การพัฒนาต้นแบบระบบควบคุมการทำงานเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านแบบอัตโนมัติ

นางสาวดิราภา สุวรรณฤทธิ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2557
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PROTOTYPE DEVELOPMENT OF IN-HOME ELECTRIC APPLIANCES AUTOMATIC CONTROL SYSTEM

Miss Dirapa Suwannarit

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Electrical Engineering
Department of Electrical Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2014

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาต้นแบบระบบควบคุมการทำงานเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านแบบอัตโนมัติ
โดย	นางสาวดิราภา สุวรรณฤทธิ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.วาทิต เบญจพลกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

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

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.วาทิต เบญจพลกุล)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยเชษฐ์ สายวิจิตร)

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

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ดิราภา สุวรรณฤทธิ์ : การพัฒนาต้นแบบระบบควบคุมการทำงานเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านแบบอัตโนมัติ (PROTOTYPE DEVELOPMENT OF IN-HOME ELECTRIC APPLIANCES AUTOMATIC CONTROL SYSTEM) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร. วาทิต เบญจพลกุล, 107 หน้า.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการพัฒนาต้นแบบระบบควบคุมการทำงานเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านแบบอัตโนมัติ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้า เพิ่มความสะดวกสบายและความปลอดภัยให้ผู้อยู่อาศัยภายในบ้าน ซึ่งระบบมีรูปแบบการควบคุมอัตโนมัติ 4 แบบหลักๆ ที่สามารถทำงานร่วมกันได้กล่าวคือการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์วัดความสว่างของแสง การควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ การควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์ตรวจวัดการเคลื่อนไหว และการควบคุมอัตโนมัติด้วยเวลา โดยการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์ต่างๆ จะใช้หลักการทำงานของเซ็นเซอร์ 3 ชนิดได้แก่เซ็นเซอร์วัดความสว่างของแสง เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและเซ็นเซอร์ตรวจวัดการเคลื่อนไหว และการควบคุมอัตโนมัติด้วยเวลาเป็นการตั้งเวลาเปิดปิดการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้า ซึ่งระบบประกอบด้วยอุปกรณ์ส่วนควบคุมหรือปลั๊กพ่วงและอุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรดที่รับคำสั่งการเปิดปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าจากอุปกรณ์ส่วนการประมวลผลที่พัฒนามาจากอุปกรณ์ประมวลผลพลังงานต่ำ Raspberry Pi และอุปกรณ์ส่วนเซ็นเซอร์ที่วัดค่าต่างๆ แล้วส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์ส่วนการประมวลผลเพื่อเก็บบันทึกในฐานข้อมูลและนำมาวิเคราะห์การควบคุมอัตโนมัติ โดยอุปกรณ์ในระบบมีการรับส่งข้อมูลระยะใกล้ผ่านเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายซิกบีและแสดงสถานะการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าผ่านเว็บบราวเซอร์บนโครงข่ายอินเทอร์เน็ต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2557

5570199621 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING
KEYWORDS: ZIGBEE / HEMS / SENSOR / RASPBERRY PI

DIRAPA SUWANNARIT: PROTOTYPE DEVELOPMENT OF IN-HOME ELECTRIC APPLIANCES AUTOMATIC CONTROL SYSTEM. ADVISOR: ASSOC. PROF.WATIT BENJAPOLAKUL, Ph.D., 107 pp.

This thesis presents prototype development of in-home electric appliances automatic control system. The system aims to reduce power consumption, increase comfort and safety for the residents in home. The system provides four major types of automatic control that can work together, namely Automatic Control with Light Sensors, Automatic Control with Temperature Sensors, Automatic Control with Motion Sensors and Automatic Control with Time. The automatic control with sensors uses three types of sensors that is light sensor, temperature sensor and motion sensor. In addition automatic control with time uses timer operation of electric appliances. The system consists of Control part Device or Power Strip and Infrared Remote part Device receives command to turn on-off appliances from Processing part Device developed from a low-power processor device Raspberry Pi. Sensor part Device takes measurements then sends data to Processing part Device to keep a record in a database and analyze the automatic control. The Devices in the system perform short-distance data transmission through ZigBee wireless communication technology and show the states of electric appliances through a Web browser on the Internet network.

Future work : Extend to HEMS.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Department:	Electrical Engineering	Student's Signature .....
Field of Study:	Electrical Engineering	Advisor's Signature .....
Academic Year:	2014	

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ดิฉันขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.วาทิต เบญจพลกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ในการทำวิจัยด้วยดีตลอดมา ทำให้นิสิตมีความรู้ ความเข้าใจทั้งในทางทฤษฎีและปฏิบัติมากยิ่งขึ้น ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณรองศาสตราจารย์ ดร. ลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยเชษฐ์ สายวิจิตร และ ดร.ชัยพร เขมะภาตะพันธ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้สละเวลาตรวจสอบ ให้คำแนะนำ และคำถามทุกคำถาม เพื่อให้ผู้วิจัยเรียนรู้ถึงรายละเอียดของวิทยานิพนธ์ทุกประเด็น อีกทั้งยังทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอขอบคุณอาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ อบรม สั่งสอน จนทำให้ดิฉันมีความรู้ ความสามารถในการทำงาน และดำรงชีวิตในสังคมได้อย่างมีความสุข

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ให้ความรู้และประสบการณ์ดีๆ ทั้งด้านวิชาการ ด้านสังคมและอื่นๆ แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณพระคุณบิดามารดาและครอบครัวเป็นอย่างสูงสำหรับความช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน และคอยให้กำลังใจ

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ในห้องปฏิบัติการวิจัยโทรคมนาคม ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าที่คอยให้กำลังใจ คำปรึกษา และความมีน้ำใจช่วยเหลือซึ่งกันและกัน จนทำให้ผู้วิจัยสามารถทำวิทยานิพนธ์ได้สำเร็จสมบูรณ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญภาพ ..... ฐ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 แนวเหตุผลในการทำวิทยานิพนธ์ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ 1

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ 2

1.4 วิธีการดำเนินงาน 2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์ 3

บทที่ 2 ความรู้พื้นฐานและหลักการที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 ความสัมพันธ์ของระบบควบคุมแบบอัตโนมัติกับระบบการจัดการพลังงานภายในบ้าน 4

2.2 งานวิจัยตัวอย่างของระบบการจัดการพลังงานภายในบ้าน 6

2.2.1 ต้นแบบของระบบจัดการพลังงานภายในบ้านอยู่อาศัย 6

2.2.2 KNIVES 8

2.2.3 ระบบบ้านอัตโนมัติ 9

2.2.4 HACCS 11

2.2.5 วิเคราะห์การออกแบบระบบของงานวิจัยตัวอย่าง 12

2.3 เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายซิกบี 13

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

2.3.1 การทำงานของเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายซิกบี 15
2.3.2 ทอพอโลยีของเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายซิกบี 15
2.4 อุปกรณ์ XBee 16
2.5 เซ็นเซอร์ 17
2.5.1 เซ็นเซอร์วัดความสว่างของแสง 17
2.5.2 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ 18
2.5.3 เซ็นเซอร์ตรวจวัดการเคลื่อนไหว 18
2.6 อุปกรณ์ Raspberry Pi 19
2.7 รีโมทอินฟราเรด 21
2.8 อุปกรณ์ Arduino 22
บทที่ 3 การออกแบบระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ 23
3.1 ภาพรวมของระบบ 23
3.1.1 ส่วนเซ็นเซอร์ 24
3.1.2 ส่วนควบคุม 24
3.1.3 ส่วนการประมวลผล 24
3.1.4 ส่วนโปรแกรมประยุกต์ 24
3.1.5 ส่วนรีโมทอินฟราเรด 24
3.2 การออกแบบการทำงานของระบบ 25
3.2.1 โปรแกรมประมวลผลเซ็นเซอร์ 25
3.2.2 เว็บเซิร์ฟเวอร์ 30
3.2.3 โปรแกรมประมวลผลการควบคุม 34
3.3 รูปแบบและเงื่อนไขของการควบคุมอัตโนมัติ 37
3.3.1 เงื่อนไขของการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์วัดความสว่างของแสง 37

หน้า

3.3.2 เงื่อนไขของการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ 38
3.3.3 เงื่อนไขของการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์ตรวจวัดการเคลื่อนไหว 38
3.3.4 เงื่อนไขของการควบคุมอัตโนมัติด้วยเวลา 38
บทที่ 4 การสร้างและพัฒนาระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ 42
4.1 การสร้างและพัฒนาส่วนเซ็นเซอร์ 42
4.2 การสร้างและพัฒนาส่วนควบคุม 43
4.3 การสร้างและพัฒนาส่วนรีโมทอินฟราเรด 44
4.4 การสร้างและพัฒนาส่วนการประมวลผล 46
4.5 การสร้างและพัฒนาเว็บเซิร์ฟเวอร์ 47
4.6 การสร้างและพัฒนาฐานข้อมูล 53
บทที่ 5 การทดสอบ 58
5.1 ทดสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ในระบบ 58
5.2 ทดสอบการรับส่งข้อมูลของอุปกรณ์ในระบบ 59
5.3 ทดสอบการทำงานของการควบคุมอัตโนมัติ 63
5.4 ทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรด 75
5.4.1 ทดสอบการเลียนแบบสัญญาณอินฟราเรด 75
5.4.2 ทดสอบการควบคุมการทำงานเครื่องใช้ไฟฟ้า (ชนิดที่มีรีโมทคอนโทรล) แบบอัตโนมัติ 77
5.5 ทดสอบการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของการใช้งานระบบ 79
5.6 วิเคราะห์ผลการทดสอบ 95
5.6.1 วิเคราะห์การทดสอบการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของการใช้งานระบบ 95
5.6.2 วิเคราะห์ผลรูปแบบการควบคุมการทำงานเครื่องใช้ไฟฟ้า 98
5.6.3 วิเคราะห์ต้นทุน 98

หน้า

บทที่ 6 บทสรุป 101
6.1 บทสรุป 101
6.2 ข้อเสนอแนะ 101
6.3 ข้อดี 102
6.4 ข้อเสีย 102
รายการอ้างอิง 103
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 107

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2-1 การเปรียบเทียบการใช้พลังงาน 10

ตารางที่ 2-2 การเปรียบเทียบเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายชนิดต่างๆ..... 13

ตารางที่ 2-3 การใช้งานย่านความถี่และการแบ่งช่องสัญญาณที่ใช้งานตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4..... 14

ตารางที่ 2-4 คุณสมบัติคอมพิวเตอร์แบบบอร์ดเดียวรุ่นอื่นๆ เปรียบเทียบกับ Raspberry Pi..... 20

ตารางที่ 3-1 เงื่อนไขในการตัดสินใจของการควบคุมอัตโนมัติ..... 39

ตารางที่ 4-1 อธิบายความหมายแต่ละช่องของตาราง COMMAND..... 53

ตารางที่ 4-2 อธิบายความหมายแต่ละช่องของตาราง PART..... 55

ตารางที่ 4-3 อธิบายความหมายแต่ละช่องของตาราง TIME..... 55

ตารางที่ 4-4 อธิบายความหมายแต่ละช่องของตาราง Log_In..... 56

ตารางที่ 4-5 อธิบายความหมายแต่ละช่องของตาราง S0013A2004070F6F4..... 56

ตารางที่ 4-6 อธิบายความหมายแต่ละช่องของตาราง C0013A20040796733..... 57

ตารางที่ 5-1 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ส่วนต่างๆ..... 59

ตารางที่ 5-2 ทดสอบใช้งานปลั๊กอุปกรณ์ส่วนควบคุมที่สถานการณ์ต่างๆ..... 63

ตารางที่ 5-3 ทดสอบการทำงานของการควบคุมอัตโนมัติรูปแบบต่างๆ..... 74

ตารางที่ 5-4 ทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรดกับเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดต่างๆ..... 76

ตารางที่ 5-5 การใช้พลังงานไฟฟ้าภายในห้องก่อนใช้งานระบบ (หน่วยคือวัตต์-ชั่วโมง)..... 80

ตารางที่ 5-6 การใช้พลังงานไฟฟ้าภายในห้องขณะใช้งานระบบ (หน่วยคือวัตต์-ชั่วโมง)..... 84

ตารางที่ 5-7 เปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าก่อนและขณะใช้งานระบบ (หน่วยคือวัตต์-ชั่วโมง).. 87

ตารางที่ 5-8 การใช้พลังงานไฟฟ้าภายในห้องก่อนใช้งานระบบ (หน่วยคือวัตต์-ชั่วโมง)..... 89

ตารางที่ 5-9 การใช้พลังงานไฟฟ้าภายในห้องขณะใช้งานระบบ (หน่วยคือวัตต์-ชั่วโมง)..... 91

หน้า

ตารางที่ 5-10 เปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าก่อนและขณะใช้งานระบบ (หน่วยคือวัตต์-ชั่วโมง) 94

ตารางที่ 5-11 เปรียบเทียบผลต่างการใช้พลังงานไฟฟ้าของการทดสอบ (หน่วยคือวัตต์-ชั่วโมง) 95

ตารางที่ 5-12 เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยภายในและภายนอกห้องของการทดสอบครั้งแรก 96

ตารางที่ 5-13 เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยภายในและภายนอกห้องของการทดสอบครั้งที่สอง 97

ตารางที่ 5-14 การประหยัดพลังงานไฟฟ้ากับการควบคุมรูปแบบต่างๆ 98

ตารางที่ 5-15 การวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าของบ้านหลังหนึ่ง 99

ตารางที่ 5-16 การคำนวณค่าใช้จ่ายอุปกรณ์ในการติดตั้งระบบ 100

ตารางที่ 5-17 การคำนวณค่าใช้จ่ายอุปกรณ์ในการติดตั้งระบบ (แบบผลิตครั้งละมากๆ) 100

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2-1 ความสัมพันธ์ของวิธีการทำงานของระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน 6

รูปที่ 2-2 การวางแผนการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างชาญฉลาด 7

รูปที่ 2-3 การควบคุมแบบอัตโนมัติ 7

รูปที่ 2-4 การเปลี่ยนพฤติกรรมของผู้ใช้ไฟฟ้า 7

รูปที่ 2-5 ภาพรวมของ KNIVES 8

รูปที่ 2-6 กราฟการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ปราศจากการควบคุม 9

รูปที่ 2-7 กราฟการใช้พลังงานไฟฟ้าควบคุมด้วยระบบ KNIVE 9

รูปที่ 2-8 ระยะเวลาของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่เปิดอยู่ในห้องนั่งเล่น 10

รูปที่ 2-9 โครงสร้างของระบบ HACCS 11

รูปที่ 2-10 รูปแบบต่างๆ ของบทสนทนาจากเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน 12

รูปที่ 2-11 ผลการทดสอบของบทสนทนาจากเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน 12

รูปที่ 2-12 สแต็กโพรโทคอลซิกบีที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมาตรฐาน IEEE 802.15.4 กับซิกบี . 14

รูปที่ 2-13 ลักษณะการทำงานของซิกบีในโครงข่าย 15

รูปที่ 2-14 ทอพอโลยีแบบต่างๆ 16

รูปที่ 2-15 อุปกรณ์ XBee รุ่น XB24-Z7WIT-004 16

รูปที่ 2-16 โครงสร้างของเฟรมข้อมูลในการทำงานแบบ API command mode ของ XBee 17

รูปที่ 2-17 ความสัมพันธ์ของความต้านทานของเซ็นเซอร์ (LDR) กับความสว่างของแสง (Lux)..... 18

รูปที่ 2-18 วงจรเซ็นเซอร์วัดความสว่างของแสง 18

รูปที่ 2-19 ขอบเขตของบริเวณตรวจวัดการเคลื่อนไหว 19

รูปที่ 2-20 รูปร่างของสัญญาณเอาต์พุตแบบดิจิทัล 19

รูปที่ 2-21 Raspberry Pi รุ่น Model-B 20

หน้า

รูปที่ 2-22 ตัวส่งสัญญาณรีโมทอินฟราเรด 21
รูปที่ 2-23 ตัวรับสัญญาณรีโมทอินฟราเรด 21
รูปที่ 2-24 รูปแบบการจัดเรียงข้อมูลของสัญญาณรีโมทอินฟราเรดแบบ RC5 21
รูปที่ 2-25 ไมโครคอนโทรเลอร์ AVR Atmega328 22
รูปที่ 3-1 ภาพรวมของระบบ 23
รูปที่ 3-2 ไดอะแกรมการทำงานของระบบ 25
รูปที่ 3-3 แผนผังของโปรแกรมประมวลผลเซ็นเซอร์ 28
รูปที่ 3-4 ข้อมูลจากเซ็นเซอร์ที่เก็บในฐานข้อมูล 29
รูปที่ 3-5 ข้อมูลสถานะการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าที่เก็บในฐานข้อมูล 29
รูปที่ 3-6 หน้าเว็บบราวเซอร์ของการควบคุม 30
รูปที่ 3-7 หน้าเว็บบราวเซอร์การควบคุมด้วยตัวผู้ใช้เอง 30
รูปที่ 3-8 หน้าเว็บบราวเซอร์การควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์ต่างๆ 31
รูปที่ 3-9 การควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์วัดความสว่างของแสง 31
รูปที่ 3-10 การควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ 32
รูปที่ 3-11 การควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์ตรวจวัดการเคลื่อนไหว 32
รูปที่ 3-12 ข้อมูลคำสั่งที่เก็บในฐานข้อมูลของการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์ต่างๆ 32
รูปที่ 3-13 หน้าเว็บบราวเซอร์การควบคุมอัตโนมัติด้วยเวลา 33
รูปที่ 3-14 ข้อมูลคำสั่งที่เก็บในฐานข้อมูลของการควบคุมอัตโนมัติด้วยเวลา 33
รูปที่ 3-15 การเลือกการควบคุมอัตโนมัติให้ทำงานร่วมกัน 34
รูปที่ 3-16 ข้อมูลคำสั่งที่เก็บในฐานข้อมูลของการควบคุมอัตโนมัติให้ทำงานร่วมกัน 34
รูปที่ 3-17 แผนผังของโปรแกรมประมวลผลการควบคุม 35
รูปที่ 3-18 ข้อมูลชื่ออุปกรณ์เซ็นเซอร์และคำสั่งการควบคุมการทำงานที่เก็บในฐานข้อมูล 36
รูปที่ 3-19 ข้อมูลค่าของเซ็นเซอร์ต่างๆ ที่เก็บในฐานข้อมูล 36

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

รูปที่ 3-20 หน้าเว็บบราวเซอร์ของการควบคุมที่บอกตำแหน่งเลือกรูปแบบการควบคุมอัตโนมัติ..... 37
รูปที่ 3-21 เงื่อนไขของการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์วัดความสว่างของแสง 37
รูปที่ 3-22 เงื่อนไขของการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ..... 38
รูปที่ 4-1 อุปกรณ์ส่วนเซ็นเซอร์ 42
รูปที่ 4-2 โครงสร้างภายในอุปกรณ์ส่วนเซ็นเซอร์ 42
รูปที่ 4-3 อุปกรณ์ส่วนควบคุม 43
รูปที่ 4-4 โครงสร้างภายในอุปกรณ์ส่วนควบคุม 43
รูปที่ 4-5 แผนผังโปรแกรมประมวลผลส่วนควบคุม..... 44
รูปที่ 4-6 อุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรด..... 44
รูปที่ 4-7 โครงสร้างภายในอุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรด 45
รูปที่ 4-8 แผนผังของโปรแกรมส่วนรีโมทอินฟราเรด..... 45
รูปที่ 4-9 อุปกรณ์ส่วนการประมวลผล..... 46
รูปที่ 4-10 โครงสร้างภายในอุปกรณ์ส่วนการประมวลผล 46
รูปที่ 4-11 การเขียนและพัฒนาเว็บเซิร์ฟเวอร์..... 47
รูปที่ 4-12 แผนผังเว็บเซิร์ฟเวอร์ 47
รูปที่ 4-13 เว็บเซิร์ฟเวอร์หน้า HOME 48
รูปที่ 4-14 เว็บเซิร์ฟเวอร์หน้า Device 48
รูปที่ 4-15 เว็บเซิร์ฟเวอร์หน้า About Us 49
รูปที่ 4-16 เว็บเซิร์ฟเวอร์หน้า Log In/Log Out 49
รูปที่ 4-17 เว็บเซิร์ฟเวอร์หน้า Setting Sensor 50
รูปที่ 4-18 เว็บเซิร์ฟเวอร์หน้า Chart Sensor 50
รูปที่ 4-19 เว็บเซิร์ฟเวอร์หน้า Control..... 51
รูปที่ 4-20 เว็บเซิร์ฟเวอร์หน้า Sensor 51

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

รูปที่ 4-21 เว็บเซิร์ฟเวอร์หน้า Time 52
รูปที่ 4-22 เว็บเซิร์ฟเวอร์หน้า Setting Device 52
รูปที่ 4-23 โปรแกรม phpMyAdmin ที่แสดงบนเว็บบราวเซอร์ 53
รูปที่ 4-24 เก็บข้อมูลในตาราง COMMAND 53
รูปที่ 4-25 เก็บข้อมูลในตาราง PART 54
รูปที่ 4-26 เก็บข้อมูลในตาราง TIME 55
รูปที่ 4-27 เก็บข้อมูลในตาราง Log_In 56
รูปที่ 4-28 เก็บข้อมูลในตาราง S0013A2004070F6F4 56
รูปที่ 4-29 เก็บข้อมูลในตาราง C0013A20040796733 57
รูปที่ 5-1 การติดตั้งอุปกรณ์ให้อยู่ในห้องเดียวกัน 60
รูปที่ 5-2 การติดตั้งอุปกรณ์ให้ห่างกัน 1 ชั้น 60
รูปที่ 5-3 การติดตั้งอุปกรณ์ให้ห่างกัน 2 ชั้น 61
รูปที่ 5-4 การติดตั้งอุปกรณ์ให้ห่างกัน 3 ชั้น 61
รูปที่ 5-5 ความแรงของสัญญาณวายฟายชั้น 4 61
รูปที่ 5-6 ความแรงของสัญญาณวายฟายชั้น 3 62
รูปที่ 5-7 ความแรงของสัญญาณวายฟายชั้น 2 62
รูปที่ 5-8 ความแรงของสัญญาณวายฟายชั้นล่าง 62
รูปที่ 5-9 เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ เสียบที่ปลั๊กอุปกรณ์ส่วนควบคุม 64
รูปที่ 5-10 หน้าเว็บบราวเซอร์อุปกรณ์ 65
รูปที่ 5-11 สถานที่ในการทดสอบการทำงานของการควบคุมอัตโนมัติ 65
รูปที่ 5-12 หน้าเว็บบราวเซอร์ของการควบคุม 66
รูปที่ 5-13 หน้าเว็บบราวเซอร์การควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์ต่างๆ 66
รูปที่ 5-14 หน้าเว็บบราวเซอร์การควบคุมอัตโนมัติด้วยเวลา 66

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

รูปที่ 5-15 สถานะการทำงานของอุปกรณ์ชาร์จโทรศัพท์มือถือที่ควบคุมแบบ Time 67
รูปที่ 5-16 สถานะการทำงานของโทรทัศน์ที่ควบคุมแบบ Motion 67
รูปที่ 5-17 สถานะการทำงานของพัดลมที่ควบคุมแบบ Temp 68
รูปที่ 5-18 สถานะการทำงานของโคมไฟที่ควบคุมแบบ Light 68
รูปที่ 5-19 สถานะการทำงานของโทรทัศน์ที่ควบคุมแบบ Motion และ Time..... 68
รูปที่ 5-20 สถานะการทำงานของพัดลมที่ควบคุมแบบ Temp และ Time..... 69
รูปที่ 5-21 สถานะการทำงานของโคมไฟที่ควบคุมแบบ Light และ Time..... 69
รูปที่ 5-22 สถานะการทำงานของพัดลมที่ควบคุมแบบ Temp และ Motion..... 70
รูปที่ 5-23 สถานะการทำงานของโคมไฟที่ควบคุมแบบ Light และ Motion..... 70
รูปที่ 5-24 สถานะการทำงานของพัดลมที่ควบคุมแบบ Temp และ Light..... 71
รูปที่ 5-25 สถานะการทำงานของโคมไฟที่ควบคุมแบบ Light, Motion และ Time..... 71
รูปที่ 5-26 สถานะการทำงานของพัดลมที่ควบคุมแบบ Temp, Motion และ Time..... 72
รูปที่ 5-27 สถานะการทำงานของโคมไฟที่ควบคุมแบบ Light, Temp และ Time..... 72
รูปที่ 5-28 สถานะการทำงานของพัดลมที่ควบคุมแบบ Temp, Light และ Motion..... 73
รูปที่ 5-29 สถานะการทำงานของโคมไฟที่ควบคุมแบบ Light, Temp, Motion และ Time..... 73
รูปที่ 5-30 สถานที่ในการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรด..... 76
รูปที่ 5-31 อุณหภูมิภายในห้อง..... 78
รูปที่ 5-32 อุณหภูมิภายในห้องของช่วงสัปดาห์แรก..... 81
รูปที่ 5-33 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 18 ธ.ค. 57 81
รูปที่ 5-34 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 19 ธ.ค. 57 81
รูปที่ 5-35 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 20 ธ.ค. 57 82
รูปที่ 5-36 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 21 ธ.ค. 57 82
รูปที่ 5-37 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 22 ธ.ค. 57 82

