การบูรณาการต้นแบบระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าภายในบ้านและการพัฒนาแอปพลิเคชันส่วนต่อประสานกราฟฟิกกับผู้ใช้บนสมาร์ตโฟน

นายภูชิต ภัทรสุทธิ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

INTEGRATION OF HOME ENERGY MANAGEMENT SYSTEM PROTOTYPES AND DEVELOPMENT OF GRAPHICAL USER INTERFACE APPLICATION PROGRAM ON SMART PHONE

Mr. Poochit Pattarasudhi

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	การบูรณาการต้นแบบระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าภายในบ้านและการพัฒนาแอปพลิเคชันส่วนต่อประสานกราฟฟิกกับผู้ใช้บนสมาร์ตโฟน
โดย	นายภูชิต ภัทรสุทธิ
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ศาสตราจารย์ ดร.วาทิต เบญจพลกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ)

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

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยเชษฐ์ สายวิจิตร)

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

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภูชิต ภัทรสุทธิ : การบูรณาการต้นแบบระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าภายในบ้านและการพัฒนาแอปพลิเคชันส่วนต่อประสานกราฟฟิกกับผู้ใช้บนสมาร์ตโฟน. (INTEGRATION OF HOME ENERGY MANAGEMENT SYSTEM PROTOTYPES AND DEVELOPMENT OF GRAPHICAL USER INTERFACE APPLICATION PROGRAM O N SMART PHONE) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ศ. ดร.วาทิต เบญจพลกุล

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการพัฒนาต้นแบบระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าภายในบ้าน โดยมีการรวบรวมแนวคิดการพัฒนาระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าจากกงานวิจัยที่ผ่านมา พัฒนาให้อยู่ในระบบเดียวกัน นอกจากนั้นยังมีการพัฒนาแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนเพื่อควบคุมการทำงานของระบบอีกด้วย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการลดการใช้พลังงานไฟฟ้า ระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าที่พัฒนาขึ้นจะมีเซ็นเซอร์ตรวจจับสิ่งแวดล้อมภายในบ้านที่มีความสามารถในการตรวจจับ อุณหภูมิ ความชื้น ค่าความเข้มของแสง และการตรวจจับการเคลื่อนไหวภายในบ้าน นอกจากนี้ยังมีการเชื่อมโยงข้อมูลจากอุปกรณ์ปลั๊กไฟอัจฉริยะที่มีความสามารถในการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าและการควบคุมเปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าได้ ข้อมูลทั้งหมดจากเซ็นเซอร์ตรวจจับสิ่งแวดล้อมภายในบ้านและอุปกรณ์ปลั๊กไฟอัจฉริยะจะถูกส่งมาประมวลผลในโปรแกรมระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าที่พัฒนาขึ้นบนอุปกรณ์ประมวลผล Raspberry Pi โดยระบบที่พัฒนาขึ้นจะมีความสามารถในการแสดงข้อมูลจากเซ็นเซอร์ตรวจวัดสิ่งแวดล้อม การใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่างๆ ในเวลาปัจจุบัน รวมถึงการควบคุมเปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆตามรูปแบบควบคุมที่กำหนดไว้ ในส่วนของแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนจะมีการพัฒนาบนระบบ Android มีความสามารถในการแสดงข้อมูลและควบคุมการทำงานของระบบ เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถเขาถึงการใช้งานระบบจากที่ไหนก็ได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2563 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

5970287521 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORD: HEMS / Smart Phone / Raspberry Pi / Android

Poochit Pattarasudhi :

INTEGRATION OF HOME ENERGY MANAGEMENT SYSTEM PROTOTYPES AND DEVELOPMENT OF GRAPHICAL USER INTERFACE APPLICATION PROGRAM O N SMART PHONE. Advisor: Watit Benjapolakul

This thesis presents the development of a prototype for home electric energy management system by using the concept of electric energy management system development from previous research developed in the same system. In addition, smartphone applications are being developed to control the operation of the system. The purpose of this project is reducing electric enregy consumption. The developed energy management system includes a home environmental sensor capable of detecting temperature, humidity, light intensity and motion detection In addition, it provides a data link from a smart plug device with capable of metering energy consumption and controlling on-off electric appliance. All data from the home environment sensors and smart plug devices will be sent to process data in the home energy management system program developed on the Raspberry Pi computer board device. The developed system has the capability to display data from the environment mornitoring sensor and electric power consumption from smart plug devices at the present time, controlling on-off electrical devices according to the predetermined control scheme. The smartphone app will be developed on the Android operating system capable of displaying information and controlling the operation of the system. So that users can access the system from anywhere.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Field of Study: Electrical Engineering Student's Signature .....

Academic Year: 2020 Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีจากความช่วยเหลือของ ศาสตราจารย์ ดร.วิาทิต เบญจพลกุล ที่ได้ให้คำแนะนำ และให้การสนับสนุนในการทำวิทยานิพนธ์นี้มาโดยตลอด ทำให้ข้าพเจ้าได้รับความรู้ความเข้าใจในการทำวิจัยมากยิ่งขึ้น ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณรองศาศตราจารย์ ดร.ลัญจกรณ์ วุฒิสิทธิกุลกิจ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาศตราจารย์ ดร.ชัยเชษธ์ สาวิจิตร และ ดร.ชัยพร เขมะภาตะพันธ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้สละเวลาตรวจสอบ ให้คำแนะนำ และตอบคำถามทุกคำถาม เพื่อให้ผู้ทำวิจัยเรียนรู้ถึงรายละเอียดของวิทยานิพนธ์ทุกประเด็น อีกทั้งยังทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับบนี้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น และขอบคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ อบรม สั่งสอน ทำให้ข้าพเจ้าได่รับความรู้ที่เป็นประโยชน์ในการทำงาน และการดำรงชีวิตอย่างมีความสุข

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความรู้และประสบการณ์ดีๆทั้งด้านวิชาการ ด้านสังคมและอื่นๆ แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณการไฟฟ้านครหลวง ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนค่าเล่าเรียน ค่าใช้จ่ายในการทำวิจัยและอื่นๆ ทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณบิดามารดาและครอบครัวเป็นอย่างสูง ที่ได้ให้กำลังใจและให้ความช่วยเหลือมาโดยตลอด

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ ที่ทำงานการไฟฟ้านครหลวง สำหรับกำลังใจและคำปรึกษาที่มีให้

ขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ในห้องปฏิบัติการวิจัยโทรคมนาคม ที่คอยให้คำปรึกษาและให้ความช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภูชิต ภัทรสุทธิ

สารบัญ

หน้า

..... ค

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฏ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 แนวเหตุผลในการทำวิทยานิพนธ์ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ 1

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ 2

1.4 วิธีการดำเนินงาน 2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์ 3

บทที่ 2 ความรู้พื้นฐานและหลักการที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 ระบบการจัดการพลังงานภายในบ้าน 4

2.2 งานวิจัยตัวอย่างของระบบการจัดการพลังงานภายในบ้าน 6

2.3 อัตราการคิดค่าใช้พลังงานไฟฟ้า 8

2.3.1 อัตราปกติปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน 8

2.3.2 อัตราปกติปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเกินกว่า 150 หน่วยต่อเดือน 8

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.3.3 ข้อกำหนดเกี่ยวกับอัตราค่าไฟ 9
2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิดต่างๆ 9
12
2.5 เซ็นเซอร์ตรวจวัดสภาพแวดล้อมภายในบ้าน 12
2.5.1 เซ็นเซอร์วัดค่าความสว่าง (Light Sensor) 12
2.5.2 เซ็นเซอร์ตรวจวัดการเคลื่อนไหว (Motion Sensor) 14
2.5.3 เซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ (Temperature Sensor) 14
2.6 การพัฒนาโปรแกรมระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน 15
2.7 โพรโทคอลการสื่อสารแบบ MQTT 16
บทที่ 3 การออกแบบระบบและพัฒนาระบบ 18
3.1 ภาพรวมของระบบ 18
3.2 รายละเอียดของส่วนประกอบของระบบในแต่ละส่วน 19
3.2.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าและการควบคุมอุปกรณ์ 19
3.2.2 การเก็บรวบรวมข้อมูลสภาวะแวดล้อมภายในบ้าน (รูปที่ 3-4) 21
3.2.3 การวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูล 21
3.2.4 การควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยอุปกรณ์ส่งสัญญาณอินฟราเรด (รูปที่ 3-5) 22
3.2.5 ส่วนต่อประสานกับผู้ใช้งาน 22
3.2.6 โปรแกรมการบริหารจัดการพลังงาน 26
3.2.7 การทำงานของระบบโดยรวม 32
3.3 การออกแบบระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าภายในบ้านโดยใช้โปรแกรม Node-Red บน Raspberry Pi 34
3.3.1 การแสดงข้อมูลต่างๆจากเซ็นเซอร์ 40
3.3.2 การแสดงค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจากอุปกรณ์ปลั๊กไฟอัจฉริยะแต่ละตัว 41
3.3.3 การควบคุมเปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยตนเอง 42

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.3.4 การควบคุมเปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ 43
3.3.5 การแสดงข้อมูลจากเซ็นเซอร์แบบย้อนหลัง 44
3.4 การออกแบบแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน 45
3.4.1 การแสดงค่าจากเซ็นเซอร์ตรวจวัดสิ่งแวดล้อมภายในบ้าน 50
3.4.2 การแสดงค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบเวลาจริงจากอุปกรณ์ปลั๊กไฟอัจฉริยะ 51
3.4.3 การควบคุมเปิดปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยตนเอง 52
3.4.4 การควบคุมเปิดปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบอัตโนมัติโดยใช้การตั้งค่าจากเซ็นเซอร์ตรวจวัดสิ่งแวดล้อมภายในบ้าน 53
3.4.5 การแสดงสถิติข้อมูลย้อนหลัง 54
3.4.6 การแสดงค่าใช้จ่ายไฟฟ้า 56
บทที่ 4 การทดสอบระบบ 58
4.1 ทดสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ในระบบ 58
4.2 ทดสอบความเที่ยงตรงในการวัดค่ากำลังไฟฟ้า 60
4.3 การทดสอบการทำงานของแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้น 62
4.4 ทดสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าก่อนติดตั้งระบบจัดการพลังงานไฟฟ้า 74
4.5 ทดสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าเมื่อมีการติดตั้งระบบจัดการพลังงานไฟฟ้า 87
4.6 การวิเคราะห์ผลการทดลอง 99
บทที่ 5 บทสรุป 102
5.1 บทสรุป 102
5.2 ข้อเสนอแนะ 102
5.3 ข้อดี 103
5.4 ข้อเสีย 103
บรรณานุกรม 104
ประวัติผู้เขียน 107

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2-1 คุณสมบัติคอมพิวเตอร์แบบบอร์ดเดียวรุ่นอื่นๆ เปรียบเทียบกับ Raspberry Pi 10

ตารางที่ 2-2 ค่าความสว่างที่เหมาะสมในแต่ละพื้นที่ภายในบ้าน 13

ตารางที่ 4-1 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่างๆ 59

ตารางที่ 4-2 เปรียบเทียบการวัดค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ Sonoff S31 61

ตารางที่ 4-3 เปรียบเทียบการวัดค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ Sonoff Pow 61

ตารางที่ 4-4 การเปรียบเทียบค่าที่แสดงผลของเซ็นเซอร์ตรวจวัดสิ่งแวดล้อมในแอปพลิเคชันและในเว็บบราวเซอร์ 65

ตารางที่ 4-5 การเปรียบเทียบค่าที่แสดงผลในแอปพลิเคชันและในเว็บบราวเซอร์ 66

ตารางที่ 4-6 ทดสอบเปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยใช้แอปพลิเคชัน 69

ตารางที่ 4-7 ผลการทดสอบการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ 71

ตารางที่ 4-8 เปรียบเทียบการแสดงผลข้อมูลการคำนวณค่าไฟฟ้าบนแอปพลิเคชัน และ บนเว็บบราวเซอร์ 73

ตารางที่ 4-9 การใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่างๆในวันที่ผู้ใช้งานอยู่บ้าน (หน่วย : กิโลวัตต์-ชั่วโมง) 79

ตารางที่ 4-10 การใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่างๆในวันที่ผู้ใช้งานไปทำงาน (หน่วย : กิโลวัตต์-ชั่วโมง) 79

ตารางที่ 4-11 การใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่างๆในวันที่ผู้ใช้งานอยู่บ้าน (หน่วย : กิโลวัตต์-ชั่วโมง) 90

ตารางที่ 4-12 การใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่างๆในวันที่ผู้ใช้งานไปทำงาน (หน่วย : กิโลวัตต์-ชั่วโมง) 90

ตารางที่ 4-13 การเลือกใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่างๆในวันที่ผู้ใช้งานอยู่บ้าน (หน่วย : กิโลวัตต์-ชั่วโมง) 91

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 4-14 การเลือกใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่างๆในวันที่ผู้ใช้งานไปทำงาน (หน่วย : กิโลวัตต์-ชั่วโมง) 91

ตารางที่ 4-15 สรุปการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่างๆในวันที่ผู้ใช้งานอยู่บ้านโดยเฉลี่ย (หน่วย : กิโลวัตต์-ชั่วโมง) 99

ตารางที่ 4-16 สรุปการพลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่างๆในวันที่ผู้ใช้งานไปทำงานโดยเฉลี่ย (หน่วย : กิโลวัตต์-ชั่วโมง) 100

ตารางที่ 4-17 สรุปการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดโดยเฉลี่ย (หน่วย : กิโลวัตต์-ชั่วโมง) 101

ตารางที่ 4-18 สรุปการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดโดยเฉลี่ยต่อเดือน 101

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2-1 ความสัมพันธ์ของวิธีการทำงานของระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน 6
รูปที่ 2-2 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino รุ่น Uno 10
รูปที่ 2-3 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Raspberry Pi 3 Model B 11
รูปที่ 2-4 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU และ แผนผังการต่อวงจรของขาบอร์ด 12
รูปที่ 2-5 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานของเซ็นเซอร์ (LDR) และค่าความสว่างของแสง (Lux) 12
รูปที่ 2-6 วงจรการวัดค่าความสว่างของแสง 13
รูปที่ 2-7 ขอบเขตของบริเวณตรวจจับการเคลื่อนไหว 14
รูปที่ 2-8 รูปร่างของสัญญาณเอาต์พุต 14
รูปที่ 2-9 เซ็นเซอร์ DHT22 15
รูปที่ 2-10 การเขียนโปรแกรม Node-RED ผ่านเว็บบราวเซอร์ 16
รูปที่ 2-11 การรับส่งข้อมูลแบบ MQTT 17
รูปที่ 3-1 ภาพรวมของระบบที่นำเสนอ 18
รูปที่ 3-2 การเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าและการควบคุมอุปกรณ์ 20
รูปที่ 3-3 เต้ารับอัจฉริยะ Sonoff S31 20
รูปที่ 3-4 การเก็บรวบรวมข้อมูลสภาวะแวดล้อมภายในบ้าน 21
รูปที่ 3-5 การควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยอุปกรณ์ส่งสัญญาณอินฟราเรด 22
รูปที่ 3-6 ตัวอย่างการแสดงผลข้อมูลการใช้ไฟฟ้าแก่ผู้ใช้งาน 23
รูปที่ 3-7 ตัวอย่างการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยตัวเองโดยใช้แอปพลิเคชัน 23
รูปที่ 3-8 ตัวอย่างการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบอัตโนมัติโดยใช้แอปพลิเคชัน 24
รูปที่ 3-9 ตัวอย่างการให้คำแนะนำแก่ผู้ใช้งานเพื่อการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างประหยัด 24

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 3-10 ตัวอย่างการแสดงค่าใช้จ่ายไฟฟ้ารายเดือนในแอปพลิเคชัน 25
รูปที่ 3-11 ตัวอย่างการแสดงสถานการณ์เลือกใช้แหล่งพลังงานในแอปพลิเคชัน 25
รูปที่ 3-12 แผนผังการทำงานของโปรแกรมควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า [1] 27
รูปที่ 3-13 แผนผังการทำงานของโปรแกรมการจัดการควบคุมพลังงานบนพื้นฐานพฤติกรรมของผู้ใช้ไฟฟ้า [3] 28
รูปที่ 3-14 อัลกอริทึมสำหรับให้คำแนะนำวิธีการใช้พลังงานอย่างประหยัด [18] 29
รูปที่ 3-15 อัลกอริทึมสำหรับการส่งข้อความแจ้งเตือนผู้ใช้งานและการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า 30
รูปที่ 3-16 อัลกอริทึมส่วนการให้คำแนะนำเรื่องแสงสว่าง 31
รูปที่ 3-17 อัลกอริทึมส่วนการให้คำแนะนำเรื่องอุณหภูมิ 32
รูปที่ 3-18 แผนผังการทำงานของระบบ HEMS โดยรวม 33
รูปที่ 3-19 การเข้าใช้งาน Node-Red ผ่านเว็บบราวเซอร์ 34
รูปที่ 3-20 การเขียนโปรแกรมเพื่ออ่านค่าอุณหภูมิจากเซ็นเซอร์ใน Node-Red 35
รูปที่ 3-21 การตั้งค่า Node room/temperature ในการรับค่าอุณหูมิจากเซ็นเซอร์ใน Node-Red 35
รูปที่ 3-22 การตั้งค่า Node Temperature เพื่อแสดงค่าอุณหภูมิแบบกราฟฟิก 36
รูปที่ 3-23 การแสดงผลข้อมูลอุณหภูมิในเว็บเพจของ Node-Red UI ในรูปแบบกราฟิกเกจ์วัดอุณหภูมิ 36
รูปที่ 3-24 การตั้งค่า Node Temperature เพื่อแสดงค่าอุณหภูมิแบบกราฟ 37
รูปที่ 3-25 การแสดงผลข้อมูลอุณหภูมิในเว็บเพจของ Node-Red UI ในรูปแบบกราฟ 37
รูปที่ 3-26 การตั้งค่า Node firebase modify เพื่อกำหนดที่อยู่ในการเก็บข้อมูลอุณหภูมิ 38
รูปที่ 3-27 ขั้นตอนในการบันทึกและแสดงผลข้อมูลที่อ่านจากเซ็นเซอร์ 39
รูปที่ 3-28 ตัวอย่างการแสดงผลบนเว็บเพจ Node-Red UI 40
รูปที่ 3-29 การแสดงข้อมูลต่างๆจากเซ็นเซอร์บนเว็บเพจ Node-Red UI 41
รูปที่ 3-30 การแสดงข้อมูลค่าพลังงานไฟฟ้าในเว็บเพจ Node-Red UI 41
รูปที่ 3-31 การแสดงข้อมูลค่ากำลังไฟฟ้าในเว็บเพจ Node-Red UI 42

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 3-32 การควบคุมเปิดปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยตนเองผ่านเว็บเพจ Node-Red UI 42
รูปที่ 3-33 แสดงสถานะการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละตัวผ่านเว็บเพจ Node-Red UI 43
รูปที่ 3-34 การตั้งค่าการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบอัตโนมัติในเว็บเพจ Node-Red UI..... 43
รูปที่ 3-35 การแสดงข้อมูลจากเซ็นเซอร์แบบย้อนหลังในเว็บเพจ Node-Red UI 44
รูปที่ 3-36 ส่วนต่อประสานผู้ใช้ ของโปรแกรม Android Studio..... 45
รูปที่ 3-37 ตัวอย่างการเขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษา Java โดยใช้โปรแกรม Android Studio 46
รูปที่ 3-38 ตัวอย่างการออกแบบส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ (GUI) โดยใช้การลากวัตถุมาวาง..... 47
รูปที่ 3-39 ตัวอย่างการออกแบบส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ (GUI) โดยใช้การเขียนโปรแกรมภาษา XML 48
รูปที่ 3-40 ตัวอย่างการทำงานของโปรแกรมจำลองการทำงานระบบปฏิบัติการ Android 49
รูปที่ 3-41 การลงชื่อเข้าใช้งานแอปพลิเคชัน..... 50
รูปที่ 3-42 ตัวอย่างการแสดงข้อมูลที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์สิ่งแวดล้อมในแอปพลิเคชัน..... 51
รูปที่ 3-43 ตัวอย่างการแสดงค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในแอปพลิเคชัน 52
รูปที่ 3-44 ตัวอย่างการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าผ่านแอปพลิเคชัน 53
รูปที่ 3-45 ตัวอย่างการตั้งค่าการควบคุมอุปกรณ์อัตโนมัติ โดยใช้เซ็นเซอร์ตรวจวัดสิ่งแวดล้อมภายในบ้าน..... 54
รูปที่ 3-46 ตัวอย่างการแสดงสถิติข้อมูลการใช้กำลังไฟฟ้าประจำวันที่ปัจจุบันในแอปพลิเคชัน..... 55
รูปที่ 3-47 ตัวอย่างการแสดงสถิติข้อมูลการใช้กำลังไฟฟ้าประจำวันที่ปัจจุบันในแอปพลิเคชัน..... 56
รูปที่ 3-48 ตัวอย่างการแสดงข้อมูลค่าไฟฟ้าแบบเวลาจริงผ่านทางแอปพลิเคชัน 57
รูปที่ 4-1 การต่อวงจรเพื่อวัดค่าการใช้พลังงานของอุปกรณ์ในระบบ 59
รูปที่ 4-2 หน้าจอการวัดค่าการใช้กำลังไฟฟ้าของเครื่อง Applied Precision 2320..... 60
รูปที่ 4-3 หน้าจอการแสดงผลแอปพลิเคชันเมนู Sensor..... 64
รูปที่ 4-4 หน้าจอการแสดงผลค่าจากเซ็นเซอร์ตรวจวัดสิ่งแวดล้อมในเว็บราวเซอร์..... 64
รูปที่ 4-5 หน้าจอการแสดงผลแอปพลิเคชันเมนู Power 65

รูปที่ 4-6 หน้าจอการแสดงผลการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิดในเว็บราวเซอร์ 66
รูปที่ 4-7 หน้าจอการแสดงผลแอปพลิเคชันเมนู Control 68
รูปที่ 4-8 หน้าจอการแสดงผลการควบคุมเปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิดในเว็บราวเซอร์ 68
รูปที่ 4-9 หน้าจอการแสดงผลแอปพลิเคชันเมนู Automatic ในส่วนของการเลือกอุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อตั้งค่าการควบคุมแบบอัตโนมัติ 70
รูปที่ 4-10 หน้าจอการแสดงผลแอปพลิเคชันเมนู Automatic ในส่วนของการตั้งค่าการควบคุมอัตโนมัติให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เลือก 71
รูปที่ 4-11 หน้าจอการแสดงผลแอปพลิเคชันเมนู Billing 72
รูปที่ 4-12 หน้าจอการแสดงผลบนเว็บบราวเซอร์เมนู Billing 73
รูปที่ 4-13 พัดลม Hatari ขนาด 16 นิ้ว 75
รูปที่ 4-14 หลอดไฟฟลูออเรสเซ็นต์ขนาด 18 วัตต์ 76
รูปที่ 4-15 โทรทัศน์ Samsung ขนาด 49 นิ้ว 76
รูปที่ 4-16 คอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ 77
รูปที่ 4-17 เครื่องปรับอากาศ LG ขนาด 9000 BTU 77
รูปที่ 4-18 อุปกรณ์ปลั๊กไฟอัจฉริยะ Sonoff S31 78
รูปที่ 4-19 อุปกรณ์เซ็นเซอร์วัดค่าพลังงาน Sonoff Pow 78
รูปที่ 4-20 การใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมในวันที่ 4 เมษายน 2563 80
รูปที่ 4-21 การใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมในวันที่ 5 เมษายน 2563 80
รูปที่ 4-22 การใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมในวันที่ 6 เมษายน 2563 81
รูปที่ 4-23 การใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมในวันที่ 7 เมษายน 2563 81
รูปที่ 4-24 การใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมในวันที่ 19 เมษายน 2563 82
รูปที่ 4-25 การใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมในวันที่ 20 เมษายน 2563 82
รูปที่ 4-26 การใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมในวันที่ 21 เมษายน 2563 83
รูปที่ 4-27 การใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมในวันที่ 1 เมษายน 2563 83

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 4-28 การใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมในวันที่ 2 เมษายน 2563 84
รูปที่ 4-29 การใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมในวันที่ 3 เมษายน 2563 84
รูปที่ 4-30 การใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมในวันที่ 8 เมษายน 2563 85
รูปที่ 4-31 การใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมในวันที่ 15 เมษายน 2563 85
รูปที่ 4-32 การใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมในวันที่ 22 เมษายน 2563 86
รูปที่ 4-33 การใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมในวันที่ 29 เมษายน 2563 86
รูปที่ 4-34 การอ่านข้อมูลการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จากเว็บไซต์ www.sunnyportal.com 88
รูปที่ 4-35 ขั้นตอนวิธีการเลือกใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้า 89
รูปที่ 4-36 การเลือกใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าโดยรวมในวันที่ 1 พฤษภาคม 2563 92
รูปที่ 4-37 การเลือกใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าโดยรวมในวันที่ 2 พฤษภาคม 2563 92
รูปที่ 4-38 การเลือกใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าโดยรวมในวันที่ 3 พฤษภาคม 2563 93
รูปที่ 4-39 การเลือกใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าโดยรวมในวันที่ 4 พฤษภาคม 2563 93
รูปที่ 4-40 การเลือกใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าโดยรวมในวันที่ 6 พฤษภาคม 2563 94
รูปที่ 4-41 การเลือกใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าโดยรวมในวันที่ 7 พฤษภาคม 2563 94
รูปที่ 4-42 การเลือกใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าโดยรวมในวันที่ 9 พฤษภาคม 2563 95
รูปที่ 4-43 การเลือกใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าโดยรวมในวันที่ 5 พฤษภาคม 2563 95
รูปที่ 4-44 การเลือกใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าโดยรวมในวันที่ 8 พฤษภาคม 2563 96
รูปที่ 4-45 การเลือกใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าโดยรวมในวันที่ 12 พฤษภาคม 2563 96
รูปที่ 4-46 การเลือกใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าโดยรวมในวันที่ 18 พฤษภาคม 2563 97
รูปที่ 4-47 การเลือกใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าโดยรวมในวันที่ 22 พฤษภาคม 2563 97
รูปที่ 4-48 การเลือกใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าโดยรวมในวันที่ 26 พฤษภาคม 2563 98
รูปที่ 4-49 การเลือกใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าโดยรวมในวันที่ 28 พฤษภาคม 2563 98
รูปที่ 4-50 เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยฝนแต่ละวัน 100

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 แนวเหตุผลในการทำวิทยานิพนธ์

ในปัจจุบัน มีแนวโน้มการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงขึ้น ก่อให้เกิดปัญหาในการผลิตไฟฟ้าให้เพียงพอต่อความต้องการ ซึ่งการสร้างโรงไฟฟ้าเพิ่มขึ้นต้องใช้งบประมาณที่สูง ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และมีการต่อต้านจากคนในพื้นที่มาโดยตลอด ทำให้มีการพัฒนาระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะหรือสมาร์ตกริด (Smart Grid) ซึ่งเป็นการนำเทคโนโลยีการสื่อสารและสารสนเทศมาใช้ในการจัดการควบคุมการผลิต และการใช้พลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อเพิ่มความมั่นคงให้กับระบบไฟฟ้า และสามารถชะลอการสร้างโรงไฟฟ้าได้ การพัฒนาระบบสมาร์ตกริดนั้นสามารถทำได้หลายแนวทาง เช่น การบริหารจัดการพลังงาน (Energy Management System, EMS) เป็นการใช้ระบบเทคโนโลยีสารสนเทศมาควบคุมการใช้พลังงาน โดยมีการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อให้ตอบสนองต่อความต้องการใช้ไฟฟ้า การใช้พลังงานทดแทน และการแสดงข้อมูลการใช้ไฟฟ้าแบบใกล้เคียงเวลาจริง (Real-Time) เป็นต้น ในปัจจุบันมีงานวิจัยที่หลากหลายเกี่ยวกับการบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าภายในบ้าน (Home Energy Management System, HEMS)

งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าภายในบ้านโดยการบูรณาการงานวิจัยย่อยๆต่างๆเกี่ยวกับ HEMS ของกลุ่มวิจัย HEMS ของภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้มีการพัฒนาไว้แล้ว ได้แก่งานวิจัยของดิราภา [1] อิทธิ [2], วนัสนันท์ [3] ที่ได้พัฒนาเสร็จสิ้นไปแล้ว รวมถึงงานวิจัยของนภสินธุ์ [4] รวมถึงพัฒนาส่วนที่เหลือในรูปที่ 2-1 โดยการพัฒนาต้นแบบระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าภายในบ้านที่มีการรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยใช้เซ็นเซอร์วัดค่าพลังงานไฟฟ้าซึ่งเป็นงานวิจัยของอิทธิ [2] จากนั้นแสดงผลการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบเวลาจริงกับผู้ใช้งานรวมถึงสามารถแสดงสถิติการใช้ไฟฟ้าย้อนหลัง การควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยอัตโนมัติโดยใช้เซ็นเซอร์ต่างๆซึ่งเป็นงานวิจัยของดิราภา [1] การวิเคราะห์การใช้พลังงานและให้คำแนะนำผู้ใช้งานเพื่อให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพซึ่งเป็นงานวิจัยของ วนัสนันท์ [3] รวมถึงการรองรับการควบคุมระบบการเลือกใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสมซึ่งเป็นงานวิจัยของ นภสินธุ์ [4] โดยจะมีการพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับสมาร์ตโฟนเพื่อใช้ในการแสดงผลและควบคุมการทำงานของระบบ เพื่อให้ได้ระบบ HEMS ที่สมบูรณ์แบบตามรูปที่ 2-1

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1) เพื่อออกแบบ และพัฒนาระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าภายในบ้าน โดยนำงานวิจัยก่อนหน้านี้มาต่อยอดพัฒนาให้อยู่บนพื้นฐานระบบเดียวกัน

2) เพื่อออกแบบแอปพลิเคชันในสมาร์ตโฟนสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้า ให้มีรูปแบบการใช้งานที่สะดวกและเป็นมิตรกับผู้ใช้ สามารถใช้งานได้จริง
3) เพื่อทดสอบและวิเคราะห์ผลการทำงานของระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าที่พัฒนาขึ้น

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1) พัฒนาระบบการจัดการพลังงานภายในบ้านที่พักอาศัยเท่านั้น
2) พัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับควบคุมการทำงานของระบบในสมาร์ตโฟนระบบแอนดรอยด์
3) พัฒนาระบบการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยใช้ขั้นตอนวิธีการจากกลุ่มงานวิจัยระบบ HEMS [1], [2], [3] ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย รวมถึงงานวิจัยเกี่ยวกับการจัดการพลังงานโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์ และแบตเตอรี่ ของนายนภสินธุ์ พงษ์เลาหพันธุ์ [4] โดยพัฒนาให้ระบบทั้งหมดเชื่อมโยงเป็นระบบเดียวกัน

1.4 วิธีการดำเนินงาน

1) ศึกษางานวิจัยในอดีตเกี่ยวกับระบบการบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าภายในบ้าน
2) ศึกษาการพัฒนาแอปพลิเคชันจากระบบแอนดรอยด์ในการรับส่งข้อมูลบนเว็บเซิร์ฟเวอร์
3) ศึกษาการเขียนโปรแกรมบนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Raspberry Pi เพื่อใช้ในการสร้างระบบฐานข้อมูลเพื่อรับข้อมูลที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์ และพัฒนาระบบเว็บเซิร์ฟเวอร์เพื่อใช้ในการติดต่อสื่อสารบนระบบอินเทอร์เน็ตและแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน
4) พัฒนาอัลกอริทึมการให้คำแนะนำแก่ผู้ใช้งานและการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น
5) ปรับปรุงพัฒนาเว็บเซิร์ฟเวอร์ให้รองรับการแสดงข้อมูลการให้คำแนะนำการใช้พลังงานไฟฟ้า รวมถึงการแสดงสถิติการใช้พลังงานไฟฟ้าแก่ผู้ใช้งาน
6) พัฒนาระบบการตรวจวัดสภาพแวดล้อมและระบบการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยสัญญาณอินฟราเรดโดยการออกแบบวงจร แล้วทดลองโดยการจำลองการทำงานบนโปรแกรม Proteus ซึ่งเป็นโปรแกรมจำลองการทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์
7) ทดลองนำระบบตรวจวัดสภาพแวดล้อมและระบบการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยสัญญาณอินฟราเรดมาใช้งานจริงโดยส่งข้อมูลไปเก็บไว้ในระบบฐานข้อมูล
8) ทดลองเขียนโปรแกรมแอนดรอยด์โดยใช้โปรแกรม Android Studio เพื่อใช้ในการรับส่งข้อมูลบนเว็บเซิร์ฟเวอร์
9) ทดลองการใช้งานเต็มระบบโดยเชื่อมต่ออุปกรณ์ทุกอย่างเข้าด้วยกัน แล้วควบคุมการทำงานของระบบโดยใช้แอปพลิเคชัน
10) ปรับปรุงข้อผิดพลาดของระบบต่างๆ และ แอปพลิเคชัน
11) ทดสอบการทำงานของระบบทั้งหมดภายในบ้านที่พักอาศัยจริงเพื่อทดสอบการลดการใช้พลังงานไฟฟ้า

CHULALONGKORN UNIVERSITY

12) ปรับปรุงส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ (User Interface) ในแอปพลิเคชันให้มีความเรียบง่าย มีความสะดวกในการใช้งาน และเป็นมิตรกับผู้ใช้งาน
13) วิเคราะห์และสรุปผลการทดลองงานวิจัย
14) เรียบเรียงผลงานวิจัยเพื่อเสนอต่อคณะกรรมการ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ระบบที่พัฒนาสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้จริง
2) ผู้ใช้งานสามารถนำข้อมูลการใช้ไฟฟ้ามาประยุกต์ในการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า เพื่อการบริหารการจัดการพลังงานไฟฟ้าภายในบ้านได้อย่างมีประสิทธิภาพ
3) สามารถนำระบบมาต่อยอดเพื่อพัฒนาระบบการบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าได้ในอนาคต

1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งออกเป็น 5 บท โดยแต่ละบทมีเนื้อหาดังนี้

บทที่ 1 บทนำ ในบทนี้กล่าวถึงแนวเหตุผลในการทำวิทยานิพนธ์, วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์, ขอบเขตของวิทยานิพนธ์, วิธีการดำเนินงาน, ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และส่วนเนื้อหาของวิทยานิพนธ์ที่จะกล่าวถึงในบทต่อไป

บทที่ 2 ความรู้พื้นฐานและหลักการที่เกี่ยวข้อง ในบทนี้อธิบายถึง ระบบการจัดการพลังงานภายในบ้าน, งานวิจัยตัวอย่างของระบบการจัดการพลังงานภายในบ้าน, อัตราการคิดค่าใช้พลังงานไฟฟ้า, ประสิทธิภาพและความสามารถของการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ และการจัดเก็บพลังงานลงในระบบสะสมพลังงาน, การคาดการณ์ความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้า

บทที่ 3 การออกแบบระบบและพัฒนาระบบ ในบทนี้อธิบายถึง ภาพรวมของระบบ, วิธีการจำลองข้อมูลต่าง ๆ ภายในฐานข้อมูล MySQL และวิธีการออกแบบอัลกอริทึมของส่วนการทำงานย่อย ๆ ภายในระบบ

บทที่ 4 การทดสอบ ในบทนี้กล่าวถึง การทดสอบการทำงานของอัลกอริทึมส่วนย่อย ๆ ทั้งหมดภายในระบบการจัดการและควบคุมพลังงานแบบอัตโนมัติ รวมถึงการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ และความสามารถของอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นมา

บทที่ 5 บทสรุป ในบทนี้กล่าวถึง บทสรุปในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้, ข้อเสนอแนะสำหรับนำไปพัฒนางานวิจัยต่อไป และวิเคราะห์ข้อดี-ข้อเสีย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
ความรู้พื้นฐานและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบการจัดการพลังงานภายในบ้าน

HEMS เป็นระบบที่เชื่อมโยงอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านเข้าด้วยกัน โดยสามารถแสดงสถานการณ์ใช้ไฟฟ้า (เช่น ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าหรือบริเวณต่างๆ ในบ้านในช่วงเวลานั้น เป็นต้น) นอกจากนี้ HEMS ที่มีขีดความสามารถในระดับที่สูงขึ้นจะสามารถนำข้อมูลอื่นที่เกี่ยวข้อง เช่น สภาพอากาศ ราคาค่าไฟฟ้าในช่วงนั้นๆ เป็นต้น มาประมวลผล พร้อมทั้งเสนอแนะต่อผู้ใช้ไฟฟ้าถึงวิธีลดการใช้พลังงาน หรือควบคุมการใช้พลังงานอย่างอัตโนมัติให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

ในอนาคต หากมีการติดตั้งอุปกรณ์ด้านพลังงานใหม่ๆ เพิ่มเติมในบ้านเรือน เช่น ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา แบตเตอรี่ หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีความสามารถในการดำเนินการตอบสนองด้านโหลด เป็นต้น HEMS จะสามารถเชื่อมโยงอุปกรณ์ต่างๆ เหล่านั้นเข้าด้วยกัน เพื่อให้การบริหารการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ตัวอย่างเช่น ในช่วงเวลาเที่ยงวันเมื่อระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาผลิตไฟฟ้าได้มากกว่าการใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน ณ ขณะนั้น HEMS สามารถสั่งให้แบตเตอรี่ชาร์จไฟเพื่อเก็บพลังงานไฟฟ้าส่วนเกินไว้ ในอนาคตหากมีการนำกลไกค่าไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงตามเวลามาใช้งาน HEMS เมื่อทราบว่าช่วงเวลานั้นมีราคาค่าไฟฟ้าสูงสามารถสั่งให้แบตเตอรี่จ่ายไฟฟ้ากลับเข้าสู่ระบบไฟฟ้าในบ้าน เพื่อลดการพึ่งพาไฟฟ้าจากระบบโครงข่ายหลักซึ่งมีราคาสูง เป็นการช่วยให้เกิดการประหยัดค่าไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนั้น HEMS ยังสามารถทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าได้โดยตรงจากภายนอกบ้าน รวมถึงสามารถกำหนดการเปิด-ปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าล่วงหน้าผ่านทางโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ ทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าปรับเปลี่ยนพฤติกรรมตนเองลงโดยลดการใช้ไฟฟ้าในส่วนที่ไม่จำเป็นลง อันจะส่งผลให้การใช้ไฟฟ้าในบ้านเรือนลดลง รวมถึงลดค่าไฟฟ้าลงได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

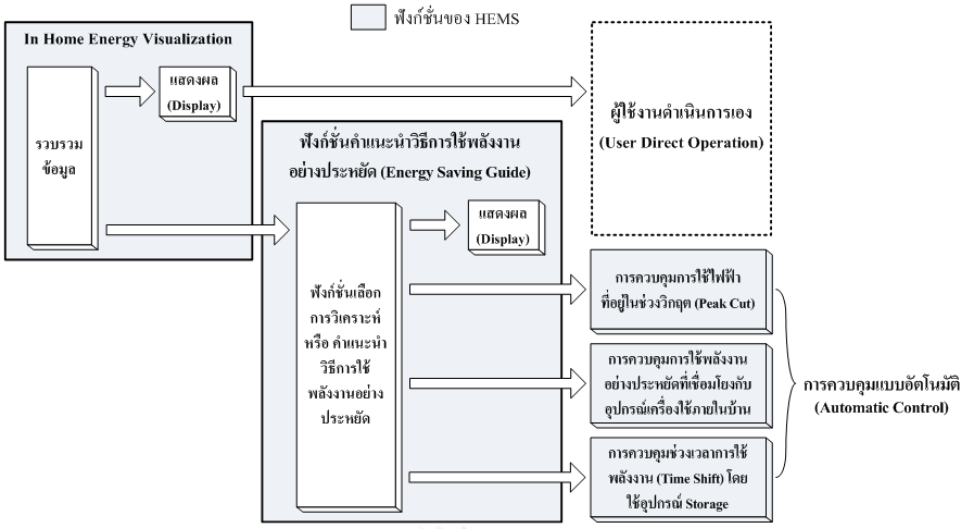
วิธีการทำงานของระบบ HEMS [1]

1) In Home Energy Visualization หรือ IHEV เป็นการจัดการพลังงานภายในบ้านที่อยู่ในระดับพื้นฐานที่สุดของระบบ HEMS โดยจะมีการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้อยู่ในเวลานั้น พร้อมทั้งการแสดงค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้อยู่แบบเวลาจริงให้ผู้ใช้งานได้รับทราบ เพื่อให้ผู้อยู่อาศัยตระหนักถึงการใช้พลังงานอย่างประหยัดด้วยตัวเอง
2) คำแนะนำวิธีการใช้พลังงานอย่างประหยัด (Energy Saving Guide) จะมีการวิเคราะห์สถานการณ์เกี่ยวกับการใช้พลังงานในขณะนั้น พร้อมทั้งให้คำแนะนำผู้ใช้งานจากผลการวิเคราะห์นั้น ซึ่งวิธีการนี้จะช่วยส่งเสริมพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า

อย่างประหยัดได้ดียิ่งขึ้น แต่การให้คำแนะนำแบบง่ายๆ เช่น การให้ปรับอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศเพิ่มขึ้น 2 องศาเซลเซียส ผู้ใช้งานอาจไม่เกิดความสนใจหรือไม่ปฏิบัติตาม ดังนั้นคำแนะนำจึงควรเป็นการให้ข้อมูลโดยสื่อสารให้เห็นภาพรวมหรือบริเวณที่มีการใช้พลังงานอย่างสูญเสียขึ้น และแนะนำวิธีการประหยัดพลังงานไฟฟ้ากับผู้ใช้

3) การควบคุมแบบอัตโนมัติ (Automatic Control) สามารถแบ่งได้เป็น 3 ลักษณะ ดังนี้
    1. การควบคุมการใช้พลังงานที่เชื่อมโยงกับอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน คือ การลดการใช้พลังงานของอุปกรณ์ด้วยการควบคุมการใช้งานอุปกรณ์แบบอัตโนมัติ โดยการใช้ระบบเซ็นเซอร์ต่างๆ ในการควบคุม เช่น การควบคุมระบบแสงสว่างภายในห้องโดยใช้เซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว ซึ่งในกรณีที่ไม่มีการเคลื่อนไหวหรือไม่มีคนอยู่ในห้องระบบจะทำการควบคุมปิดไฟโดยอัตโนมัติ
    2. การควบคุมการใช้ไฟฟ้าที่อยู่ในช่วงวิกฤต (Peak Cut) คือการควบคุมในขณะที่มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจำนวนมากและอยู่ในช่วงวิกฤต (Peak) ระบบจะควบคุมปริมาณการใช้ไฟฟ้า โดยการสั่งตัดไฟอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ทำอยู่ขณะนั้นแบบอัตโนมัติจนปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงถึงระดับปกติ ระบบจะสั่งให้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่หยุดการทำงานให้กลับมาทำงานปกติ การควบคุมแบบนี้สามารถกำหนดลำดับความสำคัญของอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิดที่จะให้หยุดการทำงานก่อนหรือหลังได้
    3. การเปลี่ยนช่วงเวลาการใช้พลังงาน (Peak Shift / Time Shift) เป็นการเปลี่ยนช่วงเวลาการใช้พลังงาน ซึ่งโดยปกติเวลากลางคืนจะมีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าเวลากลางวัน การใช้พลังงานไฟฟ้าจึงเป็นการเก็บพลังงานสะสมไว้ในอุปกรณ์เก็บสะสมพลังงาน (Energy Storage) เช่นการเก็บพลังงานไฟฟ้าไว้ในแบตเตอรี่ และในช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้พลังงานสูงจะมีการนำพลังงานที่เก็บสะสมไว้ออกมาใช้งาน ซึ่งจะเปรียบเสมือนกับการเปลี่ยนช่วงเวลาการใช้พลังงานนั่นเอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 2-1 ความสัมพันธ์ของวิธีการทำงานของระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน

2.2 งานวิจัยตัวอย่างของระบบการจัดการพลังงานภายในบ้าน

งานวิจัยและโครงการจำนวนมากที่เกี่ยวข้องกับระบบการจัดการพลังงานภายในบ้าน ตัวอย่างเช่น

ดิราภา สุวรรณฤทธิ์ [1] ได้พัฒนาระบบการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ โดยใช้ระบบการสื่อสารแบบซิกบี (ZigBee) ในการติดต่อสื่อสารระหว่างรีเลย์ควบคุมการทำงานของวงจรไฟฟ้า และเซ็นเซอร์วัดค่าสภาวะแวดล้อมต่างๆภายในบ้าน กับไมโครคอนโทรลเลอร์ Raspberry Pi ซึ่งมีการเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต ทำให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงระบบได้โดยผ่านเว็บบราวเซอร์ การทำงานของระบบควบคุมจะแบ่งเป็น 3 ลักษณะ คือ การควบคุมด้วยตนเอง ซึ่งจะเป็นการให้ผู้ใช้งานตัดสินใจเปิดปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าเอง การควบคุมอัตโนมัติโดยใช้เซ็นเซอร์ 3 ชนิดคือ เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ เซ็นเซอร์วัดความสว่าง และ เซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว เพื่อใช้ค่าที่ตรวจวัดมาได้เป็นเงื่อนไขในการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น หากอุณหภูมิลดลงมากกว่าค่าที่กำหนด จะมีการสั่งให้พัดลมหยุดการทำงาน และการควบคุมแบบอัตโนมัติโดยการตั้งเวลา ทำให้ผู้ใช้งานสามารถตั้งเวลาเปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าเองได้

Dongyu Wang และคนอื่นๆ [5] ได้นำเสนอการพัฒนาแอปพลิเคชันบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ เพื่อใช้ในการแสดงผลข้อมูลสิ่งแวดล้อมภายในตัวบ้าน เช่น อุณหภูมิ ค่าความสว่าง และความชื้น โดยอ่านค่าข้อมูลจากเซ็นเซอร์ และ การควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้าน โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Raspberry Pi ในการรับค่าข้อมูลจากเซ็นเซอร์ เพื่อมาประมวลผล จากนั้นส่งข้อมูลผ่านระบบไวไฟ เพื่อให้สามารถอ่านข้อมูลจากแอปพลิเคชัน ในส่วนของการควบคุมอุปกรณ์จะมีการเชื่อมต่อมอดูล Infrared (IR) เพื่อใช้แทนรีโมตคอนโทรลในการควบคุม แสงไฟ เครื่องปรับอากาศ และ โทรทัศน์ นอกจากการควบคุมโดยผู้ใช้งานเองแล้ว แอปพลิเคชันนี้สามารถตั้งค่าการควบคุม

