2, 3 และ 5 ที่ได้จากการวิเคราะห์และแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า ของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงใน ช่วงเวลา 09.00 – 12.00 น. 93

ตารางที่ 4-13 จำนวนเครื่องปรับอากาศที่เปิดใช้งานของบ้านอยู่อาศัยกลุ่มที่ 2, 3, 5 และ 7 ที่ได้จากการวิเคราะห์และแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของ บ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงใน ช่วงเวลา 13.00 – 16.00 น. 94

ตารางที่ 4-14 ระยะเวลาการใช้งานของเครื่องปรับอากาศของบ้านอยู่อาศัย กลุ่มที่ 2, 3, 5 และ 7 ที่ได้จากการวิเคราะห์และแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านคร หลวงในช่วงเวลา 13.00 – 16.00 น. 95

ตารางที่ 4-15 จำนวนเครื่องปรับอากาศที่เปิดใช้งานของบ้านอยู่อาศัยกลุ่มที่
1, 3, 6 และ 7 ที่ได้จากการวิเคราะห์และแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของ

บ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงใน
ช่วงเวลา 20.15 – 23.15 น..... 96

ตารางที่ 4-16 ระยะเวลาการใช้งานของเครื่องปรับอากาศของบ้านอยู่อาศัย
กลุ่มที่ 1, 3, 6 และ 7 ที่ได้จากการวิเคราะห์และแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้
ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านคร
หลวงในช่วงเวลา 20.15 – 23.15 น..... 97

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2-1 การจัดประเภทหมวดหมู่ของโปรแกรม Demand Response [4] 8

รูปที่ 2-2 ลักษณะความต้องการไฟฟ้าในหนึ่งวันของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทต่างๆ และข้อมูล การผลิตไฟฟ้าในรอบวันของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย [9] 17

รูปที่ 2-3 ความต้องการไฟฟ้าเฉลี่ยของวันทำงานและวันหยุดในปี พ.ศ.2555 [10] 18

รูปที่ 2-4 ข้อมูลความต้องการไฟฟ้าของประเทศในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2556 [10] 19

รูปที่ 2-5 ข้อมูลความต้องการไฟฟ้ารายเดือนแบ่งตามแหล่งพลังงาน ปี พ.ศ. 2555 [10] 20

รูปที่ 2-6 ลักษณะความต้องการไฟฟ้ารายปี ในปี พ.ศ. 2552 ถึง พ.ศ.2555 [10] 21

รูปที่ 2-7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า PMV (แกนนอน) และ PPD (แกนตั้ง) [15] 31

รูปที่ 3-1 การใช้ไฟฟ้าฐานของบ้านพักอาศัยทั้ง 60 หลัง ในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวง 38

รูปที่ 4-1 ผลรวมค่าการใช้ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัย 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวง 43

รูปที่ 4-2 รูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงกลุ่มที่ 1 โดยการพิจารณาแบ่งกลุ่มจากปริมาณการใช้ไฟฟ้ามาก-น้อยของผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมดโดยรวมที่นำมาแบ่งกลุ่มเทียบกับการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละราย 45

รูปที่ 4-3 รูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงกลุ่มที่ 2 โดยการพิจารณาแบ่งกลุ่มจากปริมาณการใช้ไฟฟ้ามาก-น้อยของผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมดโดยรวมที่นำมาแบ่งกลุ่มเทียบกับการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละราย 46

รูปที่ 4-4 รูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงกลุ่มที่ 3 โดยการพิจารณาแบ่งกลุ่มจากปริมาณการใช้ไฟฟ้ามาก-น้อยของผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมดโดยรวมที่นำมาแบ่งกลุ่มเทียบกับการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละราย 47

รูปที่ 4-5 รูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงกลุ่มที่ 4 โดยการพิจารณาแบ่งกลุ่มจากปริมาณการใช้ไฟฟ้ามาก-น้อยของผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมดโดยรวมที่นำมาแบ่งกลุ่มเทียบกับการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละราย 48

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 4-6 รูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงกลุ่มที่ 5 โดยการพิจารณาแบ่งกลุ่มจากปริมาณการใช้ไฟฟ้ามาก-น้อยของผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมด โดยรวมที่นำมาแบ่งกลุ่มเทียบกับการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละราย 49

รูปที่ 4-7 รูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงกลุ่มที่ 6 โดยการพิจารณาแบ่งกลุ่มจากปริมาณการใช้ไฟฟ้ามาก-น้อยของผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมด โดยรวมที่นำมาแบ่งกลุ่มเทียบกับการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละราย 50

รูปที่ 4-8 รูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงกลุ่มที่ 7 โดยการพิจารณาแบ่งกลุ่มจากปริมาณการใช้ไฟฟ้ามาก-น้อยของผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมด โดยรวมที่นำมาแบ่งกลุ่มเทียบกับการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละราย 51

รูปที่ 4-9 รูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงกลุ่มที่ 8 โดยการพิจารณาแบ่งกลุ่มจากปริมาณการใช้ไฟฟ้ามาก-น้อยของผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมด โดยรวมที่นำมาแบ่งกลุ่มเทียบกับการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละราย 52

รูปที่ 4-10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยผลรวมของระยะห่างระหว่างทุกข้อมูลผู้ใช้ไฟฟ้าบ้านอยู่อาศัย 60 หลัง ในเขตพื้นที่ของการไฟฟ้านครหลวงกับค่าตำแหน่งจุดศูนย์กลางของกลุ่มที่แต่ละข้อมูลผู้ใช้ไฟฟ้า บ้านอยู่อาศัย 60 หลังในเขตพื้นที่ของการไฟฟ้านครหลวงเหล่านั้นจับกลุ่มได้ ของแต่ละจำนวนกลุ่มนั้นๆ ในช่วงของกลุ่มเพื่อใช้ในการแบ่งข้อมูลที่กำหนด 57

รูปที่ 4-11 รูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลด ของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงกลุ่มที่ 1 โดยการพิจารณาแบ่งกลุ่ม จากค่าการใช้ไฟฟ้าต่ำที่สุดและค่าการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดเทียบกับค่าการใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลาต่างๆของวัน ของบ้านหลังนั้นโดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-Means 59

รูปที่ 4-12 รูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลด ของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงกลุ่มที่ 1 โดยการพิจารณาแบ่งกลุ่ม จากค่าการใช้ไฟฟ้าต่ำที่สุดและค่าการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดเทียบกับค่าการใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลาต่างๆ ของวัน ของบ้านหลังนั้นโดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-Means 60

รูปที่ 4-13 รูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลด ของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงกลุ่มที่ 3 โดยการพิจารณาแบ่งกลุ่ม จากค่าการใช้ไฟฟ้าต่ำที่สุดและค่าการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดเทียบกับค่าการใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลาต่างๆ ของวันของบ้านหลังนั้นโดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-Means 61

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 4-14 รูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลด ของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงกลุ่มที่ 4 โดยการพิจารณาแบ่งกลุ่ม จากค่าการใช้ไฟฟ้าต่ำที่สุดและค่าการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดเทียบกับค่าการใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลาต่างๆ ของวันของบ้านหลังนั้นโดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-Means 62

รูปที่ 4-15 รูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลด ของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงกลุ่มที่ 5 โดยการพิจารณาแบ่งกลุ่ม จากค่าการใช้ไฟฟ้าต่ำที่สุดและค่าการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดเทียบกับค่าการใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลาต่างๆ ของวันของบ้านหลังนั้นโดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-Means 63

รูปที่ 4-16 รูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลด ของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงกลุ่มที่ 6 โดยการพิจารณาแบ่งกลุ่ม จากค่าการใช้ไฟฟ้าต่ำที่สุดและค่าการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดเทียบกับค่าการใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลาต่างๆ ของวันของบ้านหลังนั้นโดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-Means 64

รูปที่ 4-17 รูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลด ของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงกลุ่มที่ 7 โดยการพิจารณาแบ่งกลุ่ม จากค่าการใช้ไฟฟ้าต่ำที่สุดและค่าการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดเทียบกับค่าการใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลาต่างๆ ของวันของบ้านหลังนั้นโดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-Means 65

รูปที่ 4-18 รูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลด ของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงกลุ่มที่ 1 โดยการพิจารณาแบ่งกลุ่ม จากค่าการใช้ไฟฟ้าต่ำที่สุดและค่าการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดเทียบกับค่าการใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลาต่างๆ ของวันของบ้านหลังนั้นโดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ Fuzzy C-Means 67

รูปที่ 4-19 รูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลด ของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงกลุ่มที่ 2 โดยการพิจารณาแบ่งกลุ่ม จากค่าการใช้ไฟฟ้าต่ำที่สุดและค่าการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดเทียบกับค่าการใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลาต่างๆ ของวันของบ้านหลังนั้นโดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ Fuzzy C-Means 68

รูปที่ 4-20 รูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลด ของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงกลุ่มที่ 3 โดยการพิจารณาแบ่งกลุ่ม จากค่าการใช้ไฟฟ้าต่ำที่สุดและค่าการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดเทียบกับค่าการใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลาต่างๆ ของวันของบ้านหลังนั้นโดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ Fuzzy C-Means 69

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 4-21 รูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลด ของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงกลุ่มที่ 4 โดยการพิจารณาแบ่งกลุ่ม จากค่าการใช้ไฟฟ้าต่ำที่สุดและค่าการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดเทียบกับค่าการใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลาต่างๆ ของวันของบ้านหลังนั้นโดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ Fuzzy C-Means 70

รูปที่ 4-22 รูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลด ของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงกลุ่มที่ 5 โดยการพิจารณาแบ่งกลุ่ม จากค่าการใช้ไฟฟ้าต่ำที่สุดและค่าการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดเทียบกับค่าการใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลาต่างๆ ของวันของบ้านหลังนั้นโดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ Fuzzy C-Means 71

รูปที่ 4-23 รูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลด ของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงกลุ่มที่ 6 โดยการพิจารณาแบ่งกลุ่ม จากค่าการใช้ไฟฟ้าต่ำที่สุดและค่าการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดเทียบกับค่าการใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลาต่างๆ ของวันของบ้านหลังนั้นโดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ Fuzzy C-Means 72

รูปที่ 4-24 รูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลด ของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงกลุ่มที่ 7 โดยการพิจารณาแบ่งกลุ่ม จากค่าการใช้ไฟฟ้าต่ำที่สุดและค่าการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดเทียบกับค่าการใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลาต่างๆ ของวันของบ้านหลังนั้นโดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ Fuzzy C-Means 73

รูปที่ 4-25 ตำแหน่งของแต่ละกลุ่มข้อมูลรูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในพื้นที่ให้บริการ ของการไฟฟ้านครหลวง โดยแสดงระหว่างช่วงเวลา 0.15 – 03.15 น. (ช่วงแรก), 13.00 - 16.00 น. (ช่วงสาม) และ 20.15 – 23.15 น. (ช่วงสี่) 80

รูปที่ 4-26 ตำแหน่งของแต่ละกลุ่มข้อมูลรูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในพื้นที่ให้บริการ ของการไฟฟ้านครหลวง โดยแสดงระหว่างช่วงเวลา 09.00 – 12.00 น. (ช่วงสอง), 13.00 - 16.00 น. (ช่วงสาม) และ 20.15 – 23.15 น. (ช่วงสี่) 81

รูปที่ 4-27 ตำแหน่งของแต่ละกลุ่มข้อมูลรูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในพื้นที่ให้บริการ ของการไฟฟ้านครหลวง โดยแสดงระหว่างช่วงเวลา 0.15 – 03.15 น. (ช่วงแรก), 09.00 – 12.00 น. (ช่วงสอง) และ 20.15 – 23.15 น. (ช่วงสี่) 82

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 4-28 ตำแหน่งของแต่ละกลุ่มข้อมูลรูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในพื้นที่ให้บริการ ของการไฟฟ้านครหลวง โดยแสดงระหว่างช่วงเวลา 0.15 – 03.15 น. (ช่วงแรก), 09.00 – 12.00 น. (ช่วงสอง) และ 13.00 - 16.00 น. (ช่วงสาม)..... 83

รูปที่ 5-1 สรุปผลการคำนวณค่าการลดการใช้ไฟฟ้าเมื่อพิจารณาการดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลด ในช่วงเวลาที่มีค่าการใช้ไฟฟ้าสูง 3 ชั่วโมงในช่วงเวลาต่างๆ ของวัน..... 106

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

พลังงานไฟฟ้าเป็นสิ่งพื้นฐานที่สำคัญสำหรับการดำรงชีวิตของมนุษย์และการขับเคลื่อนของสังคมในทุกๆด้าน แต่ในปัจจุบันเมื่อสังคมมีความเจริญก้าวหน้ามากขึ้นทำให้มีความต้องการใช้ไฟฟ้าที่สูงยิ่งขึ้น ส่งผลให้ฝั่งด้านการผลิตกำลังไฟฟ้าและฝั่งด้านการใช้ไฟฟ้าเกิดความไม่สมดุลกันเนื่องจากกำลังไฟฟ้าไม่เพียงพอต่อความต้องการในบางช่วงเวลา เป็นหนึ่งในสาเหตุให้เกิดการเบี่ยงเบนของความถี่ของระบบไฟฟ้าซึ่งโดยปกติจะอยู่ที่ 50.00 Hz ส่วนสาเหตุอื่นๆ เช่น โรงไฟฟ้า Trip ออกจากระบบส่งผลให้ฝั่งด้านการผลิตกำลังไฟฟ้าน้อยกว่าฝั่งด้านการใช้ไฟฟ้า [1]

ประกอบกับในปัจจุบันมีการนำพลังงานหมุนเวียนเข้ามาใช้ในระบบไฟฟ้ามากมาย เช่น โซลาร์เซลล์ ส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์ Duck Curve คือ ในช่วงเวลากลางวันจะมีกำลังไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ที่ผลิตได้จากพลังงานแสงอาทิตย์เข้ามาในระบบมากทำให้ทางด้านการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยต้องลดปริมาณการผลิตกำลังไฟฟ้าลง แต่ในช่วงเวลาเย็นหรือค่ำที่กำลังไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ที่ผลิตได้จากพลังงานแสงอาทิตย์เริ่มลดน้อยลงและค่อยๆหายไป [2] ทำให้ทางด้านการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยต้องเร่งเพิ่มการผลิตกำลังไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าให้มากยิ่งขึ้นเพื่อให้เพียงพอกับการใช้ไฟฟ้าของทางฝั่งผู้ใช้ไฟฟ้า แต่ในการเดินเครื่องโรงไฟฟ้าเพื่อเพิ่มการผลิตกำลังไฟฟ้าต้องใช้เวลา

หนึ่งในวิธีเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวและเพื่อรักษาสมดุลระหว่างฝั่งด้านการผลิตกำลังไฟฟ้าและฝั่งด้านการใช้ไฟฟ้า คือมาตรการการตอบสนองด้านโหลด (Demand Response) ซึ่งเป็นมาตรการที่ดำเนินการในฝั่งด้านผู้ใช้ไฟฟ้า ทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของตัวเอง ณ ช่วงเวลาหนึ่งเพื่อควบคุมให้การใช้ไฟฟ้าทางฝั่งผู้ใช้ไฟฟ้าไม่สูงมากเกินไป ส่งผลให้เกิดสมดุลระหว่างการผลิตกำลังไฟฟ้าและการใช้ไฟฟ้า ณ เวลานั้นเพื่อให้ระบบไฟฟ้าเกิดเสถียรภาพ

ที่ผ่านมามาตรการการตอบสนองด้านโหลดถูกนำมาใช้กับกลุ่มเป้าหมายผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลาง, ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่ และผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 5 กิจการเฉพาะอย่าง [3] วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการนำมาตรการการตอบสนองด้านโหลดมาปรับใช้กับผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย เพื่อแก้ปัญหาปรากฏการณ์ Duck Curve เนื่องจากโหลดประเภทบ้านอยู่อาศัยมีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่สูงในช่วงค่ำ ดังนั้นจึงนำมาตรการการตอบสนองด้านโหลดมา

ปรับใช้กับกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัย เพื่อให้ผู้ใช้ไฟฟ้ากลุ่มดังกล่าวลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าลงในช่วงเวลาดังกล่าว

การแบ่งกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดได้ เนื่องจากสามารถกำหนดกลไกในการดำเนินมาตรการที่เหมาะสมกับพฤติกรรมของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละกลุ่ม งานวิจัยในอดีตแบ่งกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าโดยพิจารณาจากปริมาณการใช้ไฟฟ้ามาก-น้อยของผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมดโดยรวมที่นำมาแบ่งกลุ่มเทียบกับการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละราย ทำให้ผลการแบ่งกลุ่มที่ได้ไม่เห็นความแตกต่างเท่าที่ควร เนื่องจากผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าใกล้เคียงกันจะถูกแบ่งกลุ่มอยู่ด้วยกันถึงแม้จะมีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่แตกต่างกันก็ตาม โดยปัญหานี้จะเกิดกับกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงและต่ำมากอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับผู้ใช้ไฟฟ้ารายอื่นๆ

เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าววิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการแบ่งกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดโดยพิจารณาจากค่าการใช้ไฟฟ้าต่ำที่สุดและค่าการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดเทียบกับค่าการใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลาต่างๆของวันของบ้านหลังนั้นโดยจะพิจารณาจากกลุ่มตัวอย่างผู้ใช้ไฟฟ้าบ้านอยู่อาศัย 60 หลังในเขตพื้นที่ของการไฟฟ้านครหลวง และได้จำลองสถานการณ์การดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดกับข้อมูลกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าตัวอย่างที่แบ่งกลุ่มได้ด้วยวิธีที่นำเสนอดังกล่าวด้วยการขอความร่วมมือให้มีการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้เครื่องปรับอากาศเพื่อการคำนวณการลดการใช้ไฟฟ้าที่สามารถลดได้ต่อไป

1.2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1) นำเสนอการแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงเพื่อการขอความร่วมมือในการดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดได้อย่างเหมาะสมด้วยการพิจารณาจากค่าการใช้ไฟฟ้าต่ำที่สุดและค่าการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดเทียบกับค่าการใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลาต่างๆของวันของบ้านหลังนั้นโดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-Means และวิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ Fuzzy C-Means
2) จำลองสถานการณ์การดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดแบบ Emergency Demand Response Program กับผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัยในพื้นที่การไฟฟ้านครหลวงด้วยการขอความร่วมมือให้มีการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้เครื่องปรับอากาศในช่วงเวลามีการใช้ไฟฟ้าสูง 3 ชั่วโมงของวันเพื่อการคำนวณการลดการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาดังกล่าว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3) วิเคราะห์และคำนวณหาอุณหภูมิการใช้เครื่องปรับอากาศที่เพิ่มขึ้นที่เหมาะสมที่สุดโดยที่สามารถลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศได้มากที่สุดและผู้คนยังพึงพอใจหรือยอมรับได้มากที่สุดในช่วงเวลาที่จำลองสถานการณ์การดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลด
4) เพื่อให้กลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 1 บ้านพักอาศัยได้มีความเข้าใจและได้มีส่วนร่วมเมื่อเกิดปัญหาการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ส่งผลให้เกิดความไม่สมดุลกันระหว่างฝั่งด้านการผลิตกำลังไฟฟ้าและฝั่งด้านปริมาณการใช้ไฟฟ้าของประเทศขึ้นในอนาคต

1.3. ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1) วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-Means และวิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ Fuzzy C-Means สำหรับการแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงเพื่อการขอความร่วมมือในการดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดได้อย่างเหมาะสมเท่านั้น
2) วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะนำเสนอการจำลองสถานการณ์การดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดแบบ Emergency Demand Response Program กับกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงเท่านั้น
3) การจำลองสถานการณ์การดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดกับกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงนั้น วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอให้พิจารณาที่อัตราการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศโดยการขอความร่วมมือให้บ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลัง เพิ่มอุณหภูมิการใช้เครื่องปรับอากาศเป็น 27°C ในช่วงเวลาที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดเท่านั้น
4) การจำลองสถานการณ์การดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดกับกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงจะพิจารณาที่ช่วงเวลา 0.15 - 03.15 น., 09.00 - 12.00 น., 16.00 - 24.00 น. และ 20.15 - 23.15 น.เท่านั้น เนื่องจากช่วงเวลาดังกล่าวกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงมีค่าการใช้ไฟฟ้าที่สูงมากกว่าช่วงเวลาอื่นๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.4. วิธีการดำเนินงานวิจัย

1) ศึกษาวิทยานิพนธ์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับมาตรการการตอบสนองด้านโหลด (Demand Response)
2) ศึกษานโยบายเกี่ยวกับมาตรการการตอบสนองด้านโหลด (Demand Response) จากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง
3) ศึกษาถึงสาเหตุต่างๆ ที่ทำให้เกิดปัญหาความไม่สมดุลกันระหว่างฝั่งด้านการผลิตกำลังไฟฟ้าและฝั่งด้านการใช้ไฟฟ้า
4) ศึกษาหลักการปลดโหลดแบบอัตโนมัติและแบบบังคับควบคุม
5) ศึกษาพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย ในพื้นที่การไฟฟ้านครหลวง
6) ศึกษาวิทยานิพนธ์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแบ่งกลุ่มข้อมูลพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้า
7) ศึกษาวิทยานิพนธ์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแบ่งกลุ่มข้อมูลโดยการใช้ปัญญาประดิษฐ์
8) วิเคราะห์และแบ่งกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงด้วยวิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบงานวิจัยในอดีต
9) สรุปข้อเสียจากผลลัพธ์ที่ได้จากแบ่งกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงด้วยวิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบงานวิจัยในอดีตและนำมาปรับปรุงให้เหมาะสมยิ่งขึ้นกับข้อมูลผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวง ด้วยวิธีการพิจารณาแบ่งกลุ่มที่วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอ โดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-Means และวิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ Fuzzy C-Means
10) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดกับกลุ่มบ้านที่พิจารณาขอความร่วมมือลดการใช้ไฟฟ้าที่แบ่งกลุ่มได้จากข้อ 9) โดยพิจารณาจากกลุ่มบ้านที่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าสูงในช่วงเวลาเดียวกับที่ต้องการดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลด
11) ศึกษาข้อมูลพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศของบ้านอยู่อาศัยในพื้นที่การไฟฟ้านครหลวงจากโครงการสำรวจและปรับปรุงการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าเพื่อการอนุรักษ์พลังงานในระยะยาว
12) วิเคราะห์พฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศของบ้านอยู่อาศัยในพื้นที่การไฟฟ้านครหลวงจากโครงการสำรวจและปรับปรุงการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าเพื่อการอนุรักษ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

พลังงานในระยะยาว เพื่อเป็นตัวแทนในการพิจารณาพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศของบ้านอยู่อาศัยในพื้นที่ของการไฟฟ้านครหลวงทั้ง 60 หลัง

13) ศึกษาการคำนวณค่าการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ และการคำนวณค่าการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศที่เพิ่มขึ้น/ลดลง เมื่อปรับเปลี่ยนอุณหภูมิ
14) ศึกษาความสบายเชิงความร้อนต่อสภาพแวดล้อมของคนไทย
15) วิเคราะห์การเพิ่มอุณหภูมิการใช้เครื่องปรับอากาศในช่วงเวลาที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดที่เหมาะสมที่สุด โดยที่อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นดังกล่าวสามารถลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าได้มากที่สุด และผู้อยู่อาศัยของบ้านพักอาศัย 60 หลังในพื้นที่การไฟฟ้านครหลวงมีความพึงพอใจ หรือยอมรับได้มากที่สุด
16) วิเคราะห์ลักษณะพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดกับกลุ่มบ้านที่พิจารณาขอความร่วมมือลดการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลานั้นๆ จากข้อ 10) เพื่อหาค่าพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่สูงมากที่สุด 3 ชั่วโมงของแต่ละช่วงเวลา
17) ศึกษาพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศในแต่ละช่วงเวลาดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดกับกลุ่มบ้านที่พิจารณาขอความร่วมมือลดการใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลานั้นๆ จากข้อ 16)
18) วิเคราะห์และคำนวณค่าการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศที่ลดลงของแต่ละช่วงเวลาดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดเมื่อกลุ่มบ้านที่พิจารณาขอความร่วมมือลดการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลานั้นๆเพิ่มการตั้งค่าอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศไปยังอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดจากข้อ 15)
19) วิเคราะห์และสรุปผล
20) เรียบเรียงผลงานวิจัยและนำเสนอคณะกรรมการต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) การแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงและการจำลองสถานการณ์การดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดแบบ Emergency Demand Response Program กับกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัยที่แบ่งได้ดังกล่าว ด้วยการขอความร่วมมือให้ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัยปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้เครื่องปรับอากาศเพื่อการคำนวณการลดการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลด ช่วยให้ทางการไฟฟ้านครหลวงสามารถวางแผนในการขอความร่วมมือกับผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 1 บ้าน

อยู่อาศัย ในเขตพื้นที่ให้บริการของทางการไฟฟ้านครหลวงเอง เพื่อการดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดได้อย่างเหมาะสม

2) การวิเคราะห์และคำนวณหาอุณหภูมิการใช้เครื่องปรับอากาศที่เพิ่มขึ้นที่เหมาะสมที่สุดโดยที่สามารถลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศได้มากที่สุดและผู้คนยังพึงพอใจหรือยอมรับได้มากที่สุด เป็นอีกหนึ่งวิธีทางเลือกที่มีประสิทธิภาพมาก เนื่องจากสามารถนำค่าอุณหภูมิดังกล่าวไปใช้ขอความร่วมมือให้ผู้ใช้ไฟฟ้าปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้เครื่องปรับอากาศเพื่อการลดการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดในช่วงเวลาที่ต้องการได้
3) กลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัยมีความเข้าใจและได้มีส่วนร่วมเมื่อเกิดปัญหาการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ส่งผลให้เกิดความไม่สมดุลกันระหว่างฝั่งด้านการผลิตกำลังไฟฟ้าและฝั่งด้านปริมาณการใช้ไฟฟ้าของประเทศขึ้นในอนาคต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินการงานวิจัยชิ้นนี้ ซึ่งประกอบไปด้วยหลักการของมาตรการการตอบสนองด้านโหลด, ประเภทของผู้ใช้ไฟฟ้า, ลักษณะโหลด, ความต้องการไฟฟ้า, วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-Means, วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ Fuzzy C-Means, ลำดับความสำคัญของ Load, โครงการสำรวจและปรับปรุงการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าเพื่อการอนุรักษ์พลังงานในระยะยาว, ความสบายเชิงความร้อน และการคำนวณค่าการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ

2.1. มาตรการการตอบสนองด้านโหลด (Demand Response)

มาตรการการตอบสนองด้านโหลด เป็นมาตรการการส่งเสริมให้ผู้ใช้ไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของตัวเองให้เปลี่ยนไปจากรูปแบบการใช้ปกติโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดความต้องการใช้ไฟฟ้า (Peak Cut) ในเวลาที่ระบบต้องการ หรือเพื่อตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของราคาค่าไฟในช่วงเวลาต่างๆ โดยจะเป็นประโยชน์ต่อการจัดการสภาวะวิกฤต และเพิ่มความมั่นคงด้านพลังงานไฟฟ้าทั้งในระยะสั้นและระยะยาว อย่างไรก็ตามมาตรการการตอบสนองด้านโหลดจะดำเนินการในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งเท่านั้น ไม่ใช่ทุกช่วงเวลา

ประโยชน์ที่ได้รับในฝั่งผู้ผลิตไฟฟ้า

- ผู้ผลิตไฟฟ้าสามารถวางแผนใช้กำลังการผลิตที่มีอยู่ได้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น
- ผู้ผลิตสามารถลดต้นทุนในการผลิตและสำรองไฟฟ้าในช่วงเวลานั้นลงได้
- ผู้ผลิตสามารถบริหารการผลิตและจ่ายไฟฟ้าในภาวะฉุกเฉินได้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

ประโยชน์ที่ได้รับในฝั่งผู้ใช้ไฟฟ้า

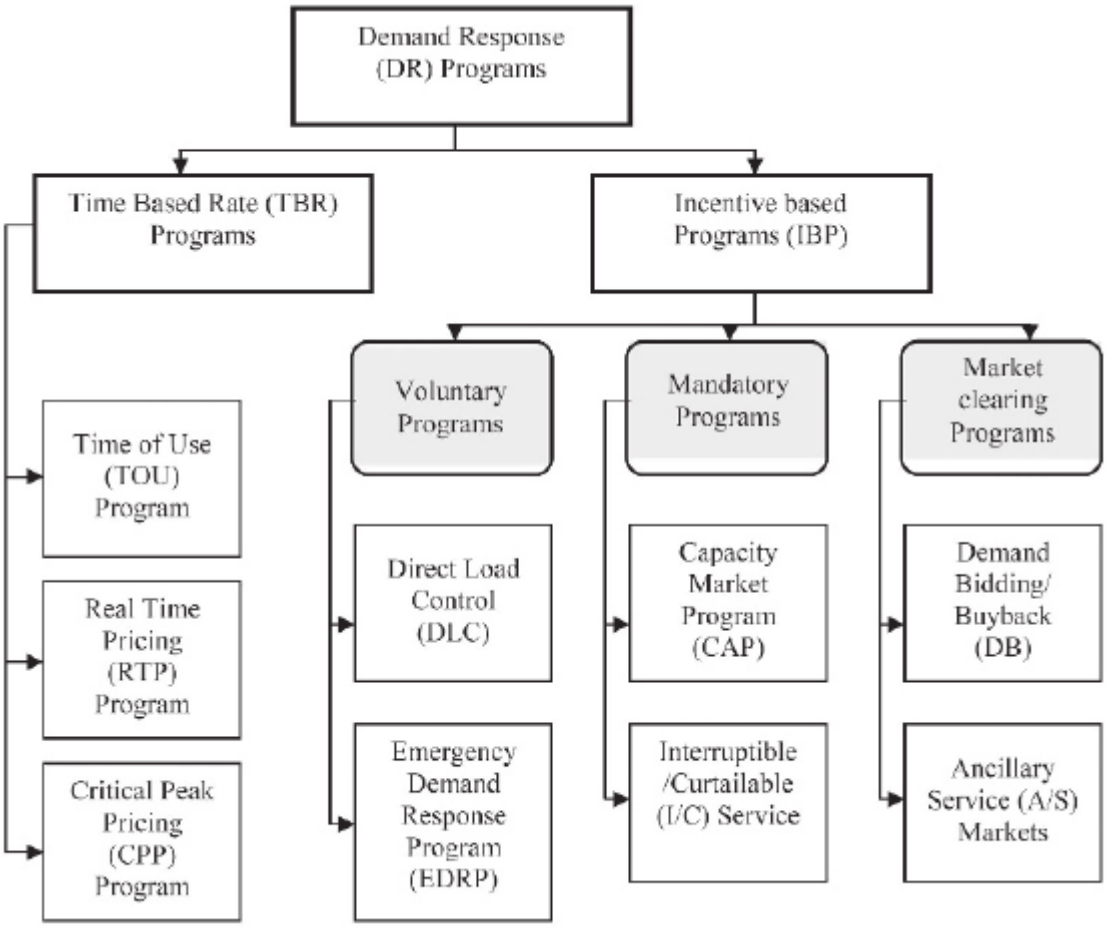
- มาตรการการตอบสนองด้านโหลดอาจช่วยผู้ใช้ไฟฟ้าลดค่าไฟฟ้ารายเดือนหรือก่อให้เกิดรายได้ ขึ้นอยู่กับรูปแบบผลตอบแทนของมาตรการการตอบสนองด้านโหลด

ประโยชน์ที่เกิดขึ้นโดยรวม

- ช่วยส่งเสริมการนำแหล่งผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กและกระจายตัวอยู่ทั่วไป (Distributed Generation : DG) และแหล่งผลิตพลังงานหมุนเวียนเข้าไปยังระบบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

มาตรการการตอบสนองด้านโหลดสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลักๆ คือ มาตรการด้านราคาตามช่วงเวลา (Time-based Rate Program : TBRP) และมาตรการด้านสิ่งจูงใจ (Incentive-Based Program : IBP) ดังรูปที่ 2-1



รูปที่ 2-1 การจัดประเภทหมวดหมู่ของโปรแกรม Demand Response [4]

2.1.1. มาตรการด้านราคาตามช่วงเวลา (Time-based Rate Program : TBRP) คือ มาตรการที่ปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าโดยการกำหนดอัตราราคาค่าไฟฟ้าให้สอดคล้องและผันแปรไปตามช่วงเวลานั้นๆ ประกอบด้วย

- Time of Use (TOU) หรือ มาตรการอัตราค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลาการใช้ เป็นการกำหนดอัตราค่าไฟฟ้าที่แตกต่างไปในแต่ละช่วงเวลา โดยจะแบ่งเป็นช่วง On peak (ความต้องการไฟฟ้าสูง) และ Off peak (ความต้องการไฟฟ้าต่ำ) ซึ่งค่าไฟฟ้าที่เก็บในช่วง On peak จะสูงกว่าช่วง Off peak

- Real Time Pricing (RTP) หรือ อัตราค่าไฟฟ้า ณ เวลาปัจจุบัน เป็นการกำหนดอัตราค่าไฟฟ้าให้เปลี่ยนไปเป็นรายชั่วโมงและราคาค่าไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องตลอดทั้งวันโดยสะท้อนกับราคาขายส่งไฟฟ้า ณ ช่วงเวลานั้นๆ
- Critical Peak Pricing (CPP) หรือ มาตรการอัตราค่าไฟฟ้าช่วงวิกฤต เป็นการกำหนดอัตราค่าไฟฟ้าคล้ายกับมาตรการ Time of Use (TOU) แต่จะมีการเพิ่มช่วง Critical Peak (ช่วงที่ระบบมีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุด) เข้าไป และจะกำหนดราคาค่าไฟฟ้าในอัตราที่สูงมากในช่วงเวลานั้น

2.1.2. มาตรการด้านสิ่งจูงใจ (Incentive-Based Program : IBP) คือ มาตรการที่ปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า โดยการทำสัญญากับฝั่งผู้ใช้ไฟฟ้า โดยการกำหนดปริมาณไฟฟ้าที่ลดได้ เพื่อแลกกับผลตอบแทนบางอย่างหรือเงินตอบแทนตามสัญญาตามที่ตกลงกัน และอาจจะมีการลงโทษผู้ใช้ไฟฟ้าถ้าไม่สามารถปฏิบัติตามเงื่อนไขที่ตกลงกันได้

มาตรการด้านสิ่งจูงใจสามารถแบ่งได้ออกเป็น 3 ประเภท คือ

1) มาตรการแบบสมัครใจ (Voluntary Programs) เป็นมาตรการที่ผู้ใช้ไฟฟ้าที่เข้าร่วมจะไม่ได้รับบทลงโทษใดๆหากไม่สามารถลดการใช้ไฟฟ้าได้ตามเงื่อนไขที่ตกลงกัน ประกอบด้วย

   - มาตรการ Direct Load Control (DLC) เป็นมาตรการที่สั่งการปิดหรือควบคุมการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าได้โดยตรงจากระยะไกล โดยผู้ใช้ไฟฟ้าอาจได้รับผลตอบแทนเป็นตัวเงิน หรือผลประโยชน์บางอย่าง
   - มาตรการ Emergency Demand Response Program (EDRP) เป็นมาตรการที่เสนอสิ่งจูงใจโดยการจ่ายค่าตอบแทนให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าที่สมัครใจเข้าร่วมมาตรการเพื่อให้ผู้ใช้ไฟฟ้าลดการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาวิกฤต แต่จะไม่มีการลงโทษผู้เข้าร่วมที่ไม่สามารถลดการใช้ไฟฟ้าได้ และการเชิญให้เข้าร่วมมาตรการจะแจ้งให้ผู้ใช้ไฟฟ้าทราบในช่วงเวลาไกล้ๆ เช่น 1 วัน หรือ 1 ชั่วโมงล่วงหน้า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2) มาตรการแบบบังคับ (Mandatory Programs) เป็นมาตรการที่ผู้ใช้ไฟฟ้าที่เข้าร่วมอาจถูกลงโทษหากไม่สามารถลดการใช้ไฟฟ้าได้ตามเงื่อนไขที่ตกลงกัน ประกอบด้วย

- มาตรการ Capacity Market Program (CAP) เป็นมาตรการที่ทางฝั่งผู้ใช้ไฟฟ้าจะกำหนดปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่จะลดเอง และจะแจ้งปริมาณที่จะขอลดในวันก่อนที่จะดำเนินการลดและจะได้รับเงินล่วงหน้า หากผู้ใช้ไฟฟ้าไม่สามารถลดการใช้ไฟฟ้าได้ตามที่สัญญาไว้ก็จะมีบทลงโทษ
- มาตรการ Interruptible/Curtailable (I/C) Service เป็นมาตรการที่จะมีการกำหนดจำนวนครั้งที่จะขอความร่วมมือในการเข้าร่วมการลดการใช้ไฟฟ้าและจะมีการกำหนดค่าตอบแทนให้ตามอัตราที่ได้ทำสัญญาตกลงกันไว้

3) มาตรการ Market clearing Programs เป็นมาตรการที่เปิดโอกาสให้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถเสนอปริมาณการลดการใช้ไฟฟ้าและราคาที่ต้องการเองได้ ประกอบด้วย

- มาตรการ Demand Bidding/ Buyback (DB) เป็นมาตรการที่เปิดโอกาสให้ผู้ใช้ไฟฟ้ารายใหญ่สามารถเสนอปริมาณการลดการใช้ไฟฟ้าและราคาที่ต้องการสำหรับการลดการใช้ไฟฟ้าในปริมาณดังกล่าวที่เสนอมา
- มาตรการ Ancillary Service (A/S) Markets เป็นมาตรการที่เปิดโอกาสให้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถเสนอปริมาณการลดการใช้ไฟฟ้าในตลาดซื้อขายไฟฟ้าได้ในลักษณะของกำลังไฟฟ้าสำรอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.1.3. มาตรการการตอบสนองด้านโหลดในประเทศไทย

ประเทศไทยมีแนวคิดที่จะเปลี่ยนระบบโครงข่ายไฟฟ้าในประเทศไทยให้เป็นระบบโครงข่ายไฟฟ้าสมาร์ตกริด [5] เพื่อประโยชน์ต่างๆ คือการรวมพลังงานหมุนเวียนเข้าไปในระบบไฟฟ้า, การเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการระบบโครงข่ายไฟฟ้า, เพิ่มการรับรู้ข้อมูลที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า และยังมีประโยชน์อีกข้อหนึ่งที่เป็นปัจจัยหลักในการพิจารณาที่จะเปลี่ยนระบบโครงข่ายไฟฟ้าแบบดั้งเดิมให้เป็นระบบโครงข่ายไฟฟ้าสมาร์ตกริด คือ การลดความต้องการไฟฟ้าสูงสุด เนื่องจากความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดของประเทศไทยมักเกิดขึ้นในช่วงเดือนเมษายน เพราะมีการใช้เครื่องปรับอากาศมากใน

ช่วงเวลาดังกล่าว และทางการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยต้องเตรียมกำลังไฟฟ้าให้เพียงพอเพื่อรองรับความต้องการไฟฟ้าสูงสุดในช่วงเวลานั้น