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

รูปที่ 5-38 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 23 ธ.ค. 57 83
รูปที่ 5-39 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 24 ธ.ค. 57 83
รูปที่ 5-40 อุณหภูมิภายในห้องของช่วงสัปดาห์ที่สอง 84
รูปที่ 5-41 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 25 ธ.ค. 57 85
รูปที่ 5-42 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 26 ธ.ค. 57 85
รูปที่ 5-43 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 27 ธ.ค. 57 85
รูปที่ 5-44 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 28 ธ.ค. 57 86
รูปที่ 5-45 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 29 ธ.ค. 57 86
รูปที่ 5-46 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 30 ธ.ค. 57 86
รูปที่ 5-47 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 31 ธ.ค. 57 87
รูปที่ 5-48 อุณหภูมิภายในห้องระหว่างการทดสอบการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของ
การใช้งานระบบ 87
รูปที่ 5-49 อุณหภูมิภายในห้องช่วงวันที่ 15 - 28 กุมภาพันธ์ 2558 88
รูปที่ 5-50 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 15 ก.พ. 58..... 89
รูปที่ 5-51 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 17 ก.พ. 58..... 89
รูปที่ 5-52 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 19 ก.พ. 58..... 90
รูปที่ 5-53 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 21 ก.พ. 58..... 90
รูปที่ 5-54 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 23 ก.พ. 58..... 90
รูปที่ 5-55 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 25 ก.พ. 58..... 91
รูปที่ 5-56 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 27 ก.พ. 58..... 91
รูปที่ 5-57 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 16 ก.พ. 58..... 92
รูปที่ 5-58 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 18 ก.พ. 58..... 92
รูปที่ 5-59 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 20 ก.พ. 58..... 92

หน้า

รูปที่ 5-60 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 22 ก.พ. 58..... 93

รูปที่ 5-61 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 24 ก.พ. 58..... 93

รูปที่ 5-62 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 26 ก.พ. 58..... 93

รูปที่ 5-63 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 28 ก.พ. 58..... 94

รูปที่ 5-64 อุณหภูมิภายนอกของช่วงการทดสอบครั้งแรก [27] 95

รูปที่ 5-65 อุณหภูมิภายนอกของช่วงการทดสอบครั้งแรก [28] 95

รูปที่ 5-66 อุณหภูมิภายนอกของช่วงการทดสอบครั้งที่สอง [27]..... 96

รูปที่ 5-67 อุณหภูมิภายนอกของช่วงการทดสอบครั้งที่สอง [29]..... 96

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 แนวเหตุผลในการทำวิทยานิพนธ์

จากปัญหาเรื่องการขาดแคลนพลังงานไฟฟ้าภายในประเทศไทยเนื่องจากปริมาณการใช้ไฟฟ้ามีมากกว่าปริมาณกำลังผลิตไฟฟ้าทำให้ประเทศไทยต้องนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศและปริมาณการใช้ไฟฟ้ามีแนวโน้มที่เพิ่มมากขึ้นทุกปี จากรายงานสถิติพลังงานของประเทศไทย [1] พบว่าสาขาที่มีสัดส่วนการใช้ไฟฟ้าสูงที่สุดคือภาคอุตสาหกรรมคิดเป็นร้อยละ 44-46 ของการใช้ไฟฟ้าทั้งประเทศ รองลงมาคือการใช้ไฟฟ้าในภาคครัวเรือนคิดเป็นร้อยละ 22-23 และภาคธุรกิจคิดเป็นร้อยละ 15-16

การลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าในภาคครัวเรือนจึงเป็นสาขาที่น่าสนใจในการพัฒนาต้นแบบระบบการจัดการพลังงานภายในบ้าน (Home Energy Management System หรือ HEMS) เพราะเป็นสาขาที่อยู่ใกล้ตัวทุกคนมากที่สุดและมีขนาดเล็กที่สามารถขยายระบบไปสู่สาขาอื่นๆ ที่มีขนาดใหญ่กว่าได้ง่าย จึงเป็นที่มาของการพัฒนาต้นแบบระบบควบคุมการทำงานเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านแบบอัตโนมัติและมีงานวิจัยและโครงการจำนวนมากที่ทำเพื่อพัฒนาต้นแบบระบบควบคุมการทำงานเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านแบบอัตโนมัติ

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1) เพื่อวิจัย ออกแบบ สร้างและพัฒนาต้นแบบระบบควบคุมการทำงานเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านแบบอัตโนมัติ
2) เพื่อทดสอบการทำงานของต้นแบบระบบควบคุมการทำงานเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านแบบอัตโนมัติที่ได้พัฒนาสร้างขึ้น
3) เพื่อตอบสนองต่อนโยบายของรัฐบาลด้านประหยัดพลังงาน รวมถึงการมีต้นแบบระบบควบคุมการทำงานเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านแบบอัตโนมัติสำหรับระบบการจัดการพลังงานภายในบ้านซึ่งจะช่วยให้การใช้พลังงานในบ้านมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น
4) เพื่อวิเคราะห์ถึงข้อดี-ข้อเสียของต้นแบบระบบควบคุมการทำงานเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านแบบอัตโนมัติที่ได้พัฒนาสร้างขึ้นเพื่อต่อยอดไปสู่การนำไปใช้งานจริงในอนาคต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1) วิจัย ออกแบบ สร้างและพัฒนาต้นแบบระบบควบคุมการทำงานเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านแบบอัตโนมัติ
2) ทดสอบการทำงานของต้นแบบระบบควบคุมการทำงานเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านแบบอัตโนมัติ
3) พิจารณาเซ็นเซอร์วัดความสว่างของแสง, เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและเซ็นเซอร์ตรวจวัดการเคลื่อนไหวของมนุษย์ในการสร้างต้นแบบระบบควบคุมการทำงานเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านแบบอัตโนมัติ
4) ต้นแบบระบบควบคุมการทำงานเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านแบบอัตโนมัติมีการเก็บข้อมูลและสามารถควบคุมผ่านโปรแกรมหรือระบบอินเทอร์เน็ต

1.4 วิธีการดำเนินงาน

1) กำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตของวิทยานิพนธ์
2) ศึกษาค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ สำหรับการพัฒนาต้นแบบระบบควบคุมการทำงานเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านแบบอัตโนมัติ
3) ออกแบบและสร้างต้นแบบระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ สำหรับพัฒนาต้นแบบระบบควบคุมการทำงานเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านแบบอัตโนมัติ
4) ศึกษาและทดสอบการทำงานของระบบต้นแบบที่ได้พัฒนาสร้างขึ้น
5) วิเคราะห์ รวบรวมผลการทดสอบ สรุปผลและเขียนเล่มวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ต้นแบบระบบควบคุมการทำงานเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านแบบอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นสามารถช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างสูญเปล่า
2) ต้นแบบระบบควบคุมการทำงานเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านแบบอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นสามารถช่วยเพิ่มความสะดวกสบายให้ผู้อยู่อาศัยในการควบคุมการเปิด-ปิดเครื่องใช้ไฟฟ้า
3) ต้นแบบระบบควบคุมการทำงานเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านแบบอัตโนมัติที่พัฒนาขึ้นสามารถแสดงสถานะการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าผ่านโปรแกรมได้

1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งออกเป็น 6 บท โดยแต่ละบทมีเนื้อหาดังนี้

บทที่ 1 บทนำ ในบทนี้กล่าวถึงแนวเหตุผลในการทำวิทยานิพนธ์, วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์, ขอบเขตของวิทยานิพนธ์, วิธีการดำเนินงานและประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ส่วนเนื้อหาของวิทยานิพนธ์ที่จะกล่าวถึงในบทต่อไป

บทที่ 2 ความรู้พื้นฐานและหลักการที่เกี่ยวข้อง ในบทนี้อธิบายถึง ความสัมพันธ์ของระบบควบคุมแบบอัตโนมัติกับระบบการจัดการพลังงานภายในบ้าน, งานวิจัยตัวอย่างของระบบการจัดการพลังงานภายในบ้าน, เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายซิกบี, อุปกรณ์ XBee, เซ็นเซอร์, อุปกรณ์ Raspberry Pi, รีโมทอินฟราเรดและอุปกรณ์ Arduino

บทที่ 3 การออกแบบระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ ในบทนี้อธิบายถึง ภาพรวมของระบบ, การออกแบบการทำงานของระบบและรูปแบบและเงื่อนไขของการควบคุมอัตโนมัติ

บทที่ 4 การสร้างและพัฒนาระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ ในบทนี้กล่าวถึง การสร้างและพัฒนาส่วนเซ็นเซอร์, การสร้างและพัฒนาส่วนควบคุม, การสร้างและพัฒนาส่วนรีโมทอินฟราเรด, การสร้างและพัฒนาส่วนการประมวลผล, การสร้างและพัฒนาเว็บเซิร์ฟเวอร์และการสร้างและพัฒนาฐานข้อมูล

บทที่ 5 การทดสอบ ในบทนี้กล่าวถึง ทดสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ในระบบ, ทดสอบการรับส่งข้อมูลของอุปกรณ์ในระบบ, ทดสอบการทำงานของการควบคุมอัตโนมัติ, ทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรด, ทดสอบการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของการใช้งานระบบและวิเคราะห์ผลการทดสอบ

บทที่ 6 บทสรุป ในบทนี้กล่าวถึง บทสรุปในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้, ข้อเสนอแนะสำหรับนำไปพัฒนางานวิจัยต่อไปและวิเคราะห์ข้อดี-ข้อเสีย

บทที่ 2
ความรู้พื้นฐานและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความสัมพันธ์ของระบบควบคุมแบบอัตโนมัติกับระบบการจัดการพลังงานภายในบ้าน

ระบบการจัดการพลังงานภายในบ้าน (Home Energy Management System หรือ HEMS) คือการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ (Information Technology หรือ IT) และระบบจัดการข้อมูลที่ทันสมัยโดยจะรวบรวมข้อมูลต่างๆ เพื่อใช้ในการบริหารและควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในบ้านให้มีประสิทธิภาพมากที่สุดและลดการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สิ้นเปลืองให้น้อยลง เช่นการตัดต่อโหลดตามลำดับความสำคัญ, การควบคุมพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่ไม่แน่นอน, เก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าจากเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ โดยใช้ Smart Meter และแจ้งเตือนให้ผู้ใช้ไฟฟ้าทราบถึงสถานะการใช้พลังงานไฟฟ้าของตนเพื่อให้เจ้าของบ้านจ่ายค่าไฟฟ้าในราคาที่ถูกลงกว่าเดิม เป็นต้น

วิธีการการทำงานของระบบการจัดการพลังงานภายในบ้านแบ่งเป็น 3 วิธีการหลักๆ คือ

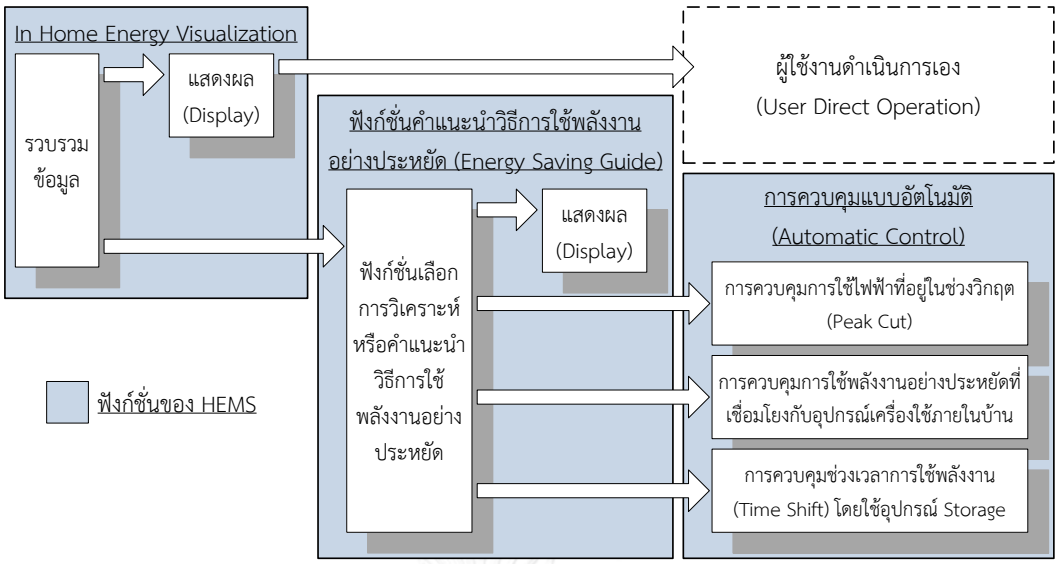
1) In Home Energy Visualization หรือ IHEV เป็นฟังก์ชั่นการจัดการใช้พลังงานภายในบ้านที่มีหน้าที่การทำงานในระดับพื้นฐานสุดของ HEMS ซึ่งเป็นการวัดค่าพลังงานที่ใช้ไปภายในบ้าน พร้อมทั้งแสดงค่าพลังงานดังกล่าวให้กับผู้พักอาศัยภายในบ้านได้รับทราบ เพื่อให้ผู้พักอาศัยได้มีจิตสำนึกที่จะคอยระมัดระวังการใช้พลังงานภายในบ้านอย่างประหยัดด้วยตนเอง

2) คำแนะนำวิธีการใช้พลังงานอย่างประหยัด (Energy Saving Guide) จะต้องมีการวิเคราะห์สถานการณ์เกี่ยวกับการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นได้พร้อมทั้งให้คำแนะนำที่ตอบสนองกับผลการวิเคราะห์นั้น ซึ่งกลยุทธ์นี้จะช่วยส่งเสริมพฤติกรรมการประหยัดพลังงานได้ดียิ่งขึ้น อย่างไรก็ตาม การให้คำแนะนำแบบง่ายๆ ยกตัวอย่างเช่น ให้ปรับอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศเพิ่มอีก 2 องศาเซลเซียส ผู้พักอาศัยในบ้านอาจไม่มีความสนใจหรือไม่ปฏิบัติตามคำแนะนำได้โดยง่าย ดังนั้นคำแนะนำการใช้พลังงานอย่างประหยัดจึงควรเป็นการให้ข้อมูลในลักษณะเชิงสื่อสารให้เห็นภาพรวมหรือบริเวณที่มีการใช้พลังงานอย่างสูญเสียไม่คุ้มค่าเกิดขึ้น และแนะนำวิธีการประหยัดพลังงานให้กับผู้พักอาศัย

3) การควบคุมแบบอัตโนมัติ (Automatic Control) ตามวัตถุประสงค์ของระบบการจัดการพลังงานภายในบ้านมี 3 ลักษณะดังต่อไปนี้ [2], [3], [4]

1. การควบคุมการใช้พลังงานอย่างประหยัดที่เชื่อมโยงกับอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน คือลดการใช้พลังงานของอุปกรณ์ภายในบ้านพักอาศัย ด้วยการควบคุมการใช้งานอุปกรณ์เครื่องใช้ภายในบ้านแบบอัตโนมัติ โดยใช้ระบบเซ็นเซอร์ต่างๆ ในการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า ยกตัวอย่างเช่น การควบคุมระบบไฟส่องสว่างในห้องโดยใช้เซ็นเซอร์ตรวจวัดความเคลื่อนไหวในกรณีที่ไม่มีคนอยู่ในห้องก็ให้ระบบควบคุมปิดไฟโดยอัตโนมัติ เพียงเท่านี้ก็เป็นการช่วยประหยัดพลังงานภายในบ้านได้
2. การควบคุมการใช้ไฟฟ้าที่อยู่ในช่วงวิกฤต (Peak Cut) คือในขณะที่มีการใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าเป็นจำนวนมากและอยู่ในช่วงวิกฤต (Peak) ระบบจัดการพลังงานภายในบ้านพักอาศัยจะควบคุมปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในบ้านโดยการสั่งตัดไฟอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ทำงานอยู่ในขณะนั้นแบบอัตโนมัติ เมื่อทำเช่นนี้แล้วปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจะลดลง หลังจากนั้นเมื่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงจนถึงระดับหนึ่งระบบการจัดการพลังงานภายในบ้านจะสั่งให้อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่หยุดทำงานสามารถกลับมาทำงานได้ตามปกติอีกครั้ง ซึ่งการควบคุมเพื่อหยุดการทำงานของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าในช่วงวิกฤตนี้ ไม่ได้เป็นการสั่งตัดไฟจากเบรกเกอร์ (Breaker) แต่เป็นการตั้งคำสั่งจากระบบจัดการพลังงานภายในบ้านให้หยุดการทำงานของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้า โดยสามารถกำหนดลำดับความสำคัญของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละชนิดว่าต้องการให้หยุดทำงานก่อนหรือหลัง
3. การเปลี่ยนช่วงเวลาการใช้พลังงาน (Peak Shift / Time Shift) คือเป็นแนวคิดการเปลี่ยนช่วงเวลาการใช้พลังงาน ซึ่งในตอนกลางคืนจะมีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าค่อนข้างน้อย การใช้พลังงานไฟฟ้าจะเป็นลักษณะของการเก็บสะสมพลังงานไว้ในอุปกรณ์ Storage (เช่น การเก็บพลังงานไฟฟ้าไว้ในแบตเตอรี่ หรือในต่างประเทศที่มีฤดูหนาวอาจจะเก็บสะสมพลังงานไว้ในรูปแบบของหม้อต้มความร้อน เป็นต้น) และในช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้พลังงานเป็นจำนวนมากก็จะนำพลังงานที่เก็บสะสมไว้มาใช้งาน ซึ่งลักษณะข้างต้นก็เหมือนกับการเปลี่ยนช่วงเวลาการใช้พลังงาน

วิธีการจัดการพลังงานจะไม่ใช้เฉพาะวิธีการใดวิธีการหนึ่ง แต่จะใช้แบบผสมๆ กันไป เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ความสัมพันธ์ของวิธีการทำงานของระบบจัดการพลังงานภายในบ้านแสดงดังรูปที่ 2-1



รูปที่ 2-1 ความสัมพันธ์ของวิธีการทำงานของระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน

สำหรับงานวิจัยนี้ได้นำการควบคุมแบบอัตโนมัติสำหรับการควบคุมการใช้พลังงานอย่างประหยัดที่เชื่อมโยงกับอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านมาใช้ในการพัฒนาระบบเพราะวัตถุประสงค์ข้อนี้จะเป็นจุดเริ่มต้นที่ดีของข้ออื่นๆ คือมีการลงทุน : ถูก, ผลประโยชน์ที่ได้ : ดี, อุปสรรคต่อการดำเนินชีวิตของผู้ใช้ : ปานกลาง และความต่อเนื่องของการใช้ : ดีมาก

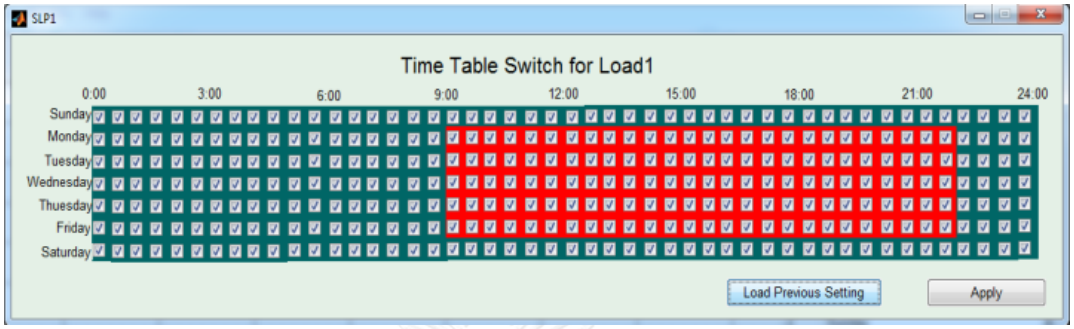
2.2 งานวิจัยตัวอย่างของระบบการจัดการพลังงานภายในบ้าน

มีงานวิจัยและโครงการจำนวนมากที่ทำเพื่อพัฒนาต้นแบบระบบควบคุมการทำงานเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านแบบอัตโนมัติ ตัวอย่างเช่น

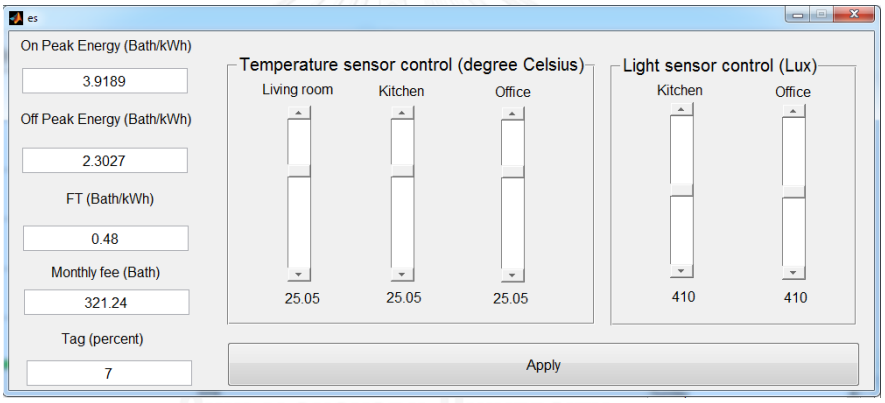
2.2.1 ต้นแบบของระบบจัดการพลังงานภายในบ้านอยู่อาศัย

ชนัตพล ผิวล่อง [5] ได้เสนอต้นแบบของระบบจัดการพลังงานภายในบ้านอยู่อาศัยซึ่งระบบดังกล่าวประกอบไปด้วยการทำงานของ 3 ฟังก์ชันหลัก ได้แก่ การวางแผนการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างชาญฉลาด การควบคุมแบบอัตโนมัติ และการเปลี่ยนพฤติกรรมของผู้ใช้ไฟฟ้า โดยการวางแผนการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างชาญฉลาดแสดงดังรูปที่ 2-2 จะใช้หลักการทำงานของสวิตช์ควบคุมอัจฉริยะซึ่งสามารถควบคุมการเปิด-ปิดโหลดเป็นรอบสัปดาห์ การควบคุมแบบอัตโนมัติแสดงดังรูปที่ 2-3 จะใช้หลักการทำงานของเซ็นเซอร์วัดความสว่างของแสง เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ และเซ็นเซอร์ตรวจวัดการเคลื่อนไหวของมนุษย์และการเปลี่ยนพฤติกรรมของผู้ใช้ไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 2-4 สามารถทำได้โดยการรายงานการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลา ทำให้ผู้ใช้ได้ทราบถึงราคาค่าไฟฟ้าที่ต้องจ่ายไปในแต่ละช่วงเวลา ส่งผลให้ผู้ใช้หันมาใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงราคา

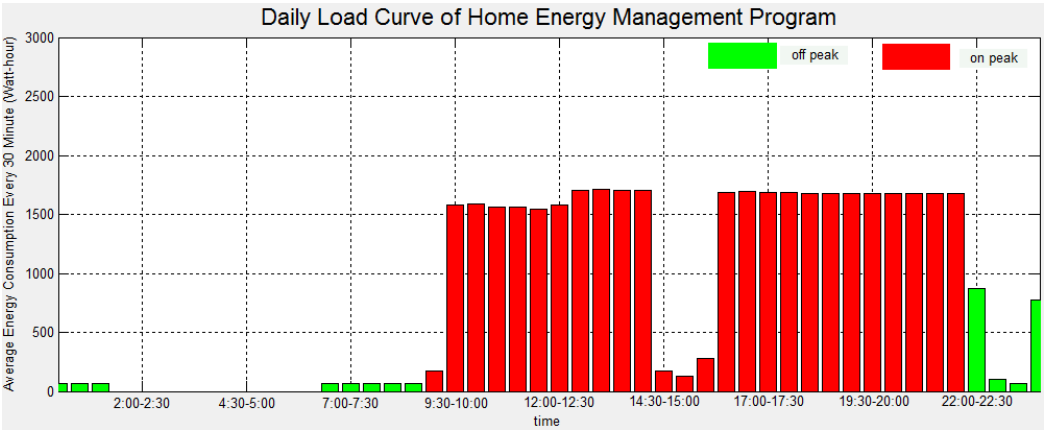
ถูก โดยระบบดังกล่าวนี้ประกอบด้วยปลั๊กไฟอัจฉริยะซึ่งสามารถวัดค่าพลังงานไฟฟ้าและควบคุมการเปิด-ปิดโหลดได้โดยเซิร์ฟเวอร์ของระบบ และเซ็นเซอร์ซึ่งวัดค่าต่างๆ แล้วส่งข้อมูลไปยังปลั๊กไฟอัจฉริยะและเซิร์ฟเวอร์ของระบบโดยใช้ซิกบี (ZigBee) ในการสื่อสารและใช้คอมพิวเตอร์เป็นเซิร์ฟเวอร์ของระบบ



รูปที่ 2-2 การวางแผนการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างชาญฉลาด