อุปกรณ์โดยอัตโนมัติโดยใช้เงื่อนไขจากข้อมูลเซ็นเซอร์ เช่น หากค่าความสว่างมีน้อยกว่าค่าที่กำหนด สามารถสั่งให้เปิดไฟได้โดยอัตโนมัติ เป็นต้น

Rajalingam S. และ Malathi V. [6] ได้นำเสนออัลกอริทึมเกี่ยวกับการบริหารจัดการพลังงานภายในบ้านโดยมีการเลือกแหล่งพลังงานในการใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน ซึ่งมีพลังงานไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้า และ พลังงานไฟฟ้าทดแทน ในงานวิจัยนี้ได้เซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic Cell : PV) เป็นแหล่งพลังงานทดแทน โดยอัลกอริทึมจะมีการคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ภายในบ้าน อัตราค่าไฟในปัจจุบัน พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้โดยเซลล์แสงอาทิตย์ ถ้าพลังงานที่ผลิตได้โดย PV มีค่ามากกว่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้อยู่ในปัจจุบันจะมีการเลือกแหล่งพลังงานโดยใช้ PV ถ้าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้โดย PV น้อยกว่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน จะมีการตรวจสอบว่าอัตราค่าไฟฟ้าในปัจจุบันมีราคาถูกหรือไม่ หากมีราคาถูกจะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้า ถ้าหากอัตราค่าไฟฟ้ามีราคาแพงจะมีการลดการใช้พลังงานโดยตัดวงจรโหลดตามลำดับความสำคัญที่ตั้งค่าไว้ เพื่อให้สามารถใช้พลังงานจาก PV ได้ เมื่อนำอัลกอริทึมนี้มาทดลองใช้งานจริง สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 90 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ต่อเดือน

Maytham S. Ahmed และคนอื่นๆ [7] ได้นำเสนองานวิจัยโดยการพัฒนาเต้ารับอัจฉริยะ (Smart Plug) ซึ่งสามารถวัดค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่เชื่อมต่ออยู่ มีการส่งข้อมูลแบบไร้สายโดยใช้โมดูล ZigBee มีการเชื่อมต่ออยู่กับระบบ HEMS และมีการส่งข้อมูลกันแบบเวลาจริง ทำให้ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบการใช้กำลังไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละเครื่องได้แบบเวลาจริง เมื่อผู้ใช้งานทราบข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าก็สามารถจัดการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้อย่างเหมาะสม

วนัสนันท์ ฟุ้งสิริรัตน์ [3] ได้พัฒนาอัลกอริทึมสำหรับระบบจัดการและควบคุมพลังงานในบ้านแบบอัตโนมัติบนพื้นฐานของพฤติกรรมของผู้ใช้ไฟฟ้า มีการเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าบนฐานข้อมูล MySQL เพื่อนำมาวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า โดยอัลกอริทึมจะมีการให้ผู้ใช้งานกำหนดค่าบริการไฟฟ้าที่คาดหวังไว้ เพื่อคำนวณหาขีดจำกัดการใช้พลังงานไฟฟ้า รวมถึงการพยากรณ์การใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อกำหนดขีดจำกัดการใช้พลังงานด้วยเช่นกัน โดยการคำนวณขีดจำกัดการใช้พลังงานจะมีทุกๆ 15 นาที เมื่อถึงขีดจำกัดที่กำหนดจะมีการสั่งปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยอัตโนมัติเมื่อถึงขีดจำกัดที่กำหนด โดยจะมีการปิดตามลำดับความสำคัญของอุปกรณ์ไฟฟ้า

อิทธิ เสาวพรรณ [2] ได้พัฒนาระบบการเชื่อมโยงข้อมูลของอุปกรณ์ต่างๆในระบบ HEMS ประกอบด้วย อุปกรณ์วัดค่าพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดภายในบ้าน อุปกรณ์วัดค่าพลังงานไฟฟ้าและควบคุมการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิด และระบบเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อนำข้อมูลต่างๆไปใช้งานกับระบบการจัดการพลังงานภายในบ้าน โดยระบบการประมวลผลสามารถรองรับการควบคุมเปิด-ปิด อุปกรณ์ไฟฟ้าได้โดยอัตโนมัติได้ นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาการนำข้อมูลต่างๆที่ได้รวบรวมมา

วิเคราะห์ พยากรณ์การใช้พลังงานไฟฟ้าภายในบ้านและพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้โดยเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกันว่าควรเลือกใช้แหล่งพลังงานจากแหล่งใดในช่วงเวลานั้นให้มีประสิทธิภาพและสามารถลดค่าใช้จ่ายได้มากที่สุด

2.3 อัตราการคิดค่าใช้พลังงานไฟฟ้า

การไฟฟ้านครหลวงกำหนดอัตราค่าใช้พลังงานไฟฟ้าของบ้านอยู่อาศัย [8] ซึ่งมีลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ต่อผ่านเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าเพียงเครื่องเดียวไว้ดังนี้

2.3.1 อัตราปกติปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน

ค่าพลังงานไฟฟ้า

15 หน่วย (กิโลวัตต์ชั่วโมง) แรก (หน่วยที่ 1-15)	หน่วยละ	2.3488 บาท
10 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 16-25)	หน่วยละ	2.9882 บาท
10 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 26-35)	หน่วยละ	3.2405 บาท
65 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 36-100)	หน่วยละ	3.6237 บาท
50 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 101-150)	หน่วยละ	3.7171 บาท
250 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 151-400)	หน่วยละ	4.2218 บาท
เกินกว่า 400 หน่วย (หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป)	หน่วยละ	4.4217 บาท
ค่าบริการ (บาท/เดือน) :	8.19	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.3.2 อัตราปกติปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเกินกว่า 150 หน่วยต่อเดือน

ค่าพลังงานไฟฟ้า

150 หน่วย (กิโลวัตต์ชั่วโมง) แรก (หน่วยที่ 1-150)	หน่วยละ	3.2484 บาท
250 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 151-400)	หน่วยละ	4.2218 บาท
เกินกว่า 400 หน่วย (หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป)	หน่วยละ	4.4217 บาท
ค่าบริการ (บาท/เดือน) :	38.22	

2.3.3 ข้อกำหนดเกี่ยวกับอัตราค่าไฟ

1) อัตราค่าไฟข้างต้นเป็นอัตราค่าไฟฟ้าฐานเรียกเก็บรายเดือนเท่านั้น
2) ในการเรียกเก็บค่าไฟในแต่ละเดือนจะประกอบด้วย
    - ค่าไฟฟ้าตามอัตราค่าไฟฟ้าฐาน
    - ค่าไฟฟ้าตามสูตรการปรับค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ (F_t)
    - ค่าบริการรายเดือน
    - ภาษีมูลค่าเพิ่ม
3) ค่า F_t จะมีการเปลี่ยนแปลงทุกๆ 4 เดือน โดยกำหนดให้ค่า F_t เป็นอัตราคงที่ต่อหน่วยการใช้ไฟฟ้า

2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิดต่างๆ

ในการพัฒนาระบบการจัดการพลังงานภายในบ้านต้องอาศัยความสามารถของไมโครคอนโทรลเลอร์ในการรับค่าข้อมูลจากเซ็นเซอร์ และการประมวลผลข้อมูล ในปัจจุบันมีไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายคือไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Raspberry Pi และ NodeMCU

2.4.1 Arduino [9]

เป็นชุดบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีการพัฒนาแบบเปิดเผยข้อมูลของอุปกรณ์ด้านในและซอฟต์แวร์ (Open Source) ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย เหมาะกับผู้เริ่มต้นใช้งาน สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับอุปกรณ์เซ็นเซอร์ และระบบควบคุมได้อย่างดี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino (รูปที่ 4-3) มีการเลือกใช้ไมโครคอรโทรลเลอร์จากผู้ผลิตที่หลากหลาย บนตัวบอร์ดประกอบด้วยขาอินพุตและเอาต์พุต ที่มีให้เลือกใช้ทั้งแบบแอนะล็อกและดิจิทัล สามารถเพิ่มความสามารถในการทำงานได้โดยใช้บอร์ดเสริม (Shields) บนตัวบอร์ดจะมีพอร์ต USB เพื่อใช้ในการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ สำหรับการพัฒนาโปรแกรมบนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ สามารถใช้ได้ทั้งภาษา C และ C++ โดยใช้โปรแกรมในการพัฒนา (Integrated Development Environment, IDE) ที่มีชื่อว่า Arduino IDE

รูปที่ 2-2 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino รุ่น Uno

2.4.2 Raspberry Pi [10]

เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรเลอร์ขนาดเล็ก ถูกพัฒนาในประเทศอังกฤษโดย Raspberry Pi Foundation มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้งานเป็นคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก มีพอร์ต USB สามารถเชื่อมต่อ เมาส์ และคีย์บอร์ดได้ รวมถึงสามารถต่อกับจอภาพเพื่อแสดงผลโดยผ่านพอร์ต HDMI สามารถนำไปใช้งานท่องเว็บไซต์ ทำงานเอกสารได้เหมือนเครื่องคอมพิวเตอร์ มีขาการเชื่อมต่ออุปกรณ์ (General Purpose Input Output, GPIO) เพื่อเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ได้อีกด้วย นอกจากนี้ยังมีราคาถูก จึงเหมาะสมกับการใช้พัฒนาเป็นต้นแบบระบบควบคุมการทำงานการจัดการพลังงานไฟฟ้าภายในบ้านเมื่อเปรียบเทียบกับคอมพิวเตอร์บอร์ดรุ่นอื่นๆตามตารางที่ 2-1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บอร์ด Raspberry Pi รองรับระบบปฏิบัติการลินุกซ์ (Linux Operating System) ได้หลายระบบ เช่น Raspbian (Debian) Pidora (Fedora) และ Arch Linux เป็นต้น โดยติดตั้งบน SD Card บอร์ด Raspberry Pi นี้ถูกออกแบบมาให้มี CPU GPU และ RAM อยู่ภายในชิปเดียวกัน มีการพัฒนา Raspberry Pi ออกมาอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบันซึ่งเป็นรุ่น Raspberry Pi 3 Model B (รูปที่ 2-3)

ตารางที่ 2-1 คุณสมบัติคอมพิวเตอร์แบบบอร์ดเดียวรุ่นอื่นๆ เปรียบเทียบกับ Raspberry Pi

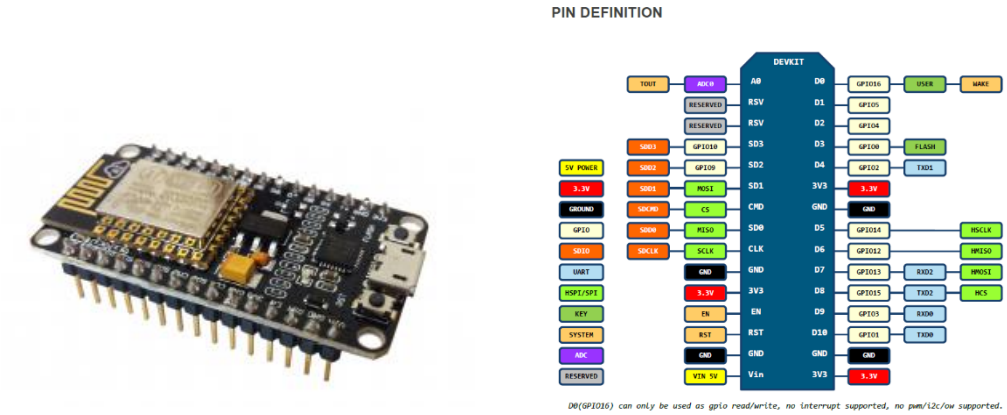
Item	Raspberry Pi 3 Model-B	Beagle Bone Black	Banana Pi
Price	$35	$45	$35
Processor	Quard-Core ARM Coretex-A53 RAM 1GB	Cortex-A8 @1GHz RAM 512MB DDR3L	Dual-Core ARM Coretex-A7 RAM 1GB
Storage	SD Card Slot, USB	2GB flash, µSD	SD Card Slot, USB
Size (mm)	96x71	86.4×53.3	92x60

USB Ports	4	1	2
Operating System	Linux,DebiaNandroid,BSD,RISC, webOS	Angstrom, Ubuntu, Android, Arch Linux, Gentoo, Minix	Linux,DebiaNandroid,Ubuntu
Video	1 HDMI, 1 Composite	1 Micro-HDMI	1 HDMI, 1 Composite
Ethernet	Yes	Yes	Yes
Interfaces	GPIO 40 Pin	GPIO 65 Pin	GPIO 26 Pin

รูปที่ 2-3 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Raspberry Pi 3 Model B

2.4.3 NodeMCU [11]

เป็นแพลตฟอร์มหนึ่งที่ใช้ช่วยในการสร้างโปรเจค Internet of Things (IoT) ที่ประกอบไปด้วย Development Kit (ตัวบอร์ด) และ Firmware (Software บนบอร์ด) ที่เป็น open source สามารถเขียนโปรแกรมด้วยภาษา Lau ได้ ทำให้ใช้งานได้ง่ายขึ้น มาพร้อมกับมอดูล WiFi (ESP8266) ซึ่งเป็นหัวใจสำคัญในการใช้เชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตนั่นเอง NodeMCU นั้นมีลักษณะคล้ายกับ Arduino ตรงที่มีพอร์ตอินพุตและเอาท์พุตในตัว สามารถเขียนโปรแกรมคอนโทรลอุปกรณ์ได้โดยไม่ต้องผ่านอุปกรณ์อื่นๆ และเมื่อไม่นานมานี้ก็มีนักพัฒนาที่สามารถทำให้ Arduino IDE ใช้งานร่วมกับ Node MCU ได้ จึงทำให้ใช้ภาษา C หรือ C++ ในการเขียนโปรแกรมได้ ทำให้เราสามารถใช้งานได้หลากหลายมากยิ่งขึ้น NodeMCU สามารถทำอะไรได้หลายอย่างมากโดยเฉพาะเรื่องที่เกี่ยวข้องกับ IoT ไม่ว่าจะเป็นการทำเว็บเซิร์ฟเวอร์ขนาดเล็ก การควบคุมการเปิดปิดไฟผ่าน WiFi และอื่นๆอีกมากมาย

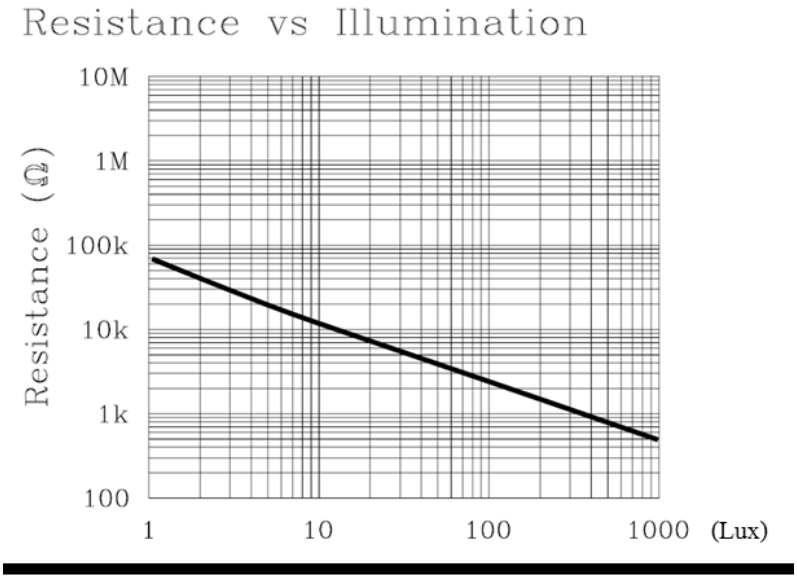


รูปที่ 2-4 บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU และ แผนผังการต่อวงจรของขาบอร์ด

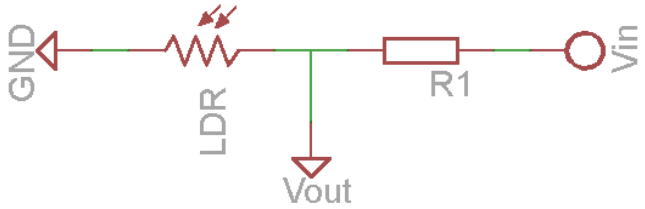
2.5 เซ็นเซอร์ตรวจวัดสภาพแวดล้อมภายในบ้าน

2.5.1 เซ็นเซอร์วัดค่าความสว่าง (Light Sensor)

LDR (Light Dependent Resistor) [12] เป็นตัวต้านทานประเภทหนึ่งที่มีค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงตามความสว่างของแสง โดยมีความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานของเซ็นเซอร์ (LDR) และความสว่างของแสงดังรูปที่ 2-5 และมีการต่อวงจรตามรูปที่ 2-6



รูปที่ 2-5 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานของเซ็นเซอร์ (LDR) และค่าความสว่างของแสง (Lux)



รูปที่ 2-6 วงจรการวัดค่าความสว่างของแสง

จากรูปที่ 2-6 สามารถเขียนสมการแรงดันขาออกจากการแบ่งแรงดันไฟฟ้าได้คือ

$$V_{out} = \frac{LDR \times V_{in}}{LDR + R_1} \quad (2\text{-}1)$$

สามารถหาค่า LDR ได้จากสมการที่ (2-2)

$$LDR = \frac{V_{out} \times R_1}{V_{in} - V_{out}} \quad (2\text{-}2)$$

สามารถคำนวณหาค่าความสว่างได้จากสมการที่ (2-3) และ (2-4)

$$LDR = \frac{500}{Lux} \quad (2\text{-}3)$$

$$Lux = \frac{500}{LDR} \quad (2\text{-}4)$$

โดยค่าความสว่างที่เหมาะสมสำหรับบริเวณต่างๆภายในบ้านแสดงในตารางที่ 2-2 [13]

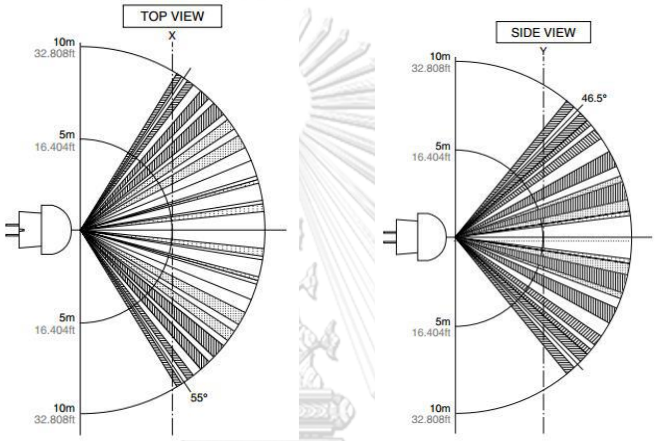
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 2-2 ค่าความสว่างที่เหมาะสมในแต่ละพื้นที่ภายในบ้าน

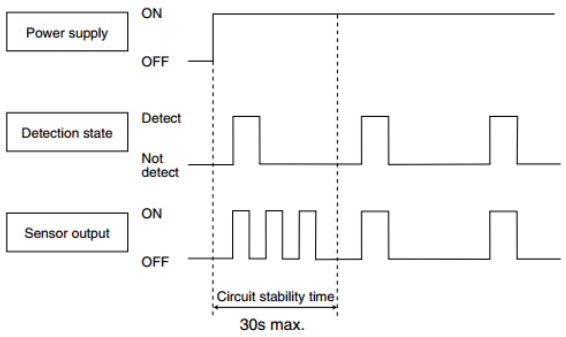
สถานที่	ค่าความส่องสว่าง (Lux)
ที่จอดรถ	50
ห้องน้ำ ห้องเก็บของ	100
ทางเดิน บันได	100
ห้องรับแขกหรือห้องนั่งเล่น	100
ห้องประกอบอาหาร	300
สถานที่	ค่าความส่องสว่าง (Lux)
ห้องรับประทานอาหาร	100
ห้องนอน	50
บริเวณทำงาน	300

2.5.2 เซ็นเซอร์ตรวจวัดการเคลื่อนไหว (Motion Sensor)

PIR Motion Sensor เป็นการตรวจวัดการเคลื่อนไวโดยตรวจจับรังสีอินฟราเรดจากวัตถุผ่านอุปกรณ์เรืองแสงมายัง Pyroelectric ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานความร้อนจากรังสีอินฟราเรดเป็นพลังงานไฟฟ้า ในงานวิจัยนี้จะใช้ PIR Motion Sensor AMN34112 ซึ่งมีระยะตรวจวัดสูงสุดประมาณ 10 เมตร มีขอบเขตการวัดการเคลื่อนไหวได้ 55 องศา ดังรูปที่ 2-7 มีรูปร่างสัญญาณเอาต์พุตแบบดิจิทัลดังรูปที่ 2-8 โดยคำนวณจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างร่างกายมนุษย์กับพื้นหลังในขณะนั้น และ Circuit Stability Time คือเวลาที่จำเป็นในการเริ่มทำงานของวงจรภายในให้มีเสถียรภาพ ซึ่งช่วงเวลานี้เอาต์พุตจะไม่คงที่ [14]



รูปที่ 2-7 ขอบเขตของบริเวณตรวจจับการเคลื่อนไหว



รูปที่ 2-8 รูปร่างของสัญญาณเอาต์พุต

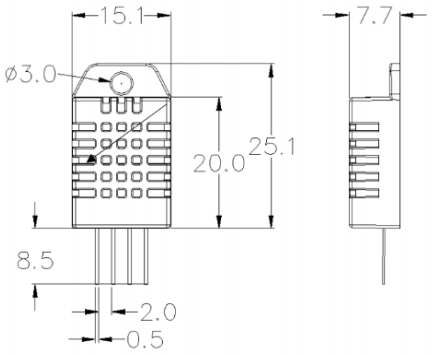
2.5.3 เซ็นเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ (Temperature Sensor)

DHT22 (AM2302) เป็นอุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งมีสัญญาณเอาต์พุตเป็นแบบดิจิทัลทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้โดยง่าย

โดยเชื่อมต่อแบบบิตอนุกรมสองทิศทาง (Serial Data, Bi-Directional) เพื่ออ่านค่าจากเซ็นเซอร์ [15] รูปที่ 2-9 แสดงถึงเซ็นเซอร์ DHT 22

ข้อมูลเชิงเทคนิค (Technical Data)

- ใช้แรงดันไฟเลี้ยง 3.3-5 VDC
- วัดอุณหภูมิได้ในช่วง -40 ถึง 80 °C (±0.5 °C accuracy)
- วัดความชื้นสัมพัทธ์ได้ในช่วง 0 ถึง 100 RH% (2 - 5% accuracy)
- อัตราการอ่านข้อมูล 2 วินาที
- ขาคอนเน็กเตอร์
    - Pin1 – VDD
    - Pin2 – DATA
    - Pin3 – NULL
    - Pin4 – GND



รูปที่ 2-9 เซ็นเซอร์ DHT22

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

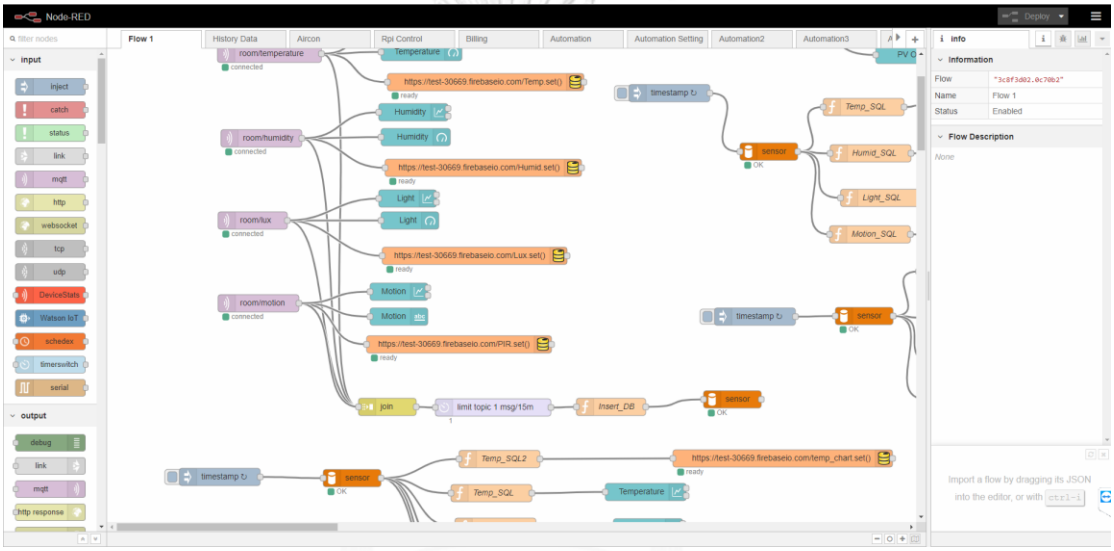
2.6 การพัฒนาโปรแกรมระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน

ในการพัฒนาระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าภายในบ้านมีการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมการทำงานของระบบ โดยงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Raspberry Pi เพื่อใช้ในการประมวลผลอัลกอริทึมต่างๆในระบบ มีการเชื่อมโยงข้อมูลจากอุปกรณ์ต่างๆในระบบเข้าด้วยกัน รวมถึงการเก็บข้อมูลของเซ็นเซอร์และการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบลงในฐานข้อมูล และส่งข้อมูลไปในระบบอินเทอร์เน็ตเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถอ่านข้อมูลจากที่ไหนก็ได้ โดยการพัฒนาโปรแกรมสามารถทำได้หลายวิธี หนึ่งในนั้นคือการใช้เครื่องมือ Node-RED ในการพัฒนาโปรแกรม

Node-RED [16] คือการพัฒนาโปรแกรมบนพื้นฐานของ Flow-based programing ซึ่งจะใช้การเขียนโดยมีการเลือกใช้ Block หรือ Node ซึ่งมีฟังก์ชันการใช้งานต่างๆ แล้วจากนั้นจึงลากเส้น

เพื่อเชื่อมต่อ Block ต่างๆเข้าด้วยกัน เพื่อให้โปรแกรมทำงานตามที่ต้องการได้ โดยการเขียนโปรแกรมแบบนี้จะมีความสะดวกมากขึ้น และสามารถเข้าใจขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมได้ มีความสามารถในการเชื่อมโยงอุปกรณ์ต่างๆเข้าด้วยกันโดยเฉพาะอุปกรณ์ใช้โพรโทคอล MQTT ในการสื่อสาร

โปรแกรมนี้ถูกสร้างขึ้นมาบนพื้นฐานของ Node JS ซึ่งพัฒนาโดย IBM's Emerging Technology Service และ JS Foundation สามารถทำงานบนอุปกรณ์ได้หลายชนิด เช่น คอมพิวเตอร์ หรือ บอร์ด Raspberry Pi โดยการออกแบบ และ การแก้ไขโปรแกรม สามารถทำได้โดยการใช้เว็บบราวเซอร์ดังรูปที่ 2-10



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 2-10 การเขียนโปรแกรม Node-RED ผ่านเว็บบราวเซอร์

2.7 โพรโทคอลการสื่อสารแบบ MQTT

MQTT (Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) [17] คือโพรโทคอลที่ถูกใช้ในการเชื่อมต่อแบบอุปกรณ์กับอุปกรณ์ (Machine-to-Machine) เพื่อให้เราสามารถควบคุมอุปกรณ์ต่างๆจากที่อื่นได้ เช่นการสั่งเปิดปิดไฟในบ้าน หรือการควบคุมอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศเป็นต้น ซึ่งเป็นการสนับสนุนเทคโนโลยี iot (Internet of Things) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

โพรโทคอลนี้ถูกออกแบบมาเพื่อใช้งานกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็ก ซึ่งมีการรับส่งข้อมูลแบนด์วิธท์ต่ำซึ่งเหมาะกับการใช้งานกับอุปกรณ์ iot โดยองค์ประกอบหลักของโพรโทคอล MQTT จะประกอบด้วย

1) Publish/Subscribe

Publish คือการส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ต่างๆ โดยที่จะต้องมีการกำหนดว่าข้อมูลที่ส่งไปนั้นจะส่งไปในหัวข้อ (Topic) ไหน ส่วน Subscribe ก็คือการรับข้อมูลโดยมีการเลือกรับเฉพาะที่มาจาก Topic ที่เรา Subscribe เท่านั้น

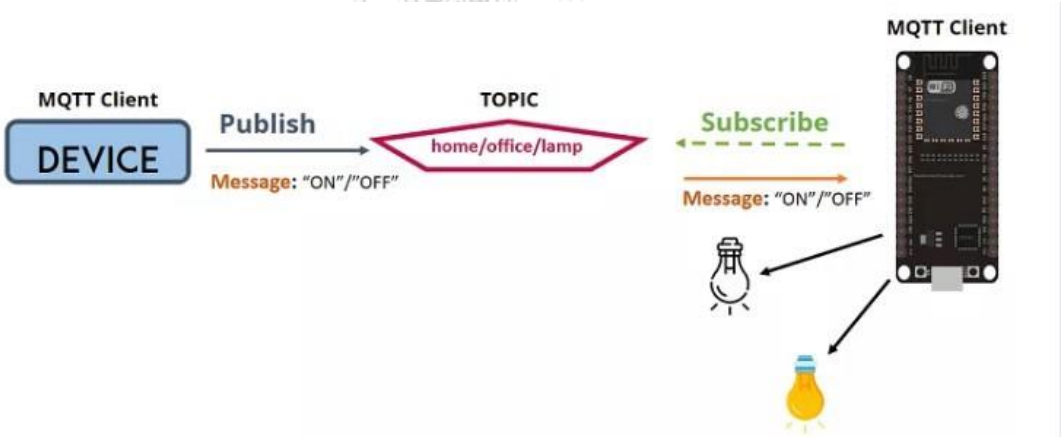
2) Topic

คือหัวข้อที่เราสนใจว่าจะส่งข้อมูลไปยัง topic นี้ หรือรอรับข้อมูล สำหรับ topics นี้อยู่ตลอด ตัวอย่าง เช่น home/office/temperature เป็นต้น

3) Broker

คือตัวกลางที่จะรับข้อมูลมาทั้งหมดมาจาก Clients (Publisher) ไม่ว่าจะเป็น Topic อะไรก็ตามแล้วทำการจัดการส่งข้อมูลไปยัง Clients (Subscriber) ที่ได้ Subscribe สำหรับ topic ที่ได้รับข้อมูลมา สามารถหา global broker หรือ cloud MQTT broker ได้ในหลายๆเว็บไซต์ หรือสามารถสร้างภายในระบบเครือข่าย ของเราได้โดยใช้ Mosquitto broker ซึ่งเราสามารถติดตั้งได้บน Raspberry Pi

โดยตัวอย่างการทำงานของโพรโทคอล MQTT จะมีการแสดงในรูปที่ 2-11



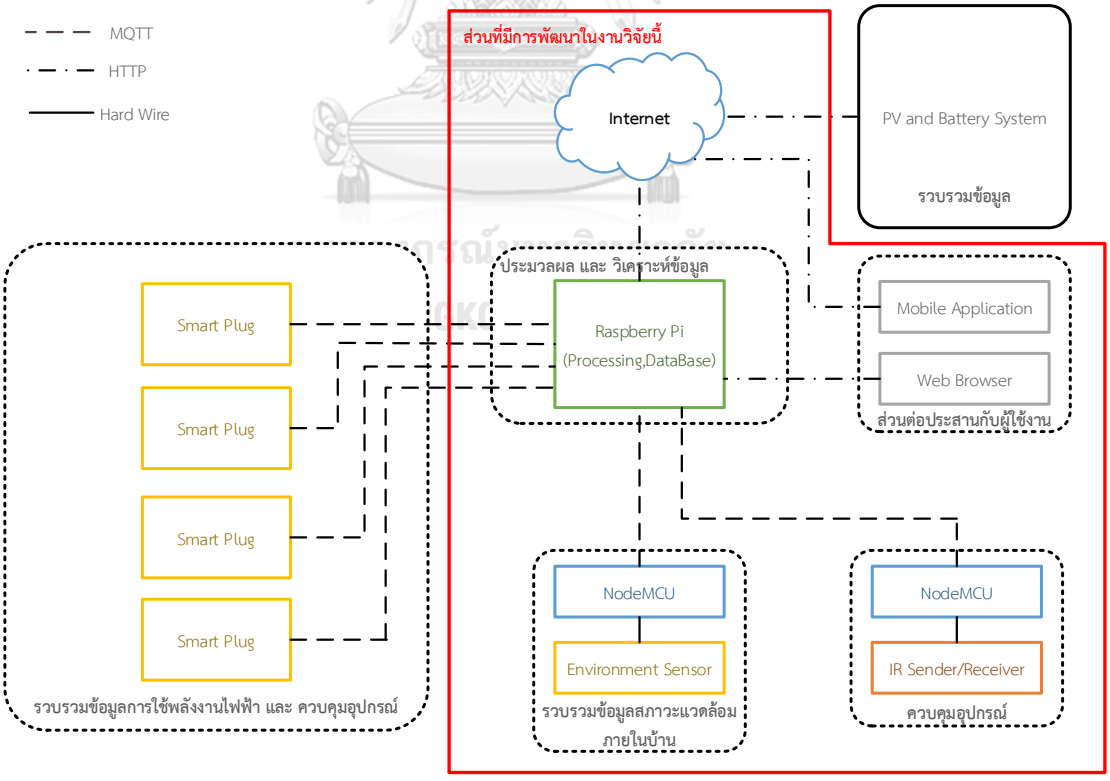
รูปที่ 2-11 การรับส่งข้อมูลแบบ MQTT

(Source: https://randomnerdtutorials.com/what-is-mqtt-and-how-it-works/)

บทที่ 3
การออกแบบระบบและพัฒนาระบบ

3.1 ภาพรวมของระบบ

ระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าภายในบ้านที่นำเสนอจะประกอบด้วยส่วนประกอบ 4 ส่วนหลักๆ คือส่วนรวบรวมข้อมูล ส่วนการวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูล ส่วนการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า และส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ มีขั้นตอนในการทำงานคือ ส่วนรวบรวมข้อมูลจะทำหน้าที่รวบรวมข้อมูลจากเซ็นเซอร์ ซึ่งประกอบด้วยเซ็นเซอร์ตรวจวัดสภาพแวดล้อมภายในบ้าน และเซ็นเซอร์วัดค่าพลังงานไฟฟ้า จากนั้นส่งข้อมูลไปยังส่วนการวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูลซึ่งจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการทำงาน โดยดึงข้อมูลจากระบบฐานข้อมูลที่รวบรวมมาจากเซ็นเซอร์เพื่อวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าจนสามารถให้คำแนะนำวิธีการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างประหยัดกับผู้ใช้ไฟฟ้าได้ จากนั้นจึงมีการส่งข้อมูลไปยังส่วนต่อประสานกับผู้ใช้งาน ทำให้ผู้ใช้งานสามารถรู้ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าในปัจจุบันรวมถึงสามารถควบคุมการทำงานของระบบได้โดยผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน และ เว็บบราวเซอร์



รูปที่ 3-1 ภาพรวมของระบบที่นำเสนอ

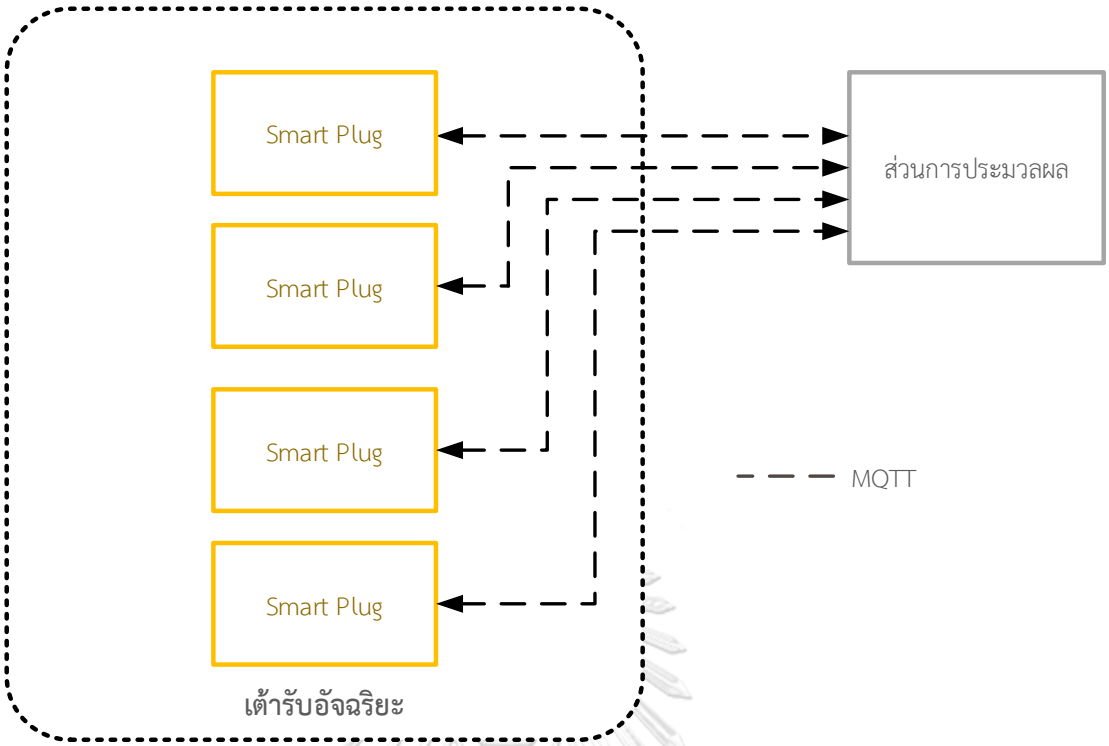
จากรูปที่ 3-1 จะพบว่าเมื่อเทียบกับภาพรวมของระบบที่เคยนำเสนอไปในโครงร่างวิทยานิพนธ์ มีการเปลี่ยนแปลงในส่วนของอุปกรณ์วัดค่าพลังงานไฟฟ้าจากเดิมที่เคยใช้อุปกรณ์วัดค่าพลังงาน El Sensor ของ ENEGATE แล้วส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์ Smart gateway ถูกเปลี่ยนเป็นอุปกรณ์วัดค่าพลังงานไฟฟ้าของ Sonoff แทน โดยอุปกรณ์นี้ มีความสามารถในการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าได้เช่นเดียวกัน พร้อมทั้งความสามารถในการใช้รีเลย์เพื่อควบคุมเปิดปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าได้ในตัวเดียว สามารถส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์ประมวลผล Raspberry Pi ได้โดยตรงผ่านโพรโทคอล MQTT ทำให้มีความสะดวกในการใช้งานมากขึ้น และเป็นการลดขั้นตอนในการพัฒนาอุปกรณ์ในระบบ

3.2 รายละเอียดของส่วนประกอบของระบบในแต่ละส่วน

3.2.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าและการควบคุมอุปกรณ์ (รูปที่ 3-2)

ในการเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าและการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยรีเลย์ จะใช้แนวคิดจากงานวิจัยของ อิทธิ เสาวพรรณ เกี่ยวกับการเชื่อมโยงข้อมูล และการควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้า [2] ซึ่งในงานวิจัยจะมีการใช้อุปกรณ์วัดพลังงาน El Sensor ของ ENEGATE ซึ่งจะวัดกำลังงานไฟฟ้าทั้งหมดภายในบ้าน และอุปกรณ์ตรวจวัดกำลังงานไฟฟ้าของแต่ละอุปกรณ์ (Eco Sensor) โดยอุปกรณ์ทั้งสองนี้จะเชื่อมโยงกันผ่านอุปกรณ์ Smart gateway ซึ่งจะรวบรวมข้อมูลการใช้กำลังงานไฟฟ้าจากอุปกรณ์ต่างๆโดยใช้โพรโทคอล ECHONET Lite ในการติดต่อสื่อสาร โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ Smart Plug ของ Sonoff รุ่น S31 (รูปที่ 3-3) โดยจะมีการเขียนโปรแกรมในส่วนประมวลผลเพื่อเชื่อมต่อสื่อสารกับ Smart Plug โดยจะมีการส่งข้อมูลโดยใช้โพรโทคอล MQTT

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

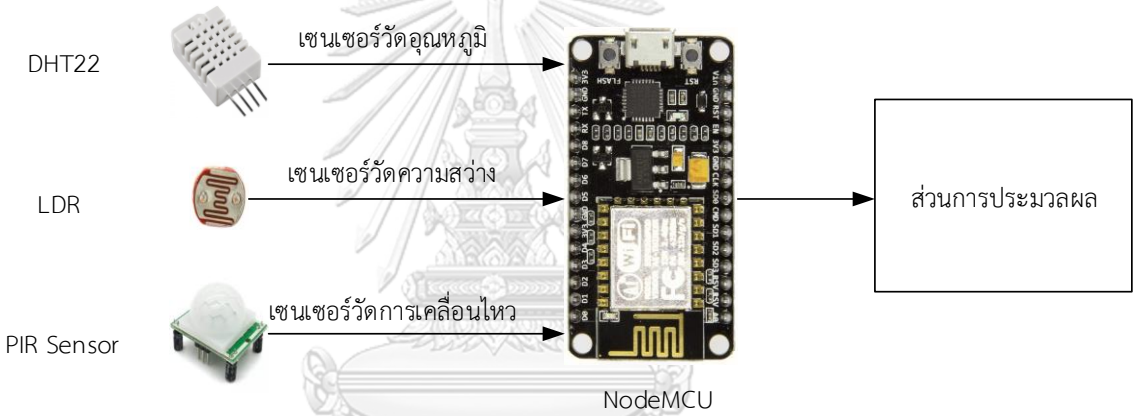


รูปที่ 3-2 การเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าและการควบคุมอุปกรณ์

รูปที่ 3-3 เต้ารับอัจฉริยะ Sonoff S31

3.2.2 การเก็บรวบรวมข้อมูลสภาวะแวดล้อมภายในบ้าน (รูปที่ 3-4)

การควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบอัตโนมัติจำเป็นต้องมีการตรวจสอบข้อมูลจากสภาพแวดล้อมภายในบ้านเพื่อใช้ในการควบคุม โดยจะมีการควบคุมอัตโนมัติโดยเซ็นเซอร์ทั้งหมด 3 ชนิดในงานวิจัยนี้คือ การควบคุมด้วยเซ็นเซอร์วัดความสว่าง ผู้ใช้สามารถเลือกขอบเขตความสว่างเพื่อกำหนดการเปิด-ปิดหลอดไฟได้ การควบคุมด้วยเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ ผู้ใช้สามารถเลือกขอบเขตของอุณหภูมิที่ต้องการเปิด-ปิดพัดลมได้ และการควบคุมด้วยเซ็นเซอร์วัดการเคลื่อนไหว ผู้ใช้สามารถเลือกระยะเวลาการเปิด-ปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าได้ภายในเวลาที่กำหนด หลังจากไม่มีการเคลื่อนไหว เมื่อวัดค่าได้แล้วจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU ในการรับข้อมูลจากเซ็นเซอร์ และส่งค่าผ่านทางระบบสื่อสารแบบไร้สายมายังระบบฐานข้อมูลในส่วนการประมวลผล



รูปที่ 3-4 การเก็บรวบรวมข้อมูลสภาวะแวดล้อมภายในบ้าน

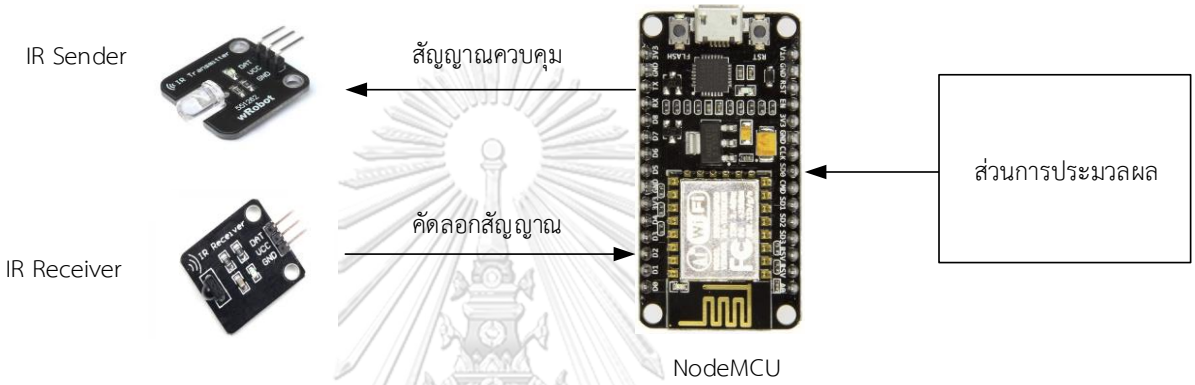
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.2.3 การวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูล

จากภาพรวมของระบบ ข้อมูลต่างๆที่ได้จากเซ็นเซอร์จะถูกส่งมาจากอุปกรณ์ NodeMCU ผ่านระบบการสื่อสารแบบไร้สายมาเก็บไว้ยังฐานข้อมูลและทำการประมวลผล ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้อุปกรณ์ Raspberry Pi มาใช้ในการทำงานในส่วนนี้ เนื่องจากอุปกรณ์ชนิดนี้เป็นคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่มีประสิทธิภาพการทำงานที่สูง ใช้พลังงานต่ำ และสามารถเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตได้ ในส่วนของการประมวลผลข้อมูลจะมีโปรแกรมการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ [1] และโปรแกรมการให้คำแนะนำผู้ใช้งานในการใช้ไฟฟ้าอย่างประหยัด [3] ควบคุมการทำงานอยู่

3.2.4 การควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยอุปกรณ์ส่งสัญญาณอินฟราเรด (รูปที่ 3-5)