เพื่อเตรียมรับมือกับเหตุการณ์ดังกล่าวจึงต้องมีการก่อสร้างโรงไฟฟ้าในจำนวนที่มากขึ้น แต่โรงไฟฟ้าที่สร้างขึ้นใหม่เหล่านี้มีการปฏิบัติงานในช่วงเวลาไม่มากในแต่ละปี แต่จะมีค่าใช้จ่ายอื่นๆตามมาอีกมาก เช่น ค่าดูแลรักษาหรือค่าบุคลากรในการปฏิบัติงาน ในทางเศรษฐศาสตร์อาจจะไม่คุ้มค่า

มาตรการการตอบสนองด้านโหลด เป็นส่วนหนึ่งของแผนขับเคลื่อนระบบโครงข่ายไฟฟ้าสมาร์ตกริดในประเทศไทยที่จะนำมาใช้เพื่อการลดค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุดของระบบ ในประเทศไทยได้เริ่มมีการศึกษาและโครงการนำร่องที่เกี่ยวกับการตอบสนองด้านโหลด ไปบางส่วน อาทิเช่น โครงการ Demand Response รองรับการขาดแคลนก๊าซธรรมชาติเดือน มีนาคม - เมษายน พ.ศ. 2560 หรือ โครงการวิจัยนำร่องการดำเนินงานด้านการจัดการกำลังไฟฟ้าสูงสุดในภาคประชาชน (DR100) เป็นต้น

จากรายงาน 'มาตรการความร่วมมือลดการใช้ไฟฟ้า (Demand Response) และอัตรา Demand Response' ของสำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (กกพ.) [3] ที่เผยแพร่เมื่อเดือน ก.ย. 2559 ได้ระบุถึงรูปแบบของมาตรการ Demand Response ที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทย มีทั้งหมด 3 แบบได้แก่ มาตรการ Emergency Demand Response Program (EDRP), มาตรการ Critical Peak Pricing (CPP) และ มาตรการ Interruptible Load Program (ILP) ซึ่งมาตรการบางส่วนได้มีการดำเนินการไปแล้ว และมาตรการบางส่วนที่รอดำเนินการเนื่องจากต้องรอความพร้อมในด้านเทคโนโลยีในอนาคต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.1.4. โปรแกรมการตอบสนองด้านโหลดประเภท Emergency Demand Response Program ในเมืองไทย

ประเทศไทยเคยนำโปรแกรมการตอบสนองด้านโหลดประเภท Emergency Demand Response Program มาใช้ในโครงการรองรับการขาดแคลนก๊าซธรรมชาติเดือน มีนาคม - เมษายน พ.ศ. 2560 [6] สืบเนื่องจากวันที่ 25 มี.ค. – 2 เม.ย. พ.ศ. 2560 มีการหยุดจ่ายก๊าซธรรมชาติฝั่งตะวันตกทั้งหมด ส่งผลต่อการผลิตไฟฟ้าของประเทศทำให้ต้องใช้น้ำมันเตาและน้ำมันดีเซลในการผลิตไฟฟ้าทดแทนก๊าซธรรมชาติ ส่งผลให้ค่าใช้ไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากต้นทุนการผลิตไฟฟ้าที่สูงขึ้น เพื่อเป็นการ

แก้ปัญหาดังกล่าวจึงนำโปรแกรมการตอบสนองด้านโหลดประเภท Emergency Demand Response Program มาใช้เพื่อลดภาระค่าน้ำมันเชื้อเพลิงที่ต้องนำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าทดแทนก๊าซธรรมชาติที่หายไปโดยการลดความต้องการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาที่ระบบมีความต้องการใช้กำลังการผลิตไฟฟ้าสูง โดยมุ่งเน้นไปที่กลุ่มเป้าหมายผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่และมีการดำเนินมาตรการระหว่างวันที่ 27 – 31 มีนาคม 2560 เวลา 9.00 – 22.00 น. ในพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการ, ราชบุรี, นครปฐม, สมุทรสาคร และ สมุทรสงคราม โดยจะมีการให้ค่าตอบแทนแก่ผู้ใช้ไฟฟ้าที่ให้ความร่วมมือในการลดการใช้ไฟฟ้าเป็นเงินค่าชดเชยตามปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่สามารถบริหารจัดการให้มีการใช้ลดลงในช่วงเวลาที่ดำเนินมาตรการได้

2.2. ประเภทของผู้ใช้ไฟฟ้า

ด้วย คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน ในการประชุมเมื่อวันที่ 13 กรกฎาคม พ.ศ.2554 ได้มีมติเห็นชอบกำหนดประเภทผู้ใช้ไฟฟ้าเป็น 8 ประเภท [7] ตามโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าปี 2554-2558 ดังนี้

2.2.1. ประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย

การใช้ไฟฟ้าของบ้านเรือนที่อยู่อาศัย วัดและโบสถ์ของศาสนาต่าง ๆ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง โดยต่อผ่านเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าเครื่องเดียว

2.2.2. ประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก

การใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ ธุรกิจรวมกับที่อยู่อาศัย อุตสาหกรรม หน่วยราชการ สำนักงาน หรือหน่วยงานอื่นใดของรัฐ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น และหน่วยงานรัฐวิสาหกิจ หรืออื่นๆ ตลอดจน บริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด ต่ำกว่า 30 กิโลวัตต์ โดยต่อผ่านเครื่องวัด หน่วยไฟฟ้าเครื่องเดียว

2.2.3. ประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลาง

การใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ อุตสาหกรรม หน่วยราชการ สำนักงาน หรือหน่วยงานอื่นใด ของรัฐ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น หน่วยงานรัฐวิสาหกิจ สถานที่ทำการเกี่ยวกับกิจการของต่างชาติและสถานที่ทำการขององค์การระหว่างประเทศ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด ตั้งแต่ 30 ถึง

999 กิโลวัตต์ และมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือน ไม่เกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน โดย ต่อผ่านเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าเครื่องเดียว

2.2.4. ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่

การใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ อุตสาหกรรม หน่วยราชการ สำนักงาน หรือหน่วยงานอื่น ใดของรัฐ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น หน่วยงานรัฐวิสาหกิจ สถานที่ทำการเกี่ยวกับกิจการของต่างชาติ และ สถานที่ทำการขององค์การระหว่างประเทศ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด ตั้งแต่ 1,000 กิโลวัตต์ขึ้นไป หรือ มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือน เกินกว่า 250,000 หน่วยต่อเดือน โดยต่อผ่านเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าเครื่องเดียว

2.2.5. ประเภทที่ 5 กิจการเฉพาะอย่าง

การใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบกิจการโรงแรมและกิจการให้เช่าพักอาศัย ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดตั้งแต่ 30 กิโลวัตต์ขึ้นไป โดยต่อผ่านเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าเครื่องเดียว

2.2.6. ประเภทที่ 6 องค์กรที่ไม่แสวงผลกำไร

การใช้ไฟฟ้าขององค์กรที่มีวัตถุประสงค์ในการให้บริการโดยไม่คิดค่าตอบแทน รวมถึง สถานที่ที่ใช้ในการประกอบศาสนกิจ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง แต่ไม่รวมถึงหน่วยราชการ สำนักงาน หรือ หน่วยงานอื่นใดของรัฐ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น หน่วยงานรัฐวิสาหกิจ สถานที่ทำการเกี่ยวกับกิจการของ ต่างชาติและสถานที่ทำการขององค์การระหว่างประเทศ โดยต่อผ่านเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าเครื่องเดียว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2.7. ประเภทที่ 7 กิจการสูบน้ำเพื่อการเกษตร

การใช้ไฟฟ้ากับเครื่องสูบน้ำ เพื่อการเกษตรของหน่วยราชการ สำนักงาน หรือหน่วยงานอื่น ใดของรัฐ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น กลุ่มเกษตรกรที่ทางราชการรับรองหรือสหกรณ์เพื่อการเกษตร โดยต่อผ่าน เครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าเครื่องเดียว

2.2.8. ประเภทที่ 8 ผู้ใช้ไฟฟ้าชั่วคราว

การใช้ไฟฟ้าชั่วคราวเพื่อใช้ในการก่อสร้างอาคารทั่วไปหรือสิ่งปลูกสร้าง การจัดงานขึ้น เป็นกรณีพิเศษชั่วคราว หรือการใช้ในกรณีต่างๆ เป็นการชั่วคราว โดยต่อผ่านเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าเครื่องเดียว

2.3. ลักษณะโหลด

โหลด (Load) [8] หรือภาระทางไฟฟ้า คือ อุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ไฟฟ้าในการทำงาน และทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานรูปอื่นๆเช่น พลังงานเสียง พลังงานแสง พลังงานความร้อนหรือพลังงานความเย็น เป็นต้น อีกความหมายหนึ่งของโหลด คือ ปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้า ณ เวลาใดๆ มีหน่วยเป็นวัตต์ กิโลวัตต์ หรือเมกะวัตต์

โหลด สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทหลักตามระดับแรงดันที่รับไฟฟ้าจากการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่าย ดังนี้

- โหลดขนาดใหญ่ เช่น อุตสาหกรรม การค้าพาณิชย์ ที่รับไฟฟ้าระดับแรงดัน 115 kV
- โหลดขนาดกลาง เช่น อุตสาหกรรม การค้าพาณิชย์ ที่รับไฟฟ้าระดับแรงดัน 12-24 kV (การไฟฟ้านครหลวง) หรือ 22-23 kV (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค)
- โหลดขนาดเล็ก เช่น อุตสาหกรรม การค้าพาณิชย์ และแหล่งที่อยู่อาศัยที่รับไฟฟ้าในระบบ 3 เฟส หรือ 1 เฟสที่ระดับแรงดัน 400/230 V (การไฟฟ้านครหลวง) หรือ 400/240 V (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค)

นอกจากนี้ในทางปฏิบัติงานยังมีคำนิยามต่างๆที่เกี่ยวกับโหลด ดังนี้

- ความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (Peak demand) คือ ค่ากำลังไฟฟ้าที่สูงที่สุดเมื่อพิจารณาจากทุกช่วงของโหลด
- ความต้องการไฟฟ้าต่ำสุด (Minimum demand) คือ ค่ากำลังไฟฟ้าที่ต่ำที่สุดในช่วงเวลาที่พิจารณาของโหลด
- ความต้องการไฟฟ้าเฉลี่ย (Average demand) คือค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้าในช่วงเวลาที่พิจารณา สามารถคำนวณได้จาก

$$\text{ความต้องการไฟฟ้าเฉลี่ย} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าทั้งหมดในช่วงเวลาที่พิจารณา}}{\text{ระยะเวลาที่พิจารณา}}$$

- ตัวประกอบโหลด (load factor) คือ อัตราส่วนระหว่างความต้องการไฟฟ้าเฉลี่ยเทียบกับความต้องการไฟฟ้าสูงสุด ในช่วงเวลาที่กำหนด สามารถเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\text{ตัวประกอบโหลด} = \frac{\text{ความต้องการไฟฟ้าเฉลี่ย}}{\text{ความต้องการไฟฟ้าสูงสุดในช่วงเวลาที่กำหนด}}$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

- ตัวประกอบค่าความต้องการ (demand factor) คือ อัตราส่วนระหว่างความต้องการไฟฟ้าสูงสุดในช่วงเวลาที่กำหนดเทียบกับความต้องการไฟฟ้าสูงสุดที่เป็นไปได้ สามารถเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\text{ตัวประกอบค่าความต้องการ} = \frac{\text{ความต้องการไฟฟ้าสูงสุดในช่วงเวลาที่กำหนด}}{\text{ความต้องการไฟฟ้าสูงสุดที่เป็นไปได้}}$$

- โหลดทั้งหมดที่ต่ออยู่ในระบบ (Total Connected Load หรือ TCL) คือ ผลรวมของกำลังไฟฟ้า (kVA) ของอุปกรณ์ไฟฟ้าทั้งหมดที่ติดตั้งไว้ในระบบ
- ตัวประกอบไดเวอร์ซิตี (Diversity Factor) และตัวประกอบโคอินซิเดนซ์ (Coincidence Factor) คือ ดัชนีที่ใช้วัดความหลากหลายของโหลด หรืออีกความหมายหนึ่ง หมายถึงผลรวมของการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุด (ที่ใช้จริง) ของหน่วยการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละหน่วย เทียบกับการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดรวม (โดยการวัดรวม) ในหน่วยการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดนั้นๆ สามารถเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\text{ตัวประกอบโคอินซิเดนซ์} = \frac{\text{โหลดสูงสุดของระบบ}}{\text{ผลรวมโหลดสูงสุดของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละกลุ่ม}}$$

และ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

$$\text{ตัวประกอบไดเวอร์ซิตี} = \frac{1}{\text{ตัวประกอบโคอินซิเดนซ์}}$$

- ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสูญเสีย (Loss Factor : LSF) คือ ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียเฉลี่ยเทียบกับค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในช่วงเวลาโหลดสูงสุด สามารถเขียนเป็นสมการความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\text{ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสูญเสีย} = \frac{\text{ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียเฉลี่ย}}{\text{ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในช่วงเวลาโหลดสูงสุด}}$$

2.4. ความต้องการไฟฟ้า (Demand)

ความต้องการไฟฟ้า หมายถึง ปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าของโหลดในแต่ละช่วงเวลาที่พิจารณา (Demand Interval) ในการคาดคะเนความต้องการใช้ไฟฟ้าของโหลดนั้นจำเป็นจะต้องพยากรณ์ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า 2 ค่า นั่นคือ ความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เกิดขึ้นในชั่วโมงใดชั่วโมงหนึ่งของรอบระยะเวลาหนึ่ง และ ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าในช่วงเวลาของนอกระยะเวลาเดียวกัน

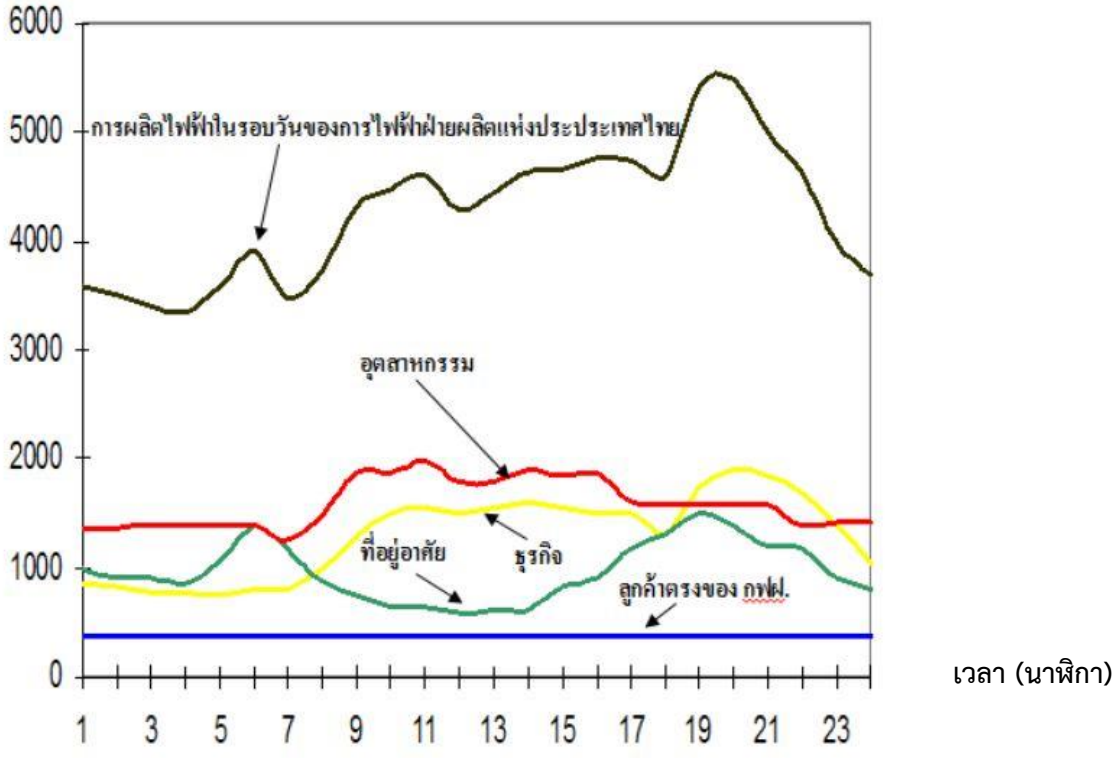
ความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เกิดขึ้นนั้นยังสามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลในการเพิ่มขนาดของโรงไฟฟ้า หรือเพิ่มกำลังผลิตของโรงไฟฟ้า เพื่อการรองรับการใช้งานกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่จะเกิดขึ้นได้อีกด้วย

ข้อมูลพื้นฐานที่แสดงถึงลักษณะความต้องการไฟฟ้ามี 3 รูปแบบ คือ

- ลักษณะความต้องการไฟฟ้ารายวัน (Daily Load Profile)

  ลักษณะความต้องการไฟฟ้ารายวันจะแสดงถึงรายละเอียดความต้องการไฟฟ้าในหนึ่งวันเป็นรายชั่วโมง ดังรูปที่ 2-2 ซึ่งแสดงลักษณะความต้องการไฟฟ้าในหนึ่งวันของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทต่างๆ เช่น อุตสาหกรรม, ที่อยู่อาศัย , ธุรกิจ, ลูกค้าตรงของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย และข้อมูลการผลิตไฟฟ้าในรอบวันของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

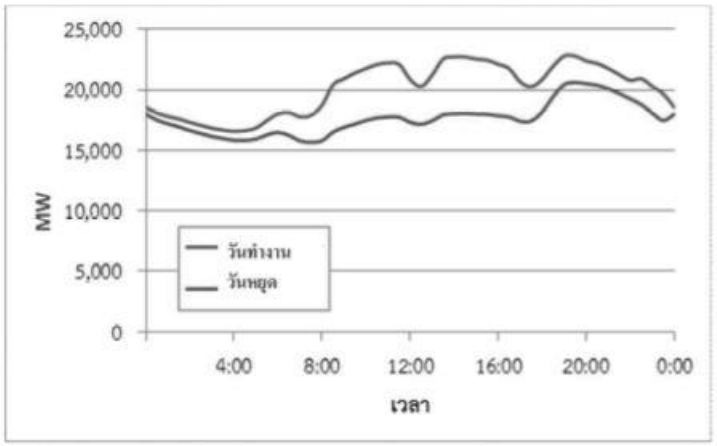
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 2-2 ลักษณะความต้องการไฟฟ้าในหนึ่งวันของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทต่างๆ และข้อมูลการผลิตไฟฟ้าในรอบวันของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย [9]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แน่นอนว่าความต้องการไฟฟ้าในวันทำงานกับวันหยุดย่อมแตกต่างกัน เพราะว่าการดำเนินกิจกรรมต่างๆที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในวันทั้ง 2 ของผู้ใช้ไฟฟ้านั้นแตกต่างกัน ดังรูปที่ 2-3 ที่แสดงความต้องการไฟฟ้าเฉลี่ยของวันทำงานและวันหยุดในปี พ.ศ.2555 (เป็นข้อมูลตรวจวัดจากระบบผลิตไฟฟ้าที่ผ่านเข้ามาทางระบบส่งไฟฟ้าเท่านั้น ไม่รวมถึงกำลังไฟฟ้าที่ผลิตเข้ามาทางระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและการไฟฟ้านครหลวง)



รูปที่ 2-3 ความต้องการไฟฟ้าเฉลี่ยของวันทำงานและวันหยุดในปี พ.ศ.2555 [10]

จากกราฟสามารถวิเคราะห์ได้ว่า

ลักษณะความต้องการไฟฟ้าในวันทำงาน ในช่วงเวลากลางคืนจะมีปริมาณความต้องการไฟฟ้าต่ำ จนกระทั่งเวลา 05.00 น. มีปริมาณความต้องการไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นจนถึงเวลาประมาณ 6.30 น. ถึง 8.00 น. ปริมาณความต้องการไฟฟ้าเริ่มลดลง หลังจากนั้นปริมาณความต้องการไฟฟ้าจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างมากในเวลาประมาณ 11.00 น. ต่อมาความต้องการไฟฟ้าจะลดลงในช่วงพักเที่ยง และเพิ่มสูงขึ้นอย่างมากในช่วงบ่ายในเวลาประมาณ 14.00 น. จนถึงเวลา 17.00 น.ปริมาณความต้องการไฟฟ้าก็ลดลงอีก และในเวลาประมาณ 19.00 น. ปริมาณความต้องการไฟฟ้าจึงเพิ่มสูงขึ้นอีกครั้ง ก่อนลดลงในช่วงเวลากลางคืน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

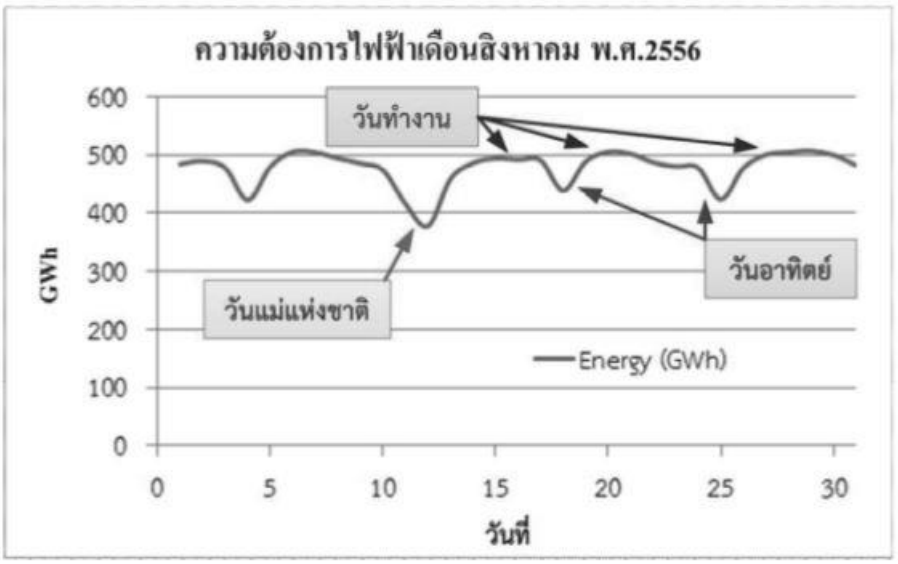
ลักษณะความต้องการไฟฟ้าในวันหยุด ในช่วงเวลากลางคืนและในช่วงเช้ามืดจะมีลักษณะเช่นเดียวกับวันทำงาน แต่ในช่วงเวลา ตั้งแต่ 8.00 น. ถึง 17.00 น. ความต้องการไฟฟ้าในวันหยุดจะต่ำกว่าวันทำงานเป็นอย่างมาก ส่วนในช่วงหัวค่ำมีความต้องการไฟฟ้าสูงโดยมีลักษณะเช่นเดียวกันกับความต้องการไฟฟ้าในช่วงหัวค่ำของวันทำงาน หลังจากนั้นปริมาณความต้องการไฟฟ้าจะต่ำลงอีกครั้ง

ข้อมูลลักษณะความต้องการไฟฟ้ารายวันนี้มีประโยชน์ต่อภาคนโยบายในการกำหนดมาตรการเพื่อกำกับประสิทธิภาพการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้า และเป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้ไฟฟ้าในการบริหารจัดการการใช้ไฟฟ้าให้เป็นไปอย่างคุ้มค่าได้อีกด้วย ส่วนในฝั่งของทางฝ่ายผลิตไฟฟ้าข้อมูลลักษณะความต้องการไฟฟ้ารายวันเป็นประโยชน์สำหรับการวางแผนการผลิตไฟฟ้า

- ลักษณะความต้องการไฟฟ้ารายเดือน (Monthly Load Curve)

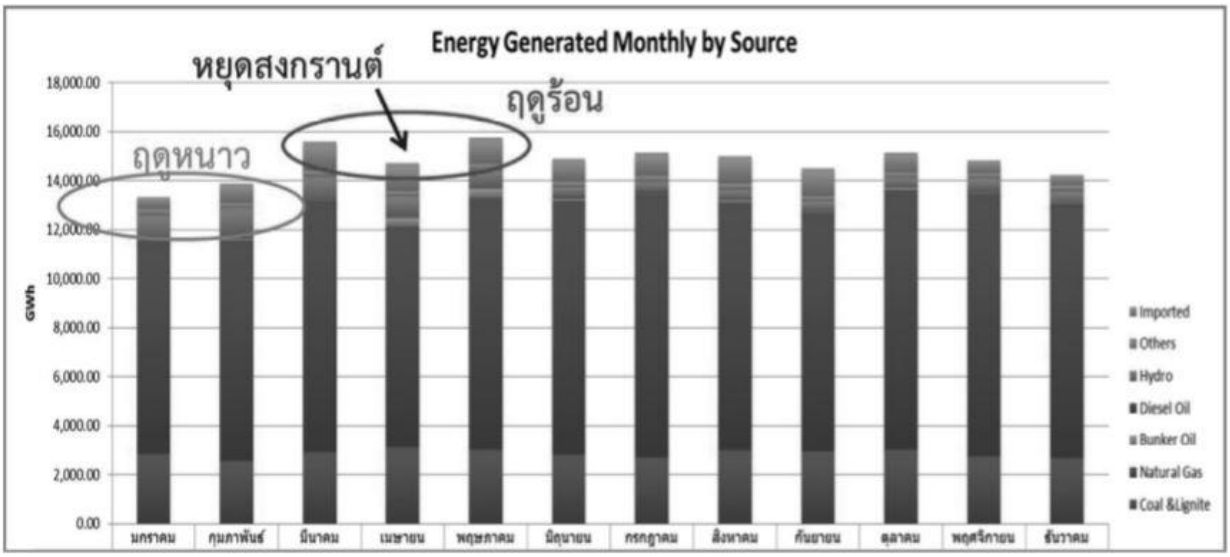
จากข้อมูลกราฟลักษณะความต้องการไฟฟ้ารายวัน สามารถนำมาคำนวณหาค่าความต้องการไฟฟ้าในหนึ่งวันได้โดยการคำนวณหาพื้นที่ใต้กราฟ ซึ่งผลที่ได้สามารถนำเสนอในรูปของลักษณะความ ต้องการไฟฟ้ารายเดือน (Monthly Load Curve) ได้

รูปที่ 2-4 เป็นข้อมูลความต้องการไฟฟ้าของประเทศในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2556 (เป็นข้อมูลตรวจวัดจากระบบผลิตไฟฟ้าที่ผ่านเข้ามาทางระบบส่งไฟฟ้าเท่านั้น ไม่รวมถึงกำลังไฟฟ้าที่ผลิตเข้ามาทางระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและการไฟฟ้านครหลวง) โดยในช่วงวันทำงานความต้องการใช้ไฟฟ้าจะสูงกว่าวันหยุดทำให้กราฟลักษณะความต้องการไฟฟ้ารายเดือนมีลักษณะเพิ่มขึ้นสูงประมาณสี่รอบต่อเดือนซึ่ง 1 รอบเปรียบได้กับการใช้ไฟใน 1 สัปดาห์



รูปที่ 2-4 ข้อมูลความต้องการไฟฟ้าของประเทศในเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2556 [10]

นอกจากนี้การใช้พลังงานไฟฟ้ายังเปลี่ยนแปลงตามจำนวนวันและวันหยุดในแต่ละเดือน อุณหภูมิเฉลี่ย การเพิ่มขึ้นของ จำนวนประชากรและการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจอีกด้วย ดังรูปที่ 2-5 แสดงข้อมูลความต้องการไฟฟ้ารายเดือนแบ่งตามแหล่งพลังงาน ปี พ.ศ.2555 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ในฤดูหนาวมีการใช้ไฟฟ้าต่ำลง และในฤดูร้อนมีการใช้ไฟฟ้าสูงขึ้น ยกเว้นในเดือนเมษายน ซึ่งเป็นเดือนที่มีวันหยุดหลายวันทำให้มีการใช้ไฟฟ้าลดลง



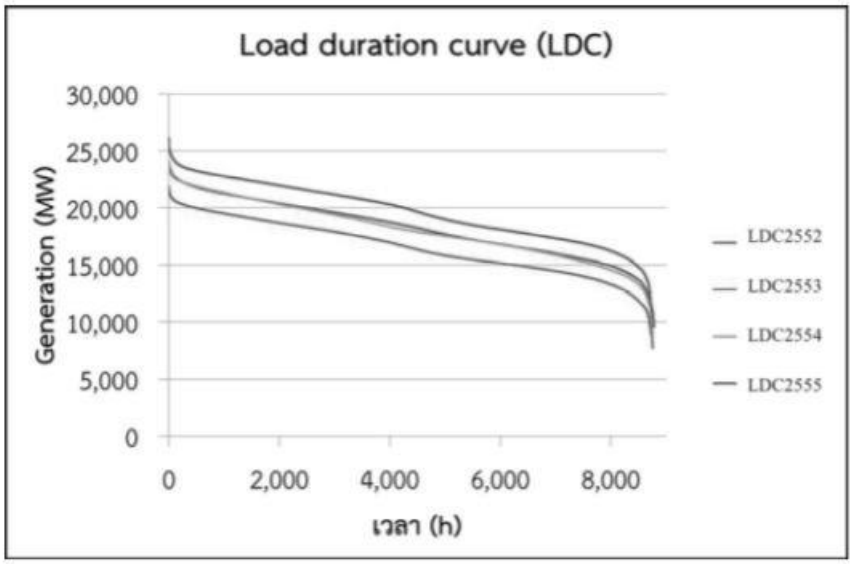
รูปที่ 2-5 ข้อมูลความต้องการไฟฟ้ารายเดือนแบ่งตามแหล่งพลังงาน ปี พ.ศ. 2555 [10]

- ลักษณะความต้องการไฟฟ้ารายปี (Load Duration Curve)

  กราฟลักษณะความต้องการไฟฟ้ารายปี เป็นกราฟข้อมูลความต้องการไฟฟ้าในรอบปีที่เรียงลำดับจากความต้องการ ไฟฟ้าสูงสุดไปต่ำสุด ดังรูปที่ 2-6 ที่แสดงกราฟลักษณะความต้องการไฟฟ้ารายปี ในปี พ.ศ. 2552 ถึง พ.ศ.2555 จะเห็นได้ว่าภาพรวมปริมาณการใช้ไฟฟ้าจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ยกเว้นในปี พ.ศ. 2554 ที่เกิดภัยพิบัติน้ำท่วมทำให้ความต้องการใช้ไฟฟ้าลดลง

  นอกจากนี้ ข้อมูลกราฟลักษณะความต้องการไฟฟ้ารายปีสามารถใช้ประมวลผลหาค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (Peak Demand) และตัวประกอบโหลด (Load Factor) ได้อีกด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 2-6 ลักษณะความต้องการไฟฟ้ารายปี ในปี พ.ศ. 2552 ถึง พ.ศ.2555 [10]

2.5. การแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบเคมีน (K-Means clustering)

การแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบเคมีน (K-Means clustering) เป็นวิธีการแบ่งกลุ่มที่อยู่ในกลุ่ม Unsupervised Learning (การเรียนรู้แบบไม่ต้องมีผู้สอน) ซึ่งเป็นหนึ่งในวิธีการที่กระทำกับข้อมูลชุดหนึ่งเพื่อค้นหารูปแบบและความสัมพันธ์ที่อยู่ในข้อมูลชุดนั้นๆ หรือที่เรียกว่าการทำเหมืองข้อมูล (Data Mining) เพื่อใช้ในการแบ่งกลุ่มข้อมูลชุดนั้นๆออกเป็นชุดย่อยๆ ออกเป็นจำนวน K กลุ่ม โดยจะจัดข้อมูลที่มีรูปแบบและความสัมพันธ์ที่ความคล้ายคลึงกันให้อยู่ในกลุ่มหรือชุดย่อยๆ เดียวกัน และจะมีรูปแบบและความสัมพันธ์ที่แตกต่างจากข้อมูลที่อยู่ในกลุ่มหรือชุดย่อยอื่นๆ โดยที่ในแต่ละกลุ่มหรือชุดย่อยๆ ที่แบ่งได้นั้นจะไม่มีสมาชิกร่วมกันเลย [11]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การทำงานของการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบเคมีน (K-Means clustering) มีดังนี้

1) กำหนดเป้าหมายจำนวนกลุ่มที่ต้องการแบ่ง K

2) สุ่มวางตำแหน่งของจุดศูนย์กลางในข้อมูล

3) พิจารณาค่าระยะทางของทุกข้อมูลในกลุ่มข้อมูลที่ต้องการแบ่งนั้นๆ ไปยังตำแหน่งจุดศูนย์กลางที่ใกล้ที่สุด แล้วมีการรวมกลุ่มข้อมูลที่เกาะกลุ่มที่ตำแหน่งดังกล่าวเป็นกลุ่มข้อมูลเดียวกัน

4) หาค่าเฉลี่ยของทุกข้อมูลดังกล่าวในกลุ่มนั้นเพื่อนำมาหาค่าตำแหน่งจุดศูนย์กลางใหม่

5) พิจารณาค่าระยะทางของทุกข้อมูลในกลุ่มข้อมูลที่ต้องการแบ่งนั้นไปยังตำแหน่งศูนย์กลางที่ใกล้ที่สุดใหม่เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความแม่นยำในการแบ่งกลุ่ม

6) ทำวน 1) – 5) แบบนี้ไปเรื่อยๆ จนกว่าค่าตำแหน่งจุดศูนย์กลางใหม่หลังการหาค่าเฉลี่ยของทุกข้อมูลดังกล่าวในกลุ่มนั้นๆ กับค่าตำแหน่งจุดศูนย์กลางเก่าก่อนการหาค่าเฉลี่ยจะเป็นค่าเดียวกัน และอยู่ตำแหน่งเดียวกัน จึงจบการทำงานและรวมกลุ่มข้อมูลที่เกาะกลุ่มตำแหน่งจุดศูนย์กลางที่ตำแหน่งนั้นๆ ให้อยู่เป็นกลุ่มข้อมูลเดียวกัน

2.6 การแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ Fuzzy C-Means

การแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ Fuzzy C-Means เป็นวิธีการแบ่งกลุ่มที่อยู่ในกลุ่ม Unsupervised Learning (การเรียนรู้แบบไม่ต้องมีผู้สอน) โดยมีวัตถุประสงค์และลักษณะการทำงานคล้ายกับวิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบเคมีน (K-Means clustering) คือ เพื่อใช้ในการแบ่งกลุ่มข้อมูลชุดนั้นๆ ออกเป็นชุดย่อยๆ ออกเป็นจำนวน K กลุ่ม โดยจะจัดข้อมูลที่มีรูปแบบและความสัมพันธ์ที่ความคล้ายคลึงกันให้อยู่ในกลุ่มหรือชุดย่อยๆเดียวกัน และจะมีรูปแบบและความสัมพันธ์ที่แตกต่างจากข้อมูลที่อยู่ในกลุ่มหรือชุดย่อยอื่นๆ แต่วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ Fuzzy C-Means จะเป็นวิธีการแบ่งกลุ่มที่ข้อมูลสมาชิกแต่ละกลุ่มหรือชุดย่อยๆ ที่แบ่งได้นั้นสามารถซ้อนทับร่วมกันได้ ดังนั้น ข้อมูลในแต่ละจุดของกลุ่มข้อมูลที่ต้องการแบ่ง ไม่จำเป็นต้องเป็นสมาชิกเพียงแค่กลุ่มใดกลุ่มหนึ่งเท่านั้น แต่สามารถเป็นสมาชิกได้มากกว่า 1 กลุ่ม แตกต่างจากวิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบเคมีน (K- Means clustering) คือ ข้อมูลในแต่ละจุดของกลุ่มข้อมูลที่ต้องการแบ่ง ต้องเป็นสมาชิกเพียงแค่กลุ่มใดกลุ่มหนึ่งเท่านั้น และในแต่ละกลุ่มหรือชุดย่อยๆ ที่แบ่งได้นั้นจะไม่มีสมาชิกร่วมกันเลย [11]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.7. ลำดับความสำคัญของ Load มีดังนี้

[12] สำคัญลำดับที่ 1

1. เขตพระราชฐาน เช่น วังสวนจิตรลดารโหฐาน, วังทวีวัฒนา, วังสระปทุม, วังสวนกุหลาบ, วังสุโขทัย, พระตำหนักดอนเมือง, อาคารที่ประทับธนาซิตี้ (Deploy House) เป็นต้น

2. สถานที่สำคัญทางราชการ เช่น ทำเนียบรัฐบาล, รัฐสภา, เรือนจำ

3. กระทรวงต่างๆที่สำคัญ เช่น กระทรวงมหาดไทย, กระทรวงกลาโหม, กระทรวงการคลัง, กระทรวง พลังงาน, กระทรวงคมนาคม, กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร เป็นต้น

4. กฟน. สำนักงานใหญ่, ที่ทำการเขต กฟน. 18 เขต

5. ระบบขนส่งมวลชน เช่น สนามบิน, รถไฟฟ้า BTS, รถไฟฟ้า MRT, Airport link, สถานีรถไฟกรุงเทพ (หัวลำโพง)

6. โรงพยาบาลขนาดกลาง (จำนวน 30-90 เตียง) และโรงพยาบาลขนาดใหญ่ (มากกว่า 90 เตียงขึ้นไป) หมายเหตุ : ทั้งโรงพยาบาลของรัฐและโรงพยาบาลเอกชน ใช้หลักเกณฑ์เดียวกัน โดยอ้างอิงจากเว็บไซต์ ของกระทรวงสาธารณะสุข (http://bps.moph.go.th)

7. สถานีระบายน้ำขนาดใหญ่ของ กทม. (รับไฟแรงกลางขึ้นไป), โรงผลิตและสูบจ่ายน้ำของ กปน.

8. station service ของสถานีไฟฟ้า กฟน.

<u>สำคัญลำดับที่ 2</u>

1. โรงพยาบาลขนาดเล็ก (ต่ำกว่า 30 เตียง) หมายเหตุ : ทั้งโรงพยาบาลของรัฐและโรงพยาบาลเอกชน ใช้หลักเกณฑ์เดียวกัน โดยอ้างอิงจากเว็บไซต์ของกระทรวงสาธารณสุข (http://bps.moph.go.th)

Chulalongkorn University

2. สื่อสารมวลชนหลัก เช่น ทีวีช่อง 11, ทีวีช่อง 5, สถานีวิทยุกระจายเสียงแห่งประเทศไทย, สถานีดาวเทียมไทยคม, การสื่อสารแห่งประเทศไทย เป็นต้น

3. สถาบันทางการเงิน เช่น ธนาคารแห่งประเทศไทย, ธนาคารพาณิชย์สำนักงานใหญ่, ตลาดหลักทรัพย์

4. กระทรวงต่างๆ นอกเหนือจากที่ดูแลด้านความมั่นคง เช่น กระทรวงพาณิชย์, กระทรวงเกษตรและ สหกรณ์เป็นต้น

5. บ้านบุคคลสำคัญ เช่น นายกรัฐมนตรี, คณะรัฐมนตรี, ผู้ว่า กฟน., คณะกรรมการ กฟน.