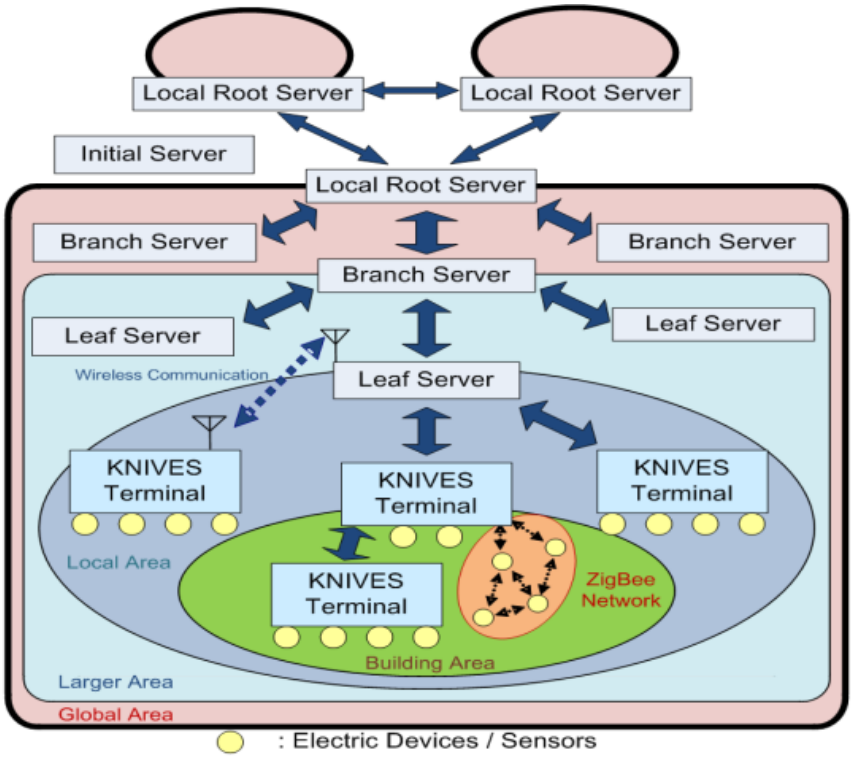
รูปที่ 2-3 การควบคุมแบบอัตโนมัติ



รูปที่ 2-4 การเปลี่ยนพฤติกรรมของผู้ใช้ไฟฟ้า

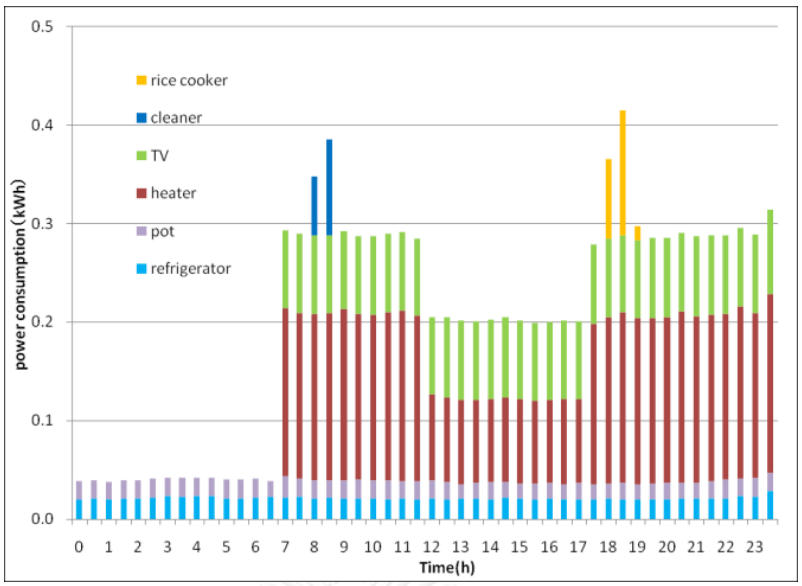
2.2.2 KNIVES

Yukio Suhara และคนอื่นๆ [6] ได้เสนอระบบการจัดการพลังงานภายในบ้านที่มีชื่อว่า KNIVES (Keio University Network oriented Intelligent and Versatile Energy saving System) ระบบ KNIVE มีการทำงานเป็นโครงข่ายแบ่งออกเป็นส่วนย่อยๆ (รูปที่ 2-5) คือ Local Root Server, Branch Server, Leaf Server และ KNIVES terminal โดยใน KNIVES terminal ประกอบด้วย ซิกบี, เซ็นเซอร์ต่างๆ ได้แก่ เซ็นเซอร์วัดการใช้กำลังไฟฟ้า, เซ็นเซอร์วัดความสว่าง, เซ็นเซอร์วัดความชื้น, เซ็นเซอร์วัดความร้อนและเซ็นเซอร์ตรวจวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, AVR Controller และรีเลย์

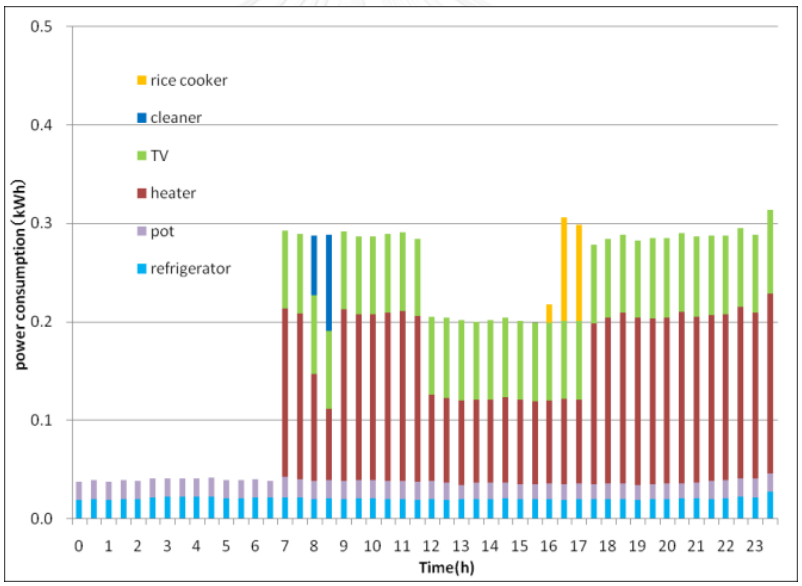


รูปที่ 2-5 ภาพรวมของ KNIVES

เมื่อนำระบบมาทดสอบการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยให้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถใช้ไฟฟ้าอย่างอิสระปราศจากการควบคุมดังแสดงในรูปที่ 2-6 พบว่ากราฟการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในบ้านมีลักษณะไม่เรียบสม่ำเสมอ จากการวัดดังกล่าวสามารถนำไปทำนายการใช้พลังงานไฟฟ้าได้และเป็นข้อมูลในการตัดสินใจลดการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ไม่จำเป็นออก ณ ช่วงเวลานั้นๆ ได้ ซึ่งเมื่อควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าด้วยระบบ KNIVE ดังแสดงในรูปที่ 2-7 จะทำให้กราฟการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในบ้านมีลักษณะเรียบสม่ำเสมอหรือเรียบเป็นช่วงๆ ได้



รูปที่ 2-6 กราฟการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ปราศจากการควบคุม

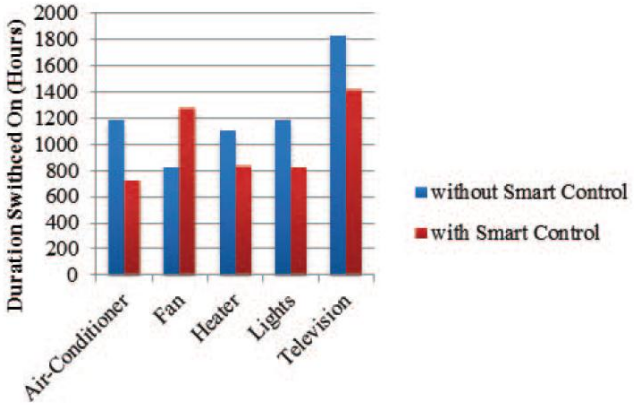


รูปที่ 2-7 กราฟการใช้พลังงานไฟฟ้าควบคุมด้วยระบบ KNIVE

2.2.3 ระบบบ้านอัตโนมัติ

Dhiren Tejani และคนอื่นๆ [7] ได้เสนอการวิเคราะห์การใช้พลังงานภายในบ้านมาตรฐานที่มีผู้อยู่อาศัย 4 คน โดยคำนึงถึงการใช้งานของเครื่องใช้ไฟฟ้าทั่วไปและอุปกรณ์อื่นๆ และแสดงให้เห็นถึงความสามารถของการจัดการระบบบ้านอัตโนมัติโดยใช้ Z-Wave [8] ระบบบ้านอัตโนมัติประกอบไปด้วย เกทเวย์อัจฉริยะ (Smart Gateway), เซ็นเซอร์ (Sensors) และอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ

การทดสอบได้เปรียบเทียบการใช้พลังงานภายในบ้านก่อนติดตั้งและหลังติดตั้งระบบในระยะเวลา 1 ปีและได้แบ่งการทดสอบออกเป็นการใช้พลังงานของห้องต่างๆ ภายในบ้านดังนี้ ห้องนั่งเล่น, บริเวณรับประทานอาหาร, ห้องครัว, ห้องนอนหลัก, ห้องนอนเด็ก, ห้องนอนแขก, ห้องน้ำหลัก, ห้องน้ำรวมและอื่นๆ จากรูปที่ 2-8 เป็นตัวอย่างผลการทดสอบการใช้พลังงานจากห้องนั่งเล่นและตารางที่ 2-1 แสดงผลการทดสอบของการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของห้องต่างๆ ภายในบ้าน จากการทดสอบการใช้งานหลังติดตั้งระบบพบว่าประหยัดการใช้พลังงานลง 18.7% ทำให้ช่วยลดค่าไฟฟ้าได้ถึง 497.86$ ต่อปี หรือประมาณ 16,115.73 บาทต่อปี



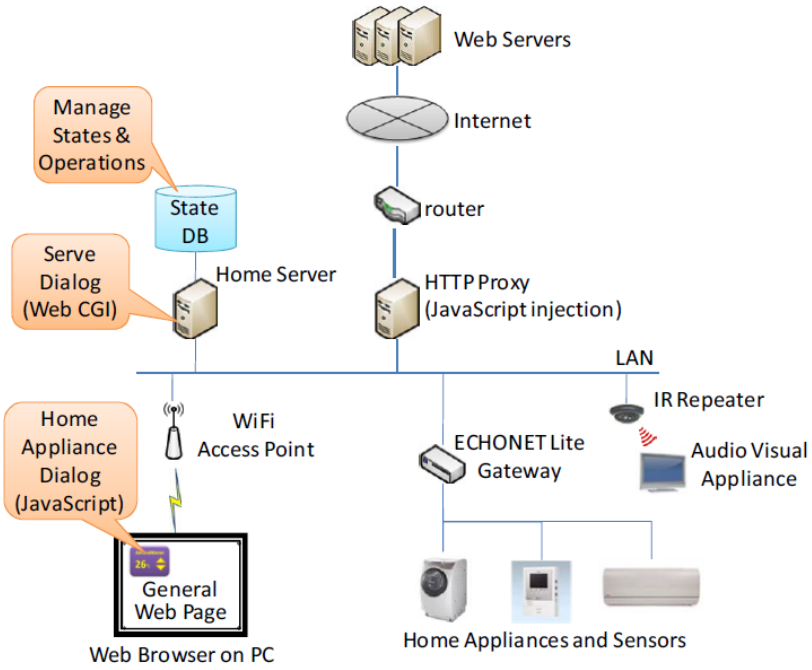
รูปที่ 2-8 ระยะเวลาของอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าที่เปิดอยู่ในห้องนั่งเล่น

ตารางที่ 2-1 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้า

บริเวณ	ก่อนติดตั้งระบบ (kWh)	หลังติดตั้งระบบ (kWh)	ผลต่าง (kWh)	ประหยัดค่าใช้จ่าย ($)
ห้องนั่งเล่น	4044.596	2780.448	1264.148	227.55
บริเวณรับประทานอาหาร	183.553	123.841	59.712	10.75
ห้องครัว	2087.024	2061.820	25.204	4.54
ห้องนอนหลัก	3366.062	2736.425	629.637	113.33
ห้องนอนเด็ก	2034.359	1404.722	629.637	113.33
ห้องนอนแขก	467.336	322.776	144.560	26.02
ห้องน้ำหลัก	43.952	37.634	6.318	1.14
ห้องน้ำรวม	46.630	39.969	6.661	1.20
อื่นๆ	2516.300	2516.300	0.000	0.00
รวม	14789.813	12023.935	2765.878	497.86

2.2.4 HACCS

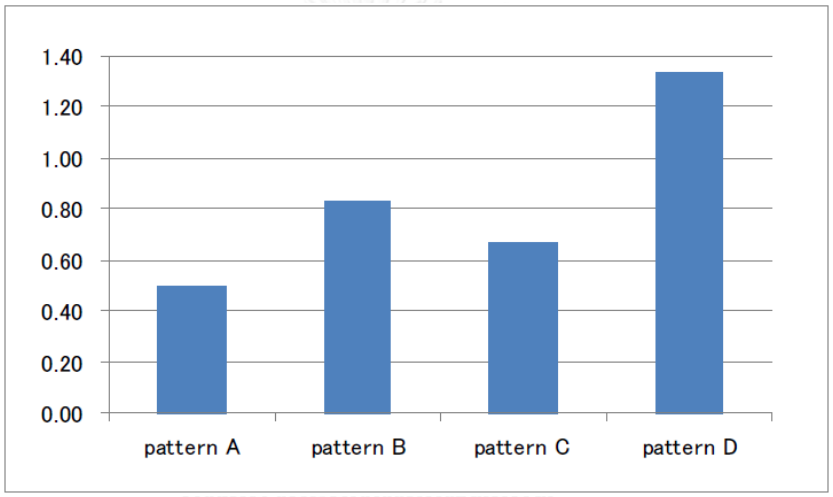
Tomoki Watanabe และคนอื่นๆ [9] ได้เสนอระบบการจัดการพลังงานภายในบ้านที่มีชื่อว่า HACCS (Home Appliance Control Concierge System) ระบบนี้ได้รวบรวมการแสดงสถานะการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน, มีปุ่มสำหรับการควบคุมด้วยตัวผู้ใช้เองและข้อมูลที่ใช้เพื่อประกอบตัดสินใจในการประหยัดพลังงานที่แสดงบนหน้าเว็บไซต์ของเครื่องคอมพิวเตอร์หรือแท็บเล็ต ระบบนี้ออกแบบให้มีบทสนทนาจากเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน (home appliance dialog) เพื่อจะช่วยกระตุ้นให้ผู้ใช้ระมัดระวังในการใช้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้น โดยนำมาตรฐาน ECHONET Lite [10] มาใช้ในระบบดังรูปที่ 2-9



รูปที่ 2-9 โครงสร้างของระบบ HACCS

เริ่มการทดสอบจากทัศนคติของการประหยัดพลังงานจากอาสาสมัครเป็นที่เป็นผู้ใหญ่จำนวน 6 คนให้ประเมินผลกระทบการใช้งานของบทสนทนาจากเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านเพื่อให้ตระหนักถึงความจำเป็นในการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าเพื่อให้ประหยัดพลังงาน โดยมีรูปแบบของบทสนทนาจากเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านให้ประเมิน 4 รูปแบบ (รูปที่ 2-10) คือ รูปแบบ A ไม่บอกค่าไฟและไม่บอกสภาพอากาศ, รูปแบบ B ไม่บอกค่าไฟแต่บอกสภาพอากาศ, รูปแบบ C บอกค่าไฟแต่ไม่บอกสภาพอากาศและรูปแบบ D บอกค่าไฟและบอกสภาพอากาศ จากผลการประเมินดังรูปที่ 2-11 พบว่ารูปแบบ D บอกค่าไฟและบอกสภาพอากาศได้รับการประเมินสูงที่สุด

รูปที่ 2-10 รูปแบบต่างๆ ของบทสนทนาจากเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน



รูปที่ 2-11 ผลการทดสอบของบทสนทนาจากเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน

2.2.5 วิเคราะห์การออกแบบระบบของงานวิจัยตัวอย่าง

งานวิจัยตัวอย่างและงานวิจัยที่มีอยู่ได้เสนอการออกแบบระบบการจัดการพลังงานภายในบ้านซึ่งสามารถวิเคราะห์การออกแบบระบบได้คือ ออกแบบระบบโดยใช้คอมพิวเตอร์เป็นเซิร์ฟเวอร์หลักในการประมวลผลและออกแบบอุปกรณ์ที่มีความซับซ้อนต้องให้ผู้เชี่ยวชาญเฉพาะทางเป็นผู้ติดตั้งอุปกรณ์ทำให้เพิ่มค่าใช้จ่ายและค่าไฟฟ้าโดยรวม การควบคุมยังต้องให้ผู้อยู่อาศัยเป็นผู้วิเคราะห์ในการเลือกช่วงเวลาการใช้งานหรือลักษณะการทำงานให้ประหยัดเองและควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าได้ในระยะใกล้เท่านั้นทำให้เกิดความยุ่งยากในการใช้งานแต่ทุกระบบของงานวิจัยตัวอย่างมีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานเหมือนๆ กันจะแตกต่างกันไปตามวิธีปฏิบัติและวิธีในการทดสอบทำให้ผู้วิจัยได้รับแนวคิดใหม่ๆ ที่จะนำมาปรับปรุงระบบที่ออกแบบให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

2.3 เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายซิกบี

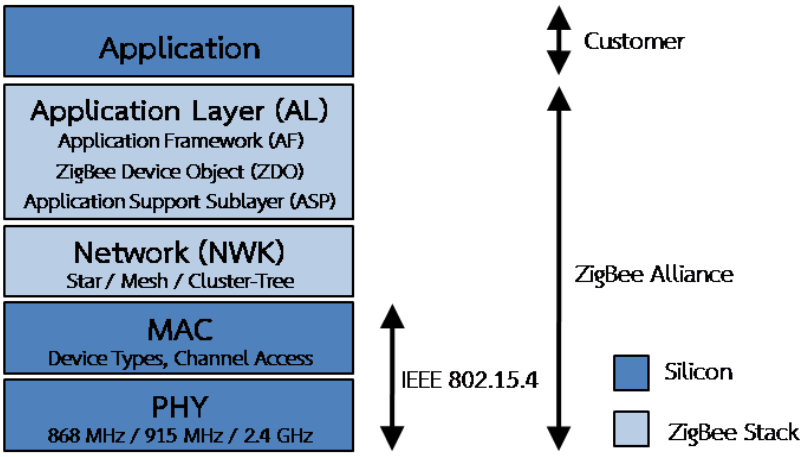
เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย (Wireless Communication Technologies) มีหลายเทคโนโลยี เช่น ซิกบี (ZigBee), บลูทูธ (Bluetooth) และวายฟาย (Wi-Fi) เป็นต้น เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายพวกนี้จะทำงานที่ความถี่วิทยุที่คล้ายกันและการนำมาประยุกต์ใช้งานบางครั้งก็จะมีการทับซ้อนกันอยู่ เช่น สามารถใช้ในระบบควบคุมการทำงานเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านแบบอัตโนมัติ สำหรับงานวิจัยนี้ได้นำเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายซิกบีมาใช้เพราะคุณสมบัติส่วนใหญ่เหมาะสมกับระบบที่พัฒนาคือมีอัตราการรับส่งข้อมูลต่ำ, ใช้พลังงานต่ำ, ราคาถูก, มีความเชื่อถือได้, ปลอดภัยและสามารถรองรับการเชื่อมต่อของโนดได้จำนวนมาก ตารางที่ 2-2 แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบของเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย [11]

ตารางที่ 2-2 การเปรียบเทียบเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายชนิดต่างๆ

Parameter	ZigBee	Bluetooth	Wi-Fi
Standard	IEEE 802.15.4	IEEE 802.15.1	IEEE 802.1.b
Memory Requirement	4-32 KB	250 KB	1 MB
Battery Life	Years	Days	Hours
Data Rate	250 kbps	1-3 Mbps	11 Mbps
Range	300 m	10-100 m	100 m

ซิกบีเป็นหนึ่งในมาตรฐานการสื่อสารข้อมูลระยะใกล้ที่ใช้มาตรฐาน IEEE 802.15.4 สำหรับการสื่อสารไร้สายในโครงข่ายพื้นที่ส่วนตัว (Wireless Personal Area Network หรือ WPAN) ที่นิยมนำมาสร้างระบบที่เรียกว่าโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Network หรือ WSN) ซึ่งระบบนี้สามารถทำงานได้ทุกสภาวะ ทนต่อทุกสภาพอากาศและอยู่ได้ด้วยแหล่งจ่ายพลังงานต่ำ โดยลักษณะของโครงข่ายซิกบีถูกออกแบบมาสามารถสร้างโครงข่ายแบบเมช (Mesh) หรือโครงข่ายแบบเฉพาะกิจ (Ad-hoc) ขึ้นมาเองในลักษณะที่ซ่อมแซมตัวเองได้หากโครงข่ายมีจุดเสีย

มาตรฐาน IEEE 802.15.4 ซึ่งเป็นโพรโทคอลสำหรับการสื่อสารผ่านคลื่นวิทยุของการใช้งานอุปกรณ์ไร้สายที่มีอัตราการส่งข้อมูลและใช้พลังงานต่ำ สำหรับโครงข่ายไร้สายแบบพื้นที่ส่วนตัวหรืออาจเรียกเป็นมาตรฐานสำหรับโครงข่ายไร้สายแบบพื้นที่ส่วนตัวที่มีอัตราการส่งข้อมูลต่ำ (Low-Rate WPAN: LR-WPAN) โดยโพรโทคอล IEEE 802.15.4 จะถูกนำมาใช้งานในระดับชั้นที่ต่ำกว่าชั้นโครงข่าย (Network Layer) ซึ่งประกอบด้วยระดับชั้นกายภาพ (Physical Layer) และระดับชั้นแม็ค (MAC Layer) ซึ่งเป็นฐานให้กับโพรโทคอลซิกบี [12] ดังรูปที่ 2-12



รูปที่ 2-12 สแต็กโพรโทคอลซิกบีที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมาตรฐาน IEEE 802.15.4 กับซิกบี

มาตรฐาน IEEE 802.15.4 ที่มีการกำหนดไว้ในชั้นกายภาพ กำหนดให้มีการใช้งานในย่านความถี่ที่เป็นความถี่สาธารณะ (license-free Industrial Scientific Medical frequency bands หรือ ISM) อยู่ 3 ความถี่โดยที่ความถี่ 2.4-2.4835 GHz สามารถใช้งานได้ทั่วโลกความถี่ 868-870 MHz และ 902-928 MHz ใช้งานได้ในพื้นที่ของทวีปอเมริกาเหนือ, ทวีปยุโรป, ประเทศออสเตรเลียและนิวซีแลนด์รายละเอียดเกี่ยวกับตัวแปรต่างๆ ตามชนิดของช่วงความถี่ใช้งานแสดงในตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-3 การใช้งานย่านความถี่และการแบ่งช่องสัญญาณที่ใช้งานตามมาตรฐาน IEEE 802.15.4

PHY Layer	Frequency Band (MHz)	Channel Numbering	Spreading Parameters		Data Parameters		
			Chip Rate	Modulation	Bit Rate	Symbol Rate	Modulation
868/915 MHz	868-868.6	0	300 kcps	BPSK	20 kbps	20 kbaud	BPSK
	902-928	1 to 10	600 kcps	BPSK	40 kbps	40 kbaud	BPSK
2.4 GHz	2400-2483.5	11 to 26	2 Mcps	OQPSK	250 kbps	62.5 kbaud	16-ary Orthogonal

ซิกบีสามารถสร้างเป็นโครงข่ายได้โดยได้อ้างอิงมาตรฐานตาม IEEE 802.15.4 ซึ่งแบ่งชนิดอุปกรณ์ในโครงข่ายออกเป็น 2 ประเภทตามความสามารถในการทำงานดังนี้

1) อุปกรณ์ชนิด FFD (Full Function Device) หมายถึงอุปกรณ์ที่มีความสามารถเต็ม ทำงานได้ทุกอย่างในโครงข่ายและมีความสามารถในการจัดเส้นทาง (Routing) ได้
2) อุปกรณ์ชนิด RFD (Reduced Function Device) หมายถึงอุปกรณ์ที่มีความสามารถในการทำงานลดลง ซึ่งจะใช้เป็นอุปกรณ์เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ที่มีความสามารถเต็มหรืออุปกรณ์ชนิด FFD อีกทีหนึ่ง

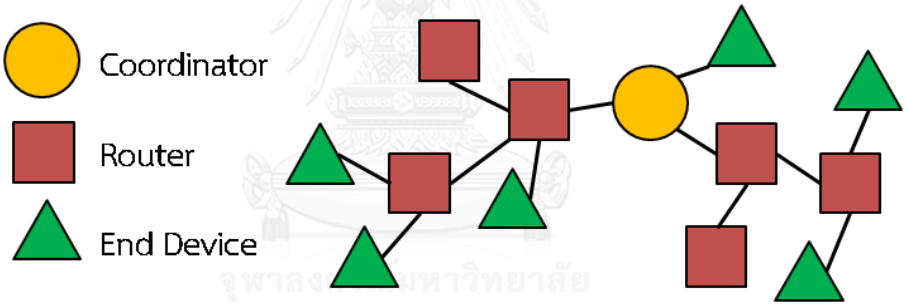
2.3.1 การทำงานของเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายซิกบี

ซิกบีได้แบ่งตามลักษณะการทำงาน 3 แบบคือโคออดิเนอเตอร์ (Coordinator), อุปกรณ์ปลายทาง (End Device) และเราท์เตอร์ (Router) ดังแสดงในรูปที่ 2-13

1) แบบโคออดิเนอเตอร์ (Coordinator) มีหน้าที่สร้างการสื่อสารเชื่อมโยงโครงข่ายระหว่างอุปกรณ์ปลายทางกับเราท์เตอร์หรือโคออดิเนอเตอร์กับโคออดิเนอเตอร์ด้วยกัน หรือโคออดิเนอเตอร์กับเราท์เตอร์กำหนดที่อยู่ให้กับอุปกรณ์ที่อยู่ในวงโครงข่ายไม่ให้ซ้ำกันดูแลจัดการเรื่องการจัดเส้นทางซึ่งมีการทำงานเทียบได้กับอุปกรณ์ชนิด FFD