ในส่วนนี้จะประกอบด้วย อุปกรณ์ส่งสัญญาณอินฟราเรด (Infrared Sender) และอุปกรณ์รับสัญญาณอินฟราเรด (Infrared Receiver) และไมโครคอนโทรลเลอร์ NodeMCU เพื่อใช้ในการรับข้อมูลจากส่วนการประมวลผลข้อมูล และควบคุมอุปกรณ์รับ-ส่งสัญญาณ โดยอุปกรณ์รับสัญญาณจะทำหน้าที่รับสัญญาณอินฟราเรดจากรีโมทคอนโทรลของเครื่องใช้ไฟฟ้าเพื่อนำมาเลียนแบบสัญญาณควบคุม ส่วนตัวส่งสัญญาณจะทำหน้าที่ส่งสัญญาณอินฟราเรดเพื่อไปควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า



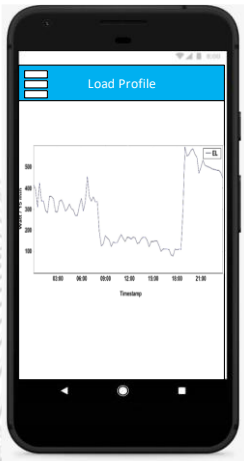
รูปที่ 3-5 การควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยอุปกรณ์ส่งสัญญาณอินฟราเรด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.2.5 ส่วนต่อประสานกับผู้ใช้งาน

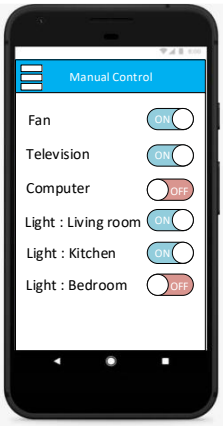
ในส่วนการต่อประสานกับผู้ใช้งานจะมีการพัฒนาแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนซึ่งมีการเชื่อมต่อกับระบบ HEMS ผ่านอินเทอร์เน็ต เพื่อให้ผู้ใช้งานมีความสะดวกในการใช้งานแม้อยู่นอกสถานที่ โดยแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์สมาร์ตโฟน หรือแท็บเล็ต ที่มีอยู่ในปัจจุบันมีการใช้ระบบปฏิบัติการอยู่ 2 ระบบหลักๆที่ได้รับความนิยมสูงสุดคือ ระบบปฏิบัติการ ไอโอเอส และแอนดรอยด์ จากข้อมูลที่ได้ศึกษามาพบว่าการพัฒนาแอปพลิเคชันบนระบบปฏิบัติการไอโอเอสมีความยืดหยุ่นน้อยกว่าเนื่องจากในการเขียนโปรแกรมต้องใช้โปรแกรม Xcode ซึ่งเป็นเครื่องมือพัฒนาที่ใช้ได้กับระบบปฏิบัติการ macOS เท่านั้น ต่างจากโปรแกรม Android Studio ซึ่งสามารถใช้ได้กับระบบปฏิบัติการทั้ง Windows และ macOS ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเน้นไปที่การพัฒนาแอปพลิเคชันบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ โดยพัฒนาด้วยโปรแกรม Android Studio ซึ่งแอปพลิเคชันจะมีความสามารถดังนี้

1) **การแสดงผลข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าแก่ผู้ใช้งาน** แอปพลิเคชันนี้จะมีความสามารถในการแสดงผลข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยจะมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในขณะนั้นแบบเวลาจริงรวมถึงสถิติการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบย้อนหลัง ทำให้ผู้ใช้งานสามารถทราบข้อมูลและมีความตระหนักในการลดการใช้พลังงานหากมีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เกินความจำเป็น โดยจะมีตัวอย่างการแสดงข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าดังรูปที่ 3-6

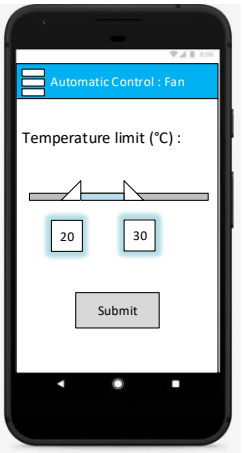


รูปที่ 3-6 ตัวอย่างการแสดงผลข้อมูลการใช้ไฟฟ้าแก่ผู้ใช้งาน

2) **การควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า** แอปพลิเคชันนี้จะมีความสามารถในการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยจะใช้อัลกอริทึมที่พัฒนาโดยดิราภา [1] ในการควบคุมโดยจะมีการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยตนเองซึ่งสามารถเลือกเปิดปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าเป็นรายอุปกรณ์ได้โดยจะมีตัวอย่างดังรูปที่ 3-7 รวมถึงการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบอัตโนมัติโดยใช้เซ็นเซอร์ซึ่งผู้ใช้งานสามารถกำหนดขอบเขตของการควบคุมอุปกรณ์โดยใช้ อุณหภูมิ ความสว่าง และการเคลื่อนไหวได้ ตัวอย่างการแสดงการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าดังรูปที่ 3-8

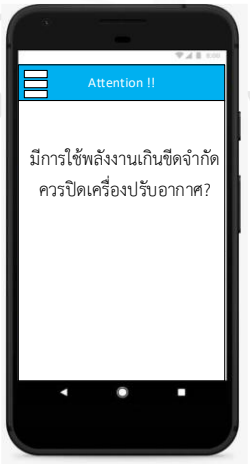


รูปที่ 3-7 ตัวอย่างการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยตัวเองโดยใช้แอปพลิเคชัน



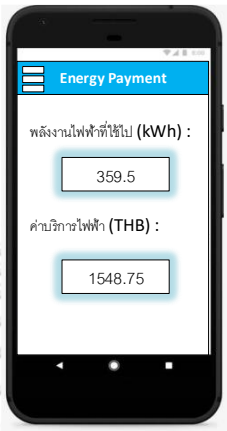
รูปที่ 3-8 ตัวอย่างการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบอัตโนมัติโดยใช้แอปพลิเคชัน

3) **การให้คำแนะนำแก่ผู้ใช้งานเพื่อการใช้พลังงานอย่างประหยัด** แอปพลิเคชันนี้จะมีความสามารถในการให้คำแนะนำแก่ผู้ใช้งานโดยจะใช้การวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยใช้อัลกอริทึมของวนัสนันท์ [3] โดยจะขึ้นเป็นข้อความแจ้งเตือนดังตัวอย่างในรูปที่ 3-9 ซึ่งผู้ใช้งานสามารถเลือกที่จะปฏิบัติตามหรือไม่ก็ได้ โดยหากผู้ใช้งานเลือกไม่ปฏิบัติตามคำแนะนำและการใช้พลังงานไฟฟ้าเกินขีดจำกัดที่กำหนดไว้ ระบบจะควบคุมการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยอัตโนมัติเพื่อลดการใช้พลังงาน



รูปที่ 3-9 ตัวอย่างการให้คำแนะนำแก่ผู้ใช้งานเพื่อการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างประหยัด

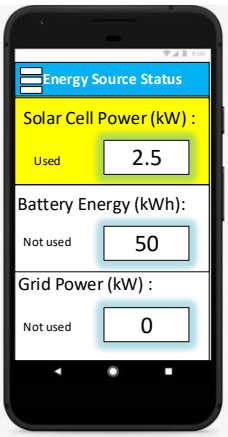
4) **การแสดงผลค่าบริการไฟฟ้ารายเดือนแก่ผู้ใช้งาน** แอปพลิเคชันนี้จะมีความสามารถคำนวณค่าใช้จ่ายไฟฟ้าแบบเวลาจริงโดยใช้หลักการคิดค่าไฟของการไฟฟ้านครหลวง [9] ทำให้ผู้ใช้งานทราบถึงรายจ่ายที่ต้องเสียในปัจจุบันและสามารถตระหนักถึงการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างประหยัด ตัวอย่างการแสดงไฟฟ้ารายเดือนดังรูปที่ 3-10



รูปที่ 3-10 ตัวอย่างการแสดงค่าใช้จ่ายไฟฟ้ารายเดือนในแอปพลิเคชัน

5) **การแสดงสถานะการใช้แหล่งพลังงาน** แอปพลิเคชันนี้จะมีความสามารถแสดงสถานะการใช้พลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานต่างๆโดยแสดงค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้โดยเซลล์แสงอาทิตย์ พลังงานไฟฟ้าที่ถูกเก็บในแบตเตอรี่ และแหล่งพลังงานที่กำลังใช้อยู่ในขณะนี้ ตัวอย่างการแสดงสถานะการเลือกใช้แหล่งพลังงานดังรูปที่ 3-11

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 3-11 ตัวอย่างการแสดงสถานการณ์เลือกใช้แหล่งพลังงานในแอปพลิเคชัน

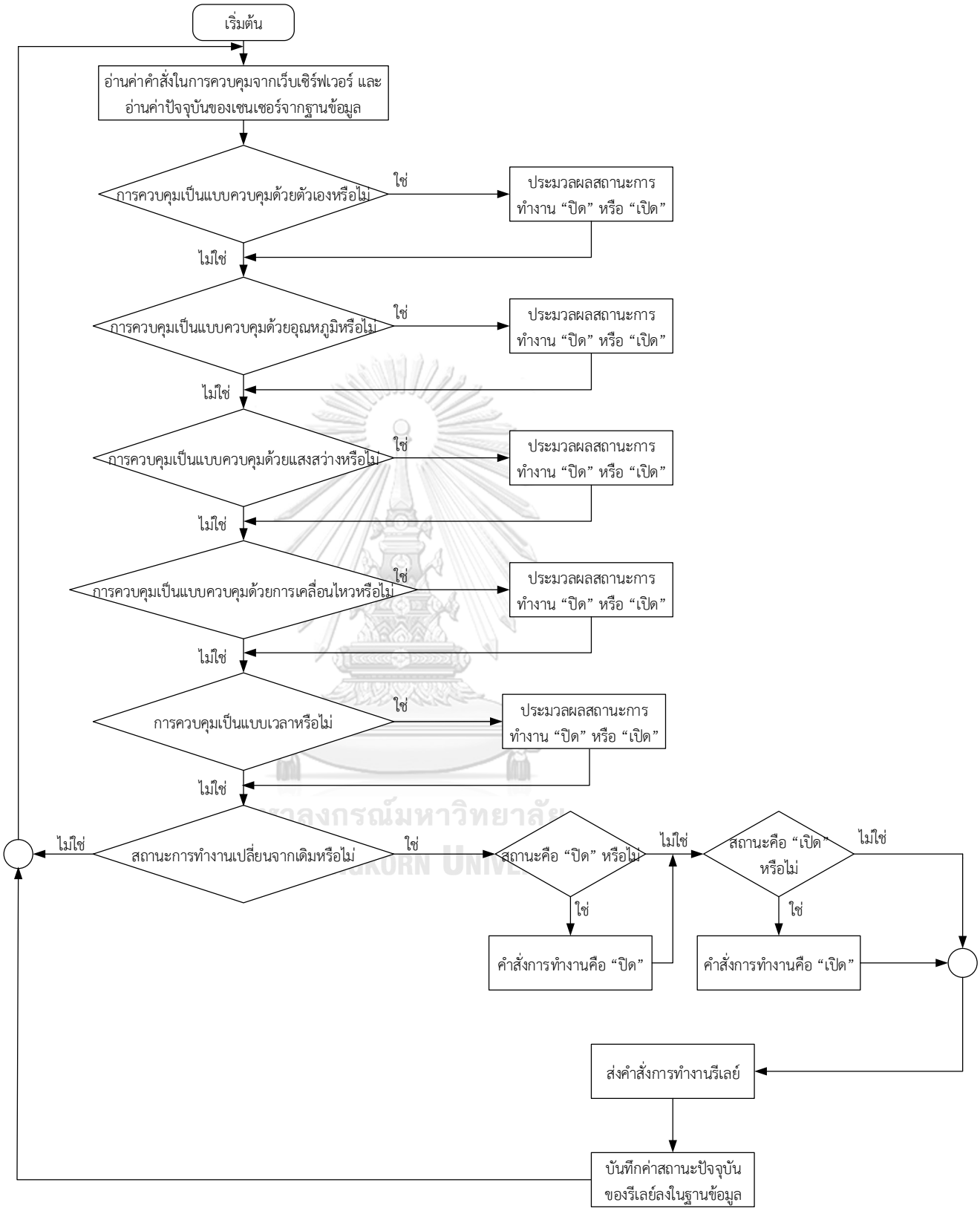
3.2.6 โปรแกรมการบริหารจัดการพลังงาน

จากวิธีการทำงานของระบบ HEMS ดังรูปที่ 2-1 สามารถแบ่งได้เป็นการ แสดงข้อมูลการใช้ พลังงานภายในบ้านเพื่อให้ผู้ใช้งานมีจิตสำนึกในการลดการใช้พลังงานด้วยตัวเอง การวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้พลังงานและให้คำแนะนำการใช้พลังงานอย่างประหยัด การควบคุมอุปกรณ์แบบอัตโนมัติ และการเลือกใช้แหล่งพลังงานที่มีความเหมาะสม การที่จะทำให้ระบบ HEMS สมบูรณ์จะต้องมีการพัฒนาระบบให้มีฟังก์ชันการทำงานครบทั้ง 3 อย่างดังที่กล่าวมา

1) โปรแกรมการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า

ดิราภา สุวรรณฤทธิ์ [1] ได้พัฒนาการทำงานของโปรแกรมโดยมีการรับคำสั่งจากผู้ใช้งานจากทางระบบเว็บเซิร์ฟเวอร์ และข้อมูลจากเซ็นเซอร์ต่างๆจากระบบฐานข้อมูล โปรแกรมจะควบคุมโดยนำคำสั่งการควบคุมจากเว็บเซิร์ฟเวอร์มาตรวจสอบเงื่อนไขตามการควบคุมแบบต่างๆ เมื่อตรวจสอบข้อมูลจากเซ็นเซอร์แล้วตรงกับเงื่อนไขการทำงานของอุปกรณ์นั้น จะมีการส่งคำสั่งไปยังอุปกรณ์ควบคุมผ่านทางระบบการสื่อสารเพื่อควบคุมการทำงานและส่งสถานะการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าไปเก็บยังฐานข้อมูลโดยมีแผนผังการทำงานของโปรแกรมดังรูปที่ 3-12

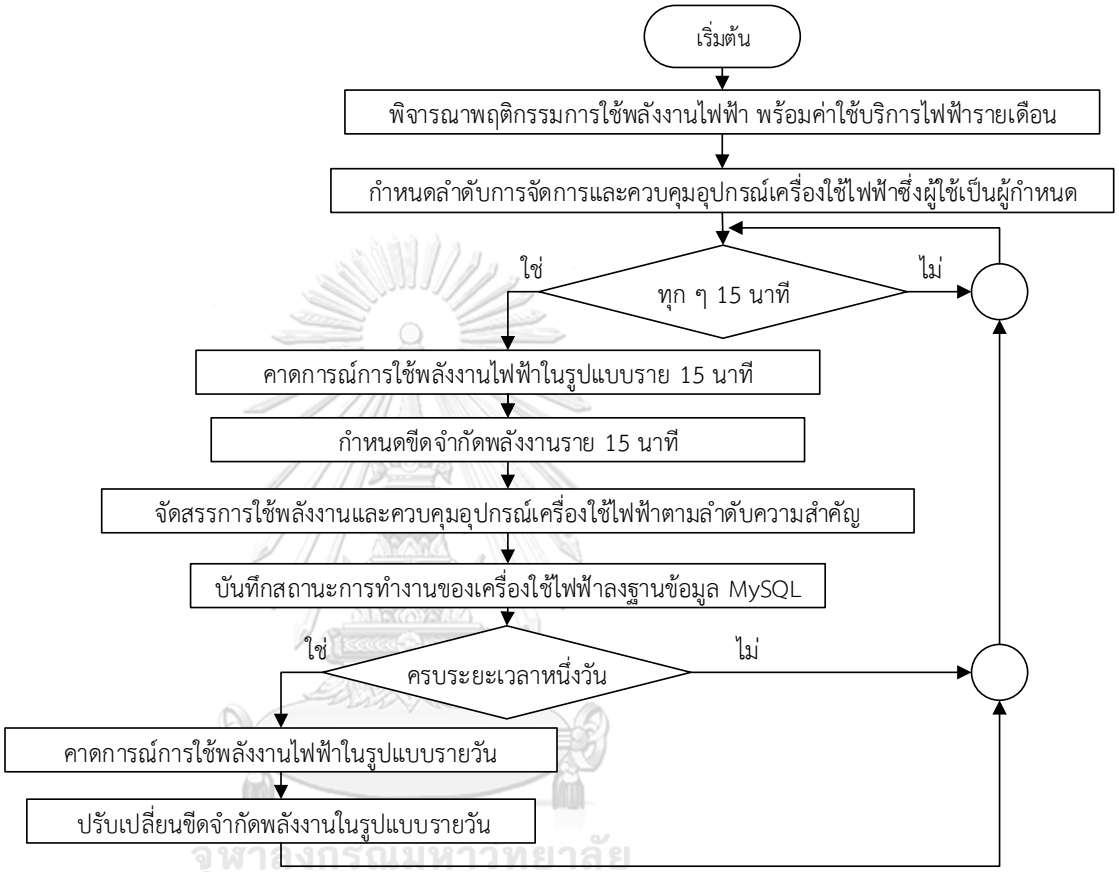
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 3-12 แผนผังการทำงานของโปรแกรมควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า [1]

2) โปรแกรมการจัดการควบคุมพลังงานบนพื้นฐานพฤติกรรมของผู้ใช้ไฟฟ้า

วนัสนันท์ ฟุ้งสิริรัตน์ ได้พัฒนาอัลกอริทึมสำหรับระบบ HEMS โดยมีการควบคุมการใช้พลังงานโดยอัตโนมัติ โดยพิจารณาจากพื้นฐานพฤติกรรมของผู้ใช้ไฟฟ้า [3] มีส่วนการทำงานหลักๆ ดังที่แสดงในรูปที่ 3-13

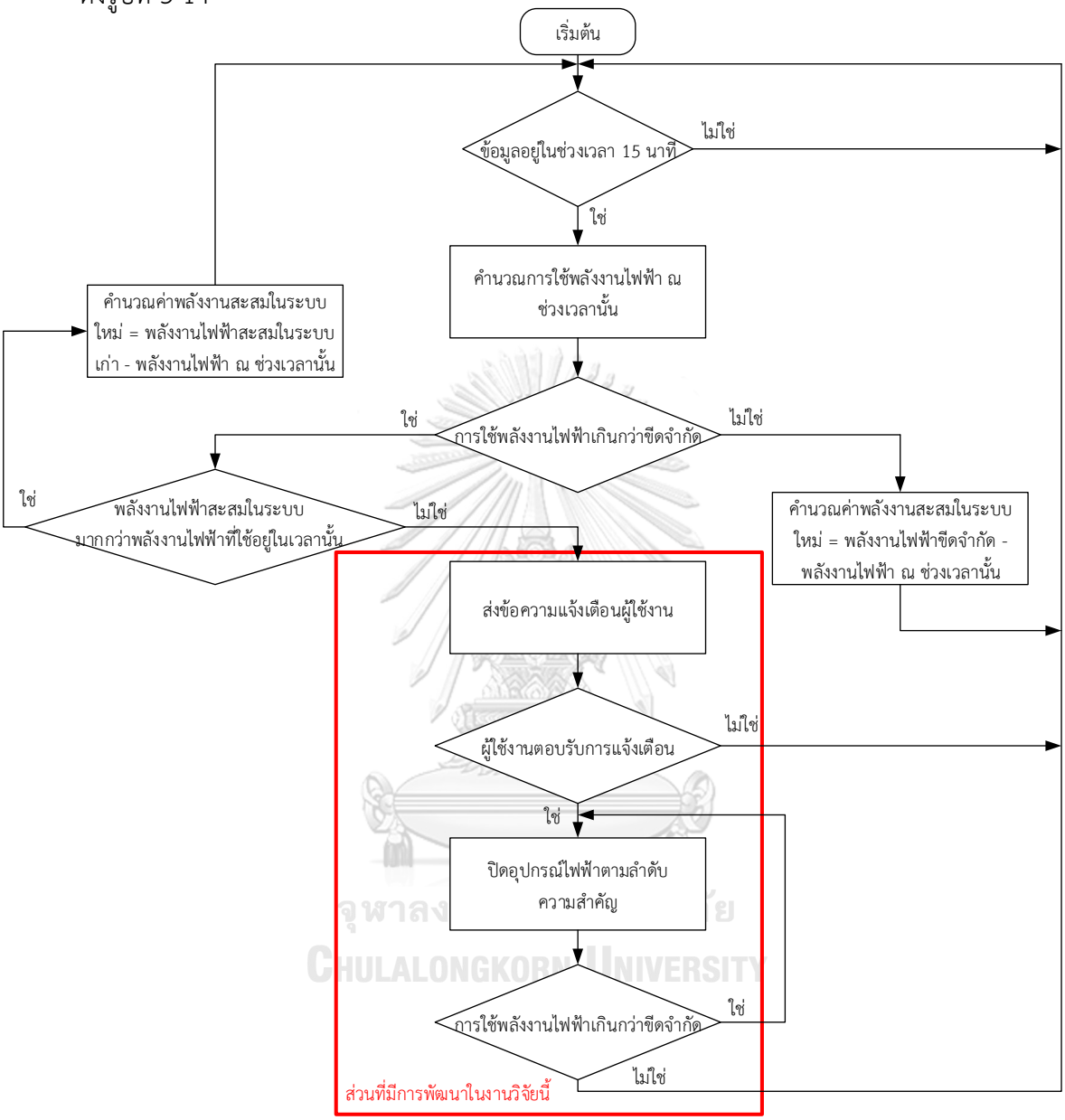


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 3-13 แผนผังการทำงานของโปรแกรมการจัดการควบคุมพลังงานบนพื้นฐานพฤติกรรมของผู้ใช้ไฟฟ้า [3]

นอกจากนี้วนัสนันท์ยังได้พัฒนาอัลกอริทึมสำหรับระบบการให้คำแนะนำวิธีการใช้พลังงานอย่างประหยัดแก่ผู้ใช้งาน [18] ซึ่งเป็นหนึ่งในองค์ประกอบของระบบ HEMS ในรูปที่ 4-1 โดยการทำงานของโปรแกรมจะมีการตรวจสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าทุก 15 นาที แล้วนำค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน เปรียบเทียบกับขีดจำกัดในการใช้พลังงานไฟฟ้า หากมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเกินกว่าขีดจำกัดที่กำหนดไว้ จะมีการส่งข้อความแจ้งเตือนผู้ใช้งาน หากผู้ใช้งานตอบรับคำแจ้งเตือนจะมีการ

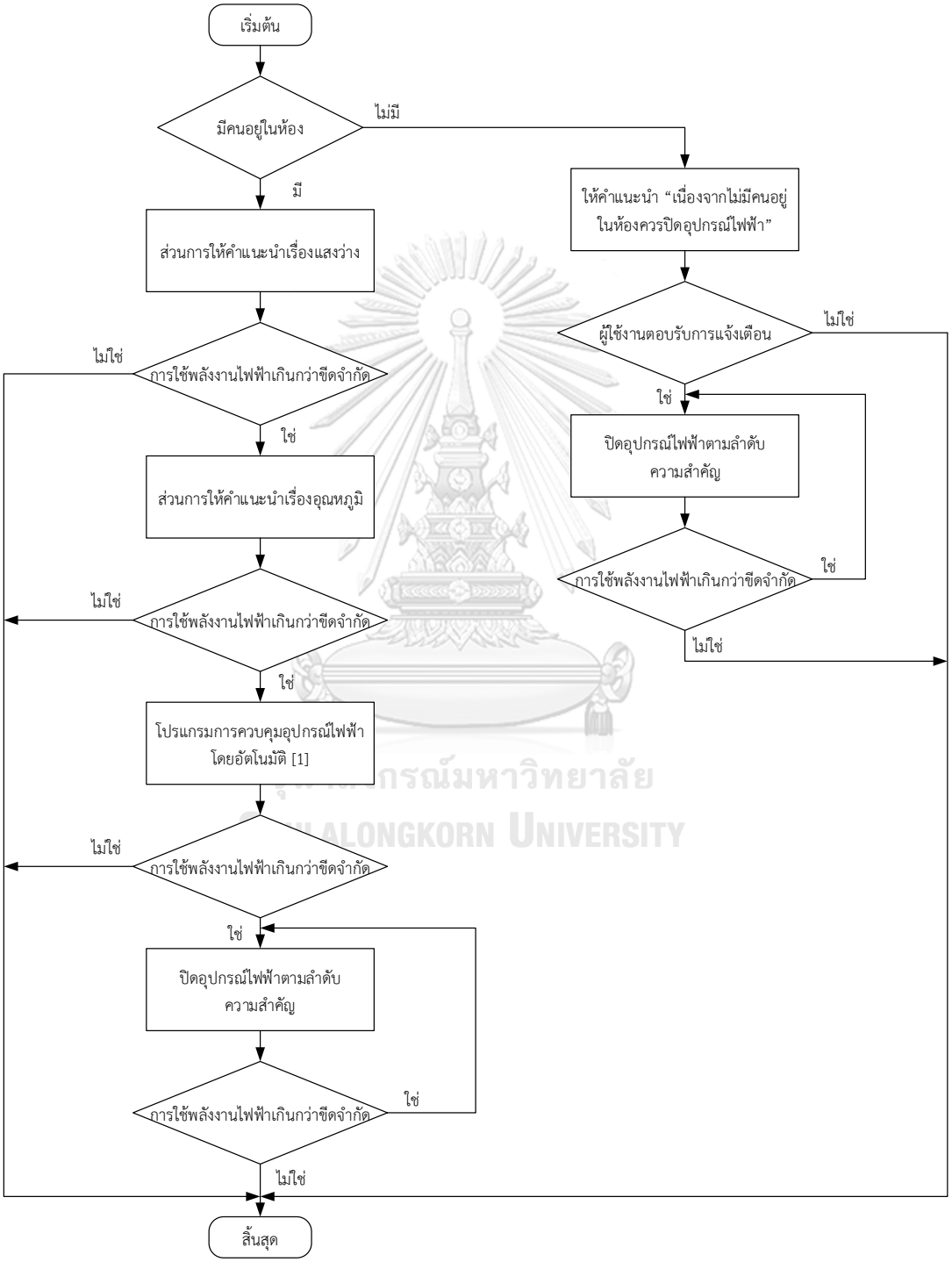
สั่งปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าตามลำดับความสำคัญที่ผู้ใช้งานได้กำหนดไว้ ซึ่งโปรแกรมจะมีขั้นตอนการทำงานดังรูปที่ 3-14



รูปที่ 3-14 อัลกอริทึมสำหรับให้คำแนะนำวิธีการใช้พลังงานอย่างประหยัด [18]

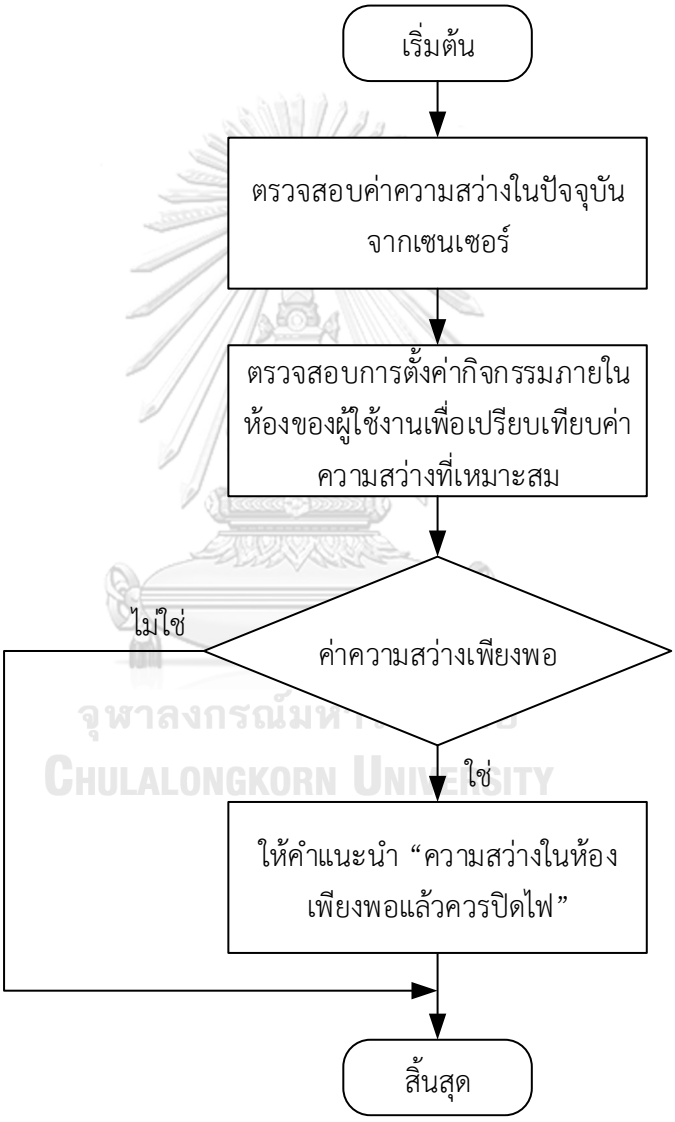
เนื่องจากอัลกอริทึมการให้คำแนะนำแก่ผู้ใช้งานเพื่อการใช้ไฟฟ้าอย่างประหยัด [18] ยังไม่มีการนำข้อมูลจากเซ็นเซอร์มาเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อการให้คำแนะแก่ผู้ใช้งานอย่างถูกต้อง งานวิจัยนี้จึงได้มีการพัฒนาอัลกอริทึมในส่วนของการส่งข้อความแจ้งเตือนผู้ใช้งานรวมถึงการควบคุม

อุปกรณ์ไฟฟ้าเพิ่มเติม โดยจะมีการนำข้อมูลจากเซ็นเซอร์ตรวจวัดสภาวะแวดล้อมภายในบ้านมาใช้ในการวิเคราะห์และส่งข้อความแจ้งเตือนผู้ใช้งานอย่างเหมาะสม โดยจะมีอัลกอริทึมการส่งข้อความเพื่อให้คำแนะนำวิธีการใช้พลังงานอย่างประหยัดและการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าที่พัฒนาขึ้นมาดังรูปที่ 3-15

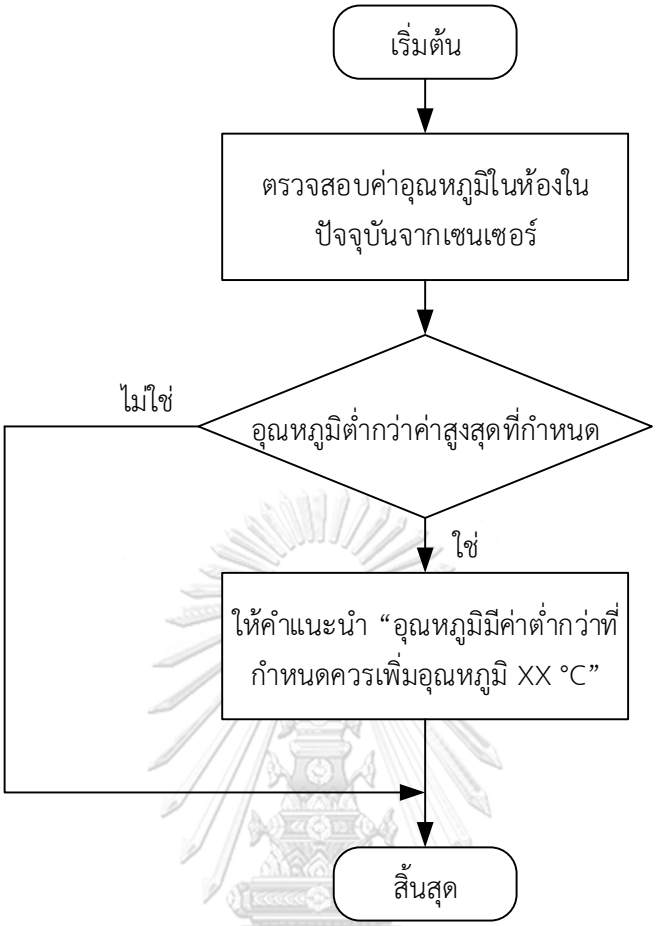


รูปที่ 3-15 อัลกอริทึมสำหรับการส่งข้อความแจ้งเตือนผู้ใช้งานและการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า

ในส่วนของอัลกอริทึมการให้คำแนะนำเรื่องแสงสว่างและการให้คำแนะนำเรื่องอุณหภูมิจะแสดงดังรูปที่ 3-16 และ 3-17 ตามลำดับ โดยในส่วนของแสงสว่างจะมีการให้ผู้ใช้งานกำหนดกิจกรรมที่ทำในห้องจากการตั้งค่าในแอปพลิเคชันเพื่อกำหนดค่าความสว่างที่เหมาะสมในกิจกรรมนั้นๆ โดยจะมีการอ้างอิงค่าความสว่างจากตารางที่ 4-2 สำหรับในส่วนของอุณหภูมิจะมีการให้ผู้ใช้งานกำหนดอุณหภูมิสูงสุดที่ต้องการจะเพิ่ม และค่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในแต่ละครั้งได้จากแอปพลิเคชัน



รูปที่ 3-16 อัลกอริทึมส่วนการให้คำแนะนำเรื่องแสงสว่าง

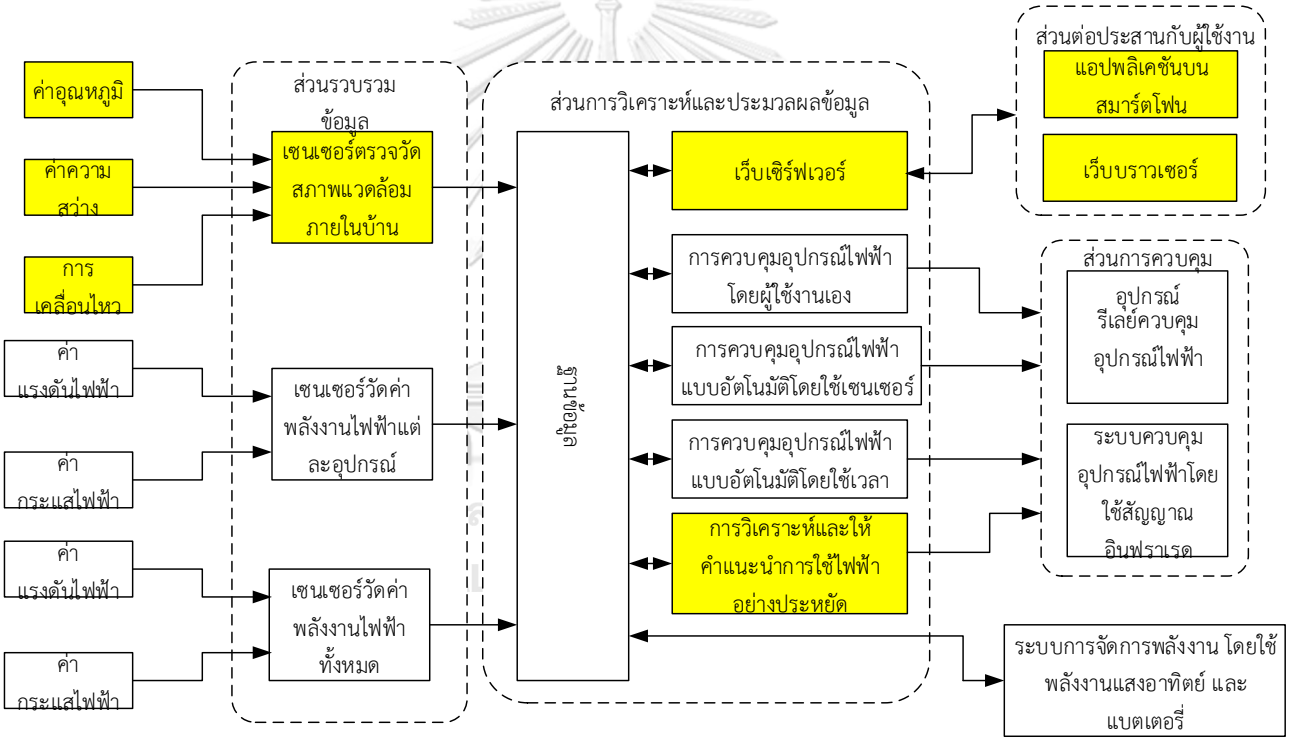


รูปที่ 3-17 อัลกอริทึมส่วนการให้คำแนะนำเรื่องอุณหภูมิ

3.2.7 การทำงานของระบบโดยรวม

การทำงานของระบบจะมีการรับค่าจากเซ็นเซอร์ต่างๆ ประกอบด้วยเซ็นเซอร์ตรวจวัดสภาพแวดล้อมภายในบ้าน เซ็นเซอร์วัดค่าพลังงานไฟฟ้าของแต่ละอุปกรณ์ และเซ็นเซอร์วัดค่าพลังงานไฟฟ้าทั้งบ้าน ข้อมูลทั้งหมดจะถูกส่งไปเก็บรวบรวมที่ระบบฐานข้อมูลในส่วนของการประมวลผล จะมีการพัฒนาเว็บเซิร์ฟเวอร์เพื่อใช้ในการติดต่อสื่อสารกับผู้ใช้งาน โดยผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนและเว็บบราวเซอร์เพื่อใช้ในการแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมหรือการใช้พลังงานไฟฟ้าของแต่ละอุปกรณ์ รวมถึงการควบคุมการทำงานของระบบ ในส่วนของการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าจะใช้แนวคิดของ ดิราภา สุวรรณฤทธิ์ [1] ที่ได้พัฒนาโปรแกรมการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยแบ่งเป็นการควบคุม 3 ลักษณะคือ การควบคุมโดยผู้ใช้งานเอง การควบคุมแบบอัตโนมัติโดยใช้เซ็นเซอร์ตรวจวัดสภาพแวดล้อมภายในบ้าน และการควบคุมแบบอัตโนมัติโดยใช้เวลาซึ่งเป็นการตั้งเวลาเปิดปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ นอกจากนี้ยังมีการควบคุมโดยใช้แนวคิดของ วนัสนันท์ ฟุ้งสิริรัตน์ [3] ซึ่งเป็นการควบคุมบนพื้นฐานของ

พฤติกรรมผู้ใช้งานโดยมีการวิเคราะห์และให้คำแนะนำการใช้พลังงานอย่างประหยัดกับผู้ใช้งาน ในส่วนของการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าจะมีการรับคำสั่งจากโปแกรมการควบคุมต่างๆที่ได้กล่าวมาข้างต้น สามารถควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยการเปิดปิดด้วยรีเลย์ และควบคุมโดยใช้สัญญาณอินฟราเรดซึ่งจะทำหน้าหน้าที่เป็นรีโมตคอนโทรลเพื่อควบคุมอุปกรณ์ เช่น การปรับอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการเชื่อมโยงกับระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าของ นภสินธุ์ พงษ์เลาหพันธุ์ [4] ซึ่งพัฒนาการจัดการพลังงานภายในบ้านโดยใช้เซลล์แสงอาทิตย์และแบตเตอรี่ โดยมีการส่งค่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าทั้งหมดภายในบ้านจากฐานข้อมูลไปยัง ระบบ และรับค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้โดยเซลล์แสงอาทิตย์รวมถึงพลังงานไฟฟ้าที่สะสมไว้ในแบตเตอรี่มาเก็บรวมรวมในฐานข้อมูล โดยระบบทั้งหมดจะมีการทำงานโดยรวมดังรูปที่ 3-18

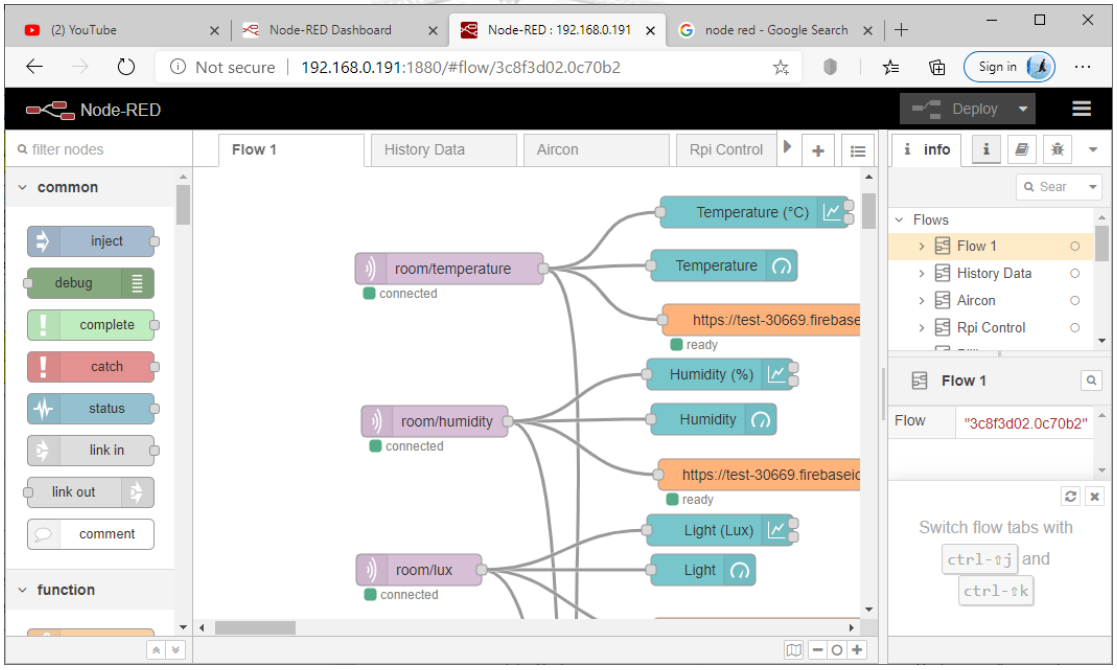


รูปที่ 3-18 แผนผังการทำงานของระบบ HEMS โดยรวม

จากภาพรวมของระบบในรูปที่ 3-18 จะเป็นการนำระบบต่างๆที่ถูกพัฒนาขึ้นจนสำเร็จจากกลุ่มวิจัย HEMS มาเชื่อมโยงกันให้เป็นระบบ HEMS ที่สมบูรณ์ ซึ่งงานวิจัยนี้จะมีการพัฒนาส่วนต่อประสานกับผู้ใช้งานเพิ่มเติม โดยมีการพัฒนาเว็บเซิร์ฟเวอร์ให้รองรับการส่งข้อมูลสถิติการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมถึงคำแนะนำการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างประหยัด พัฒนาแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนระบบ Android และพัฒนาอัลกอริทึมในส่วนของการให้คำแนะนำการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างประหยัดแก่ผู้ใช้งานให้สามารถให้คำแนะนำได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น รวมถึงการพัฒนาระบบการตรวจวัดสภาพแวดล้อมภายในบ้านเพื่อให้สามารถทำงานร่วมกับระ HEMS ได้อย่างสมบูรณ์

3.3 การออกแบบระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าภายในบ้านโดยใช้โปรแกรม Node-Red บน Raspberry Pi

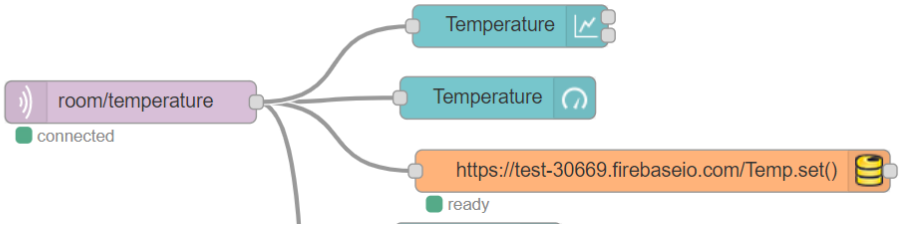
Node-Red คือเครื่องมือที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมโดยใช้ลักษณะของการเขียนผังการไหล (Flow-based programming for the Internet of Things) ทำให้การเขียนโปรแกรมมีความสะดวกมากขึ้น ถูกพัฒนาขึ้นมาบนพื้นฐานของ Javascript (Node.JS) โดยโปรแกรมนี้สามารถดาวน์โหลดมาติดตั้งบนไมโครคอนโทรลเลอร์ Raspberry Pi ได้ การเรียกใช้งานโปรแกรมจะต้องเรียกผ่านเว็บบราวเซอร์โดยใช้ที่อยู่ IP ของ Raspberry-Pi:1880 ตัวอย่างการเรียกใช้งาน Node-Red แสดงเป็นหน้าตาของโปรแกรมในรูปที่ 3-19



รูปที่ 3-19 การเข้าใช้งาน Node-Red ผ่านเว็บบราวเซอร์

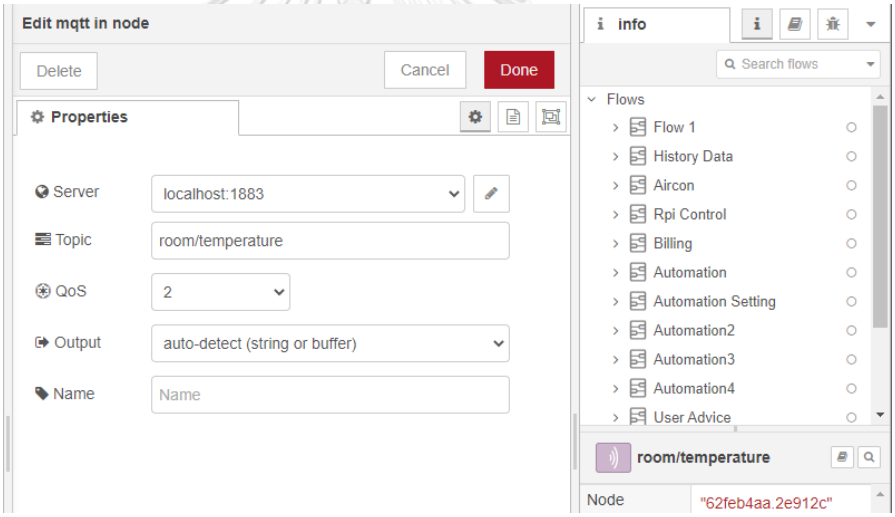
ในการเขียนโปรแกรมโดยใช้ Node-Red จะใช้การลากมอดูลต่างๆจากทางซ้ายซึ่งเรียกว่า Node ซึ่งจะเป็นตัวแทนของอินพุตฟังก์ชันและเอาต์พุตของโปรแกรมมาวางจากนั้นลากเส้นเพื่อเชื่อมโยง Node ต่างๆเข้าด้วยกันเพื่อกำหนดการทำงานของโปรแกรม