6. ศูนย์ราชการแจ้งวัฒนะ

7. สถานทูตฯ

8. นิคมอุตสาหกรรมฯ

<u>สำคัญลำดับที่ 3</u>

1. ศาล เช่น ศาลยุติธรรม, ศาลรัฐธรรมนูญ, ศาลปกครอง

2. ห้างสรรพสินค้าขนาดใหญ่ เช่น The Mall, Central World, Siam Paragon เป็นต้น

3. ศูนย์การแสดงสินค้าและศูนย์ประชุม เช่น BITEC (บางนา), อาคาร Challenger (เมืองทองธานี), อาคาร Impact Arena (เมืองทองธานี), ศูนย์ประชุมแห่งชาติสิริกิติ์, ศูนย์วัฒนธรรมแห่งประเทศไทย เป็นต้น

4. โรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ (รับไฟแรงกลาง และมีขนาดหม้อแปลงติดตั้งมากกว่า 500 kVA)

5. ย่านธุรกิจหนาแน่น, อาคารสำนักงานขนาดใหญ่ (รับไฟแรงกลาง), โรงแรมขนาดใหญ่ (รับไฟแรงกลาง)

6. อาคารสำนักงานใหญ่ผู้ให้บริการสัญญาณโทรศัพท์เคลื่อนที่

<u>สำคัญลำดับที่ 4</u>

1. หน่วยงานทหาร, สถานีตำรวจ, สถานีดับเพลิง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2. สำนักงานเขตฯ กทม., ศาลากลางจังหวัด

3. สถาบันการศึกษาทุกระดับชั้น

4. ศูนย์การค้าปลีก เช่น Lotus, Big C, Makro เป็นต้น

5. โรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลาง (รับไฟแรงกลาง และมีขนาดหม้อแปลงติดตั้งตั้งแต่ 500 kVA ลงมา)

<u>สำคัญลำดับที่ 5</u>

1. โรงงานหรือธุรกิจขนาดเล็ก (รับไฟแรงต่ำ)

2. อาคารพาณิชย์

3. ที่อยู่อาศัยในเมืองและชานเมือง เช่น หมู่บ้าน, คอนโดมิเนียม, การเคหะฯ เป็นต้น

ลำดับขั้นตอนการปลดโหลดตามลำดับความสำคัญ

ขั้นตอนที่ 1 : ได้แก่สายป้อนที่มีความสำคัญ ที่ 5

ขั้นตอนที่ 2 : ได้แก่สายป้อนที่มีความสำคัญ ที่ 5 และที่ 4

ขั้นตอนที่ 3 : ได้แก่สายป้อนที่มีความสำคัญ ที่ 4

ขั้นตอนที่ 4 : ได้แก่สายป้อนที่มีความสำคัญ ที่ 4 และที่ 3

ขั้นตอนที่ 5 : ได้แก่สายป้อนที่มีความสำคัญ ที่ 3 และที่ 2

OFF Under Frequency Relay ชุดที่ 1 : ได้สายป้อนที่มีความสำคัญ ที่ 2 และที่ 1

OFF Under Frequency Relay ชุดที่ 2 : ได้สายป้อนที่มีความสำคัญ ที่ 1

หมายเหตุ : สำหรับการจัด Step Under Frequency Relay เนื่องจากแต่ละสถานีฯ ไม่สามารถ Set Under Frequency ได้เท่ากันทุกสถานีฯ อาจมีการเปลี่ยนแปลงได้บ้างตามความจำเป็น

2.8. โครงการสำรวจและปรับปรุงการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าเพื่อการอนุรักษ์พลังงานในระยะยาว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

[13] จากโครงการสำรวจและปรับปรุงการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าเพื่อการอนุรักษ์พลังงานในระยะยาว ได้มีการสำรวจเครื่องใช้ไฟฟ้าและพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในครัวเรือนของบ้านพักอาศัยจาก 5 กลุ่มภูมิภาค ได้แก่ จังหวัดกรุงเทพมหานคร, ภาคเหนือ, ภาคกลาง, ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคใต้ ใน พ.ศ.2556 ในการสำรวจนี้ได้ดำเนินการสำรวจเครื่องใช้ไฟฟ้าทั้ง 16 ประเภท คือ เครื่องปรับอากาศ, ตู้เย็น, เครื่องซักผ้า, โทรทัศน์และอุปกรณ์ต่อเนื่อง, เตาหุงต้มอาหารไฟฟ้า, เตาอบไมโครเวฟ, กระติกน้ำไฟฟ้า, หม้อหุงต้มอาหารไฟฟ้า, เตารีด, พัดลม, เครื่องทำน้ำร้อน/น้ำอุ่น, คอมพิวเตอร์, หลอดไฟดวงโคม, หลอดไฟนีออนยาว, หลอดไฟนีออนวง และ หลอดไฟตะเกียบ เป็นต้น ในส่วนของเครื่องปรับอากาศได้มีการสำรวจเก็บข้อมูลจำนวนเครื่องปรับอากาศ, ขนาดเครื่องปรับอากาศ (BTU), ชนิดของเครื่องปรับอากาศ (ประหยัดไฟ/ไม่ประหยัดไฟ), ช่วงเวลาการใช้งาน และระยะเวลาการใช้งานของเครื่องปรับอากาศ

ทุกเครื่องในบ้านกลุ่มตัวอย่างทุกหลัง เพื่อพยากรณ์พฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศของบ้านอยู่อาศัย ผลจากการสำรวจสามารถสรุปพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศของบ้านอยู่อาศัยในพื้นที่การไฟฟ้านครหลวงได้ดังนี้

2.8.1. จำนวนเครื่องปรับอากาศของบ้านอยู่อาศัยในพื้นที่การไฟฟ้านครหลวง แสดงค่าดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 ตารางแสดงจำนวนเครื่องปรับอากาศของบ้านอยู่อาศัยในพื้นที่การไฟฟ้านครหลวง

จำนวน เครื่องปรับอากาศ	**จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าน้อยกว่า 150 หน่วย (ร้อยละ)**	**จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้ามากกว่า 150 หน่วย (ร้อยละ)**
0	68.63	18.79
1	24.51	34.57
2	3.92	30.86
3	1.96	10.21
4	0.00	3.25
5	0.98	1.39
6	0.00	0.93
รวม	**100**	**100**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.8.2. ขนาดเครื่องปรับอากาศของบ้านอยู่อาศัยในพื้นที่การไฟฟ้านครหลวง แสดงค่าดังตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 ตารางแสดงขนาดของเครื่องปรับอากาศของบ้านอยู่อาศัยในพื้นที่การไฟฟ้านครหลวง

ขนาดเครื่องปรับอากาศ (BTU)	จำนวนเครื่องปรับอากาศ (ร้อยละ) ในกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าน้อยกว่า 150 หน่วย	จำนวนเครื่องปรับอากาศ (ร้อยละ) ในกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้ามากกว่า 150 หน่วย
ไม่เกิน 12000	60.47	45.88
12000 ถึง 26000	39.53	50.39
เกิน 26000	0.00	3.73
รวม	**100**	**100**

2.8.3. ช่วงเวลาการใช้งานเครื่องปรับอากาศของบ้านอยู่อาศัยในพื้นที่การไฟฟ้านครหลวง แสดงค่าดังตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-3 ตารางแสดงช่วงเวลาการใช้งานของเครื่องปรับอากาศของบ้านอยู่อาศัยในพื้นที่การไฟฟ้านครหลวง

ช่วงเวลาการใช้งาน	จำนวนเครื่องปรับอากาศ (ร้อยละ) ในกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าน้อยกว่า 150 หน่วย	จำนวนเครื่องปรับอากาศ (ร้อยละ) ในกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้ามากกว่า 150 หน่วย
06.00-12.00 น.	12.96	8.26
12.00-18.00 น.	16.67	17.96
18.00-0.00 น.	38.89	41.38
0.00-06.00 น.	31.48	32.40

Chulalongkorn University

2.8.4. ประเภท (การประหยัดไฟ/ไม่ประหยัดไฟ) เครื่องปรับอากาศของบ้านอยู่อาศัยในพื้นที่การไฟฟ้านครหลวง แสดงค่าดังตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2-4 ตารางแสดงประเภท (การประหยัดไฟ/ไม่ประหยัดไฟ) ของเครื่องปรับอากาศของบ้านอยู่อาศัยในพื้นที่การไฟฟ้านครหลวง

การประหยัดไฟ	จำนวนเครื่องปรับอากาศ (ร้อยละ) ในกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าน้อยกว่า 150 หน่วย	จำนวนเครื่องปรับอากาศ (ร้อยละ) ในกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้ามากกว่า 150 หน่วย
ไม่ประหยัดไฟเบอร์ 5	6.98	10.58
ประหยัดไฟเบอร์ 5	93.02	89.42
รวม	**100**	**100**

2.8.5. ระยะเวลาการใช้งานเครื่องปรับอากาศของบ้านอยู่อาศัยในพื้นที่การไฟฟ้านครหลวง แสดงค่าดังตารางที่ 2-5

ตารางที่ 2-5 ตารางแสดงระยะเวลาการใช้งานของเครื่องปรับอากาศของบ้านอยู่อาศัยในพื้นที่การไฟฟ้านครหลวง

ระยะเวลาการใช้งาน	จำนวนเครื่องปรับอากาศ (ร้อยละ) ในกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าน้อยกว่า 150 หน่วย	จำนวนเครื่องปรับอากาศ (ร้อยละ) ในกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้ามากกว่า 150 หน่วย
น้อยกว่า 1 ชั่วโมง	32.56	7.31
1 - 3 ชั่วโมง	25.58	17.26
3 - 6 ชั่วโมง	16.28	39.81
มากกว่า 6 ชั่วโมง	25.58	35.61
รวม	**100**	**100**

CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.9. ความสบายเชิงความร้อน (Thermal Comfort)

ความสบายเชิงความร้อน คือ “สภาวะของจิตใจที่แสดงถึงความพึงพอใจต่อสภาวะแวดล้อม” จากการนิยามของสมาคมวิศวกรรมการปรับอากาศแห่งสหรัฐอเมริกา (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) ตามมาตรฐาน

ASHRAE 55-92 (ASHRAE, 1992) โดยความสบายเชิงความร้อนขึ้นอยู่กับ 6 ปัจจัย คือ ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity), อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry Bulb Temperature), ความเร็วลม (Air Velocity), อุณหภูมิเฉลี่ยของการแผ่รังสี (Mean Radiant Temperature), ค่าความเป็นฉนวนของเครื่องแต่งกาย (Clothing Insulation) และอัตราการเผาผลาญพลังงาน (Metabolism Rate) ตัววัดระดับความสุขสบายเชิงความร้อนจะใช้การทำนายการโหวตเฉลี่ย (Predicted Mean Vote : PMV) หรือ ASHRAE thermal sensation scale เป็นการวัดระดับความรู้สึกสบายเชิงความร้อนต่อสิ่งแวดล้อม 7 อันดับ ได้แก่ -3 ถึง +3 ดังตารางที่ 2-6

ตารางที่ 2-6 ค่าดัชนีการวัดระดับความรู้สึกสบายเชิงความร้อนต่อสิ่งแวดล้อม [14]

หนาว	เย็น	ค่อนข้างเย็น	สบาย	ค่อนข้างอุ่น	อุ่น	ร้อน
-3	-2	-1	0	1	2	3

โดยการวัดระดับความรู้สึกเชิงความร้อนต่อสิ่งแวดล้อมทั้ง 7 อันดับเป็นการโหวตเฉลี่ยเพื่อหาความรู้สึกสบายต่อสภาพอากาศ ณ ขณะนั้น คนที่อยู่ในพื้นที่ภูมิอากาศหรือภูมิประเทศที่แตกต่างกันจะมีการโหวตเพื่อตัดสินค่าความรู้สึกสบายต่อสภาพอากาศ ณ ขณะนั้นที่แตกต่างกัน หรือแม้กระทั่งคนที่อยู่ในพื้นที่ภูมิอากาศหรือภูมิประเทศที่เดียวกันก็อาจจะมีการโหวตเพื่อตัดสินค่าความรู้สึกสบายต่อสภาพอากาศ ณ ขณะนั้นที่แตกต่างกันอีกด้วย ขึ้นอยู่กับความพึงพอใจส่วนตัวของบุคคล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Fanger ได้นำเสนอสมการเพื่อคำนวณค่าดัชนีการโหวตเฉลี่ยเพื่อหาค่าระดับความรู้สึกสบายเชิงความร้อนต่อสิ่งแวดล้อม ภายใต้ปัจจัยต่างๆ เช่น อุณหภูมิและความชื้นของอากาศ ความเร็วของลม หรือแม้กระทั่งภายใต้ปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับคน เช่น ความหนาของเสื้อผ้าที่สวมใส่ นอกจากนี้สมการดังกล่าวยังถูกนำไปใช้กับงานด้านวิศวกรรมเครื่องกลในการออกแบบเครื่องปรับอากาศอีกด้วย สมการดังกล่าวสามารถอธิบายได้ดังนี้ [15]

$$PMV = (0.325e^{-0.042M} + 0.032)[M - 0.35(43 - 0.061M - P_V) - 0.42(M - 50) - 0.0023M(44 - P_V) - 0.0014M(34 - T_a) - 3.4\,x\,10^{-8} f_{cl}((T_{cl} + 273)^4 - (T_{mrt} + 273)^4) - f_{cl} h_c (T_{cl} - T_a)] \quad (1)$$

$$T_{cl} = 35.7 - 0.032\mathrm{M} - 0.18_{cl}\,[3.4\,x\,10^{-8} f_{cl}((T_{cl} + 273)^4 - (T_{mrt} + 273)^4) - f_{cl} h_c (T_{cl} + T_a)] \quad (2)$$

$$h_c = \begin{cases} 2.05(T_{cl} - T_a)^{0.25} & for\ 2.38(T_{cl} - T_a)^{0.25} > 10.4\sqrt{v} \\ 10.4\sqrt{v} & for\ 2.38(T_{cl} - T_a)^{0.25} < 10.4\sqrt{v} \end{cases} \quad (3)$$

$$P_V = P_s r_h / 100 \quad (4)$$

โดยที่

M คือ อัตราการเผาผลาญพลังงาน (kcal/h)

I_{cl} คือ ค่าความเป็นฉนวนของเสื้อผ้า (clo)

หมายเหตุ clo คือ ค่าสัมประสิทธิ์การต้านทานความร้อนของเสื้อผ้า โดยที่ 1 clo มีค่าเท่ากับ 0.155 (m^2.K)/W

T_a คือ อุณหภูมิอากาศ (°C)

r_h คือ ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ (%)

t_{mrt} คือ อุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อน (°C)

v คือ ความเร็วของลม (m/s)

P_V คือ ความดันไออากาศ (mmHg)

T_{cl} คือ อุณหภูมิภายนอกของเสื้อผ้า (°C)

h_c คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (kcal/m^2 hr °C)

f_{cl} คือ ค่าอัตราส่วนพื้นที่ที่ปกคลุมด้วยเสื้อผ้าต่อพื้นที่เปลือย

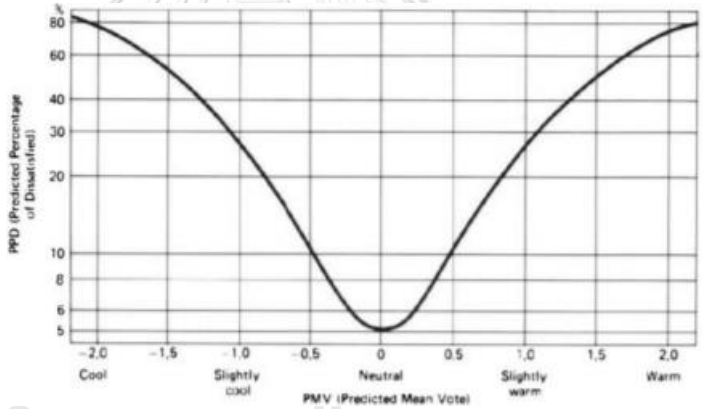
P_s คือ ความดันไออิ่มตัวที่อุณหภูมิใดๆ (mmHg)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

นอกจากนี้ Fanger ยังได้นำเสนอสมการเพื่อหาค่าเปอร์เซ็นต์ความรู้สึกไม่สบาย (Predicted Percentage of Dissatisfied, PPD) เนื่องจากค่า PMV จะบอกเพียงค่าระดับความรู้สึกสบายเชิงความร้อนต่อสิ่งแวดล้อมเท่านั้น แต่ในสภาวะเดียวกันนั้นไม่สามารถบอกได้ถึงเปอร์เซ็นต์ของคนที่ไม่รู้สึกสบาย ดังนั้น Fanger จึงได้นำเสนอสมการเพื่อหาค่า PPD เพื่อคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ของคนที่ไม่รู้สึกสบายในสภาวะเดียวกันดังกล่าว สมการเพื่อหาค่าเปอร์เซ็นต์ความรู้สึกไม่สบายสามารถอธิบายได้ดังนี้ [15]

$$PPD = 100 - 95e^{-(0.03353PMV^4 + 0.2179PMV^2)} \quad \textbf{(5)}$$

และความสัมพันธ์ระหว่างค่า PMV กับค่า PPD ในสภาวะเดียวกัน สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2-7



CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 2-7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า PMV (แกนนอน) และ PPD (แกนตั้ง) [15]

จากรูปที่ 2-7 สามารถวิเคราะห์ได้ว่าที่สภาวะแวดล้อมเดียวกัน ที่ค่า PMV เป็น 0 มีคนที่มีความรู้สึกไม่สบายเชิงความร้อนต่อสิ่งแวดล้อม 5 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจะมีคนมีความรู้สึกสบายเชิงความร้อนต่อสิ่งแวดล้อม 95 เปอร์เซ็นต์ และที่ค่า PMV ระหว่าง -0.5 ถึง 0.5 มีคนที่มีความรู้สึกไม่สบายเชิงความร้อนต่อสิ่งแวดล้อม 10 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจะมีคนมีความรู้สึกสบายเชิงความร้อนต่อสิ่งแวดล้อม 90 เปอร์เซ็นต์

2.10. การคำนวณค่าการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศ

[16] การคำนวณค่าการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศต่อ 1 ชั่วโมงสามารถอธิบายได้ดังนี้

$$E = \frac{Y}{Z * 1000} \quad \textbf{(6)}$$

โดยที่

E คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจากการคำนวณ (กิโลวัตต์)

Y คือ ค่าขีดความสามารถทำความเย็นที่ระบุ (บีทียู/ชั่วโมง)

Z คือ ค่าประสิทธิภาพตามฤดูกาลที่ระบุ (บีทียู /ชั่วโมง/วัตต์) โดยใช้ค่าขีดความสามารถทำความเย็นสุทธิที่ระบุ (บีทียู/ชั่วโมง) และ ค่าประสิทธิภาพตามฤดูกาลที่ระบุ (บีทียู /ชั่วโมง/วัตต์) จากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย [17] ซึ่งเป็นค่าการทดสอบเครื่องปรับอากาศเพื่อหาค่าดังกล่าวที่อุณหภูมิภายใน 27°C และอุณหภูมิภายนอก 35°C ตามมาตรฐานการทดสอบเครื่องปรับอากาศ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1. ปัญหาที่พบจากงานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้อง และแนวทางการต่อยอด

จากตัวอย่างงานวิจัยที่ได้ศึกษาและนำเสนอการแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าของ Haoyang Shen และคณะ[18], LI Kangping และคณะ [19], Chicco, G., Napoli, Roberto และคณะ [20] , Yun Wang และคณะ [21] และงานวิจัยของ Bishnu Nepal และคณะ [22] พบว่างานวิจัยในอดีตทั้งหมดดังกล่าวแบ่งกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าโดยพิจารณาจากปริมาณการใช้ไฟฟ้ามาก-น้อยของผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมดโดยรวมที่นำมาแบ่งกลุ่มเทียบกับการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละราย ทำให้ผลการแบ่งกลุ่มที่ได้ไม่เห็นความแตกต่างระหว่างกลุ่มเท่าที่ควร เนื่องจากผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าใกล้เคียงกันจะถูกแบ่งกลุ่มอยู่ด้วยกันถึงแม้จะมีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่แตกต่างกันก็ตาม โดยปัญหานี้จะเกิดกับกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงและต่ำมากอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับผู้ใช้ไฟฟ้ารายอื่นๆ เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าววิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการแบ่งกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าโดยการพิจารณาจากค่าการใช้ไฟฟ้าต่ำที่สุดและค่าการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดเทียบกับค่าการใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลาต่างๆของวันของบ้านหลังนั้นกับข้อมูลผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงที่วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอ สำหรับเลือกคุณลักษณะเพื่อพิจารณาการแบ่งกลุ่มข้อมูลดังกล่าวเป็นการพิจารณาค่าการใช้ไฟฟ้าสูงสุดของช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดกับกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงดังกล่าวเหล่านั้น ส่วนวิธีการแบ่งกลุ่มที่ใช้ดำเนินการนั้น จากงานวิจัยของ LI Kangping และคณะ [19] และงานวิจัยของ Bishnu Nepal และคณะ [22] นำเสนอว่าวิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-Means เป็นวิธีการที่สามารถประมวลผลการจัดกลุ่มได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพเมื่อข้อมูลมีจำนวนมาก, สามารถรวมข้อมูลไม่เข้าพวกกับกลุ่มอื่นๆ ให้มารวมอยู่ในกลุ่มเดียวกันได้ และกลุ่มข้อมูลกลุ่มที่แบ่งได้จะแยกจากกันอย่างชัดเจน ไม่มีส่วนใดส่วนหนึ่งเกี่ยวข้องหรือซ้อนทับกัน (ไม่เป็นแบบลำดับชั้น) จากเหตุผลดังกล่าววิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอให้ใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-Means ในการดำเนินการแบ่งกลุ่มข้อมูลพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวง แต่เนื่องจากผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบเคมีน (K- Means clustering) นั้น ข้อมูลในแต่ละจุดของกลุ่มข้อมูลที่ต้องการแบ่ง ต้องเป็นสมาชิกเพียงแค่กลุ่มใดกลุ่มหนึ่งเท่านั้น และในแต่ละกลุ่มหรือชุดย่อยๆ ที่แบ่ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ได้นั้นจะไม่มีสมาชิกร่วมกันเลย แต่ผลลัพธ์ที่ได้จากการแบ่งข้อมูลพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า ในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงดังกล่าวออกเป็นกลุ่มต่างๆ มีโอกาสที่ข้อมูลพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดของบ้านอยู่อาศัยแต่ละหลังในแต่ละกลุ่มที่แบ่งได้นั้นสามารถซ้อนทับร่วมกันได้ คือ ข้อมูลพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยแต่ละหลังนั้นมีโอกาสเป็นสมาชิกได้มากกว่า 1 กลุ่ม ไม่เป็นสมาชิกเพียงแค่กลุ่มใดกลุ่มหนึ่งเท่านั้น ดังนั้น วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นอกจากจะใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-Means ซึ่งให้ผลลัพธ์ข้อมูลในแต่ละจุดของกลุ่มข้อมูลที่ต้องการแบ่ง ต้องเป็นสมาชิกเพียงแค่กลุ่มใดกลุ่มหนึ่งเท่านั้น สำหรับการพิจารณาแบ่งกลุ่มข้อมูลพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงแล้ว วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ยังได้นำเสนอการใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ Fuzzy C-Means สำหรับการแบ่งกลุ่มข้อมูลพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวง เพิ่มเติมด้วย เนื่องจากผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ Fuzzy C-Means นั้น ข้อมูลสมาชิกของแต่ละกลุ่มที่แบ่งได้สามารถซ้อนทับร่วมกันได้ ดังนั้น ข้อมูลในแต่ละจุดของกลุ่มข้อมูลที่ต้องการแบ่งไม่จำเป็นต้องเป็นสมาชิกเพียงแค่กลุ่มใดกลุ่มหนึ่งเท่านั้น แต่สามารถเป็นสมาชิกได้มากกว่า 1 กลุ่ม

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะนำข้อมูลผลลัพธ์การแบ่งกลุ่มข้อมูลพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวง ที่ได้จากการแบ่งกลุ่มโดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-Means และ วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ Fuzzy C-Means มาเปรียบเทียบกัน เพื่อนำข้อมูลผลลัพธ์การแบ่งกลุ่มข้อมูลพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพความเหมาะสมสูงกว่าไปพัฒนาต่อยอดเรื่องการบริหารจัดการการใช้ไฟฟ้าให้เหมาะสมยิ่งขึ้นตามที่วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอในขั้นตอนต่อไป

จากตัวอย่างงานวิจัยที่ได้ศึกษาและนำเสนอการแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าในอดีตทั้งหมดที่กล่าวมานำเสนอเพียงผลลัพธ์ของผลการแบ่งกลุ่มข้อมูลพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วยวิธีที่นำเสนอเพื่อเตรียมนำข้อมูลที่ได้ไปต่อยอดตามวัตถุประสงค์เพื่อช่วยเรื่องการบริหารจัดการการใช้ไฟฟ้าให้เหมาะสมยิ่งขึ้นเท่านั้น แต่ไม่ได้นำเสนอต่อไปว่าจะสามารถนำข้อมูลผลลัพธ์ของผลการแบ่งกลุ่มข้อมูลพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าไปต่อยอดตามวัตถุประสงค์เพื่อช่วยเรื่องการบริหารจัดการการใช้ไฟฟ้าให้เหมาะสมยิ่งขึ้นได้อย่างไร ดังนั้น

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงนำเสนอการนำข้อมูลผลลัพธ์ของผลการแบ่งกลุ่มข้อมูลพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงไปบริหารจัดการการใช้ไฟฟ้าให้เหมาะสมยิ่งขึ้นด้วยการปรับใช้กับมาตรการการตอบสนองด้านโหลดแบบ Emergency Demand Response Program เพราะว่าจาก [3] และจากงานวิจัยของ M. Parsa Moghaddam, A. Abdollahi และคณะ [4] พบว่ามาตรการการตอบสนองด้านโหลดแบบ Emergency Demand Response Program เป็นแบบที่ต้องมีการแจ้งสั่งการล่วงหน้าก่อนเวลาดำเนินมาตรการ 24 ชั่วโมง ทำให้ทางฝั่งผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถวางแผนพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าล่วงหน้าได้ ต่างจากแบบอื่นๆ ที่เป็นการแจ้งสั่งการแบบฉับพลัน จึงเหมาะกับผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัยมากที่สุด

การนำข้อมูลผลลัพธ์ของผลการแบ่งกลุ่มข้อมูลพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงไปบริหารจัดการการใช้ไฟฟ้าให้เหมาะสมยิ่งขึ้นด้วยการปรับใช้กับมาตรการการตอบสนองด้านโหลดที่วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอเป็นการศึกษาเรื่องการจัดการพลังงานของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านหลังนั้นโดยวิธีการลดพลังงานการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าโดยที่มีการคำนึงถึงพื้นฐานพฤติกรรมของผู้ใช้พลังงานไฟฟ้า, ความพึงพอใจของผู้ใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน และองค์ประกอบอื่นๆ ที่มีผลเกี่ยวข้องทั้งหมดเพื่อให้การจัดการพลังงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ จากการศึกษาตัวอย่างงานวิจัยที่ได้ศึกษาเรื่องการจัดการพลังงานของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านของ กุศะภณ เพชรสุวรรณ [15], Bo Liu [23], Ali Parsa, Tooraj Abbasian Najafabadi และคณะ [24], วนัสนันท์ ฟุ้งสิริรัตน์ [25], E.Bejoy, S.N.Islam และคณะ [26], ZeeshanHaider และคณะ [27] และงานวิจัยของ Aadesh Kumar Arya และคณะ [28] พบว่าเป็นการบริหารจัดการพลังงานของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านประเภทเครื่องปรับอากาศ เนื่องจากเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูงมากเมื่อเทียบกับอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านประเภทอื่นๆ โดยตัวอย่างงานวิจัยในอดีตดังกล่าวได้ศึกษาถึงการลดพลังงานการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศให้ได้มากที่สุดในชั่วโมงเร่งด่วนที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงโดยที่มีการคำนึงถึงพื้นฐานพฤติกรรมของผู้ใช้พลังงานไฟฟ้า, ความพึงพอใจของผู้ใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน และองค์ประกอบอื่นๆ ที่มีผลเกี่ยวข้องทั้งหมดเพื่อให้การบริหารจัดการพลังงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพที่สุด ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงนำเสนอการนำข้อมูลผลลัพธ์ของผลการแบ่งกลุ่มข้อมูลพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงไปบริหารจัดการการใช้ไฟฟ้าให้เหมาะสมยิ่งขึ้นด้วยการปรับใช้กับมาตรการการตอบสนองด้านโหลดแบบ Emergency Demand Response Program โดยการพิจารณาเรื่อง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การลดการใช้พลังงานของอุปกรณ์เครื่องปรับอากาศภายในบ้านหลังนั้นในช่วงเวลาที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลด และเพื่อให้การจัดการพลังงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพที่สุด วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอให้มีการคำนึงถึงพฤติกรรมของผู้ใช้พลังงานไฟฟ้าและความพึงพอใจของผู้ใช้ไฟฟ้าภายในบ้านเมื่อปรับลดการใช้พลังงานของอุปกรณ์เครื่องปรับอากาศภายในบ้านหลังนั้นลงโดยการเพิ่มอุณหภูมิการทำงานของเครื่องปรับอากาศให้สูงยิ่งขึ้นในช่วงเวลาที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลด จากตัวอย่างงานวิจัยที่ได้ศึกษาถึงเรื่องความรู้สึกสบายเชิงความร้อนในประเทศไทยของ Preechaya Rangsiraksa [29], Juntakan Taweekun and Ar-U-Wat Tantiwichien [30], N. Yamtraipat, J. Khedari และคณะ [31], สุรัตน์ อัตถจริยกุล [14], สุรัตน์ อัตถจริยกุล [32] , กฤติน อัศววิชัย, อภิรัฐ เนติพงศ์ไพโรจน์ และ คณะ [33] และงานวิจัยของ Busch, J.F [34] พบว่าช่วงที่ตรงกันของอุณหภูมิความสะดวกสบายของคนไทยในอาคารพักอาศัยที่มีเครื่องปรับอากาศของงานวิจัยทุกฉบับอยู่ที่ 24.5 - 27°C ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการขอความร่วมมือให้ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย ในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงทั้ง 60 หลัง เพิ่มอุณหภูมิการใช้เครื่องปรับอากาศเป็น 27°C ในช่วงเวลาที่จำลองสถานการณ์การดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดเพราะเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดเนื่องจากอยู่ในช่วงอุณหภูมิความสะดวกสบายของคนไทยในอาคารพักอาศัยที่มีเครื่องปรับอากาศที่ยอมรับได้และไม่เกินค่าของการสำรวจช่วงอุณหภูมิดังกล่าวจากงานวิจัยทุกฉบับ

3.2. แนวทางการดำเนินงานวิจัย

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องในอดีตทั้งหมด วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เพิ่มการพัฒนาต่อยอดโดยการแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงเพื่อการขอความร่วมมือในการดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดได้อย่างเหมาะสมด้วยการพิจารณาจากค่าการใช้ไฟฟ้าต่ำที่สุดและค่าการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดเทียบกับค่าการใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลาต่างๆ ของวันของบ้านหลังนั้นโดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-Means และวิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ Fuzzy C-Means และมีการจำลองสถานการณ์การดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดจากข้อมูลกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าที่แบ่งกลุ่มได้ดังกล่าวด้วยการขอความร่วมมือให้มีการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้เครื่องปรับอากาศโดยเพิ่มอุณหภูมิการใช้เครื่องปรับอากาศเป็น 27°C ในช่วงเวลาที่จำลองสถานการณ์การดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลด (ช่วงเวลาที่มีการใช้ไฟฟ้าสูง 3 ชั่วโมงของวัน) เพื่อการคำนวณการลดการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาดังกล่าว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การจำลองสถานการณ์การดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลด วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอแบบ Emergency Demand Response Program เนื่องจากเป็นแบบที่ต้องมีการแจ้งสั่งการล่วงหน้าก่อนเวลาดำเนินมาตรการ 24 ชั่วโมง [3] ทำให้ทางฝั่งผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถวางแผนพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าล่วงหน้าได้ ต่างจากแบบอื่นๆ ที่เป็นการแจ้งสั่งการแบบฉับพลัน จึงเหมาะกับบ้านอยู่อาศัยที่สุด

3.3. การเก็บรวมรวมข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รวบรวมข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัย 60 หลังในพื้นที่การไฟฟ้านครหลวง โดยแบ่งเป็นบ้านอยู่อาศัยที่มีการใช้ไฟฟ้าน้อยกว่า 150 หน่วยเป็นจำนวน 17 หลัง และบ้านอยู่อาศัยที่มีการใช้ไฟฟ้ามากกว่า 150 หน่วยเป็นจำนวน 43 หลัง โดยเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยทุกหลังตั้งแต่วันที่ 1 มิถุนายน พ.ศ.2562 ถึงวันที่ 30 มิถุนายน พ.ศ.2562 [35]

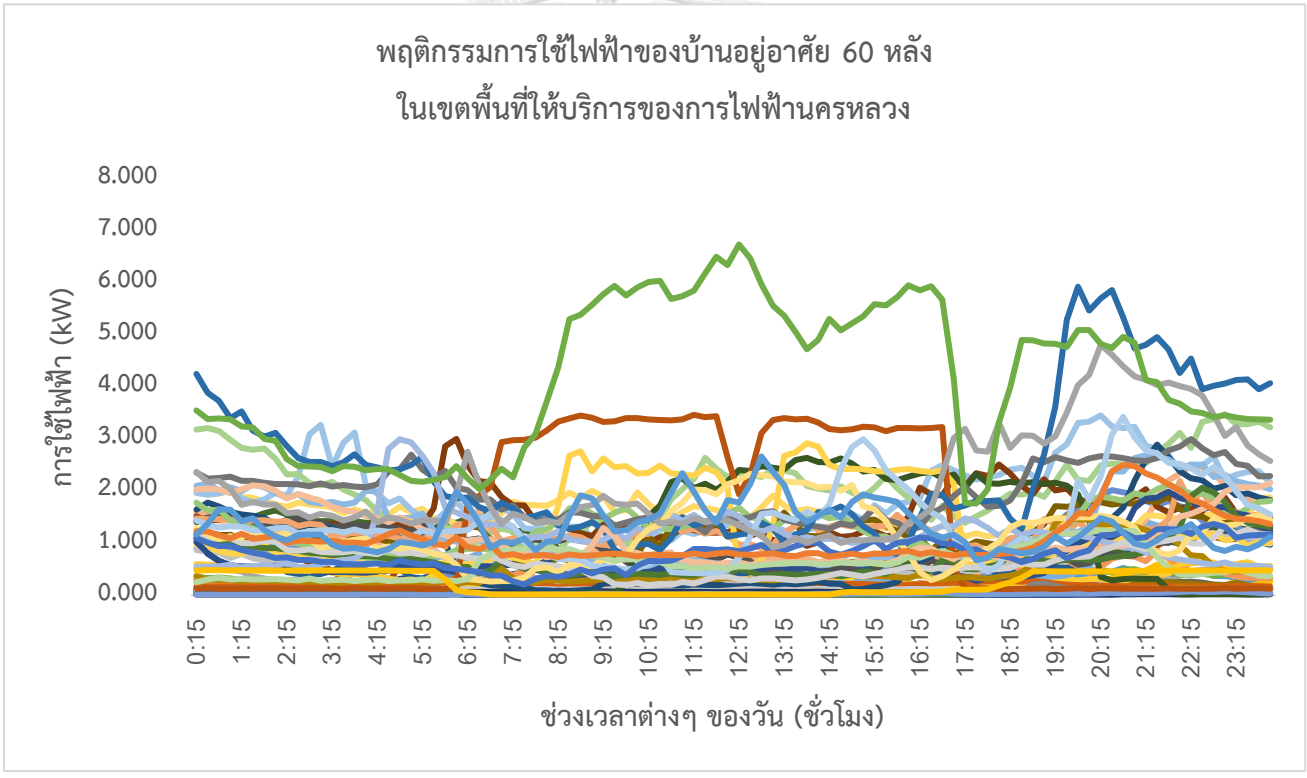
3.4. การคิดค่าการใช้ไฟฟ้าฐาน (Base Line)

การใช้ไฟฟ้าฐาน คือ ค่าการใช้ไฟฟ้าที่ใช้เป็นตัวเปรียบเทียบกับค่าการใช้ไฟฟ้าในวันที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดกับผู้ใช้ไฟฟ้า เป็นข้อตกลงกันว่าในวันที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลด ผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องไม่ใช้ไฟฟ้าเกินกว่าค่าการใช้ไฟฟ้าฐานของตัวเอง ณ เวลานั้นๆ ไม่เช่นนั้นอาจได้รับบทลงโทษ เช่น ถูกปรับเป็นตัวเงิน แต่ถ้าผู้ใช้ไฟฟ้าใช้ไฟฟ้าน้อยกว่าค่าการใช้ไฟฟ้าฐานของตัวเองก็จะได้รับค่าตอบแทนขึ้นอยู่กับว่าเมื่อเปรียบเทียบกับค่าการใช้ไฟฟ้าฐาน ณ เวลานั้นๆแล้วใช้ไฟฟ้าลดน้อยลงไปเป็นอัตราส่วนเท่าไร ตามข้อกำหนดของมาตรการความร่วมมือลดการใช้ไฟฟ้า (Demand Response) และอัตรา Demand Response ของสำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน[3] ยกตัวอย่างเช่น มาตรการ Emergency Demand Response Program ซึ่งมาตรการความร่วมมือลดการใช้ไฟฟ้า (Demand Response) และอัตรา Demand Response ได้กำหนดไว้ว่าหากผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถใช้ไฟฟ้าน้อยกว่าค่าการใช้ไฟฟ้าฐานได้ก็จะได้รับค่าตอบแทนเป็นเงินจำนวน 5.63 บาท/kWh แต่ถ้าผู้ใช้ไฟฟ้าใช้ไฟฟ้าเกินกว่าค่าการใช้ไฟฟ้าฐานก็จะได้รับบทลงโทษปรับเป็นตัวเงินจำนวน 54.14 บาท/kW ซึ่งมาตรการย่อยต่างๆแต่ละมาตรการของมาตรการการตอบสนองด้านโหลดก็จะมีการคิดค่าการใช้ไฟฟ้าฐานที่แตกต่างกัน

การคิดค่าการใช้ไฟฟ้าฐานของมาตรการ Emergency Demand Response Program คิดจากค่าเฉลี่ยจากข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าเป็นเวลา 10 วัน (แยกวันธรรมดากับวันหยุด) ก่อนวันและเวลาดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดกับผู้ใช้ไฟฟ้านั้นๆ [3]

จาก [35] ในการคิดค่าการใช้ไฟฟ้าฐานของบ้านพักอาศัยทั้ง 60 หลังจะคำนวณจากค่าการใช้ไฟฟ้าของวันที่ 3-7 มิถุนายน พ.ศ. 2562 และ 10-14 มิถุนายน พ.ศ.2562 เป็นวันจันทร์-ศุกร์ (วันธรรมดาและไม่มีวันหยุดนักขัตฤกษ์) โดยจะคำนวณค่าเฉลี่ยการใช้ไฟฟ้าทั้ง 10 วันของบ้านทั้ง 60 หลัง

ผลการคำนวณค่าการใช้ไฟฟ้าฐานของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลัง แสดงได้ดังรูปที่ 3-1



รูปที่ 3-1 การใช้ไฟฟ้าฐานของบ้านพักอาศัยทั้ง 60 หลัง
ในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวง

3.5. วิธีการแบ่งกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าที่วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการแบ่งกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าโดยพิจารณาจากค่าการใช้ไฟฟ้าต่ำที่สุดและค่าการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดเทียบกับค่าการใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลาต่างๆ ของวันของบ้านหลังนั้นดังสมการที่ (7)

$$X' = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \quad (7)$$

โดยที่

X' คือ ค่าการเปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้า ณ เวลานั้นหลังผ่านการเปรียบเทียบกับค่าการใช้ ไฟฟ้าต่ำที่สุดและค่าการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดของวันของบ้านหลังนั้นโดยมีค่าอยู่ระหว่าง [0,1]

X คือ ค่าการใช้ไฟฟ้าเดิม ณ เวลานั้นของบ้านหลังนั้น

X_{min} คือ ค่าการใช้ไฟฟ้าต่ำที่สุดของวันของบ้านหลังนั้น

X_{max} คือ ค่าการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดของวันของบ้านหลังนั้น

3.6. การปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้เครื่องปรับอากาศในการจำลองสถานการณ์การดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การจำลองสถานการณ์การดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลด วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอให้พิจารณาที่อัตราการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศในบ้านหลังนั้นเนื่องจากอัตราการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัยในเขตการไฟฟ้านครหลวงมีการใช้เครื่องปรับอากาศสูงมาก คิดเป็น 53.3 เปอร์เซ็นต์ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด โดยบ้านอยู่อาศัยที่ใช้ไฟฟ้าน้อยกว่า 150 หน่วย คิดเป็น 4.377 เปอร์เซ็นต์ และบ้านอยู่อาศัยที่ใช้ไฟฟ้ามากกว่า 150 หน่วยคิดเป็น 54.605 เปอร์เซ็นต์ [36]

จากการสำรวจช่วงอุณหภูมิมาตรฐานความสะดวกสบายของคนไทยที่สามารถยอมรับได้ในอาคารพักอาศัยที่มีเครื่องปรับอากาศของหลากหลายงานวิจัย พบว่าช่วงอุณหภูมิดังกล่าวมีค่าดังนี้ 1) จาก [29] อยู่ที่ 22.5-27.5°C (เฉพาะโซนพื้นที่กรุงเทพมหานคร), 2) จาก [31] อยู่ที่ 24.5-

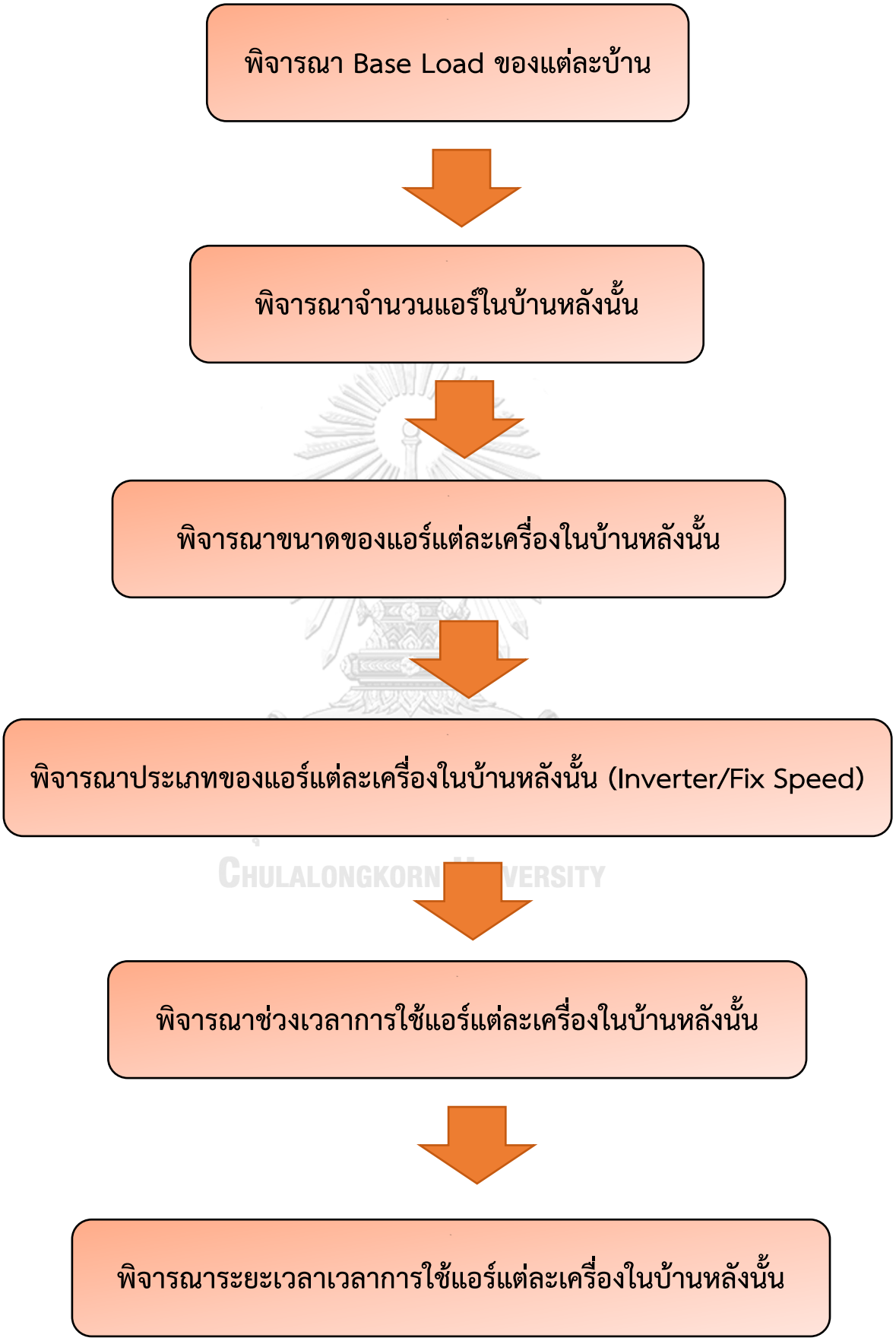
27.5°C (เฉพาะโซนพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล) 3) จาก [30] อยู่ที่ 24-27°C, 4) จาก [14] อยู่ที่ 22-27°C และ 5) จาก [34] พบว่าอุณหภูมิที่ยอมรับได้มีค่าไม่เกิน 28°C ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้จึงนำเสนอให้การขอความร่วมมือให้บ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลัง เพิ่มอุณหภูมิการใช้เครื่องปรับอากาศเป็น 27°C ในช่วงเวลาที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดเพราะเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดเนื่องจากอยู่ในช่วงอุณหภูมิความสะดวกสบายของคนไทยในอาคารพักอาศัยที่มีเครื่องปรับอากาศที่ยอมรับได้และไม่เกินค่าของการสำรวจช่วงอุณหภูมิดังกล่าวจากงานวิจัยทุกฉบับ

3.7. พฤติกรรมการใช้เครื่องปรับอากาศของบ้านแต่ละหลัง

จากโครงการสำรวจและปรับปรุงการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าเพื่อการอนุรักษ์พลังงานในระยะยาว [13] ได้มีการสำรวจเครื่องใช้ไฟฟ้าและพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในครัวเรือน พ.ศ.2556 ในการสำรวจนี้ได้ดำเนินการสำรวจเครื่องใช้ไฟฟ้า 16 ประเภท ในส่วนของเครื่องปรับอากาศได้มีการสำรวจเก็บข้อมูลจำนวนเครื่องปรับอากาศ, ขนาดเครื่องปรับอากาศ (BTU), ชนิดของเครื่องปรับอากาศ (ประหยัดไฟ/ไม่ประหยัดไฟ), ช่วงเวลาการใช้งาน และระยะเวลาการใช้งานของเครื่องปรับอากาศทุกเครื่องในบ้านกลุ่มตัวอย่างทุกหลัง เพื่อพยากรณ์พฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศของบ้านอยู่อาศัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้ข้อมูลพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงจาก [13] เพื่อเป็นตัวแทนในการพิจารณาพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศของบ้านอยู่อาศัยในพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงทั้ง 60 หลังโดยจะนำอัตราส่วนร้อยละของจำนวนเครื่องปรับอากาศ, ขนาดเครื่องปรับอากาศ (BTU), ชนิดของเครื่องปรับอากาศ (ประหยัดไฟ/ไม่ประหยัดไฟ), ช่วงเวลาการใช้งาน และระยะเวลาการใช้งานของเครื่องปรับอากาศทุกเครื่องในบ้านกลุ่มตัวอย่างในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงมาพิจารณากับพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลัง โดยพิจารณาร่วมกับค่าเฉลี่ยอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ต่ำที่สุดทั้ง 10 วันของบ้านหลังนั้นๆ เนื่องจากค่าดังกล่าวเป็นค่าการใช้พลังงานของอุปกรณ์ที่ต้องทำงานตลอดเวลาของบ้านหลังนั้น

ขั้นตอนการพิจารณาพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศของบ้านอยู่อาศัยในพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงทั้ง 60 หลัง ดังนี้



CHULALONGKORN UNIVERSITY

ผลการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าที่สามารถลดการใช้ลงได้ทั้งหมด เมื่อบ้านทั้ง 60 หลังเปิดเครื่องปรับอากาศที่ 27°C โดยใช้หลักการคำนวณของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย การคำนวณค่าการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 27°C สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 8 [16]

$$E = \frac{Y}{Z * 1000} \quad (8)$$

โดยที่

E คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจากการคำนวณ (กิโลวัตต์)

Y คือ ค่าขีดความสามารถทำความเย็นที่ระบุ (บีทียู/ชั่วโมง)

Z คือ ค่าประสิทธิภาพตามฤดูกาลที่ระบุ (บีทียู /ชั่วโมง/วัตต์) โดยใช้ค่าขีดความสามารถทำความเย็นสุทธิที่ระบุ (บีทียู/ชั่วโมง) และ ค่าประสิทธิภาพตามฤดูกาลที่ระบุ (บีทียู /ชั่วโมง/วัตต์) จากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ซึ่งเป็นค่าการทดสอบเครื่องปรับอากาศเพื่อหาค่าดังกล่าวที่อุณหภูมิภายใน 27°C และอุณหภูมิภายนอก 35°C ตามมาตรฐานการทดสอบเครื่องปรับอากาศ

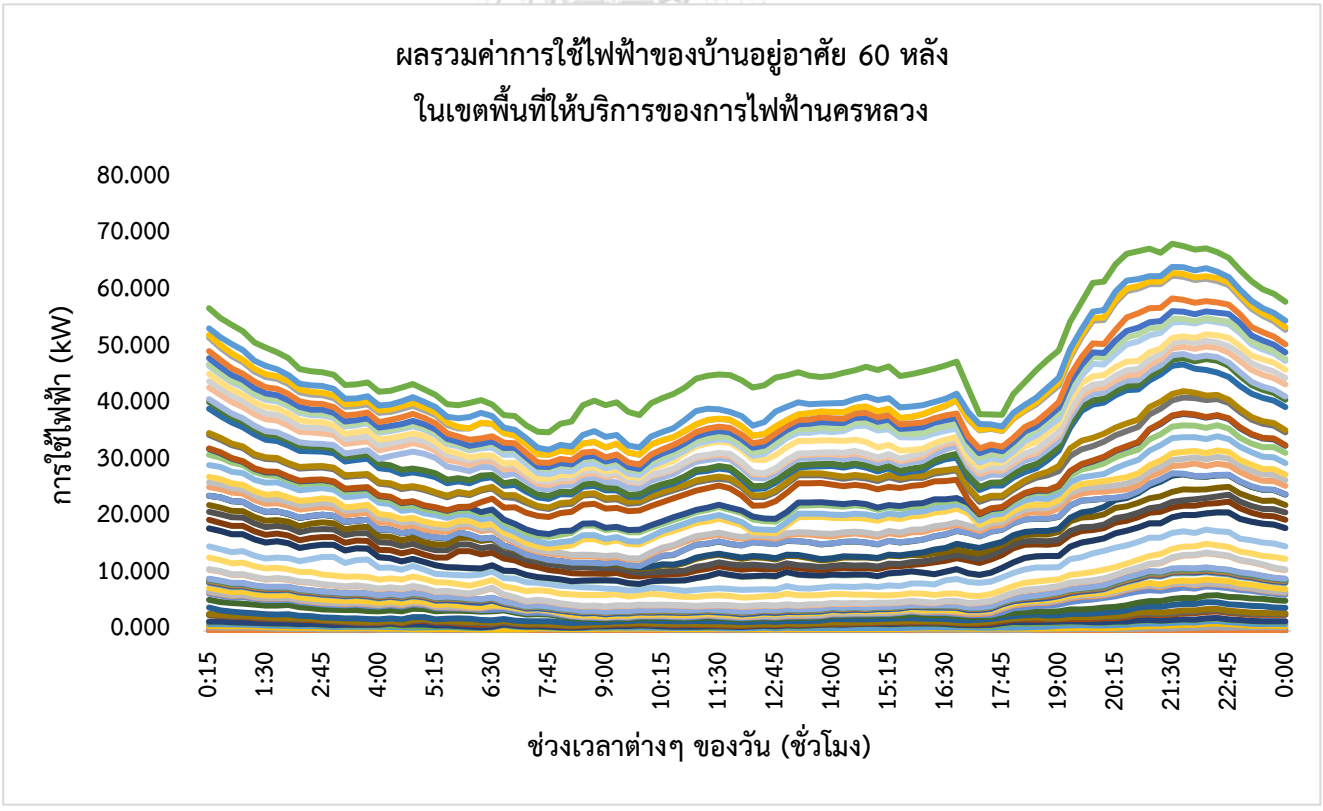
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1. ผลการวิเคราะห์และแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวง

งานวิจัยในอดีตวิเคราะห์และแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าโดยการพิจารณาจากปริมาณการใช้ไฟฟ้ามาก-น้อยของผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมดโดยรวมที่นำมาแบ่งกลุ่มเทียบกับการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละราย และการกำหนดจำนวนกลุ่มเป้าหมายสำหรับแบ่งกลุ่มข้อมูลพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าดังกล่าว งานวิจัยในอดีตนำเสนอให้พิจารณาจากรูปแบบที่เป็นไปได้ทั้งหมดของพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของบ้านแต่ละหลัง

ผลการวิเคราะห์ลักษณะพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าจากผลรวมค่าการใช้ไฟฟ้าของบ้านทั้ง 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงตามช่วงเวลาต่างๆ แสดงได้ดังรูปที่ 4-1



รูปที่ 4-1 ผลรวมค่าการใช้ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัย 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวง

รูปที่ 4-1 ลำดับของกราฟแทนผลรวมค่าการใช้ไฟฟ้าของบ้านในลำดับนั้นกับบ้านในลำดับก่อนหน้าทั้งหมด ลำดับของกราฟที่ 60 เส้นบนสุดคือผลรวมค่าการใช้ไฟฟ้าของบ้าน 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงทุกหลังรวมกัน

จากรูปที่ 4-1 พบว่าผลรวมค่าการใช้ไฟฟ้าของบ้าน 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงมีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจนแบ่งออกเป็น 3 ช่วงเวลา คือ 0.00-08.00 น., 08.00-16.00 น. และ 16.00 – 24.00 น. ดังนั้นเมื่อวิเคราะห์รูปแบบที่เป็นไปได้ทั้งหมดของพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของบ้านแต่ละหลังจากพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่ค่อนข้างคงที่ไม่เพิ่มสูงขึ้นและไม่คงที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดจากทั้ง 3 ช่วงเวลาดังกล่าว สามารถกำหนดจำนวนกลุ่มรูปแบบลักษณะพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าได้เป็น 8 รูปแบบ ดังต่อไปนี้

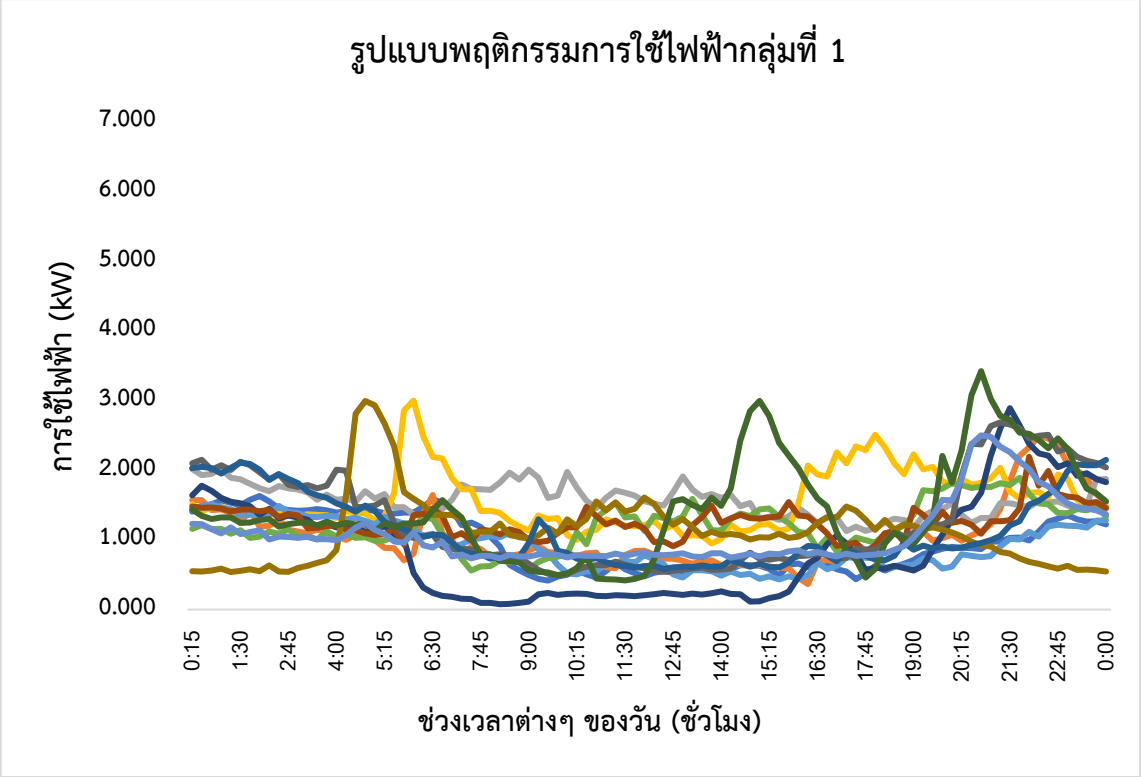
1. กลุ่มที่ 1 กลุ่มที่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นในช่วง 0.00 – 08.00 น., 08.00- 16.00 น. และ 16.00 – 24.00 น.
2. กลุ่มที่ 2 กลุ่มที่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นในช่วง 0.00 – 08.00 น. และ 08.00- 16.00 น. แต่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าค่อนข้างคงที่ในช่วงเวลา 16.00 – 24.00 น.
3. กลุ่มที่ 3 กลุ่มที่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นในช่วง 0.00 – 08.00 น. และ 16.00 – 24.00 น. แต่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าค่อนข้างคงที่ในช่วงเวลา 08.00- 16.00 น.
4. กลุ่มที่ 4 กลุ่มที่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นในช่วง 0.00 – 08.00 น. แต่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าค่อนข้างคงที่ในช่วงเวลา 08.00- 16.00 น. และ 16.00 – 24.00 น.
5. กลุ่มที่ 5 กลุ่มที่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าค่อนข้างคงที่ในช่วงเวลา 0.00 – 08.00 น. แต่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นในช่วงเวลา 08.00- 16.00 น. และ 16.00 – 24.00 น.
6. กลุ่มที่ 6 กลุ่มที่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าค่อนข้างคงที่ในช่วงเวลา 0.00 – 08.00 น. และ 16.00 – 24.00 น. แต่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นในช่วงเวลา 08.00- 16.00 น.
7. กลุ่มที่ 7 กลุ่มที่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าค่อนข้างคงที่ในช่วงเวลา 0.00 – 08.00 น. และ 08.00- 16.00 น. แต่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นในช่วงเวลา 16.00 – 24.00 น.
8. กลุ่มที่ 8 กลุ่มที่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าค่อนข้างคงที่ในช่วงเวลา 0.00 – 08.00 น., 08.00 - 16.00 น. และ 16.00 – 24.00 น

Chulalongkorn University

ดังนั้น ผลการวิเคราะห์และแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลัง ในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงโดยการพิจารณาจากปริมาณการใช้ไฟฟ้ามาก-น้อย ของผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมดโดยรวมที่นำมาแบ่งกลุ่มเทียบกับการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละราย ออกเป็น 8 กลุ่ม ดังนี้

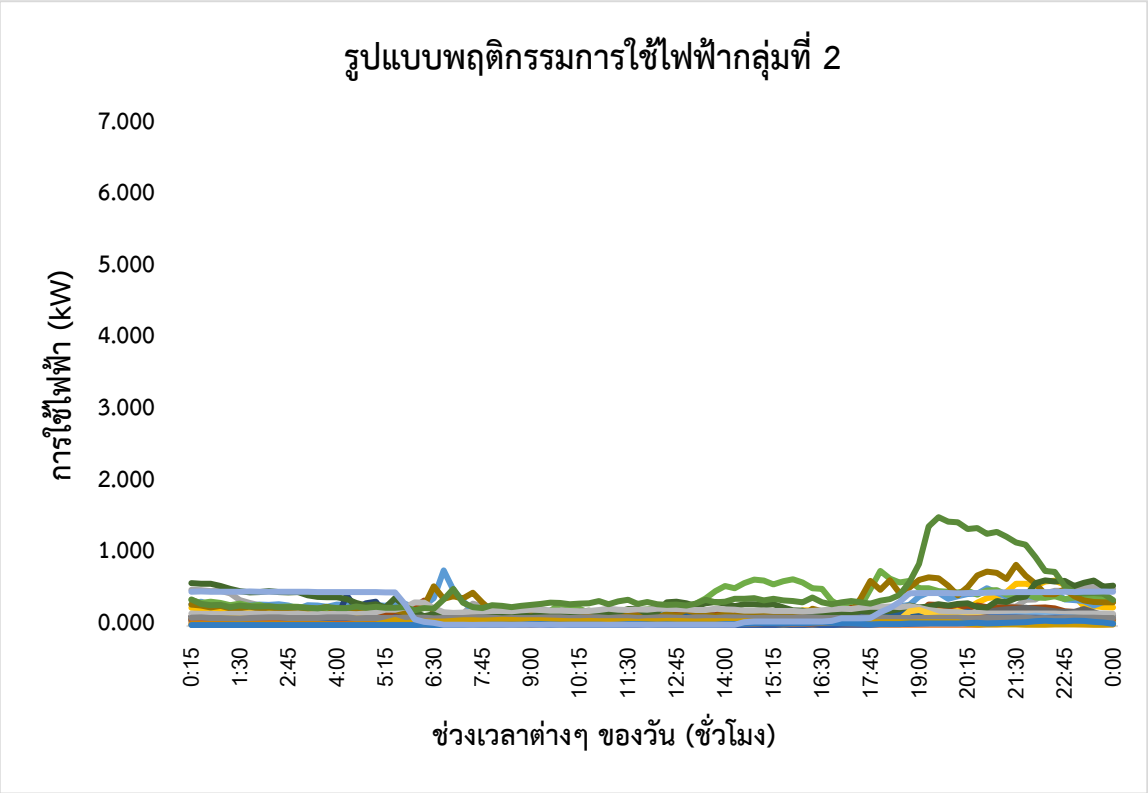
กำหนดให้ช่วงเวลา 0.00-08.00 น., 08.00-16.00 น. และ 16.00-24.00 น. เป็นช่วงต้น, ช่วงกลาง และช่วงปลายของวันตามลำดับ

4.1.1. **กลุ่มที่ 1** ประกอบด้วยบ้านอยู่อาศัย 13 หลัง มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่ค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับปริมาณการใช้ไฟฟ้ามาก-น้อยของผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมดโดยรวมที่นำมาแบ่งกลุ่ม และมีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าสูงในช่วงต้นและปลายของวันเมื่อพิจารณาจากค่าการใช้ไฟฟ้าต่ำที่สุดและค่าการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดภายในกลุ่มด้วยกันเอง ดังแสดงในรูปที่ 4-2



รูปที่ 4-2 รูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงกลุ่มที่ 1 โดยการพิจารณาแบ่งกลุ่มจากปริมาณการใช้ไฟฟ้ามาก-น้อยของผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมด โดยรวมที่นำมาแบ่งกลุ่มเทียบกับการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละราย

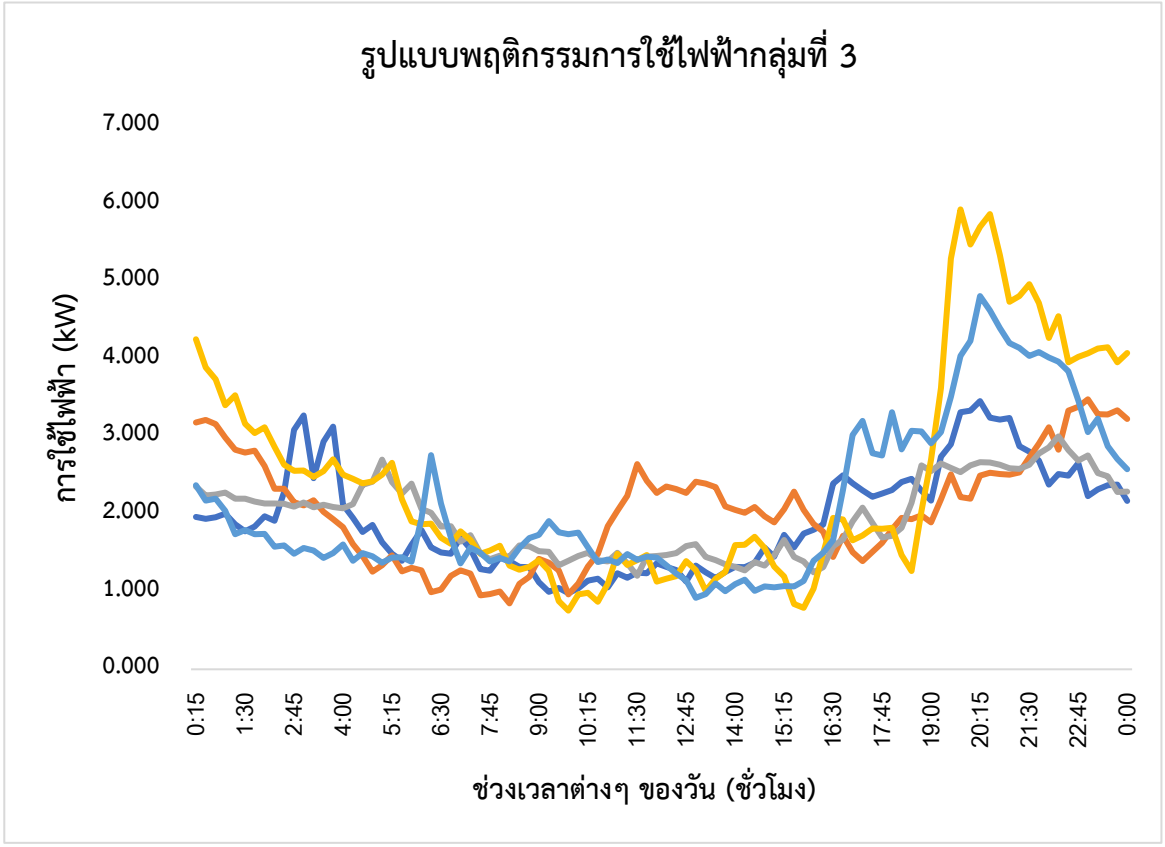
4.1.2. **กลุ่มที่ 2** ประกอบด้วยบ้าน 25 หลัง มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับปริมาณการใช้ไฟฟ้ามาก-น้อยของผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมดโดยรวมที่นำมาแบ่งกลุ่ม และมีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่แตกต่างกันหลากหลายรูปแบบ เมื่อพิจารณาจากค่าการใช้ไฟฟ้าต่ำที่สุดและค่าการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดภายในกลุ่มด้วยกันเอง ดังแสดงในรูปที่ 4-3



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

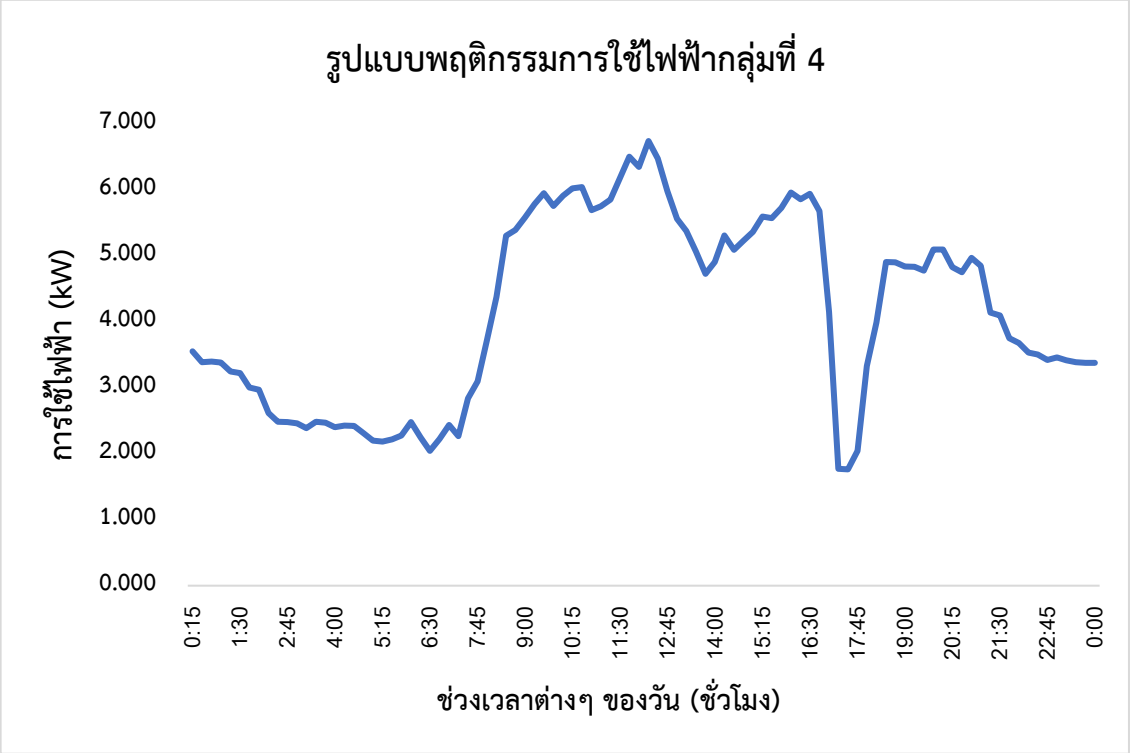
รูปที่ 4-3 รูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงกลุ่มที่ 2 โดยการพิจารณาแบ่งกลุ่มจากปริมาณการใช้ไฟฟ้ามาก-น้อยของผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมด โดยรวมที่นำมาแบ่งกลุ่มเทียบกับการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละราย

4.1.3. **กลุ่มที่ 3** ประกอบด้วยบ้าน 5 หลัง มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่อยู่ในระดับปานกลางถึงค่อนข้างสูง เมื่อเทียบกับปริมาณการใช้ไฟฟ้ามาก-น้อยของผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมดโดยรวมที่นำมาแบ่งกลุ่ม และมีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่สูงในช่วงต้นและค่อยๆลดลงมาก่อนจะมีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่สูงมากอีกครั้งในช่วงปลายเมื่อพิจารณาจากค่าการใช้ไฟฟ้าต่ำที่สุดและค่าการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดภายในกลุ่มด้วยกันเอง ดังแสดงในรูปที่ 4-4



รูปที่ 4-4 รูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงกลุ่มที่ 3 โดยการพิจารณาแบ่งกลุ่มจากปริมาณการใช้ไฟฟ้ามาก-น้อยของผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมด โดยรวมที่นำมาแบ่งกลุ่มเทียบกับการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละราย

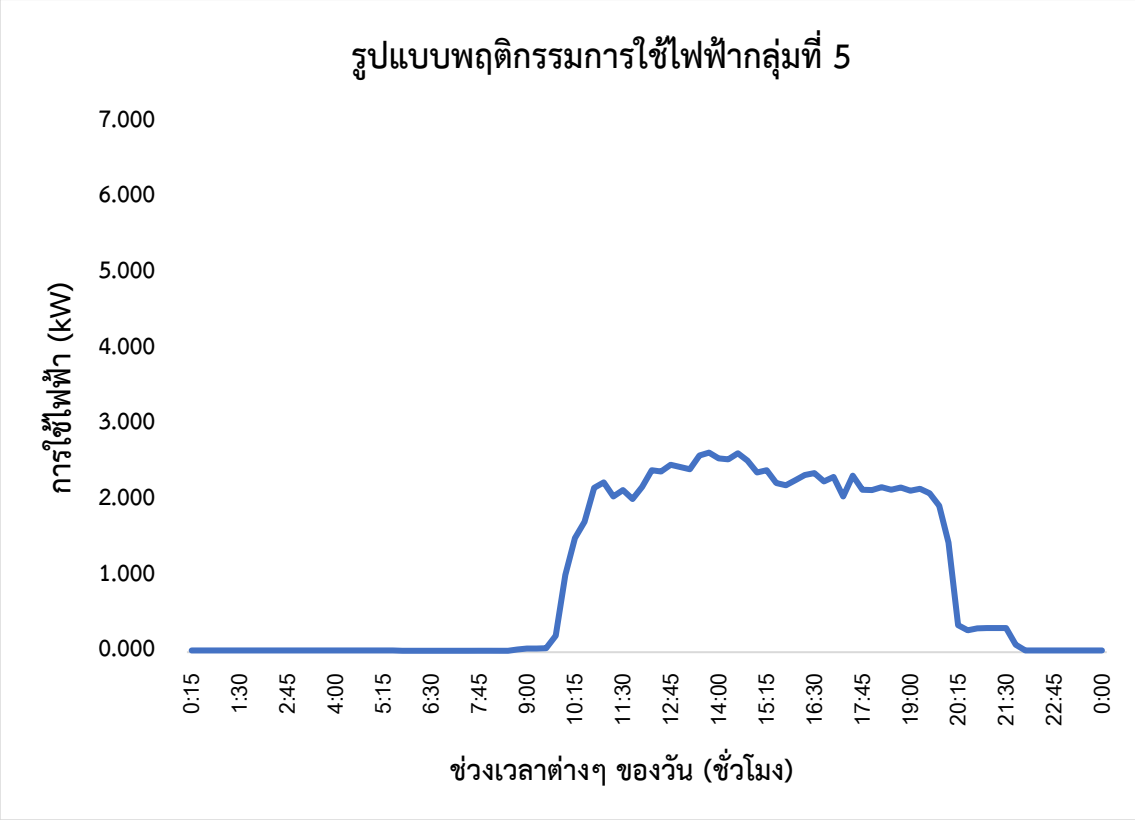
4.1.4. **กลุ่มที่ 4** ประกอบด้วยบ้าน 1 หลัง มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่ค่อนข้างสูงถึงสูงมากเมื่อเทียบกับปริมาณการใช้ไฟฟ้ามาก-น้อยของผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมดโดยรวมที่นำมาแบ่งกลุ่ม และมีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่สูงในช่วงกลางและค่อนข้างสูงในช่วงปลายเมื่อพิจารณาจากค่าการใช้ไฟฟ้าต่ำที่สุดและค่าการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดภายในกลุ่มด้วยกันเอง ดังแสดงในรูปที่ 4-5



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

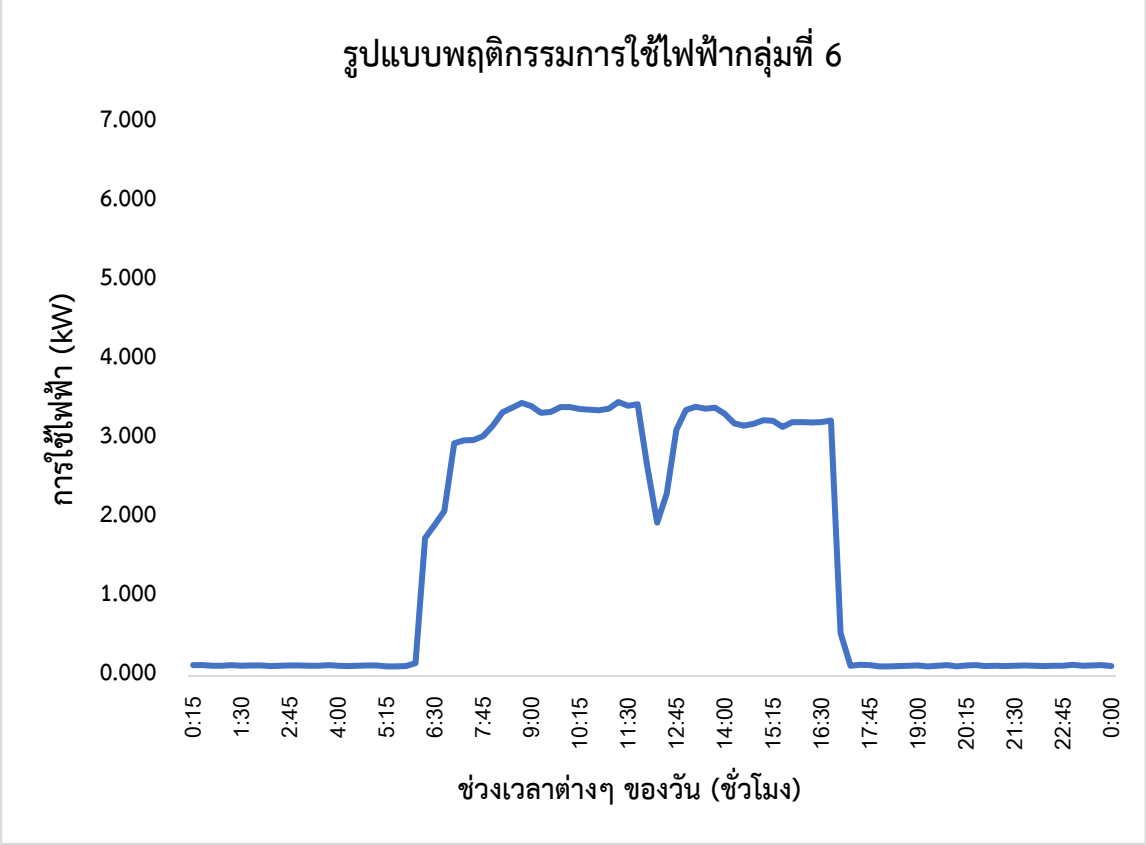
รูปที่ 4-5 รูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงกลุ่มที่ 4 โดยการพิจารณาแบ่งกลุ่มจากปริมาณการใช้ไฟฟ้ามาก-น้อยของผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมดโดยรวมที่นำมาแบ่งกลุ่มเทียบกับการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละราย

4.1.5. **กลุ่มที่ 5** ประกอบด้วยบ้าน 1 หลัง มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่ค่อนข้างต่ำในบางช่วงเวลาและต่ำมากในบางช่วงเวลาเมื่อเทียบกับปริมาณการใช้ไฟฟ้ามาก-น้อยของผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมดโดยรวมที่นำมาแบ่งกลุ่ม และมีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่สูงในช่วงกลางถึงตอนต้นของช่วงปลายและค่อนข้างคงที่เมื่อพิจารณาจากค่าการใช้ไฟฟ้าต่ำที่สุดและค่าการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดภายในกลุ่มด้วยกันเอง ดังแสดงในรูปที่ 4-6