2) แบบอุปกรณ์ปลายทาง (End Device) เป็นอุปกรณ์ปลายทางสุดซึ่งจะใช้รับสัญญาณจากเซ็นเซอร์ที่ปลายทางโดยที่ใช้พลังงานต่ำในการทำงานเทียบได้กับอุปกรณ์ชนิด RFD หรืออุปกรณ์ชนิด FFD บางกรณีขึ้นอยู่กับเซ็นเซอร์ที่ใช้

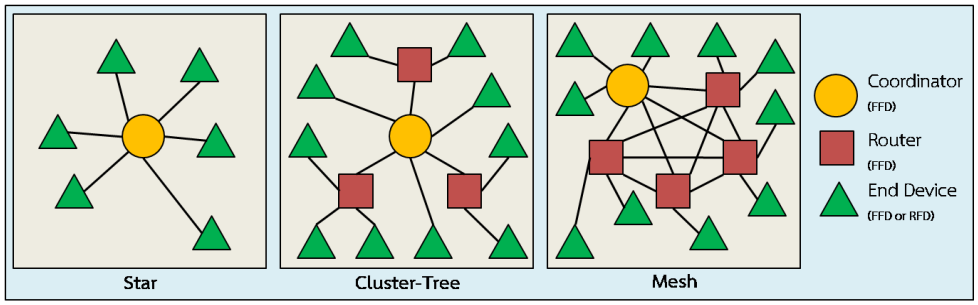
3) แบบเราท์เตอร์ (Router) มีหน้าที่รับส่งข้อมูลในเส้นทางต่างๆ ของโครงข่ายซึ่งมีการทำงานเทียบได้กับอุปกรณ์ชนิด FFD



รูปที่ 2-13 ลักษณะการทำงานของซิกบีในโครงข่าย

2.3.2 ทอพอโลยีของเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายซิกบี

ทอพอโลยีที่เชื่อมต่อเป็นโครงข่ายเพื่อใช้งานของโพรโทคอลซิกบีที่ใช้งานในโครงข่ายไร้สายส่วนบุคคลที่มีอัตราการส่งข้อมูลต่ำนั้นมี 3 แบบคือแบบดาว (Star), แบบคลัสเตอร์ต้นไม้ (Cluster Tree) และแบบเมช (Mesh) การเชื่อมต่อเป็นโครงข่ายของโพรโทคอลซิกบี โดยมีการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ไร้สายชนิดที่มีโพรโทคอลซิกบีสามารถทำได้โดยผ่านอุปกรณ์แพนโคออดิเนเตอร์ (Personal Area Network Coordinator หรือ PAN Coordinator) สำหรับการเชื่อมต่อแบบระดับเดียวเป็นการเชื่อมต่อเพื่อขยายโครงข่ายให้กว้างออกไป แสดงดังรูปที่ 2-14 สำหรับงานวิจัยนี้ได้ใช้ทอพอโลยีแบบเมช (Mesh) ทำให้เพิ่มเส้นทางการสื่อสารของระบบและครอบคลุมพื้นที่ได้มากขึ้น



รูปที่ 2-14 ทอพอโลยีแบบต่างๆ

2.4 อุปกรณ์ XBee

XBee เป็นอุปกรณ์ที่มีไมโครคอนโทรลเลอร์และวงจรรวมความถี่วิทยุ (Radio Frequency Integrated Circuit) อยู่ภายในใช้งานตามมาตรฐานซิกบีทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์รับ-ส่งสัญญาณแบบ Half Duplex รับส่งข้อมูลด้วยอัตราข้อมูล 250 kbps ในย่านความถี่ 2.4 GHz มีการจัดการที่ใช้พลังงานต่ำโดยรุ่นของ อุปกรณ์ XBee ที่นำมาใช้ในการพัฒนาต้นแบบระบบควบคุมการทำงานเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านแบบอัตโนมัติคือ XB24-Z7WIT-004 ดังรูปที่ 2-15

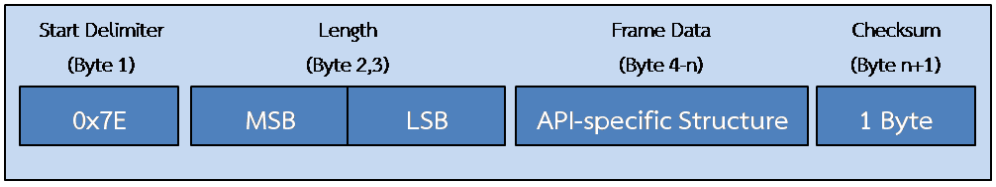
รูปที่ 2-15 อุปกรณ์ XBee รุ่น XB24-Z7WIT-004

คุณสมบัติของอุปกรณ์ XBee รุ่น XB24-Z7WIT-004 คือเป็น XBee Series 2 ขนาดพลังงาน 2 มิลลิวัตต์ (mW) สายอากาศแบบ Whip Antenna รองรับโครงข่ายแบบเมช ทำงานที่ระดับแรงดัน 3.3V@40mA ระยะรับส่งข้อมูลแบบไม่มีสิ่งกีดขวาง (line-of-sight) 120 เมตร และระยะรับส่งข้อมูลแบบมีสิ่งกีดขวาง (non-line-of-sight) 40 เมตร

อุปกรณ์ XBee มี 20 ขา กำหนดเป็น Digital I/O 11 ขาสำหรับเป็นขาอินพุตหรือเอาต์พุต และ Analog to Digital Input 4 ขา สามารถรับค่าได้ตั้งแต่ 0 ถึง 1.2 โวลต์ (V) สมการที่ (2-1) ใช้ในการแปลงค่าแอนะล็อก (A/D) เป็นมิลลิโวลต์ (mV) [13]

$$\mathrm{AD(mV)} = (\mathrm{A/Dreading} \times 1200\mathrm{mV})/1024 \qquad (2\text{-}1)$$

อุปกรณ์ XBee มีการทำงานอยู่ 2 แบบคือแบบ AT command mode และ API (Application Programming Interface) command mode สำหรับงานวิจัยนี้ได้นำ API command mode มาใช้ในงานรับ-ส่งข้อมูลของระบบที่พัฒนาเพราะ API command mode จะมีความปลอดภัยของข้อมูลมากกว่าและมีการส่งข้อมูลในรูปแบบของเฟรมดังรูปที่ 2-16 ซึ่งแสดงให้เห็นโครงสร้างของเฟรมข้อมูลในการทำงานแบบ API command mode ของ XBee



รูปที่ 2-16 โครงสร้างของเฟรมข้อมูลในการทำงานแบบ API command mode ของ XBee

2.5 เซ็นเซอร์

เซ็นเซอร์ (Sensor) หรือตัวรับรู้เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดปริมาณทางกายภาพ (Physical Quantity) แล้วเปลี่ยนไปเป็นสัญญาณที่สามารถอ่านหรือตรวจวัดได้ด้วยเครื่องมือสำหรับในงานวิจัยนี้ได้นำเซ็นเซอร์วัดความสว่างของแสง (Light Sensor), เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ (Temperature Sensor) และเซ็นเซอร์ตรวจวัดการเคลื่อนไหว (Motion Sensor) มาใช้ในการทำส่วนเซ็นเซอร์ (Sensor Part) ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของระบบที่พัฒนา

2.5.1 เซ็นเซอร์วัดความสว่างของแสง

LDR (Light Dependent Resistor) เป็นตัวรับค่าความสว่างของแสง ซึ่งจะมีค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงตามปริมาณความสว่างของแสง โดยความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานของเซ็นเซอร์ (LDR) และความสว่างของแสง (Lux) แสดงดังรูปที่ 2-17 [14] นอกจากนี้ยังสามารถแสดงโดยใช้สมการที่ (2-2), (2-3), (2-4) และ (2-5) และมีลักษณะของวงจรเซ็นเซอร์วัดความสว่างของแสงดังรูปที่ 2-18

สมการของแรงดันเอาต์พุตจากการแบ่งแรงดันไฟฟ้าคือ

$$\mathrm{Vout} = \frac{\mathrm{LDR}\times\mathrm{Vin}}{\mathrm{LDR}+\mathrm{R1}} \qquad (2\text{-}2)$$

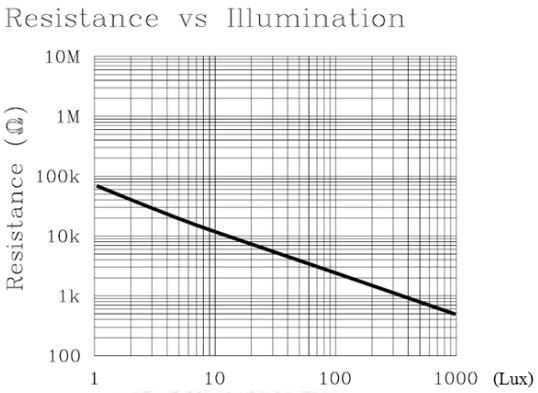
เพื่อนำมาหาค่าของ LDR ได้ดังสมการที่ (2-3)

$$\mathrm{LDR} = \frac{\mathrm{Vout}\times\mathrm{R1}}{\mathrm{Vin}-\mathrm{Vout}} \qquad (2\text{-}3)$$

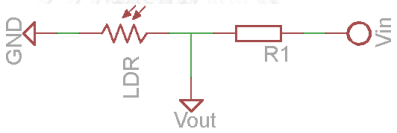
สามารถคำนวณหาความสว่างของแสงได้จากสมการที่ (2-4) และ (2-5)

$$\text{LDR} = \frac{500}{\text{Lux}} \tag{2-4}$$

$$\text{Lux} = \frac{500}{\text{LDR}} \tag{2-5}$$



รูปที่ 2-17 ความสัมพันธ์ของความต้านทานของเซ็นเซอร์ (LDR) กับความสว่างของแสง (Lux)



รูปที่ 2-18 วงจรเซ็นเซอร์วัดความสว่างของแสง

2.5.2 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ

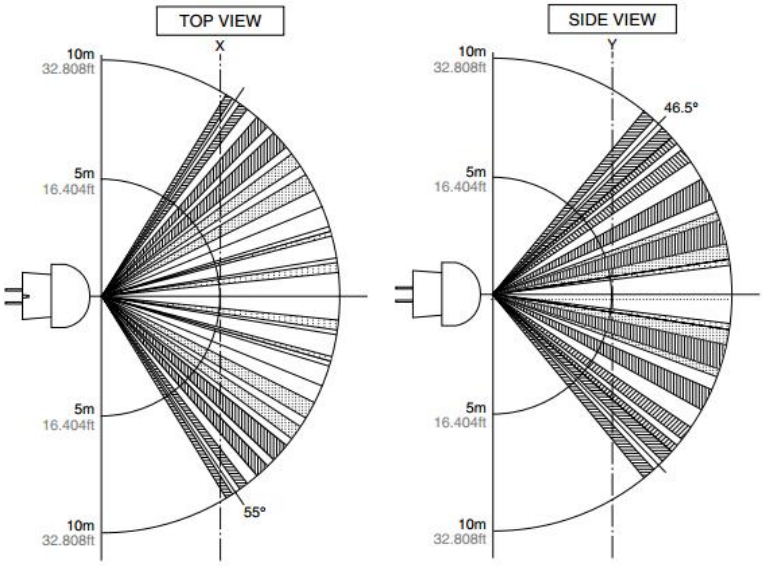
LM35 เป็นเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิชนิด Temperature-sensitive voltage source โดยให้แรงดันเอาต์พุตที่เพิ่มขึ้น 10 mV ทุกๆ 1 องศาเซลเซียสที่สูงขึ้น เซ็นเซอร์นี้สามารถวัดค่าอุณหภูมิได้ในย่าน -55 ℃ ถึง +150 ℃ และมีความเที่ยงตรงประมาณ 1 ℃ [15] โดยความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาต์พุตและอุณหภูมิเป็นดังสมการที่ (2-6)

$$\text{Temperature} = \text{Vout} \times 100 \tag{2-6}$$

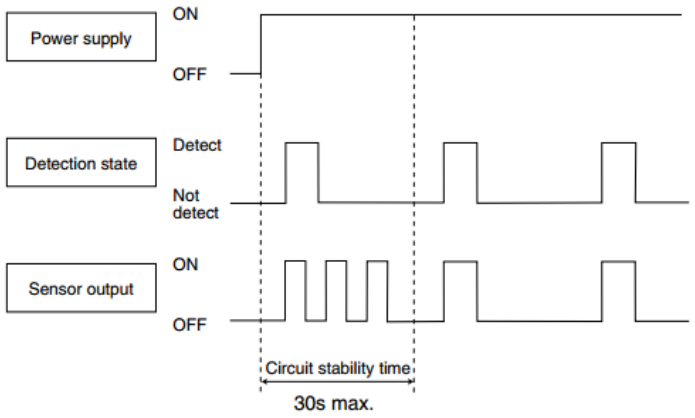
2.5.3 เซ็นเซอร์ตรวจวัดการเคลื่อนไหว

PIR Motion Sensor เป็นเซ็นเซอร์ตรวจวัดคลื่นรังสีอินฟราเรดจากวัตถุผ่านอุปกรณ์รวมแสงมายังตัวไพโรอิเล็กตริก (Pyroelectric) ซึ่งจะเปลี่ยนพลังงานความร้อนจากรังสีอินฟราเรดเป็นพลังงานไฟฟ้าสำหรับงานวิจัยนี้ใช้ PIR Motion Sensor เบอร์ AMN34112 เป็นเซ็นเซอร์ที่ใช้ตรวจวัดคลื่นรังสีอินฟราเรดที่แผ่จากสิ่งมีชีวิตที่มีการเคลื่อนไหว มีระยะตรวจวัดสูงสุด

ประมาณ 10 เมตรดังรูปที่ 2-19 ซึ่ง แสดงขอบเขตของบริเวณตรวจวัดการเคลื่อนไหวได้ 55 องศาและดังรูปที่ 2-20 ซึ่งแสดงรูปร่างของสัญญาณเอาต์พุตแบบดิจิทัลโดยคำนวณจากความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิระหว่างร่างกายมนุษย์กับพื้นหลังในขณะนั้นและ Circuit Stability Time เป็นเวลาที่จำเป็นสำหรับวงจรภายในให้มีเสถียรภาพหลังจากที่แหล่งจ่ายไฟทำงาน ในช่วงเวลานี้การตรวจวัดจะไม่เกิดขึ้นและเอาต์พุตจะไม่คงที่ [16]



รูปที่ 2-19 ขอบเขตของบริเวณตรวจวัดการเคลื่อนไหว



รูปที่ 2-20 รูปร่างของสัญญาณเอาต์พุตแบบดิจิทัล

2.6 อุปกรณ์ Raspberry Pi

เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติ Raspberry Pi รุ่น Model-B กับคอมพิวเตอร์แบบบอร์ดเดียวโมเดลอื่นๆ จะได้ข้อมูลดังตารางที่ 2-4 [17], [18], [19] โดยพบว่า Raspberry Pi รุ่น Model-B มีความ

เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ในการพัฒนาต้นแบบระบบควบคุมการทำงานเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านแบบอัตโนมัติเพราะเป็นคอมพิวเตอร์แบบบอร์ดเดียว (Single-Board Computers) หรือเป็นคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ขนาดเล็กโดยมีหน่วยความจำ, มีพอร์ตอินพุต/เอาต์พุต (I/O Port), รองรับระบบแสดงภาพและเสียงทั้งดิจิทัลและแอนะล็อก, ขนาดเล็ก, น้ำหนักเบา, ราคาถูก, มีขั้วต่ออีเทอร์เน็ตและมีขั้วต่อ USB สำหรับเชื่อมต่อกับ XBee เพื่อรับส่งข้อมูลผ่านเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายซิกบี Raspberry Pi รุ่น Model-B มีลักษณะดังรูปที่ 2-21

รูปที่ 2-21 Raspberry Pi รุ่น Model-B

ตารางที่ 2-4 คุณสมบัติคอมพิวเตอร์แบบบอร์ดเดียวรุ่นอื่นๆ เปรียบเทียบกับ Raspberry Pi

Item	Arduino Uno R3	Beagle Bone Black	Raspberry Pi Model-B
Price	$30	$45	$35
Processor	ATMega328 @16MHz RAM 2KB	Cortex-A8 @1GHz RAM 512MB DDR3L	ARM11 @700MHz RAM 512MB
Storage	32KB flash	2GB flash, µSD	SD Card Slot, USB
Power	7–12V@42mA (0.3 W)	5V@460mA (2.3 W)	5V@700mA (3.5 W)
Size (mm)	75×53	86.4×53.3	85.6×54.0×19.5
USB Ports	No	1	2
Operating System	No	Angstrom, Ubuntu, Android, Arch Linux, Gentoo, Minix	Raspbian, Ubuntu, Android, Arch Linux, FreeBSD, Fedora
Video	No	1 Micro-HDMI	1 HDMI, 1 Composite
Ethernet	No	Yes	Yes
Interfaces	GPIO 14 pin, Analog Input 12 pin, Analog Output2 pin	GPIO 65 pin, I²C, SPI, Analog Input 7 pin	GPIO 8 Pin, UART, I²C, SPI

2.7 รีโมทอินฟราเรด

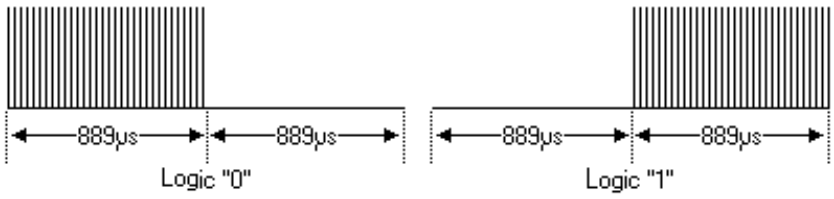
สัญญาณของรีโมทที่ใช้งานโดยทั่วไปจะส่งสัญญาณด้วยแสงอินฟราเรด (Infrared) [20] ประกอบด้วย 2 ส่วน คือรหัส (Code) จะเป็นสัญญาณแบบดิจิตอลที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าซึ่งส่งออกไปได้ต้องมีตัวพาออกไปและตัวพาสัญญาณ (Carrier) เป็นสื่อกลางหรือตัวเชื่อมพารหัสออกไปสู่ตัวรับ เพื่อถอดรหัสและใช้รหัสที่ถอดได้ไปควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ซึ่งส่วนใหญ่แล้วรีโมทที่ใช้ในการควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าจะมีความถี่อยู่ที่ 30 - 56 KHz [21]

การทำงานของรีโมทอินฟราเรด (Remote Infrared) ที่จะส่งสัญญาณไปควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าต้องประกอบไปด้วยตัวส่ง (Transmitter) โดยการส่งสัญญาณไปทาง LED (Light emitting diode) หรือ Infrared diode ดังแสดงในรูปที่ 2-22 [22] และตัวรับ (Receiver) ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนข้อมูลให้กลับไปเป็นเหมือนข้อมูลเริ่มแรกดังแสดงในรูปที่ 2-23 [23]

รูปที่ 2-22 ตัวส่งสัญญาณรีโมทอินฟราเรด

รูปที่ 2-23 ตัวรับสัญญาณรีโมทอินฟราเรด

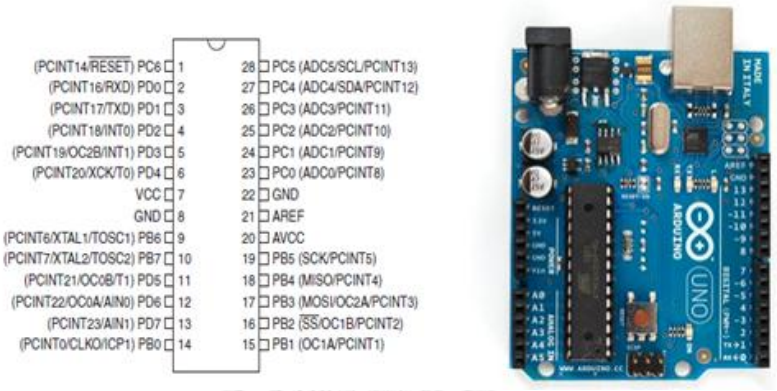
โดยรูปแบบการจัดเรียงข้อมูลของสัญญาณรีโมทอินฟราเรดมีอยู่หลายรูปแบบขึ้นอยู่กับผู้พัฒนาและผู้ผลิตสินค้า เช่น RC5, NEC, Sony SIRC, Samsung, Mitsubishi และ Panasonic เป็นต้น ตัวอย่างรูปแบบการจัดเรียงข้อมูลของสัญญาณรีโมทอินฟราเรดดังแสดงในรูปที่ 2-24 [24]



รูปที่ 2-24 รูปแบบการจัดเรียงข้อมูลของสัญญาณรีโมทอินฟราเรดแบบ RC5

2.8 อุปกรณ์ Arduino

Arduino เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ที่ผลิตโดยบริษัท ATMEL สำหรับงานวิจัยนี้ได้ใช้บอร์ด Arduino Uno SMD [25] ที่ใช้ไมโครคอนโทรเลอร์ AVR Atmega328 แสดงดังรูปที่ 2-25



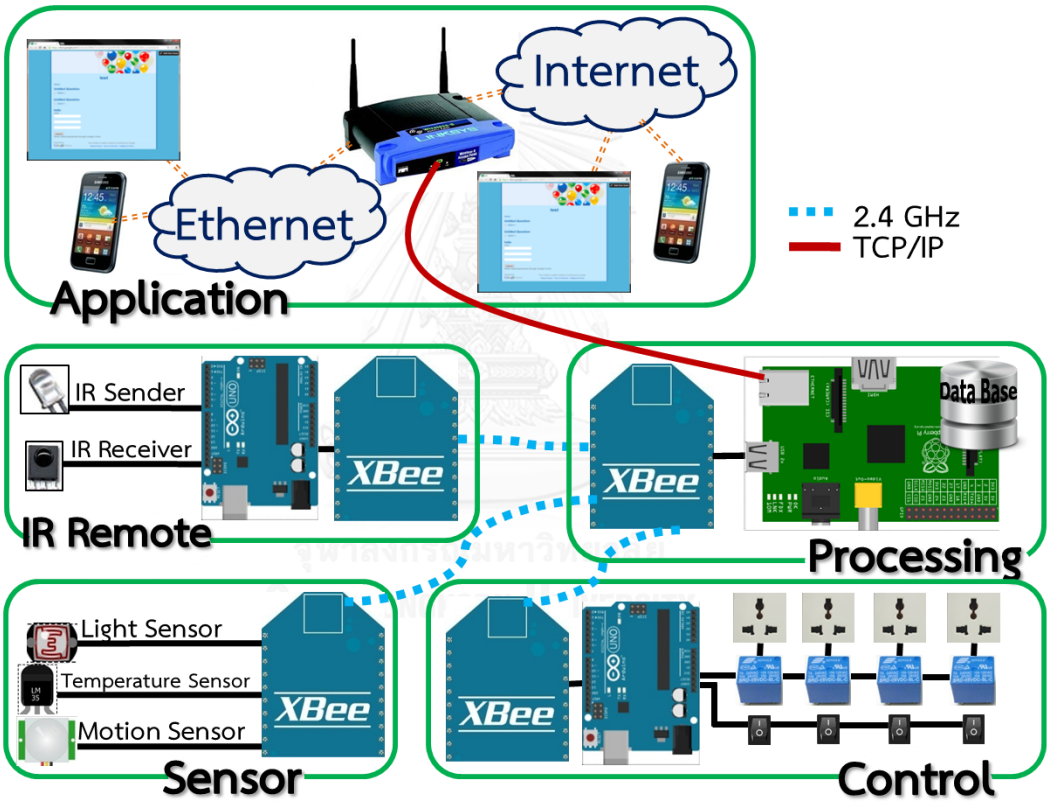
รูปที่ 2-25 ไมโครคอนโทรเลอร์ AVR Atmega328

มีคุณลักษณะคือเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต, สถาปัตยกรรมภายในเป็นแบบสูงสุดแบบ RISC (Advanced RISC), ความเร็วในการประมวลผล 1 คำสั่งต่อ 1 สัญญาณนาฬิกา (1 MIP/1MHz) และมากถึง 16 MIPS เมื่อใช้ความถี่ที่ 16 MHz, หน่วยความจำ ROM แบบ Flash ขนาด 32 กิโลไบต์, หน่วยความจำข้อมูลแบบ EEPROM ขนาด 1024 ไบต์, หน่วยความจำข้อมูลแบบ SRAM 2 กิโลไบต์, โมดูลสร้างสัญญาณ PWM (Pulse Width Modulator) จำนวน 4 ช่อง, โมดูลแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล (ADC) ขนาด 10 บิต 8 ช่องสัญญาณ, การสื่อสารข้อมูลอนุกรมมีทั้งแบบ UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitters) หรือแบบ RS232 SPI (Serial Peripheral Interface) และแบบ I2C และใช้แรงดันไฟฟ้า 4.5 - 5.5 โวลต์

บทที่ 3
การออกแบบระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ

3.1 ภาพรวมของระบบ

ต้นแบบระบบควบคุมการทำงานเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านแบบอัตโนมัติแบ่งออกเป็น 5 ส่วนประกอบ คือ ส่วนเซ็นเซอร์ (Sensor Part), ส่วนการประมวลผล (Processing Part), ส่วนควบคุม (Control Part), ส่วนโปรแกรมประยุกต์ (Application Part) และส่วนรีโมทอินฟราเรด (Infrared Remote Part) ดังรูปที่ 3-1