ตัวอย่างของโปรแกรมการรับค่าข้อมูลจากเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิมาเพื่อแสดงค่าบนเว็บบราวเซอร์เพื่อแสดงผลเป็นกราฟฟิกเกจ์วันอุณหภูมิและแสดงค่าเป็นกราฟเทียบอุณหภูมิกับเวลารวมถึงการนำค่าไปเก็บบน Google Firebase สามารถทำได้โดยการลาก Node ต่างๆ มาวางจากนั้นลากเส้นเชื่อมโยงเข้าหากันดังที่แสดงในรูปที่ 3-20



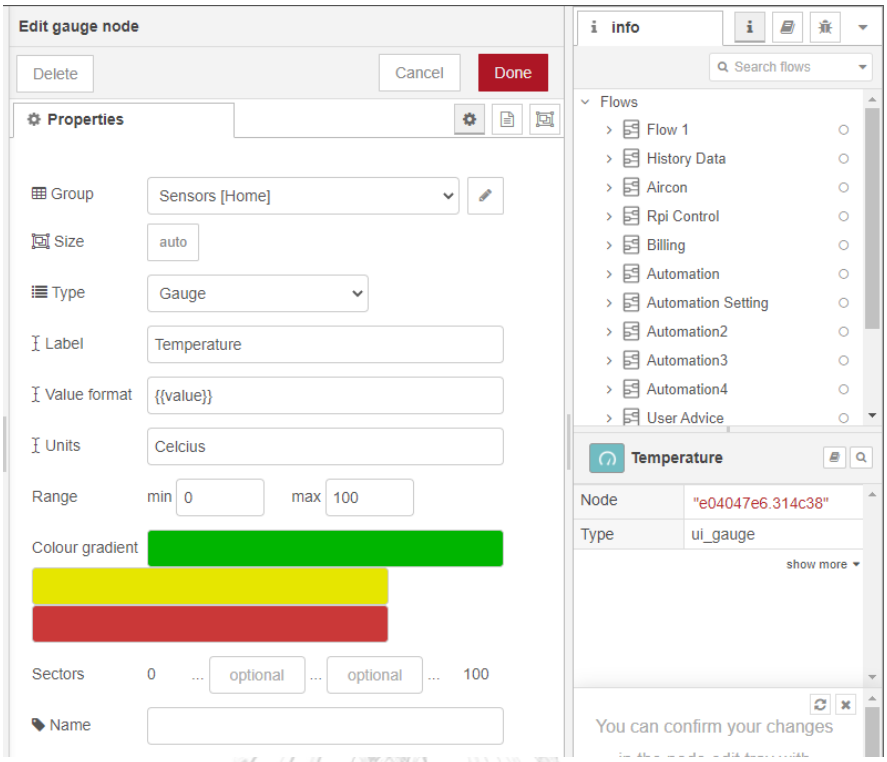
รูปที่ 3-20 การเขียนโปรแกรมเพื่ออ่านค่าอุณหภูมิจากเซ็นเซอร์ใน Node-Red

ในการทำงานของแต่ละ Node จะต้องมีตั้งค่าการทำงานในแต่ละ Node โดยการดับเบิลคลิกเข้าไปที่ Node ต่างๆเพื่อตั้งค่าการทำงาน จากตัวอย่างจะมีการตั้งค่าที่ Node room/temperature เพื่อรับค่าจากเซ็นเซอร์วัดอุณภูมิที่ส่งค่ามายัง ผ่านโพรโทคอล MQTT ซึ่งจะมีการตั้งค่าตามรูปที่ 3-21

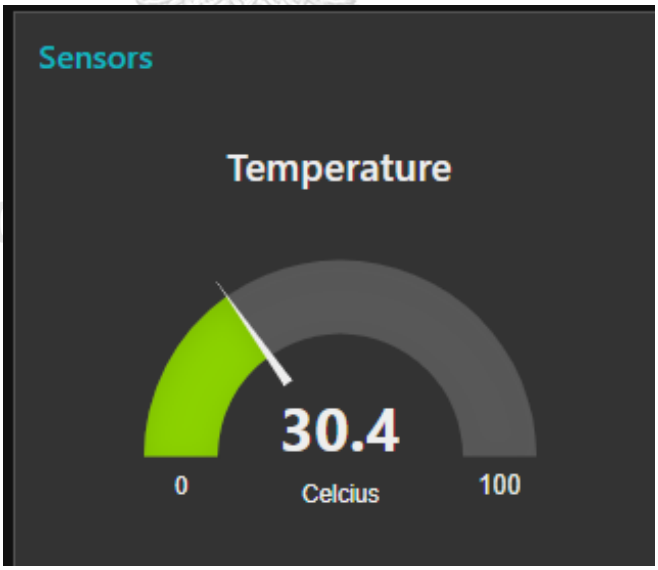


รูปที่ 3-21 การตั้งค่า Node room/temperature ในการรับค่าอุณหูมิจากเซ็นเซอร์ใน Node-Red

ในการแสดงข้อมูลอุณหภูมิในรูปแบบกราฟิกเกจ์วัดอุณหภูมิซึ่งจะแสดงผลในเว็บเพจของ Node-Red จะมีการตั้งค่าดังรูปที่ 3-22 และจะแสดงผลในเว็บเพจของ Node-Red UI ดังรูปที่ 3-23 ตามลำดับ

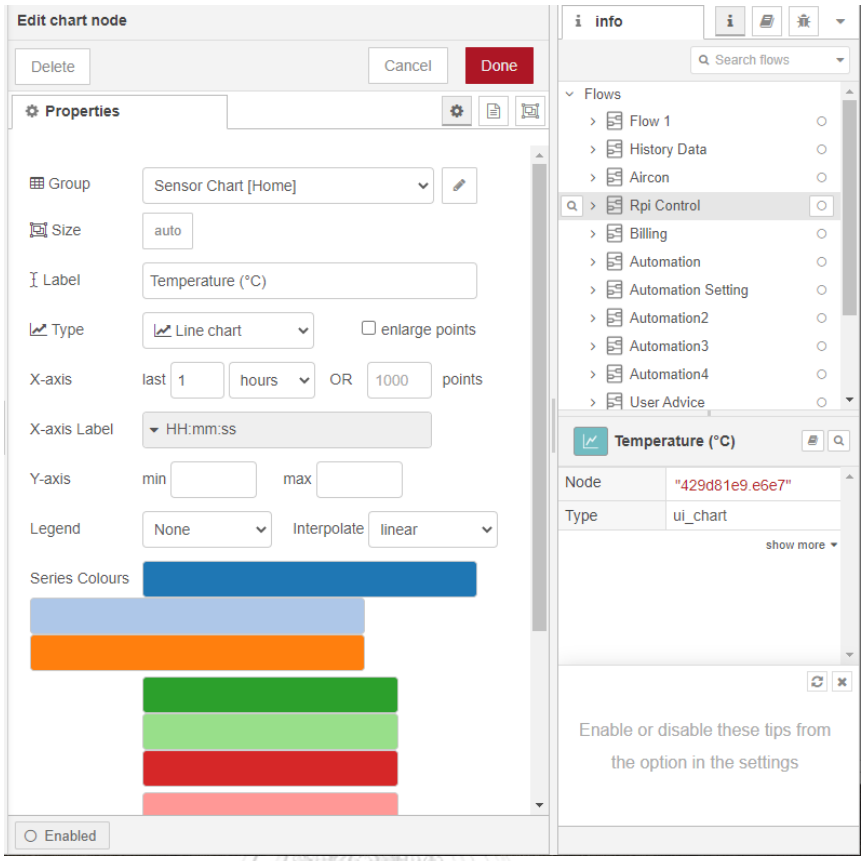


รูปที่ 3-22 การตั้งค่า Node Temperature เพื่อแสดงค่าอุณหภูมิแบบกราฟฟิก

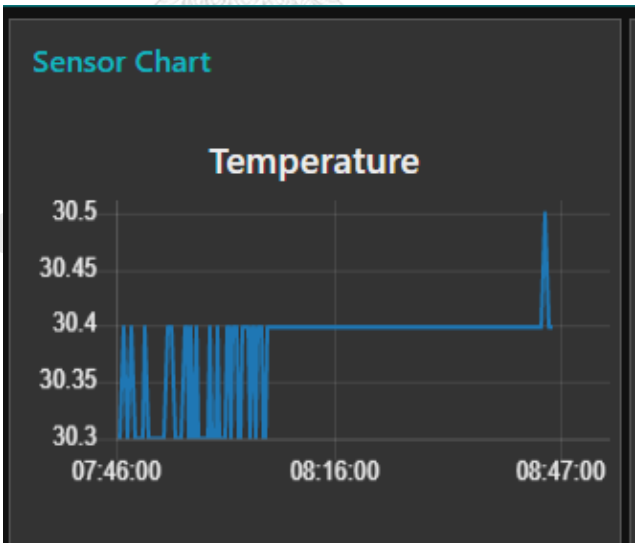


รูปที่ 3-23 การแสดงผลข้อมูลอุณหภูมิในเว็บเพจของ Node-Red UI ในรูปแบบกราฟิกเกจ์วัดอุณหภูมิ

ในการแสดงข้อมูลของอุณหภูมิในรูปแบบกราฟจะต้องมีการปรับตั้งค่า Node Temperature ตามที่แสดงในรูปที่ 3-24 และจะมีการแสดงผลข้อมูลในรูปแบบกราฟดังรูปที่ 3-25

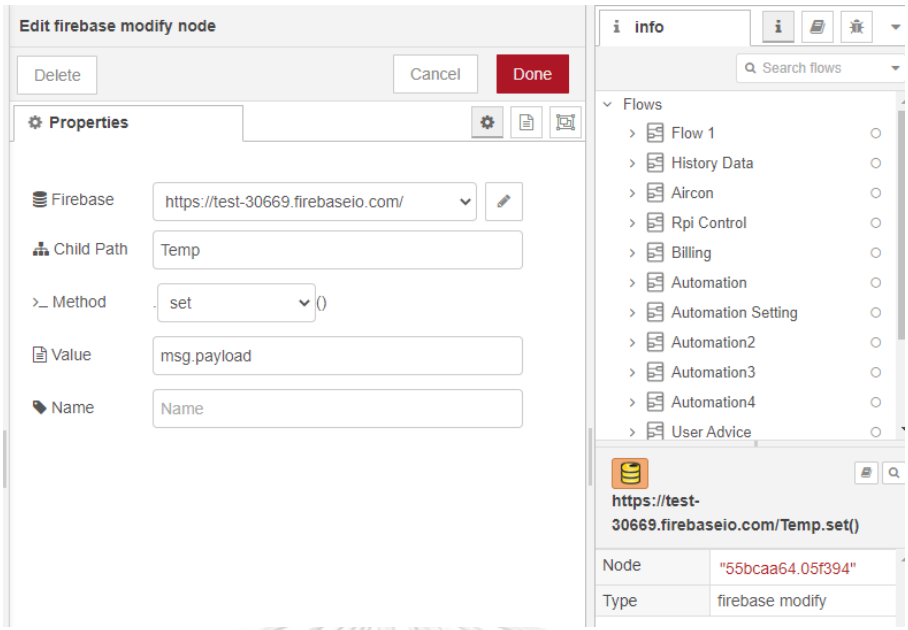


รูปที่ 3-24 การตั้งค่า Node Temperature เพื่อแสดงค่าอุณหภูมิแบบกราฟ



รูปที่ 3-25 การแสดงผลข้อมูลอุณหภูมิในเว็บเพจของ Node-Red UI ในรูปแบบกราฟ

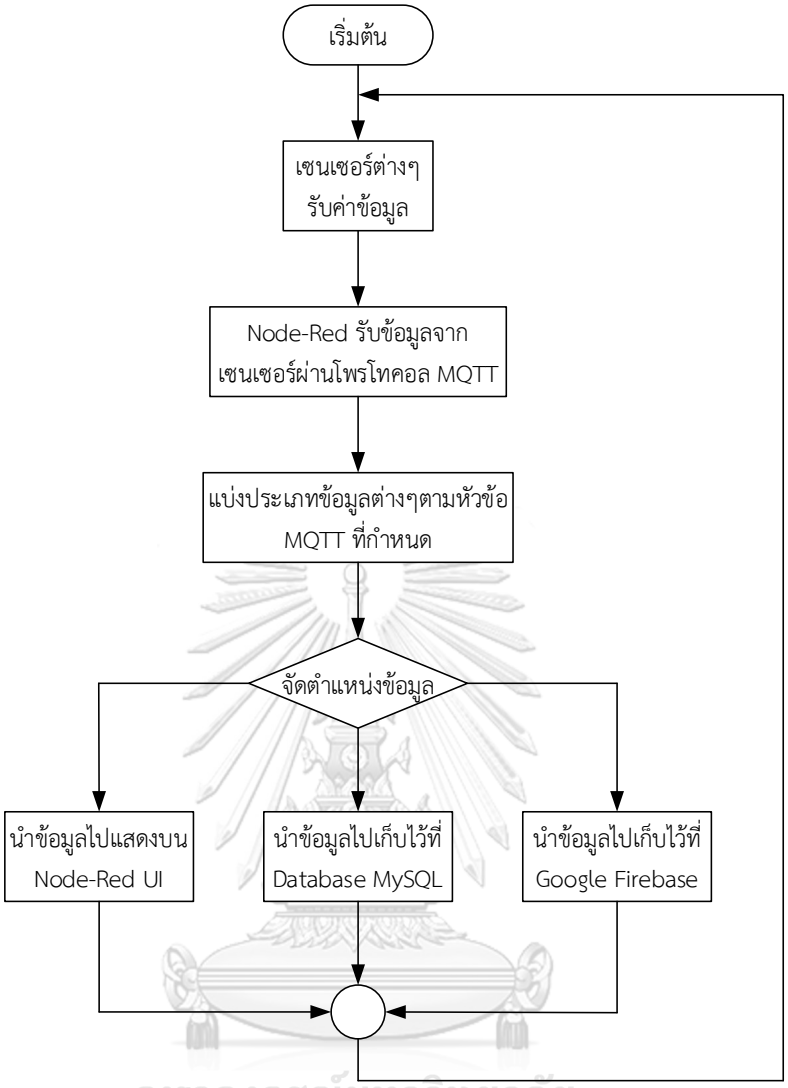
ในการเก็บข้อมูลในเว็บ Google firebase จะต้องมีการตั้งค่าใน Node firebase modify เพื่อกำหนดที่อยู่ในการส่งไฟล์เข้าไปเก็บ ดังที่แสดงในรูปที่ 3-26



รูปที่ 3-26 การตั้งค่า Node firebase modify เพื่อกำหนดที่อยู่ในการเก็บข้อมูลอุณหภูมิ

การแสดงผลข้อมูลและการบันทึกข้อมูลที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์

ในการพัฒนาโปรแกรมระบบจัดการพลังงานจะมีการรับค่าข้อมูลจากเซ็นเซอร์ตรวจวัดค่าสิ่งแวดล้อมภายในบ้านและเซ็นเซอร์วัดค่าพลังงานไฟฟ้า Sonoff โดยข้อมูลทั้งหมดจะถูกส่งผ่านเครื่องข่าย Wifi ภายในบ้านมายังส่วนประมวลผล Raspberry Pi โดยผ่านโพรโทคอล MQTT ซึ่งใช้ในการส่งข้อมูลจากเซ็นเซอร์ทุกตัวที่ติดตั้งในระบบ โดยข้อมูลทั้งหมดจะมีการกำหนดหัวข้อ (Topic) เพื่อแยกประเภทข้อมูลที่ต้องการจะส่ง ในอุปกรณ์เซ็นเซอร์แต่ละตัวจะมีการกำหนดหัวข้อที่แตกต่างกันโดยจะถูกเขียนลงในโปรแกรมของเซ็นเซอร์แต่ละตัวซึ่งจะทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ส่งข้อมูล (Publisher) อุปกรณ์ประมวลผล Raspberry Pi จะทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการรวบรวมข้อมูล (Broker) จากเซ็นเซอร์แต่ละตัว โดยข้อมูลถูกถูกแยกด้วยหัวข้อที่แตกต่างกัน เมื่อข้อมูลถูกแยกมาแล้วถูกนำไปใช้งานโดย จะมีการแสดงผลบน Web Server Node-Red Ui การบันทึกข้อมูลลงในฐานข้อมูล MySQL และการส่งข้อมูลไปเก็บบนระบบ Cloud Google Firebase โดยจะมีขั้นตอนในการส่งข้อมูลดังรูปที่ 3-27 สำหรับการเก็บค่าข้อมูลจากเซ็นเซอร์ต่างๆในฐานข้อมูล MySQL จะมีการบันทึกข้อมูลในทุกๆ 15 นาที



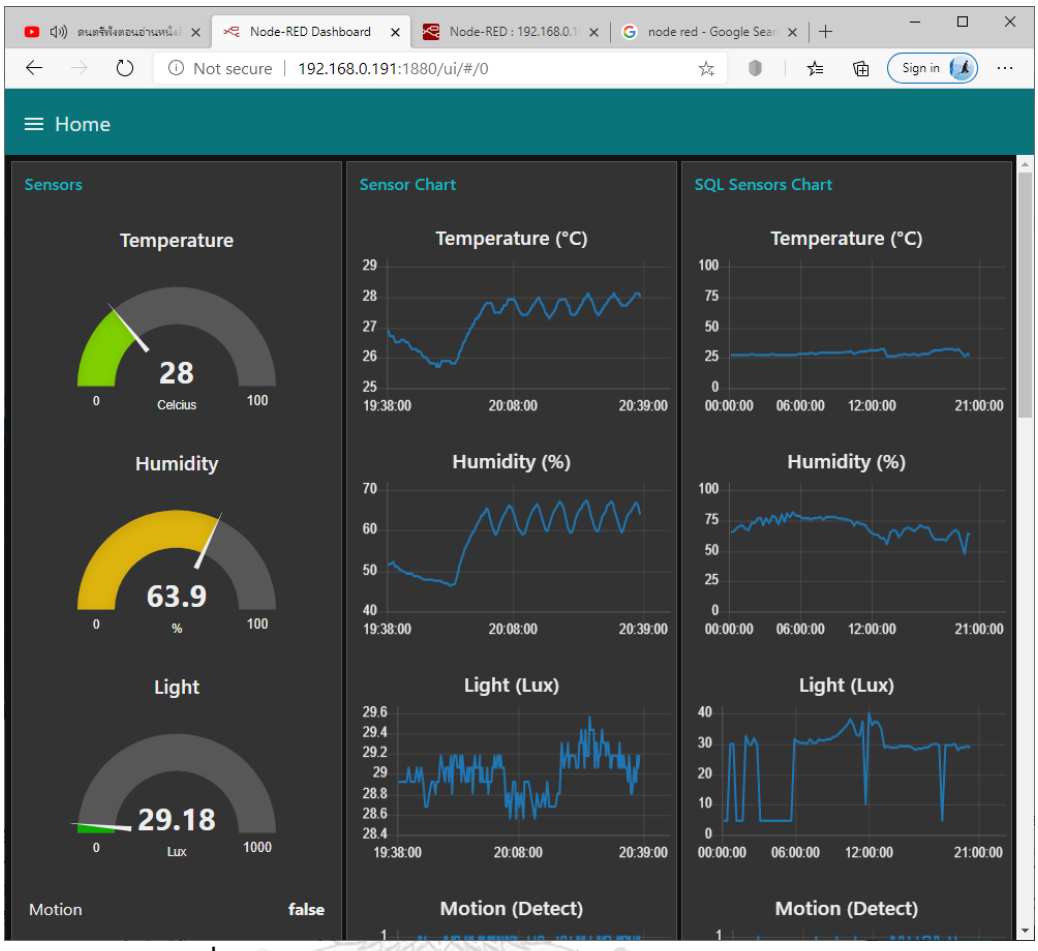
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 3-27 ขั้นตอนในการบันทึกและแสดงผลข้อมูลที่อ่านจากเซ็นเซอร์

<u>การแสดงผลข้อมูลระบบจัดการพลังงานในเว็บเพจ Node-Red UI</u>

โปรแกรม Node-Red มีคุณสมบัติในการพัฒนาเว็บเพจเพื่อแสดงผลข้อมูลที่เรียกว่า Node-Red UI เพื่อใช้ในการแสดงข้อมูลต่างๆจากเซ็นเซอร์ รวมถึงการส่งคำสั่งเพื่อใช้ในการควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ โดยมีตัวอย่างในการแสดงผลข้อมูลดังรูปที่ 3-28 โดยเว็บเพจที่ได้ออกแบบมาจะมีรูปแบบในการทำงานดังนี้

- การแสดงข้อมูลต่างๆจากเซ็นเซอร์
- การแสดงค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจากอุปกรณ์ปลั๊กไฟอัจฉริยะแต่ละตัว
- การควบคุมเปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยตนเอง
- การควบคุมเปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ
- การแสดงข้อมูลจากเซ็นเซอร์แบบย้อนหลัง

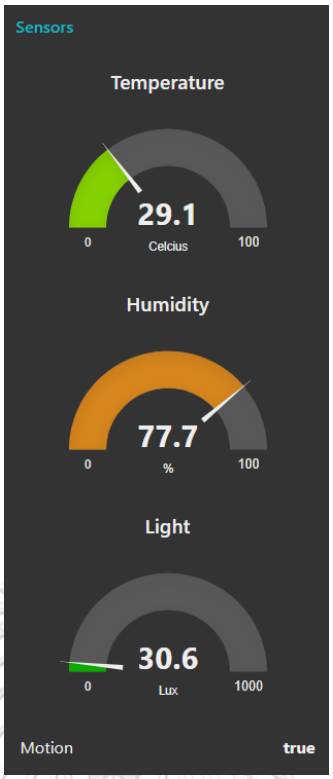


รูปที่ 3-28 ตัวอย่างการแสดงผลบนเว็บเพจ Node-Red UI

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.3.1 การแสดงข้อมูลต่างๆจากเซ็นเซอร์

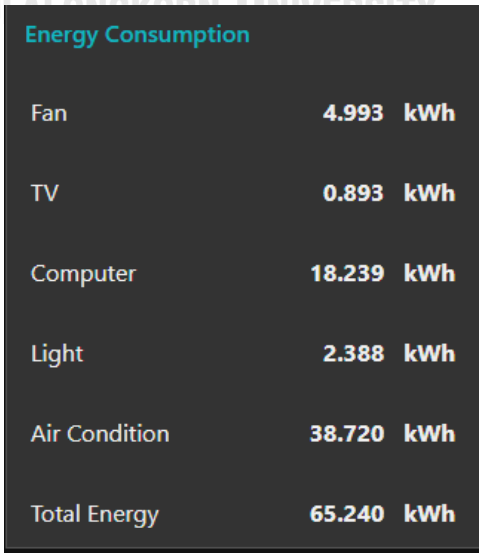
ในการออกแบบเว็บเพจจะมีการแสดงข้อมูลต่างจากเซ็นเซอร์วัดอุณภูมิ ความชื้น แสง การเคลื่อนไหว ภายในบ้าน โดยการแสดงผลจะมีลักษณะเป็นกราฟิกเกจ์วัดค่าพร้อมทั้งตัวเลขที่แสดงค่าต่างๆ ยกเว้นเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวที่จะแสดงข้อมูลเป็นตัวเลขแทน โดยแทนที่เลข 1 เมื่อสามารถตรวจจับการเคลื่อนไหวได้ และ จะแสดงเลข 0 เมื่อไม่สามารถตรวจจับการเคลื่อนไหวได้ โดยจะมีตัวอย่างการแสดงผลดังรูปที่ 3-29



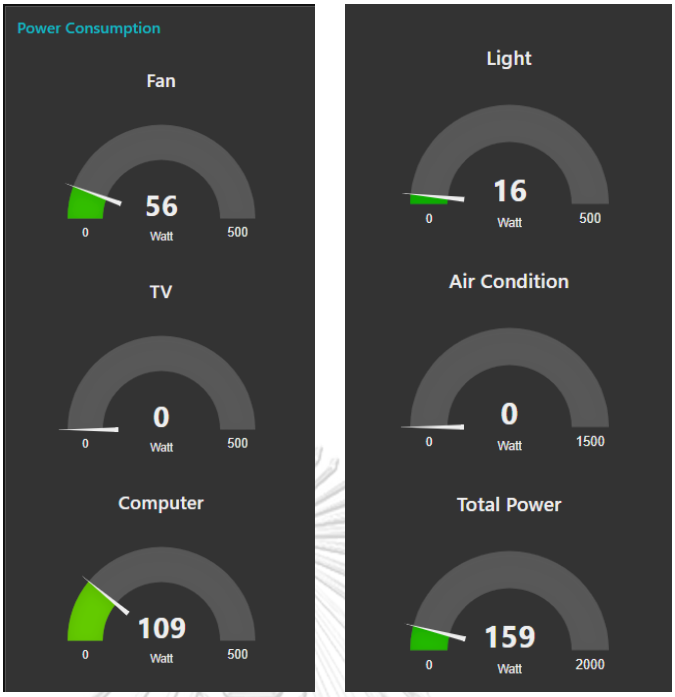
รูปที่ 3-29 การแสดงข้อมูลต่างๆจากเซ็นเซอร์บนเว็บเพจ Node-Red UI

3.3.2 การแสดงค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจากอุปกรณ์ปลั๊กไฟอัจฉริยะแต่ละตัว

จะมีการแสดงข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยมีการแสดงผลเป็นตัวเลข พร้อมหน่วยเป็น kWh ดังรูปที่ 3-30 และ การแสดงข้อมูลการใช้กำลังไฟฟ้าโดยที่จะแสดงเป็นกราฟิกเกจ์วัดค่ากำลังพร้อมทั้งตัวเลขเพื่อแสดงข้อมูล มีหน่วยเป็น Watt ดังรูปที่ 3-31



รูปที่ 3-30 การแสดงข้อมูลค่าพลังงานไฟฟ้าในเว็บเพจ Node-Red UI

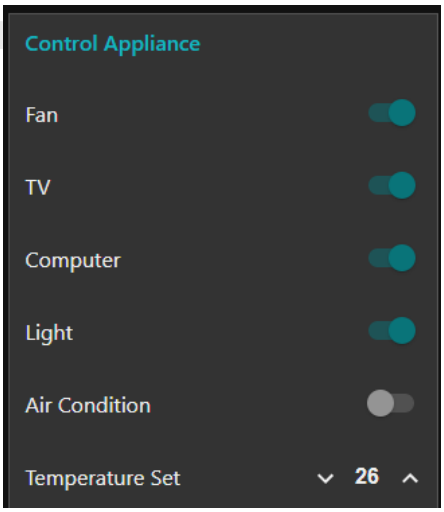


รูปที่ 3-31 การแสดงข้อมูลค่ากำลังไฟฟ้าในเว็บเพจ Node-Red UI

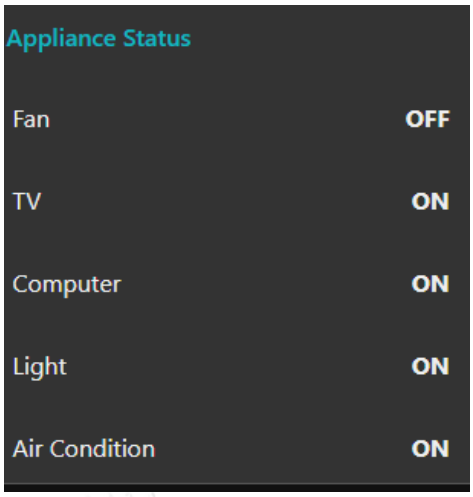
3.3.3 การควบคุมเปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยตนเอง

สามารถควบคุมเปิดและปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าได้ด้วยตนเองโดยกดปุ่มสวิตช์ ดังที่แสดงในรูปที่ 3-32 รวมถึงสามารถดูสถานะการทำงานของปลั๊กไฟอัจฉริยะได้ดังรูปที่ 3-33

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



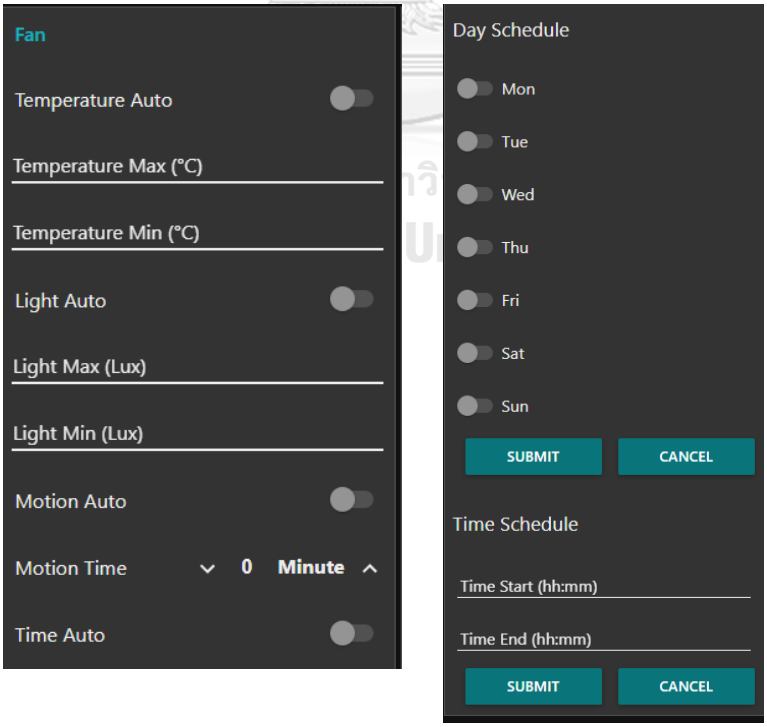
รูปที่ 3-32 การควบคุมเปิดปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยตนเองผ่านเว็บเพจ Node-Red UI



รูปที่ 3-33 แสดงสถานะการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละตัวผ่านเว็บเพจ Node-Red UI

3.3.4 การควบคุมเปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ

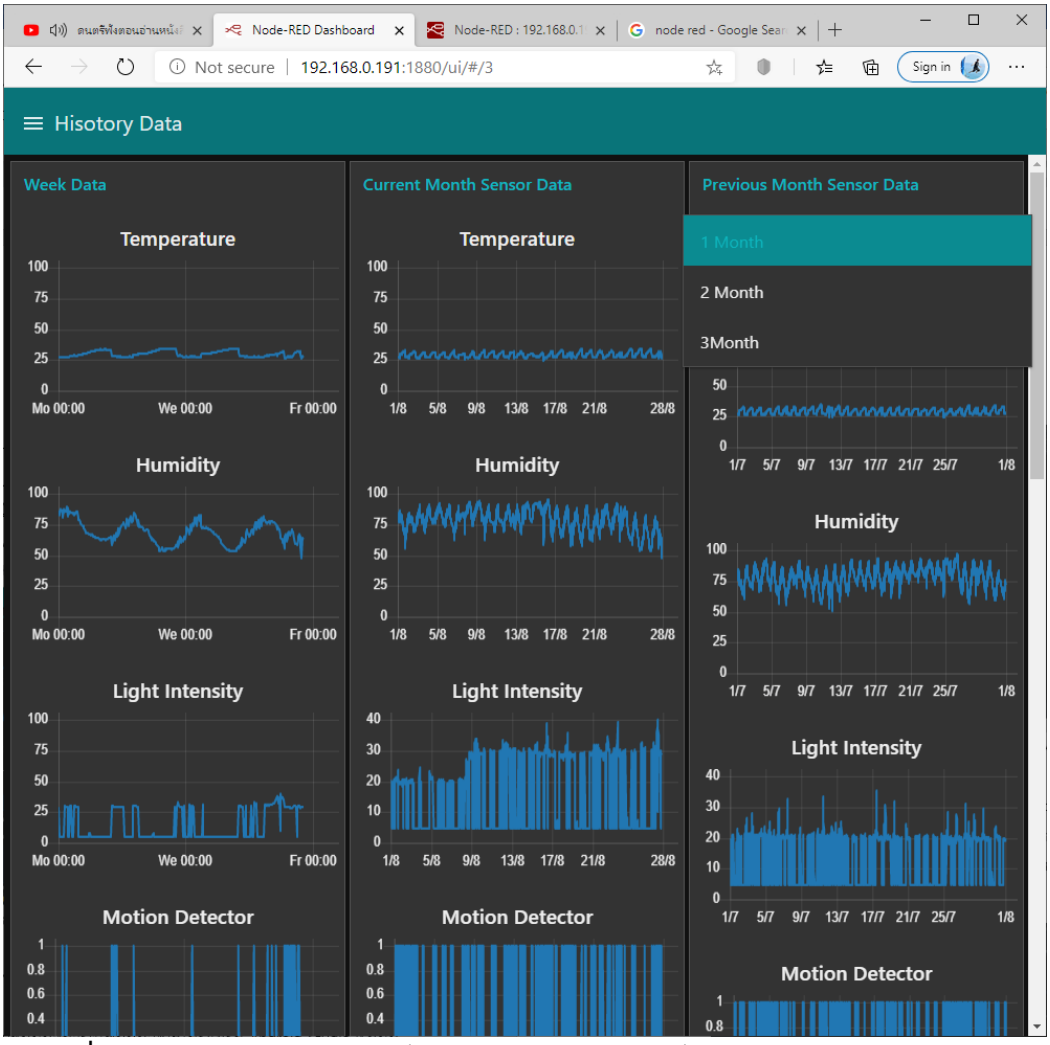
สามารถควบคุมเปิดและปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบอัตโนมัติได้โดยการตั้งค่าในเว็บเพจ โดยสามารถกำหนดช่วงการเปิดปิดอุปกรณ์โดยใช้ค่าที่อ่านจากเซ็นเซอร์ตรวจวัดสิ่งแวดล้อมภายในบ้านได้ ผู้ใช้จะกำหนดอุณหภูมิสูงสุดต่ำสุด ค่าความเข้มของแสงสูงสุดต่ำสุด รวมถึงการกำหนดช่วงวันและเวลาที่จะใช้ในการเปิดปิดอุปกรณ์ โดยจะมีปุ่มสวิตช์เพื่อใช้ในการเลือกหรือไม่เลือกใช้วิธีในการควบคุมตามตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 3-34



รูปที่ 3-34 การตั้งค่าการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบอัตโนมัติในเว็บเพจ Node-Red UI

3.3.5 การแสดงข้อมูลจากเซ็นเซอร์แบบย้อนหลัง

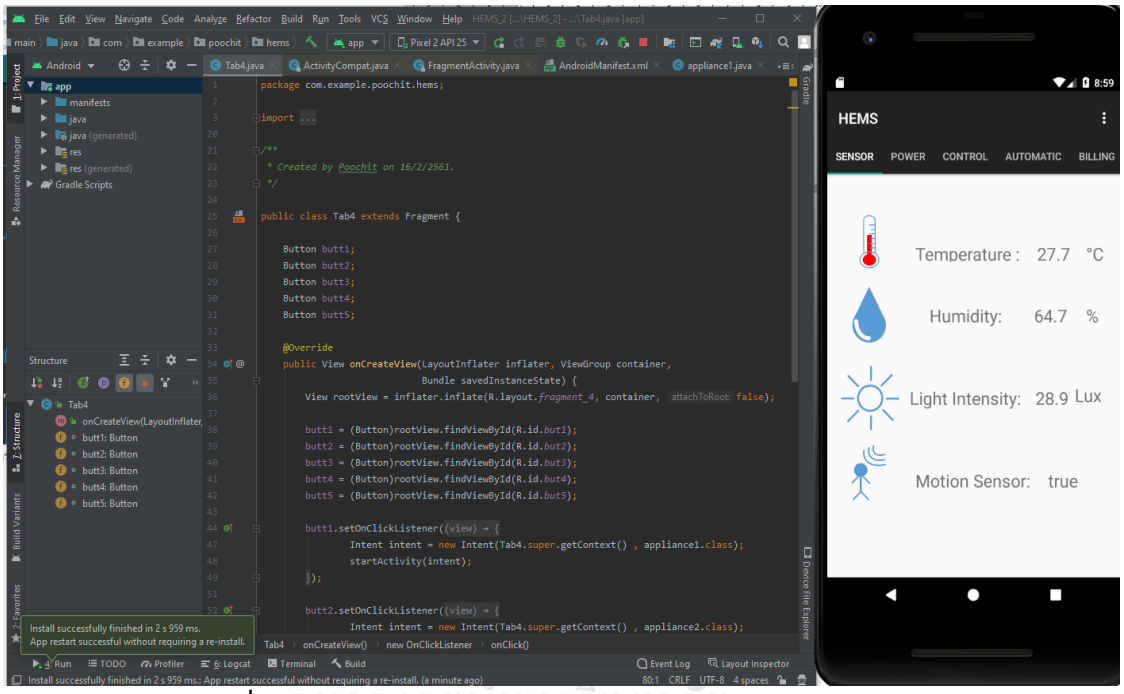
สามารถดูข้อมูลของเซ็นเซอร์ตรวจวัดสิ่งแวดล้อม การใช้กำลังไฟฟ้า และ การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละเครื่องโดยสามารถดูข้อมูลได้ย้อนหลัง 3 เดือน โดยผู้ใช้สามารถกดปุ่ม Drop-down เพื่อเลือกช่วงเวลาที่จะดูได้ดังที่แสดงในรูปที่ 3-35



รูปที่ 3-35 การแสดงข้อมูลจากเซ็นเซอร์แบบย้อนหลังในเว็บเพจ Node-Red UI

3.4 การออกแบบแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน

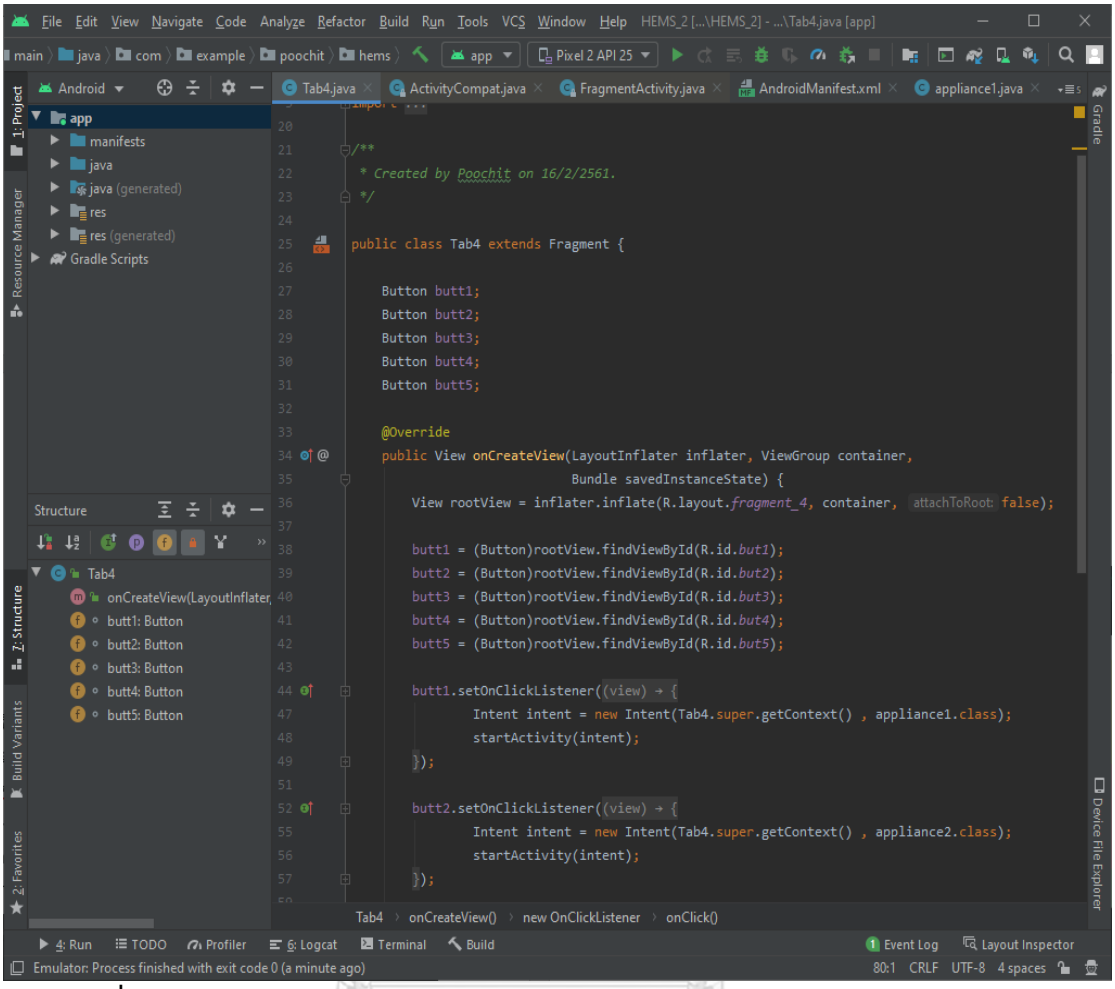
ในการออกแบบแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนนั้นจะใช้โปรแกรม Android Studio ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการพัฒนาแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนระบบ Android ซึ่งพัฒนาโดยบริษัท Google เป็นโปรแกรมที่สามารถดาวน์โหลดได้ฟรี จากเวปไซต์ โดยมีส่วนต่อประสานผู้ใช้ของโปรแกรมดังรูปที่ 3-36 โดยในการพัฒนาแอปพลิเคชันจะต้องมีการพัฒนาในส่วนควบคุมการทำงานของโปรแกรม (Controller) และ ส่วนต่อประสานกับผู้ใช้งาน (Graphic User Interface, GUI)



รูปที่ 3-36 ส่วนต่อประสานผู้ใช้ ของโปรแกรม Android Studio

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

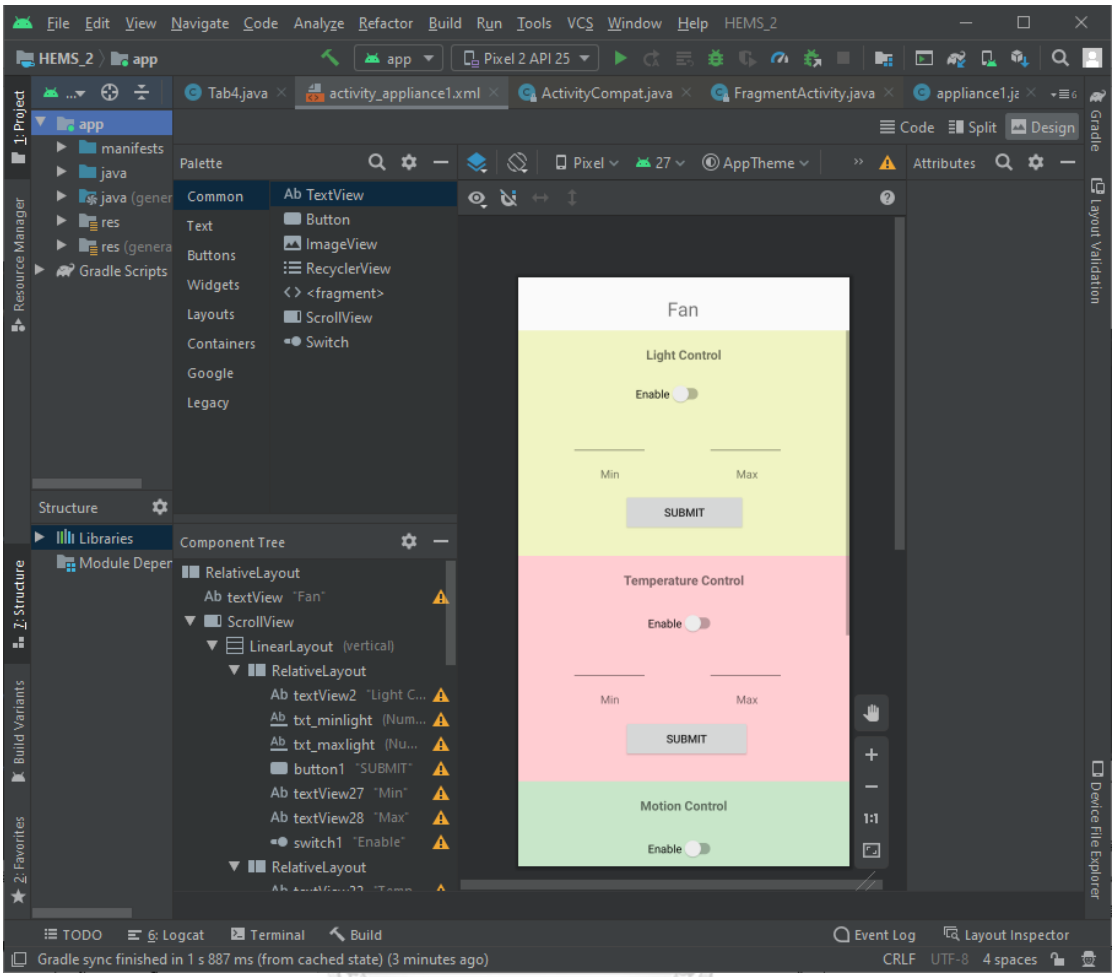
ในการออกแบบแอปพลิเคชันโดยใช้โปรแกรม Android Studio จะต้องมีการพัฒนาในส่วนการควบคุมการทำงานของแอปพลิเคชัน โดยใช้ภาษา Java เพื่อใช้ในการออกแบบการประมวลผลต่างๆ ของแอปพลิเคชัน โดยจะมีตัวอย่างของการเขียนโค้ดของโปรแกรมดังรูปที่ 3-37



รูปที่ 3-37 ตัวอย่างการเขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษา Java โดยใช้โปรแกรม Android Studio