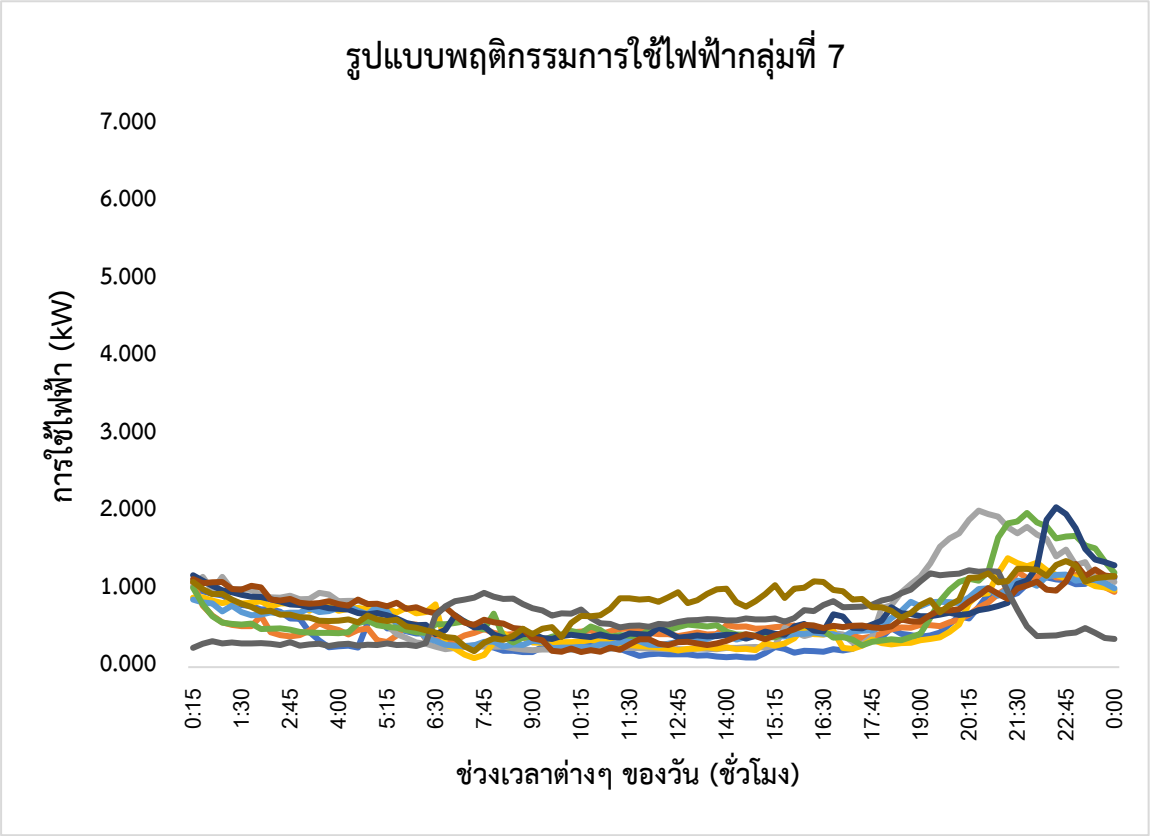
รูปที่ 4-6 รูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงกลุ่มที่ 5 โดยการพิจารณาแบ่งกลุ่มจากปริมาณการใช้ไฟฟ้ามาก-น้อยของผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมด โดยรวมที่นำมาแบ่งกลุ่มเทียบกับการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละราย

4.1.6. **กลุ่มที่ 6** ประกอบด้วยบ้าน 1 หลัง มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่อยู่ในระดับปานกลางในบางช่วงเวลาและ ต่ำมากในบางช่วงเวลาเมื่อเทียบกับปริมาณการใช้ไฟฟ้ามาก-น้อยของผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมดโดยรวมที่นำมาแบ่งกลุ่ม และมีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่สูงในช่วงกลาง แต่ในช่วงเวลาประมาณ 12.00 – 13.00 น. มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าลดลงเมื่อพิจารณาจากค่าการใช้ไฟฟ้าต่ำที่สุดและค่าการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดภายในกลุ่มด้วยกันเอง ดังแสดงในรูปที่ 4-7



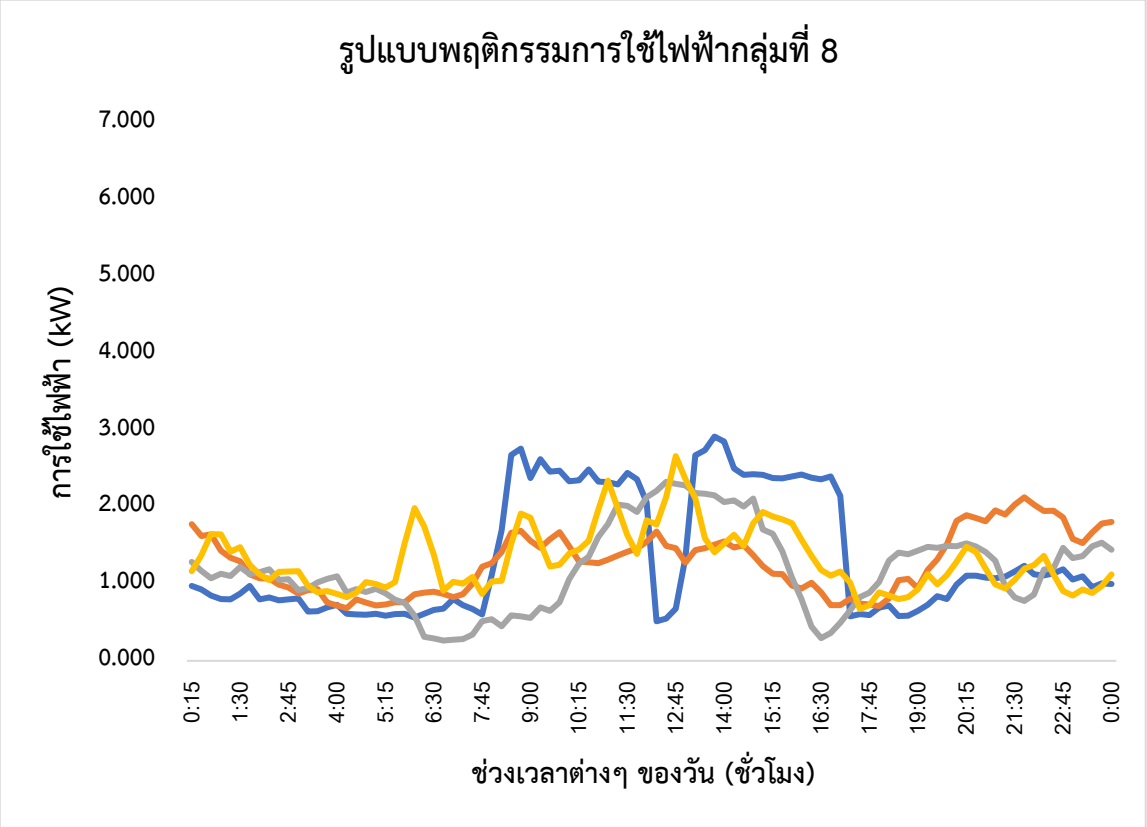
รูปที่ 4-7 รูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงกลุ่มที่ 6 โดยการพิจารณาแบ่งกลุ่มจากปริมาณการใช้ไฟฟ้ามาก-น้อยของผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมด โดยรวมที่นำมาแบ่งกลุ่มเทียบกับการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละราย

4.1.7. **กลุ่มที่ 7** ประกอบด้วยบ้าน 10 หลัง มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่ค่อนข้างต่ำถึงต่ำมากเมื่อเทียบกับปริมาณการใช้ไฟฟ้ามาก-น้อยของผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมดโดยรวมที่นำมาแบ่งกลุ่ม และมีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่สูงในช่วงต้นและค่อยๆลดลงมาก่อนจะมีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่สูงมากอีกครั้งในช่วงปลายเมื่อพิจารณาจากค่าการใช้ไฟฟ้าต่ำที่สุดและค่าการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดภายในกลุ่มด้วยกันเอง ดังแสดงในรูปที่ 4-8



รูปที่ 4-8 รูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงกลุ่มที่ 7 โดยการพิจารณาแบ่งกลุ่มจากปริมาณการใช้ไฟฟ้ามาก-น้อยของผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมดโดยรวมที่นำมาแบ่งกลุ่มเทียบกับการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละราย

4.1.8. **กลุ่มที่ 8** ประกอบด้วยบ้าน 4 หลัง มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่ค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับปริมาณการใช้ไฟฟ้ามาก-น้อยของผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมดโดยรวมที่นำมาแบ่งกลุ่ม และมีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่สูงในช่วงกลาง แต่แปรปรวนอย่างมากเมื่อพิจารณาจากค่าการใช้ไฟฟ้าต่ำที่สุดและค่าการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดภายในกลุ่มด้วยกันเอง ดังแสดงในรูปที่ 4-9



Chulalongkorn University

รูปที่ 4-9 รูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงกลุ่มที่ 8 โดยการพิจารณาแบ่งกลุ่มจากปริมาณการใช้ไฟฟ้ามาก-น้อยของผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมด โดยรวมที่นำมาแบ่งกลุ่มเทียบกับการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละราย

การแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงด้วยการพิจารณาจากปริมาณการใช้ไฟฟ้ามาก-น้อยของผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมดโดยรวมที่นำมาแบ่งกลุ่มเทียบกับการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละราย ทำให้ผลการแบ่งกลุ่มที่ได้ไม่เห็นความแตกต่างเท่าที่ควร เนื่องจากผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าใกล้เคียงกันจะถูกแบ่งกลุ่มอยู่ด้วยกันถึงแม้จะมีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่แตกต่างกันก็ตามโดยปัญหานี้จะเกิดกับกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงและต่ำมากอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับผู้ใช้ไฟฟ้ารายอื่นๆ ดังแสดงในรูปที่ 4-3 รูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้ากลุ่มที่ 2 ประกอบด้วยบ้านอยู่อาศัย 25 หลัง ที่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับปริมาณการใช้ไฟฟ้ามาก-น้อยของผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมดโดยรวมที่นำมาแบ่งกลุ่ม ซึ่งบ้านอยู่อาศัย 25 หลังดังกล่าวนั้น มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่แตกต่างกันหลากหลายรูปแบบ แต่เมื่อบ้านอยู่อาศัยทั้ง 25 หลังดังกล่าว ถูกนำมาแบ่งกลุ่มกับบ้านอยู่อาศัยหลังอื่นๆ ในพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงจำนวน 35 หลัง ด้วยการพิจารณาจากปริมาณการใช้ไฟฟ้ามาก-น้อยของผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมดโดยรวมที่นำมาแบ่งกลุ่มเทียบกับการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละราย ผลลัพธ์ที่ได้คือ บ้านอยู่อาศัยทั้ง 25 หลังดังกล่าวถูกนำมาจับกลุ่มรวมอยู่ด้วยกันเป็นกลุ่มที่ 2 ถึงแม้จะมีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่แตกต่างกันก็ตาม เพราะว่าบ้านอยู่อาศัยทั้ง 25 หลังดังกล่าว มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับปริมาณการใช้ไฟฟ้ามาก-น้อยของผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมดโดยรวมที่นำมาแบ่งกลุ่ม

จากรูปที่ 4-4 รูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้ากลุ่มที่ 3 ประกอบด้วยบ้านอยู่อาศัยจำนวน 5 หลัง และรูปที่ 4-8 รูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้ากลุ่มที่ 7 ประกอบด้วยบ้านอยู่อาศัยจำนวน 10 หลัง เมื่อทั้ง 2 กลุ่มดังกล่าวพิจารณาจากค่าการใช้ไฟฟ้าต่ำที่สุดและค่าการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดภายในกลุ่มด้วยกันเอง พบว่าทั้ง 2 กลุ่มดังกล่าวมีรูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่ใกล้เคียงกัน คือ มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่สูงในช่วงต้นและค่อยๆลดลงมาก่อนจะมีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่สูงมากอีกครั้งในช่วงปลาย แต่บ้านอยู่อาศัยทั้ง 15 หลังของทั้ง 2 กลุ่มดังกล่าว เมื่อถูกนำมาแบ่งกลุ่มด้วยการพิจารณาจากปริมาณการใช้ไฟฟ้ามาก-น้อยของผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมดโดยรวมที่นำมาแบ่งกลุ่มเทียบกับการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละราย ผลลัพธ์ที่ได้คือ บ้านอยู่อาศัยทั้ง 15 หลังดังกล่าว ถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มด้วยกันถึงแม้จะมีรูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่ใกล้เคียงกันก็ตาม คือ บ้านอยู่อาศัยจำนวน 5 หลัง ซึ่งมีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่อยู่ในระดับปานกลางถึงค่อนข้างสูง เมื่อเทียบกับปริมาณการใช้ไฟฟ้ามาก-น้อยของผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมดโดยรวมที่นำมาแบ่งกลุ่ม (บ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวง) ถูกนำมาจับกลุ่มรวมอยู่ด้วยกัน ดังแสดงในรูปที่ 4-4 รูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้ากลุ่มที่ 3 และบ้านอยู่อาศัยจำนวน 10 หลัง ซึ่งมีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่ค่อนข้างต่ำถึงต่ำมาก เมื่อเทียบกับปริมาณการใช้ไฟฟ้ามาก-น้อยของผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมดโดยรวมที่นำมาแบ่งกลุ่ม ถูกนำมาจับกลุ่มรวมอยู่ด้วยกัน ดังแสดงในรูปที่ 4-8 รูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้ากลุ่มที่ 7

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าววิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงโดยพิจารณาจากค่าการใช้ไฟฟ้าต่ำที่สุดและค่าการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดเทียบกับค่าการใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลาต่างๆของวันของบ้านหลังนั้น โดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-Means และวิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ Fuzzy C-Means

สำหรับการเลือกคุณลักษณะเพื่อใช้สำหรับการแบ่งกลุ่มข้อมูลพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวง เนื่องจากมาตรการการตอบสนองด้านโหลดแบบ Emergency Demand Response Program มีข้อกำหนดระยะเวลาในการดำเนินมาตรการได้ครั้งละไม่เกิน 3 ชั่วโมง [3] ดังนั้น วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดในช่วงเวลา 0.15 – 03.15 น., 09.00 – 12.00 น., 13.00 - 16.00 น. และ 20.15 – 23.15 น. เพราะช่วงเวลา 3 ชั่วโมงดังกล่าวมีค่าการใช้ไฟฟ้าที่สูงมากในช่วงเวลาระหว่างวัน

จากนโยบายของการตอบสนองด้านโหลด (Demand Response) คือ มาตรการที่ส่งเสริมให้ผู้ใช้ไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของตัวเองจากรูปแบบการใช้ปกติ ณ ช่วงเวลาหนึ่งไม่ให้สูงมากเกินไป เพื่อเพิ่มศักยภาพในการลดความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุด (Peak Demand) ในเวลาที่ระบบต้องการ ทำให้เกิดสมดุลระหว่างฝั่งการผลิตกำลังไฟฟ้าและฝั่งการใช้ไฟฟ้า และเสริมความมั่นคงด้านพลังงานไฟฟ้า ดังนั้น การเลือกคุณลักษณะเพื่อใช้สำหรับการแบ่งกลุ่มข้อมูลพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวง วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอเป็นการพิจารณาค่าการใช้ไฟฟ้าสูงสุด ของช่วงเวลา 0.15 – 03.15 น., 09.00 – 12.00 น., 13.00 - 16.00 น. และ 20.15 – 23.15 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดกับกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงดังกล่าว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เนื่องจากวิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-Means และวิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ Fuzzy C-Means ขั้นแรกต้องกำหนดเป้าหมายจำนวนกลุ่มที่ต้องการแบ่ง การหาจำนวนกลุ่มเป้าหมายที่ต้องการแบ่งดังกล่าวทำได้โดยใช้วิธีการ Elbow method [37] [38]

Elbow method คือการกำหนดจำนวนกลุ่มเพื่อใช้ในการแบ่งข้อมูลที่เหมาะสมที่สุดโดยการพิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยผลรวมของระยะห่างระหว่างทุกข้อมูลกับค่าตำแหน่งจุดศูนย์กลางของกลุ่มที่แต่ละข้อมูลเหล่านั้นจับกลุ่มได้

โดยทำการกำหนดจำนวนช่วงของกลุ่มเพื่อใช้ในการแบ่งข้อมูลที่คาดว่าข้อมูลที่นำมาแบ่งดังกล่าวนี้สามารถแบ่งออกมาได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด และทำการ plot กราฟเพื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์

ระหว่างจำนวนแต่ละกลุ่มในช่วงของกลุ่มเพื่อใช้ในการแบ่งข้อมูลที่กำหนดดังกล่าว กับค่าเฉลี่ยของผลรวมของระยะห่างระหว่างทุกข้อมูลกับค่าตำแหน่งจุดศูนย์กลางของกลุ่มที่แต่ละข้อมูลเหล่านั้นจับกลุ่มได้ ของแต่ละจำนวนกลุ่มนั้นๆ ในช่วงของกลุ่มเพื่อใช้ในการแบ่งข้อมูลที่กำหนด

เมื่อจำนวนกลุ่มที่ต้องการแบ่งในช่วงของกลุ่มเพื่อใช้ในการแบ่งข้อมูลที่กำหนดดังกล่าวมากขึ้น จะทำให้ค่าเฉลี่ยของผลรวมของระยะห่างระหว่างทุกข้อมูลกับค่าตำแหน่งจุดศูนย์กลางของกลุ่มที่แต่ละข้อมูลเหล่านั้นจับกลุ่มได้ของแต่ละจำนวนกลุ่มนั้นๆ น้อยลงไปด้วยเนื่องจากจำนวนกลุ่มเพื่อใช้ในการแบ่งข้อมูลมีจำนวนมากขึ้น ทำให้ผลลัพธ์การแบ่งกลุ่มข้อมูลที่ได้นั้นมีประสิทธิภาพ และมีความละเอียดมากขึ้นไปด้วย แต่การกำหนดจำนวนกลุ่มเพื่อใช้ในการแบ่งข้อมูลมากเกินไปนั้นไม่ดี เพราะถึงแม้จะทำให้ผลลัพธ์การแบ่งกลุ่มข้อมูลที่ได้นั้นมีประสิทธิภาพ และมีความละเอียดมากขึ้นไปด้วยแต่จำนวนกลุ่มข้อมูลที่แบ่งได้ออกมาก็มีปริมาณมากเช่นกัน ดังนั้นจึงต้องหาจุดสมดุลคือจำนวนกลุ่มเพื่อใช้ในการแบ่งข้อมูลที่กำหนดต้องสามารถทำให้ผลลัพธ์ค่าเฉลี่ยของ ผลรวมของระยะห่างระหว่างทุกข้อมูลกับค่าตำแหน่งจุดศูนย์กลางของกลุ่มที่แต่ละข้อมูลเหล่านั้นจับกลุ่มได้มีค่าน้อยที่สุดซึ่งทำให้ผลลัพธ์การแบ่งกลุ่มข้อมูลที่ได้นั้นมีประสิทธิภาพ และมีความละเอียดมากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้โดยที่จำนวนกลุ่มเพื่อใช้ในการแบ่งข้อมูลที่กำหนดดังกล่าวต้องไม่มีปริมาณมากจนเกินไป

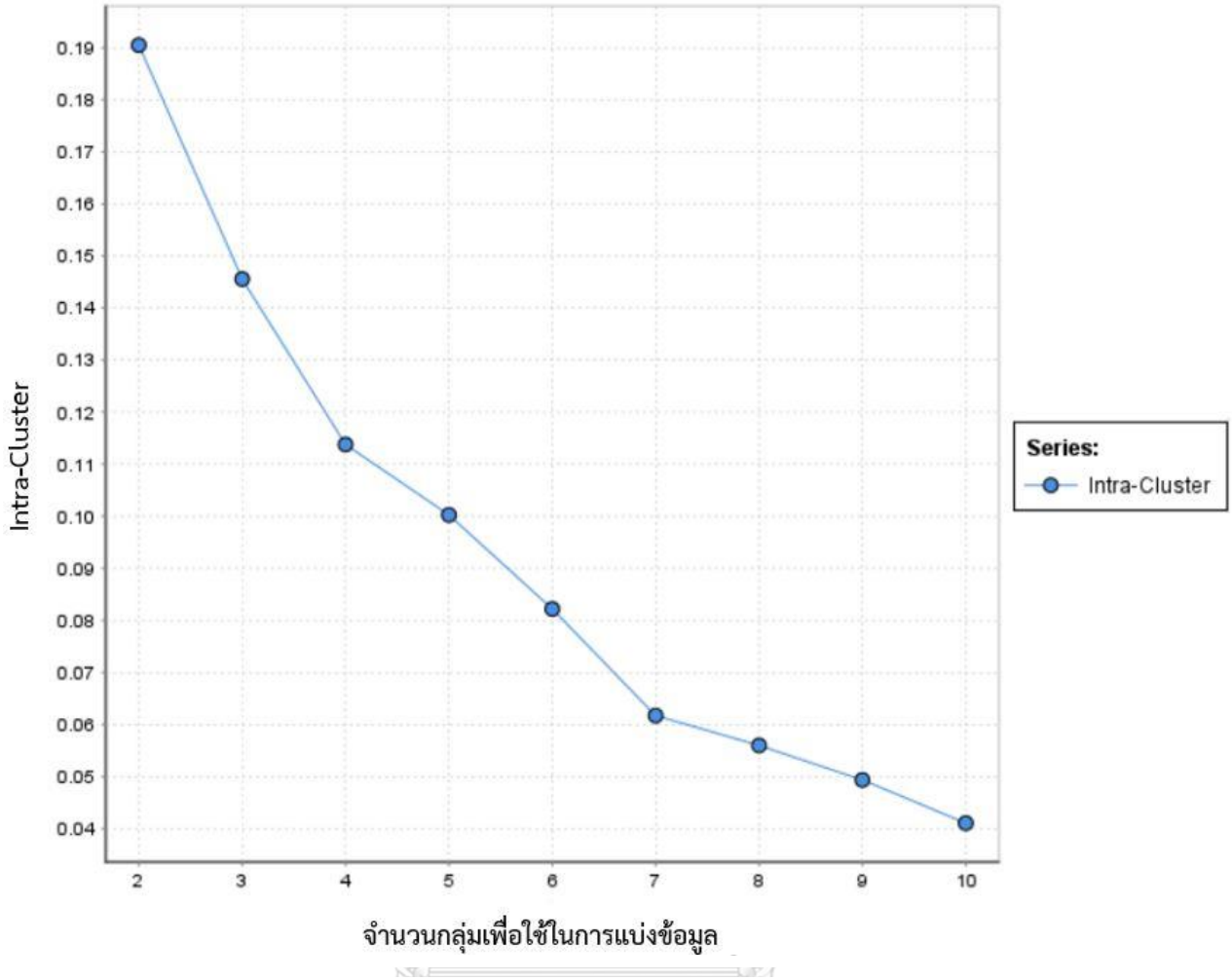
ตารางที่ 4-1 แสดงข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยผลรวมของระยะห่างระหว่างทุกข้อมูลผู้ใช้ไฟฟ้าบ้านอยู่อาศัย 60 หลังในเขตพื้นที่ของการไฟฟ้านครหลวงในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลด กับค่าตำแหน่งจุดศูนย์กลางของกลุ่มที่แต่ละข้อมูลผู้ใช้ไฟฟ้าบ้านอยู่อาศัย 60 หลังในเขตพื้นที่ของการไฟฟ้านครหลวงเหล่านั้นจับกลุ่มได้ ของแต่ละจำนวนกลุ่มนั้นๆ ในช่วงของกลุ่มเพื่อใช้ในการแบ่งข้อมูลที่กำหนด โดยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้กำหนดให้ช่วงของกลุ่มเพื่อใช้ในการแบ่งข้อมูลผู้ใช้ไฟฟ้าบ้านอยู่อาศัย 60 หลังในเขตพื้นที่ของการไฟฟ้านครหลวงนี้อยู่ในช่วง 2-10 กลุ่ม

ตารางที่ 4-1 ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยผลรวมของระยะห่างระหว่างทุกข้อมูลผู้ใช้ไฟฟ้าบ้านอยู่อาศัย 60 หลังในเขตพื้นที่ของการไฟฟ้านครหลวงในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลด กับค่าตำแหน่งจุดศูนย์กลางของกลุ่มที่แต่ละข้อมูลผู้ใช้ไฟฟ้าบ้านอยู่อาศัย 60 หลังในเขตพื้นที่ของการไฟฟ้านครหลวงเหล่านั้นจับกลุ่มได้ ของแต่ละจำนวนกลุ่มนั้นๆ ในช่วงของกลุ่มเพื่อใช้ในการแบ่งข้อมูลที่กำหนด

จำนวนกลุ่มเพื่อใช้ในการแบ่งข้อมูลผู้ใช้ไฟฟ้าบ้านอยู่อาศัย 60 หลังในเขตพื้นที่ของการไฟฟ้านครหลวงที่กำหนด	**ค่าเฉลี่ยผลรวมของระยะห่างระหว่างทุกข้อมูลข้อมูลผู้ใช้ไฟฟ้าบ้านอยู่อาศัย 60 หลังในเขตพื้นที่ของการไฟฟ้านครหลวงในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลด กับค่าตำแหน่งจุดศูนย์กลางของกลุ่มที่แต่ละข้อมูลดังกล่าวเหล่านั้นจับกลุ่มได้**
2	0.19051049324478064
3	0.14558348831477286
4	0.11379565070067185
5	0.10026698814668501
6	0.08220784760870808
7	0.06172229933808233
8	0.05599515941654169
9	0.04936634487116345
10	0.04106390080226323

เมื่อนำข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยผลรวมของระยะห่างระหว่างทุกข้อมูลผู้ใช้ไฟฟ้าบ้านอยู่อาศัย 60 หลังในเขตพื้นที่ของการไฟฟ้านครหลวงกับค่าตำแหน่งจุดศูนย์กลางของกลุ่มที่แต่ละข้อมูลผู้ใช้ไฟฟ้าบ้านอยู่อาศัย 60 หลังในเขตพื้นที่ของการไฟฟ้านครหลวงเหล่านั้นจับกลุ่มได้ ของแต่ละจำนวนกลุ่มนั้นๆ ในช่วงของกลุ่มเพื่อใช้ในการแบ่งข้อมูลที่กำหนด จากตารางที่ 4-1 มา plot เป็นกราฟผลที่ได้ดังแสดงในรูปที่ 4-10

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4-10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยผลรวมของระยะห่างระหว่างทุกข้อมูลผู้ใช้ไฟฟ้าบ้านอยู่อาศัย 60 หลังในเขตพื้นที่ของการไฟฟ้านครหลวงกับค่าตำแหน่งจุดศูนย์กลางของกลุ่มที่แต่ละข้อมูลผู้ใช้ไฟฟ้าบ้านอยู่อาศัย 60 หลังในเขตพื้นที่ของการไฟฟ้านครหลวงเหล่านั้นจับกลุ่มได้ ของแต่ละจำนวนกลุ่มนั้นๆ ในช่วงของกลุ่มเพื่อใช้ในการแบ่งข้อมูลที่กำหนด

จากวิธี Elbow method การเลือกจุดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการกำหนดจำนวนกลุ่มเพื่อใช้ในการแบ่งข้อมูลโดยการพิจารณาจากกราฟการเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนแต่ละกลุ่มที่ต้องการแบ่งในช่วงของกลุ่มเพื่อใช้ในการแบ่งข้อมูลที่กำหนด กับค่าเฉลี่ยของผลรวมของระยะห่างระหว่างทุกข้อมูลกับค่าตำแหน่งจุดศูนย์กลางของกลุ่มที่แต่ละข้อมูลเหล่านั้นจับกลุ่มได้ ของแต่ละจำนวนกลุ่มนั้นๆ ในช่วงของกลุ่มเพื่อใช้ในการแบ่งข้อมูลที่กำหนด คือการพิจารณาจุดที่กราฟดังกล่าวมีลักษณะ “หัก” ที่สุด

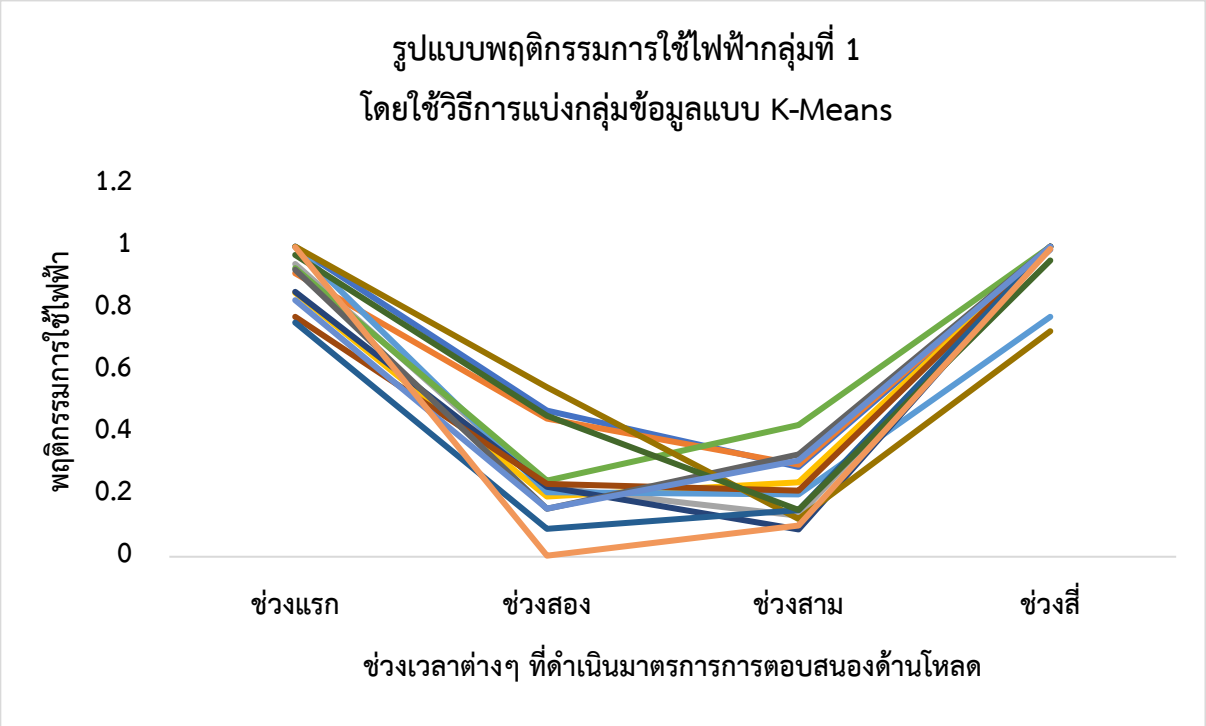
ดังนั้นจากรูปที่ 4-10 พบว่า จุดที่เส้นกราฟค่าเฉลี่ยของผลรวมของระยะห่างระหว่างทุกข้อมูลผู้ใช้ไฟฟ้าบ้านอยู่อาศัย 60 หลังในเขตพื้นที่ของการไฟฟ้านครหลวงกับค่าตำแหน่งจุดศูนย์กลางของกลุ่มที่แต่ละข้อมูลผู้ใช้ไฟฟ้าบ้านอยู่อาศัย 60 หลังในเขตพื้นที่ของการไฟฟ้านครหลวงเหล่านั้นจับกลุ่มได้ มีลักษณะหักที่สุด เกิดขึ้นเมื่อกำหนดจำนวนกลุ่มเพื่อใช้ในการแบ่งข้อมูลออกเป็น 7 กลุ่ม ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้กำหนดให้จำนวนกลุ่มรูปแบบที่เป็นไปได้ทั้งหมดของพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของบ้านแต่ละหลังของผู้ใช้ไฟฟ้าบ้านอยู่อาศัย 60 หลังในเขตพื้นที่ของการไฟฟ้านครหลวงแบ่งออกได้เป็น 7 กลุ่ม

ผลการวิเคราะห์และแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงโดยการพิจารณาจากค่าการใช้ไฟฟ้าต่ำที่สุดและค่าการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดเทียบกับค่าการใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลาต่างๆของวันของบ้านหลังนั้นโดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-Means ออกเป็น 7 กลุ่ม ดังนี้

กำหนดให้ช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลด 0.15 – 03.15 น., 09.00 – 12.00 น., 13.00 - 16.00 น. และ 20.15 – 23.15 น. เป็นช่วงแรก, ช่วงสอง, ช่วงสาม และช่วงสี่ตามลำดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

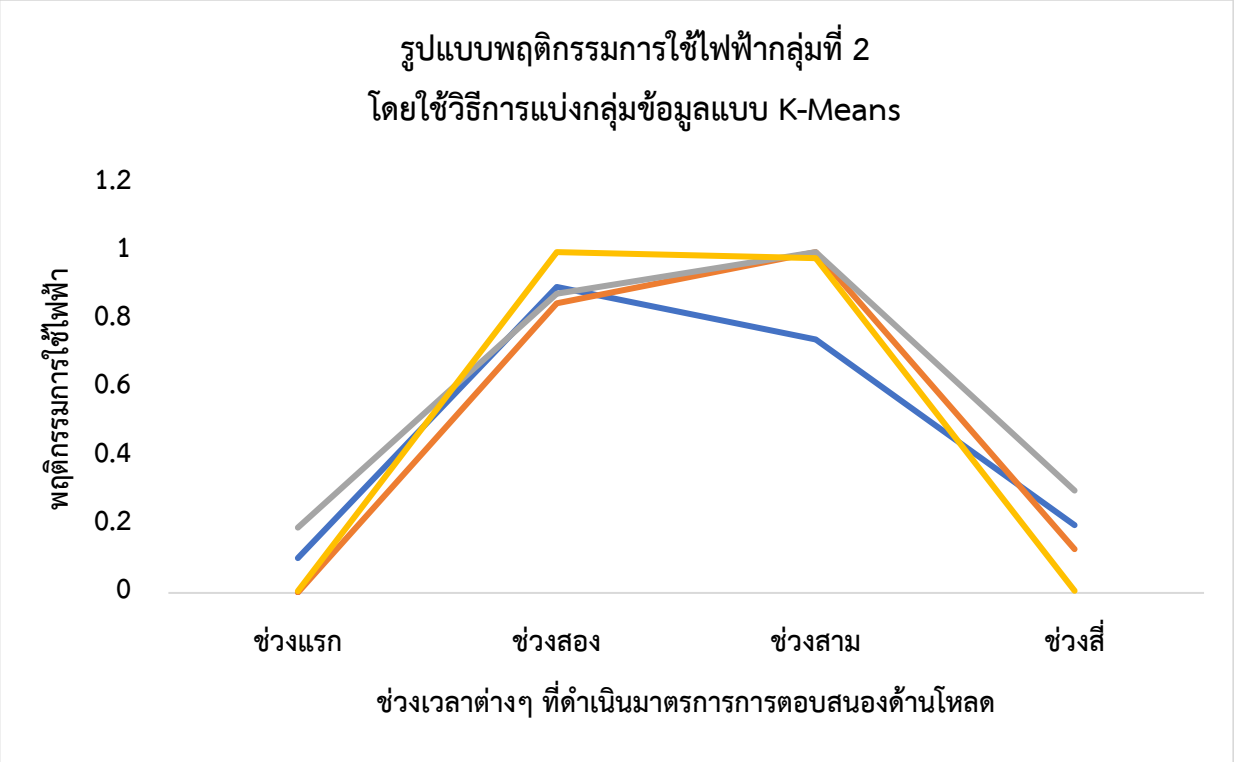
4.1.9. **กลุ่มที่ 1** ประกอบด้วยบ้านอยู่อาศัย 14 หลัง เมื่อพิจารณาพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดพบว่าในช่วงแรกและช่วงสี่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่ค่อนข้างสูงถึงสูงมาก ส่วนช่วงสองและช่วงสามมีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง ดังแสดงในรูปที่ 4-11



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4-11 รูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงกลุ่มที่ 1 โดยการพิจารณาแบ่งกลุ่มจากค่าการใช้ไฟฟ้าต่ำที่สุดและค่าการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดเทียบกับค่าการใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลาต่างๆของวันของบ้านหลังนั้นโดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-Means

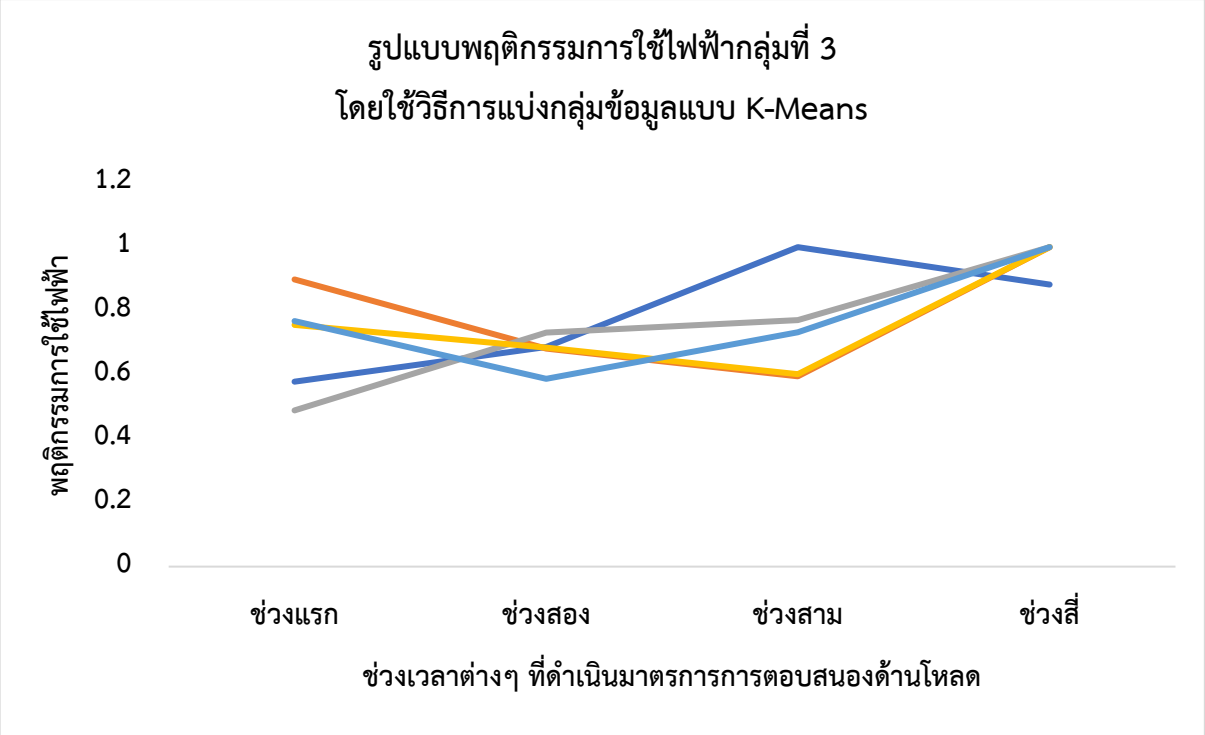
4.1.10. **กลุ่มที่ 2** ประกอบด้วยบ้าน 4 หลัง เมื่อพิจารณาพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดพบว่าในช่วงแรกและช่วงสี่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่ค่อนข้างต่ำถึงต่ำมาก ส่วนช่วงสองและช่วงสามมีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าอยู่ในระดับสูงมาก ดังแสดงในรูปที่ 4-12