รูปที่ 3-1 ภาพรวมของระบบ

3.1.1 ส่วนเซ็นเซอร์

ส่วนเซ็นเซอร์ประกอบไปด้วยเซ็นเซอร์วัดความสว่างของแสง เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ เซ็นเซอร์ตรวจวัดการเคลื่อนไหวและอุปกรณ์ส่งสัญญาณซิกบี ส่วนเซ็นเซอร์ทำหน้าที่วัดความสว่างของแสง วัดอุณหภูมิ และตรวจวัดการเคลื่อนไหวของบริเวณนั้นๆ แล้วส่งข้อมูลผ่านเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายซิกบีไปยังส่วนการประมวลผล

3.1.2 ส่วนควบคุม

ส่วนควบคุมประกอบไปด้วยอุปกรณ์รีเลย์ อุปกรณ์เต้ารับและอุปกรณ์ส่งสัญญาณซิกบี ส่วนควบคุมทำหน้าที่คือมีรีเลย์เป็นเหมือนสวิตช์เปิด-ปิดจะทำงานเมื่อได้รับข้อมูลจากส่วนการประมวลผลผ่านเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายซิกบี

3.1.3 ส่วนการประมวลผล

ส่วนการประมวลผลประกอบไปด้วยอุปกรณ์ประมวลผล Raspberry Pi และอุปกรณ์ส่งสัญญาณซิกบี ส่วนการประมวลผลทำหน้าที่ประมวลผลและเก็บข้อมูลทั้งหมดของระบบ ทั้งในการรับข้อมูลจากส่วนเซ็นเซอร์และส่งข้อมูลไปควบคุมการทำงานของส่วนควบคุมและส่วนรีโมทอินฟราเรด

3.1.4 ส่วนโปรแกรมประยุกต์

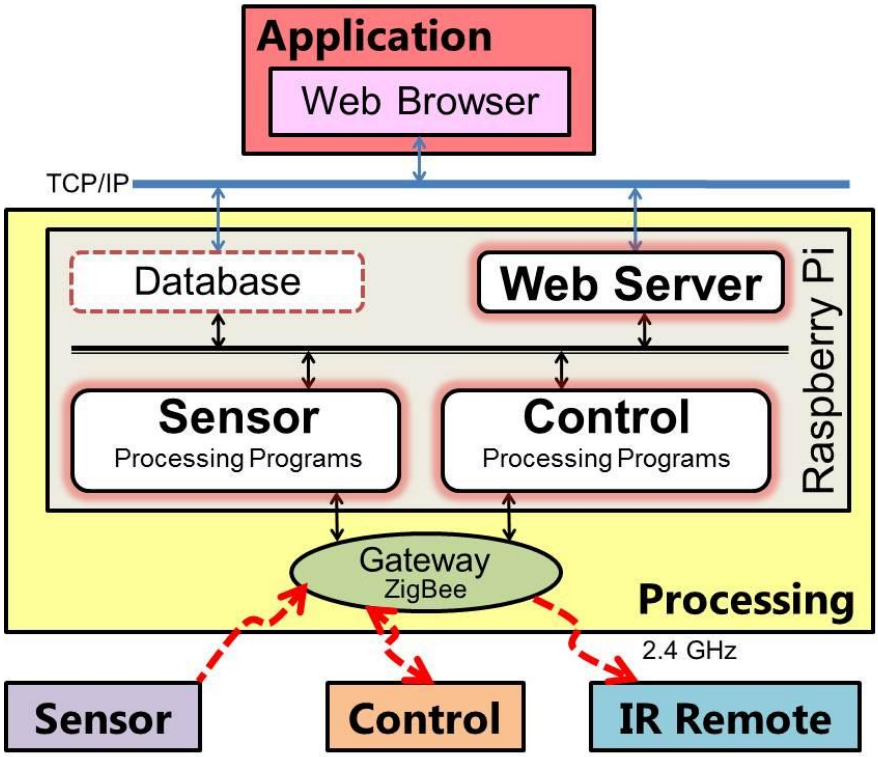
ส่วนโปรแกรมประยุกต์ประกอบไปด้วยอุปกรณ์เราเตอร์ (Router) และอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับเราเตอร์ได้ทั้งมีสายและไร้สาย ส่วนโปรแกรมประยุกต์ทำหน้าที่เป็นเหมือนหน้าจอแสดงผลในการที่ผู้ใช้จะสามารถเข้าถึงระบบได้ง่าย โดยผ่านเว็บบราวเซอร์เพื่อดูข้อมูลต่างๆ ของระบบและใช้งานในการควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ภายในบ้าน

3.1.5 ส่วนรีโมทอินฟราเรด

ส่วนรีโมทอินฟราเรดประกอบไปด้วยอุปกรณ์ส่งสัญญาณอินฟราเรด (Infrared Sender) อุปกรณ์รับสัญญาณอินฟราเรด (Infrared Receiver) อุปกรณ์ประมวลผล Arduino และอุปกรณ์ส่งสัญญาณซิกบี ส่วนรีโมทอินฟราเรดทำหน้าที่ส่งสัญญาณอินฟราเรดเพื่อส่งไปควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าที่รับสัญญาณอินฟราเรดได้หรือทำหน้าที่เหมือนเป็นรีโมทคอนโทรลที่เราใช้ในการควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าอยู่ในปัจจุบันและทำหน้าที่รับสัญญาณอินฟราเรดของรีโมทคอนโทรลที่มีใช้อยู่ภายในบ้านนำมาเลียนแบบเพื่อใช้ในการส่งไปควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดนั้นๆ ส่วนรีโมทอินฟราเรดจะทำงานเมื่อได้รับข้อมูลจากส่วนการประมวลผลผ่านเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายซิกบี

3.2 การออกแบบการทำงานของระบบ

ต้นแบบระบบควบคุมการทำงานเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านแบบอัตโนมัติแบ่งส่วนการทำงานออกเป็น 3 ส่วนหลักๆ คือ โปรแกรมประมวลผลเซ็นเซอร์ (Sensor Processing Programs), เว็บเซิร์ฟเวอร์ (Web Server) และโปรแกรมประมวลผลการควบคุม (Control Processing Programs) ดังแสดงในรูปที่ 3-2



รูปที่ 3-2 ไดอะแกรมการทำงานของระบบ

3.2.1 โปรแกรมประมวลผลเซ็นเซอร์

โปรแกรมประมวลผลเซ็นเซอร์ (Sensor Processing Programs) คือโปรแกรมที่ประมวลผลข้อมูลจากส่วนเซ็นเซอร์และส่วนควบคุม โปรแกรมประมวลผลเซ็นเซอร์จะเริ่มประมวลผลข้อมูลเมื่อมีข้อมูลเข้ามาทางเกตเวย์ซิกบี (Gateway ZigBee) กล่าวคือข้อมูลที่จะเข้ามาทางเกตเวย์ซิกบีนั้นได้แก่ข้อมูลจากส่วนเซ็นเซอร์และส่วนควบคุมแล้วนำข้อมูลจากส่วนเซ็นเซอร์และส่วนควบคุมมาประมวลผล

ส่วนเซ็นเซอร์วัดค่าความสว่างของแสง อุณหภูมิและการเคลื่อนไหวทุกๆ 1 นาทีแล้วส่งข้อมูลเข้ามาที่เกตเวย์ซิกบี นอกจากนี้ส่วนเซ็นเซอร์ยังส่งข้อมูลของค่าการเคลื่อนไหวในทันทีเมื่อมีการเปลี่ยนค่า

ตัวอย่าง Packet ที่ส่วนเซ็นเซอร์วัดค่าความสว่างของแสง อุณหภูมิและการเคลื่อนไหวทุกๆ 1 นาทีแล้วส่งข้อมูลเข้ามาที่เกตเวย์ซิกบี

7E 00 16 92 00 13 A2 00 40 62 58 B0 C6 B8 02 01 00 10 06 00 00 00 E5 03 FF 90

ซึ่งสามารถอธิบายส่วนประกอบได้ดังนี้

Byte	Example	Description
0	7E	Start Byte
1	00	Length – Number of bytes (MSB LSB)
2	16	
3	92	Frame type – 0x92 indicates this will be a data sample
4	00	64-bit Source Address (Serial Number)
5	13	MSB is byte 4, LSB is byte 11
6	A2	
7	00	
8	40	
9	62	
10	58	
11	B0	
12	C6	Source Network Address – 16 Bit
13	B8	
14	02	Receive Options – 02 means Broadcast packet
15	01	Number of sample sets. Always set to 1 due to XBee limitations
16	00	Digital Channel Mask – 0x10 means Pins D4 set to Digital I/O
17	10	
18	06	Analog Channel Mask – 06 means Pins A1 and A2 set to ADC
19	00	Digital Sample Data – 0x00 means Pins D4 is “False”
20	00	(Pins D4 connect to Motion Sensor)
21	00	Analog Sample Data – 0xE2 means Pins A1 is 226
22	E2	(Pins A1 connect to Temperature Sensor)
23	00	Analog Sample Data – 0x05 means Pins A2 is 5
24	05	(Pins A2 connect to Light Sensor)
25	90	Checksum

ตัวอย่าง Packet ที่ส่วนเซ็นเซอร์ส่งข้อมูลของค่าการเคลื่อนไหวในทันทีเมื่อมีการเปลี่ยนค่า

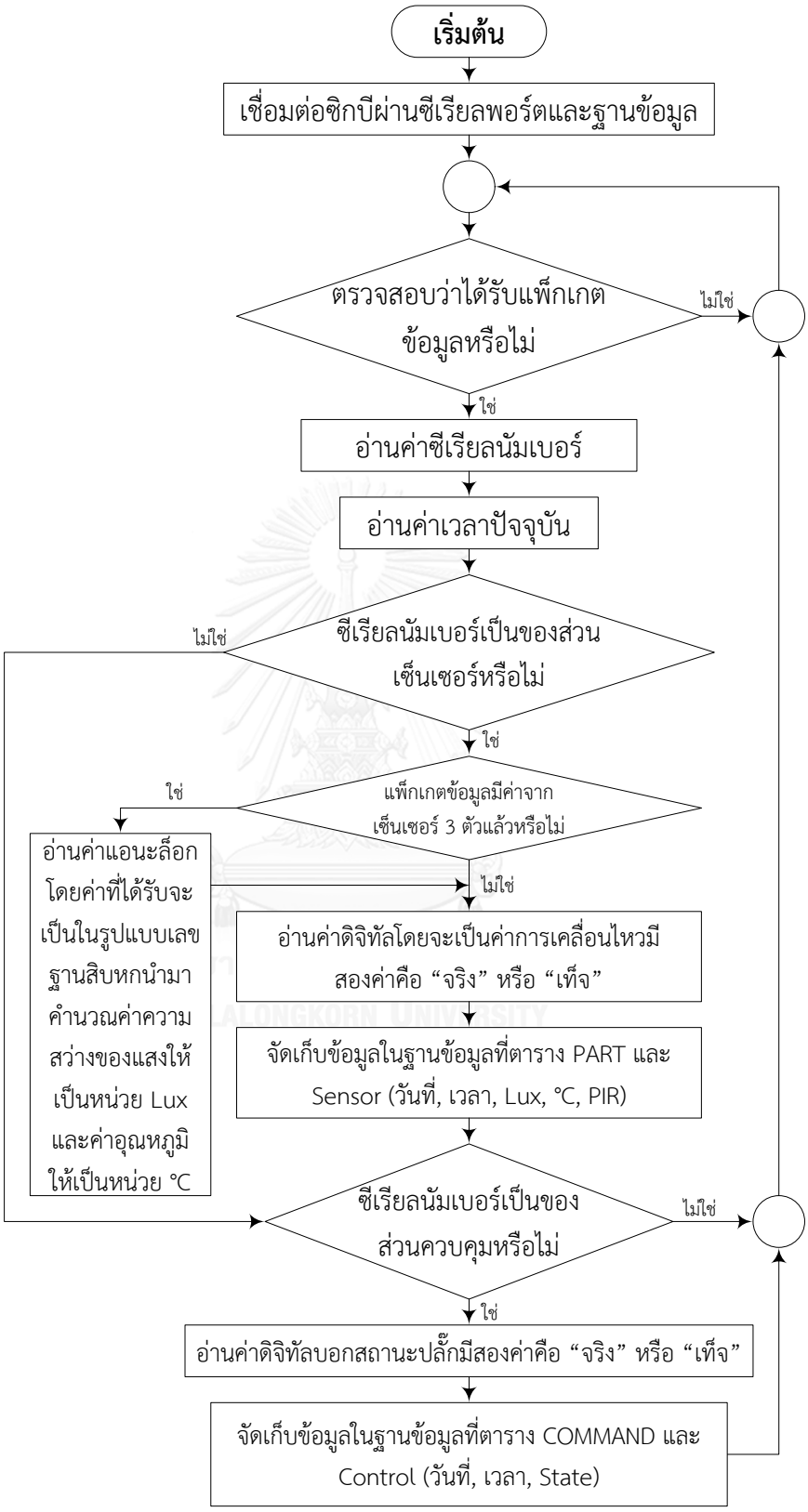
7E 00 12 92 00 13 A2 00 40 62 58 B0 C6 B8 02 01 00 10 00 00 10 6D

ซึ่งสามารถอธิบายส่วนประกอบได้ดังนี้

Byte	Example	Description
0	7E	Start Byte
1	00	Length – Number of bytes (MSB LSB)
2	12	
3	92	Frame type – 0x92 indicates this will be a data sample
4	00	64-bit Source Address (Serial Number)
5	13	MSB is byte 4, LSB is byte 11
6	A2	
7	00	
8	40	
9	62	
10	58	
11	B0	
12	C6	Source Network Address – 16 Bit
13	B8	
14	02	Receive Options – 02 means Broadcast packet
15	01	Number of sample sets. Always set to 1 due to XBee limitations
16	00	Digital Channel Mask – 0x10 means Pins D4 set to Digital I/O
17	10	
18	00	Analog Channel Mask –00 means no Pins ADC
19	00	Digital Sample Data– 0x10 means Pins D4 is “True”
20	10	(Pins D4 connect to Motion Sensor)
21	6D	Checksum

ส่วนควบคุมจะส่งข้อมูลของสถานะการทำงานในแต่ละปลั๊กทันทีเมื่อมีการเปลี่ยนสถานะ และมี Packet เหมือนส่วนเซ็นเซอร์ที่ส่งข้อมูลของค่าการเคลื่อนไหวในทันทีเมื่อมีการเปลี่ยนค่า

หลังจากที่มีข้อมูลเข้ามาทางเกตเวย์ซิกบีแล้ว โปรแกรมประมวลผลเซ็นเซอร์จะเริ่มนำข้อมูลมาประมวลผล โดยลักษณะแผนผังของโปรแกรมประมวลผลเซ็นเซอร์มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3-3 และสามารถอธิบายการทำงานได้ 5 สถานะคือ



รูปที่ 3-3 แผนผังของโปรแกรมประมวลผลเซ็นเซอร์

1) รับข้อมูลจากเกตเวย์ซิกบีเพื่อนำมาประมวลผลโดยเช็คว่าข้อมูลที่ได้รับมีซีเรียลนัมเบอร์เป็นของส่วนเซ็นเซอร์หรือส่วนควบคุม

2) ถ้าซีเรียลนัมเบอร์เป็นของส่วนเซ็นเซอร์จะเช็คอีกว่าข้อมูลที่ได้รับมีค่าแอนะล็อกที่บอกค่าความสว่างของแสงและค่าอุณหภูมิหรือไม่ โดยค่าแอนะล็อกที่ได้รับจะเป็นในรูปแบบเลขฐานสิบหกแล้วคำนวณค่าความสว่างของแสง (LIGHT) ให้เป็นหน่วย Lux และค่าอุณหภูมิ (TEMP) ให้เป็นหน่วย °C ค่าดิจิทัลที่ได้รับจะเป็นค่าการเคลื่อนไหว (PIR) มีสองค่าคือ “จริง” (True) หรือ “เท็จ” (False)

3) เมื่อโปรแกรมประมวลผลเซ็นเซอร์ประมวลผลและคำนวณเสร็จแล้วจะส่งข้อมูลไปจัดเก็บในฐานข้อมูล (Database) ที่ตาราง (Table) PART และ Sensor ข้อมูลที่จัดเก็บประกอบไปด้วย วันที่, เวลา, ค่าความสว่างของแสงหน่วย lux, ค่าอุณหภูมิหน่วย °C และค่าการเคลื่อนไหว (PIR) ดังแสดงในรูปที่ 3-4

DATE	TIME	LIGHT	TEMP	PIR
12-12-2013	20:25:11	26	26.25	False
12-12-2013	20:25:20	26	26.25	True
12-12-2013	20:25:25	26	26.3672	True
12-12-2013	20:25:26	26	26.3672	False

รูปที่ 3-4 ข้อมูลจากเซ็นเซอร์ที่เก็บในฐานข้อมูล

4) ถ้าซีเรียลนัมเบอร์เป็นของส่วนควบคุมจะเช็คข้อมูลค่าดิจิทัลบอกสถานะการทำงานของปลั๊ก โดยมีสองค่าคือ “จริง” หรือ “เท็จ” แสดงถึงปลั๊กนั้นๆ เปิดหรือปิดอยู่

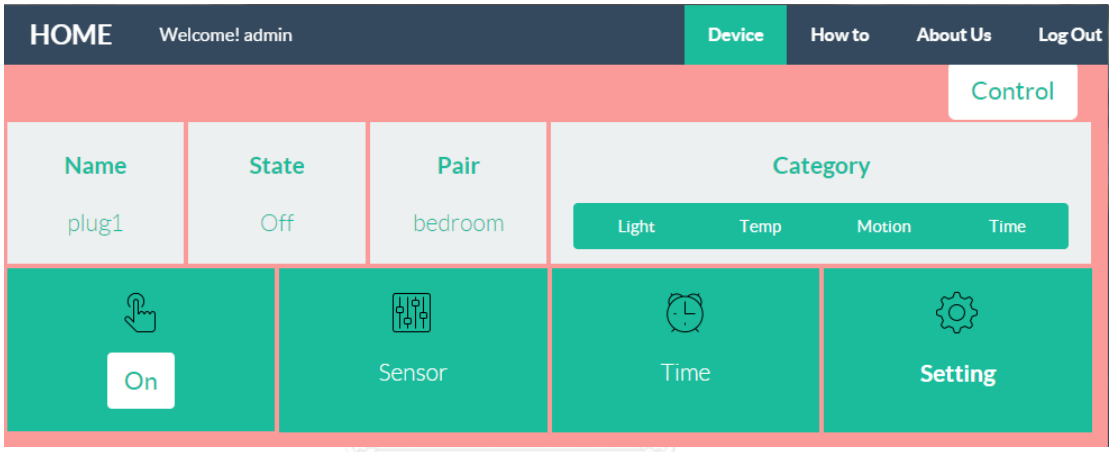
5) เมื่อโปรแกรมประมวลผลเซ็นเซอร์ประมวลผลและคำนวณเสร็จแล้วจะส่งข้อมูลไปจัดเก็บในฐานข้อมูลที่ตาราง COMMAND และ Control ข้อมูลที่จัดเก็บประกอบไปด้วย วันที่, เวลา, สถานะการทำงานของแต่ละปลั๊กดังแสดงในรูปที่ 3-5

DATE	TIME	STATE_D0	STATE_D1	STATE_D2	STATE_D3
2014-10-25	16:06:27	False	True	False	False
2014-10-25	18:27:42	False	False	False	False
2014-10-25	19:11:51	False	True	False	False
2014-10-25	19:11:55	False	False	False	False

รูปที่ 3-5 ข้อมูลสถานะการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าที่เก็บในฐานข้อมูล

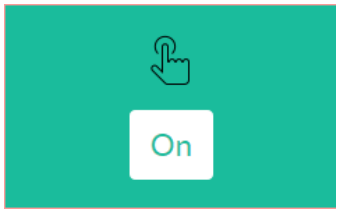
3.2.2 เว็บเซิร์ฟเวอร์

เว็บเซิร์ฟเวอร์ (Web Server) รับคำสั่งจากผู้ใช้งานที่แสดงผลผ่านเว็บบราวเซอร์ (Web Browser) มีรูปแบบให้ผู้ใช้เลือกในการควบคุมอยู่ 5 แบบคือการควบคุมด้วยตัวผู้ใช้เอง (Manual), การควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์วัดความสว่างของแสง (Automatic Control with Light Sensors), การควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ (Automatic Control with Temperature Sensors), การควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์ตรวจวัดการเคลื่อนไหว (Automatic Control with Motion Sensors) และการควบคุมอัตโนมัติด้วยเวลา (Automatic Control with Time) ดังแสดงในรูปที่ 3-6



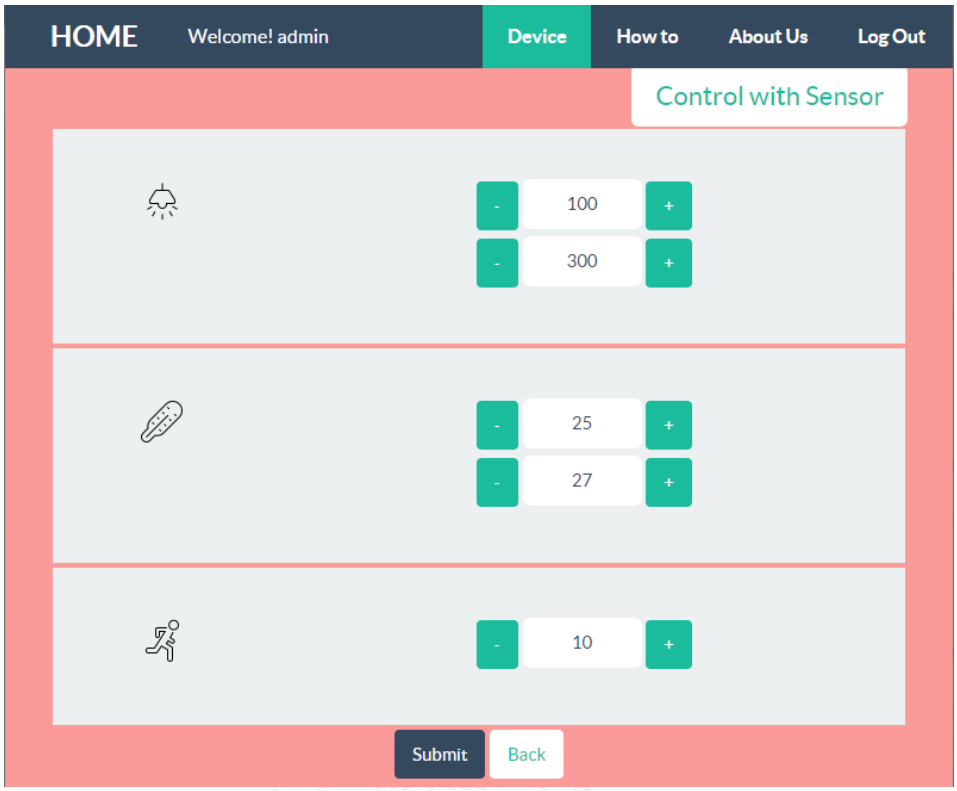
รูปที่ 3-6 หน้าเว็บบราวเซอร์ของการควบคุม

1) การควบคุมด้วยตัวผู้ใช้เอง (Manual) คือมีปุ่มสั่งงานเปิด (On) และปิด (Off) ทำให้ผู้ใช้สามารถเลือกการสั่งงานได้ด้วยตนเองตามต้องการดังแสดงในรูปที่ 3-7



รูปที่ 3-7 หน้าเว็บบราวเซอร์การควบคุมด้วยตัวผู้ใช้เอง

ผู้ใช้สามารถตั้งค่าการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์ต่างๆ จากหน้าเว็บบราวเซอร์ดังแสดงในรูปที่ 3-8



รูปที่ 3-8 หน้าเว็บบราวเซอร์การควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์ต่างๆ

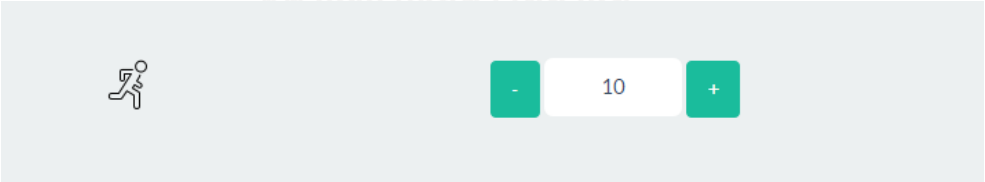
2) การควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์วัดความสว่างของแสง (Automatic Control with Light Sensors) ผู้ใช้สามารถเลือกขอบเขตความสว่างของแสงที่ต้องการให้เครื่องใช้ไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าเปิดหรือปิดได้ เช่นดังแสดงในรูปที่ 3-9 ถ้าค่าความสว่างของแสงน้อยกว่า 100 lux จะสั่งงานให้เครื่องใช้ไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าเปิดและถ้ามีค่าความสว่างของแสงมากกว่า 300 lux จะสั่งงานให้เครื่องใช้ไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าปิด

รูปที่ 3-9 การควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์วัดความสว่างของแสง

3) การควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ (Automatic Control with Temperature Sensors) ผู้ใช้สามารถเลือกขอบเขตอุณหภูมิสูง-ต่ำที่ต้องการให้เครื่องใช้ไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าเปิดหรือปิดได้ เช่นดังแสดงในรูปที่ 3-10 ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 25 °C จะสั่งงานให้เครื่องใช้ไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าปิดและถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 27 °C จะสั่งงานให้เครื่องใช้ไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าเปิด