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

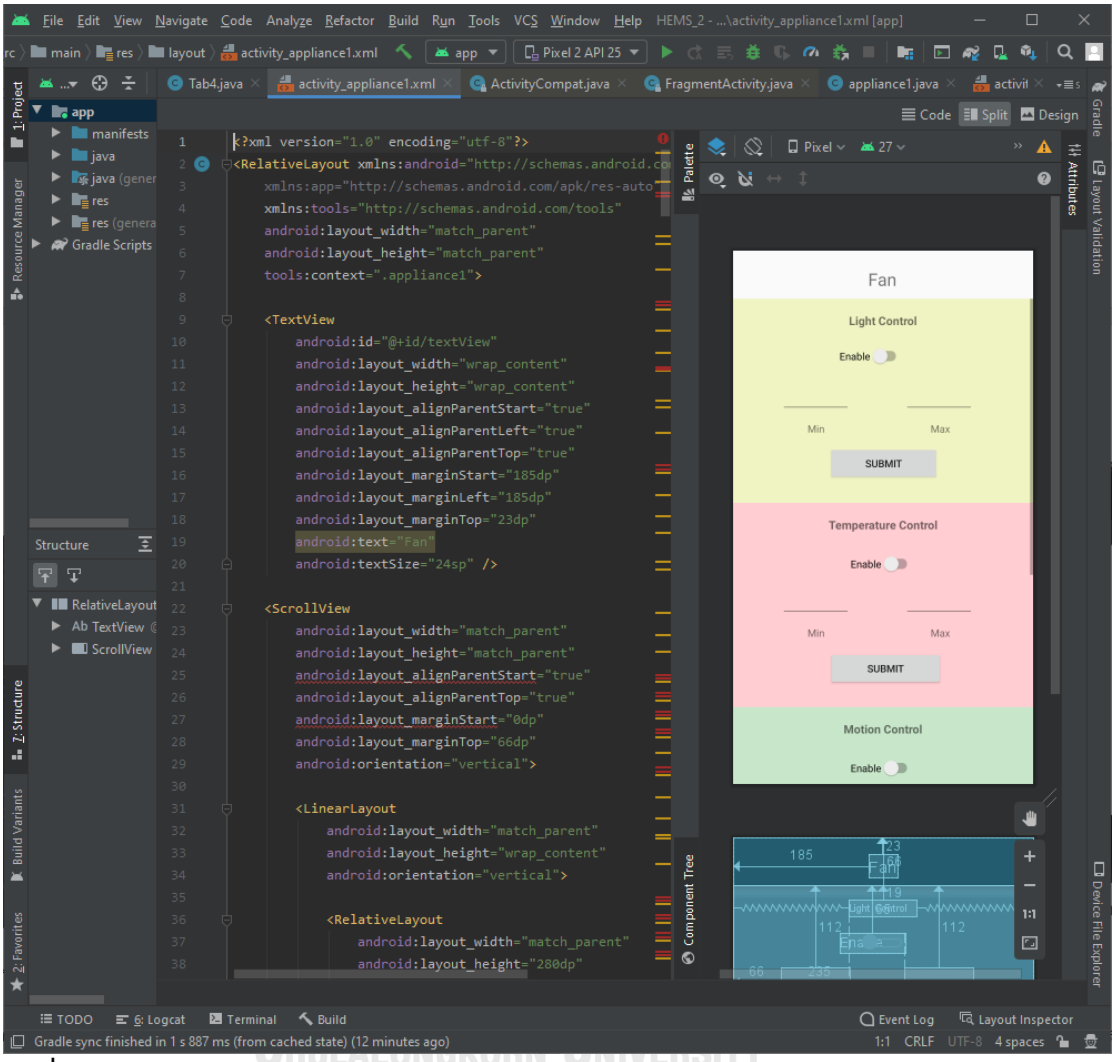
ในการพัฒนาส่วนต่อประสานกับผู้ใช้บนแอปพลิเคชัน สามารถออกแบบหน้าตาของแอปพลิเคชัน (GUI) โดยใช้การลากวัตถุต่างๆที่ถูกจัดเตรียมไว้แล้วในโปรแกรม เช่น ปุ่มกด กล่องข้อความ หรือ การรับค่าโดยใช้แป้นพิมพ์ มาวางในกรอบได้ตามที่ออกแบบไว้ ดังรูปที่ 3-38



รูปที่ 3-38 ตัวอย่างการออกแบบส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ (GUI) โดยใช้การลากวัตถุมาวาง

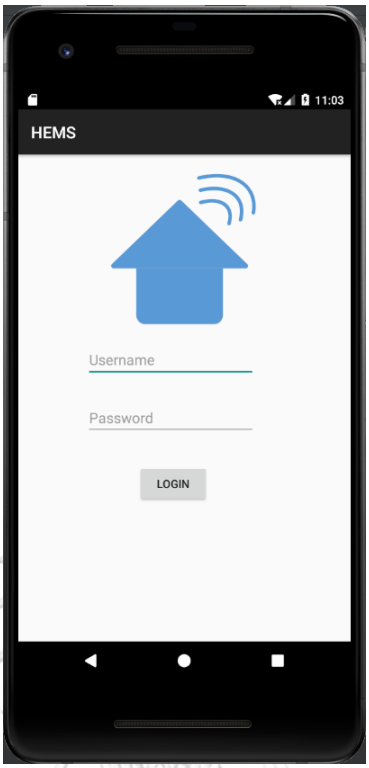
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หรือสามารถออกแบบโปรแกรมโดยละเอียดโดยใช้การเขียนโปรแกรมภาษา XML ซึ่งจะมีความยืดหยุ่นในการเขียนมากขึ้น แต่ก็ต้องอาศัยความชำนาญมากขึ้นเช่นกัน โดยหน้าของ GUI ที่ถูกเขียนด้วยภาษา XML จะมีการแสดงผลตัวอย่างด้านขวามือของโปรแกรมดังรูปที่ 3-39



รูปที่ 3-39 ตัวอย่างการออกแบบส่วนต่อประสานกับผู้ใช้ (GUI) โดยใช้การเขียนโปรแกรมภาษา XML

หลังจากการออกแบบแอปพลิเคชันเสร็จเรียบร้อยแล้ว สามารถทดสอบการทำงานของแอปพลิเคชันโดยใช้โปรแกรมจำลองการทำงานของระบบปฏิบัติการ Android ซึ่งสามารถดาวน์โหลดมาติดตั้งในโปรแกรม Android Studio ได้ โดยมีตัวอย่างการจำลองการทำงานของแอปพลิเคชันดังรูปที่ 3-40 เมื่อมีการอัปเดตระบบปฏิบัติการ Android สามารถดาวน์โหลดตัวจำลองการทำงานของระบบปฏิบัติการ Android รุ่นใหม่ มาติดตั้งเพิ่มเติมได้ในอนาคต



รูปที่ 3-40 ตัวอย่างการทำงานของโปรแกรมจำลองการทำงานระบบปฏิบัติการ Android

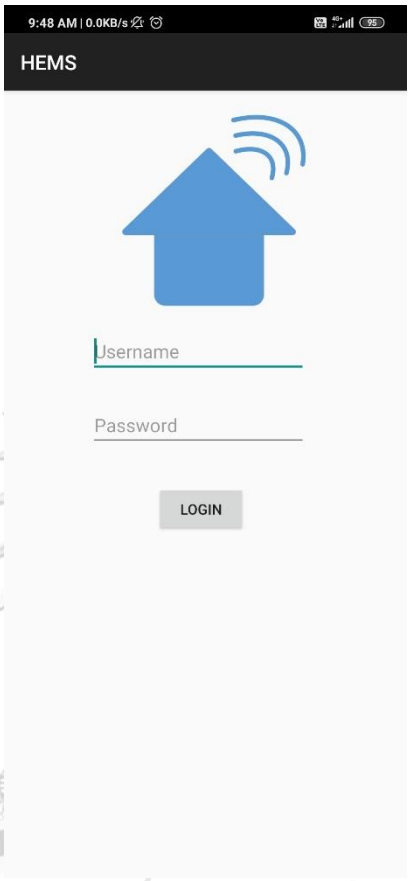
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การทำงานของแอปพลิเคชันส่วนต่อประสานกับผู้ใช้งาน

การทำงานของแอปพลิเคชันที่ถูกออกแบบมาจะมีความสามารถต่างๆดังนี้

- การแสดงค่าจากเซ็นเซอร์ตรวจวัดสิ่งแวดล้อมภายในบ้าน
- การแสดงค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบเวลาจริงจากอุปกรณ์ปลั๊กไฟอัจฉริยะ
- การควบคุมเปิดปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยตนเอง
- การควบคุมเปิดปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบอัตโนมัติโดยใช้การตั้งค่าจากเซ็นเซอร์ตรวจวัดสิ่งแวดล้อมภายในบ้าน
- การแสดงสถิติการใช้ไฟฟ้าย้อนหลัง
- การแสดงค่าใช้จ่ายไฟฟ้า

โดยเมื่อเปิดแอปพลิเคชันขึ้นมาแล้ว จะต้องมีการลงเชื่อเข้าใช้สู่ระบบ โดยจะต้องกรอกชื่อผู้ใช้งาน และรหัสผ่านที่ถูกต้องจึงจะสามารถเข้าสู่การใช้งานแอปพลิเคชันได้ดังรูปที่ 3-41

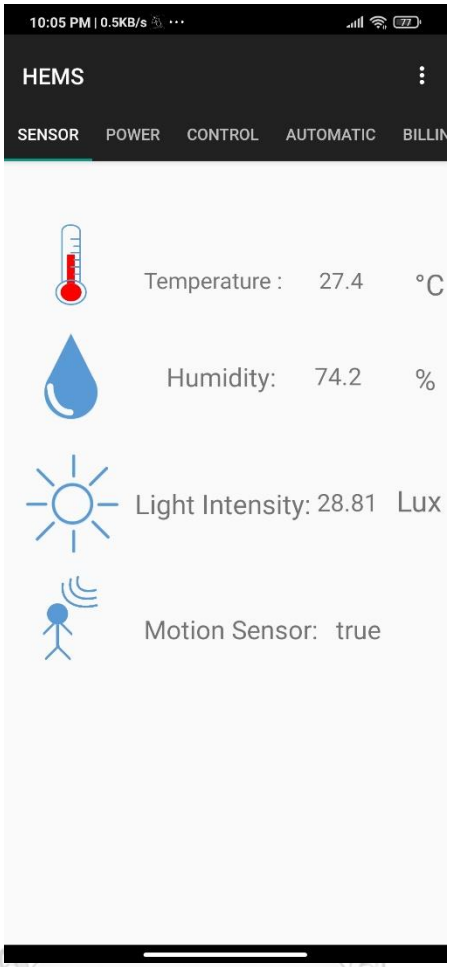


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 3-41 การลงชื่อเข้าใช้งานแอปพลิเคชัน

3.4.1 การแสดงค่าจากเซ็นเซอร์ตรวจวัดสิ่งแวดล้อมภายในบ้าน

แอปพลิเคชันที่ออกแบบมามีความสามารถในการรับค่าจากเซ็นเซอร์ตรวจวัดสิ่งแวดล้อมได้ โดยเซ็นเซอร์ที่อ่านข้อมูล อุณหภูมิ ความชื้น ค่าความเข้มของแสง และ การตรวจจับการเคลื่อนไหว จะส่งข้อมูลผ่านโพรโทคอลการสื่อสารแบบ MQTT มายังไมโครคอนโทรลเลอร์ Raspberry Pi เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูล จากนั้น Raspberry Pi จะส่งข้อมูลของเซ็นเซอร์สิ่งแวดล้อมขึ้นไปยังคลังข้อมูลบนระบบเครือข่าย (Cloud) Google Firebase จากนั้นแอปพลิเคชันจะมีการเรียกข้อมูลจากระบบ Cloud เพื่อแสดงค่าจากเซ็นเซอร์แบบเวลาจริงได้ ดังตัวอย่างในรูปที่ 3-42

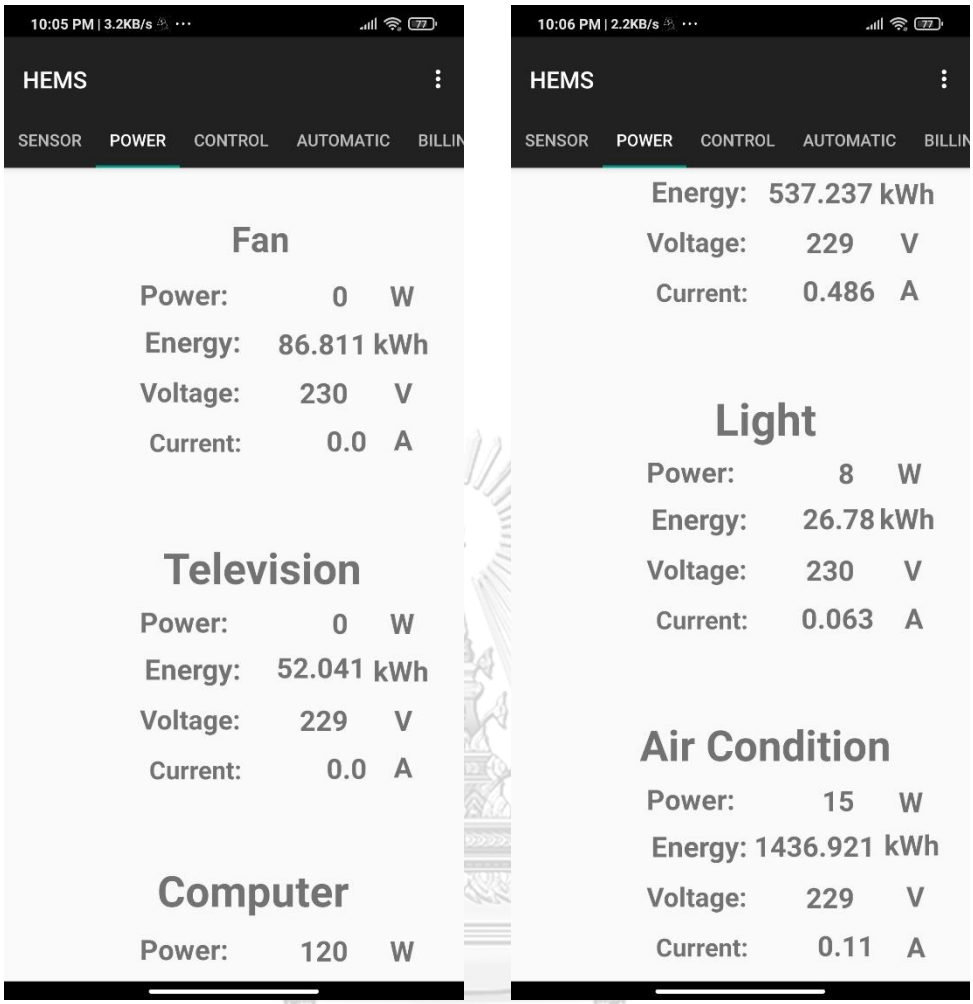


รูปที่ 3-42 ตัวอย่างการแสดงข้อมูลที่อ่านได้จากเซ็นเซอร์สิ่งแวดล้อมในแอปพลิเคชัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.4.2 การแสดงค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบเวลาจริงจากอุปกรณ์ปลั๊กไฟอัจฉริยะ

แอปพลิเคชันมีความสามารถในการแสดงค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ถูกวัดโดยปลั๊กไฟอัจฉริยะ Sonoff ได้ โดยจะมีการแสดงค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (Energy) ค่ากำลังไฟฟ้า (Power) ค่าแรงดันไฟฟ้า (Voltage) และค่ากระแสไฟฟ้า (Current) ได้ โดยจะมีการแสดงค่าจากปลั๊กไฟอัจฉริยะแต่ละตัว ใช้หลักการในการส่งข้อมูลเช่นเดียวกับเซ็นเซอร์ตรวจวัดสิ่งแวดล้อม โดยมีตัวอย่างการแสดงค่าในแอปพลิเคชันดังรูปที่ 3-43

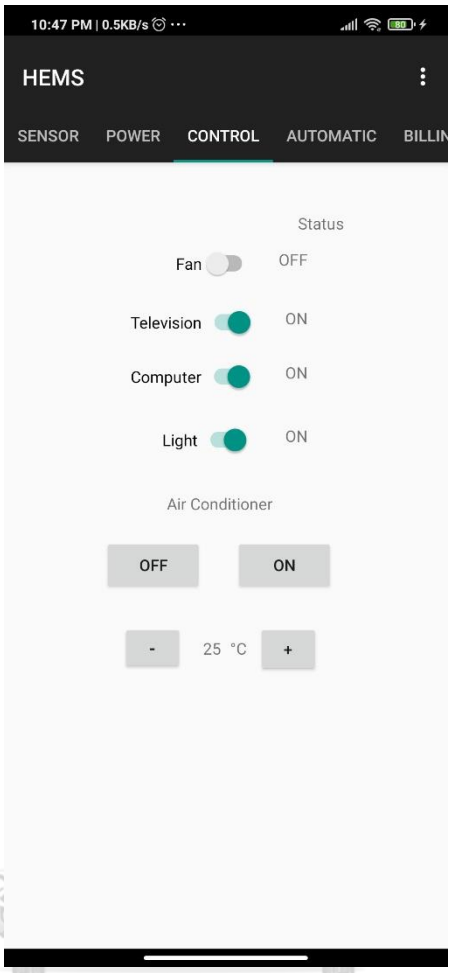


รูปที่ 3-43 ตัวอย่างการแสดงค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในแอปพลิเคชัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.4.3 การควบคุมเปิดปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยตนเอง

สามารถควบคุมเปิดปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยตนเองผ่านทางแอปพลิเคชันได้ โดยแอปพลิเคชันจะมีการส่งคำสั่งไปที่ Google Firebase หลังจากนั้น ไมโครคอนโทรลเลอร์ Raspberry Pi จะมีการรับคำสั่งจาก Google Firebase เพื่อรวบรวมคำสั่งส่งข้อมูลไปควบคุมอุปกรณ์ปลั๊กไฟอัจฉริยะแต่ละตัวผ่านทางโพรโทคอล MQTT เมื่อปลั๊กไฟอัจฉริยะได้รับคำสั่ง ก็จะกระทำตามคำสั่งโดยมีการสั่งเปิด-ปิด รีเลย์ เพื่อควบคุมการไหลของกระแสไฟฟ้า โดยจะมีการแสดงค่าสถานะการเปิด-ปิดอุปกรณ์ ในส่วนของเครื่องปรับอากาศในห้องจะมีการส่งคำสั่งไปยังอุปกรณ์ส่งสัญญาณอินฟราเรดที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อส่งสัญญาณควบคุมเครื่องปรับอากาศ โดยสามารถควบคุมเปิด-ปิด และปรับอุณหภูมิได้ โดยมีตัวอย่างการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าผ่านแอปพลิเคชันดังรูปที่ 3-44

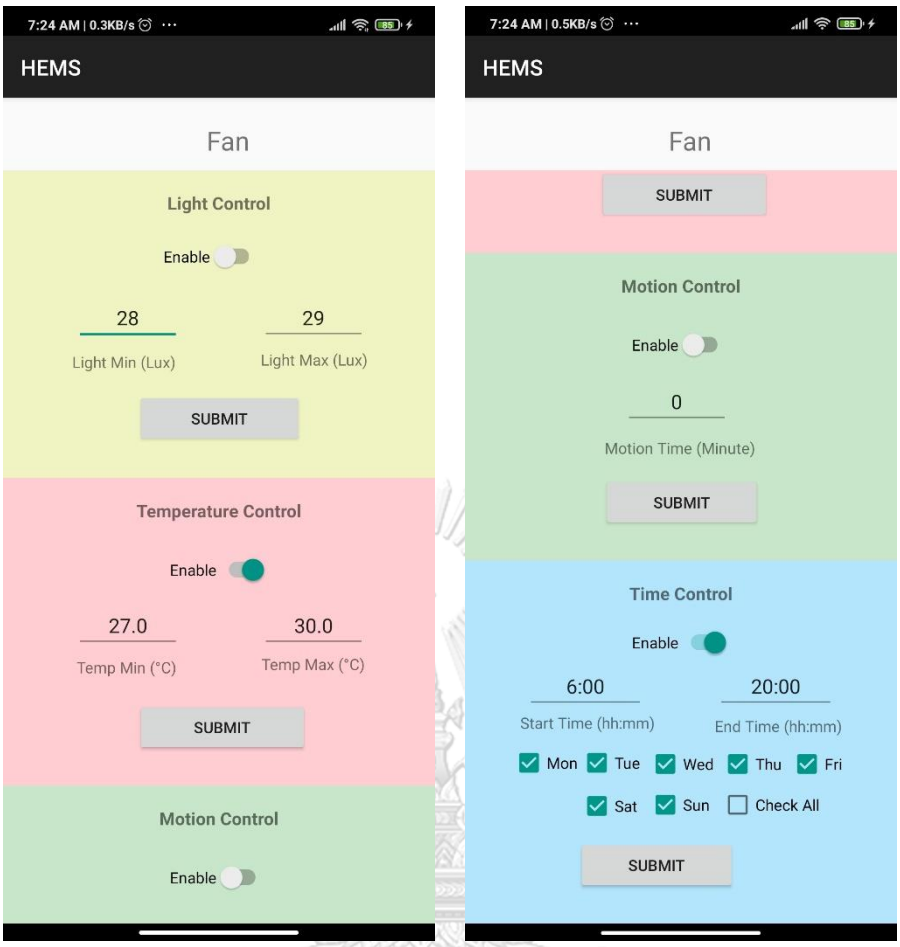


รูปที่ 3-44 ตัวอย่างการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าผ่านแอปพลิเคชัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.4.4 การควบคุมเปิดปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบอัตโนมัติโดยใช้การตั้งค่าจากเซ็นเซอร์ตรวจวัดสิ่งแวดล้อมภายในบ้าน

สามารถควบคุมเปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละตัวได้ โดยใช้ค่าที่อ่านมาจากเซ็นเซอร์ตรวจวัดสิ่งแวดล้อมในบ้านให้เป็นเงื่อนไขในการควบคุมเปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าได้ โดยสามารถตั้งค่าช่วงการทำงานของเซ็นเซอร์ได้ว่าให้อุปกรณ์ทำงานที่ค่าไหน และหยุดทำงานที่ค่าไหนบ้าง เช่น การให้อุปกรณ์ไฟฟ้าเปิด ที่ค่าความเข้มข้นของแสง 18 Lux และปิดที่ค่าความเข้มข้นของแสง 32 lux ดังรูปที่ 3-45 นอกจากนี้ยังสามารถตั้งเวลาที่จะเปิดปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าได้โดยสามารถกำหนดวันที่จะให้อุปกรณ์ทำงานได้

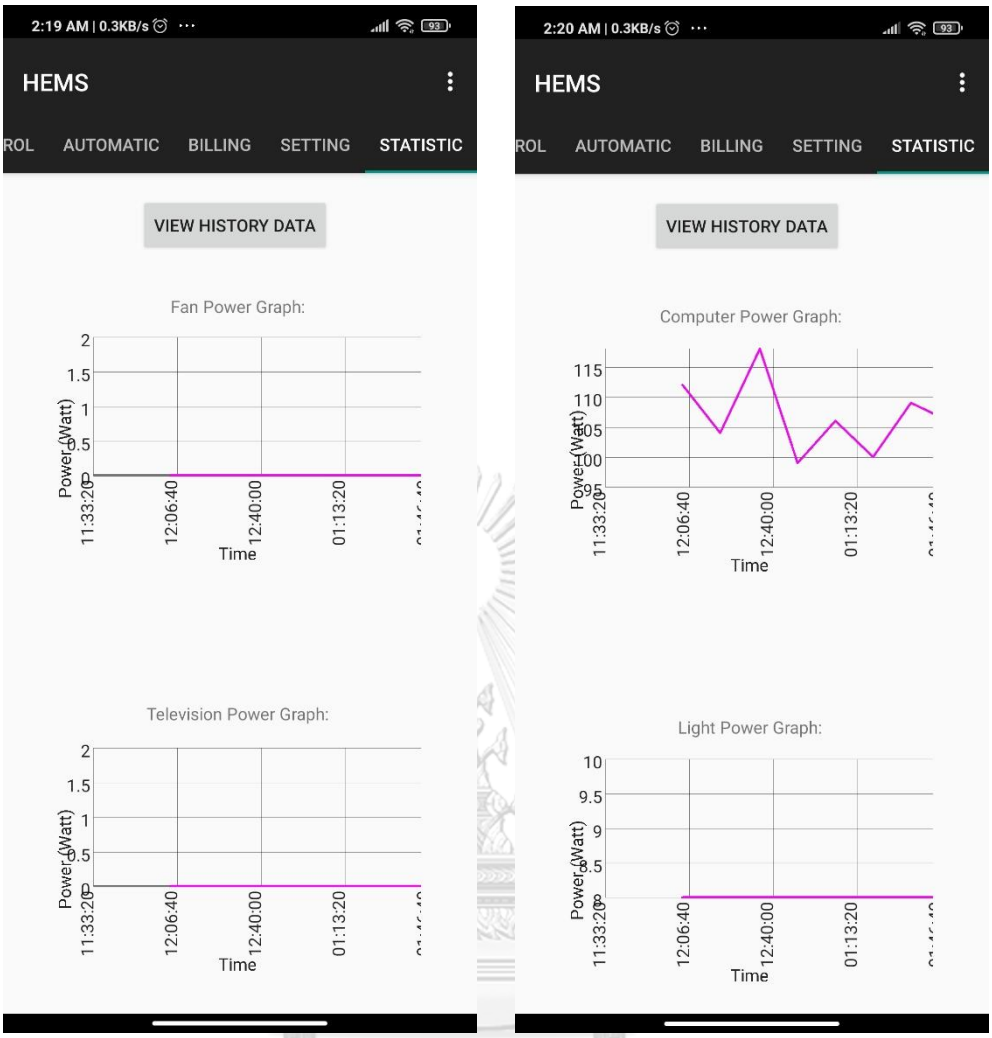


รูปที่ 3-45 ตัวอย่างการตั้งค่าการควบคุมอุปกรณ์อัตโนมัติ โดยใช้เซ็นเซอร์ตรวจวัดสิ่งแวดล้อมภายในบ้าน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

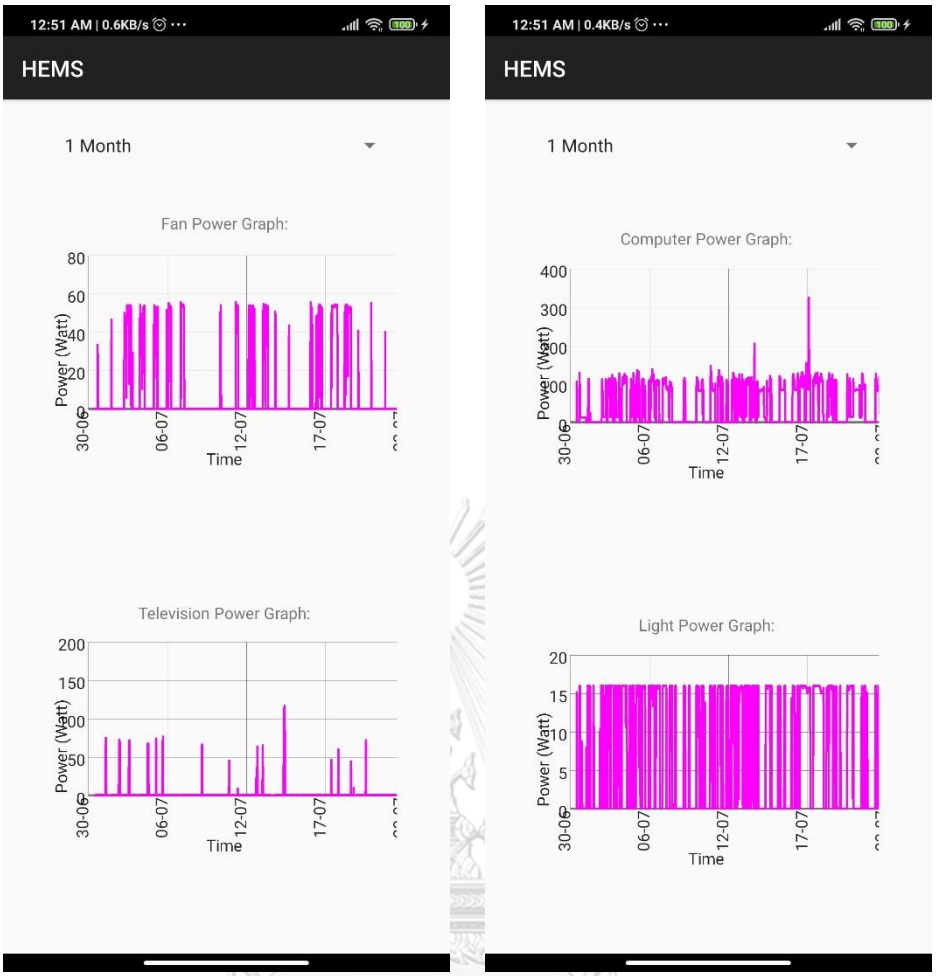
3.4.5 การแสดงสถิติข้อมูลย้อนหลัง

สามารถแสดงข้อมูลการของเซ็นเซอร์ตรวจวัดค่าสิ่งแวดล้อมภายในบ้านและข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นกราฟ ประจำวันได้ดังรูปที่ 4-46 เมื่อกดปุ่ม “View History Data” จะสามารถแสดงข้อมูลการใช้กำลังไฟฟ้าย้อนหลังเป็นรายเดือนได้ทั้งหมด 3 เดือน โดยสามารถเลือกเดือนย้อนหลังได้จากเมนู Drop down ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 4-47



รูปที่ 3-46 ตัวอย่างการแสดงสถิติข้อมูลการใช้กำลังไฟฟ้าประจำวันที่ปัจจุบันในแอปพลิเคชัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

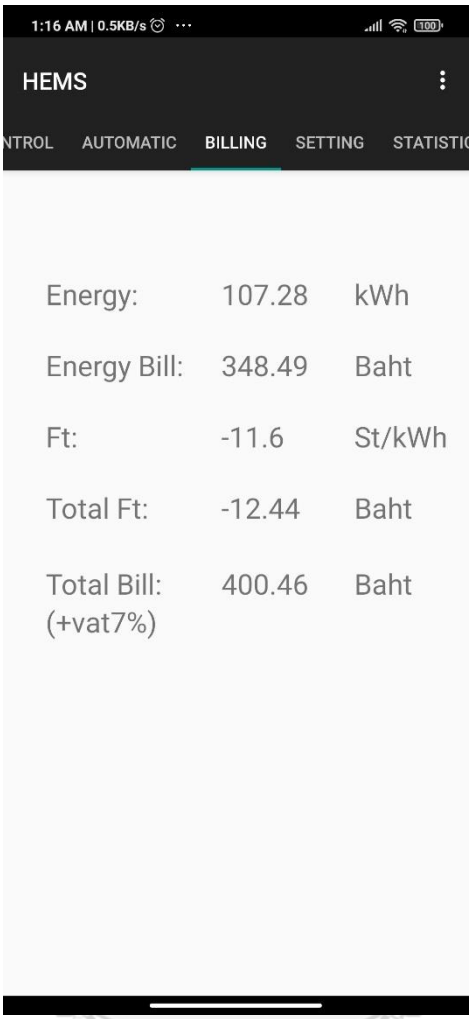


รูปที่ 3-47 ตัวอย่างการแสดงสถิติข้อมูลการใช้กำลังไฟฟ้าประจำวันที่ปัจจุบันในแอปพลิเคชัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.4.6 การแสดงค่าใช้จ่ายไฟฟ้า

สามารถแสดงข้อมูลค่าใช้จ่ายการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบเวลาจริง โดยแสดงข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด คำนวณมาเป็นค่าไฟฟ้าตามอัตราการคิดค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง [9] โดยค่าไฟที่คำนวนออกมาจะมีการคิดคำนวนค่าการลอยค่าของต้นทุนการผลิตไฟฟ้า (Ft) ค่าบริการจากทาง กฟน รวมถึงภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% ถูกคำนวณออกมาเป็นค่าไฟฟ้าที่ต้องจ่ายทั้งหมดดังรูปที่ 3-48



รูปที่ 3-48 ตัวอย่างการแสดงข้อมูลค่าไฟฟ้าแบบเวลาจริงผ่านทางแอปพลิเคชัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4
การทดสอบระบบ

4.1 ทดสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ในระบบ

ในการติดตั้งตัวต้นแบบระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าภายในบ้านจะมีการติดตั้งอุปกรณ์ ส่วนประมวลผล Raspberry Pi อุปกรณ์เซ็นเซอร์ตรวจวัดสิ่งแวดล้อมภายในบ้าน อุปกรณ์ส่งและรับสัญญาณอินฟราเรดเพื่อควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า และ อุปกรณ์เต้ารับอัจฉริยะที่ใช้ในการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละเครื่อง อุปกรณ์เหล่านี้จะมีการใช้ค่าพลังงานไฟฟ้าตลอดเวลา ทำผู้ใช้งานต้องมีค่าใช้จ่ายเพิ่มเติม การทดสอบนี้จึงเป็นการทดสอบความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่างๆในระบบ รวมถึงการคำนวณค่าใช้จ่ายที่ผู้ใช้งานต้องเสีย เมื่อติดตั้งระบบ

<u>เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ</u>

1) Raspberry Pi
2) อุปกรณ์เซ็นเซอร์ตรวจวัดสิ่งแวดล้อม
3) อุปกรณ์ควบคุมอินฟราเรด
4) อุปกรณ์เซ็นเซอร์วัดค่าพลังงาน Sonoff Pow
5) อุปกรณ์ปลั๊กไฟอัจฉริยะ Sonoff S31
6) อุปกรณ์วัดค่ากำลังไฟฟ้า Applied Precision 2320

<u>วิธีการทดสอบ</u>

1) นำอุปกรณ์ต่างๆ มาเสียบเต้ารับเพื่อใช้งานตามปกติ
2) ใช้ Applied Precision 2320 เพื่อวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้งานของแต่ละอุปกรณ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

<u>ผลการทดสอบ</u>

เมื่อใช้งานอุปกรณ์ Applied Precision 2320 วัดค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้งานของอุปกรณ์ต่างๆ สามารถนำค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้มาคำควณเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานเป็น วัตต์-ชั่วโมง (Wh) โดยคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าในกรณีที่อุปกรณ์ทำงานตลอด 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 30 วัน และคิดค่าไฟฟ้าหน่วยละ 3.2484 บาท [9] โดยมีรายละเอียดในการคำนวณค่าไฟตามตารางที่ 4-1 โดยจะมีการต่อวงจร และการวัดค่าตามรูปที่ 4-1 และ 4-2 ตามลำดับ

ตารางที่ 4-1 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่างๆ

อุปกรณ์	จำนวน (ตัว)	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	พลังงานไฟฟ้า/วัน (วัตต์-ชั่วโมง)	หน่วย (ยูนิต)	ค่าไฟฟ้า (บาท)
Raspberry Pi	1	3.10	74.40	2.23	7.25
อุปกรณ์เซ็นเซอร์ตรวจวัดสิ่งแวดล้อม	1	0.67	16.08	0.48	1.56
อุปกรณ์ควบคุมอินฟราเรด	1	0.70	16.80	0.50	1.62
อุปกรณ์เซ็นเซอร์วัดค่าพลังงาน Sonoff Pow	2	0.64	15.36	0.46	1.49
อุปกรณ์ปลั๊กไฟอัจฉริยะ Sonoff S31	3	1.02	73.44	2.20	7.15

รูปที่ 4-1 การต่อวงจรเพื่อวัดค่าการใช้พลังงานของอุปกรณ์ในระบบ

รูปที่ 4-2 หน้าจอการวัดค่าการใช้กำลังไฟฟ้าของเครื่อง Applied Precision 2320

สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่างๆของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้า พบว่ามีการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มเติมโดยเฉลี่ยเดือนละ 10.73 หน่วย หรือคิดเป็นค่าไฟเพิ่มเติมเดือนละประมาณ 35 บาท ซึ่งถือเป็นค่าใช้จ่ายที่ไม่ได้เพิ่มภาระให้กับผู้ใช้งานมากนัก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.2 ทดสอบความเที่ยงตรงในการวัดค่ากำลังไฟฟ้า

ในต้นแบบระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าภายในบ้านนี้มีการใช้อุปกรณ์ปลั๊กไฟอัจฉริยะ Sonoff ในการวัดค่าพลังงงานไฟฟ้าที่ใช้งานอยู่ ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ควรจะมีความเที่ยงตรงในการวัดค่าพลังงานเพื่อให้ข้อมูลการใช้พลังงานที่แสดงผลมีความเชื่อถือได้ จึงมีการทดสอบค่าความเที่ยงตรงของอุปกรณ์วัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานในระบบเทียบกับอุปกรณ์วัดค่าพลังงานไฟฟ้ามาตรฐาน

เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ 1) อุปกรณ์เซ็นเซอร์วัดค่าพลังงาน Sonoff Pow
2) อุปกรณ์ปลั๊กไฟอัจฉริยะ Sonoff S31
3) อุปกรณ์วัดค่ากำลังไฟฟ้า Applied Precision 2320

วิธีการทดสอบ 1) นำอุปกรณ์ Sonoff S31 มาต่อใช้งานกับพัดลม

2) ใช้ Applied Precision 2320 เพื่อวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้งานเทียบกับ Sonoff S31 โดยจะมีการปรับความแรงลมเพื่อเปรียบเทียบภาระ

3) นำอุปกรณ์ Sonoff Pow มาต่อใช้งานกับเครื่องปรับอากาศ

4) ใช้ Applied Precision 2320 เพื่อวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้งานเทียบกับ Sonoff S31 โดยจะมีการปรับอุณหภูมิเพื่อเปรียบเทียบภาระ

การเปรียบเทียบการใช้กำลังไฟฟ้าของ Sonoof S31 กับ Sonoff Pow แสดงในตารางที่ 4-2 และ 4-3 ตามลำดับ โดยมีการคำนวนการหาค่าความผิดพลาดของเซ็นเซอร์ Sonoff โดยใช้สมการในการคำนวณดังนี้

$$\text{ค่าความผิดพลาด} = \frac{\text{ค่าที่วัดได้} - \text{ค่ามาตรฐาน}}{\text{ค่ามาตรฐาน}} x100\% \qquad (4\text{-}1)$$

ตารางที่ 4-2 เปรียบเทียบการวัดค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ Sonoff S31

ความแรงของพัดลม	กำลังไฟฟ้าที่วัดโดย Sonoff S31 (วัตต์) (ค่าที่วัดได้)	กำลังไฟฟ้าที่วัดโดย Applied Precision 2320 (วัตต์) (ค่ามาตรฐาน)	ค่าความผิดพลาด (%)
1	48.00	41.00	17.07
2	52.00	44.70	16.33
3	55.00	47.10	16.77

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4-3 เปรียบเทียบการวัดค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ Sonoff Pow

อุณหภูมิเครื่องปรับอากาศ (°C)	กำลังไฟฟ้าที่วัดโดย Sonoff Pow (วัตต์) (ค่าที่วัดได้)	กำลังไฟฟ้าที่วัดโดย Applied Precision 2320 (วัตต์) (ค่ามาตรฐาน)	ค่าความผิดพลาด (%)
Compressor ทำงาน	945	992	-4.74
Compressor หยุดทำงาน	18	18.92	-4.86

สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบความเที่ยงตรงในการวัดค่าพลังงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้งานในระบบโดยเปรียบเทียบกับอุปกรณ์วัดพลังงานมาตรฐานที่ได้รับการสอบเทียบแล้วพบว่าอุปกรณ์ Sonoff S31 มีความคลาดเคลื่อนโดยเฉลี่ยประมาณ 17% ซึ่งถือว่ามีค่าค่อนข้างสูง ไม่เหมาะกับการใช้งานที่ต้องการความเที่ยงตรง แต่สามารถใช้เพื่อวัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยประมาณได้ ส่วนอุปกรณ์ Sonoff Pow ซึ่งใช้วัดการใช้พลังงานเครื่องปรับอากาศมีค่าความคลาดเคลื่อน ประมาณ 5% ซึ่งถือว่าไม่ได้สูงมากนัก

อย่างไรก็ตามหากต้องการความเที่ยงตรงในการวัดค่าพลังงานที่มากขึ้น ควรใช้อุปกรณ์ชนิดอื่นที่ได้รับมาตรฐานมีการรับรองค่าความคลาดเคลื่อนมาจากผู้ผลิตซึ่งอาจจะมีราคาสูงขึ้น

4.3 การทดสอบการทำงานของแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้น

ต้นแบบระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าภายในบ้านที่พัฒนาขึ้นนี้ได้มีการพัฒนาแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน โดยแอปพลิเคชันจะมีฟังก์ชันในการ แสดงค่าต่างๆจากเซ็นเซอร์ตรวจวัดสิ่งแวดล้อมและเซ็นเซอร์วัดค่าพลังงานไฟฟ้า การแสดงค่าไฟที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน การตั้งค่าควบคุมระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ ในการทดสอบนี้จะเป็นการทดสองฟังก์ชันการทำงานของแอปพลิเคชันว่ามีการทำงานที่ถูกต้องตามที่ออกแบบมาหรือไม่

เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

1) Raspberry Pi
2) อุปกรณ์เซ็นเซอร์ตรวจวัดสิ่งแวดล้อม
3) อุปกรณ์เซ็นเซอร์วัดค่าพลังงาน Sonoff Pow
4) อุปกรณ์ปลั๊กไฟอัจฉริยะ Sonoff S31
5) สมาร์ตโฟน
6) คอมพิวเตอร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิธีการทดสอบ

1) นำอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆเสียบเต้ารับอัจฉริยะ Sonoff S31 เพื่อวัดค่าพลังงานไฟฟ้า
2) เสียบสายจากอแดปเตอร์เพื่อจ่ายไฟให้กับ Raspberry Pi และเซ็นเซอร์ตรวจวัดสิ่งแวดล้อม
3) เปิดเข้าใช้งานแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นบนสมาร์ตโฟน และเปิดเข้าใช้งาน Node-Red เว็บบราวเซอร์ในคอมพิวเตอร์
4) ทดสอบการอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ตรวจวัดสิ่งแวดล้อม และเซ็นเซอร์วัดค่าพลังงานไฟฟ้า โดยเข้าไปที่เมนู Sensor และ

Power ในแอปพลิเคชัน เปรียบเทียบค่าที่แสดงในเว็บบราวเซอร์ โดยเข้าไปที่ Node-Red และ ค่าที่แสดงบนแอปพลิเคชัน

5) ทดสอบการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยตนเอง โดยเข้าไปที่เมนู Control ในแอปพลิเคชัน ทดลองควบคุมเปิดปิดอุปกรณ์ไฟฟ้า แล้วสังเกตการทำงานของอุปกรณ์

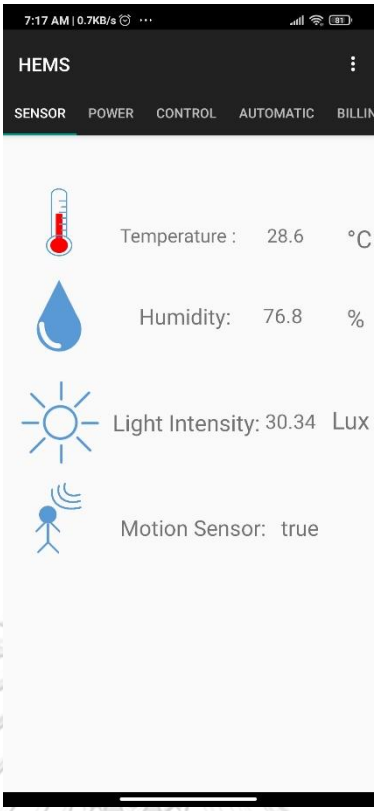
6) ทดสอบการตั้งค่าการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ โดยเข้าไปที่เมนู Automatic ใน แอปพลิเคชัน ทดลองตั้งค่าการควบคุมแบบต่างๆ แล้วสังเกตผลการทำงานของอุปกรณ์

7) ทดสอบการแสดงผลการคิดค่าไฟฟ้า โดยเข้าไปที่เมนู Billing ในแอปพลิเคชัน แล้วเปรียบเทียบค่าที่แสดงบนเว็บบราวเซอร์ โดยเข้าไปที่ Node-Red

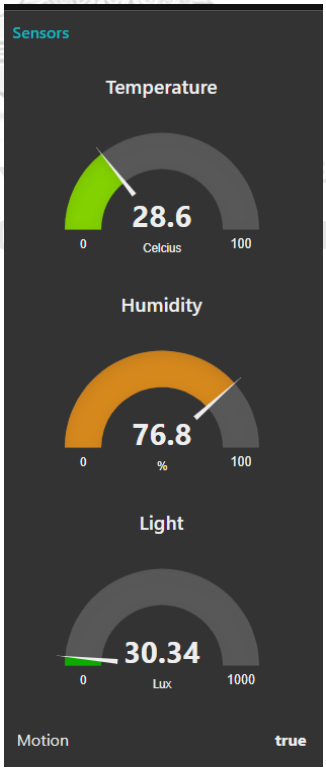
<u>ผลการทดสอบ</u>

1) เปิดใช้งานแอปพลิเคชันแล้วลงชื่อเข้าใช้งานระบบจะมีการเข้าสู่เมนู Sensor เป็นอันดับแรกเมื่อเข้าใช้งานทุกครั้ง โดยจะมีการแสดงผลดังรูปที่ 4-3 จากนั้นเปิดใช้งานเว็บบราวเซอร์เพื่อเข้าใช้งาน Node-Red โดยเข้าไปที่ Address : 192.168.0.191:1880/ui จะมีการแสดงผลในเว็บบราวเซอร์ดังรูปที่ 4-4 ซึ่งมีการแสดงข้อมูลของเซ็นเซอร์ตรวจวัดค่าสิ่งแวดล้อม สามารถเปรียบเทียบค่าที่แสดงผลได้ในตารางที่ 4-4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 4-3 หน้าจอการแสดงผลแอปพลิเคชันเมนู Sensor