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4-12 รูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงกลุ่มที่ 1 โดยการพิจารณาแบ่งกลุ่มจากค่าการใช้ไฟฟ้าต่ำที่สุดและค่าการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดเทียบกับค่าการใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลาต่างๆ ของวันของบ้านหลังนั้นโดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-Means

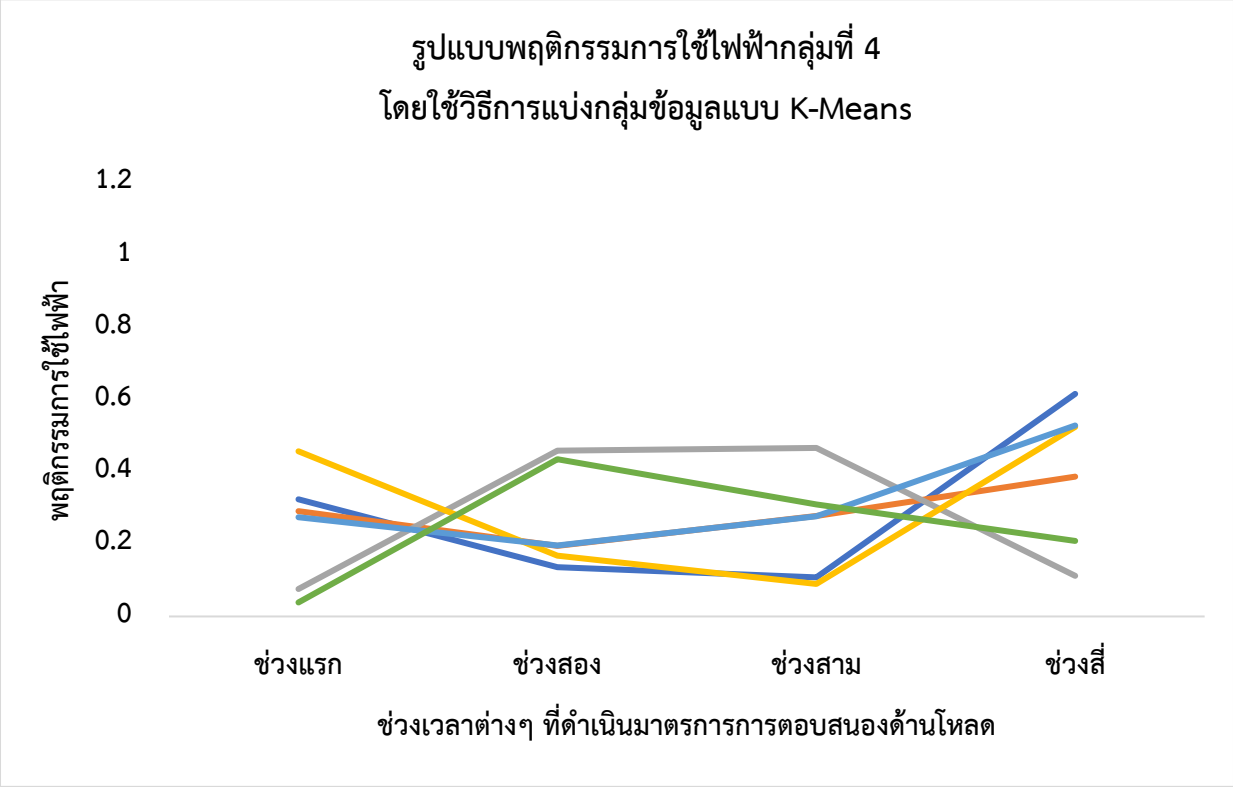
4.1.11. **กลุ่มที่ 3** ประกอบด้วยบ้านอยู่อาศัย 5 หลัง เมื่อพิจารณาพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดพบว่าในช่วงแรก, ช่วงสอง และช่วงสามมีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่ค่อนข้างสูงถึงสูงมาก ส่วนช่วงสี่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าอยู่ในระดับสูงมาก ดังแสดงในรูปที่ 4-13



CHULALONGKORN UNIVERSITY

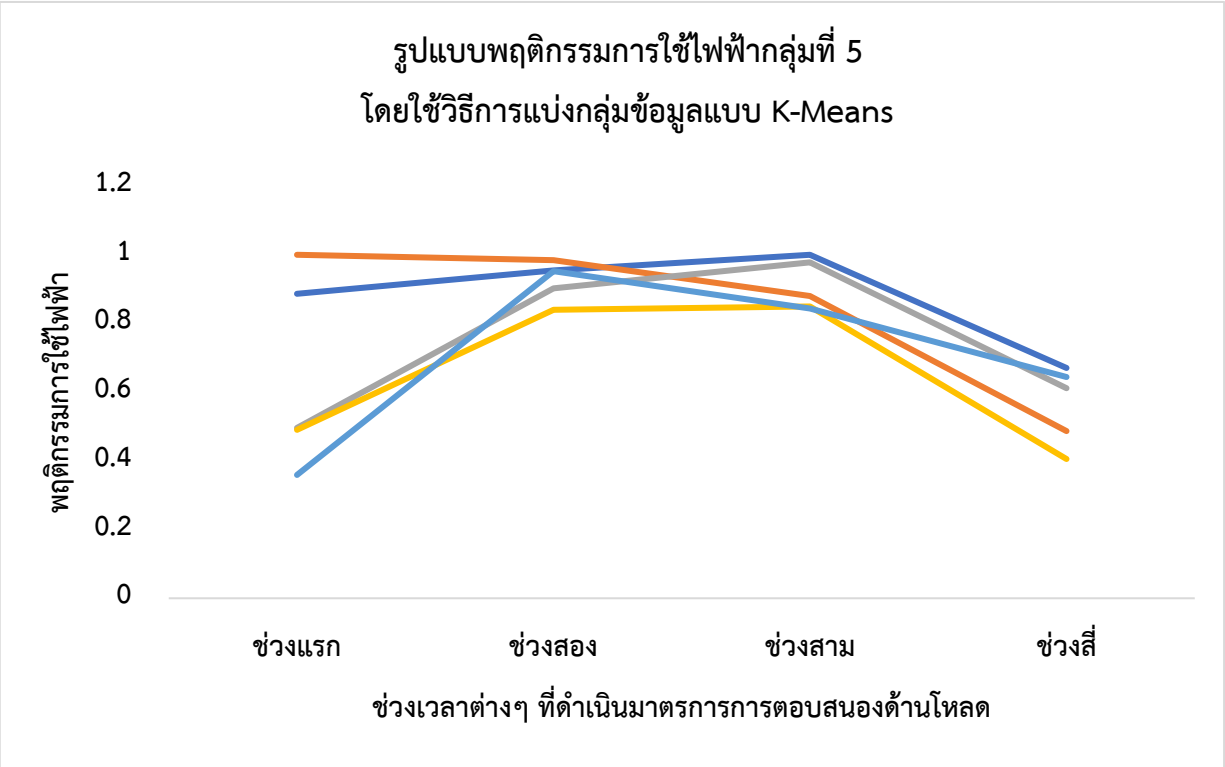
รูปที่ 4-13 รูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงกลุ่มที่ 3 โดยการพิจารณาแบ่งกลุ่มจากค่าการใช้ไฟฟ้าต่ำที่สุดและค่าการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดเทียบกับค่าการใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลาต่างๆ ของวันของบ้านหลังนั้นโดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-Means

4.1.12. **กลุ่มที่ 4** ประกอบด้วยบ้าน 6 หลัง เมื่อพิจารณาพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดพบว่าในทุกช่วงมีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่ค่อนข้างต่ำถึงระดับปานกลาง ดังแสดงในรูปที่ 4-14



รูปที่ 4-14 รูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงกลุ่มที่ 4 โดยการพิจารณาแบ่งกลุ่มจากค่าการใช้ไฟฟ้าต่ำที่สุดและค่าการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดเทียบกับค่าการใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลาต่างๆ ของวันของบ้านหลังนั้นโดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-Means

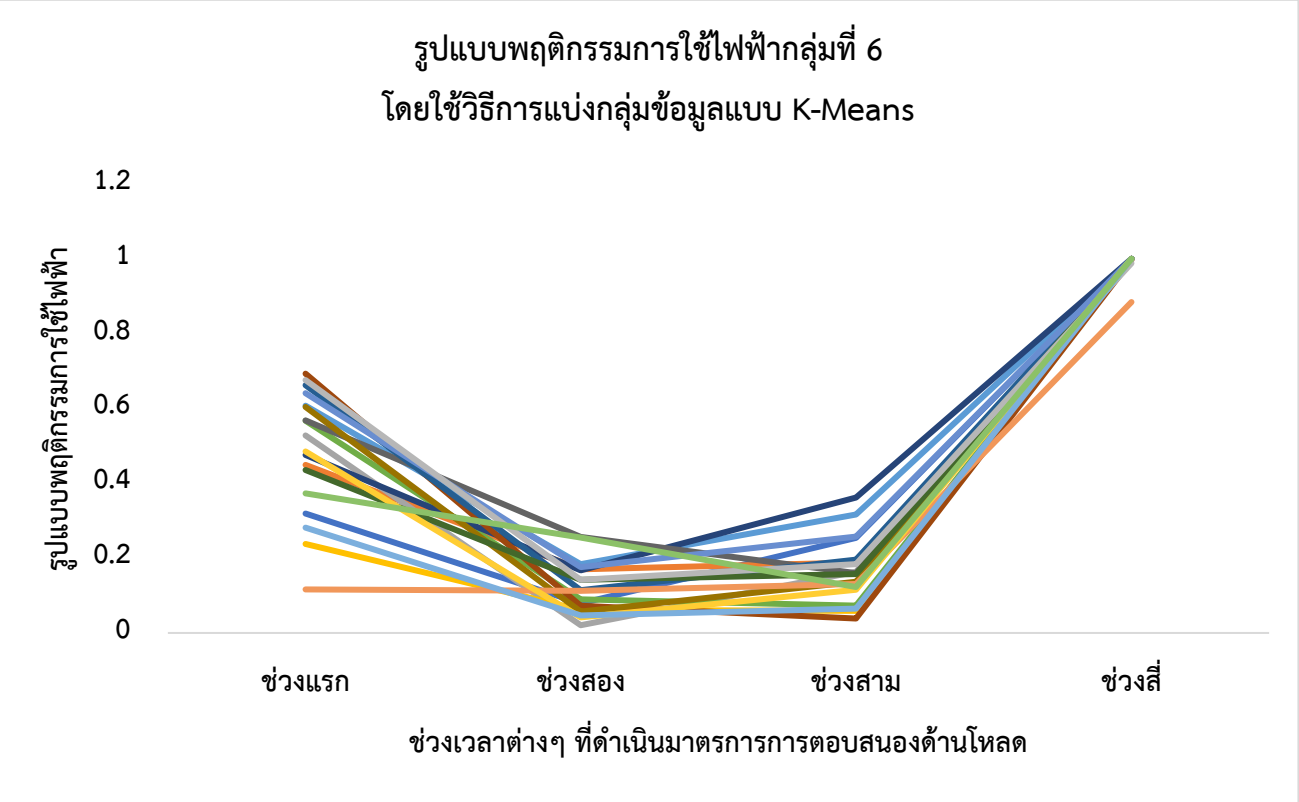
4.1.13. **กลุ่มที่ 5** ประกอบด้วยบ้าน 5 หลัง เมื่อพิจารณาพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดพบว่าในช่วงแรกมีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่ค่อนข้างต่ำถึงสูงมาก, ช่วงสองและช่วงสาม มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่สูง ส่วนช่วงสี่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าอยู่ในระดับปานกลาง ดังแสดงในรูปที่ 4-15



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4-15 รูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงกลุ่มที่ 5 โดยการพิจารณาแบ่งกลุ่มจากค่าการใช้ไฟฟ้าต่ำที่สุดและค่าการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดเทียบกับค่าการใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลาต่างๆ ของวันของบ้านหลังนั้นโดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-Means

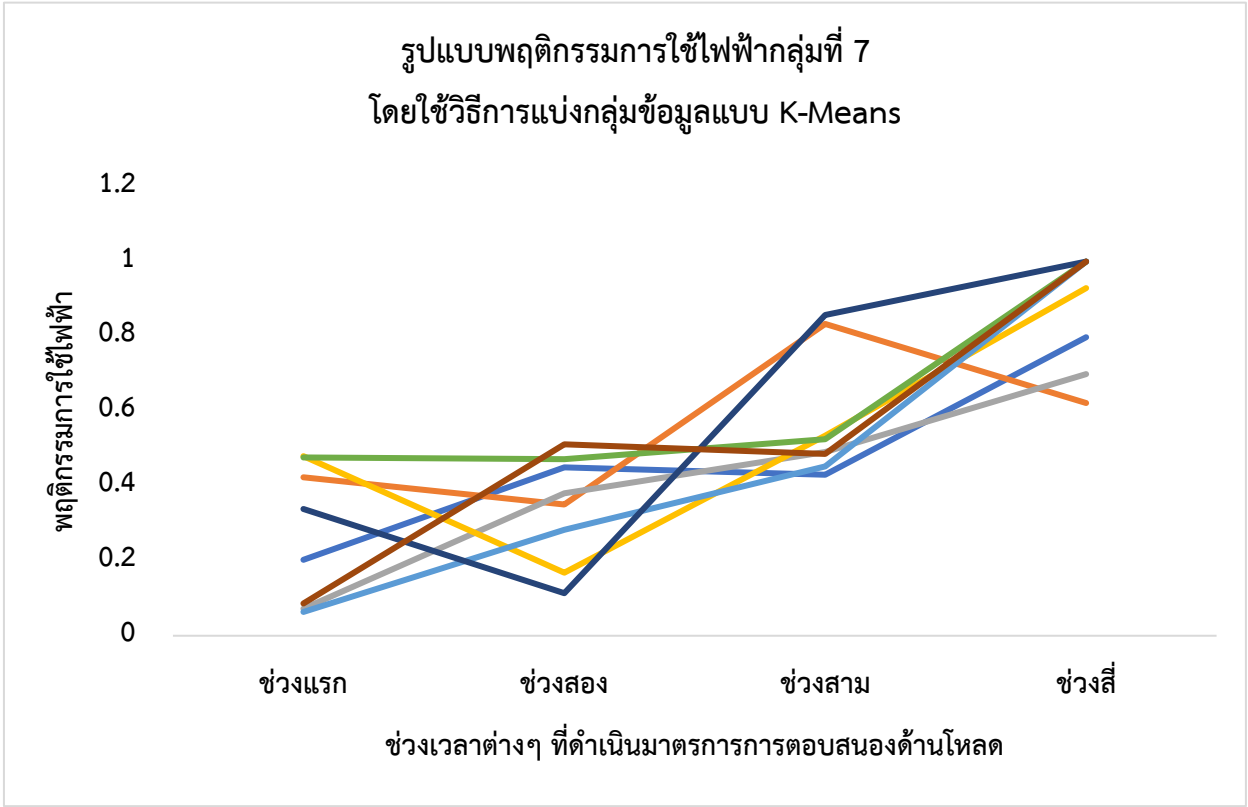
4.1.14. **กลุ่มที่ 6** ประกอบด้วยบ้าน 18 หลัง เมื่อพิจารณาพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดพบว่าในช่วงแรกมีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่ค่อนข้างต่ำถึงค่อนข้างสูง, ช่วงสองและช่วงสามมีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่ต่ำมากถึงค่อนข้างต่ำ ส่วนช่วงสี่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าอยู่ในระดับที่สูงมาก ดังแสดงในรูปที่ 4-16



CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 4-16 รูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงกลุ่มที่ 6 โดยการพิจารณาแบ่งกลุ่มจากค่าการใช้ไฟฟ้าต่ำที่สุดและค่าการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดเทียบกับค่าการใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลาต่างๆ ของวันของบ้านหลังนั้นโดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-Means

4.1.15. **กลุ่มที่ 7** ประกอบด้วยบ้าน 8 หลัง เมื่อพิจารณาพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดพบว่าในช่วงแรกและช่วงสองมีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่ต่ำมากถึงค่อนข้างต่ำ, ช่วงสามมีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในระดับปานกลางถึงค่อนข้างสูง ส่วนช่วงสี่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าอยู่ในระดับค่อนข้างสูงถึงสูงมาก ดังแสดงในรูปที่ 4-17



Chulalongkorn University

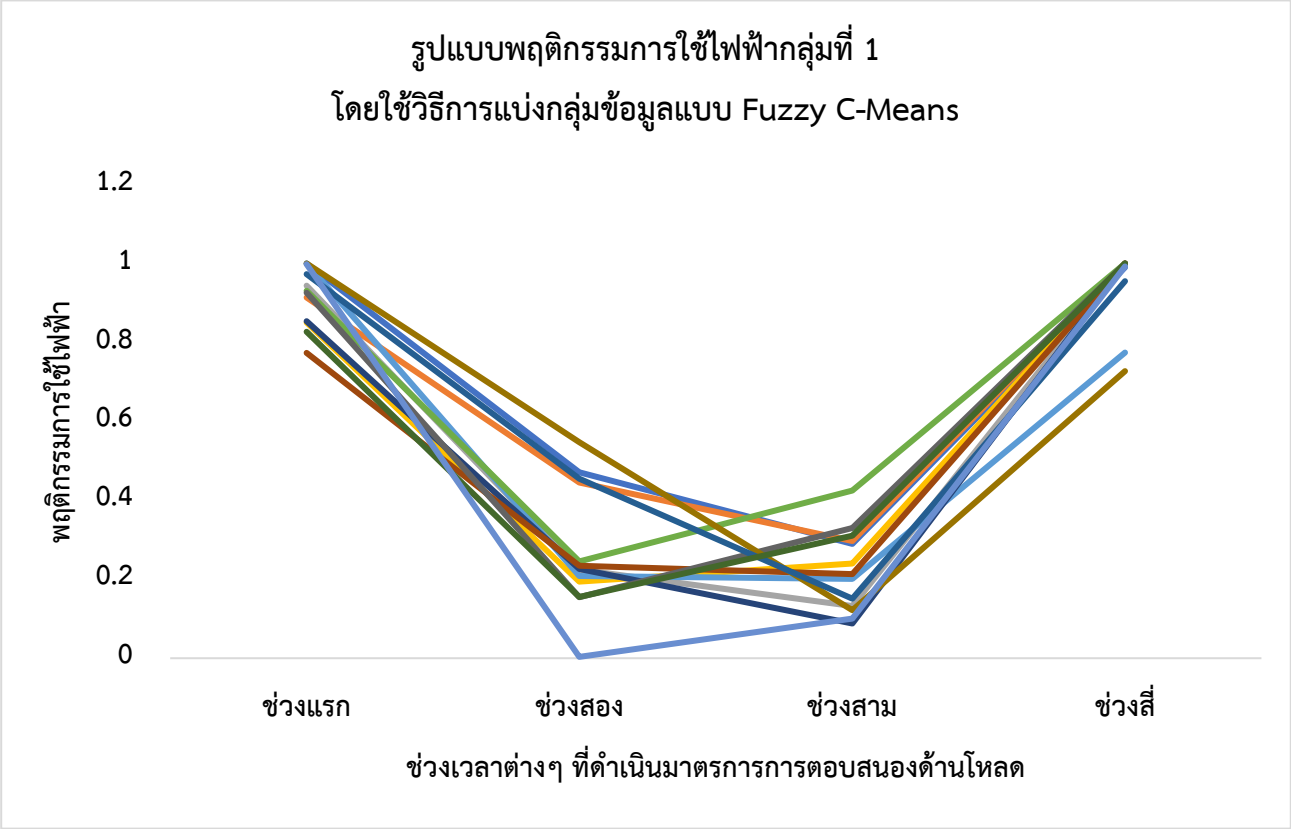
รูปที่ 4-17 รูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงกลุ่มที่ 7 โดยการพิจารณาแบ่งกลุ่มจากค่าการใช้ไฟฟ้าต่ำที่สุดและค่าการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดเทียบกับค่าการใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลาต่างๆ ของวันของบ้านหลังนั้นโดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-Means

ผลการวิเคราะห์และแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงโดยการพิจารณาจากค่าการใช้ไฟฟ้าต่ำที่สุดและค่าการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดเทียบกับค่าการใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลาต่างๆของวันของบ้านหลังนั้นโดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ Fuzzy C-Means ออกเป็น 7 กลุ่ม ดังนี้

กำหนดให้ช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลด 0.15 – 03.15 น., 09.00 – 12.00 น., 13.00 - 16.00 น. และ 20.15 – 23.15 น. เป็นช่วงแรก, ช่วงสอง, ช่วงสาม และช่วงสี่ตามลำดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

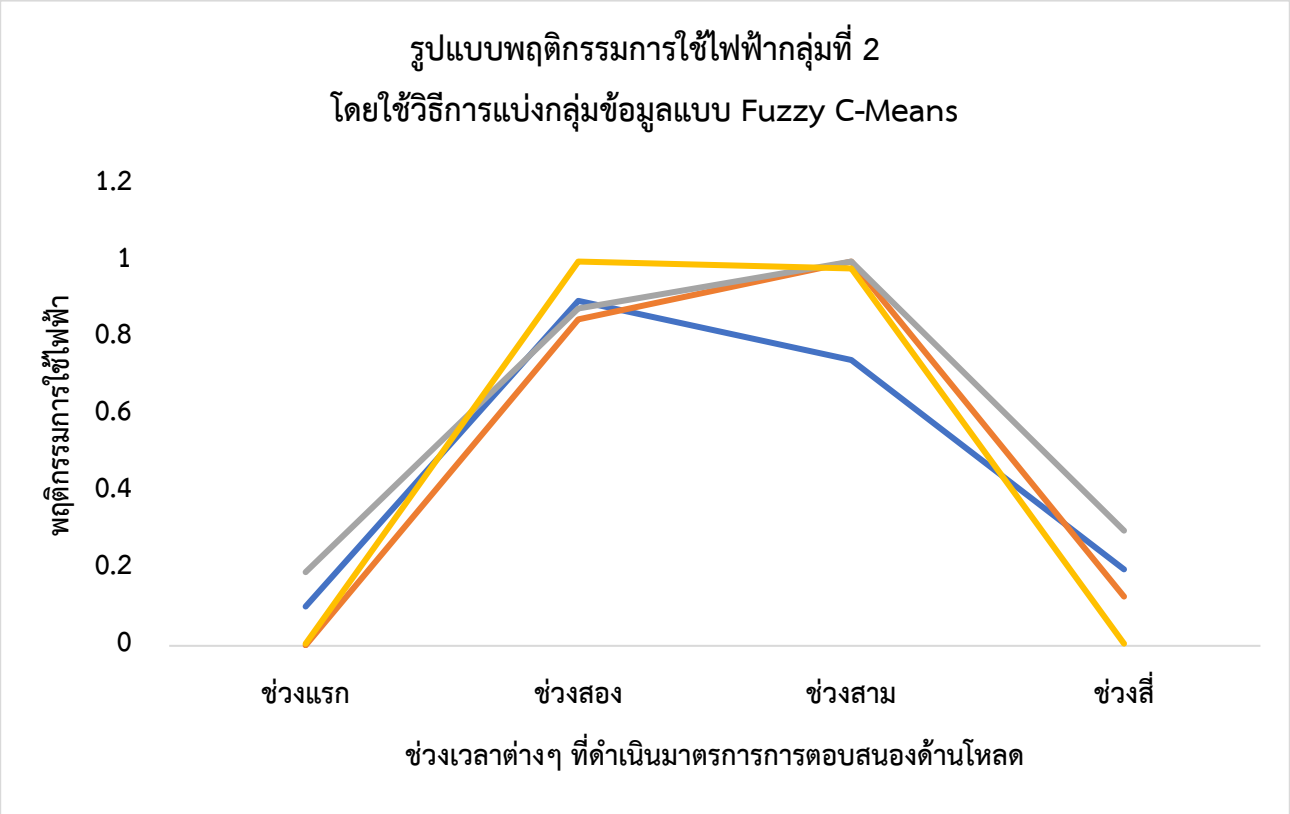
4.1.17. **กลุ่มที่ 1** ประกอบด้วยบ้านอยู่อาศัย 13 หลัง เมื่อพิจารณาพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดพบว่าในช่วงแรกและช่วงสี่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่ค่อนข้างสูงถึงสูงมาก ส่วนช่วงสองและช่วงสามมีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าอยู่ในระดับต่ำถึงปานกลาง ดังแสดงในรูปที่ 4-18



CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 4-18 รูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงกลุ่มที่ 1 โดยการพิจารณาแบ่งกลุ่มจากค่าการใช้ไฟฟ้าต่ำที่สุดและค่าการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดเทียบกับค่าการใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลาต่างๆ ของวันของบ้านหลังนั้นโดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ Fuzzy C-Means

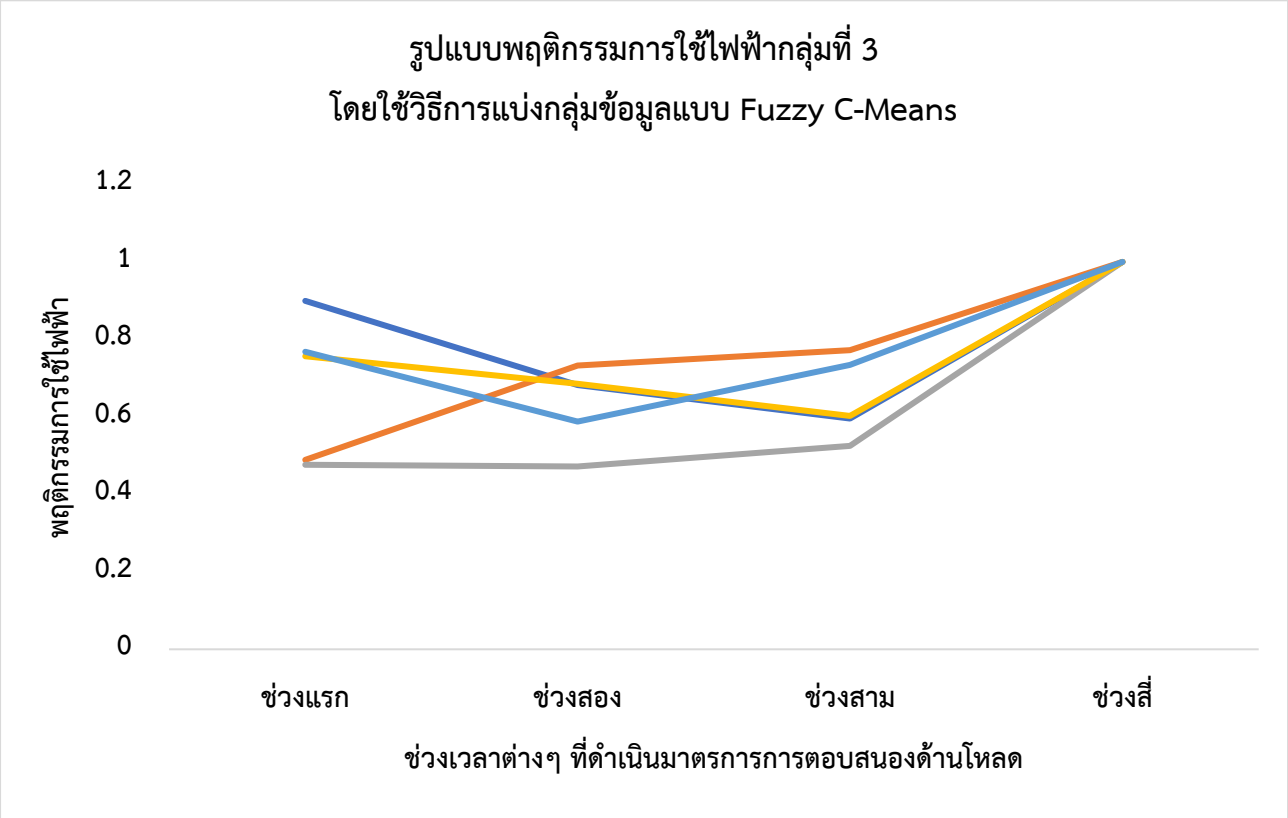
4.1.18. **กลุ่มที่ 2** ประกอบด้วยบ้าน 4 หลัง เมื่อพิจารณาพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดพบว่าในช่วงแรกและช่วงสี่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่ค่อนข้างต่ำถึงต่ำมาก ส่วนช่วงสองและช่วงสามมีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าอยู่ในระดับสูงมาก ดังแสดงในรูปที่ 4-19



CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 4-19 รูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงกลุ่มที่ 2 โดยการพิจารณาแบ่งกลุ่มจากค่าการใช้ไฟฟ้าต่ำที่สุดและค่าการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดเทียบกับค่าการใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลาต่างๆ ของวันของบ้านหลังนั้นโดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ Fuzzy C-Means

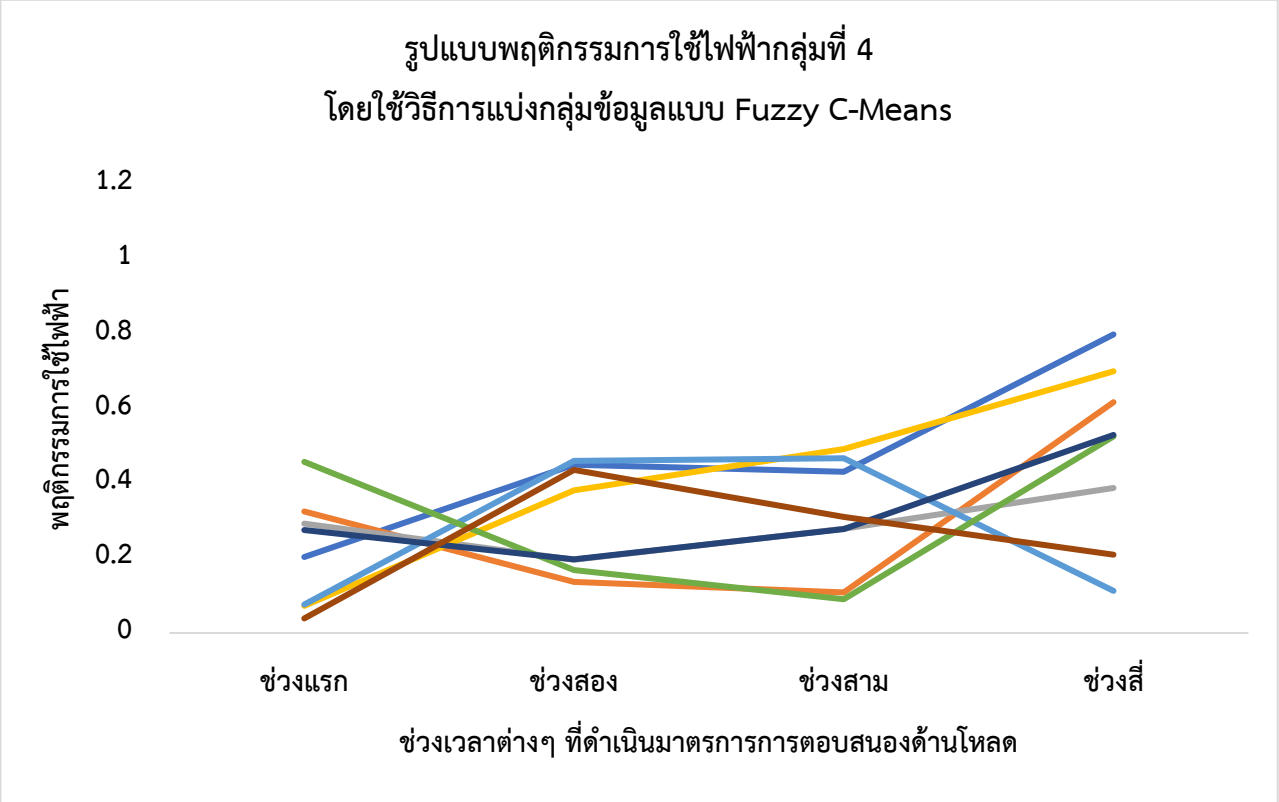
4.1.19. **กลุ่มที่ 3** ประกอบด้วยบ้าน 5 หลัง เมื่อพิจารณาพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดพบว่าในช่วงแรก, ช่วงสอง และช่วงสามมีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าอยู่ในระดับปานกลางถึงค่อนข้างสูง ส่วนช่วงสี่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าอยู่ในระดับสูงมาก ดังแสดงในรูปที่ 4-20



CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 4-20 รูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงกลุ่มที่ 3 โดยการพิจารณาแบ่งกลุ่มจากค่าการใช้ไฟฟ้าต่ำที่สุดและค่าการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดเทียบกับค่าการใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลาต่างๆ ของวันของบ้านหลังนั้นโดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ Fuzzy C-Means

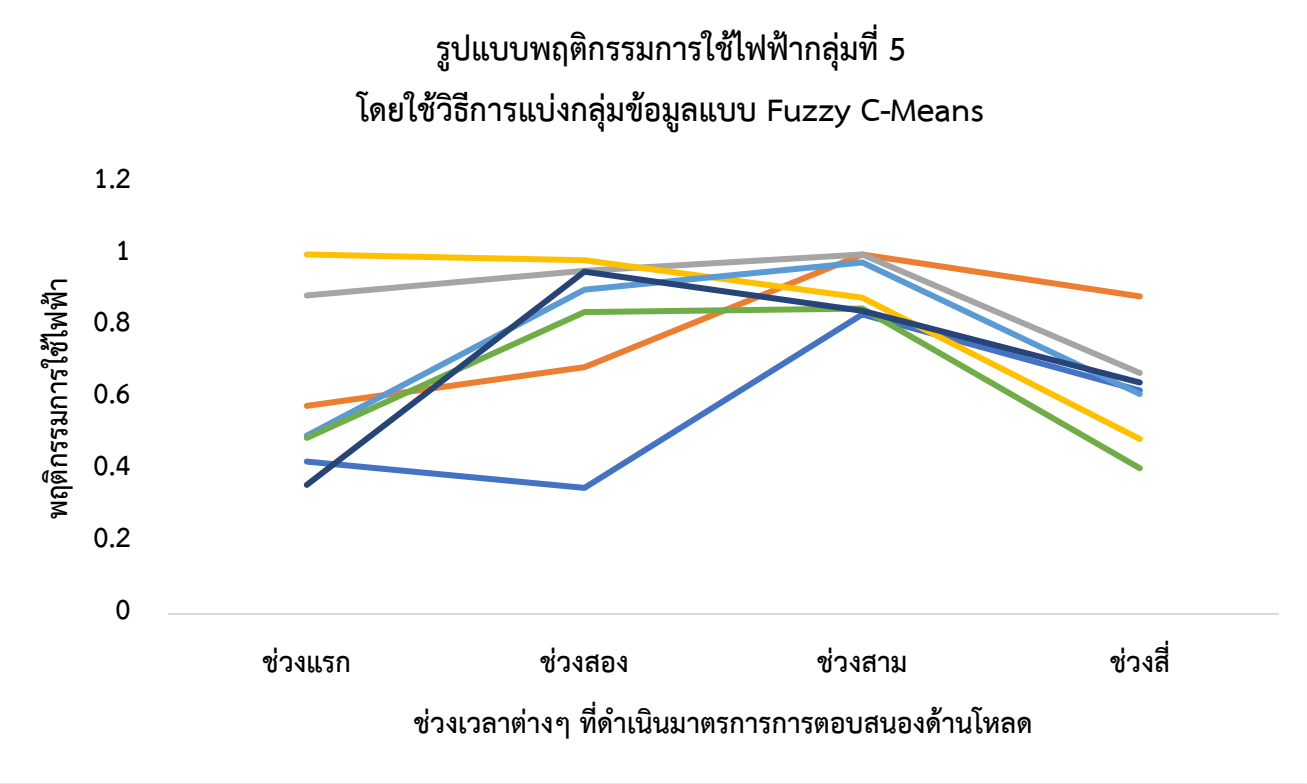
4.1.20. **กลุ่มที่ 4** ประกอบด้วยบ้าน 8 หลัง เมื่อพิจารณาพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดพบว่าในทุกช่วงมีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่ค่อนข้างต่ำถึงระดับปานกลาง ส่วนช่วงสี่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าอยู่ในระดับที่ค่อนข้างต่ำถึงค่อนข้างสูง ดังแสดงในรูปที่ 4-21



CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 4-21 รูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงกลุ่มที่ 4 โดยการพิจารณาแบ่งกลุ่มจากค่าการใช้ไฟฟ้าต่ำที่สุดและค่าการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดเทียบกับค่าการใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลาต่างๆ ของวันของบ้านหลังนั้นโดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ Fuzzy C-Means

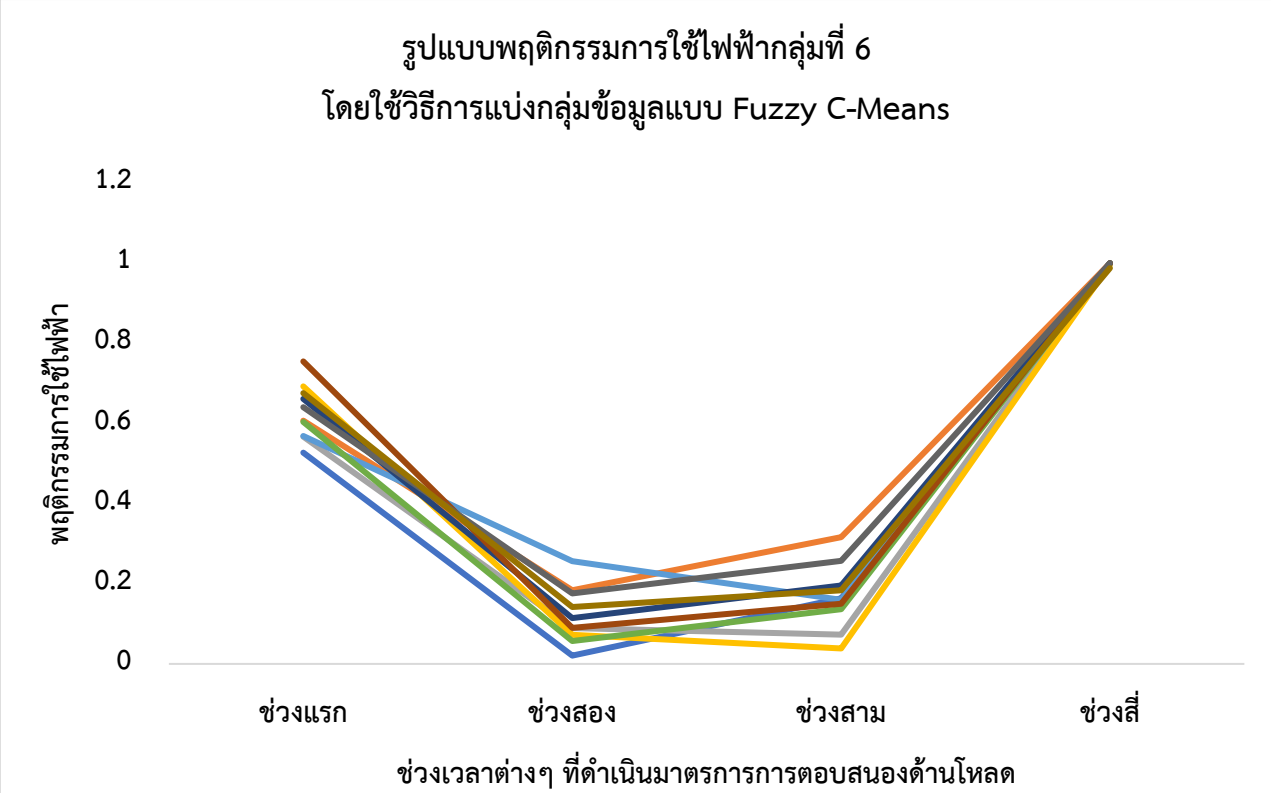
4.1.21. **กลุ่มที่ 5** ประกอบด้วยบ้าน 7 หลัง เมื่อพิจารณาพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดพบว่าในช่วงแรกและช่วงสี่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่ค่อนข้างต่ำถึงสูงมาก ส่วนช่วงสองและช่วงสามมีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่สูง ดังแสดงในรูปที่ 4-22