รูปที่ 3-10 การควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ

4) การควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์ตรวจวัดการเคลื่อนไหว (Automatic Control with Motion Sensors) ผู้ใช้สามารถเลือกระยะเวลาของการเปิดปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าได้ ระบบสามารถตั้งระยะเวลาอยู่ในช่วง 0 ถึง 60 นาที เช่นดังแสดงในรูปที่ 3-11 เมื่อเซ็นเซอร์ตรวจวัดการเคลื่อนไหวได้จะสั่งงานให้เครื่องใช้ไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าเปิดและหลังจากการเคลื่อนไหวครั้งสุดท้ายที่เซ็นเซอร์ตรวจวัดการเคลื่อนไหวได้ภายใน 10 นาทีจะสั่งงานให้เครื่องใช้ไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าปิด



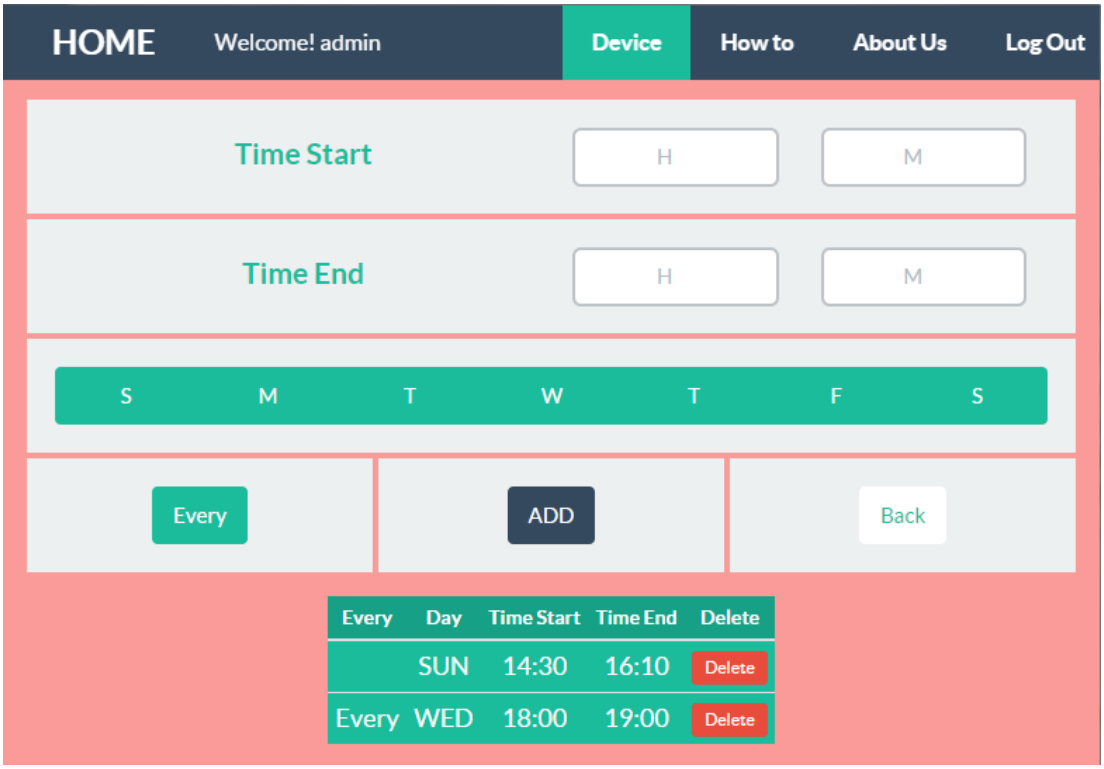
รูปที่ 3-11 การควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์ตรวจวัดการเคลื่อนไหว

เมื่อผู้ใช้ตั้งค่าการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์ต่างๆ เสร็จแล้ว เว็บเซิร์ฟเวอร์จะส่งข้อมูลไปเก็บที่ฐานข้อมูล ดังเช่นแสดงในรูปที่ 3-12

CH_LUX	CH_LUXh	CH_PIR	CH_TEMP	CH_TEMPh
100	300	10	25	27

รูปที่ 3-12 ข้อมูลคำสั่งที่เก็บในฐานข้อมูลของการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์ต่างๆ

5) การควบคุมอัตโนมัติด้วยเวลา (Automatic Control with Time) ผู้ใช้สามารถเลือกช่วงเวลาของการเปิดปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าได้ ตั้งเวลาเปิดปิดแบบทำงานแค่วันเดียว ตั้งเวลาเปิดปิดแบบทำงานเหมือนกันทุกวันนั้นๆ ดังเช่นแสดงในรูปที่ 3-13 มีการตั้งเวลาเปิดปิดแบบทำงานแค่วันเดียวในวันอาทิตย์เวลาเปิด 14:30 น. เวลาปิด 16:10 น. และมีการตั้งเวลาเปิดปิดแบบทำงานเหมือนกันทุกวันพุธเวลาเปิด 18:00 น. เวลาปิด 19:00 น.



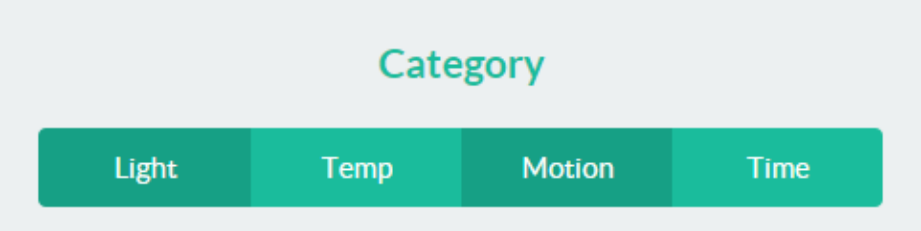
รูปที่ 3-13 หน้าเว็บบราวเซอร์การควบคุมอัตโนมัติด้วยเวลา

เมื่อผู้ใช้ตั้งเวลาเปิดปิดของการควบคุมอัตโนมัติด้วยเวลาเสร็จแล้ว เว็บเซิร์ฟเวอร์จะส่งข้อมูลไปเก็บที่ฐานข้อมูล ดังเช่นแสดงในรูปที่ 3-14

Every	Day	Time_H_S	Time_M_S	Time_H_E	Time_M_E
1	4_W	18	0	19	0
0	1_S	14	30	16	10

รูปที่ 3-14 ข้อมูลคำสั่งที่เก็บในฐานข้อมูลของการควบคุมอัตโนมัติด้วยเวลา

การควบคุมอัตโนมัติทั้ง 4 แบบกล่าวคือการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์วัดความสว่างของแสง, การควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ, การควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์ตรวจวัดการเคลื่อนไหวและการควบคุมอัตโนมัติด้วยเวลา สามารถทำงานร่วมกันได้ในการควบคุมครั้งเดียวกัน ดังเช่นแสดงในรูปที่ 3-15



รูปที่ 3-15 การเลือกการควบคุมอัตโนมัติให้ทำงานร่วมกัน

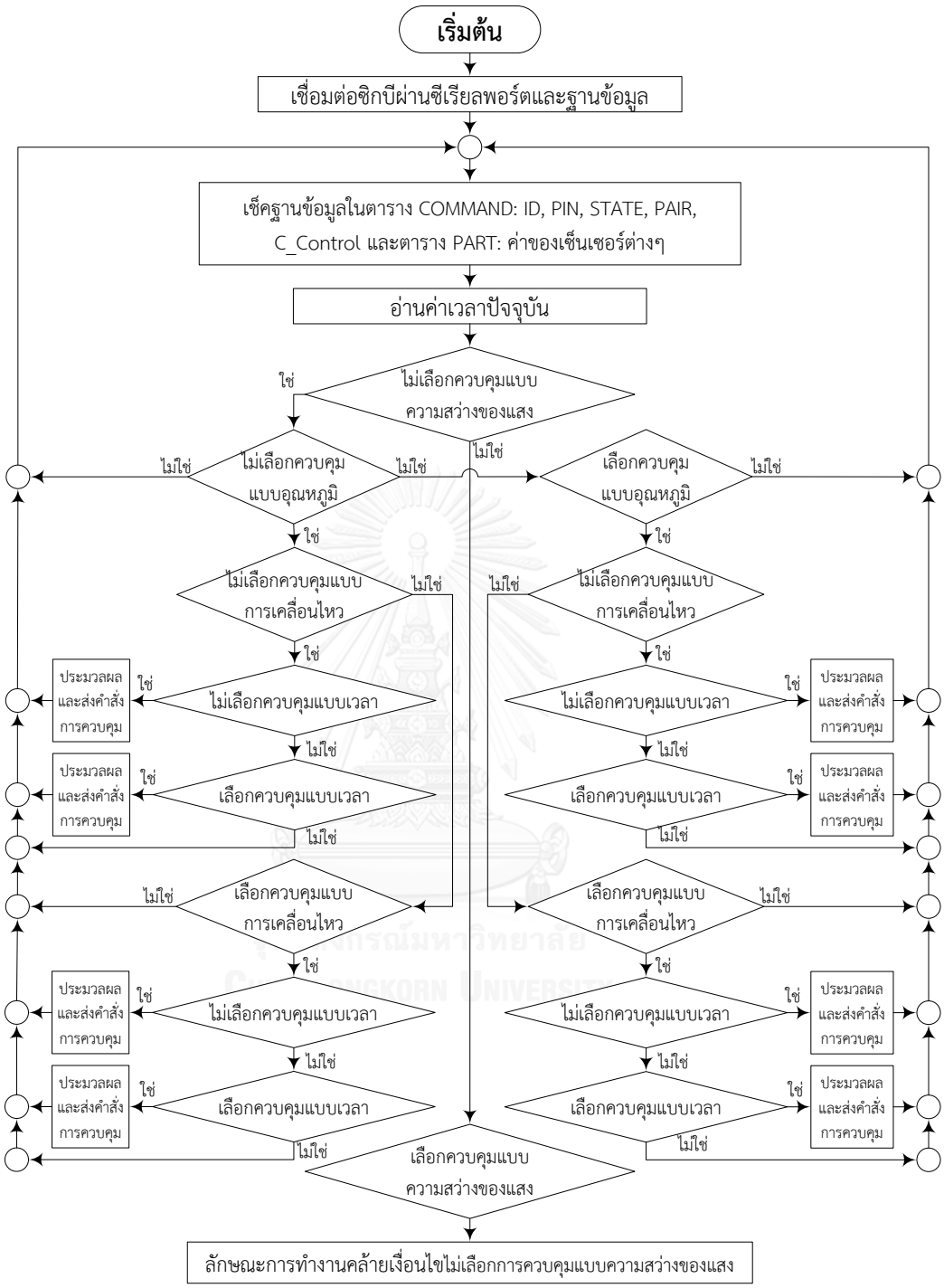
มีการเลือกการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์วัดความสว่างของแสงและการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์ตรวจวัดการเคลื่อนไหวให้ทำงานร่วมกันและเว็บเซิร์ฟเวอร์จะส่งข้อมูลไปเก็บที่ฐานข้อมูล ดังเช่นแสดงในรูปที่ 3-16

C_Light	C_Temp	C_Motion	C_Time
1	0	1	0

รูปที่ 3-16 ข้อมูลคำสั่งที่เก็บในฐานข้อมูลของการควบคุมอัตโนมัติให้ทำงานร่วมกัน

3.2.3 โปรแกรมประมวลผลการควบคุม

โปรแกรมประมวลผลการควบคุม (Control Processing Programs) คือโปรแกรมที่ประมวลผลคำสั่งที่เว็บเซิร์ฟเวอร์นำข้อมูลไปเก็บที่ฐานข้อมูลและนำข้อมูลจากฐานข้อมูลของโปรแกรมประมวลผลเซ็นเซอร์มาใช้ตัดสินใจในการประมวลผลแล้วส่งคำสั่งไปทางเกตเวย์ซิกบีให้ส่วนควบคุมและส่วนรีโมทอินฟราเรด โดยลักษณะแผนผังของโปรแกรมประมวลผลการควบคุมมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3-17 และสามารถอธิบายการทำงานได้ 5 สถานะคือ



รูปที่ 3-17 แผนผังของโปรแกรมประมวลผลการควบคุม

1) เช็คจำนวนปลั๊กของอุปกรณ์ส่วนควบคุมที่โปรแกรมประมวลผลเซ็นเซอร์รับข้อมูลเข้าไปเก็บที่ฐานข้อมูลในตาราง COMMAND ที่ช่อง ID และ PIN

2) เช็คชื่ออุปกรณ์เซ็นเซอร์ที่จะนำค่ามาใช้ในการควบคุมและเช็คคำสั่งการควบคุมการทำงานจากการที่เว็บเซิร์ฟเวอร์นำข้อมูลไปเก็บที่ฐานข้อมูลในตาราง COMMAND ที่ช่อง PAIR, C_Light, C_Temp, C_Motion และ C_Time ดังรูปที่ 3-18

ID_Device	NAME	PAIR	ID	PIN	STATE	C_Light	C_Temp	C_Motion	C_Time
1	plug1	bedroom	0013A20040796733	D1	False	0	0	0	0
2	floor3	bedroom	0013A20040796733	D2	False	0	0	0	0
3	CCCC	bedroom	0013A20040796733	D3	False	0	0	0	0
4	DDD	bedroom	0013A20040796733	D0	False	0	0	0	1
5	test_remote	bedroom	0013A200406258B0	D1	False	1	0	1	0

รูปที่ 3-18 ข้อมูลชื่ออุปกรณ์เซ็นเซอร์และคำสั่งการควบคุมการทำงานที่เก็บในฐานข้อมูล

3) เช็คค่าของเซ็นเซอร์ต่างๆ ที่โปรแกรมประมวลผลเซ็นเซอร์รับข้อมูลเข้าไปเก็บที่ฐานข้อมูลในตาราง PART ตามชื่ออุปกรณ์เซ็นเซอร์ที่เช็คในข้อ 2) ดังรูปที่ 3-19

NAME	SERIAL_N	DATE	TIME	LIGHT	TEMP	PIR
bedroom	0013A2004070F6F4	2014-10-28	12:34:11	33.8415	28.8125	True
outside	0013A2004070F6F6	31-05-2014	11:11:11	0	0	

รูปที่ 3-19 ข้อมูลค่าของเซ็นเซอร์ต่างๆ ที่เก็บในฐานข้อมูล

4) นำคำสั่งการควบคุมกับข้อมูลค่าของเซ็นเซอร์ต่างๆ เข้าไปเช็คเงื่อนไขตามคำสั่งการควบคุมที่ได้เลือกให้ทำงาน เช่น ช่อง ID_Device เท่ากับ 4 มี C_Light เท่ากับ 0, C_Temp เท่ากับ 0, C_Motion เท่ากับ 0 และ C_Time เท่ากับ 1 หมายถึงมีการควบคุมแบบการควบคุมอัตโนมัติด้วยเวลา

5) เมื่อเช็คแล้วเข้าเงื่อนไขที่สั่งให้เครื่องใช้ไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าเปิดหรือปิดจะส่งคำสั่งไปทางเกตเวย์ผ่านสัญญาณซิกบี สั่งให้ส่วนควบคุมหรือส่วนรีโมทอินฟราเรดทำงานตามคำสั่ง

3.3 รูปแบบและเงื่อนไขของการควบคุมอัตโนมัติ

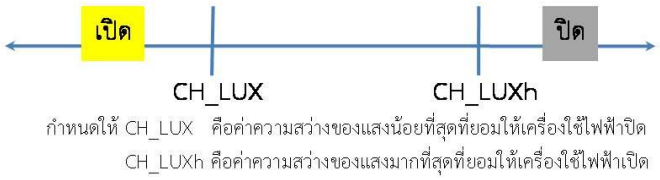
การควบคุมอัตโนมัติมี 4 แบบหลักๆ กล่าวคือการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์วัดความสว่างของแสง, การควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ, การควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์ตรวจวัดการเคลื่อนไหวและการควบคุมอัตโนมัติด้วยเวลา แต่ออกแบบระบบให้การควบคุมอัตโนมัติแบบหลักต่างๆ สามารถทำงานร่วมกันได้ในการควบคุมครั้งเดียวกัน โดยในการประมวลผลจะผสมเงื่อนไขของการควบคุมอัตโนมัติแบบหลักต่างๆ เข้าด้วยกัน ทำให้เกิดรูปแบบการควบคุมอัตโนมัติจาก 4 แบบเพิ่มเป็น 16 รูปแบบและเกิดเป็นเงื่อนไขในการตัดสินใจ 67 เงื่อนไข

โดยผู้ใช้สามารถเลือกการควบคุมอัตโนมัติได้เองว่าอยากให้ปลั๊กนั้นๆ มีการควบคุมแบบไหนจากการคลิ๊กเลือกรูปแบบการควบคุมที่หน้าเว็บบราวเซอร์ของการควบคุมดังรูปที่ 3-20 และการควบคุมอัตโนมัติมี 4 แบบหลักๆ มีเงื่อนไขในการสั่งงานดังนี้

รูปที่ 3-20 หน้าเว็บบราวเซอร์ของการควบคุมที่บอกตำแหน่งเลือกรูปแบบการควบคุมอัตโนมัติ

3.3.1 เงื่อนไขของการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์วัดความสว่างของแสง

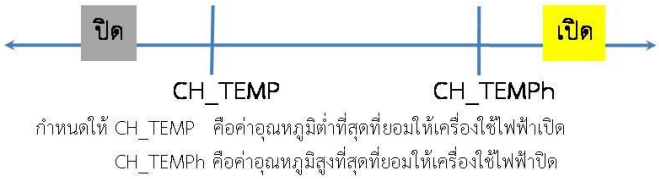
ข้อมูลที่ใช้ในการตัดสินใจคือค่าความสว่างของแสงปัจจุบัน, ค่าความสว่างของแสงน้อยที่สุดที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าปิดและค่าความสว่างของแสงมากที่สุดที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าเปิด โดยมีการตัดสินใจคือ (รูปที่ 3-21) ถ้าค่าความสว่างของแสงปัจจุบันน้อยกว่าค่าความสว่างของแสงน้อยที่สุดที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าปิด โปรแกรมประมวลผลการควบคุมจะสั่งให้ปลั๊กนั้น “เปิด” และถ้าค่าความสว่างของแสงเวลาปัจจุบันมากกว่าค่าความสว่างของแสงมากที่สุดที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าเปิด โปรแกรมประมวลผลการควบคุมจะสั่งให้ปลั๊กนั้น “ปิด”



รูปที่ 3-21 เงื่อนไขของการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์วัดความสว่างของแสง

3.3.2 เงื่อนไขของการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ

ข้อมูลที่ใช้ในการตัดสินใจคือค่าอุณหภูมิปัจจุบัน, ค่าอุณหภูมิต่ำที่สุดที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าเปิดและค่าอุณหภูมิสูงที่สุดที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าปิด โดยมีการตัดสินใจคือ (รูปที่ 3-22) ถ้าค่าอุณหภูมิปัจจุบันน้อยกว่าค่าอุณหภูมิต่ำที่สุดที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าเปิด โปรแกรมประมวลผลการควบคุมจะสั่งให้ปลั๊กนั้น “ปิด” และถ้าค่าอุณหภูมิปัจจุบันมากกว่าค่าอุณหภูมิสูงที่สุดที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าปิด โปรแกรมประมวลผลการควบคุมจะสั่งให้ปลั๊กนั้น “เปิด”



รูปที่ 3-22 เงื่อนไขของการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ

3.3.3 เงื่อนไขของการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์ตรวจวัดการเคลื่อนไหว

ข้อมูลที่ใช้ในการตัดสินใจคือค่าการเคลื่อนไหวปัจจุบันและค่ากำหนดช่วงเวลาที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าเปิดสามารถเลือกได้ตั้งแต่ 0-60 นาที โดยมีการตัดสินใจคือถ้าครั้งล่าสุดมีการเคลื่อนไหวจะนำเวลาปัจจุบันบวกกับค่ากำหนดช่วงเวลาที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าเปิดเป็นค่าเวลาที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าเปิดและโปรแกรมประมวลผลการควบคุมจะสั่งให้ปลั๊กนั้น “เปิด” และถ้าครั้งล่าสุดไม่มีการเคลื่อนไหวและเลยค่าเวลาที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าเปิด โปรแกรมประมวลผลการควบคุมจะสั่งให้ปลั๊กนั้น “ปิด”

3.3.4 เงื่อนไขของการควบคุมอัตโนมัติด้วยเวลา

ข้อมูลที่ใช้ในการตัดสินใจคือค่าเวลาปัจจุบัน, ค่าเวลาที่ต้องการให้เครื่องใช้ไฟฟ้าเปิดและค่าเวลาที่ต้องการให้เครื่องใช้ไฟฟ้าปิด โดยมีการตัดสินใจคือถ้าเวลาปัจจุบันเท่ากับเวลาที่ต้องการให้เครื่องใช้ไฟฟ้าเปิด โปรแกรมประมวลผลการควบคุมจะสั่งให้ปลั๊กนั้น “เปิด” และถ้าเวลาปัจจุบันเท่ากับเวลาที่ต้องการให้เครื่องใช้ไฟฟ้าปิด โปรแกรมประมวลผลการควบคุมจะสั่งให้ปลั๊กนั้น “ปิด”

ในการออกแบบระบบให้การควบคุมอัตโนมัติแบบหลักต่างๆ สามารถทำงานร่วมกันได้ในการควบคุมครั้งเดียวกันทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการควบคุมมากขึ้น ตัวอย่างเช่น ผู้ใช้เลือกการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์ตรวจวัดการเคลื่อนไหว ภายในห้องนั้นถ้ามีอุณหภูมิสูงแต่ไม่มีการเคลื่อนไหวระบบก็จะยังไม่สั่งงานให้เปิดพัดลมหรือเครื่องปรับอากาศ โดยรูปแบบและการตัดสินใจสั่งงานตามเงื่อนไขที่เป็นไปตามตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 เงื่อนไขในการตัดสินใจของการควบคุมอัตโนมัติ

Light	Temp	Motion	Time	คำสั่ง
ไม่เลือก	ไม่เลือก	ไม่เลือก	ไม่เลือก	-
			เลือก : ไม่อยู่ในช่วงเวลา	ปิด
			เลือก : อยู่ในช่วงเวลา	เปิด
		เลือก : ไม่เคลื่อนไหว	ไม่เลือก และ เลือก	ปิด
		เลือก : เคลื่อนไหว	ไม่เลือก	เปิด
			เลือก : ไม่อยู่ในช่วงเวลา	ปิด
			เลือก : อยู่ในช่วงเวลา	เปิด
	เลือก : อุณหภูมิต่ำ	ไม่เลือก และ เลือก	ไม่เลือก และ เลือก	ปิด
	เลือก : ช่วงอุณหภูมิต่ำสูง	ไม่เลือก	ไม่เลือก	-
			เลือก : ไม่อยู่ในช่วงเวลา	ปิด
			เลือก : อยู่ในช่วงเวลา	-
		เลือก : ไม่เคลื่อนไหว	ไม่เลือก และ เลือก	ปิด
		เลือก : เคลื่อนไหว	ไม่เลือก	-
			เลือก : ไม่อยู่ในช่วงเวลา	ปิด
			เลือก : อยู่ในช่วงเวลา	-
	เลือก : อุณหภูมิสูง	ไม่เลือก	ไม่เลือก	เปิด
			เลือก : ไม่อยู่ในช่วงเวลา	ปิด
			เลือก : อยู่ในช่วงเวลา	เปิด
		เลือก : ไม่เคลื่อนไหว	ไม่เลือก และ เลือก	ปิด
		เลือก : เคลื่อนไหว	ไม่เลือก	เปิด
			เลือก : ไม่อยู่ในช่วงเวลา	ปิด
			เลือก : อยู่ในช่วงเวลา	เปิด
เลือก : แสงมาก	ไม่เลือก และ เลือก	ไม่เลือก และ เลือก	ไม่เลือก และ เลือก	ปิด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Light	Temp	Motion	Time	คำสั่ง
เลือก : ช่วงแสงมากน้อย	ไม่เลือก	ไม่เลือก	ไม่เลือก	-
			เลือก : ไม่อยู่ในช่วงเวลา	ปิด
			เลือก : อยู่ในช่วงเวลา	-
		เลือก : ไม่เคลื่อนไหว	ไม่เลือก และ เลือก	ปิด
		เลือก : เคลื่อนไหว	ไม่เลือก	-
			เลือก : ไม่อยู่ในช่วงเวลา	ปิด
			เลือก : อยู่ในช่วงเวลา	-
	เลือก : อุณหภูมิต่ำ	ไม่เลือก และ เลือก	ไม่เลือก และ เลือก	ปิด
	เลือก : ช่วงอุณหภูมิต่ำสูง	ไม่เลือก	ไม่เลือก	-
			เลือก : ไม่อยู่ในช่วงเวลา	ปิด
			เลือก : อยู่ในช่วงเวลา	-
		เลือก : ไม่เคลื่อนไหว	ไม่เลือก และ เลือก	ปิด
		เลือก : เคลื่อนไหว	ไม่เลือก	-
			เลือก : ไม่อยู่ในช่วงเวลา	ปิด
			เลือก : อยู่ในช่วงเวลา	-
	เลือก : อุณหภูมิสูง	ไม่เลือก	ไม่เลือก	-
			เลือก : ไม่อยู่ในช่วงเวลา	ปิด
			เลือก : อยู่ในช่วงเวลา	-
		เลือก : ไม่เคลื่อนไหว	ไม่เลือก และ เลือก	ปิด
		เลือก : เคลื่อนไหว	ไม่เลือก	-
			เลือก : ไม่อยู่ในช่วงเวลา	ปิด
			เลือก : อยู่ในช่วงเวลา	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Light	Temp	Motion	Time	คำสั่ง
เลือก : แสงน้อย	ไม่เลือก	ไม่เลือก	ไม่เลือก	เปิด
			เลือก : ไม่อยู่ในช่วงเวลา	ปิด
			เลือก : อยู่ในช่วงเวลา	เปิด
		เลือก : ไม่เคลื่อนไหว	ไม่เลือก และ เลือก	ปิด
		เลือก : เคลื่อนไหว	ไม่เลือก	เปิด
			เลือก : ไม่อยู่ในช่วงเวลา	ปิด
			เลือก : อยู่ในช่วงเวลา	เปิด
	เลือก : อุณหภูมิต่ำ	ไม่เลือก และ เลือก	ไม่เลือก และ เลือก	ปิด
	เลือก : ช่วงอุณหภูมิต่ำสูง	ไม่เลือก	ไม่เลือก	-
			เลือก : ไม่อยู่ในช่วงเวลา	ปิด
			เลือก : อยู่ในช่วงเวลา	-
		เลือก : ไม่เคลื่อนไหว	ไม่เลือก และ เลือก	ปิด
		เลือก : เคลื่อนไหว	ไม่เลือก	-
			เลือก : ไม่อยู่ในช่วงเวลา	ปิด
			เลือก : อยู่ในช่วงเวลา	-
	เลือก : อุณหภูมิสูง	ไม่เลือก	ไม่เลือก	เปิด
			เลือก : ไม่อยู่ในช่วงเวลา	ปิด
			เลือก : อยู่ในช่วงเวลา	เปิด
		เลือก : ไม่เคลื่อนไหว	ไม่เลือก และ เลือก	ปิด
		เลือก : เคลื่อนไหว	ไม่เลือก	เปิด
			เลือก : ไม่อยู่ในช่วงเวลา	ปิด
			เลือก : อยู่ในช่วงเวลา	เปิด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