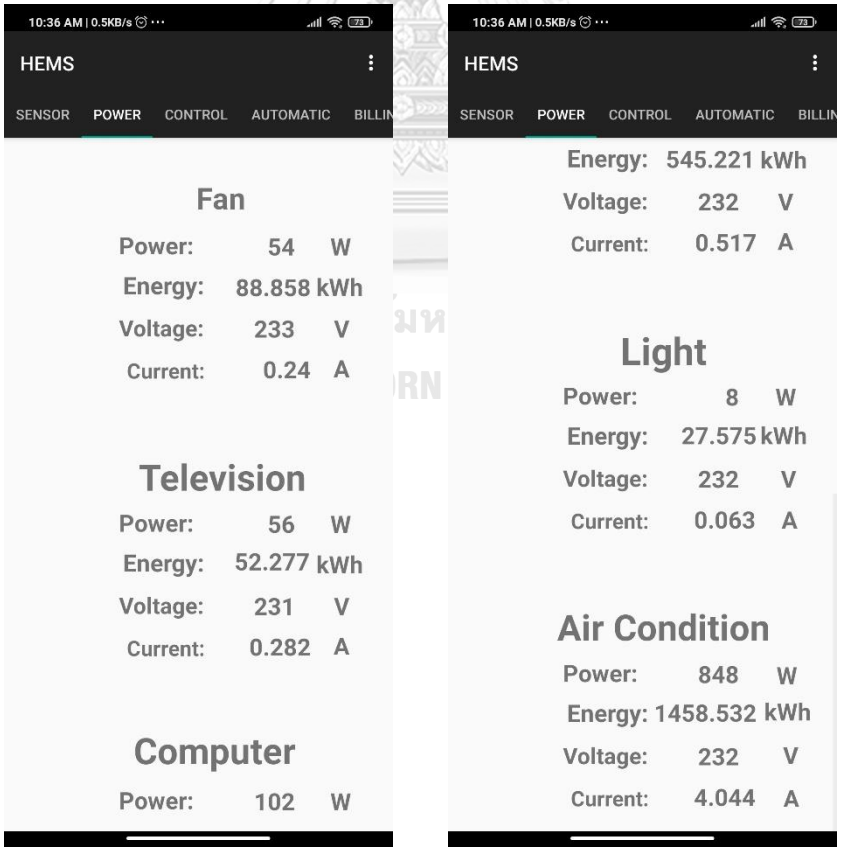


รูปที่ 4-4 หน้าจอการแสดงผลค่าจากเซ็นเซอร์ตรวจวัดสิ่งแวดล้อมในเว็บราวเซอร์

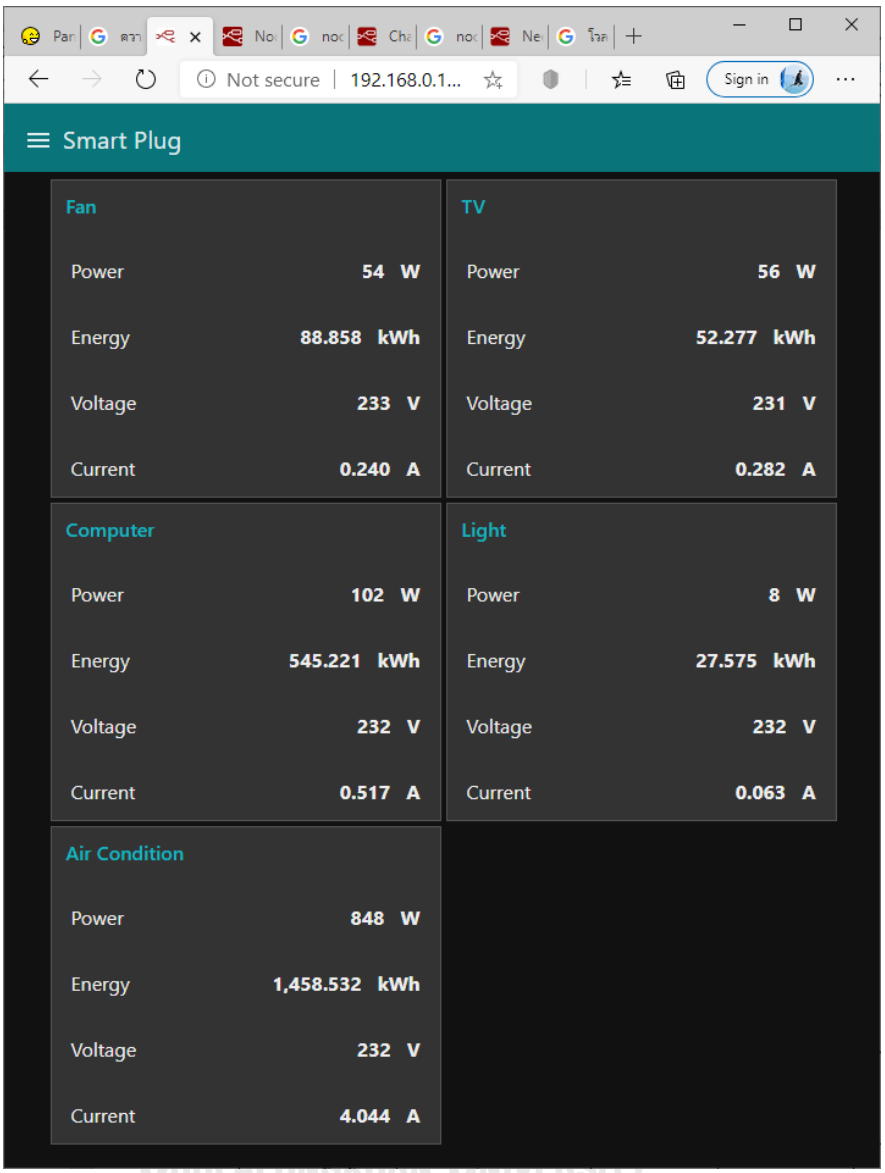
ตารางที่ 4-4 การเปรียบเทียบค่าที่แสดงผลของเซ็นเซอร์ตรวจวัดสิ่งแวดล้อมในแอปพลิเคชันและในเว็บบราวเซอร์

ชนิดเซ็นเซอร์	ค่าที่อ่านได้จากแอปพลิเคชัน	ค่าที่อ่านได้จากเว็บบราวเซอร์	การทำงาน
อุณหภูมิ (°C)	28.6	28.6	ถูกต้อง
ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	76.8	76.8	ถูกต้อง
ความเข้มแสง (Lux)	30.34	30.34	ถูกต้อง
ตรวจจับการเคลื่อนไหว	True	True	ถูกต้อง

2) เมื่อกดเข้าเมนู Power ในแอปพลิเคชัน จะมีการแสดงค่า กำลังไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า ของอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิด โดยจะมีการการแสดงผลดังรูปที่ 4-5 ซึ่งในเว็บบราวเซอร์ก็มีการแสดงผลการใช้พลังงานไฟฟ้าเช่นเดียวกันดังรูปที่ 4-6 สามารถเปรียบเทียบการแสดงผลได้ดังตารางที่ 4-5



รูปที่ 4-5 หน้าจอการแสดงผลแอปพลิเคชันเมนู Power



รูปที่ 4-6 หน้าจอการแสดงผลการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิดในเว็บราวเซอร์

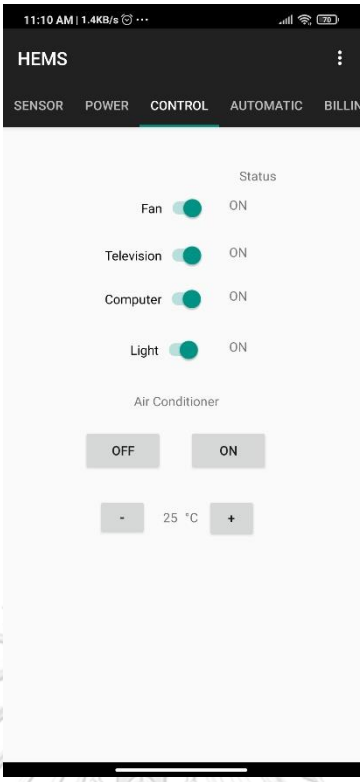
ตารางที่ 4-5 การเปรียบเทียบค่าที่แสดงผลในแอปพลิเคชันและในเว็บบราวเซอร์

อุปกรณ์ไฟฟ้า	ค่าที่แสดงผล	ค่าที่อ่านได้จากแอปพลิเคชัน	ค่าที่อ่านได้จากเว็บบราวเซอร์	การทำงาน
พัดลม	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	54	54	ถูกต้อง
	พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	88.858	88.858	ถูกต้อง
	แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	233	233	ถูกต้อง
	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	0.24	0.240	ถูกต้อง

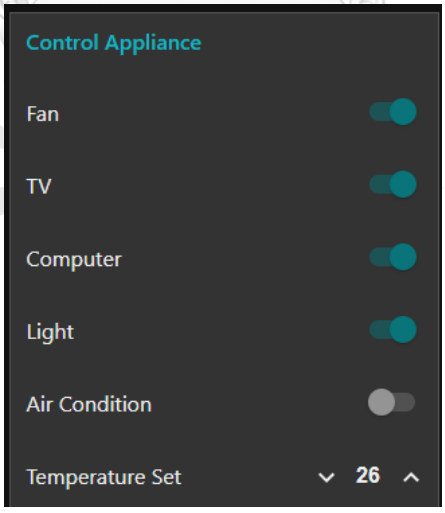
อุปกรณ์ไฟฟ้า	ค่าที่แสดงผล	ค่าที่อ่านได้จากแอปพลิเคชัน	ค่าที่อ่านได้จากเว็บบราวเซอร์	การทำงาน
โทรทัศน์	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	56	56	ถูกต้อง
	พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	52.277	52.277	ถูกต้อง
	แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	231	231	ถูกต้อง
	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	0.282	0.282	ถูกต้อง
คอมพิวเตอร์	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	102	102	ถูกต้อง
	พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	545.221	545.221	ถูกต้อง
	แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	232	232	ถูกต้อง
	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	0.517	0.517	ถูกต้อง
หลอดไฟ	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	8	8	ถูกต้อง
	พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	27.575	27.575	ถูกต้อง
	แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	232	232	ถูกต้อง
	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	0.063	0.063	ถูกต้อง
เครื่องปรับอากาศ	กำลังไฟฟ้า (วัตต์)	848	848	ถูกต้อง
	พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	1458.532	1458.532	ถูกต้อง
	แรงดันไฟฟ้า (โวลต์)	232	232	ถูกต้อง
	กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	4.044	4.044	ถูกต้อง

3) เมื่อเข้าไปที่แอปพลิเคชันในเมนู Control จะสามารถควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆได้ โดยจะมีการแสดงผลดังรูปที่ 4-7 ในส่วนของเว็บบราวเซอร์จะมีการใช้งานในลักษณะเดียวกัน ซึ่งจะมีการแสดงผลดังรูปที่ 4-8 หลังจากทดสอบการเปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยใช้แอปพลิเคชัน สามารถสรุปการทำงานได้ดังตารางที่ 4-6

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4-7 หน้าจอการแสดงผลแอปพลิเคชันเมนู Control



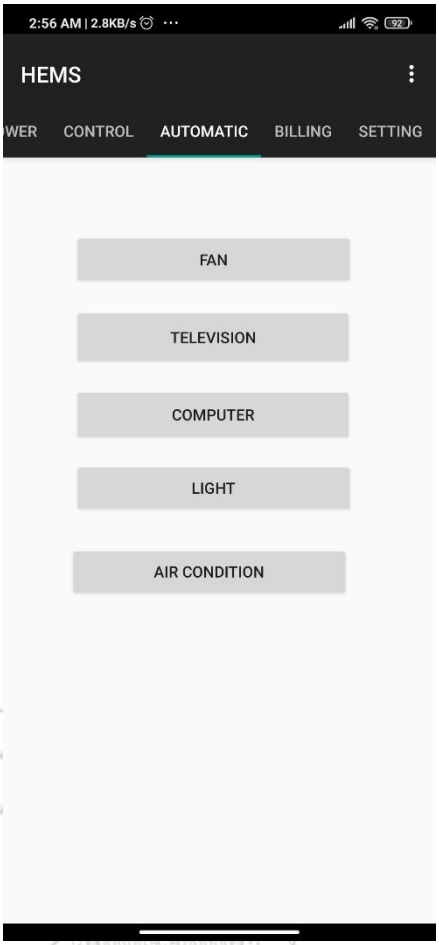
รูปที่ 4-8 หน้าจอการแสดงผลการควบคุมเปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิดในเว็บราวเซอร์

ตารางที่ 4-6 ทดสอบเปิด-ปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยใช้แอปพลิเคชัน

อุปกรณ์ไฟฟ้า	คำสั่งจากแอปพลิเคชัน	การทำงาน
พัดลม	เปิด	ถูกต้อง
	ปิด	ถูกต้อง
โทรทัศน์	เปิด	ถูกต้อง
	ปิด	ถูกต้อง
คอมพิวเตอร์	เปิด	ถูกต้อง
	ปิด	ถูกต้อง
หลอดไฟ	เปิด	ถูกต้อง
	ปิด	ถูกต้อง
เครื่องปรับอากาศ	เปิด	ถูกต้อง
	ปิด	ถูกต้อง

4) เมื่อเข้าไปที่แอปพลิเคชันในเมนู Automatic เป็นการตั้งค่าการทำงานควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ โดยในขั้นตอนแรกผู้ใช้จะต้องเลือกอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องการจะตั้งค่าควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติดังที่แสดงในตัวอย่างดังรูปที่ 4-9

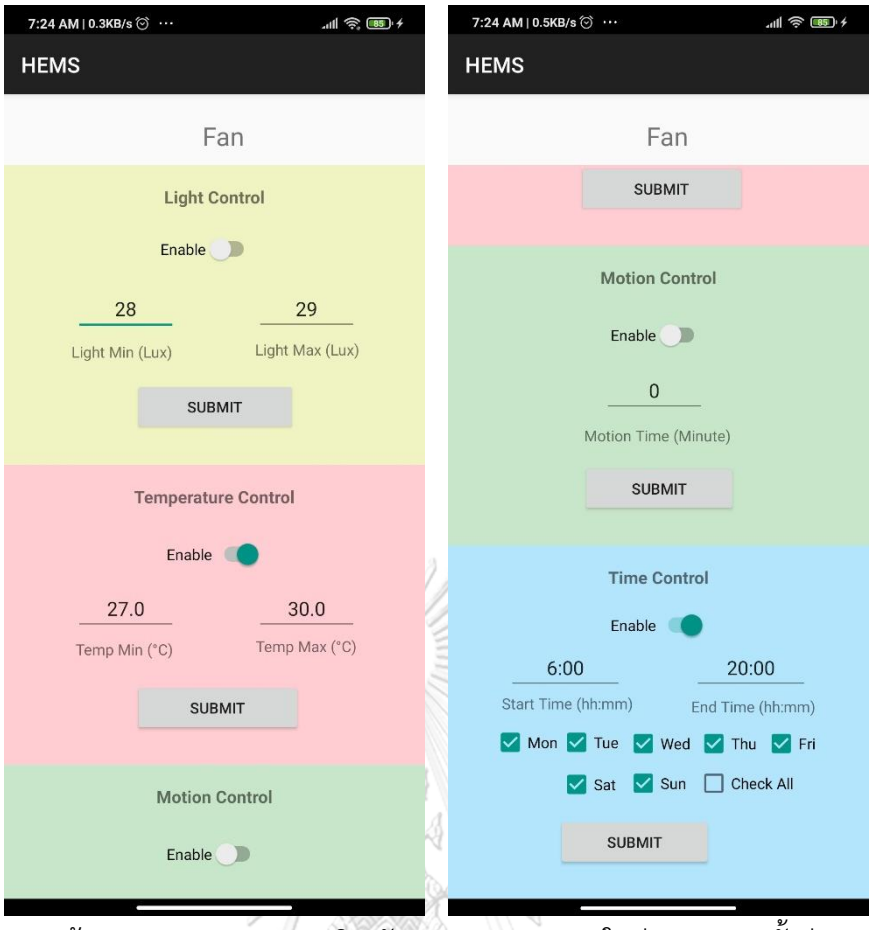
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 4-9 หน้าจอการแสดงผลแอปพลิเคชันเมนู Automatic ในส่วนของการเลือกอุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อตั้งค่าการควบคุมแบบอัตโนมัติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

5) เมื่อเลือกอุปกรณ์ที่ต้องการควบคุมได้แล้ว จะมีเมนูการตั้งค่าการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้า 4 รูปแบบ คือ การควบคุมด้วย แสงสว่าง อุณหภูมิ การตรวจจับการเคลื่อนไหว และ การควบคุมด้วยเวลา จะมีช่องให้กรอกค่าต่างๆที่ใช้ในการควบคุมพร้อมปุ่มกด Submit เพื่อยืนยันค่า ในการควบคุมแต่ละประเภทจะมีปุ่ม Enable ให้กดเพื่อเป็นการเลือกใช้การควบคุมในรูปแบบนั้น ให้ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 4-10



รูปที่ 4-10 หน้าจอการแสดงผลแอปพลิเคชันเมนู Automatic ในส่วนของการตั้งค่าการควบคุมอัตโนมัติให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เลือก

6) เมื่อตั้งค่ารูปแบบการควบคุมอัตโนมัติของอุปกรณ์ต่างๆผ่านแอปพลิเคชันเรียบร้อยแล้ว จึงมีการทดสอบการทำงานควบคุมแบบอัตโนมัติ โดยสามารถสรุปผลการดลองได้ดังตารางที่ 4-7

CHULALONGKORN UNIVERSITY

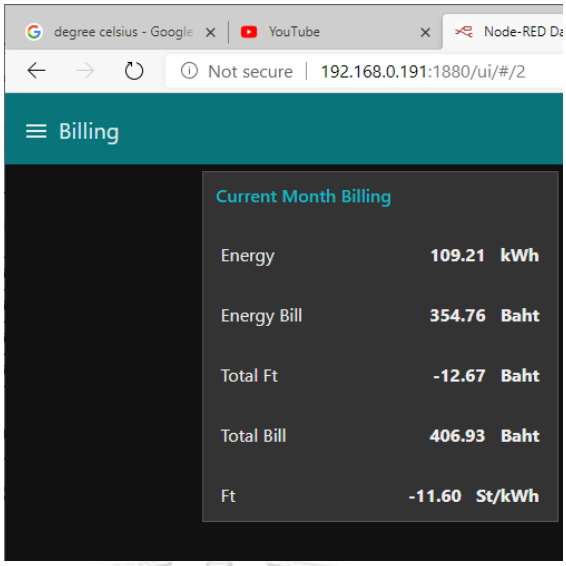
ตารางที่ 4-7 ผลการทดสอบการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ

อุปกรณ์ไฟฟ้า	รูปแบบการควบคุมอัตโนมัติ				การทำงาน
	แสงสว่าง	อุณหภูมิ	การเคลื่อนไหว	เวลา	
พัดลม	ไม่เลือก	เลือก	ไม่เลือก	ไม่เลือก	ถูกต้อง
	ไม่เลือก	เลือก	เลือก	ไม่เลือก	ถูกต้อง
โทรทัศน์	ไม่เลือก	ไม่เลือก	เลือก	ไม่เลือก	ถูกต้อง
	ไม่เลือก	ไม่เลือก	เลือก	เลือก	ถูกต้อง
คอมพิวเตอร์	ไม่เลือก	ไม่เลือก	เลือก	ไม่เลือก	ถูกต้อง
	ไม่เลือก	ไม่เลือก	เลือก	เลือก	ถูกต้อง

อุปกรณ์ไฟฟ้า	รูปแบบการควบคุมอัตโนมัติ				การทำงาน
	แสงสว่าง	อุณหภูมิ	การเคลื่อนไหว	เวลา	
หลอดไฟ	เลือก	ไม่เลือก	ไม่เลือก	ไม่เลือก	ถูกต้อง
	ไม่เลือก	ไม่เลือก	เลือก	เลือก	ถูกต้อง
เครื่องปรับอากาศ	ไม่เลือก	เลือก	ไม่เลือก	ไม่เลือก	ถูกต้อง
	ไม่เลือก	เลือก	ไม่เลือก	เลือก	ถูกต้อง

7) ในแอปพลิเคชันเมนู Billing จะเป็นการแสดงค่าการใช้ไฟฟ้าโดยรวมทั้งหมด พร้อมทั้งการคำนวณออกมาเป็นบิลค่าไฟฟ้าที่ต้องจ่ายในเดือนปัจจุบันโดยมีหลักการคำนวณค่าการใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้านครหลวง [8] ดังที่แสดงผลบนแอปพลิเคชันดังรูปที่ 4-11 และ มีการแสดงผลบนเว็บบราวเซอร์ดังรูปที่ 4-12 โดยจะมีการเปรียบเทียบค่าที่แสดงผลทั้งสองช่องทางได้ดังตารางที่ 4-8

รูปที่ 4-11 หน้าจอการแสดงผลแอปพลิเคชันเมนู Billing



รูปที่ 4-12 หน้าจอการแสดงผลบนเว็บบราวเซอร์เมนู Billing

ตารางที่ 4-8 เปรียบเทียบการแสดงผลข้อมูลการคำนวณค่าไฟฟ้าบนแอปพลิเคชัน และ บนเว็บบราวเซอร์

ค่าที่แสดงผล	ค่าที่อ่านได้จากแอปพลิเคชัน	ค่าที่อ่านได้จากเว็บบราวเซอร์	การทำงาน
พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	109.21	109.21	ถูกต้อง
ค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้า (บาท)	354.76	354.76	ถูกต้อง
ค่า Ft (สตางค์/กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	-11.6	-11.60	ถูกต้อง
ค่า Ft ทั้งหมด (บาท)	-12.67	-12.67	ถูกต้อง
ค่าใช้จ่ายทั้งหมด (บาท)	406.93	406.93	ถูกต้อง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบการทำงานในเมนูต่างๆในแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนที่ได้ออกแบบไว้ พบว่ามีการทำงานของระบบต่างๆมีความถูกต้องตามที่ได้ออกแบบไว้

4.4 ทดสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าก่อนติดตั้งระบบจัดการพลังงานไฟฟ้า

ในการทดสอบระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าจำเป็นต้องมีการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าก่อนติดตั้งระบบจัดกการพลังงานไฟฟ้าเพื่อให้ทราบถึงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าตามปกติก่อน เพื่อสามารถนำข้อมูลมาเปรียบเทียบ และวิเคราะห์ผลว่าระบบสามารถลดการใช้พลังงานได้เพียงใด โดยการทดสอบจะมีการเก็บข้อมูลในการวัดพลังงานไฟฟ้า 1 เดือน สำหรับการทดลองนี้เก็บข้อมูลในเดือนเมษายน 2563 โดยแบ่งประเภทวันที่ใช้เก็บข้อมูลเป็น 2 ประเภทคือ วันที่ผู้ใช้ไฟอยู่บ้านทั้งวัน และ วันที่ผู้ใช้ไฟไปทำงาน เนื่องจากมีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่แตกต่างกัน

<u>เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ</u>

1) Raspberry Pi
2) อุปกรณ์เซ็นเซอร์ตรวจวัดสิ่งแวดล้อม
3) อุปกรณ์เซ็นเซอร์วัดค่าพลังงาน Sonoff Pow
4) อุปกรณ์ปลั๊กไฟอัจฉริยะ Sonoff S31
5) หลอดไฟฟลูออเรสเซ็นต์ขนาด 18 วัตต์
6) พัดลม Hatari ขนาด 16 นิ้ว
7) โทรทัศน์ Samsung ขนาด 49 นิ้ว
8) เครื่องคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ
9) เครื่องปรับอากาศ LG ขนาด 9000 BTU

<u>วิธีการทดสอบ</u>

1) นำอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆเสียบเต้ารับอัจฉริยะ Sonoff S31 เพื่อวัดค่าพลังงานไฟฟ้า
2) ต่อสายไฟจากเครื่องปรับอากาศ และ หลอดไฟฟลูออเรสเซ็นต์เข้ากับอุปกรณ์ Sonoff Pow เพื่อวัดค่าพลังงานไฟฟ้า
3) เชื่อมต่ออุปกรณ์ทั้งหมดเข้ากับเครือข่าย Wifi ภายในบ้าน
4) เก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยการเชื่อมโยงข้อมูลโดยใช้โปรแกรม Node-Red ซึ่งถูกเขียนอยู่ในไมโครคอนโทรลเลอร์ Raspberry Pi เป็นที่เรียบร้อยแล้ว ข้อมูลทั้งหมดจะถูกเก็บอยู่ในฐานข้อมูล MySQL

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

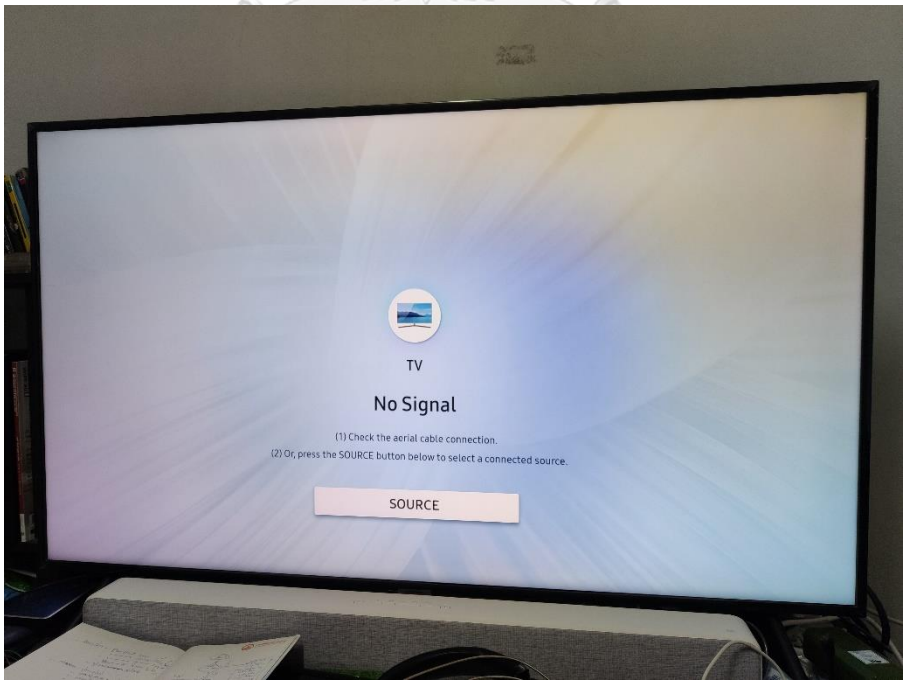
<u>ผลการทดสอบ</u>

การทดสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าก่อนใช้งานระบบจัดการพลังงานมีการทดสอบในเดือนเมษายน 2563 โดยจะแบ่งช่วงการทดสอบการใช้พลังงานเป็นสองช่วง คือช่วงวันที่ผู้ใช้งานอยู่บ้านและวันที่ผู้ใช้งานไปทำงาน รวมถึงมีการเก็บข้อมูลอุณหภูมิ และการตรวจจับการเคลื่อนไหวใน

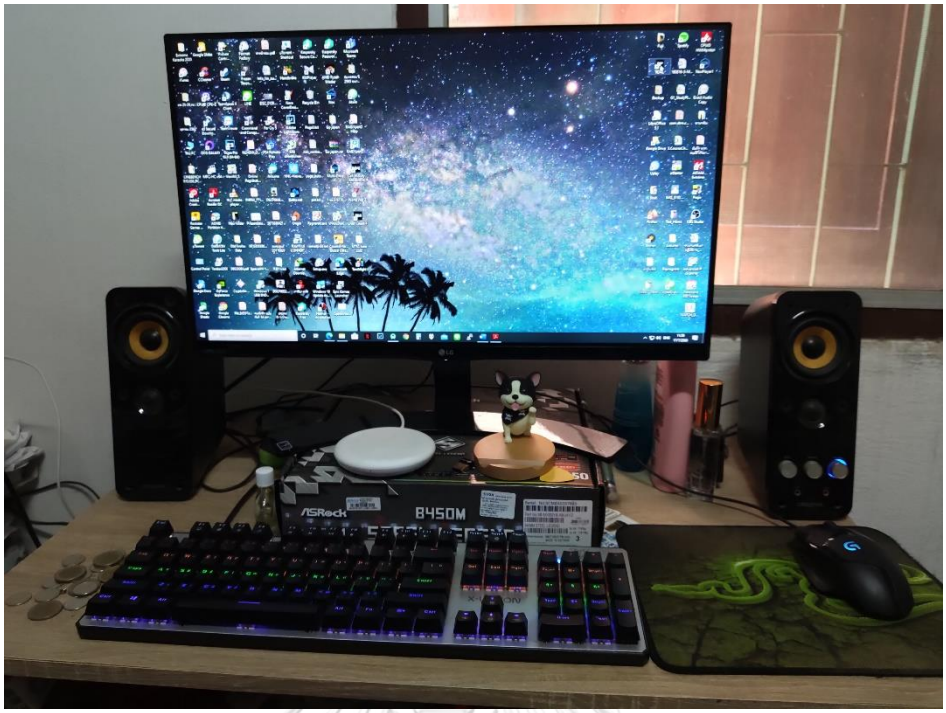
ช่วงเวลาดังกล่าวด้วย โดยจะมีอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าดังรูปที่ 4-13 ถึง 4-17 อุปกรณ์ไฟฟ้ามีการเสียบเต้ารับกับอุปกรณ์ Sonoff S31 เพื่อวัดค่าพลังงานไฟฟ้าดังรูปที่ 4-18 ยกเว้นหลอดไฟฟลูออเรสเซ็นต์ และ เครื่องปรับอากาศซึ่งมีการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าด้วยอุปกรณ์ Sonoff Pow ดังรูปที่ 4-19 ข้อมูลทั้งหมดจะถูกดึงมาจากฐานข้อมูล MySQL ที่ถูกเขียนไว้ในไมโครคอนโทรลเลอร์ Raspberry Pi ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงที่ผู้ใช้งานอยู่บ้าน และช่วงที่ผู้ใช้งานไปทำงานแสดงในตารางที่ 4-9 และตารางที่ 4-10 ตามลำดับ

รูปที่ 4-13 พัดลม Hatari ขนาด 16 นิ้ว

รูปที่ 4-14 หลอดไฟฟลูออเรสเซ็นต์ขนาด 18 วัตต์



รูปที่ 4-15 โทรทัศน์ Samsung ขนาด 49 นิ้ว



รูปที่ 4-16 คอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ

รูปที่ 4-17 เครื่องปรับอากาศ LG ขนาด 9000 BTU

รูปที่ 4-18 อุปกรณ์ปลั๊กไฟอัจฉริยะ Sonoff S31

รูปที่ 4-19 อุปกรณ์เซ็นเซอร์วัดค่าพลังงาน Sonoff Pow

ตารางที่ 4-9 การใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่างๆในวันที่ผู้ใช้งานอยู่บ้าน (หน่วย : กิโลวัตต์-ชั่วโมง)

วันที่	พัดลม	โทรทัศน์	คอมพิวเตอร์	หลอดไฟ	เครื่องปรับอากาศ	รวม
4	0.260	0.014	1.727	0.266	5.194	7.461
5	0.298	0.159	1.235	0.006	3.550	5.248
6	0.466	0.166	1.949	0.240	4.160	6.981
7	0.367	0.158	1.299	0.239	3.940	6.003
19	0.559	0.019	1.634	0.251	3.860	6.323
20	0.167	0.081	1.055	0.029	4.690	6.022
21	0.294	0.018	1.654	0.157	5.510	7.633
รวม	**2.411**	**0.615**	**10.553**	**1.188**	**30.904**	**45.671**

ตารางที่ 4-10 การใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่างๆในวันที่ผู้ใช้งานไปทำงาน (หน่วย : กิโลวัตต์-ชั่วโมง)

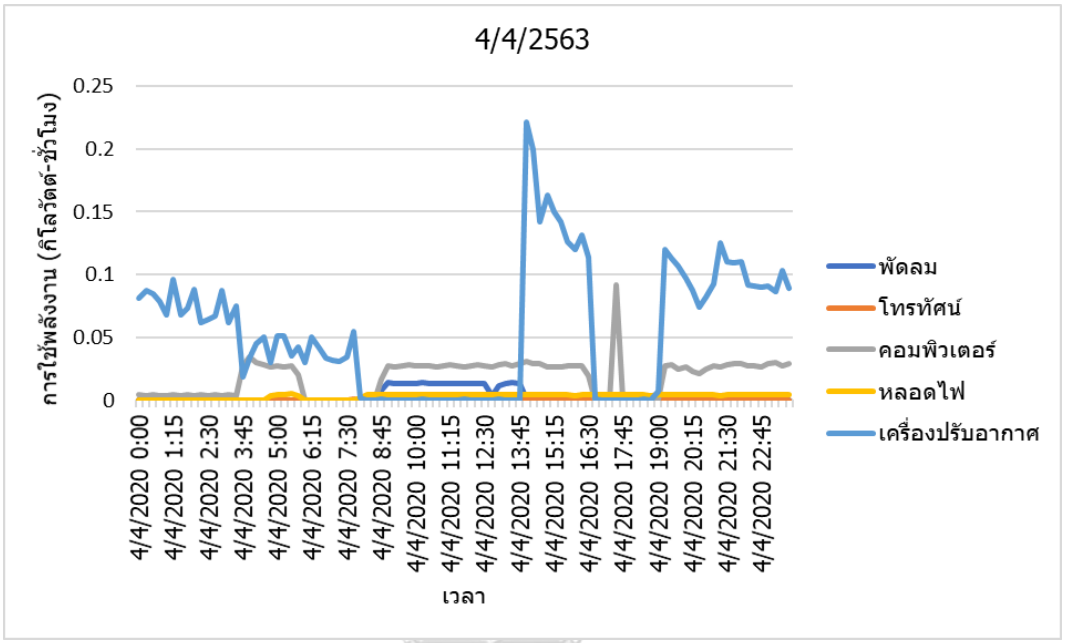
วันที่	พัดลม	โทรทัศน์	คอมพิวเตอร์	หลอดไฟ	เครื่องปรับอากาศ	รวม
1	0.009	0.015	0.758	0.003	3.528	4.313
2	0.099	0.028	1.289	0.193	3.189	4.798
3	0.075	0.153	0.845	0.083	3.544	4.700
8	0.025	0.084	0.283	0.212	3.450	4.054
15	0.060	0.063	0.650	0.140	2.420	3.333
22	0.013	0.019	0.440	0.132	4.140	4.744
29	0.122	0.019	0.714	0.159	2.030	3.044
รวม	**0.403**	**0.381**	**4.979**	**0.922**	**22.301**	**28.986**

จากผลการทดลองเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลาที่ผู้ใช้งานอยู่บ้านเทียบกับช่วงเวลาที่ผู้ใช้งานไปทำงานจะพบว่า ช่วงเวลาที่ผู้ใช้งานอยู่บ้านจะมีการใช้ไฟฟ้าที่มากกว่าช่วงเวลาที่ผู้ใช้งานออกไปทำงานโดย เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีการใช้พลังงานมากที่สุดจะเป็นเครื่องปรับอากาศ และเครื่องคอมพิวเตอร์ตามลำดับ โดยข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าจะถูกเก็บบันทึกในฐานข้อมูล MySQL

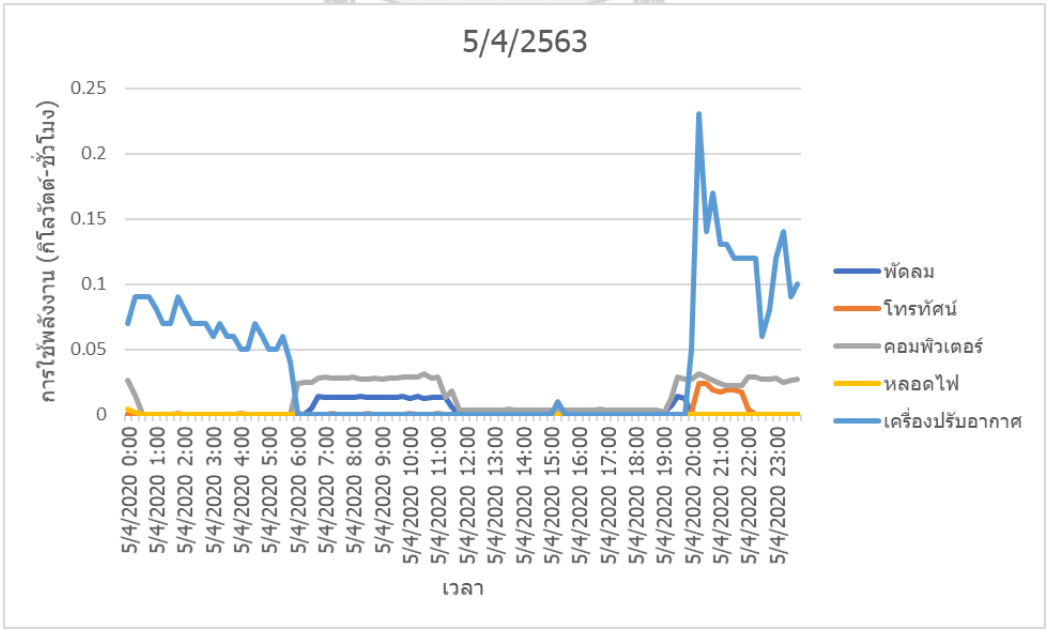
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ทุกช่วงเวลา 15 นาที มีการแสดงข้อมูลดังรูปที่ 4-20 ถึง 4-26 สำหรับช่วงเวลาที่ผู้ใช้งานอยู่บ้าน และรูปที่ 4-27 ถึง 4-33 สำหรับช่วงเวลาที่ผู้ใช้งานไปทำงานตามลำดับ

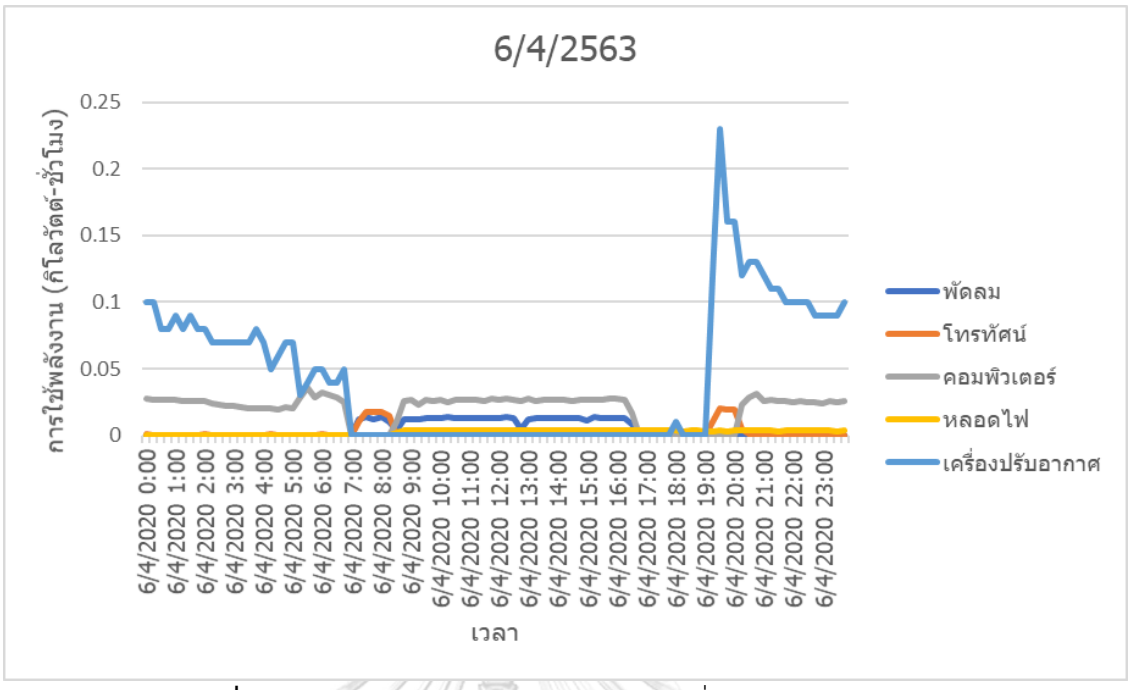
<u>การใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงวันที่ผู้ใช้งานอยู่ที่บ้าน</u>



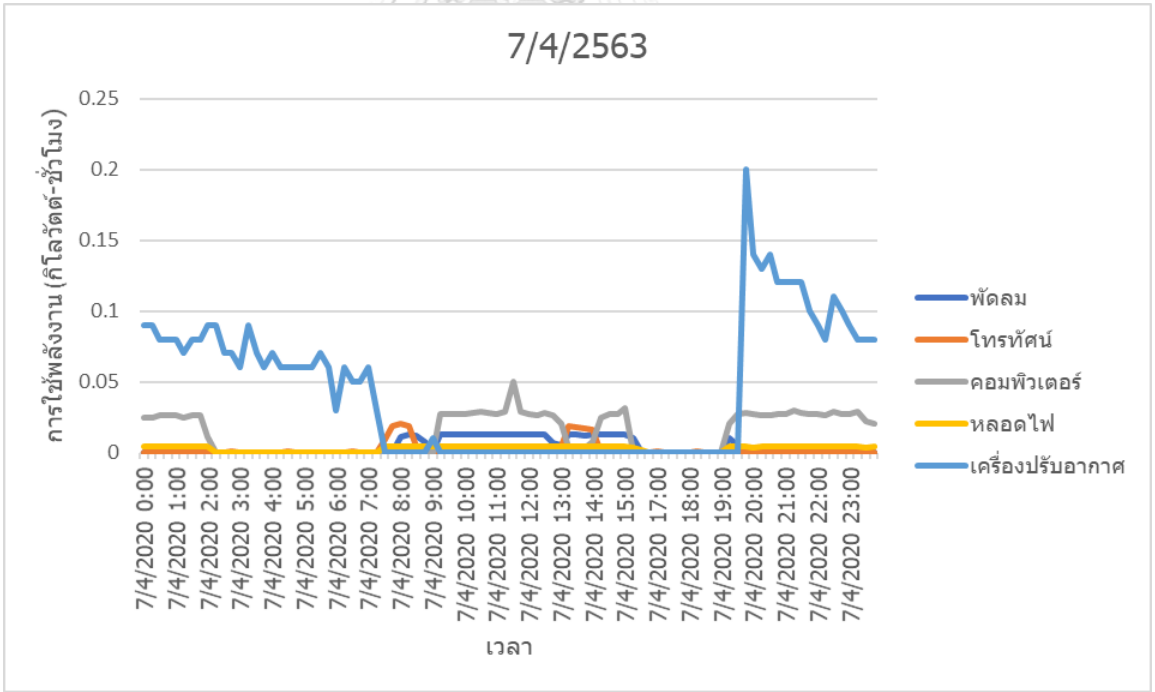
รูปที่ 4-20 การใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมในวันที่ 4 เมษายน 2563



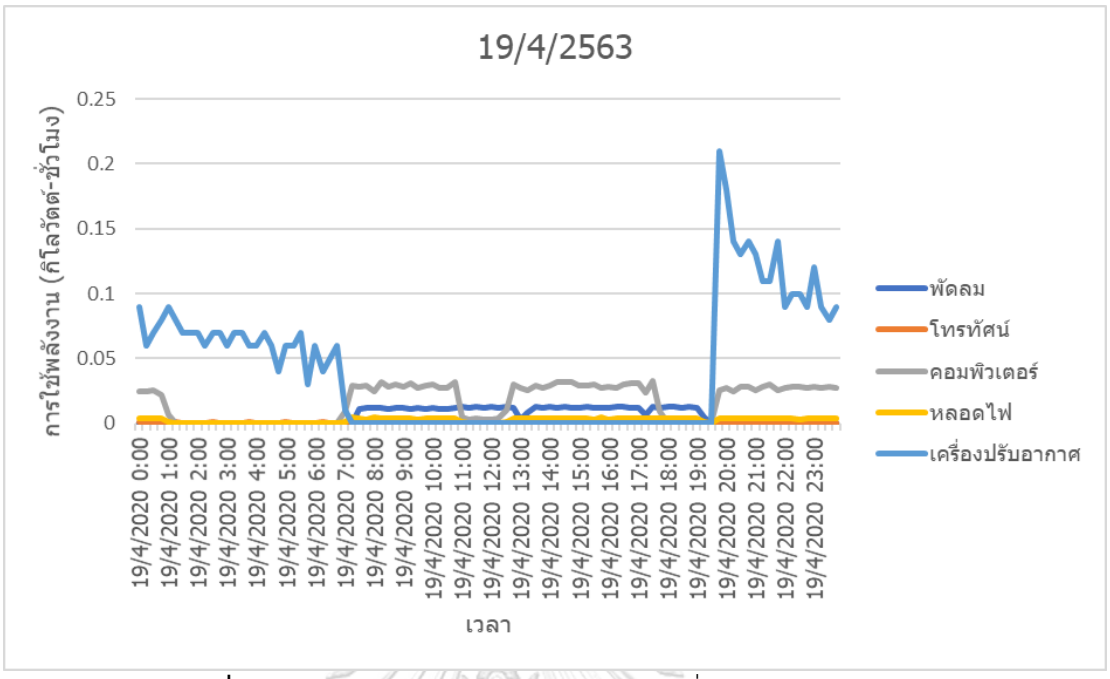
รูปที่ 4-21 การใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมในวันที่ 5 เมษายน 2563



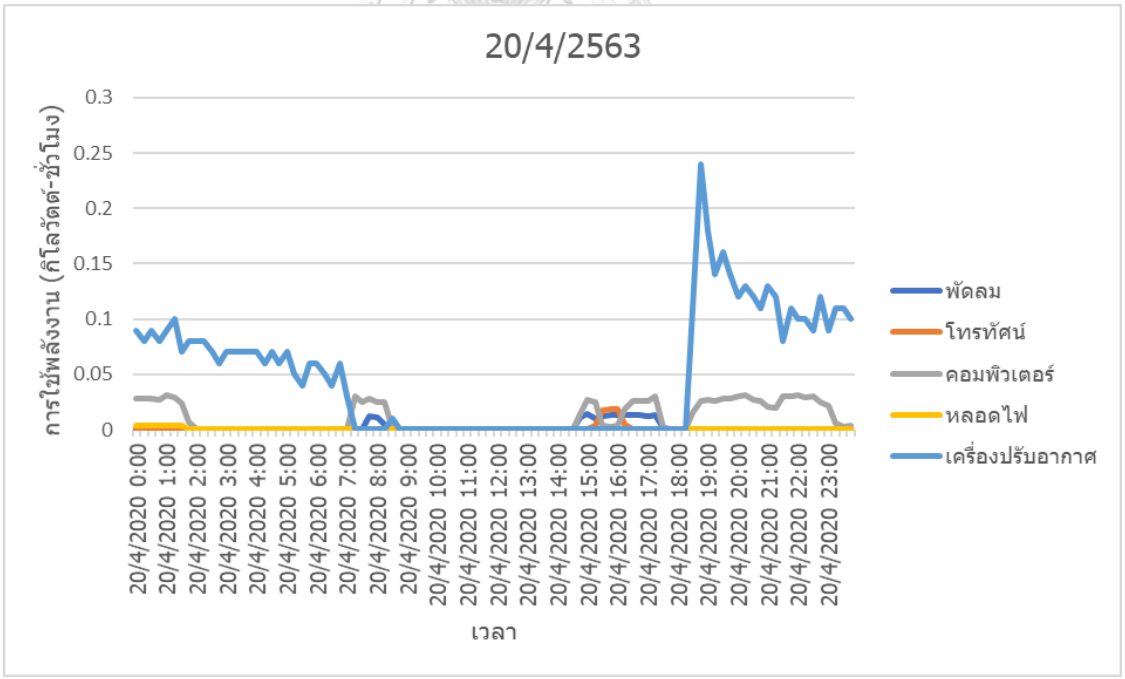
รูปที่ 4-22 การใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมในวันที่ 6 เมษายน 2563