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4-22 รูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงกลุ่มที่ 5 โดยการพิจารณาแบ่งกลุ่มจากค่าการใช้ไฟฟ้าต่ำที่สุดและค่าการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดเทียบกับค่าการใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลาต่างๆ ของวันของบ้านหลังนั้นโดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ Fuzzy C-Means

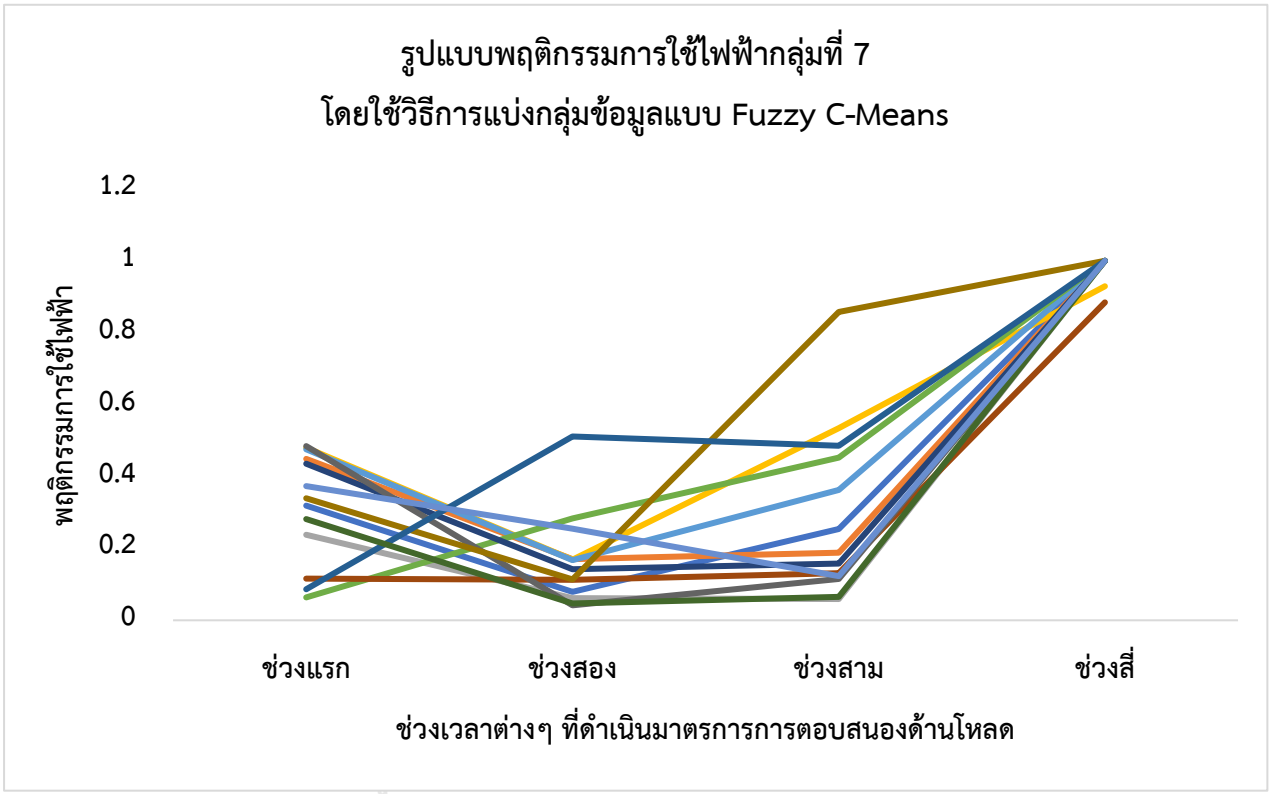
4.1.22. **กลุ่มที่ 6** ประกอบด้วยบ้าน 10 หลัง เมื่อพิจารณาพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดพบว่าในช่วงแรกมีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าอยู่ในระดับปานกลางถึงค่อนข้างสูง, ช่วงสองและช่วงสามมีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่ต่ำมากถึงค่อนข้างต่ำ ส่วนช่วงสี่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าอยู่ในระดับที่สูงมาก ดังแสดงในรูปที่ 4-23



CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 4-23 รูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงกลุ่มที่ 6 โดยการพิจารณาแบ่งกลุ่มจากค่าการใช้ไฟฟ้าต่ำที่สุดและค่าการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดเทียบกับค่าการใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลาต่างๆ ของวันของบ้านหลังนั้นโดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ Fuzzy C-Means

4.1.23. **กลุ่มที่ 7** ประกอบด้วยบ้าน 13 หลัง เมื่อพิจารณาพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดพบว่าในช่วงแรก, ช่วงสองและช่วงสามมีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่ค่อนข้างต่ำถึงระดับปานกลาง, ส่วนช่วงสี่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าอยู่ในระดับที่สูงถึงสูงมาก ดังแสดงในรูปที่ 4-24



Chulalongkorn University

รูปที่ 4-24 รูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงกลุ่มที่ 7 โดยการพิจารณาแบ่งกลุ่มจากค่าการใช้ไฟฟ้าต่ำที่สุดและค่าการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดเทียบกับค่าการใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลาต่างๆ ของวันของบ้านหลังนั้นโดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ Fuzzy C-Means

การเปรียบเทียบความใกล้เคียงกันของผลลัพธ์รูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวง ที่ได้จากการวิเคราะห์และแบ่งกลุ่มโดยการพิจารณาจากค่าการใช้ไฟฟ้าต่ำที่สุดและค่าการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดเทียบกับค่าการใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลาต่างๆของวันของบ้านหลังนั้น ระหว่างวิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-Means และวิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ Fuzzy C-Means ดังแสดงในตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 การเปรียบเทียบความใกล้เคียงกันของผลลัพธ์รูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวง ที่ได้จากการวิเคราะห์และแบ่งกลุ่มระหว่างวิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-Means และวิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ Fuzzy C-Means

วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-Means	**วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ Fuzzy C-Means**
กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 1
กลุ่มที่ 2	กลุ่มที่ 2
กลุ่มที่ 3	กลุ่มที่ 3
กลุ่มที่ 4	กลุ่มที่ 4
กลุ่มที่ 5	กลุ่มที่ 5
กลุ่มที่ 6	กลุ่มที่ 6
กลุ่มที่ 7	กลุ่มที่ 7

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การเปรียบเทียบผลลัพธ์รูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวง ที่ได้จากการวิเคราะห์และแบ่งกลุ่มโดยการพิจารณาจากค่าการใช้ไฟฟ้าต่ำที่สุดและค่าการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดเทียบกับค่าการใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลาต่างๆของวันของบ้านหลังนั้น ระหว่างวิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-Means และวิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ Fuzzy C-Means โดยพิจารณาแต่ละหลัง ดังแสดงในตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 การเปรียบเทียบผลลัพธ์รูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลัง ในพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวง ที่ได้จากการวิเคราะห์และแบ่งกลุ่ม ระหว่างวิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-Means และวิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ Fuzzy C-Means โดยพิจารณาแต่ละหลัง

บ้านอยู่อาศัยหลังที่	วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-Means	วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ Fuzzy C-Means
1	กลุ่มที่ 7	กลุ่มที่ 7
2	กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 5
3	กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 5
4	กลุ่มที่ 6	กลุ่มที่ 3
5	กลุ่มที่ 4	กลุ่มที่ 7
6	กลุ่มที่ 7	กลุ่มที่ 2
7	กลุ่มที่ 4	กลุ่มที่ 7
8	กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 5
9	กลุ่มที่ 7	กลุ่มที่ 7
10	กลุ่มที่ 6	กลุ่มที่ 3
11	กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 5
12	กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 5
13	กลุ่มที่ 6	กลุ่มที่ 1
14	กลุ่มที่ 6	กลุ่มที่ 3
15	กลุ่มที่ 7	กลุ่มที่ 3
16	กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 5
17	กลุ่มที่ 6	กลุ่มที่ 1
18	กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 5
19	กลุ่มที่ 6	กลุ่มที่ 1
20	กลุ่มที่ 4	กลุ่มที่ 7

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บ้านอยู่อาศัยหลังที่	วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-Means	วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ Fuzzy C-Means
21	กลุ่มที่ 4	กลุ่มที่ 7
22	กลุ่มที่ 6	กลุ่มที่ 3
23	กลุ่มที่ 3	กลุ่มที่ 2
24	กลุ่มที่ 6	กลุ่มที่ 1
25	กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 5
26	กลุ่มที่ 6	กลุ่มที่ 1
27	กลุ่มที่ 2	กลุ่มที่ 2
28	กลุ่มที่ 2	กลุ่มที่ 2
29	กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 5
30	กลุ่มที่ 3	กลุ่มที่ 6
31	กลุ่มที่ 5	กลุ่มที่ 4
32	กลุ่มที่ 4	กลุ่มที่ 7
33	กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 5
34	กลุ่มที่ 3	กลุ่มที่ 6
35	กลุ่มที่ 6	กลุ่มที่ 1
36	กลุ่มที่ 5	กลุ่มที่ 4
37	กลุ่มที่ 7	กลุ่มที่ 3
38	กลุ่มที่ 7	กลุ่มที่ 6
39	กลุ่มที่ 6	กลุ่มที่ 1
40	กลุ่มที่ 5	กลุ่มที่ 4
41	กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 1
42	กลุ่มที่ 3	กลุ่มที่ 6
43	กลุ่มที่ 6	กลุ่มที่ 3
44	กลุ่มที่ 5	กลุ่มที่ 4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บ้านอยู่อาศัยหลังที่	วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-Means	วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ Fuzzy C-Means
45	กลุ่มที่ 6	กลุ่มที่ 1
46	กลุ่มที่ 6	กลุ่มที่ 3
47	กลุ่มที่ 6	กลุ่มที่ 1
48	กลุ่มที่ 6	กลุ่มที่ 3
49	กลุ่มที่ 4	กลุ่มที่ 7
50	กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 5
51	กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 5
52	กลุ่มที่ 2	กลุ่มที่ 2
53	กลุ่มที่ 7	กลุ่มที่ 3
54	กลุ่มที่ 7	กลุ่มที่ 3
55	กลุ่มที่ 3	กลุ่มที่ 6
56	กลุ่มที่ 6	กลุ่มที่ 3
57	กลุ่มที่ 6	กลุ่มที่ 3
58	กลุ่มที่ 1	กลุ่มที่ 5
59	กลุ่มที่ 2	กลุ่มที่ 2
60	กลุ่มที่ 2	กลุ่มที่ 2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์และแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงโดยการพิจารณาจากค่าการใช้ไฟฟ้าต่ำที่สุดและค่าการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดเทียบกับค่าการใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลาต่างๆของวันของบ้านหลังนั้นโดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-Means และวิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ Fuzzy C-Means ออกเป็น 7 กลุ่ม พบว่าวิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-Means ให้ผลลัพธ์การวิเคราะห์และแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงได้ดีกว่าวิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ Fuzzy C-Means เนื่องจากการเปรียบเทียบผลลัพธ์การวิเคราะห์และแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการ

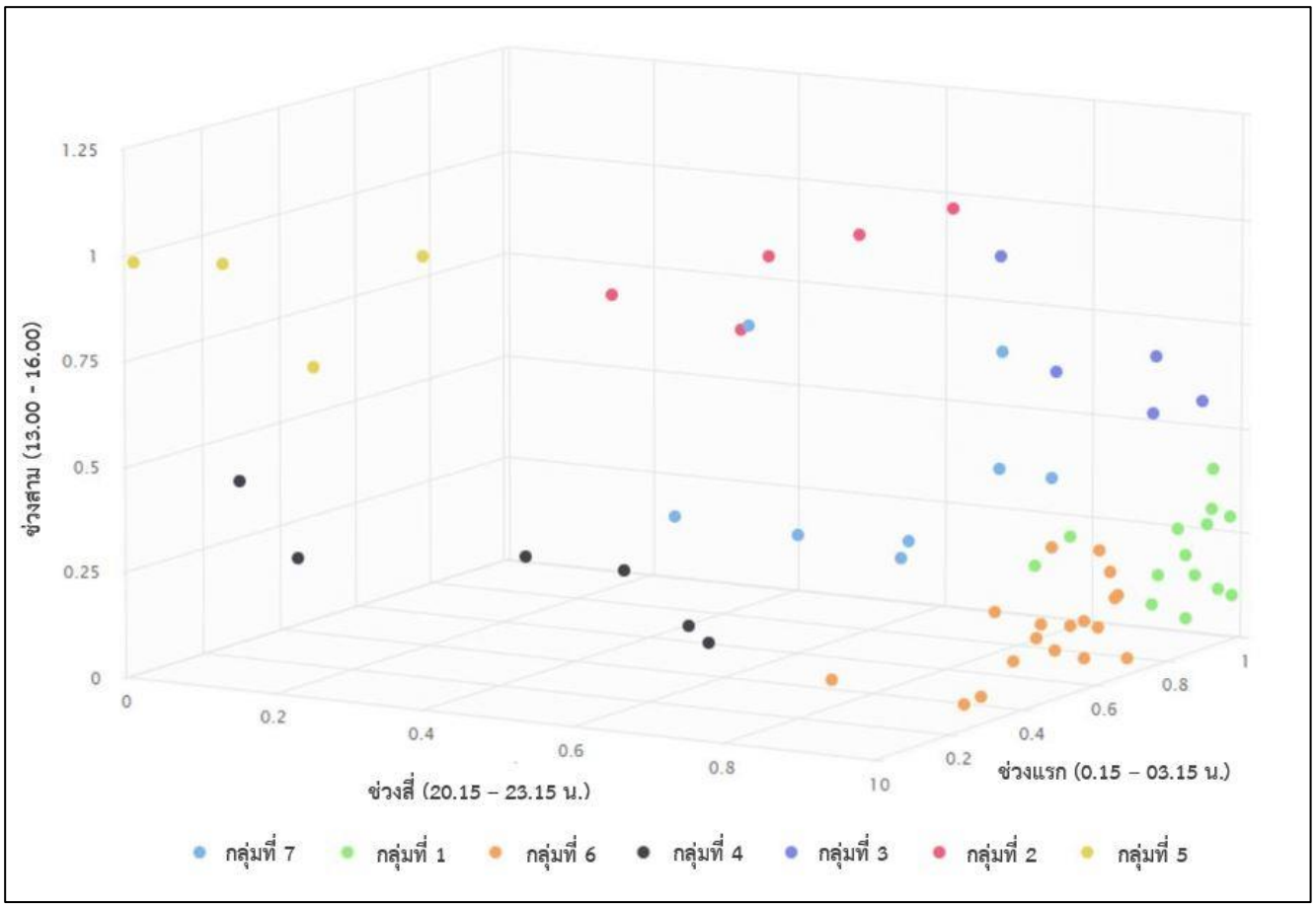
การตอบสนองด้านโหลดของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวง ระหว่างวิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-Means กับวิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ Fuzzy C-Means กลุ่มที่ 6 และกลุ่มที่ 7 พบว่าผลลัพธ์การวิเคราะห์และแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าโดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-Means กลุ่มที่ 6 สามารถจับกลุ่มข้อมูลบ้านอยู่อาศัยทั้งหมดที่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลด ในช่วงแรกที่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่ค่อนข้างต่ำถึงค่อนข้างสูง, ช่วงสองและช่วงสามมีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่ต่ำมากถึงค่อนข้างต่ำ ส่วนช่วงสี่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าอยู่ในระดับที่สูงมาก ให้สามารถมารวมกลุ่มกันได้ และผลลัพธ์การวิเคราะห์และแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าโดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-Means กลุ่มที่ 7 สามารถจับกลุ่มข้อมูลบ้านอยู่อาศัยทั้งหมดที่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลด ในช่วงแรกและช่วงสองมีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่ต่ำมากถึงค่อนข้างต่ำ, ช่วงสามมีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในระดับปานกลางถึงค่อนข้างสูง ส่วนช่วงสี่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าอยู่ในระดับค่อนข้างสูงถึงสูงมากให้สามารถมารวมกลุ่มกันได้ แต่ผลลัพธ์การวิเคราะห์และแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าโดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ Fuzzy C-Means กลุ่มที่ 6 สามารถจับกลุ่มข้อมูลบ้านอยู่อาศัยที่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลด ในช่วงแรกที่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่ค่อนข้างต่ำถึงค่อนข้างสูง, ช่วงสองและช่วงสามมีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่ต่ำมากถึงค่อนข้างต่ำ ส่วนช่วงสี่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าอยู่ในระดับที่สูงมากให้สามารถมารวมกลุ่มกันได้เพียงบางส่วนเท่านั้น โดยข้อมูลบ้านอยู่อาศัยที่มีพฤติกรรมเหมือนผลลัพธ์การวิเคราะห์และแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าโดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ Fuzzy C-Means กลุ่มที่ 6 ส่วนที่เหลือ ไปจับกลุ่มรวมอยู่กับผลลัพธ์การวิเคราะห์และแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าโดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ Fuzzy C-Means กลุ่มที่ 7 ในขณะที่ผลลัพธ์การวิเคราะห์และแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าโดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ Fuzzy C-Means กลุ่มที่ 7 สามารถจับกลุ่มข้อมูลบ้านอยู่อาศัยที่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลด ในช่วงแรกและช่วงสองมีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่ต่ำมากถึงค่อนข้างต่ำ, ช่วงสามมีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในระดับปานกลางถึงค่อนข้างสูง ส่วนช่วงสี่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าอยู่ในระดับค่อนข้างสูงถึงสูงมากให้สามารถมารวมกลุ่มกันได้เพียงบางส่วนเท่านั้น โดยข้อมูลบ้านอยู่อาศัยที่มีพฤติกรรมเหมือนผลลัพธ์การวิเคราะห์และแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าโดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ Fuzzy C-Means กลุ่มที่ 7 ส่วนที่เหลือ ไปจับกลุ่มรวมอยู่กับผลลัพธ์การวิเคราะห์และแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าโดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ Fuzzy C-Means กลุ่มที่อื่นๆ ดังนั้น วิทยานิพนธ์นี้จึงนำข้อมูลผลลัพธ์การแบ่งกลุ่มข้อมูลพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงที่ได้จากวิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-Means ไปพัฒนาต่อยอดเรื่องการบริหารจัดการการใช้ไฟฟ้าให้เหมาะสมยิ่งขึ้นด้วยการนำข้อมูลผลลัพธ์การแบ่งกลุ่มดังกล่าวมาปรับใช้กับมาตรการการตอบสนองด้านโหลดแบบ Emergency Demand Response Program โดยการพิจารณาเรื่องการลดการใช้พลังงานของอุปกรณ์เครื่องปรับอากาศในช่วงเวลาที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลด เพื่อการคำนวณการลดการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาดังกล่าวต่อไป

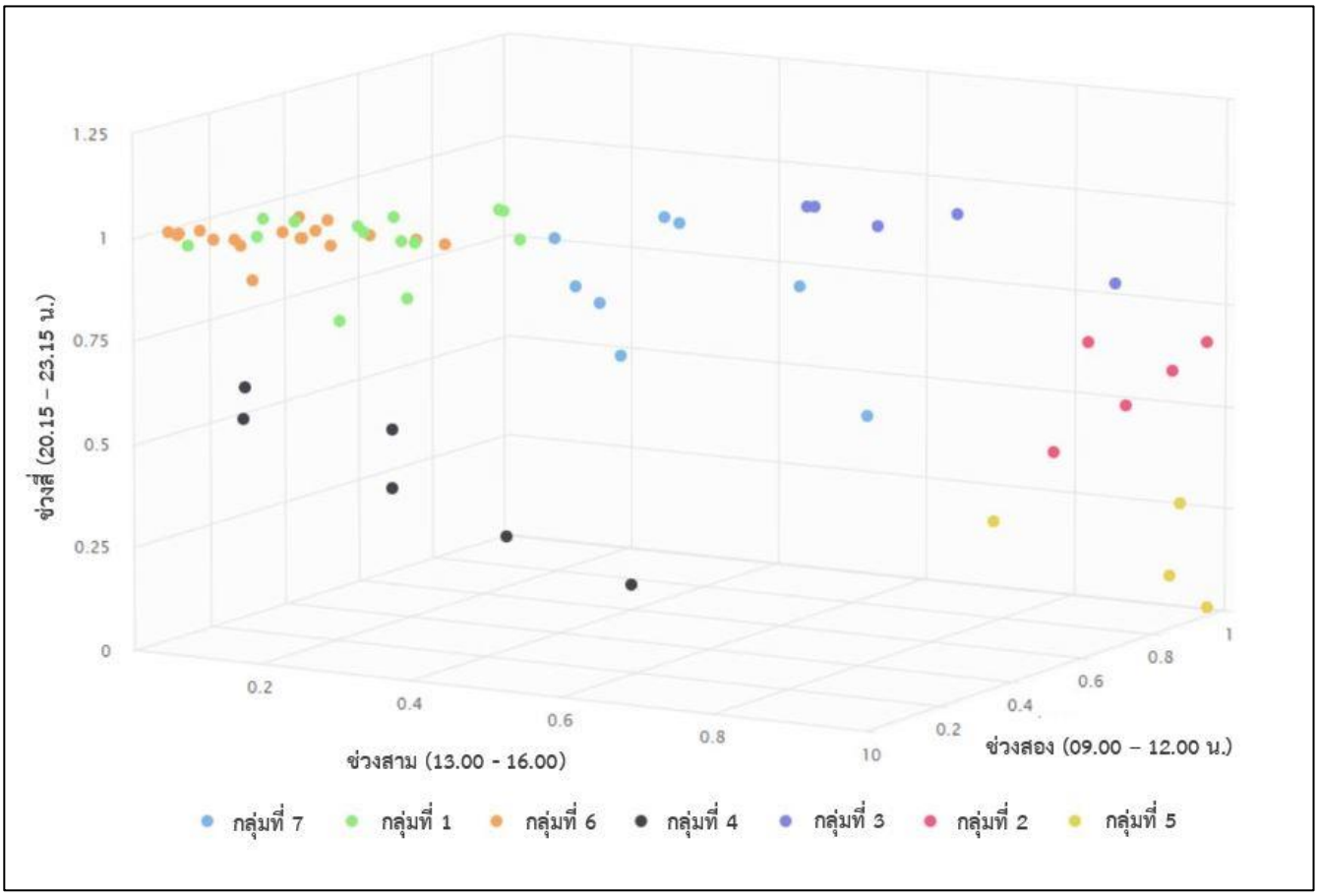
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตำแหน่งของแต่ละกลุ่มข้อมูลรูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวง โดยแสดงระหว่างช่วงเวลา 0.15 – 03.15 น. (ช่วงแรก), 13.00 - 16.00 น. (ช่วงสาม) และ 20.15 – 23.15 น. (ช่วงสี่) ดังแสดงในรูปที่ 4-25



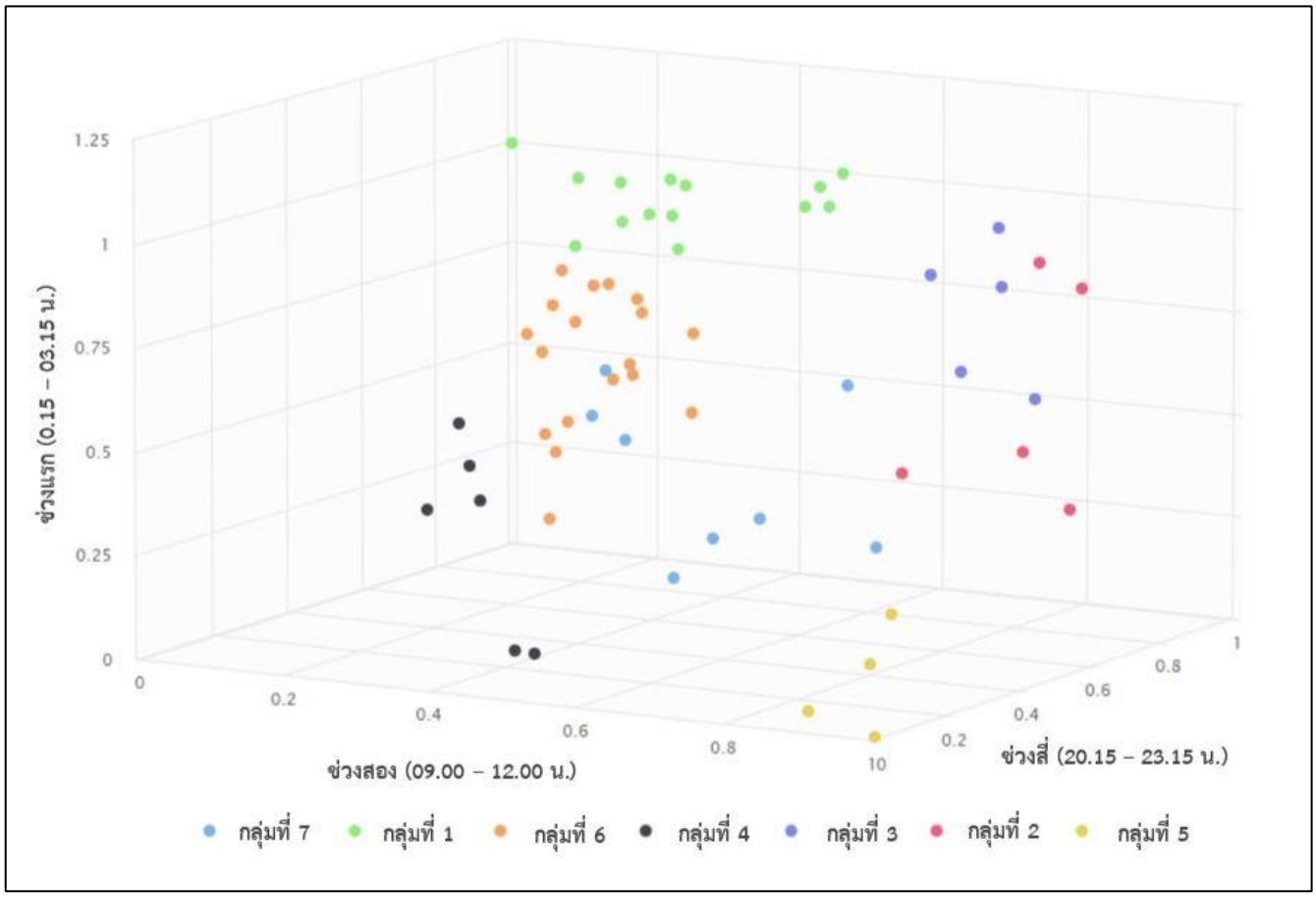
รูปที่ 4-25 ตำแหน่งของแต่ละกลุ่มข้อมูลรูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวง โดยแสดงระหว่างช่วงเวลา 0.15 – 03.15 น. (ช่วงแรก), 13.00 - 16.00 น. (ช่วงสาม) และ 20.15 – 23.15 น. (ช่วงสี่)

ตำแหน่งของแต่ละกลุ่มข้อมูลรูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวง โดยแสดงระหว่างช่วงเวลา 09.00 – 12.00 น. (ช่วงสอง), 13.00 - 16.00 น. (ช่วงสาม) และ 20.15 – 23.15 น. (ช่วงสี่) ดังแสดงในรูปที่ 4-26



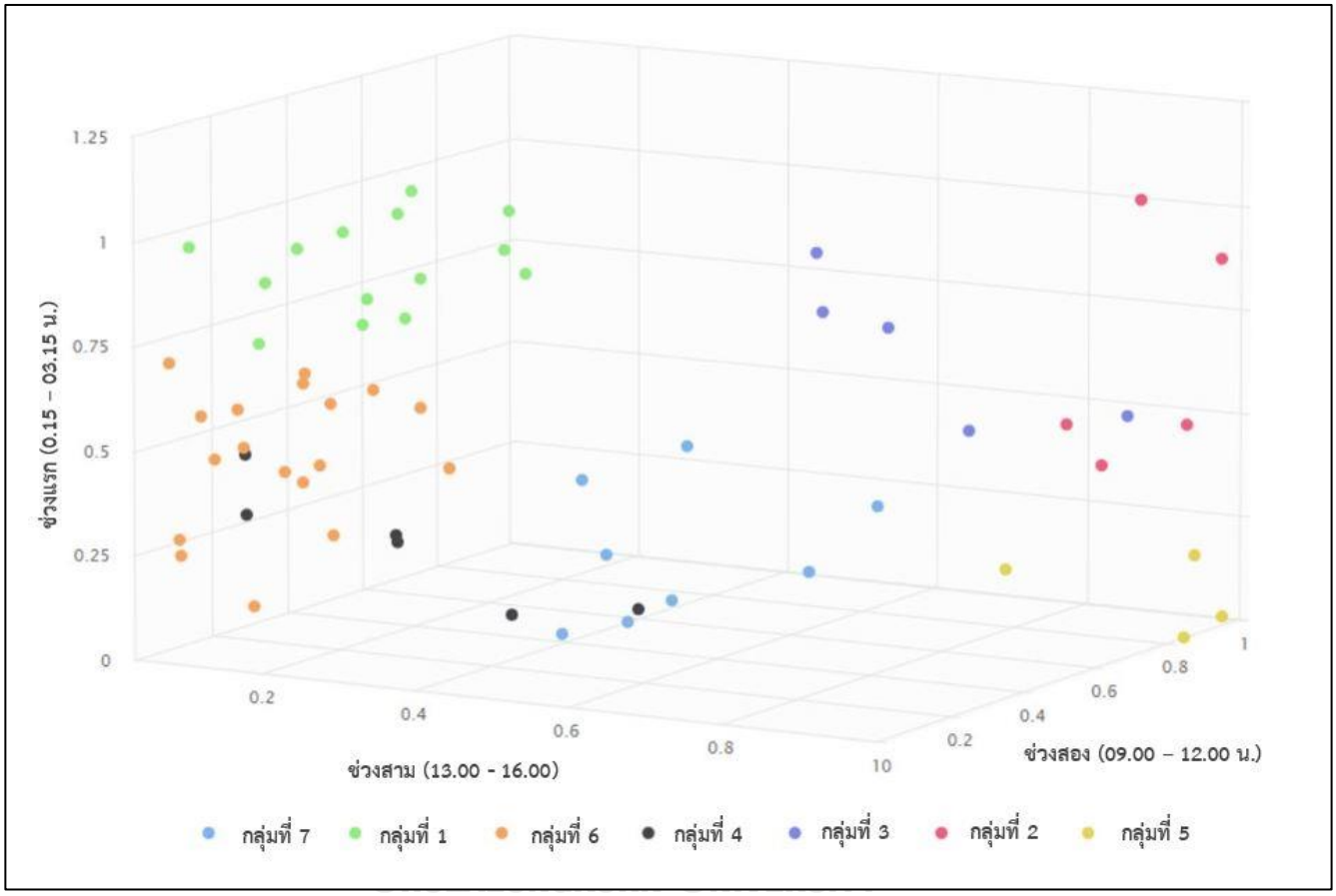
รูปที่ 4-26 ตำแหน่งของแต่ละกลุ่มข้อมูลรูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวง โดยแสดงระหว่างช่วงเวลา 09.00 – 12.00 น. (ช่วงสอง), 13.00 - 16.00 น. (ช่วงสาม) และ 20.15 – 23.15 น. (ช่วงสี่)

ตำแหน่งของแต่ละกลุ่มข้อมูลรูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวง โดยแสดงระหว่างช่วงเวลา 0.15 – 03.15 น. (ช่วงแรก), 09.00 – 12.00 น. (ช่วงสอง) และ 20.15 – 23.15 น. (ช่วงสี่) ดังแสดงในรูปที่ 4-27



รูปที่ 4-27 ตำแหน่งของแต่ละกลุ่มข้อมูลรูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวง โดยแสดงระหว่างช่วงเวลา 0.15 – 03.15 น. (ช่วงแรก), 09.00 – 12.00 น. (ช่วงสอง) และ 20.15 – 23.15 น. (ช่วงสี่)

ตำแหน่งของแต่ละกลุ่มข้อมูลรูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวง โดยแสดงระหว่างช่วงเวลา 0.15 – 03.15 น. (ช่วงแรก), 09.00 – 12.00 น. (ช่วงสอง) และ 13.00 - 16.00 น. (ช่วงสาม) ดังแสดงในรูปที่ 4-28



รูปที่ 4-28 ตำแหน่งของแต่ละกลุ่มข้อมูลรูปแบบพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวง โดยแสดงระหว่างช่วงเวลา 0.15 – 03.15 น. (ช่วงแรก), 09.00 – 12.00 น. (ช่วงสอง) และ 13.00 - 16.00 น. (ช่วงสาม)

ผลการวิเคราะห์และแบ่งกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าเพื่อการขอความร่วมมือในการดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดได้อย่างเหมาะสมในช่วงเวลาต่างๆ ด้วยการพิจารณาจากค่าการใช้ไฟฟ้าต่ำที่สุดและค่าการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดเทียบกับค่าการใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลาต่างๆของวันของบ้านหลังนั้นโดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-Means โดยพิจารณาจากผลลัพธ์กลุ่มบ้านที่แบ่งกลุ่มได้ที่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าสูงในช่วงเวลาเดียวกับที่ต้องการดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลด สามารถสรุปความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดกับกลุ่มบ้านที่พิจารณาขอความร่วมมือลดการใช้ไฟฟ้า ดังแสดงในตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 ตารางแสดงความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดกับกลุ่มบ้านที่พิจารณาขอความร่วมมือลดการใช้ไฟฟ้า

ช่วงเวลาที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลด	กลุ่มบ้านที่พิจารณาขอความร่วมมือลดการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดจากการแบ่งกลุ่มโดยพิจารณาจากค่าการใช้ไฟฟ้าต่ำที่สุดและค่าการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดเทียบกับค่าการใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลาต่างๆ ของวันของบ้านหลังนั้นโดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-Means
0.15 – 03.15 น.	1, 3, 5, 6
09.00 – 12.00 น.	2, 3, 5
13.00 – 16.00 น.	2, 3, 5, 7
20.15 – 23.15 น.	1, 3, 6, 7

กรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.2. ผลการพิจารณาพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศของบ้านอยู่อาศัยในพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงทั้ง 60 หลัง

ผลการนำข้อมูลพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงจาก [13] เพื่อเป็นตัวแทนในการพิจารณาพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศของบ้านอยู่อาศัยในพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงทั้ง 60 หลัง โดยพิจารณาร่วมกับค่าเฉลี่ยอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ต่ำที่สุดทั้ง 10 วันของบ้านหลังนั้นๆ เนื่องจากค่าดังกล่าวเป็นค่าการใช้พลังงานของอุปกรณ์ที่ต้องทำงานตลอดเวลาของบ้านหลังนั้น ดังนี้

4.2.1. จำนวนเครื่องปรับอากาศของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงทั้ง 60 หลัง ดังแสดงในตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-5 ตารางแสดงจำนวนเครื่องปรับอากาศของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ของการไฟฟ้านครหลวงทั้ง 60 หลัง

จำนวนเครื่องปรับอากาศ	จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าน้อยกว่า 150 หน่วย (หลัง)	จำนวนผู้ใช้ไฟฟ้ามากกว่า 150 หน่วย (หลัง)
0	12	10
1	4	10
2	1	15
3	0	4
4	0	1
5	0	0
6	0	3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.2.2. ขนาดเครื่องปรับอากาศ (BTU) ของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงทั้ง 60 หลัง ดังแสดงในตารางที่ 4-6

ตารางที่ 4-6 ขนาดเครื่องปรับอากาศ (BTU) ของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงทั้ง 60 หลัง

ขนาดเครื่องปรับอากาศ (BTU)	**จำนวนเครื่องปรับอากาศในกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าน้อยกว่า 150 หน่วย**	**จำนวนเครื่องปรับอากาศในกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้ามากกว่า 150 หน่วย**
ไม่เกิน 12,000	4	31
12,000 ถึง 26,000	2	38
เกิน 26,000	0	5
รวม	6	74

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.2.3. ชนิดของเครื่องปรับอากาศ (ประหยัดไฟ/ไม่ประหยัดไฟ) ของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงทั้ง 60 หลัง ดังแสดงในตารางที่ 4-7

ตารางที่ 4-7 ชนิดของเครื่องปรับอากาศ (ประหยัดไฟ/ไม่ประหยัดไฟ) ของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงทั้ง 60 หลัง

ชนิดเครื่องปรับอากาศ	จำนวนเครื่องปรับอากาศในกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าน้อยกว่า 150 หน่วย	จำนวนเครื่องปรับอากาศในกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้ามากกว่า 150 หน่วย
ไม่ประหยัดไฟเบอร์ 5	1	9
ประหยัดไฟเบอร์ 5	5	65
รวม	6	74

4.2.4. ระยะเวลาการใช้งานของเครื่องปรับอากาศใน 1 วัน ของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงทั้ง 60 หลัง ดังแสดงในตารางที่ 4-8

ตารางที่ 4-8 ระยะเวลาการใช้งานของเครื่องปรับอากาศใน 1 วันของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงทั้ง 60 หลัง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ระยะเวลาการใช้งานใน 1 วัน	จำนวนเครื่องปรับอากาศในกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าน้อยกว่า 150 หน่วย	จำนวนเครื่องปรับอากาศในกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้ามากกว่า 150 หน่วย
น้อยกว่า 1 ชั่วโมง	2	5
1 - 3 ชั่วโมง	1	13
3 - 6 ชั่วโมง	2	29
มากกว่า 6 ชั่วโมง	1	27
รวม	6	74

- ผลรวมค่าการใช้กำลังไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศเมื่อบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงทั้ง 60 หลัง เปิดเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 27°C คือ 388.177 กิโลวัตต์ คิดเป็น 33.702 เปอร์เซ็นต์จากผลรวมการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด (1,151.807 กิโลวัตต์)

- จาก [36] อัตราการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงมีการใช้กำลังไฟฟ้าสูงมาก คิดเป็น 53.33 เปอร์เซ็นต์ของการใช้กำลังไฟฟ้าทั้งหมด

- การคำนวณผลรวมค่าการใช้กำลังไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศเมื่อบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงเปิดเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิต่างๆ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 9

  กำหนดให้

  P_{all} = ผลรวมการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวง คือ 1,151.807 กิโลวัตต์

  PW_t = ค่าการคำนวณการใช้ไฟฟ้าเมื่อเปิดเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิต่างๆ ตลอดทั้งวัน

  P_2 = ค่าการพยากรณ์การใช้ไฟฟ้าเมื่อบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังเปิดเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิต่างๆ คือ 53.3 เปอร์เซ็นต์ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด [36]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

$$PW_t = \frac{P_2 * P_{all}}{100_1} \quad (9)$$

  ผลการคำนวณพบว่า ค่าการใช้กำลังไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศเมื่อบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงเปิดเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิต่างๆ คือ 614.258 กิโลวัตต์

- **ดังนั้นเมื่อบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงร่วมมือกันเปิดเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 27°C สามารถคำนวณอัตราการลดการใช้กำลังไฟฟ้าลงจากเดิมได้จากสมการที่ 10**

กำหนดให้

PW_t = ค่าการคำนวณการใช้ไฟฟ้าเมื่อบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงเปิดเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิต่างๆ ตลอดทั้งวัน คือ 614.258 กิโลวัตต์

P_{reduce} = ค่าการลดการใช้ไฟฟ้าที่สามารถลดลงได้เมื่อบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงร่วมมือกันเปิดเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 27°C

$P_{27celsius}$ = ผลรวมค่าการใช้กำลังไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศเมื่อบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงทั้ง 60 หลัง เปิดเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 27°C ตลอดทั้งวัน คือ 388.177 กิโลวัตต์

$$P_{reduce} = PW_t - P_{27celsius} \quad (10)$$

ผลการคำนวณพบว่า ค่าการลดการใช้ไฟฟ้าที่สามารถลดลงได้เมื่อบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงร่วมมือกันเปิดเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 27°C คือ 226.081 กิโลวัตต์ คิดเป็น 19.628 เปอร์เซ็นต์ จากค่าการใช้กำลังไฟฟ้าทั้งหมดตลอดทั้งวัน (1,151.807 กิโลวัตต์)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.3. การคำนวณอัตราการลดการใช้ไฟฟ้าเมื่อบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงทั้ง 60 หลังดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดที่ช่วงเวลาต่างๆ

4.3.1. ผลการพิจารณาพฤติกรรมการใช้เครื่องปรับอากาศในช่วงเวลา 0.15 – 03.15 น.