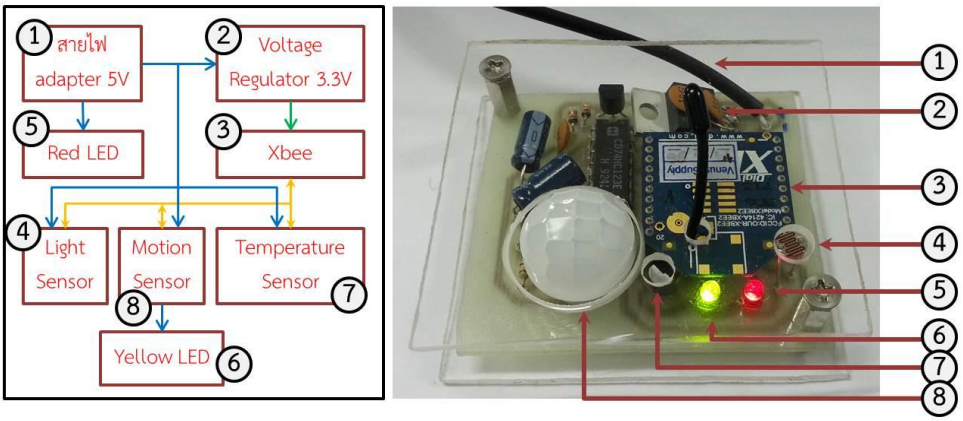
บทที่ 4
การสร้างและพัฒนาระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ

4.1 การสร้างและพัฒนาส่วนเซ็นเซอร์

จากแนวคิดของเซ็นเซอร์ที่กล่าวในบทที่ 2 และการออกแบบการทำงานของส่วนเซ็นเซอร์ที่กล่าวในบทที่ 3 สามารถนำข้อมูลเหล่านั้นมาสร้างและพัฒนาอุปกรณ์ส่วนเซ็นเซอร์ให้สามารถใช้งานได้จริงดังรูปที่ 4-1 ได้นำวงจรเซ็นเซอร์ต่างๆ ต่อเข้ากับอุปกรณ์ XBee เพื่อทำให้ส่วนเซ็นเซอร์สามารถส่งข้อมูลได้ยังส่วนการประมวลผลได้มีโครงสร้างภายในอุปกรณ์ส่วนเซ็นเซอร์ดังรูปที่ 4-2

CHULALONGKORN UNIVERSITY

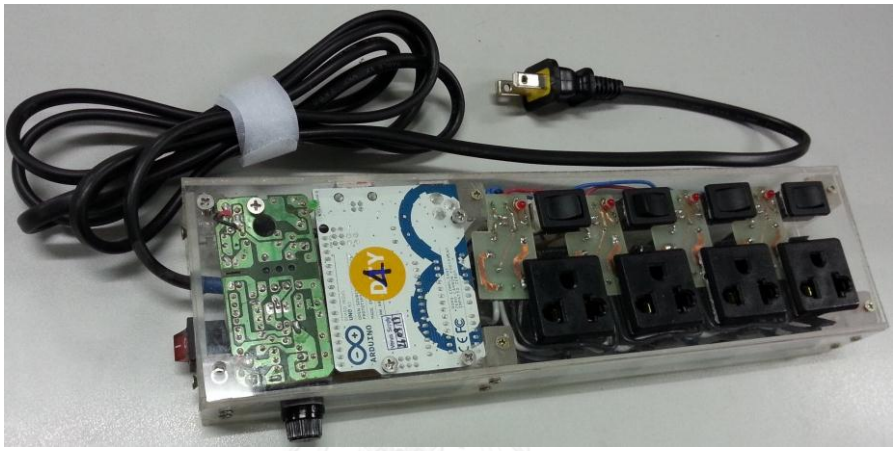
รูปที่ 4-1 อุปกรณ์ส่วนเซ็นเซอร์



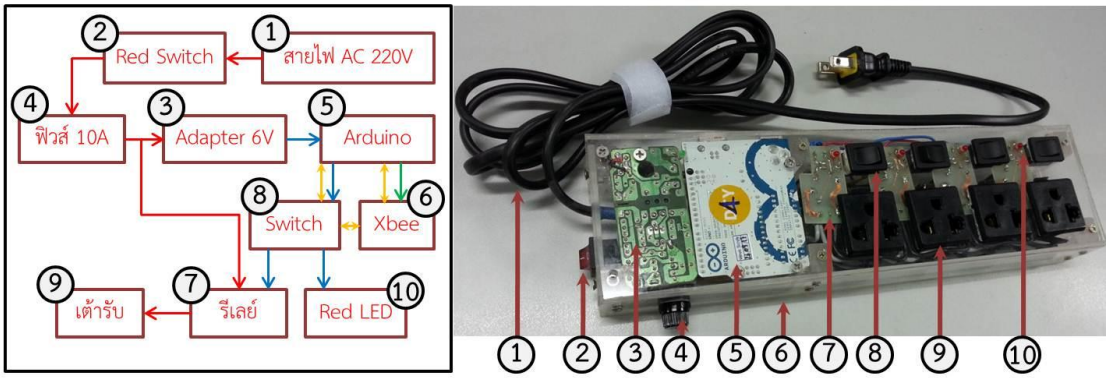
รูปที่ 4-2 โครงสร้างภายในอุปกรณ์ส่วนเซ็นเซอร์

4.2 การสร้างและพัฒนาส่วนควบคุม

จากแนวคิดของการควบคุมที่กล่าวในบทที่ 2 และการออกแบบการทำงานของส่วนควบคุมที่กล่าวในบทที่ 3 สามารถนำข้อมูลเหล่านั้นมาสร้างและพัฒนาอุปกรณ์ส่วนควบคุมให้สามารถใช้งานได้จริงดังรูปที่ 4-3 ได้นำอุปกรณ์ Arduino ต่อเข้ากับสวิตช์และอุปกรณ์ XBee เพื่อรับข้อมูลมาประมวลผลและสั่งงานไปยังรีเลย์ให้ทำงานและเมื่อสถานะของสวิตช์เปลี่ยนไปอุปกรณ์ XBee ส่งข้อมูลได้ยังส่วนการประมวลผลได้มีโครงสร้างภายในอุปกรณ์ส่วนควบคุมดังรูปที่ 4-4



รูปที่ 4-3 อุปกรณ์ส่วนควบคุม

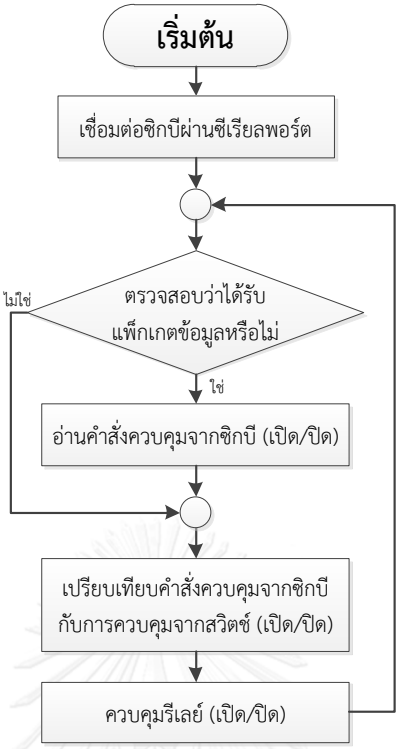


รูปที่ 4-4 โครงสร้างภายในอุปกรณ์ส่วนควบคุม

ลักษณะแผนผังโปรแกรมประมวลผลส่วนควบคุมมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4-5 โดยสามารถอธิบายการทำงานได้ 2 สถานะคือ

1) ตรวจสอบการรับคำสั่งจากซิกบีและอ่านคำสั่งควบคุมจากซิกบีว่าให้ปลั๊กเปิดหรือปิด

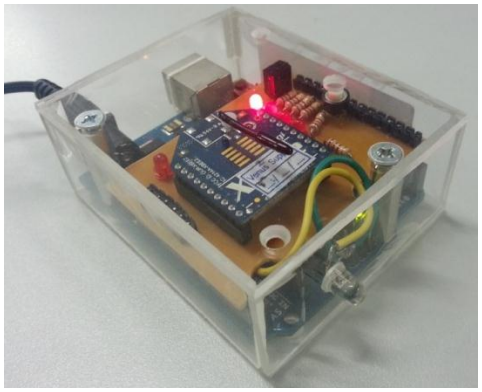
2) เปรียบเทียบคำสั่งควบคุมจากซิกบีกับการควบคุมจากสวิตช์และส่งคำสั่งควบคุมรีเลย์



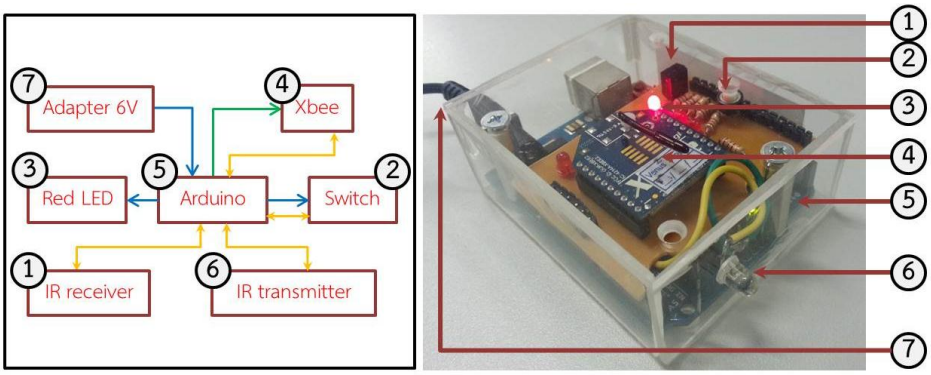
รูปที่ 4-5 แผนผังโปรแกรมประมวลผลส่วนควบคุม

4.3 การสร้างและพัฒนาส่วนรีโมทอินฟราเรด

จากแนวคิดของรีโมทอินฟราเรดที่กล่าวในบทที่ 2 และการออกแบบการทำงานของส่วนรีโมทอินฟราเรดที่กล่าวในบทที่ 3 สามารถนำข้อมูลเหล่านั้นมาสร้างและพัฒนาอุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรดให้สามารถใช้งานได้จริงดังรูปที่ 4-6 ได้นำอุปกรณ์ Arduino ต่อเข้ากับตัวส่งสัญญาณรีโมทอินฟราเรด (Infrared LED), ตัวรับสัญญาณรีโมทอินฟราเรดและอุปกรณ์ XBee เพื่อรับข้อมูลจากส่วนการประมวลผลมาประมวลผลได้มีโครงสร้างภายในอุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรดดังรูปที่ 4-7



รูปที่ 4-6 อุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรด

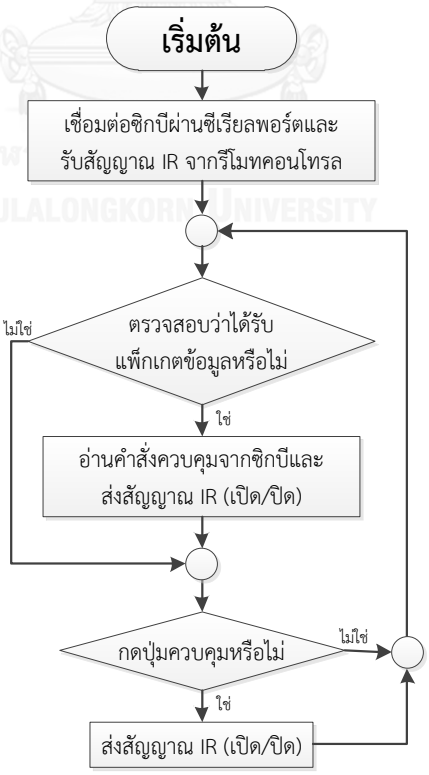


รูปที่ 4-7 โครงสร้างภายในอุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรด

ลักษณะแผนผังโปรแกรมประมวลผลส่วนควบคุมมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4-8 และสามารถอธิบายการทำงานได้ 2 สถานะคือ

1) เริ่มจากผู้ใช้ต้องนำรีโมทคอนโทรลของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต้องการควบคุมมาเลียนแบบสัญญาณอินฟราเรดโดยเริ่มกดที่ปุ่มเปิดและกดที่ปุ่มปิดตามลำดับแล้วรอรับคำสั่งการควบคุมจากซิกบี

2) อ่านคำสั่งการควบคุมจากซิกบีและส่งสัญญาณอินฟราเรดไปยังเครื่องใช้ไฟฟ้า (เปิด/ปิด) หรือผู้ใช้กดปุ่มที่อุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรดจะส่งสัญญาณอินฟราเรดไปเปิดเครื่องใช้ไฟฟ้า

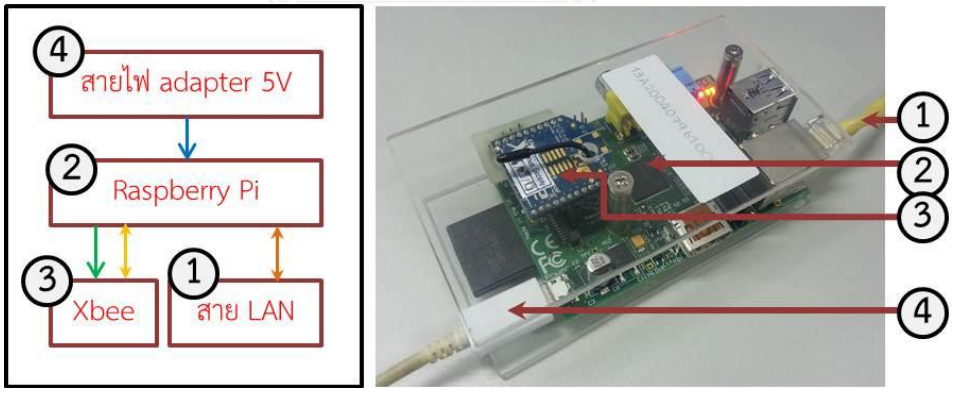


รูปที่ 4-8 แผนผังของโปรแกรมส่วนรีโมทอินฟราเรด

4.4 การสร้างและพัฒนาส่วนการประมวลผล

จากแนวคิดของอุปกรณ์ Raspberry Pi กับอุปกรณ์ XBee ที่กล่าวในบทที่ 2 และการออกแบบการทำงานของส่วนการประมวลผลที่กล่าวในบทที่ 3 สามารถนำข้อมูลเหล่านั้นมาสร้างและพัฒนาอุปกรณ์ส่วนการประมวลผลให้สามารถใช้งานได้จริงดังรูปที่ 4-9 ได้นำอุปกรณ์ Raspberry Pi ต่อเข้ากับอุปกรณ์ XBee เพื่อให้ส่วนการประมวลผลสามารถรับส่งข้อมูลได้ยังส่วนอื่นๆ ได้ โดยโครงสร้างภายในอุปกรณ์ส่วนการประมวลผลแสดงดังรูปที่ 4-10

รูปที่ 4-9 อุปกรณ์ส่วนการประมวลผล

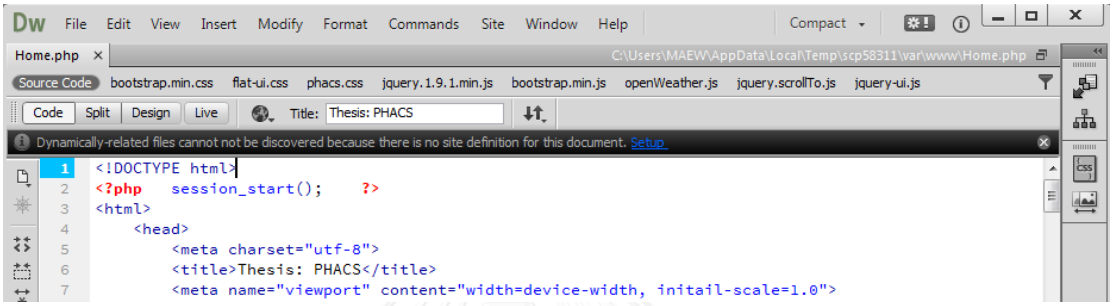


รูปที่ 4-10 โครงสร้างภายในอุปกรณ์ส่วนการประมวลผล

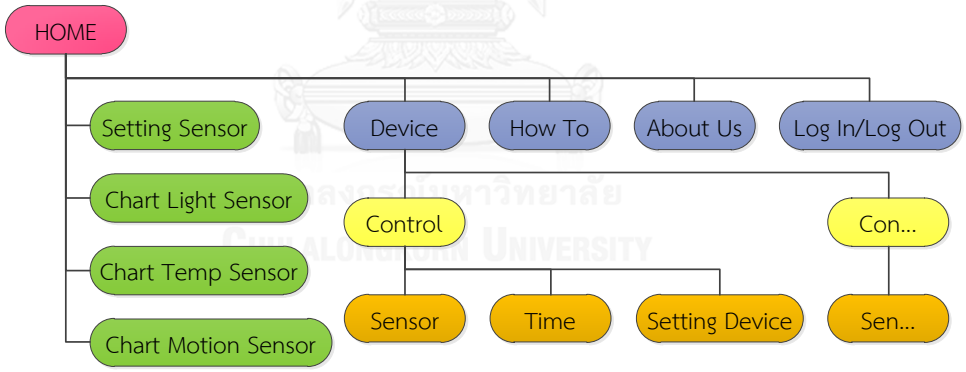
โปรแกรมที่เขียนและพัฒนาขึ้นในส่วนการประมวลผลมี 2 โปรแกรมคือโปรแกรมประมวลผลเซ็นเซอร์และโปรแกรมประมวลผลการควบคุมที่ได้อธิบายหลักการทำงานในบทที่ 3 โดยเขียนและพัฒนาบนโปรแกรม IDLE ใช้ภาษาไพทอน (Python programming language) และมีการตั้งค่าโปรแกรมที่พัฒนาให้ทำงานอัตโนมัติเมื่ออุปกรณ์ Raspberry Pi ทำงาน

4.5 การสร้างและพัฒนาเว็บเซิร์ฟเวอร์

การสร้างและพัฒนาเว็บเซิร์ฟเวอร์เพื่อที่จะแสดงสถานะการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่เสียบเข้ากับปลั๊กของอุปกรณ์ส่วนควบคุมและนำข้อมูลเข้าหรือการสั่งงานควบคุมจากผู้ใช้ โดยเขียนและพัฒนาบนโปรแกรม Adobe Dreamweaver CC 2014 ใช้ภาษา HTML (Hyper Text Markup Language), CSS (Cascading Style Sheets), PHP (Personal Home Pages) และ JavaScript ดังรูปที่ 4-11 และเว็บเซิร์ฟเวอร์ประกอบได้ด้วยหน้าเว็บต่างๆ ดังรูปที่ 4-12 ซึ่งแต่ละหน้าเว็บมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

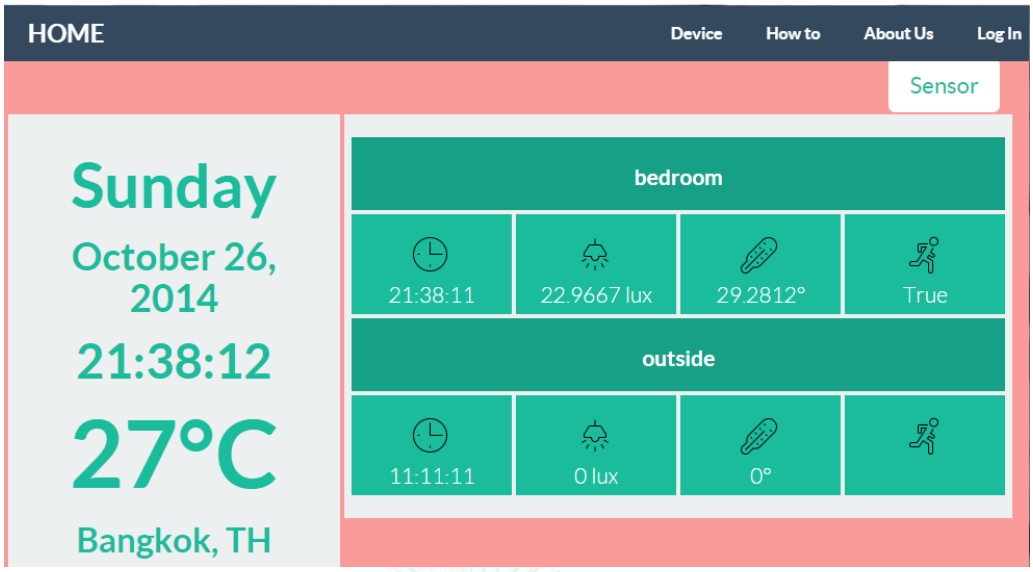


รูปที่ 4-11 การเขียนและพัฒนาเว็บเซิร์ฟเวอร์



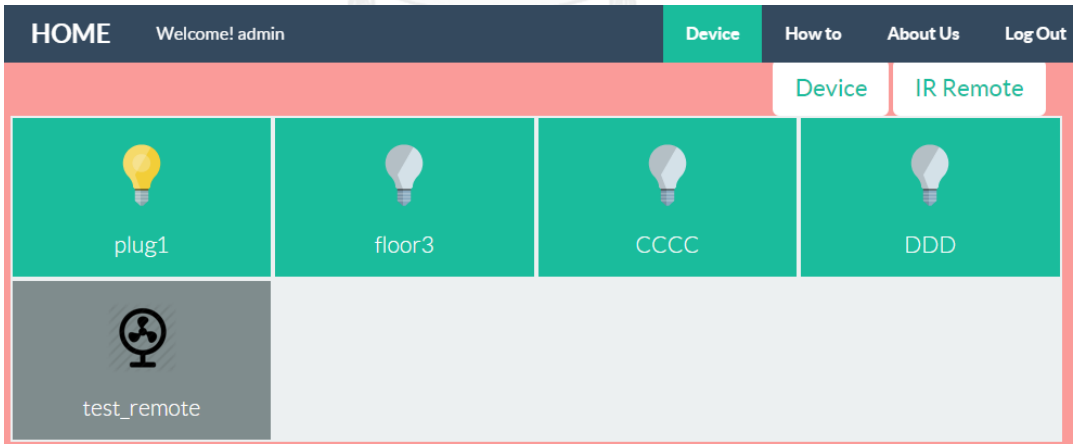
รูปที่ 4-12 แผนผังเว็บเซิร์ฟเวอร์

1) หน้า HOME เป็นหน้าแรกของเว็บเซิร์ฟเวอร์มีการแสดงวันที่, อุณหภูมิออนไลน์ของกรุงเทพ, ชื่อของอุปกรณ์ส่วนเซ็นเซอร์แต่ละตัว, บอกเวลาล่าสุดของการวัดค่าของอุปกรณ์ส่วนเซ็นเซอร์, ค่าความสว่างของแสงล่าสุด, ค่าอุณหภูมิล่าสุดและค่าการเคลื่อนไหวล่าสุด ดังแสดงในรูปที่ 4-13 ซึ่งมีการเชื่อมโยงกับหน้าเว็บต่างๆ อยู่ 2 กลุ่มคือกลุ่มบนแถบเมนูของหน้าเว็บประกอบด้วยหน้า Device, หน้า How To, หน้า About Us และหน้า Log In/Log Out กลุ่มบนหน้าเว็บประกอบด้วยหน้า Setting Sensor, หน้า Chart Light Sensor, หน้า Chart Temp Sensor และหน้า Chart Motion Sensor



รูปที่ 4-13 เว็บเซิร์ฟเวอร์หน้า HOME

2) หน้า Device เป็นหน้าเว็บแสดงสถานะการทำงานแต่ละปลั๊กของอุปกรณ์ส่วนควบคุมและแสดงรูปของชนิดเครื่องใช้ไฟฟ้าที่อุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรดควบคุมดังแสดงในรูปที่ 4-14 ซึ่งมีการเชื่อมโยงกับหน้าเว็บต่างๆ อยู่ 2 กลุ่มคือกลุ่มบนแถบเมนูของหน้าเว็บประกอบด้วยหน้า Home, หน้า How To, หน้า About Us และหน้า Log In/Log Out กลุ่มบนหน้าเว็บประกอบด้วยหน้า Control แต่ละปลั๊กของอุปกรณ์ส่วนควบคุม