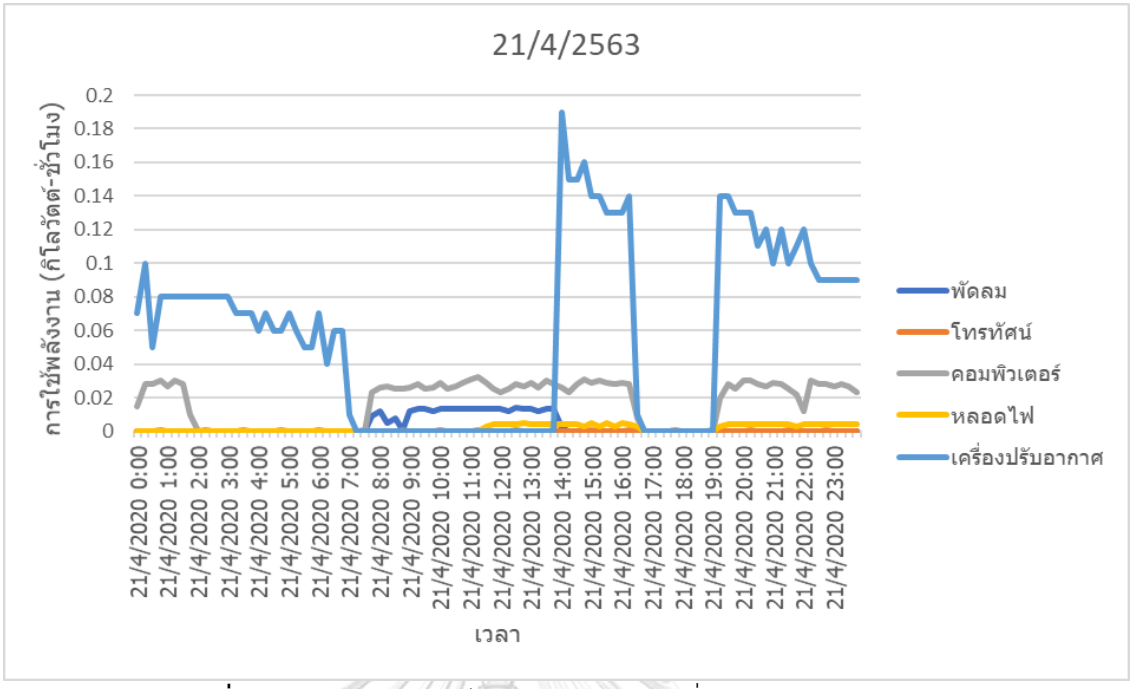
รูปที่ 4-23 การใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมในวันที่ 7 เมษายน 2563



รูปที่ 4-24 การใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมในวันที่ 19 เมษายน 2563

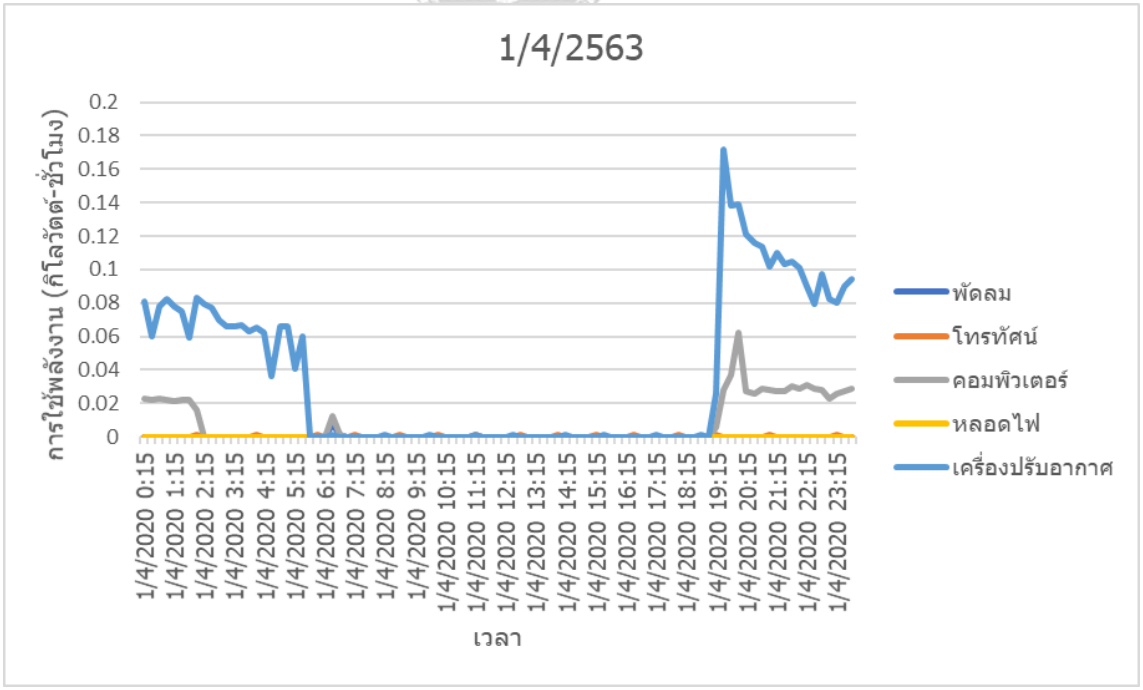


รูปที่ 4-25 การใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมในวันที่ 20 เมษายน 2563

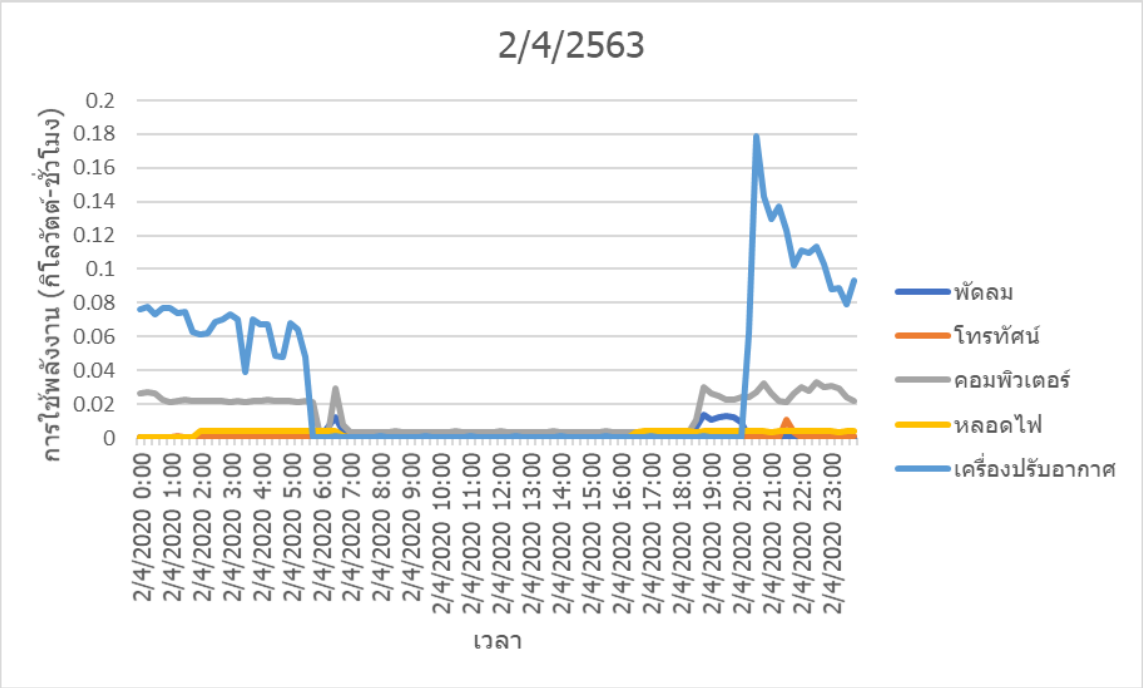


รูปที่ 4-26 การใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมในวันที่ 21 เมษายน 2563

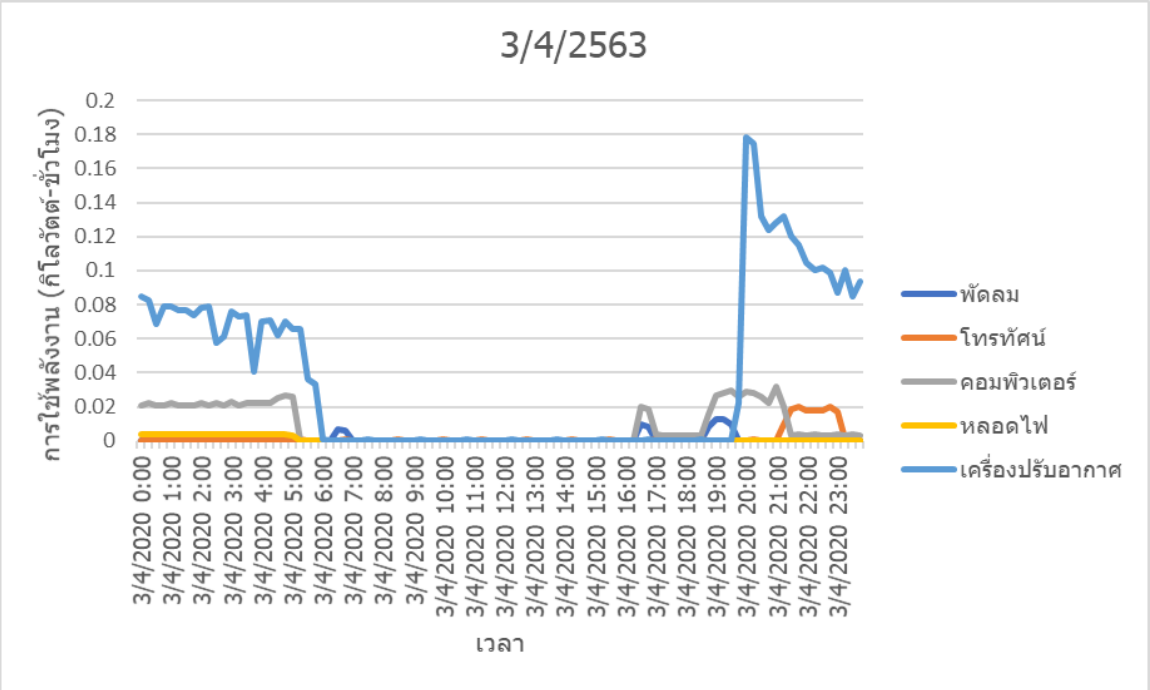
<u>การใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงวันที่ผู้ใช้งานออกไปทำงาน</u>



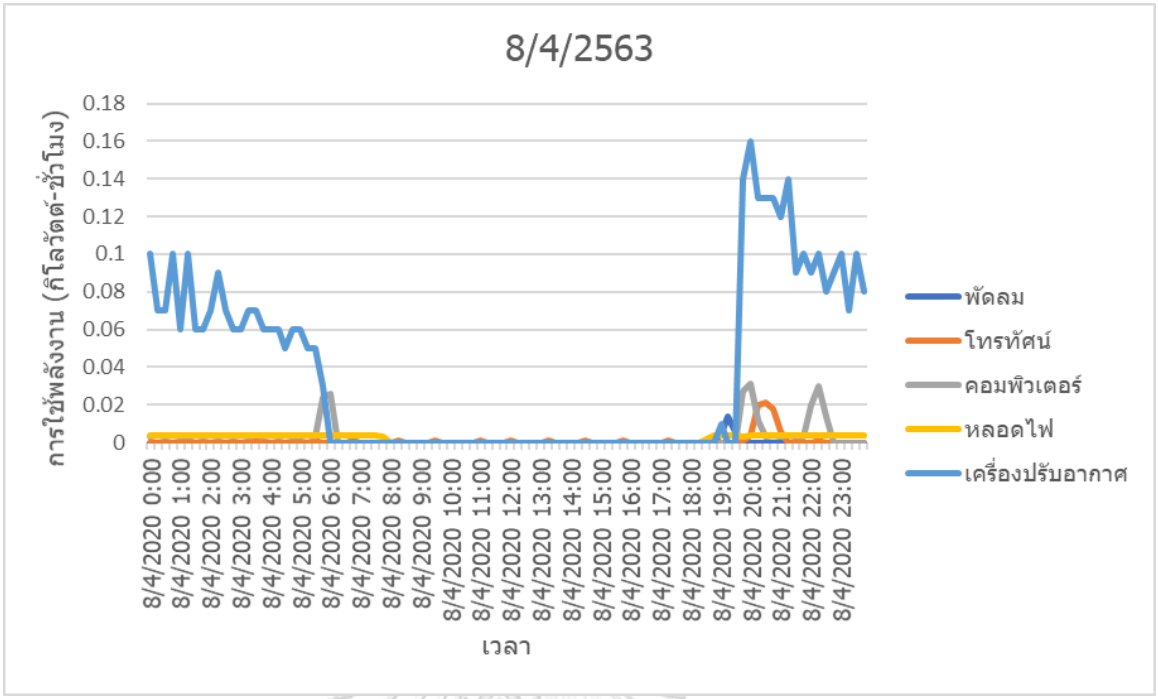
รูปที่ 4-27 การใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมในวันที่ 1 เมษายน 2563



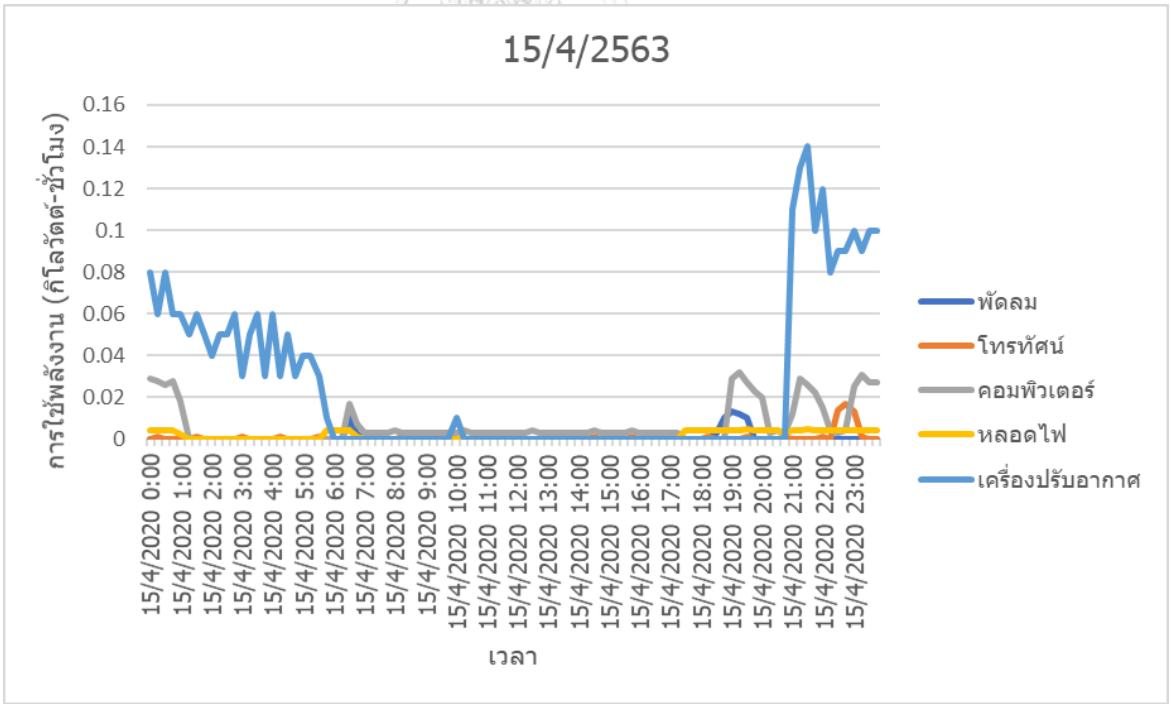
รูปที่ 4-28 การใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมในวันที่ 2 เมษายน 2563



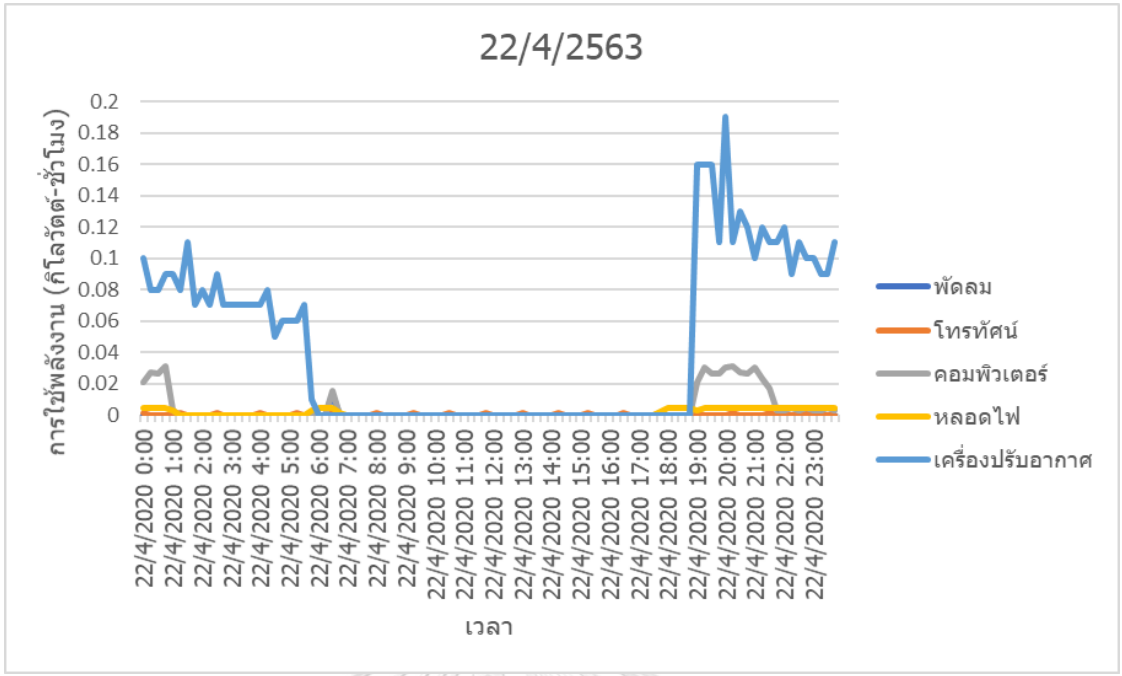
รูปที่ 4-29 การใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมในวันที่ 3 เมษายน 2563



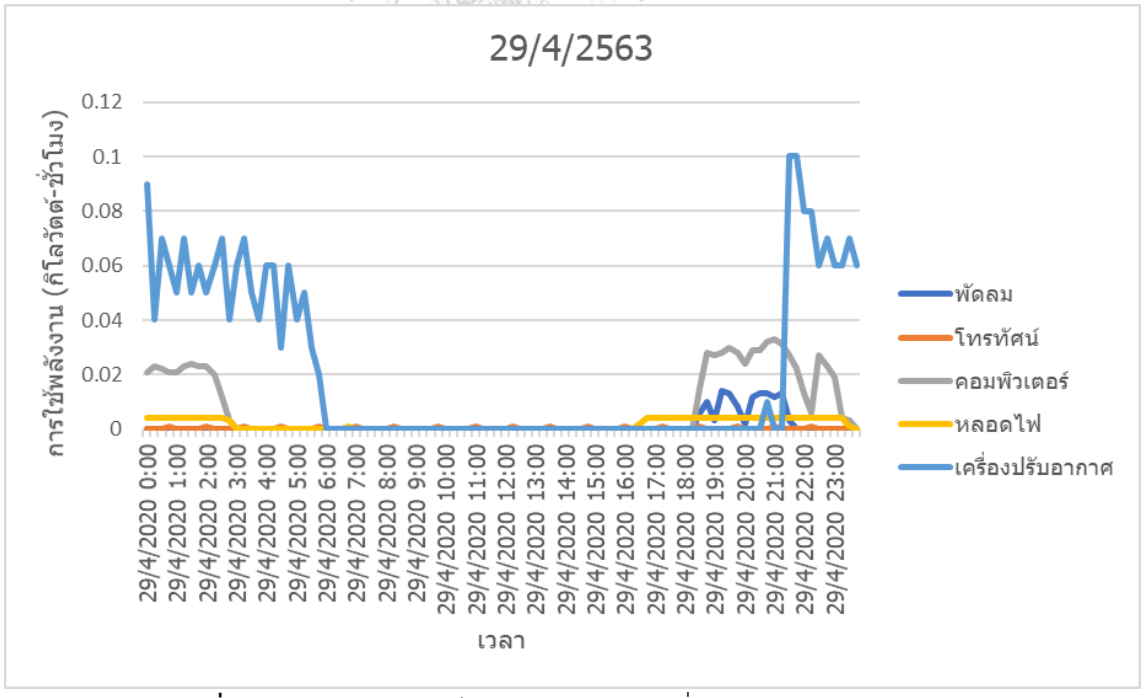
รูปที่ 4-30 การใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมในวันที่ 8 เมษายน 2563



รูปที่ 4-31 การใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมในวันที่ 15 เมษายน 2563



รูปที่ 4-32 การใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมในวันที่ 22 เมษายน 2563



รูปที่ 4-33 การใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมในวันที่ 29 เมษายน 2563

สรุปผลการทดสอบ

จากการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าเก็บข้อมูลในช่วงเดือนเมษายน 2563 โดยแบ่งช่วงเวลาที่เก็บข้อมูลเป็นสองช่วงคือ วันที่ผู้ใช้งานอยู่บ้านและวันที่ผู้ใช้งานไปทำงาน พบว่าวันที่ผู้ใช้งานอยู่บ้านจะมีการใช้พลังงานโดยเฉลี่ยสูงกว่า โดยอุปกรณ์ที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดคือเครื่องปรับอากาศ โดยมีการใช้พลังงานมากกว่า 50% ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด

4.5 ทดสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าเมื่อมีการติดตั้งระบบจัดการพลังงานไฟฟ้า

หลังจากที่ได้เก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าก่อนติดตั้งระบบจัดการพลังงานเรียบร้อยแล้ว จึงมีการใช้งานระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าเพื่อทดสอบการทำงานของระบบเพื่อวัดประสิทธิภาพในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยในการทดสอบนี้จะมีการเชื่อมโยงข้อมูลกับระบบการใช้พลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ที่มีการติดตั้งอยู่ที่บ้านของนายศุภสิน [4] เพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการเลือกใช้แหล่งพลังงานที่เหมาะสม โดยจะเป็นการจำลองสถานการณ์ว่ามีการติดตั้งระบบการใช้พลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่บ้านของผู้ทดสอบจริง

เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบ

1) Raspberry Pi
2) อุปกรณ์เซ็นเซอร์ตรวจวัดสิ่งแวดล้อม
3) อุปกรณ์เซ็นเซอร์วัดค่าพลังงาน Sonoff Pow
4) อุปกรณ์ปลั๊กไฟอัจฉริยะ Sonoff S31
5) หลอดไฟฟลูออเรสเซ็นต์ขนาด 18 วัตต์
6) พัดลม Hatari ขนาด 16 นิ้ว
7) โทรทัศน์ Samsung ขนาด 49 นิ้ว
8) เครื่องคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ
9) เครื่องปรับอากาศ LG ขนาด 9000 BTU
10) ระบบการใช้พลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการติดตั้งอยู่ที่บ้านของนายศุภสิน [20]

วิธีการทดสอบ

1) นำอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆเสียบเต้ารับอัจฉริยะ Sonoff S31 เพื่อวัดค่าพลังงานไฟฟ้า
2) ต่อสายไฟจากเครื่องปรับอากาศ และ หลอดไฟฟลูออเรสเซ็นต์เข้ากับอุปกรณ์ Sonoff Pow เพื่อวัดค่าพลังงานไฟฟ้า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

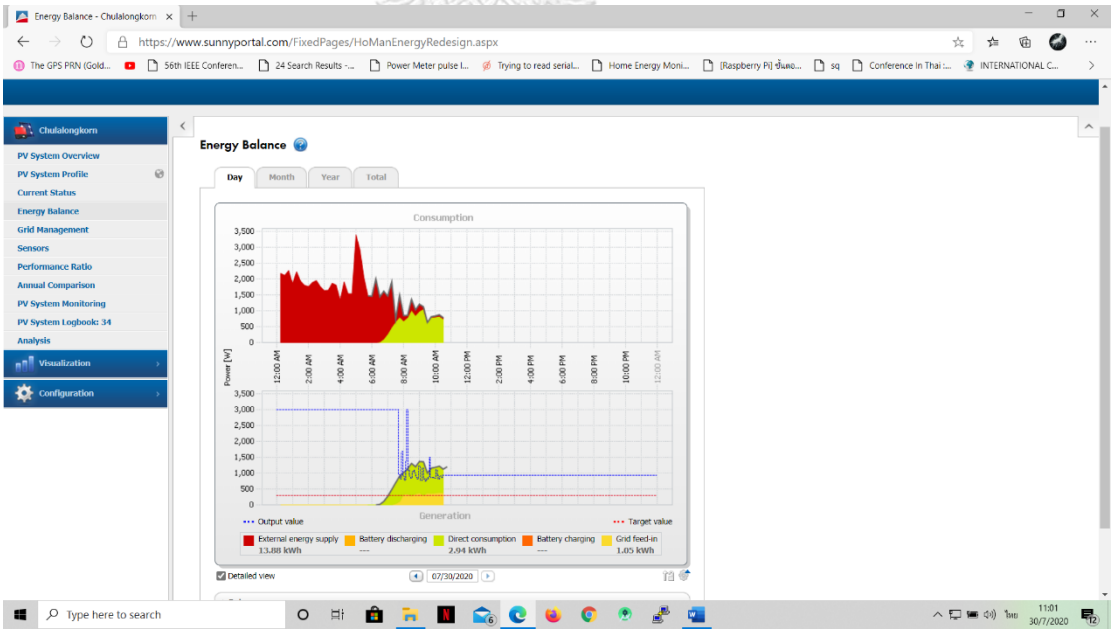
3) เชื่อมต่ออุปกรณ์ทั้งหมดเข้ากับเครือข่าย Wifi ภายในบ้าน

4) เก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยการเชื่อมโยงข้อมูลโดยใช้โปรแกรม Node-Red ซึ่งถูกเขียนอยู่ในไมโครคอนโทรลเลอร์ Raspberry Pi เป็นที่เรียบร้อยแล้ว ข้อมูลทั้งหมดจะถูกเก็บอยู่ในฐานข้อมูล MySQL

5) เก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์จากบ้านของนายศุภสิน โดยรับข้อมูลจากทางอินเทอร์เน็ตผ่านเว็บไซต์ www.sunnyportal.com โดยจะเป็นข้อมูลจากผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ในทุก 1 ชั่วโมง เพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการวิเคราะห์ในการเลือกแหล่งพลังงาน

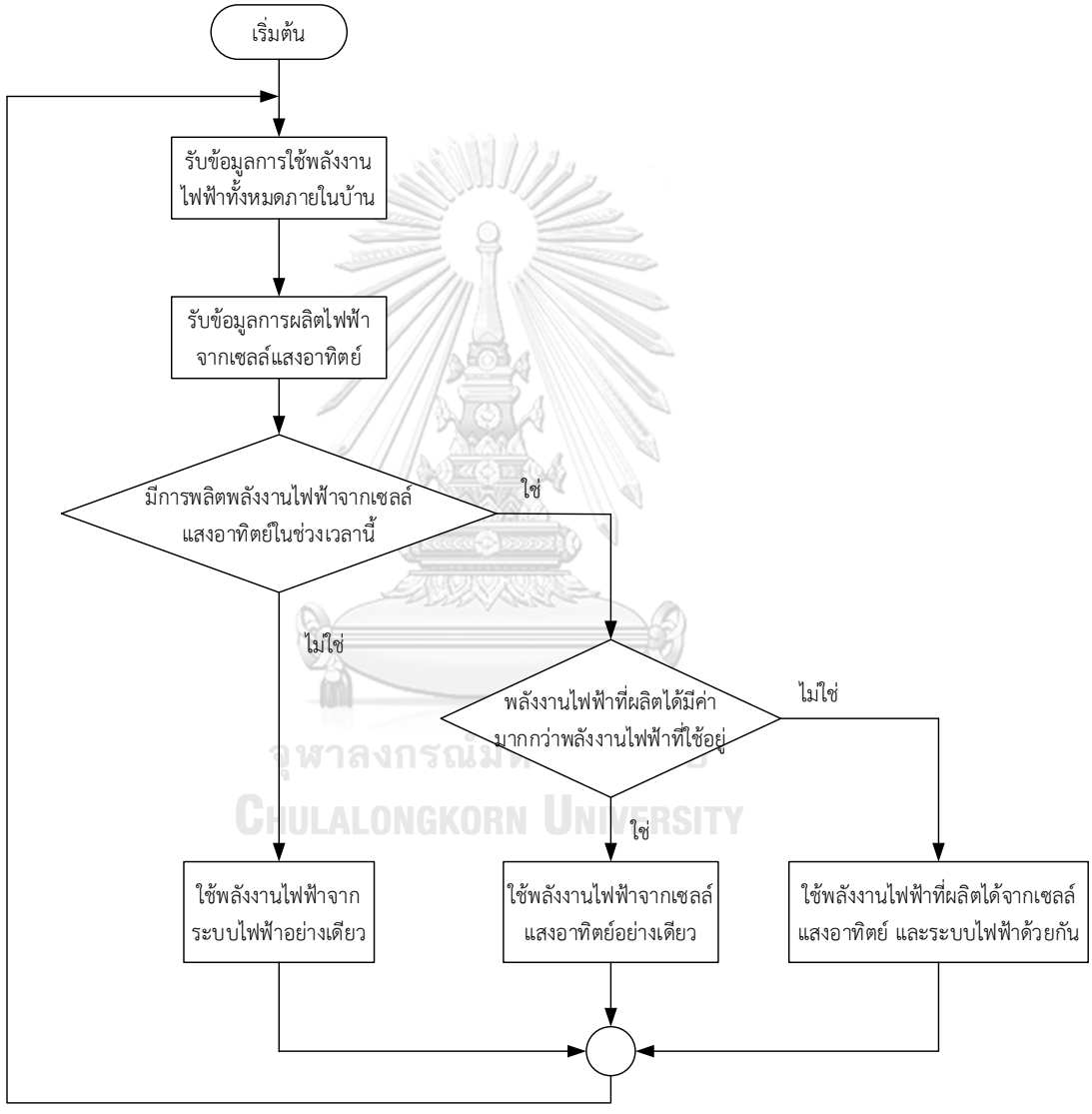
ผลการทดสอบ

การทดสอบนี้ใช้เวลาในช่วงเดือน พฤษภาคม 2563 ในการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าและการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ โดยมีการดึงข้อมูลการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่บ้านของนายศุภสินจากเว็บไซต์ www.sunnyportal.com ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 4-34 โดยนำข้อมูลมาใช้ในการพิจารณาการใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสม



รูปที่ 4-34 การอ่านข้อมูลการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จากเว็บไซต์ www.sunnyportal.com

ในการพิจารณาแหล่งพลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจะพิจารณาจากพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เปรียบเทียบกับพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีเงื่อนไขว่าถ้าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับพลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจะมีการใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด ถ้าหากเซลล์แสงอาทิตย์มีการผลิตไฟฟ้าที่ไม่เพียงพอกับการใช้งานจะมีการดึงไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าหลักมาใช้ ดังที่แสดงในรูปที่ 4-35



รูปที่ 4-35 ขั้นตอนวิธีการเลือกใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้า

ในการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าได้แบ่งการเก็บข้อมูลออกเป็นสองประเภทเช่นเดียวกับการทดลองที่แล้ว โดยแบ่งเป็นช่วงวันที่ผู้ใช้งานอยู่บ้าน และช่วงเวลาที่ผู้ใช้งานออกไปทำงาน โดยสามารถสรุปการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดได้ดังตารางที่ 4-11 และ ตารางที่ 4-12 ตามลำดับ

ตารางที่ 4-11 การใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่างๆในวันที่ผู้ใช้งานอยู่บ้าน (หน่วย : กิโลวัตต์-ชั่วโมง)

วันที่	พัดลม	โทรทัศน์	คอมพิวเตอร์	หลอดไฟ	เครื่องปรับอากาศ	รวม
1	0.261	0.252	1.353	0.248	4.680	6.794
2	0.391	0.370	1.770	0.338	5.040	7.909
3	0.342	0.018	1.454	0.279	4.770	6.863
4	0.388	0.019	1.364	0.261	4.280	6.312
6	0.322	0.019	1.353	0.120	4.900	6.714
7	0.278	0.019	1.186	0.188	4.230	5.901
9	0.322	0.121	1.520	0.267	5.750	7.980
รวม	**2.304**	**0.818**	**10.000**	**1.701**	**33.650**	**48.473**

ตารางที่ 4-12 การใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่างๆในวันที่ผู้ใช้งานไปทำงาน (หน่วย : กิโลวัตต์-ชั่วโมง)

วันที่	พัดลม	โทรทัศน์	คอมพิวเตอร์	หลอดไฟ	เครื่องปรับอากาศ	รวม
5	0.000	0.134	0.506	0.091	3.870	4.601
8	0.000	0.089	0.623	0.106	4.510	5.328
12	0.039	0.019	0.825	0.134	3.460	4.477
18	0.000	0.020	0.549	0.143	3.440	4.152
22	0.005	0.110	0.507	0.126	4.270	5.018
26	0.095	0.112	0.535	0.105	2.390	3.237
28	0.013	0.016	0.512	0.097	2.710	3.348
รวม	**0.152**	**0.500**	**4.057**	**0.802**	**24.650**	**30.161**

จากตารางที่ 4-10 และ 4-11 จะพบว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลาที่ผู้ใช้งานอยู่บ้านจะมีค่ามากกว่าช่วงเวลาที่ผู้ใช้งานไปทำงานเช่นเดียวกับผลการทดลองครั้งที่แล้ว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

นอกจากนี้ยังมีการเก็บข้อมูลการเลือกใช้แหล่งพลังงานโดยใช้ขั้นตอนวิธีการเลือกใช้แหล่งพลังงานจากรูปที่ 4-35 โดยจะมีการแบ่งประเภทของข้อมูลเป็นช่วงเวลาที่ผู้ใช้งานอยู่บ้านซึ่งสามารถสรุปการใช้แหล่งพลังงานโดยรวมรวมถึงความสามารถในการลดการใช้พลังงานได้ตามตารางที่ 4-13 และ การใช้แหล่งพลังงานรายวันในรูปแบบของกราฟดังรูปที่ 4-36 ถึง 4-42 ตามลำดับ ในส่วนของช่วงเวลาที่ผู้ใช้งานไปทำงานสามารถสรุปการใช้แหล่งพลังงานโดยรวมตามตารางที่ 4-14 และ การใช้แหล่งพลังงานรายวันในรูปแบบของกราฟดังรูปที่ 4-43 ถึง 4-49 ตามลำดับ

ตารางที่ 4-13 การเลือกใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่างๆในวันที่ผู้ใช้งานอยู่บ้าน (หน่วย : กิโลวัตต์-ชั่วโมง)

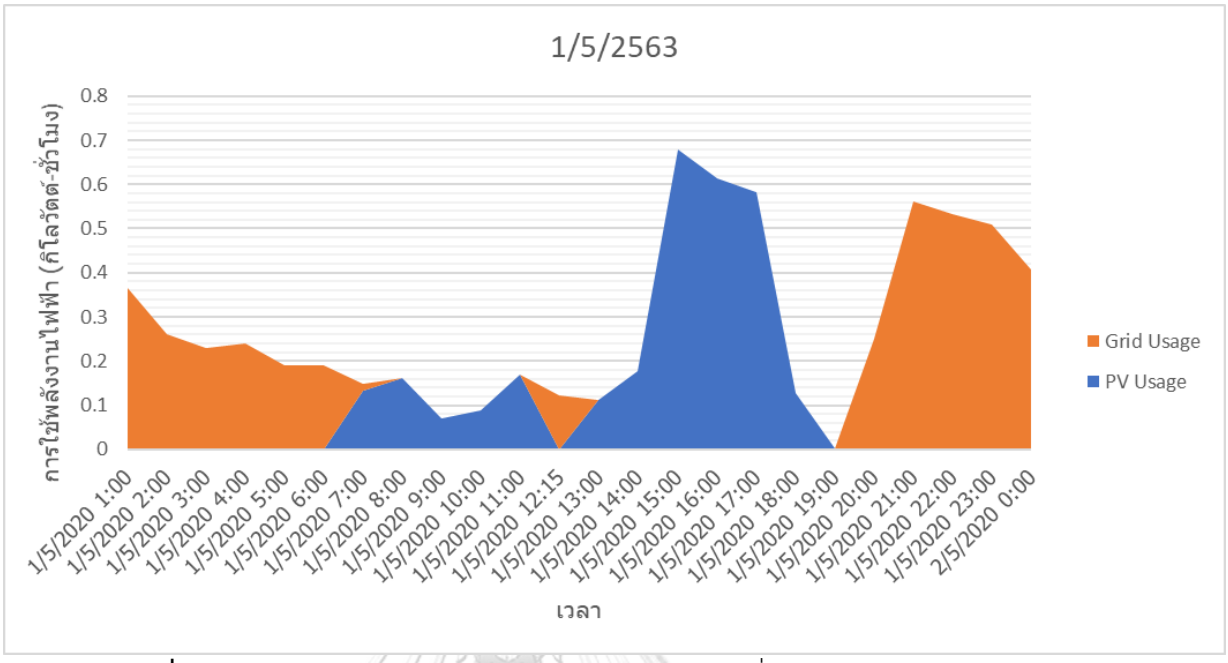
วันที่	แหล่งพลังงาน		รวม	ลดการใช้พลังงานจากระบบ (%)
	เซลล์แสงอาทิตย์	ระบบไฟฟ้า		
1	2.918	3.876	6.794	42.950
2	3.386	4.523	7.909	42.812
3	2.632	4.231	6.863	38.351
4	1.398	4.914	6.312	22.148
6	1.407	5.307	6.714	20.956
7	1.099	4.849	5.948	18.477
9	3.046	4.934	7.980	38.170
รวม	**15.886**	**32.634**	**48.520**	**31.981**

ศูนย์วิทยทรัพยากร
CHULALONGKORN UNIVERSITY

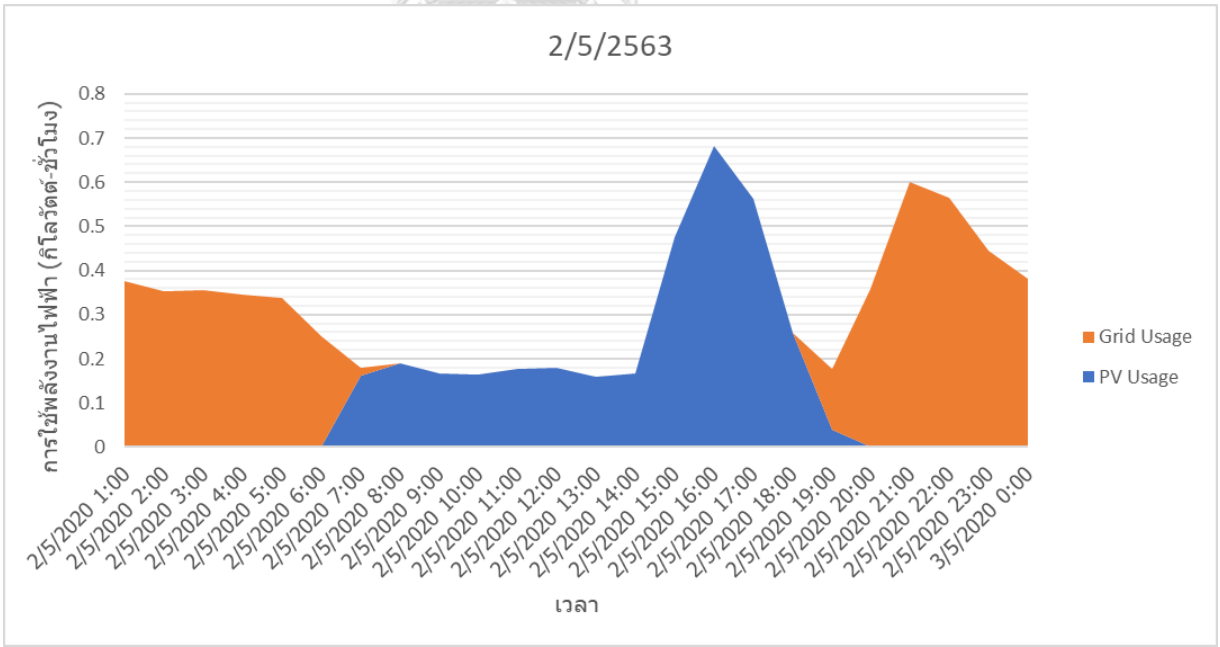
ตารางที่ 4-14 การเลือกใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่างๆในวันที่ผู้ใช้งานไปทำงาน (หน่วย : กิโลวัตต์-ชั่วโมง)

วันที่	แหล่งพลังงาน		รวม	ลดการใช้พลังงานจากระบบ (%)
	เซลล์แสงอาทิตย์	ระบบไฟฟ้า		
5	0.030	4.571	4.601	0.652
8	0.076	5.252	5.328	1.426
12	0.375	4.102	4.477	8.376
18	0.067	4.085	4.152	1.614
22	0.105	4.913	5.018	2.092
26	0.077	3.160	3.237	2.379
28	0.059	3.289	3.348	1.762
รวม	**0.789**	**29.372**	**30.161**	**2.615**

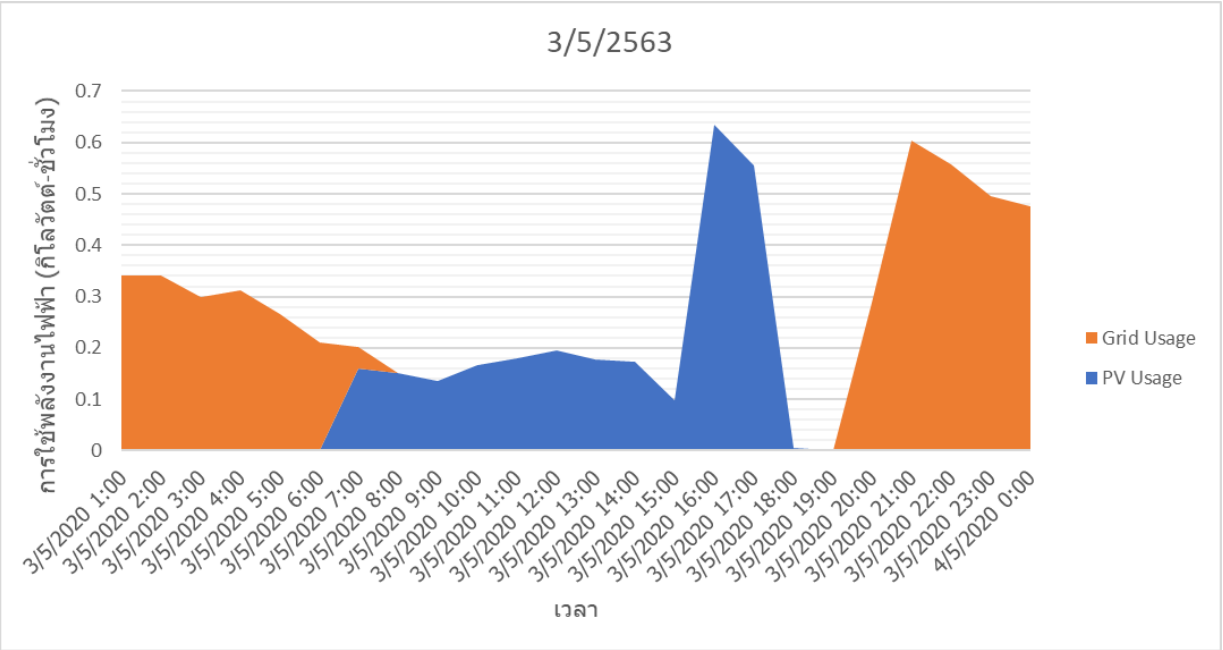
การเลือกใช้แหล่งพลังงานรายวันในช่วงเวลาที่ผู้ใช้งานอยู่บ้าน



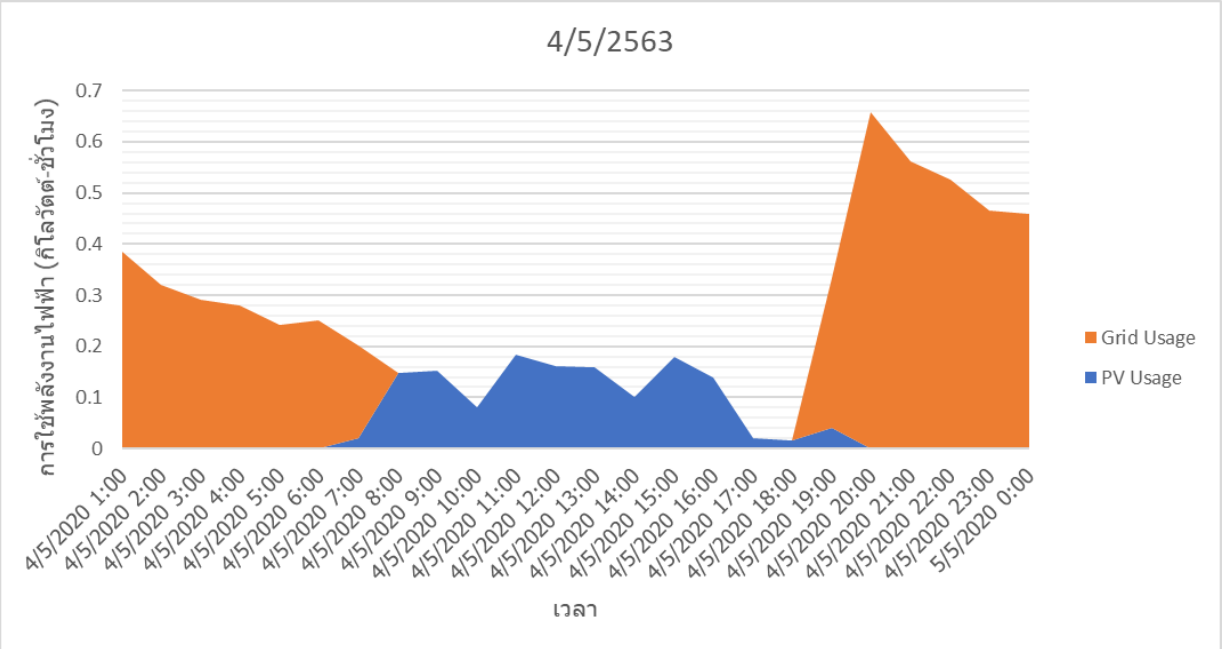
รูปที่ 4-36 การเลือกใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าโดยรวมในวันที่ 1 พฤษภาคม 2563