ผลการนำข้อมูลพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงจาก [13] เพื่อเป็นตัวแทนในการพิจารณาพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศของบ้านอยู่อาศัยกลุ่มที่ 1, 3, 5 และ 6 ที่ได้จากการวิเคราะห์และแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงด้วยการพิจารณาจากค่าการใช้ไฟฟ้าต่ำที่สุดและค่าการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดเทียบกับค่าการใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลาต่างๆของวันของบ้านหลังนั้น โดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-Means โดยพิจารณาร่วมกับค่าเฉลี่ยอัตราการใช้

พลังงานไฟฟ้าที่ต่ำที่สุดทั้ง 10 วันของบ้านหลังนั้นๆ เนื่องจากค่าดังกล่าวเป็นค่าการใช้พลังงานของอุปกรณ์ที่ต้องทำงานตลอดเวลาของบ้านหลังนั้น ดังนี้

4.3.1.1 จำนวนเครื่องปรับอากาศที่เปิดใช้งานของบ้านอยู่อาศัยกลุ่มที่ 1, 3, 5 และ 6 ที่ได้จากการวิเคราะห์และแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงในช่วงเวลา 0.15 – 03.15 น. ดังแสดงในตารางที่ 4-9

ตารางที่ 4-9 จำนวนเครื่องปรับอากาศที่เปิดใช้งานของบ้านอยู่อาศัยกลุ่มที่ 1, 3, 5 และ 6 ที่ได้จากการวิเคราะห์และแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงในช่วงเวลา 0.15 – 03.15 น.

จำนวนเครื่องปรับอากาศที่เปิดใช้งาน (เครื่อง)	จำนวนบ้านอยู่อาศัย
1	13
2	6
3	0
4	1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.3.1.2 ระยะเวลาการใช้งานของเครื่องปรับอากาศ ของบ้านอยู่อาศัยกลุ่มที่ 1, 3, 5 และ 6 ที่ได้จากการวิเคราะห์และแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงในช่วงเวลา 0.15 – 03.15 น. ดังแสดงในตารางที่ 4-10

ตารางที่ 4-10 ระยะเวลาการใช้งานของเครื่องปรับอากาศของบ้านอยู่อาศัยกลุ่มที่ 1, 3, 5 และ 6 ที่ได้จากการวิเคราะห์และแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงในช่วงเวลา 0.15 – 03.15 น.

ระยะเวลาการใช้งาน	จำนวนเครื่องปรับอากาศ
3 ชั่วโมง	15
2 ชั่วโมง 45 นาที	2
2 ชั่วโมง 30 นาที	0
2 ชั่วโมง 15 นาที	3
2 ชั่วโมง	1
1 ชั่วโมง 45 นาที	0
1 ชั่วโมง 30 นาที	1
1 ชั่วโมง 15 นาที	1
1 ชั่วโมง	0
45 นาที	2
30 นาที	2
15 นาที	2

4.3.2. ผลการพิจารณาพฤติกรรมการใช้เครื่องปรับอากาศในช่วงเวลา 09.00 – 12.00 น.

ผลการนำข้อมูลพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงจาก [13] เพื่อเป็นตัวแทนในการพิจารณาพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศของบ้านอยู่อาศัยกลุ่มที่ 2, 3 และ 5 ที่ได้จากการวิเคราะห์และแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงด้วยการพิจารณาจากค่าการใช้ไฟฟ้าต่ำที่สุดและค่าการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดเทียบกับค่าการใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลาต่างๆของวันของบ้านหลังนั้นโดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-Means โดยพิจารณาร่วมกับค่าเฉลี่ยอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ต่ำที่สุดทั้ง 10 วันของบ้านหลังนั้นๆ เนื่องจากค่าดังกล่าวเป็นค่าการใช้พลังงานของอุปกรณ์ที่ต้องทำงานตลอดเวลาของบ้านหลังนั้น ดังนี้

4.3.2.1. จำนวนเครื่องปรับอากาศที่เปิดใช้งานของบ้านอยู่อาศัยกลุ่มที่ 2, 3 และ 5 ที่ได้จากการวิเคราะห์และแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงในช่วงเวลา 09.00 – 12.00 น. ดังแสดงในตารางที่ 4-11

ตารางที่ 4-11 จำนวนเครื่องปรับอากาศที่เปิดใช้งานของบ้านอยู่อาศัยกลุ่มที่ 2, 3 และ 5 ที่ได้จากการวิเคราะห์และแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงในช่วงเวลา 09.00 – 12.00 น.

จำนวนเครื่องปรับอากาศที่เปิดใช้งาน (เครื่อง)	จำนวนบ้านอยู่อาศัย
1	5
2	2
3	1

4.3.2.2. ระยะเวลาการใช้งานของเครื่องปรับอากาศ ของบ้านอยู่อาศัยกลุ่มที่ 2, 3 และ 5 ที่ได้จากการวิเคราะห์และแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงในช่วงเวลา 09.00 – 12.00 น. ดังแสดงในตารางที่ 4-12

ตารางที่ 4-12 ระยะเวลาการใช้งานของเครื่องปรับอากาศของบ้านอยู่อาศัยกลุ่มที่ 2, 3 และ 5 ที่ได้จากการวิเคราะห์และแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงในช่วงเวลา 09.00 – 12.00 น.

ระยะเวลาการใช้งาน	จำนวนเครื่องปรับอากาศ
3 ชั่วโมง	7
2 ชั่วโมง 45 นาที	1
2 ชั่วโมง 30 นาที	0
2 ชั่วโมง 15 นาที	0
2 ชั่วโมง	0
1 ชั่วโมง 45 นาที	1
1 ชั่วโมง 30 นาที	0
1 ชั่วโมง 15 นาที	1
1 ชั่วโมง	2
45 นาที	0
30 นาที	0
15 นาที	0

4.3.3. ผลการพิจารณาพฤติกรรมการใช้เครื่องปรับอากาศในช่วงเวลา 13.00 – 16.00 น.

ผลการนำข้อมูลพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงจาก [13] เพื่อเป็นตัวแทนในการพิจารณาพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศของบ้านอยู่อาศัยกลุ่มที่ 2, 3, 5 และ 7 ที่ได้จากการวิเคราะห์และแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงด้วยการพิจารณาจากค่าการใช้ไฟฟ้าต่ำที่สุดและค่าการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดเทียบกับค่าการใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลาต่างๆของวันของบ้านหลังนั้นโดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-Means โดยพิจารณาร่วมกับค่าเฉลี่ยอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ต่ำที่สุดทั้ง 10 วันของบ้านหลังนั้นๆ เนื่องจากค่าดังกล่าวเป็นค่าการใช้พลังงานของอุปกรณ์ที่ต้องทำงานตลอดเวลาของบ้านหลังนั้น ดังนี้

4.3.3.1. จำนวนเครื่องปรับอากาศที่เปิดใช้งานของบ้านอยู่อาศัยกลุ่มที่ 2, 3, 5 และ 7 ที่ได้จากการวิเคราะห์และแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงในช่วงเวลา 13.00 – 16.00 น. ดังแสดงในตารางที่ 4-13

ตารางที่ 4-13 จำนวนเครื่องปรับอากาศที่เปิดใช้งานของบ้านอยู่อาศัยกลุ่มที่ 2, 3, 5 และ 7 ที่ได้จากการวิเคราะห์และแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงในช่วงเวลา 13.00 – 16.00 น.

จำนวนเครื่องปรับอากาศที่เปิดใช้งาน (เครื่อง)	จำนวนบ้านอยู่อาศัย
1	4
2	2
3	1

4.3.3.2. ระยะเวลาการใช้งานของเครื่องปรับอากาศ ของบ้านอยู่อาศัยกลุ่มที่ 2, 3, 5 และ 7 ที่ได้จากการวิเคราะห์และแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงในช่วงเวลา 13.00 – 16.00 น. ดังแสดงในตารางที่ 4-14

ตารางที่ 4-14 ระยะเวลาการใช้งานของเครื่องปรับอากาศของบ้านอยู่อาศัยกลุ่มที่ 2, 3, 5 และ 7 ที่ได้จากการวิเคราะห์และแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงในช่วงเวลา 13.00 – 16.00 น.

ระยะเวลาการใช้งาน	จำนวนเครื่องปรับอากาศ
3 ชั่วโมง	5
2 ชั่วโมง 45 นาที	1
2 ชั่วโมง 30 นาที	2
2 ชั่วโมง 15 นาที	3
2 ชั่วโมง	0
1 ชั่วโมง 45 นาที	0
1 ชั่วโมง 30 นาที	0
1 ชั่วโมง 15 นาที	0
1 ชั่วโมง	0
45 นาที	0
30 นาที	0
15 นาที	0

หาวิทยาลัย
N UNIVERSITY

4.3.4. ผลการพิจารณาพฤติกรรมการใช้เครื่องปรับอากาศในช่วงเวลา 20.15 – 23.15 น.

ผลการนำข้อมูลพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศของบ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงจาก [13] เพื่อเป็นตัวแทนในการพิจารณาพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศของบ้านอยู่อาศัยกลุ่มที่ 1, 3, 6 และ 7 ที่ได้จากการวิเคราะห์และแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงด้วยการพิจารณาจากค่าการใช้ไฟฟ้าต่ำที่สุดและค่าการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดเทียบกับค่าการใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลาต่างๆของวันของบ้านหลังนั้นโดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-Means โดยพิจารณาร่วมกับค่าเฉลี่ยอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ต่ำที่สุดทั้ง 10 วันของบ้านหลังนั้นๆ เนื่องจากค่าดังกล่าวเป็นค่าการใช้พลังงานของอุปกรณ์ที่ต้องทำงานตลอดเวลาของบ้านหลังนั้น ดังนี้

4.3.4.1 จำนวนเครื่องปรับอากาศที่เปิดใช้งานของบ้านอยู่อาศัยกลุ่มที่ 1, 3, 6 และ 7 ที่ได้จากการวิเคราะห์และแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงในช่วงเวลา 20.15 – 23.15 น. ดังแสดงในตารางที่ 4-15

ตารางที่ 4-15 จำนวนเครื่องปรับอากาศที่เปิดใช้งานของบ้านอยู่อาศัยกลุ่มที่ 1, 3, 6 และ 7 ที่ได้จากการวิเคราะห์และแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงในช่วงเวลา 20.15 – 23.15 น.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จำนวนเครื่องปรับอากาศที่เปิดใช้งาน (เครื่อง)	จำนวนบ้านอยู่อาศัย
1	21
2	8
3	0
4	1

4.3.4.2 ระยะเวลาการใช้งานของเครื่องปรับอากาศ ของบ้านอยู่อาศัยกลุ่มที่ 1, 3, 6 และ 7 ที่ได้จากการวิเคราะห์และแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลัง ในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงในช่วงเวลา 20.15 – 23.15 น. ดังแสดงในตารางที่ 4-16

ตารางที่ 4-16 ระยะเวลาการใช้งานของเครื่องปรับอากาศของบ้านอยู่อาศัยกลุ่มที่ 1, 3, 6 และ 7 ที่ได้จากการวิเคราะห์และแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงในช่วงเวลา 20.15 – 23.15 น.

ระยะเวลาการใช้งาน	จำนวนเครื่องปรับอากาศ
3 ชั่วโมง	22
2 ชั่วโมง 45 นาที	0
2 ชั่วโมง 30 นาที	2
2 ชั่วโมง 15 นาที	1
2 ชั่วโมง	1
1 ชั่วโมง 45 นาที	4
1 ชั่วโมง 30 นาที	1
1 ชั่วโมง 15 นาที	1
1 ชั่วโมง	4
45 นาที	2
30 นาที	2
15 นาที	1

4.3.5. ผลการพิจารณาการดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดโดยการขอความร่วมมือให้บ้านอยู่อาศัยในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงเปิดเครื่องปรับอากาศที่ 27°C ในช่วงเวลาต่างๆ กับกลุ่มบ้านที่ถูกพิจารณาขอความร่วมมือลดการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลานั้นๆ เพื่อคำนวณการลดการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาดังกล่าว ดังนี้

กำหนดให้

P_t = ผลรวมค่าการใช้ไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 27°C ณ ช่วงเวลา t

P_2 = ค่าการพยากรณ์การใช้ไฟฟ้าเมื่อบ้านทั้ง 60 หลังเปิดเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิต่างๆ คือ 53.3 เปอร์เซ็นต์ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด [36]

P_3 = ค่าการคำนวณการลดการใช้ไฟฟ้าที่ลดลงได้เมื่อบ้านทั้ง 60 หลังร่วมมือกันเปิดเครื่องปรับอากาศที่ 27°C คือ 19.6 เปอร์เซ็นต์

P_4 = ผลรวมค่าการใช้กำลังไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศเมื่อบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังเปิดเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิ *27°C* คือ 33.7 เปอร์เซ็นต์

PW_t = ค่าการคำนวณการใช้ไฟฟ้าเมื่อเปิดเครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิต่างๆ ณ ช่วงเวลา t

PD_t = ค่าการลดการใช้ไฟฟ้าที่สามารถลดลงได้ ณ ช่วงเวลา t

4.3.5.1. ผลการพิจารณาที่ช่วงเวลา 0.15 - 03.15 น.

CHULALONGKORN UNIVERSITY

- ค่า $P_{0.15 - 03.15 น.}$ คือ 51.4 กิโลวัตต์
- จาก P_2 การคำนวณค่า $PW_{0.15 - 03.15 น.}$ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 11

$$PW_{0.15 - 03.15 น.} = \frac{P_2 * P_{0.15 - 03.15น.}}{P_4} \quad (11)$$

ผลการคำนวณพบว่ามีค่าการใช้ไฟฟ้า 81.3 กิโลวัตต์

- จาก P_3 เมื่อดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดในช่วงเวลานี้ สามารถคำนวณค่า $PD_{0.15 - 03.15 น.}$ ได้จากสมการที่ 12

$$PD_{0.15 - 03.15\ น.} = \frac{P_3 * P_{0.15 - 03.15น.}}{P_4} \quad (12)$$

ผลการคำนวณพบว่าสามารถลดการใช้ไฟฟ้าลงได้ 29.9 กิโลวัตต์ คิดเป็น 20.4 เปอร์เซ็นต์ของผลรวมค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดในช่วงเวลาดังกล่าว (146.9 กิโลวัตต์)

4.3.5.2. ผลการพิจารณาที่ช่วงเวลา 09.00 - 12.00 น.

- ค่า $P_{09.00 - 12.00\ น.}$ คือ 47.2 กิโลวัตต์
- จาก P_2 การคำนวณค่า $PW_{09.00 - 12.00\ น.}$ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 13

$$PW_{09.00 -12.00\ น.} = \frac{P_2 * P_{09.00 -12.00\ น}}{P_4} \quad (13)$$

ผลการคำนวณพบว่ามีค่าการใช้ไฟฟ้า 74.7 กิโลวัตต์

- จาก P_3 เมื่อดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดในช่วงเวลานี้ สามารถคำนวณค่า $PD_{09.00 - 12.00\ น.}$ ได้จากสมการที่ 14

$$PD_{09.00 -12.00\ น.} = \frac{P_3 * P_{09.00 -12.00\ น}}{P_4} \quad (14)$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ผลการคำนวณพบว่าสามารถลดการใช้ไฟฟ้าลงได้ 27.5 กิโลวัตต์ คิดเป็น 20.1 เปอร์เซ็นต์ของผลรวมค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดในช่วงเวลาดังกล่าว (136.8 กิโลวัตต์)

4.3.5.3. ผลการพิจารณาที่ช่วงเวลา 13.00 - 16.00 น.

- ค่า $P_{13.00 - 16.00\ น.}$ คือ 50.1 กิโลวัตต์
- จาก P_2 การคำนวณค่า $PW_{13.00 - 16.00\ น.}$ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 15

$$PW_{13.00 - 16.00 \text{ น.}} = \frac{P_2 * P_{13.00 - 16.00 \text{ น.}}}{P_4} \quad (15)$$

ผลการคำนวณพบว่ามีค่าการใช้ไฟฟ้า 79.3 กิโลวัตต์

- จาก P_3 เมื่อดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดในช่วงเวลานี้ สามารถคำนวณค่า $PD_{13.00 - 16.00 \text{ น.}}$ ได้จากสมการที่ 16

$$PD_{13.00 - 16.00 \text{ น.}} = \frac{P_3 * P_{13.00 - 16.00 \text{ น.}}}{P_4} \quad (16)$$

ผลการคำนวณพบว่าสามารถลดการใช้ไฟฟ้าลงได้ 29.2 กิโลวัตต์ คิดเป็น 19.7 เปอร์เซ็นต์ของผลรวมค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดในช่วงเวลาดังกล่าว (148.2 กิโลวัตต์)

4.3.5.4. ผลการพิจารณาที่ช่วงเวลา 20.15 - 23.15 น.

- ค่า $P_{20.15 - 03.15 \text{ น.}}$ คือ 79.1 กิโลวัตต์
- จาก P_2 การคำนวณค่า $PW_{20.15 - 03.15 \text{ น.}}$ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 17

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

$$PW_{20.15 - 03.15 \text{ น.}} = \frac{P_2 * P_{20.15 - 03.15 \text{ น.}}}{P_4} \quad (17)$$

ผลการคำนวณพบว่ามีค่าการใช้ไฟฟ้า 125.1 กิโลวัตต์

- จาก P_3 เมื่อดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดในช่วงเวลานี้ สามารถคำนวณค่า $PD_{20.15 - 03.15 \text{ น.}}$ ได้จากสมการที่ 18

$$PD_{20.15 - 03.15 \text{ น.}} = \frac{P_3 * P_{20.15 - 03.15 \text{ น.}}}{P_4} \quad (18)$$

ผลการคำนวณพบว่าสามารถลดการใช้ไฟฟ้าลงได้ 46 กิโลวัตต์ คิดเป็น 21.3 เปอร์เซ็นต์ของผลรวมค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดในช่วงเวลาดังกล่าว (215.9 กิโลวัตต์)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 5
สรุปผล

พลังงานไฟฟ้าเป็นสิ่งพื้นฐานที่สำคัญสำหรับการดำรงชีวิตของมนุษย์และการขับเคลื่อนของสังคมในทุกๆด้าน แต่ในปัจจุบันเมื่อสังคมมีความเจริญก้าวหน้ามากขึ้นทำให้มีความต้องการใช้ไฟฟ้าที่สูงยิ่งขึ้น ส่งผลให้ฝั่งด้านการผลิตกำลังไฟฟ้าและฝั่งด้านการใช้ไฟฟ้าเกิดความไม่สมดุลกันเนื่องจากกำลังไฟฟ้าไม่เพียงพอต่อความต้องการในบางช่วงเวลา หนึ่งในวิธีเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวเพื่อรักษาสมดุลระหว่างฝั่งด้านการผลิตกำลังไฟฟ้ากับฝั่งด้านการใช้ไฟฟ้า คือมาตรการการตอบสนองด้านโหลด (Demand Response) ซึ่งเป็นมาตรการที่ดำเนินการในฝั่งด้านผู้ใช้ไฟฟ้า ทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของตัวเอง ณ ช่วงเวลาหนึ่งเพื่อควบคุมให้การใช้ไฟฟ้าทางฝั่งผู้ใช้ไฟฟ้าไม่สูงมากเกินไป เพื่อให้ระบบไฟฟ้าเกิดเสถียรภาพ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงนำเสนอการนำมาตรการการตอบสนองด้านโหลดมาปรับใช้กับผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย จากที่ผ่านมา มาตรการการตอบสนองด้านโหลดถูกนำมาใช้กับกลุ่มเป้าหมายผู้ใช้ไฟฟ้าประเภท 3 กิจการขนาดกลาง, ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่ และผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 5 กิจการเฉพาะอย่าง เท่านั้น เนื่องจากในปัจจุบันมีการนำพลังงานหมุนเวียนเข้ามาใช้ในระบบไฟฟ้ามากมาย เช่น โซลาร์เซลล์ ส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์ Duck Curve และผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัยมีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่สูงในช่วงค่ำ การนำมาตรการการตอบสนองด้านโหลดมาปรับใช้กับกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัย เพื่อให้ผู้ใช้ไฟฟ้ากลุ่มดังกล่าวลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าลงในช่วงเวลาดังกล่าวทำให้สามารถแก้ปัญหาปรากฏการณ์ Duck Curve ได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การแบ่งกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดได้ เนื่องจากสามารถกำหนดกลไกในการดำเนินมาตรการที่เหมาะสมกับพฤติกรรมของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละกลุ่ม วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการแบ่งกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าโดยพิจารณาจากค่าการใช้ไฟฟ้าต่ำที่สุดและค่าการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดเทียบกับค่าการใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลาต่างๆของวันของบ้านหลังนั้น เพื่อแก้ปัญหาจากงานวิจัยในอดีตที่แบ่งกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าโดยพิจารณาจากปริมาณการใช้ไฟฟ้ามาก-น้อยของผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมดโดยรวมที่นำมาแบ่งกลุ่มเทียบกับการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละราย ทำให้ผลการแบ่งกลุ่มที่ได้ไม่เห็นความแตกต่างเท่าที่ควร เนื่องจากผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าใกล้เคียงกันจะถูกแบ่งกลุ่มอยู่ด้วยกันถึงแม้จะมีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่แตกต่างกันก็ตามโดยปัญหานี้จะเกิดกับกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงและต่ำมากอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับผู้ใช้ไฟฟ้ารายอื่นๆ

ข้อมูลกลุ่มตัวอย่างผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัยของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะพิจารณาจากกลุ่มตัวอย่างผู้ใช้ไฟฟ้าบ้านอยู่อาศัย 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวง โดยใช้วิธีการ

แบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-Means และ วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ Fuzzy C-Means ในการแบ่งกลุ่มข้อมูลพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงดังกล่าว จากการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์และแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงโดยการพิจารณาจากค่าการใช้ไฟฟ้าต่ำที่สุดและค่าการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดเทียบกับค่าการใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลาต่างๆของวันของบ้านหลังนั้นโดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-Means และวิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ Fuzzy C-Means ออกเป็น 7 กลุ่ม พบว่าวิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-Means ให้ผลลัพธ์การวิเคราะห์และแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงได้ดีกว่าวิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ Fuzzy C-Means เนื่องจากผลลัพธ์การวิเคราะห์และแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าโดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-Means สามารถจับกลุ่มข้อมูลบ้านอยู่อาศัยที่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลด ในช่วงแรก (0.15 – 03.15 น.) ที่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่ค่อนข้างต่ำถึงค่อนข้างสูง, ช่วงสอง (09.00 – 12.00 น.) และช่วงสาม (13.00 - 16.00 น.) ที่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่ต่ำมากถึงค่อนข้างต่ำ ส่วนช่วงสี่ (20.15 – 23.15 น.) ที่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าอยู่ในระดับที่สูงมาก ให้สามารถมารวมกลุ่มกันได้ทั้งหมด แต่ผลลัพธ์การวิเคราะห์และแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าโดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ Fuzzy C-Means สามารถจับกลุ่มข้อมูลบ้านอยู่อาศัยที่มีพฤติกรรมเหมือนผลลัพธ์การวิเคราะห์และแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าดังกล่าวให้สามารถมารวมกลุ่มกันเพียงบางส่วนเท่านั้น โดยกลุ่มข้อมูลบ้านอยู่อาศัยที่มีพฤติกรรมเหมือนผลลัพธ์การวิเคราะห์และแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าดังกล่าวส่วนที่เหลือกระจายไปรวมอยู่กับกลุ่มข้อมูลบ้านอยู่อาศัยที่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้ารูปแบบอื่นๆ ที่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่แตกต่างออกไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

และนอกจากนี้ผลลัพธ์การวิเคราะห์และแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าโดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-Means ยังสามารถจับกลุ่มข้อมูลบ้านอยู่อาศัยที่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลด ในช่วงแรกและช่วงสองมีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่ต่ำมากถึงค่อนข้างต่ำ, ช่วงสามมีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในระดับปานกลางถึงค่อนข้างสูง ส่วนช่วงสี่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าอยู่ในระดับค่อนข้างสูงถึงสูงมากให้สามารถมารวมกลุ่มกันได้ทั้งหมด แต่ผลลัพธ์การวิเคราะห์และแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าโดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ Fuzzy C-Means สามารถจับกลุ่มข้อมูลบ้านอยู่อาศัยที่มีพฤติกรรมเหมือนผลลัพธ์การวิเคราะห์และแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าดังกล่าวให้สามารถมารวมกลุ่มกันเพียงบางส่วนเท่านั้น โดยกลุ่มข้อมูลบ้านอยู่อาศัยที่มี

พฤติกรรมเหมือนผลลัพธ์การวิเคราะห์และแบ่งกลุ่มพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าดังกล่าวส่วนที่เหลือกระจายไปรวมอยู่กับกลุ่มข้อมูลบ้านอยู่อาศัยที่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้ารูปแบบอื่นๆ ที่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่แตกต่างออกไปเช่นกัน ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงนำข้อมูลผลลัพธ์การแบ่งกลุ่มข้อมูลพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ ที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงที่ได้จากวิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลแบบ K-Means มาจำลองสถานการณ์การดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดแบบ Emergency Demand Response Program โดยการพิจารณาเรื่องการลดการใช้พลังงานของอุปกรณ์เครื่องปรับอากาศด้วยการขอความร่วมมือให้มีการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้เครื่องปรับอากาศในช่วงเวลาที่ดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดเพื่อการคำนวณการลดการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาดังกล่าวต่อไป

สาเหตุที่เลือกจำลองสถานการณ์การดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดแบบ Emergency Demand Response Program กับข้อมูลกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย เพราะว่าเป็นแบบที่ต้องมีการแจ้งสั่งการล่วงหน้าก่อนเวลาดำเนินมาตรการ 24 ชั่วโมง ทำให้ทางฝั่งผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถวางแผนพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าล่วงหน้าได้ ต่างจากแบบอื่นๆที่เป็นการแจ้งสั่งการแบบฉับพลัน จึงเหมาะกับผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัยมากที่สุด และสาเหตุที่การจำลองสถานการณ์การดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลด วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอให้พิจารณาที่อัตราการใช้ไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศในบ้านหลังนั้นเนื่องจากอัตราการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัยในเขตการไฟฟ้านครหลวงมีการใช้เครื่องปรับอากาศสูงมากเมื่อเทียบกับอัตราการใช้ไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าประเภทอื่นๆ โดยคิดเป็น 53.3 เปอร์เซ็นต์ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด

จากการวิเคราะห์และคำนวณหาอุณหภูมิการใช้เครื่องปรับอากาศที่เพิ่มขึ้นที่เหมาะสมที่สุดโดยที่สามารถลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเครื่องปรับอากาศได้มากที่สุดและผู้คนยังพึงพอใจหรือยอมรับได้มากที่สุดในช่วงเวลาที่จำลองสถานการณ์การดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลด คือ 27°C เนื่องจากจากการศึกษางานวิจัยในอดีตพบว่าช่วงที่ตรงกันของอุณหภูมิความสะดวกสบายของคนไทยในอาคารพักอาศัยที่มีเครื่องปรับอากาศของงานวิจัยทุกฉบับอยู่ที่ 24.5 - 27°C ดังนั้นค่าอุณหภูมิ 27°C เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดเนื่องจากอยู่ในช่วงอุณหภูมิความสะดวกสบายของคนไทยในอาคารพักอาศัยที่มีเครื่องปรับอากาศที่ยอมรับได้และไม่เกินค่าของการสำรวจช่วงอุณหภูมิดังกล่าวจากงานวิจัยทุกฉบับ

จากผลการวิเคราะห์ลักษณะพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าจากผลรวมค่าการใช้ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงตามช่วงเวลาต่างๆ พบว่าผลรวมค่าการใช้ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัยทั้ง 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงมีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่

เพิ่มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจนแบ่งออกเป็น 3 ช่วงเวลา คือ 0.00-08.00 น., 08.00-16.00 น. และ 16.00 – 24.00 น. แต่เนื่องจากมาตรการ Emergency Demand Response Program มีข้อกำหนดระยะเวลาในการดำเนินมาตรการได้ครั้งละไม่เกิน 3 ชั่วโมง ดังนั้น ในช่วงเวลา 0.00 - 08.00 น. วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดในช่วงเวลา 0.15 – 03.15 น., ในช่วงเวลา 08.00 - 16.00 น.วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดในช่วงเวลา 09.00 – 12.00 น. และ 13.00 - 16.00 น. และในช่วงเวลา 16.00 - 24.00 น.จึงได้นำเสนอการดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดในช่วงเวลา 20.15 – 23.15 น. เพราะช่วงเวลา 3 ชั่วโมงดังกล่าวมีค่าการใช้ไฟฟ้าที่สูงมากในช่วงเวลานั้นๆ

ผลการพิจารณาจำลองการดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลดในช่วงเวลาที่มีการใช้ไฟฟ้าสูง 3 ชั่วโมงของวันได้แก่ 0.15 - 03.15 น., 09.00 - 12.00 น., 13.00 - 16.00 น. และ 20.15 - 23.15 น. โดยการขอความร่วมมือกลุ่มตัวอย่างผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัย 60 หลังในเขตพื้นที่ให้บริการของการไฟฟ้านครหลวงดังกล่าวให้เปิดใช้เครื่องปรับอากาศที่อุณหภูมิ 27°C ในช่วงเวลาต่างๆ กับกลุ่มบ้านที่ถูกพิจารณาขอความร่วมมือลดการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลานั้นๆ เพื่อคำนวณการลดการใช้ไฟฟ้าที่ช่วงเวลาดังกล่าว ผลการคำนวณพบว่าสามารถลดการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาดังกล่าวลงได้ 20.4 เปอร์เซ็นต์, 20.1 เปอร์เซ็นต์, 19.7 เปอร์เซ็นต์ และ 21.3 เปอร์เซ็นต์ ของผลรวมค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดในช่วงเวลาดังกล่าว ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 5-1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 5-1 สรุปผลการคำนวณค่าการลดการใช้ไฟฟ้าเมื่อพิจารณาการดำเนินมาตรการการตอบสนองด้านโหลด ในช่วงเวลาที่มีค่าการใช้ไฟฟ้าสูง 3 ชั่วโมงในช่วงเวลาต่างๆ ของวัน

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บรรณานุกรม

1. สภาวิศวกร, การควบคุมและสั่งการระบบจ่ายไฟฟ้า. 2560.
2. ศูนย์ข่าวพลังงาน. ห่วงโซลาร์เซลล์ที่มากเกินไปกระทบความมั่นคงไฟฟ้า 2019 [cited 2562 16 พฤศจิกายน 2562].
3. สำนักงานคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน, มาตรการความร่วมมือลดการใช้ไฟฟ้า (*Demand Response)* และอัตรา *Demand Response,*. 2559.
4. M. Parsa Moghaddam, A.A., M. Rashidinejad *Flexible demand response programs modeling in competitive electricity markets*, in *Department of Electrical and Computer Engineering*. Tarbiat Modares University (TMU): Tehran, Iran.
5. กระทรวงพลังงาน, แผนการขับเคลื่อนการดำเนินงานด้านสมาร์ทกริดของประเทศไทยในระยะสั้น (พ.ศ. *2560 – 2564).* 2559.
6. กระทรวงพลังงาน, ส., โครงการ *Demand Response* รองรับการขาดแคลนก๊าซฯ เดือน มีนาคม — เมษายน *2560.* 2560.
7. การไฟฟ้านครหลวง, ประกาศการไฟฟ้านครหลวง ที่ *29/2555* เรื่อง โครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้า ปี *2554 – 2558.* 2554.
8. อุดมวงศ์เสรี, ก., การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง *1*. 2559, กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
9. โหลดไฟฟ้าและการจำแนกโหลด. [cited 2562 8 กันยายน 2562].
10. และคณะ, ป.ส., การวิเคราะห์ลักษณะความต้องการไฟฟ้าของประเทศไทย. 2557.
11. สงวนสัตย์, ป., *Artificial Intelligence with Machine Learning, AI* สร้างได้ด้วยแมชชีนเลิร์นนิ่ง, ed. พ. 1. 2562, นนทบุรี: บริษัท ไอดีซี พรีเมียม จำกัด.
12. การไฟฟ้านครหลวง, ฝ., หลักการพิจารณา *SET UF RELAY* ของสายป้อน และการจัดลำดับความสำคัญของสายป้อน. 2562.
13. และคณะ, ศ.ร., โครงการสำรวจและปรับปรุงการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าเพื่อการอนุรักษ์พลังงานในระยะยาว. 2554.
14. อัตถจริยกุล, ส., ความรู้สึกสบายเชิงความร้อนสำหรับการปรับอากาศในประเทศไทย, in คณะวิศวกรรมศาสตร์. 2550, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
15. เพชรสุวรรณ, ก., อัลกอริทึมการควบคุมโหลดโดยตรงที่คำนึงถึงความสะดวกสบายสำหรับระบบการตอบสนองด้านโหลด, in คณะวิศวกรรมศาสตร์. 2560, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

16. การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, ฝ., ข้อกำหนดโครงการฉลากประหยัดไฟฟ้าเบอร์ *5* เครื่องปรับอากาศ. 2562: p. หน้า 23.
17. การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, ข้อมูลฉลากแสดงระดับประสิทธิภาพพลังงานเครื่องปรับอากาศ. โครงการฉลากประหยัดไฟฟ้าเบอร์ 5 การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2562.
18. al., H.S.a.e., *Extraction of Basic Patterns of Household Energy Consumption," International Conference on Machine Learning and Applications.* Dec 2011. **10**.
19. group, L.K.a., *Analysis on Residential Electricity Consumption Behavior Using Improved K-means based on Simulated Annealing Algorithm*, in *State Key Laboratory of Alternate Electrical Power System With Renewable Energy Sources*. 2016, North China Electric Power University: China.
20. Chicco, G.N., Roberto; Piglione, Federico, *Comparisons among clustering techniques for electricity customer classification*, in *IEEE Transactions on Power Systems*. 2006. p. pp.933-940.
21. group, Y.W.a., *User Electricity Consumption Pattern Optimal Clustering Method for Smart Gird*, in *Beijing Engineering Research Centre of Energy Electric Power Information Security*. 2018, North China Electric Power University: Beijing China.
22. al., B.N.a.e., *Analysis of Building Electricity Use Pattern Using KMeans Clustering Algorithm by Determination of Better Initial Centroids and Number of Clusters.* Energies 2019, 2019. **12,2541**.
23. Liu, B., *Scheduling Strategies of Smart Community with Load Aggregator-based Demand Response*, in *Xuzhou Power Supply Company, State Grid Jiangsu Electric Power Company*. 2018: China.
24. Ali Parsa, T.A.N.a.F.R.S., *Implementation of Smart Optimal and Automatic Control of Electrical Home Appliances (IoT)*, in *Faculty of Electrical and Computer Engineering*. 2560, University of Tehran: Iran.
25. ฟุ้งสิริรัตน์, ว., การพัฒนาอัลกอริทึมสำหรับระบบจัดการและควบคุมพลังงานแบบอัตโนมัติภายในบ้านบนพื้นฐานพฤติกรรมของผู้ใช้พลังงานไฟฟ้า, in คณะวิศวกรรมศาสตร์. 2560, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
26. E.Bejoy, S.N.I., and A.M.T.Oo, *Optimal Scheduling of Appliances through Residential Energy Management*, in *School of Engineering*. 2017, Deakin University,: Geelong, Australia.
27. gropu, Z.a., *Scheduling of Air Conditioner Based on Real Time Price And Real-*

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Time Temperature, in *Department of Computer Science*. 2015, Xi'an Jiaotong University: Xi'an, China.

28. group, A.K.A.a., *Smart Energy Controller for Energy management using IOT with Demand Response*, in *Department of Electrical Engineering*. 2018, College of Engineerimg Roorkee: India.
29. Rangsiraksa, P., *Thermal comfort in Bangkok residential buildings, Thailand*, in *The 23 Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneve*. 2006: Switzerland.
30. Tantiwichien, J.T.a.A.-U.-W., *Thermal Comfort Zone for Thai People*, in *Department of Mechanical Engineering Faculty of Engineering*. 2013, Prince of Songkla University: Hat Yai, Songkhla, Thailand.
31. N. Yamtraipat, J.K.a.J.H., *Thermal comfort standards for air conditioned buildings in hot and humid Thailand considering additional factors of acclimatization and education level*, in *Solar Energy*. 2005. p. pp. 504-517.
32. อัตถจริยกุล, ส., ผลของความเร็วลมเฉพาะที่ต่อความรู้สึกสบายและการประหยัดพลังงานในห้องปรับอากาศ. 2007, วิศวกรรมสาร มข. . p. 49-58.
33. กฤติน อัศววิชัย, อ.เ.แ.อ., สภาวะน่าสบายเชิงอุณหภาพสำหรับผู้สูงอายุในบ้านพักคนชราในกรุงเทพฯ, in คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์. 2557, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
34. Busch, J.F., *A Tale of two populations: Thermal comfort in Air conditioned and Naturally ventilated offices in Thailand*, in *Energy and Buildings*. 1992, Elsevier Sequoia. p. 235-249.
35. การไฟฟ้านครหลวง, ฝ., ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัย. 2562.
36. การไฟฟ้านครหลวง., ฝ., การพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้า. 2554.
37. ไกรนรา, ส., การศึกษาจำนวนและตำแหน่งสถานีขนส่งสินค้าทางรางที่เหมาะสม กรณีศึกษาการขนส่งน้ำตาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, in วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. 2563, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์: คณะวิศวกรรมศาสตร์.
38. กรมทรัพย์สินทางปัญญา, รายงานฉบับสมบูรณ์ *IP Portfolio* ศูนย์พัฒนาผู้ประกอบการด้านทรัพย์สินทางปัญญาและวัฒนธรรม (*IDE Center)*. 2562: กรุงเทพมหานคร.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายวุทธิพงศ์ ปุพเพตะนันท์
วัน เดือน ปี เกิด	9 ธันวาคม 2538
สถานที่เกิด	ภูเก็ต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University