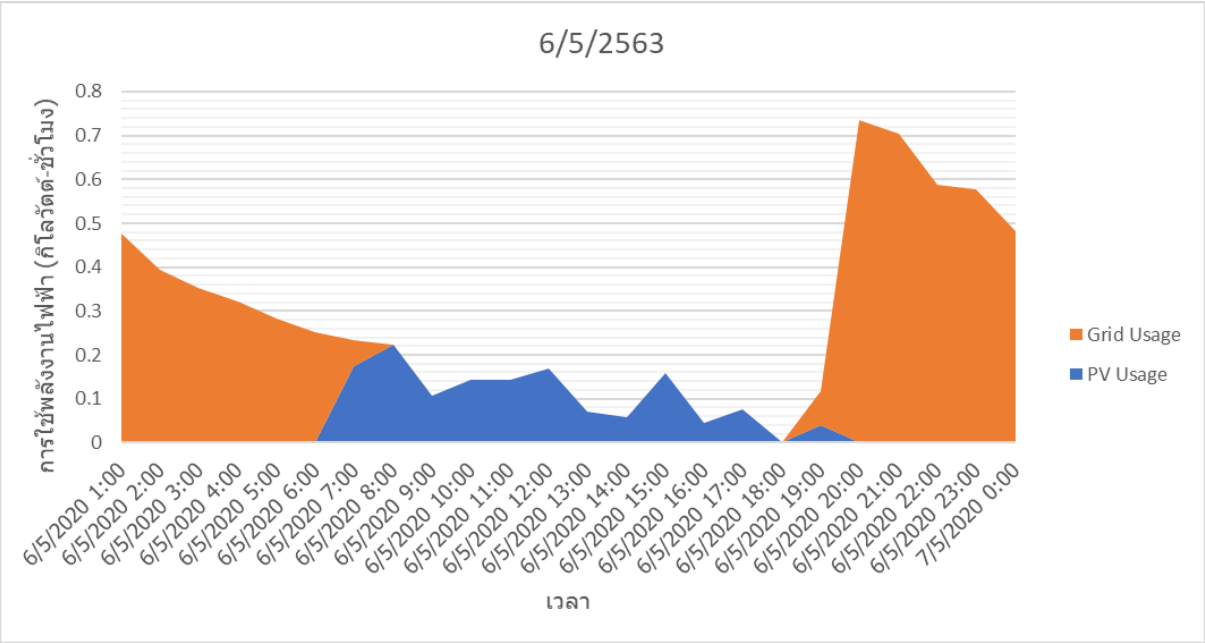
รูปที่ 4-37 การเลือกใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าโดยรวมในวันที่ 2 พฤษภาคม 2563



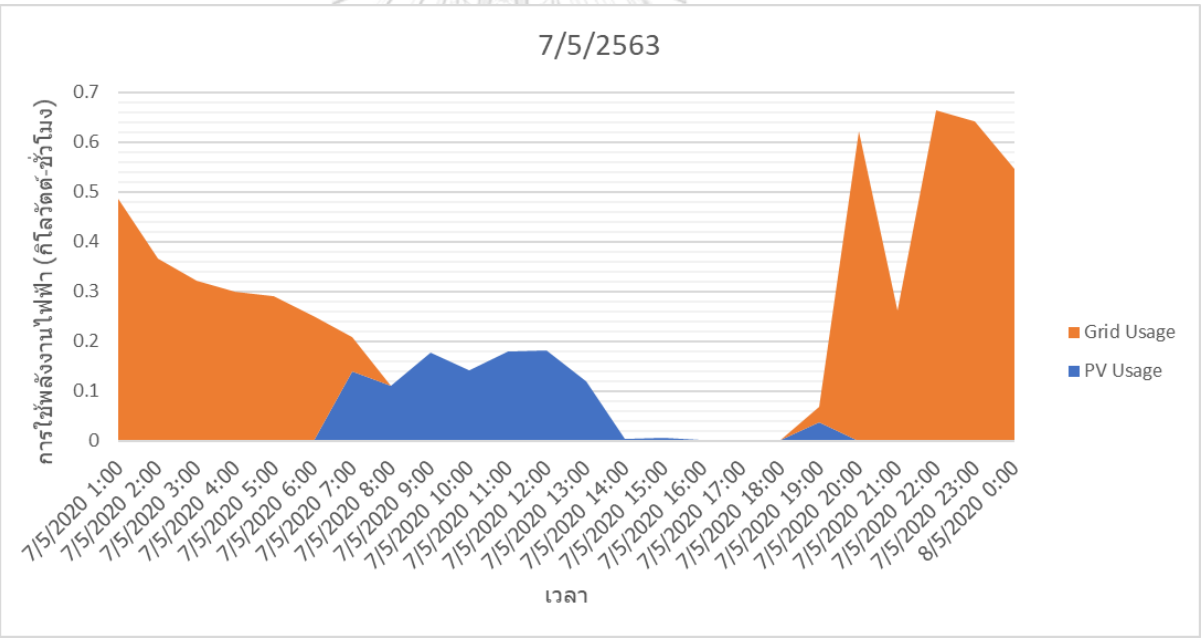
รูปที่ 4-38 การเลือกใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าโดยรวมในวันที่ 3 พฤษภาคม 2563



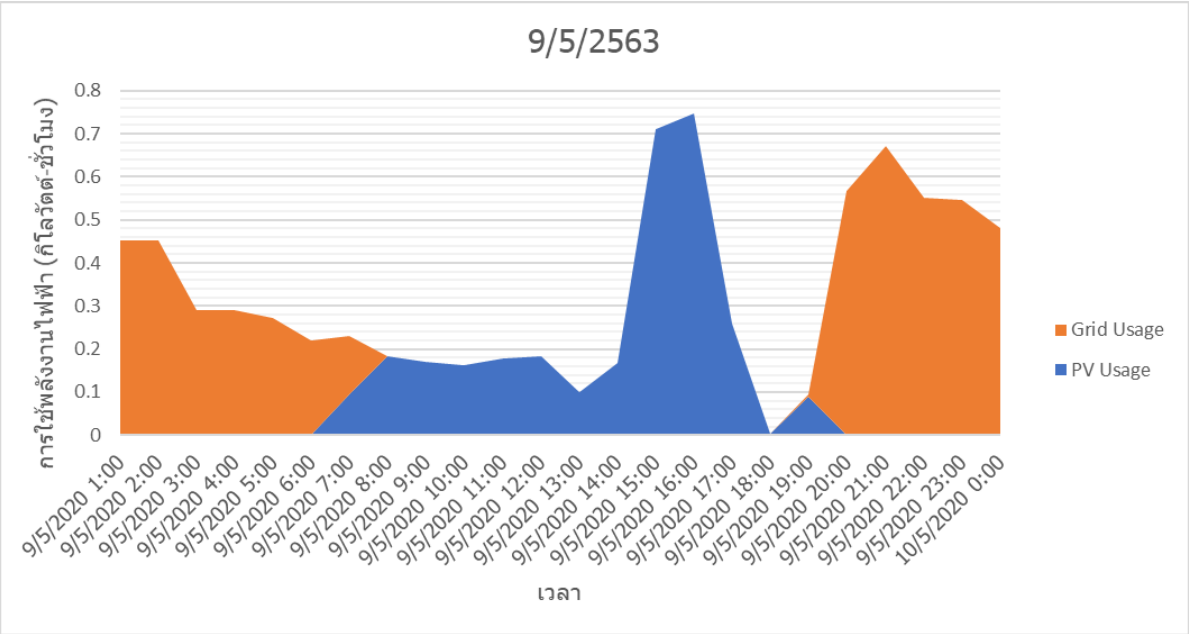
รูปที่ 4-39 การเลือกใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าโดยรวมในวันที่ 4 พฤษภาคม 2563



รูปที่ 4-40 การเลือกใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าโดยรวมในวันที่ 6 พฤษภาคม 2563

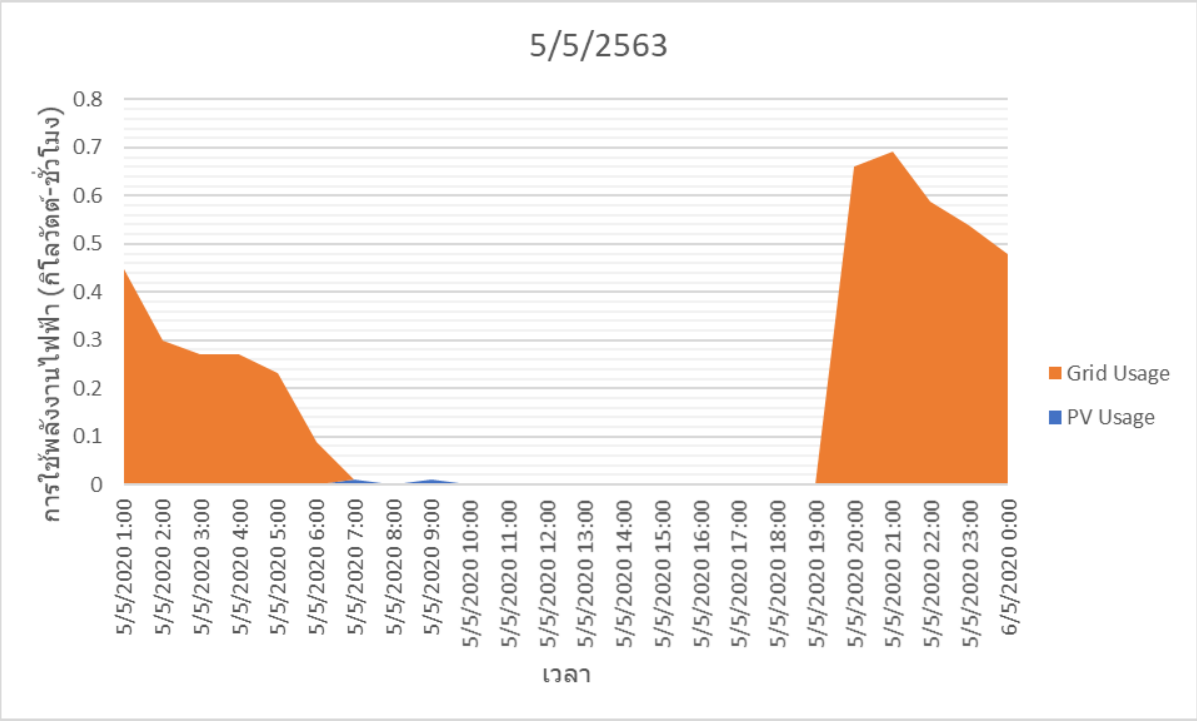


รูปที่ 4-41 การเลือกใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าโดยรวมในวันที่ 7 พฤษภาคม 2563

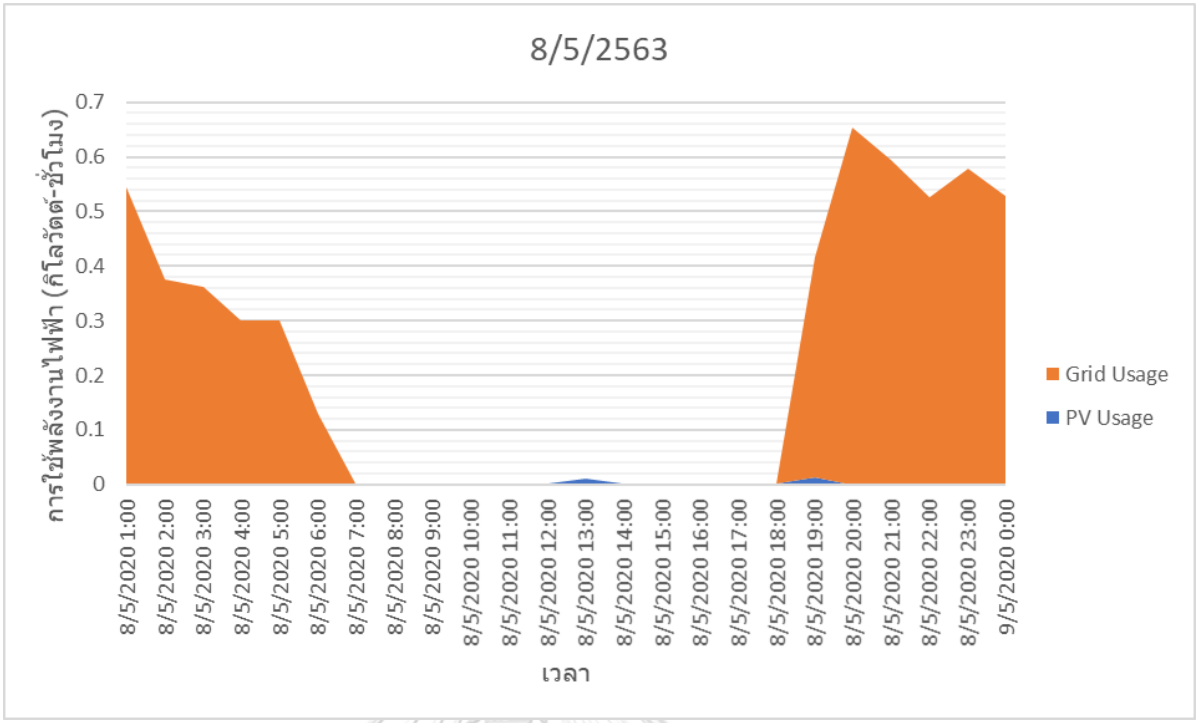


รูปที่ 4-42 การเลือกใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าโดยรวมในวันที่ 9 พฤษภาคม 2563

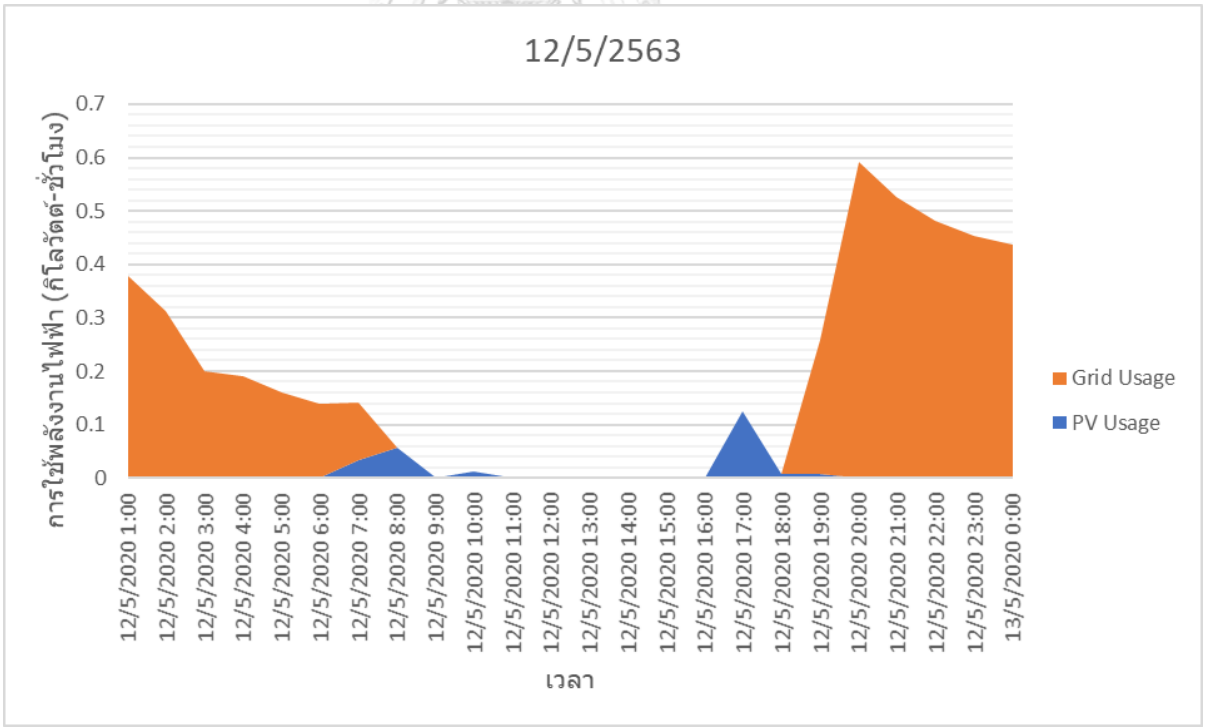
<u>การเลือกใช้แหล่งพลังงานรายวันในช่วงเวลาที่ผู้ใช้งานไปทำงาน</u>



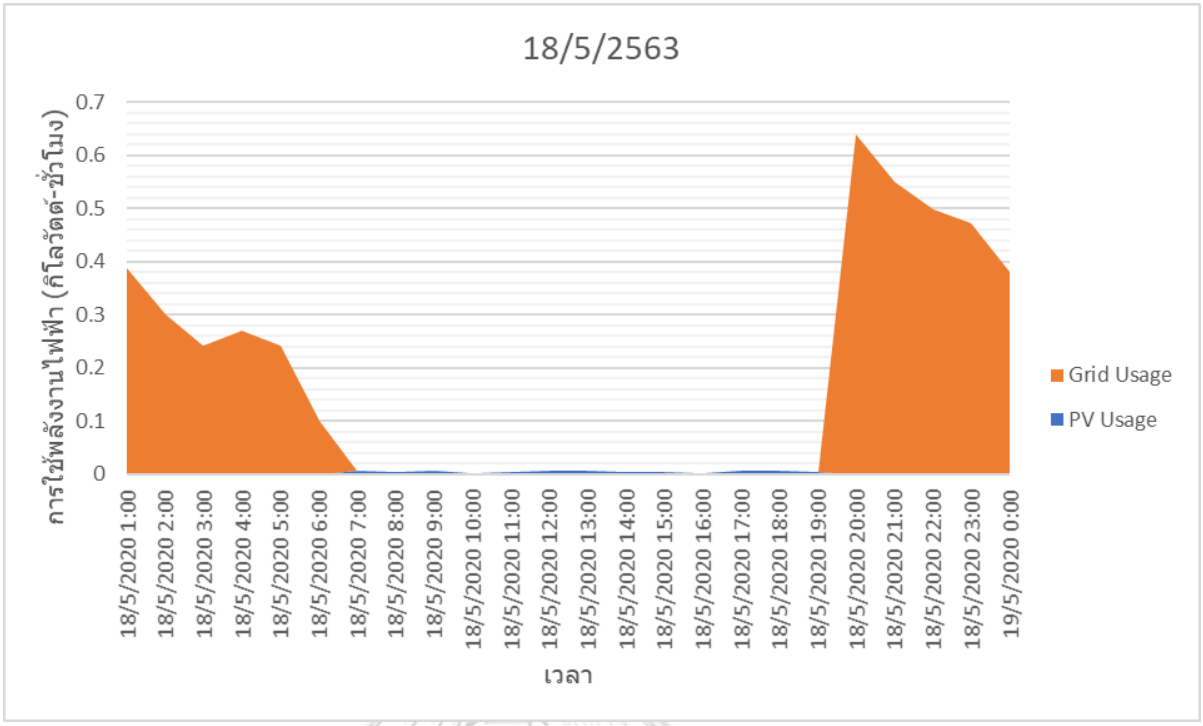
รูปที่ 4-43 การเลือกใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าโดยรวมในวันที่ 5 พฤษภาคม 2563



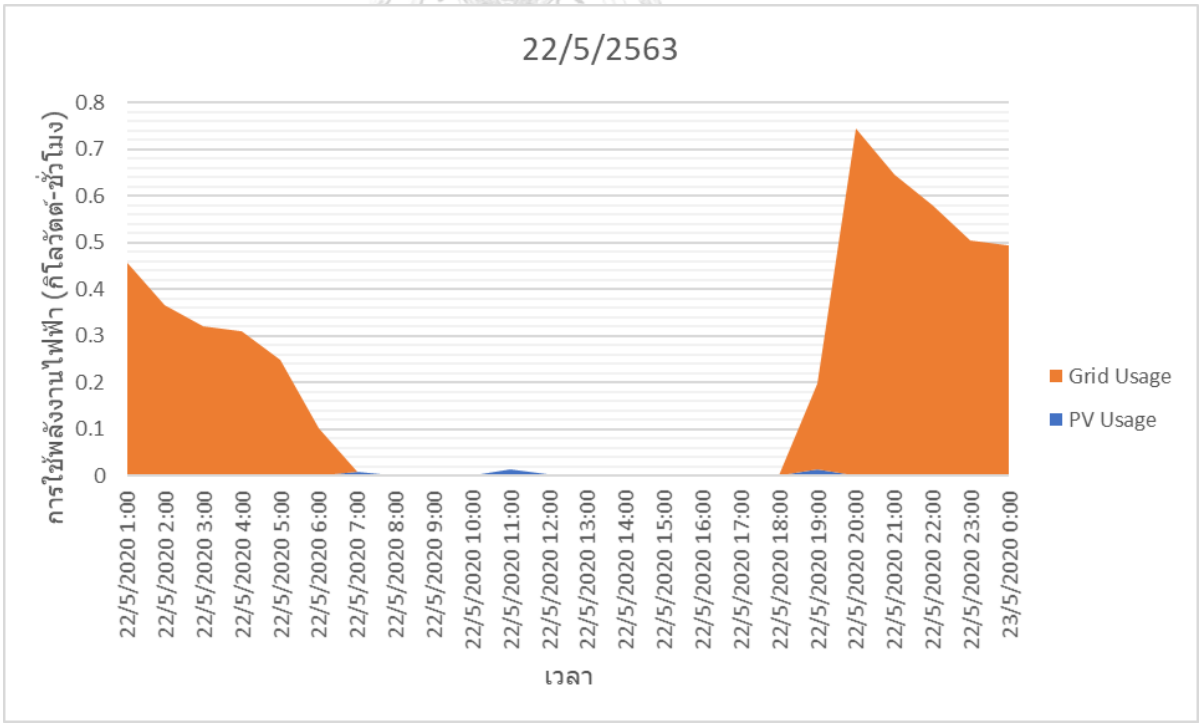
รูปที่ 4-44 การเลือกใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าโดยรวมในวันที่ 8 พฤษภาคม 2563



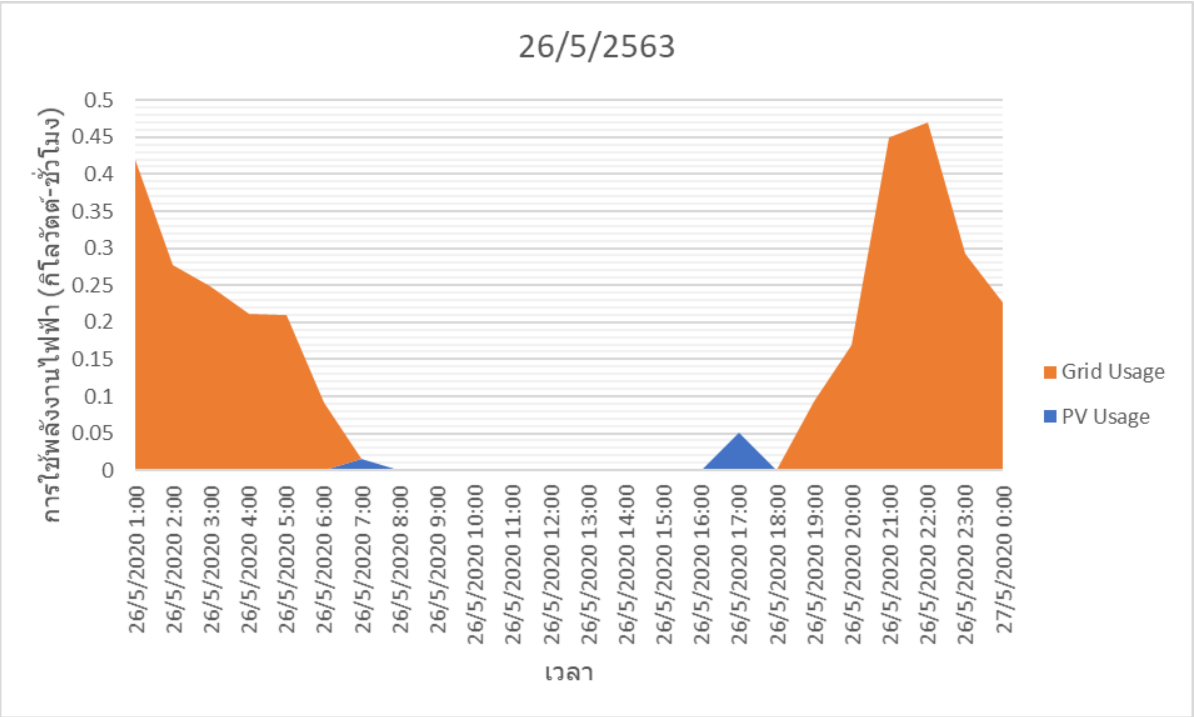
รูปที่ 4-45 การเลือกใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าโดยรวมในวันที่ 12 พฤษภาคม 2563



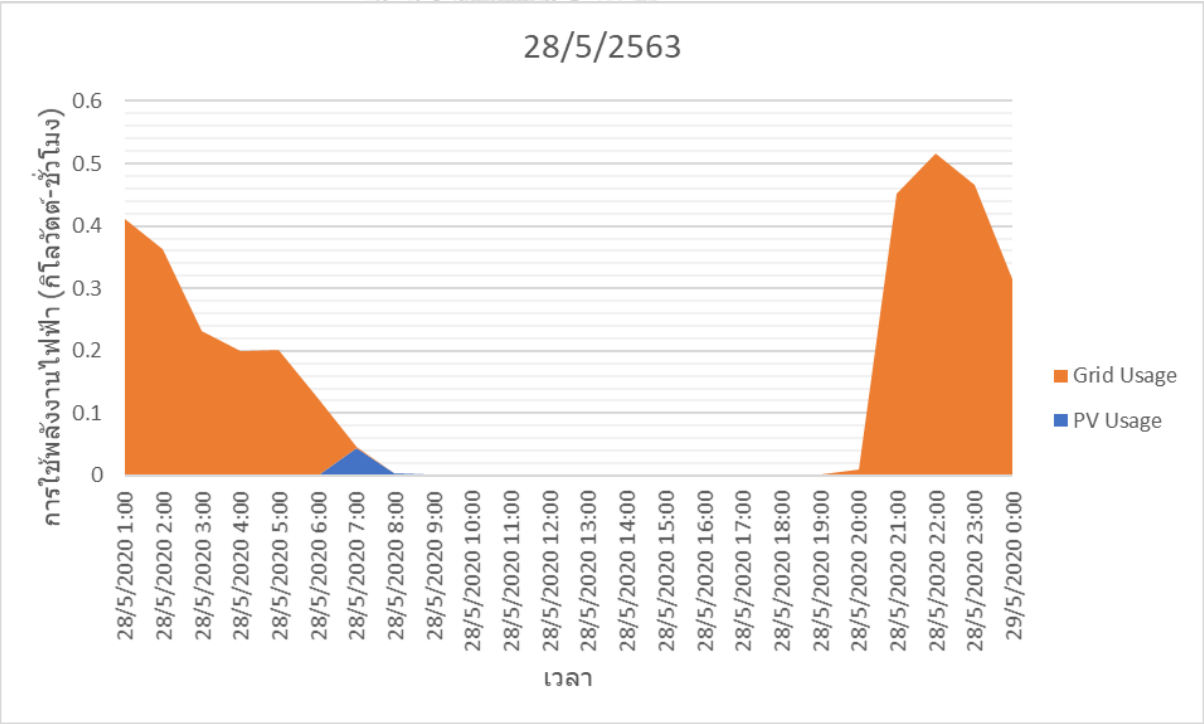
รูปที่ 4-46 การเลือกใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าโดยรวมในวันที่ 18 พฤษภาคม 2563



รูปที่ 4-47 การเลือกใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าโดยรวมในวันที่ 22 พฤษภาคม 2563



รูปที่ 4-48 การเลือกใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าโดยรวมในวันที่ 26 พฤษภาคม 2563



รูปที่ 4-49 การเลือกใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าโดยรวมในวันที่ 28 พฤษภาคม 2563

สรุปผลการทดสอบ

จากการติดตั้งระบบการจัดการพลังงานไฟฟ้าและเก็บข้อมูลการเลือกใช้แหล่งพลังงานในเดือนพฤษภาคม 2563 พบว่าการใช้ระบบพลังงานแสงอาทิตย์สามารถลดการใช้พลังงานโดยเฉลี่ย 32% สำหรับวันที่ผู้ใช้งานอยู่บ้าน และ 2.6% สำหรับช่วงวันที่ผู้ใช้ไปทำงาน เนื่องจากการผลิตพลังงานแสงอาทิตย์เกิดในช่วงเวลากลางวัน โดยจะมีการผลิตพลังงานในช่วงเวลา 7.00 ถึง 19.00 น. โดยประมาณ ทำให้ช่วงเวลาที่ผู้ใช้งานไม่อยู่บ้านออกไปทำงานซึ่งเป็นช่วงเวลากลางวันไม่ได้ใช้แหล่งพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ จำเป็นต้องมีการติดตั้งแบตเตอรี่เพื่อกักเก็บพลังงานในช่วงที่ผู้ใช้งานไม่อยู่บ้านนำมาใช้งานในช่วงเวลาที่ผู้ใช้งานกลับมาบ้านแล้วซึ่งจะเป็นช่วงเวลากลางคืนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

4.6 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.6.1 เปรียบเทียบผลต่างการใช้พลังงาน

จากการทดลองที่ 4.4 และ 4.5 มีการวัดการใช้พลังงานในเดือนเมษายน และ พฤษภาคม โดยสามารถสรุปการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อวันโดยรวมของอุปกรณ์ชนิดต่างๆ โดยแบ่งเป็นช่วงเวลาที่ผู้ใช้งาน อยู่บ้าน และช่วงเวลาที่ผู้ใช้งานไปทำงาน ได้ดังตารางที่ 4-15 และ 4-16 ตามลำดับ

ตารางที่ 4-15 สรุปการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่างๆในวันที่ผู้ใช้งานอยู่บ้านโดยเฉลี่ย (หน่วย : กิโลวัตต์-ชั่วโมง)

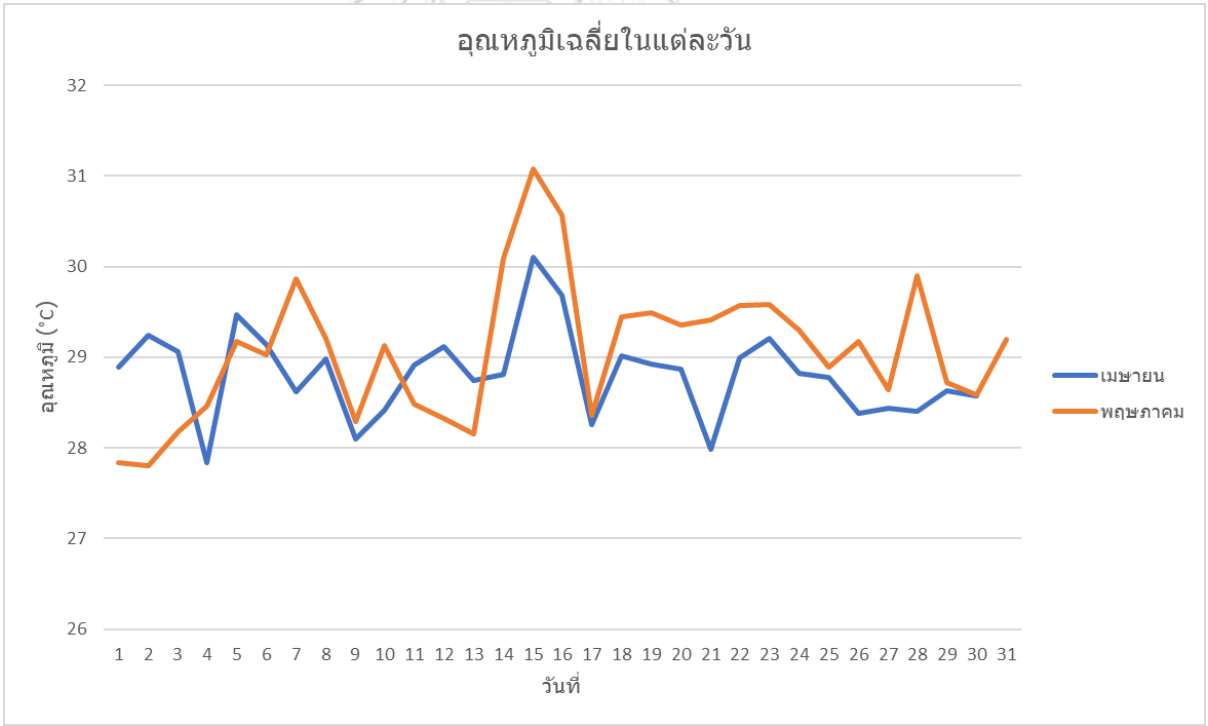
เดือน	พัดลม	โทรทัศน์	คอมพิวเตอร์	หลอดไฟ	เครื่องปรับอากาศ	รวม
เมษายน	0.344	0.088	1.508	0.170	4.415	6.524
พฤษภาคม	0.329	0.117	1.429	0.243	4.807	6.925
ผลต่าง	-0.015	0.029	-0.079	0.073	0.392	0.400
ผลต่าง (%)	**-4.438**	**33.008**	**-5.240**	**43.182**	**8.886**	**6.135**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4-16 สรุปการพลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ต่างๆในวันที่ผู้ใช้งานไปทำงานโดยเฉลี่ย (หน่วย : กิโลวัตต์-ชั่วโมง)

เดือน	พัดลม	โทรทัศน์	คอมพิวเตอร์	หลอดไฟ	เครื่องปรับอากาศ	รวม
เมษายน	0.058	0.054	0.711	0.132	3.186	4.141
พฤษภาคม	0.022	0.071	0.580	0.115	3.521	4.309
ผลต่าง	-0.036	0.017	-0.132	-0.017	0.336	0.168
ผลต่าง (%)	**-62.283**	**31.234**	**-18.518**	**-13.015**	**10.533**	**4.054**

จากตารางทั้งสองพบว่า การใช้พลังงานโดยรวมมีค่าไม่ต่างกันมากโดยคิดเป็นผลต่างเป็น 6% และ 4% ตามลำดับ ซึ่งไม่ได้แตกต่างกันมาก โดยเครื่องปรับอากาศจะมีผลกระทบกับการใช้พลังงานโดยรวมมากที่สุด เนื่องจากอุณหภูมิเฉลี่ยในแต่ละวันที่วัดได้จากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิของเดือนเมษายนจะมีค่าสูงกว่าเดือนพฤษภาคมเป็นส่วนใหญ่ดังรูปที่ 4-50 ทำให้เครื่องปรับอากาศมีการใช้พลังงานที่สูงขึ้น



รูปที่ 4-50 เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยฝนแต่ละวัน

4.6.2 เปรียบเทียบผลต่างการใช้พลังงานเมื่อติดตั้งระบบจัดการพลังงาน

เนื่องจากการทดลองนี้มีการนำข้อมูลการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการติดตั้งระบบที่บ้านของนายศุภสิน [4] โดยมีการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 3 กิโลวัตต์ รวมทั้งแบตเตอรี่เพื่อสะสมพลังงานขนาด 9.6 กิโลวัตต์-ชั่วโมง จากการเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าในเดือน เมษายน และ พฤษภาคม สามารถสรุปการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดเป็นค่าเฉลี่ย โดยแบ่งจากพฤติกรรมการใช้งานได้ตามตารางที่ 4-17

ตารางที่ 4-17 สรุปการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดโดยเฉลี่ย (หน่วย : กิโลวัตต์-ชั่วโมง)

ลักษณะการใช้ไฟฟ้า	เมษายน	พฤษภาคม	เฉลี่ย
อยู่บ้าน	6.524	6.925	6.725
ไปทำงาน	4.141	4.309	4.225

เมื่อพิจารณาพฤติกรรมการใช้ไฟพบว่าในหนึ่งเดือนผู้ใช้ไฟฟ้าจะอยู่บ้าน 10 วัน และไปทำงาน 20 วัน โดยเฉลี่ย ดังนั้นสามารถสรุปการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด และการการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงมาเมื่อติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ได้ดังตารางที่ 4-18

ตารางที่ 4-18 สรุปการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดโดยเฉลี่ยต่อเดือน

ลักษณะการใช้ไฟฟ้า	พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	จำนวนวัน	พลังงานไฟฟ้ารวม (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	การลดการใช้พลังงาน (%)	พลังงานไฟฟ้าที่ลด (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)
อยู่บ้าน	6.725	10	67.250	32	21.520
ไปทำงาน	4.225	20	84.500	2.6	2.197
รวม			**151.750**	**รวม**	**23.717**

จากตารางที่ 4-18 พบว่าหน่วยไฟฟ้าที่ใช้งานโดยเฉลี่ยเมื่อพิจารณาจากลักษณะการใช้ไฟฟ้าแล้วพบว่ามีค่ารวม 151.75 กิโลวัตต์-ชั่วโมง และสามารถลดค่าพลังงานไฟฟ้าได้ 23.717 กิโลวัตต์-ชั่วโมง หรือคิดเป็น 15.63 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดได้มาคำนวณค่าไฟแล้วสามารถลดค่าใช้จ่ายเดือนละประมาณ 95 บาท (พิจารณาค่าไฟฟ้าหน่วยละ 4 บาท) เนื่องจากระบบมีการติดตั้งแบตเตอรี่เพื่อสะสมพลังงานขนาด 9.6 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ซึ่งมีค่ามากกว่าพลังงานเฉลี่ยที่ใช้ในแต่ละวัน ทำให้ระบบนี้สามารถรองรับการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดโดยที่ไม่จำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบหลัก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
บทสรุป

5.1 บทสรุป

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีการพัฒนาต้นแบบระบบจัดการพลังงานไฟฟ้า โดยมีแนวคิดที่จะรวบรวมส่วนประกอบต่างๆของระบบ HEMS ที่ได้มีการวิจัยเป็นที่เรียบร้อยแล้ว มาพัฒนาให้สามารถทำงานร่วมกันได้ ได้แก่ ระบบการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ โดยมีการใช้เซ็นเซอร์ตรวจจับสิ่งแวดล้อมภายในบ้านรวมถึงการตั้งเวลาเพื่อเปิด-ปิดการทำงานของอุปกรณ์ ระบบการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิด ระบบการแสดงข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า และการควบคุมการทำงานในส่วนต่างๆของระบบ โดยมีการพัฒนาส่วนต่อประสานกับผู้ใช้งานโดยใช้ Node-Red เพื่อเชื่อมโยงข้อมูลในส่วนต่างๆเข้าด้วยกัน รวมถึงการพัฒนาแอปพลิเคชันส่วนต่อประสานกับผู้ใช้งานบนสมาร์ตโฟนระบบแอนดรอยด์ เพื่อเพิ่มความสะดวกในการใช้งานระบบ

ต้นแบบระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าที่ได้พัฒนาขึ้นสามารถทำงานได้ตามโปรแกรมที่ได้ออกแบบไว้ ผู้ใช้งานสามารถดูข้อมูล และควบคุมการทำงานของระบบผ่านเว็บบราวเซอร์ และแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนได้เป็นอย่างดี ในการทดสอบการทำงานของระบบได้มีการทดลองการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าเพื่อเปรียบเทียบการลดการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยมีการนำข้อมูลการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในการเลือกใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสมด้วย ซึ่งสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้โดยเฉลี่ย 23.717 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ต่อเดือน หรือคิดเป็น 15.63 เปอร์เซ็นต์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) ควรมีการพัฒนาแอปพลิเคชันบนระบบปฏิบัติการอื่นด้วยเช่น iOS
2) ควรพัฒนาแอปพลิเคชันให้มีหน้าตาที่สวยงามมากกว่านี้
3) ควรพัฒนาระบบให้สามารถรองรับระบบสั่งงานด้วยเสียง Google Assistant

5.3 ข้อดี

1) อุปกรณ์ที่นำมาใช้พัฒนาต้นแบบราคาไม่สูง สามารถหาซื้อได้ตามท้องตลาด
2) การพัฒนาโปรแกรมการจัดการพลังงานบน Raspberry Pi โดยใช้ Node-Red มีความง่ายในการพัฒนา
3) มีการพัฒนาส่วนต่อประสานกับผู้ใช้งานบนเว็บบราวเซอร์ทำให้สามารถใช้ได้กับสมาร์ตโฟนทุกระบบปฏิบัติการ

5.4 ข้อเสีย

1) เมื่อเกิดไฟฟ้าดับ หรือ แรงดันตก อาจอุปกรณ์บางส่วนอาจมีการทำงานที่ผิดพลาด
2) หากระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตภายในบ้านขัดข้อง จะไม่สามารถสั่งงานจากภายนอกบ้านได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บรรณานุกรม

[1] ดิราภา สุวรรณฤทธิ์. การพัฒนาต้นแบบระบบควบคุมการทำงานเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านแบบอัตโนมัติ. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2557.

[2] อิทธิ เสาวพรรณ. การพัฒนาต้นแบบระบบเชื่อมโยงข้อมูลและระบบเลือกใช้แหล่งพลังงานภายในบ้าน. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2559.

[3] วนัสนันท์ ฟุ้งสิริรัตน์. การพัฒนาอัลกอริทึมสำหรับระบบจัดการและควบคุมพลังงานแบบอัตโนมัติภายในบ้าน บนพื้นฐานของพฤติกรรมของผู้ใช้พลังงานไฟฟ้า. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2559.

[4] นภสินธุ์ พงษ์เลาหพันธุ์. การพัฒนาระบบจัดการพลังงานอัตโนมัติภายในบ้าน. โครงร่างวิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2558.

[5] Dongyu Wang, et al. AnyControl - IoT based Home Appliances Monitoring and Controlling. IEEE 39th Annual International Computers, Software & Applications Conference, 2015. Page 487-492.

[6] Rajalingam S. and Malathi V. HEM algorithm based smart controller for home power management system. Energy and Buildings, 2016. Page 184-192.

[7] Maytham S. Ahm, et al., *Smart Plug Prototype for Monitoring Electrical Appliances in Home Energy Management System.* IEEE Student Conference on Research and Development, 2015. Page 32-36.

[8] การไฟฟ้านครหลวง, อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าประเภทบ้านพักอาศัย [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.mea.or.th. สืบค้นวันที่ 15 ตุลาคม 2560.

[9] Arduino. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: https://en.wikipedia.org/wiki/Arduino. สืบค้นวันที่ 14 ตุลาคม 2560.

[10] Raspberry Pi. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: https://www.raspberrypi.org. สืบค้นวันที่ 14 ตุลาคม 2560.

[11] Node MCU . [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://sat2you.com/web/2017/01/31 /nodemcu-กับ-iot-ตอนที่-1-nodemcu-คืออะไร/ สืบค้นวันที่ 23 กันยายน 2560.

[12] Photo Conductive Cell, Cds, LDR. Model No. KE-10715 Datasheet. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.es.co.th/Schemetic/PDF/KE-10715.PDF สืบค้นวันที่ 20 ตุลาคม 2560.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

[13] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, การออกแบบระบบไฟฟ้าแสงสว่างในบ้านพักอาศัย [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.dede.go.th/ewt_dl_link.php?nid =45575 สืบค้นวันที่ 30 มกราคม 2561.

[14] Motion sensor (passive infrared type) Datasheet. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.es.co.th/Schemetic/ PDF/AMN34112.PDF สืบค้นวันที่ 20 ตุลาคม 2560.

[15] DHT22 Datasheet. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.sparkfun.com/datasheets /Sensors/Temoerature/DHT22.pdf สืบค้นวันที่ 20 ตุลาคม 2560.

[16] Node-Red. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.nodered.org สืบค้นวันที่ 10 พฤศจิกายน 2560.

[17] การสื่อสารแบบ MQTT. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: https://medium.com/@iot24hours/%E0%B8%97%E0%B8%B3%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B8%A3%E0%B8%B9%E0%B9%89%E0%B8%88%E0%B8%B1%E0%B8%81%E0%B8%81%E0%B8%B1%E0%B8%9A-mqtt-protocol-%E0%B8%AA%E0%B8%B3%E0%B8%AB%E0%B8%A3%E0%B8%B1%E0%B8%9A%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B8%9A%E0%B8%9A-iot-%E0%B8%97%E0%B8%B5%E0%B9%88%E0%B8%88%E0%B8%B3%E0%B9%80%E0%B8%9B%E0%B9%87%E0%B8%99%E0%B8%95%E0%B9%89%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B8%A3%E0%B8%B9%E0%B9%89-9508957a8b61 สืบค้นวันที่ 20 พฤศจิกายน 2563.

[18] วนัสนันท์ ฟุ้งสิริรัตน์ และ วาทิต เบญจพลกุล, A Study on Energy Reduction Based on Responsive Behavior of Users, ECTI-CON 2017, 2560. Page 580-583.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ภูชิต ภัทรสุทธิ
วัน เดือน ปี เกิด	1 มีนาคม 2534
สถานที่เกิด	
วุฒิการศึกษา	วิศวกรรมศาตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ที่อยู่ปัจจุบัน	20 ซอย ประชานิเวศน์ 3 14/4 ถ.ติวานนท์ แขวงท่าทราย อ.เมือง จ. นนทบุรี
ผลงานตีพิมพ์	Poochit Pattarasudhi and Watit Benjapolakul. Integration of Home Energy Management System Prototypes and Development of Graphical User Interface Program on Smart Phone. The 33rd International Technical Conference on Circuits/Systems, Computer and Communications (ITC-CSCC), Bangkok, Thailand (ITC-CSCC 2018)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University