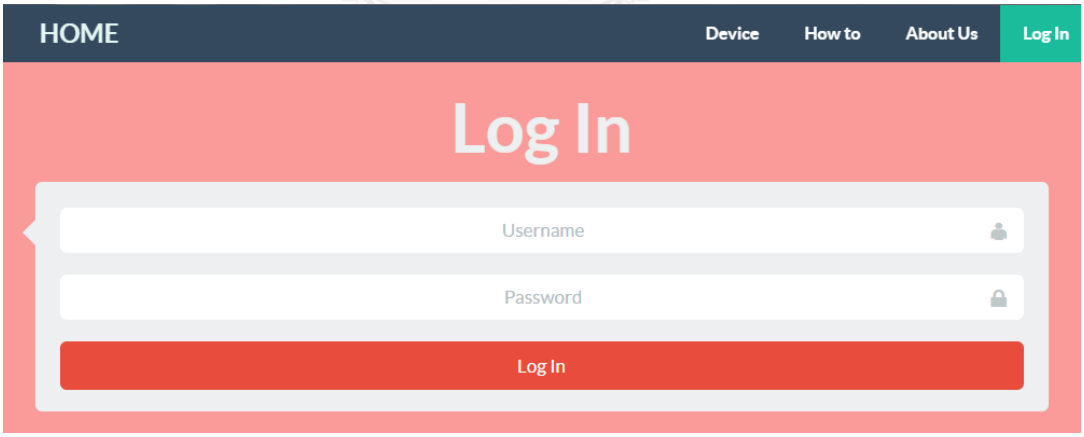
รูปที่ 4-14 เว็บเซิร์ฟเวอร์หน้า Device

3) หน้า How To เป็นหน้าเว็บแสดงวิธีการใช้งานของระบบที่พัฒนา ซึ่งมีการเชื่อมโยงกับหน้าเว็บต่างๆ บนแถบเมนูของหน้าเว็บประกอบด้วยหน้า Home, หน้า Device, หน้า About Us และหน้า Log In/Log Out

4) หน้า About Us เป็นหน้าเว็บแสดงข้อมูลเกี่ยวกับระบบที่พัฒนาดังแสดงในรูปที่ 4-15 ซึ่งมีการเชื่อมโยงกับหน้าเว็บต่างๆ บนแถบเมนูของหน้าเว็บประกอบด้วยหน้า Home, หน้า Device, หน้า How To และหน้า Log In/Log Out

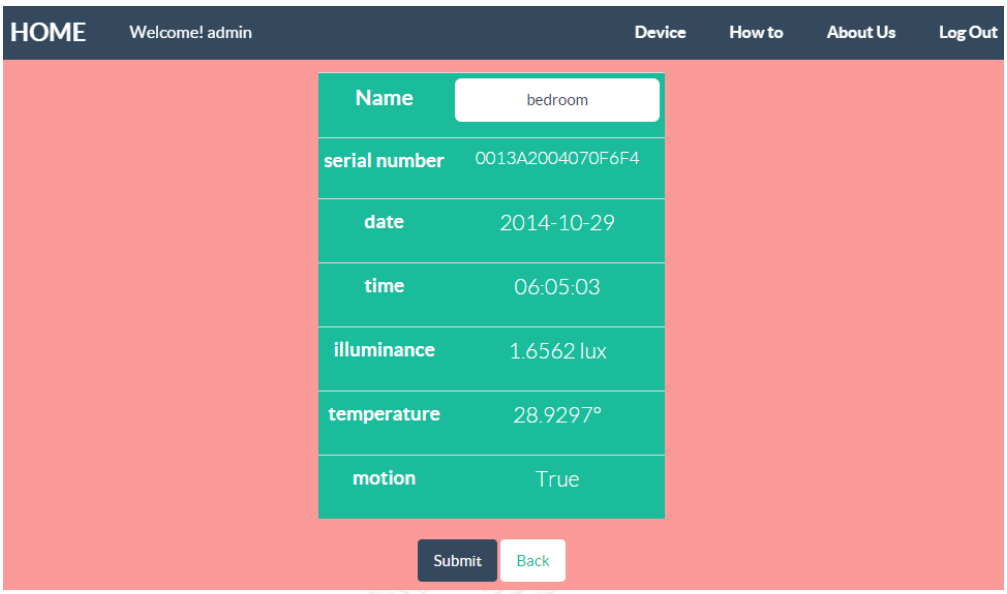
รูปที่ 4-15 เว็บเซิร์ฟเวอร์หน้า About Us

5) หน้า Log In/Log Out เป็นหน้าเว็บสำหรับลงชื่อเข้าใช้และลงชื่อออกของผู้ที่สามารถใช้งานระบบที่พัฒนาได้ดังแสดงในรูปที่ 4-16 ซึ่งมีการเชื่อมโยงกับหน้าเว็บต่างๆ บนแถบเมนูของหน้าเว็บประกอบด้วยหน้า Home, หน้า Device, หน้า How To และหน้า About Us



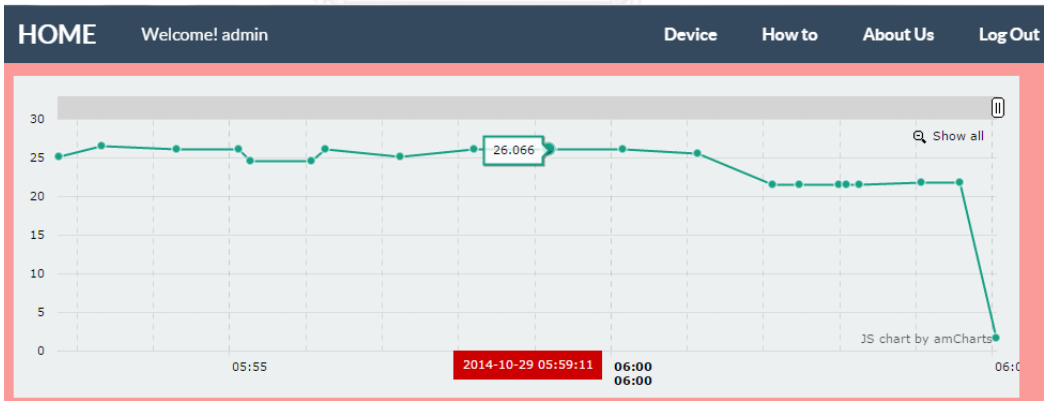
รูปที่ 4-16 เว็บเซิร์ฟเวอร์หน้า Log In/Log Out

6) หน้า Setting Sensor เป็นหน้าเว็บสำหรับตั้งค่าอุปกรณ์ส่วนเซ็นเซอร์ดังแสดงในรูปที่ 4-17 ซึ่งมีการเชื่อมโยงกับหน้าเว็บต่างๆ บนแถบเมนูของหน้าเว็บประกอบด้วยหน้า Home, หน้า Device, หน้า How To, หน้า About Us และหน้า Log In/Log Out โดยการเข้าหน้าเว็บนี้จะต้องลงชื่อเข้าใช้ก่อน



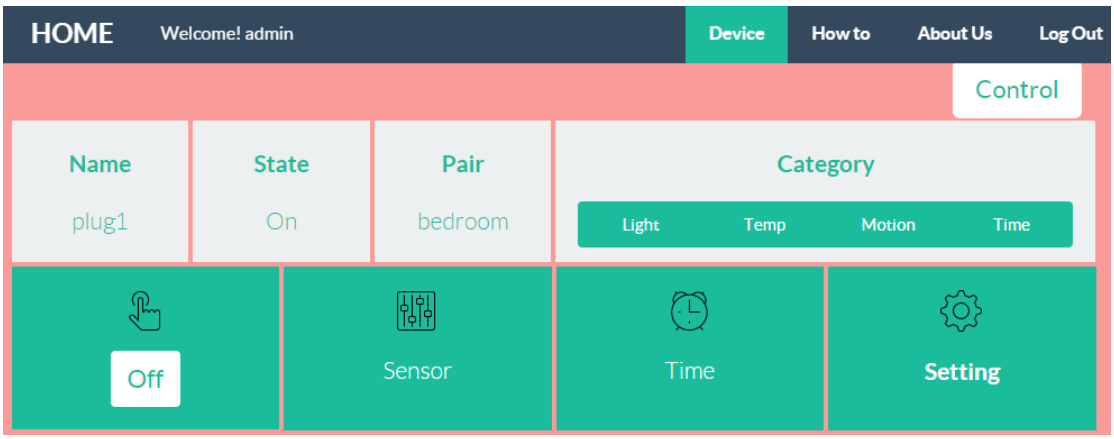
รูปที่ 4-17 เว็บเซิร์ฟเวอร์หน้า Setting Sensor

7) หน้า Chart Light Sensor, หน้า Chart Temp Sensor และหน้า Chart Motion Sensor เป็นหน้าเว็บแสดงกราฟของเซ็นเซอร์ต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4-18 ซึ่งมีการเชื่อมโยงกับหน้าเว็บต่างๆ บนแถบเมนูของหน้าเว็บประกอบด้วยหน้า Home, หน้า Device, หน้า How To, หน้า About Us และหน้า Log In/Log Out โดยการเข้าหน้าเว็บนี้จะต้องลงชื่อเข้าใช้ก่อน



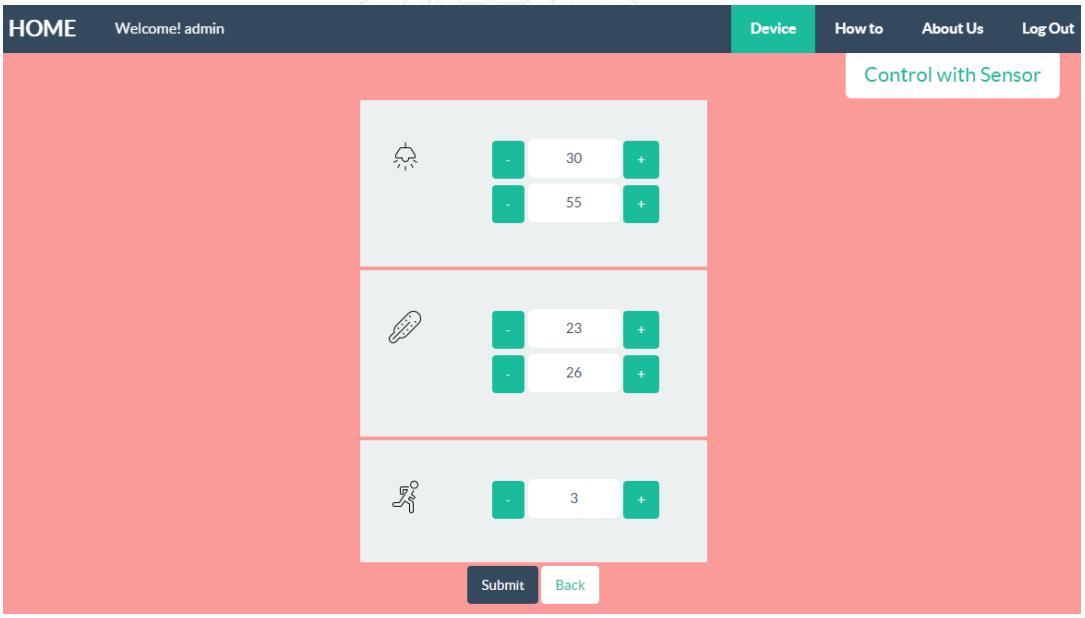
รูปที่ 4-18 เว็บเซิร์ฟเวอร์หน้า Chart Sensor

8) หน้า Control เป็นหน้าเว็บสำหรับให้ผู้ใช้สามารถกำหนดการควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าในการควบคุมรูปแบบต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4-19 ซึ่งมีการเชื่อมโยงกับหน้าเว็บต่างๆ อยู่ 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่แถบเมนูของหน้าเว็บประกอบด้วยหน้า Home, หน้า Device, หน้า How To, หน้า About Us และหน้า Log In/Log Out กลุ่มบนหน้าเว็บประกอบด้วยหน้า Sensor, หน้า Time และหน้า Setting Device โดยการเข้าหน้าเว็บนี้จะต้องลงชื่อเข้าใช้ก่อน



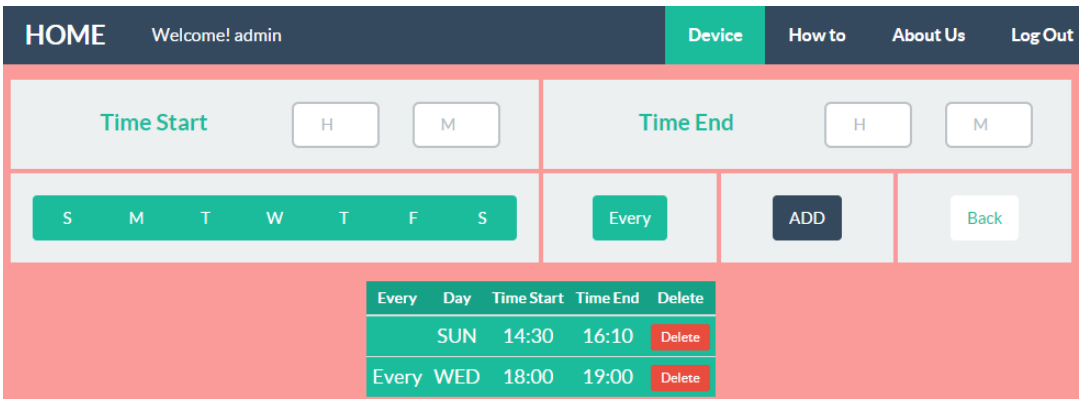
รูปที่ 4-19 เว็บเซิร์ฟเวอร์หน้า Control

9) หน้า Sensor เป็นหน้าเว็บสำหรับตั้งค่าการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์ต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4-20 ซึ่งมีการเชื่อมโยงกับหน้าเว็บต่างๆ บนแถบเมนูของหน้าเว็บประกอบด้วยหน้า Home, หน้า Device, หน้า How To, หน้า About Us และหน้า Log In/Log Out โดยการเข้าหน้าเว็บนี้จะต้องลงชื่อเข้าใช้ก่อน



รูปที่ 4-20 เว็บเซิร์ฟเวอร์หน้า Sensor

10) หน้า Time เป็นหน้าเว็บสำหรับตั้งค่าการควบคุมอัตโนมัติด้วยเวลาดังแสดงในรูปที่ 4-21 ซึ่งมีการเชื่อมโยงกับหน้าเว็บต่างๆ บนแถบเมนูของหน้าเว็บประกอบด้วยหน้า Home, หน้า Device, หน้า How To, หน้า About Us และหน้า Log In/Log Out โดยการเข้าหน้าเว็บนี้จะต้องลงชื่อเข้าใช้ก่อน



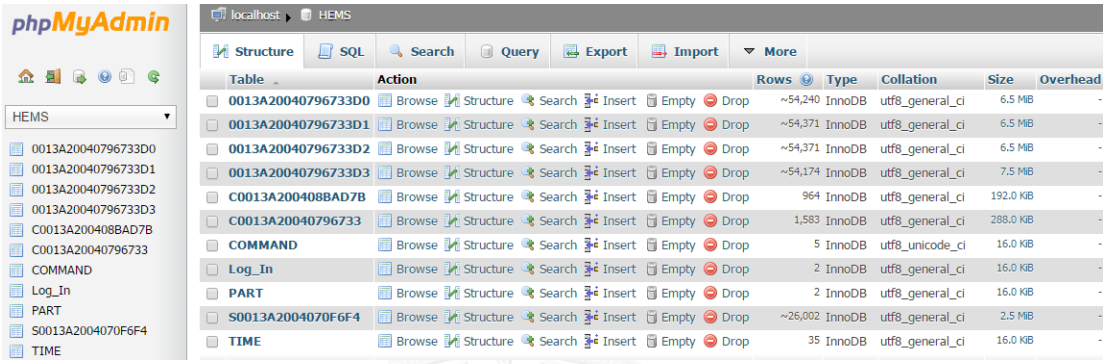
รูปที่ 4-21 เว็บเซิร์ฟเวอร์หน้า Time

11) หน้า Setting Device เป็นหน้าเว็บสำหรับตั้งค่าอุปกรณ์ส่วนควบคุมและอุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรดดังแสดงในรูปที่ 4-22 ซึ่งมีการเชื่อมโยงกับหน้าเว็บต่างๆ บนแถบเมนูของหน้าเว็บประกอบด้วยหน้า Home, หน้า Device, หน้า How To, หน้า About Us และหน้า Log In/Log Out โดยการเข้าหน้าเว็บนี้จะต้องลงชื่อเข้าใช้ก่อน

รูปที่ 4-22 เว็บเซิร์ฟเวอร์หน้า Setting Device

4.6 การสร้างและพัฒนาฐานข้อมูล

การสร้างและพัฒนาฐานข้อมูลเพื่อกำหนดรูปร่างของข้อมูลให้สอดคล้องกับการทำงานของโปรแกรมที่พัฒนาและเว็บเซิร์ฟเวอร์ในการเรียกใช้งาน งานวิจัยนี้เลือกการจัดการฐานข้อมูล MySQL และใช้โปรแกรม phpMyAdmin ดังรูปที่ 4-23 โดยการเก็บข้อมูลจะแบ่งเป็นตารางได้แก่



รูปที่ 4-23 โปรแกรม phpMyAdmin ที่แสดงบนเว็บบราวเซอร์

1) ตาราง COMMAND เป็นตารางที่เก็บข้อมูลในการควบคุมดังแสดงในรูปที่ 4-24 และสามารถอธิบายความหมายแต่ละช่องได้ในตารางที่ 4-1

ID_Device	NAME	PAIR	ID	PIN	STATE	CATEGORY	C_Light	C_Temp	C_Motion	C_Time	CH_LUX	CH_LUXh	CH_PIR	CH_TEMP	CH_TEMPh	set_hour	set_min	P/R	TYPE
1	plug1	bedroom	0013A20040796733	D1	False	SELF	0	0	0	0	30	55	3	23	26	6	7	P	
2	floor3	bedroom	0013A20040796733	D2	False	SELF	0	0	0	0	300	333	3	30	32	6	7	P	
3	CCCC	bedroom	0013A20040796733	D3	False	SELF	0	0	0	0	100	300	10	25	27	6	7	P	
4	DDD	bedroom	0013A20040796733	D0	False	SELF	0	0	0	1	0	0	5	20	30	6	7	P	
5	test_remote	bedroom	0013A200406258B0	D1	False	SELF	1	0	1	0	5	100	3	20	30	19	10	R	fan

รูปที่ 4-24 เก็บข้อมูลในตาราง COMMAND

ตารางที่ 4-1 อธิบายความหมายแต่ละช่องของตาราง COMMAND

ช่อง	ความหมาย
ID_Device	ตัวเลขที่ระบบกำหนดให้ปลั๊กอุปกรณ์ส่วนควบคุมหรืออุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรด
NAME	กำหนดชื่อปลั๊กอุปกรณ์ส่วนควบคุมหรืออุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรด
PAIR	กำหนดชื่ออุปกรณ์ส่วนเซ็นเซอร์ที่จับคู่กับปลั๊กอุปกรณ์ส่วนควบคุมหรืออุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรดที่ใช้ในการควบคุม
ID	ชุดตัวเลขเฉพาะอุปกรณ์ Xbee ของปลั๊กอุปกรณ์ส่วนควบคุมหรืออุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรด

ช่อง	ความหมาย
PIN	ตัวเลขของขาอุปกรณ์ Xbee ของปลั๊กอุปกรณ์ส่วนควบคุม
STATE	สถานะการทำงานของปลั๊กอุปกรณ์ส่วนควบคุม
C_Light	กำหนดการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์วัดความสว่างของแสง
C_Temp	กำหนดการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ
C_Motion	กำหนดการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์ตรวจวัดการเคลื่อนไหว
C_Time	กำหนดการควบคุมอัตโนมัติด้วยเวลา
CH_LUX	กำหนดค่าความสว่างของแสงน้อยที่สุดที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าปิดของการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์วัดความสว่างของแสง
CH_LUXh	กำหนดค่าความสว่างของแสงมากที่สุดที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าเปิดของการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์วัดความสว่างของแสง
CH_PIR	กำหนดค่าช่วงเวลาที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าเปิดของการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์ตรวจวัดการเคลื่อนไหว
CH_TEMP	กำหนดค่าอุณหภูมิต่ำที่สุดที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าเปิดของการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ
CH_TEMPh	กำหนดค่าอุณหภูมิสูงที่สุดที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าปิดของการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ
set_hour	ค่าชั่วโมงที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าเปิดของการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์ตรวจวัดการเคลื่อนไหว
set_min	ค่านาทีที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าเปิดของการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์ตรวจวัดการเคลื่อนไหว
P/R	กำหนดว่าเป็นปลั๊กอุปกรณ์ส่วนควบคุมหรืออุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรด
TYPE	กำหนดชนิดของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่อุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรดควบคุม

2) ตาราง PART เป็นตารางที่เก็บข้อมูลของอุปกรณ์ส่วนเซ็นเซอร์ในการวัดค่าของเซ็นเซอร์ต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4-25 และสามารถอธิบายความหมายแต่ละช่องได้ในตารางที่ 4-2

NAME	SERIAL_N	DATE	TIME	LIGHT	TEMP	PIR
bedroom	0013A2004070F6F4	2014-10-29	06:05:03	1.6562	28.9297	True

รูปที่ 4-25 เก็บข้อมูลในตาราง PART

ตารางที่ 4-2 อธิบายความหมายแต่ละช่องของตาราง PART

ช่อง	ความหมาย
NAME	กำหนดชื่ออุปกรณ์ส่วนเซ็นเซอร์
SERIAL_N	ชุดตัวเลขเฉพาะอุปกรณ์ Xbee ของอุปกรณ์ส่วนเซ็นเซอร์
DATE	วันที่ล่าสุดของการวัดค่าของอุปกรณ์ส่วนเซ็นเซอร์
TIME	เวลาล่าสุดของการวัดค่าของอุปกรณ์ส่วนเซ็นเซอร์
LIGHT	ค่าความสว่างของแสงล่าสุด
TEMP	ค่าอุณหภูมิล่าสุด
PIR	ค่าการเคลื่อนไหวล่าสุด

3) ตาราง TIME เป็นตารางที่เก็บข้อมูลของการควบคุมอัตโนมัติด้วยเวลาดังแสดงในรูปที่ 4-26 และสามารถอธิบายความหมายแต่ละช่องได้ในตารางที่ 4-3

ID_TIME	Every	Day	Time_H_S	Time_M_S	Time_H_E	Time_M_E	ID	PIN
39	1	4_W	18	0	19	0	0013A20040796733	D1
50	0	1_S	14	30	16	10	0013A20040796733	D1
62	1	3_T	18	34	18	36	0013A20040796733	D3

รูปที่ 4-26 เก็บข้อมูลในตาราง TIME

ตารางที่ 4-3 อธิบายความหมายแต่ละช่องของตาราง TIME

ช่อง	ความหมาย
ID_TIME	ตัวเลขที่ระบบกำหนดให้การควบคุมอัตโนมัติด้วยเวลาชุดนั้นๆ
Every	กำหนดแบบทำงานแค่วันเดียวหรือทำงานเหมือนกันทุกวันนั้นๆ
Day	วันของการควบคุมอัตโนมัติด้วยเวลา
Time_H_S	ชั่วโมงเริ่มการทำงานของการควบคุมอัตโนมัติด้วยเวลา
Time_M_S	นาทีเริ่มการทำงานของการควบคุมอัตโนมัติด้วยเวลา
Time_H_E	ชั่วโมงสิ้นสุดการทำงานของการควบคุมอัตโนมัติด้วยเวลา
Time_M_E	นาทีสิ้นสุดการทำงานของการควบคุมอัตโนมัติด้วยเวลา
ID	ชุดตัวเลขเฉพาะอุปกรณ์ Xbee ของปลั๊กอุปกรณ์ส่วนควบคุมหรืออุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรด
PIN	ตัวเลขของขาอุปกรณ์ Xbee ของปลั๊กอุปกรณ์ส่วนควบคุม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4) ตาราง Log_In เป็นตารางที่เก็บข้อมูลของการลงชื่อเข้าใช้ดังแสดงในรูปที่ 4-27 และสามารถอธิบายความหมายแต่ละช่องได้ในตารางที่ 4-4

ID	user_name	user_pass	myname
1	admin	11111	admin

รูปที่ 4-27 เก็บข้อมูลในตาราง Log_In

ตารางที่ 4-4 อธิบายความหมายแต่ละช่องของตาราง Log_In

ช่อง	ความหมาย
ID	ตัวเลขที่ระบบกำหนดให้ผู้ลงชื่อเข้าใช้
user_name	ชื่อที่ใช้ในการลงชื่อเข้าใช้
user_pass	รหัสที่ใช้ในการลงชื่อเข้าใช้
myname	ชื่อของผู้ลงชื่อเข้าใช้

5) ตาราง S0013A2004070F6F4 เป็นตารางที่รวบรวมข้อมูลของอุปกรณ์ส่วนเซ็นเซอร์ในการวัดค่าของเซ็นเซอร์ต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4-28 โดยชื่อของตารางจะขึ้นต้นด้วยตัว S และตามด้วยชุดตัวเลขเฉพาะอุปกรณ์ Xbee ของอุปกรณ์ส่วนเซ็นเซอร์และสามารถอธิบายความหมายแต่ละช่องได้ในตารางที่ 4-5

DATE	LIGHT	TEMP	PIR
2014-10-29 05:55:16	24.6429	28.9297	0
2014-10-29 05:56:04	24.6429	28.9297	1
2014-10-29 05:56:15	26.066	29.0469	1

รูปที่ 4-28 เก็บข้อมูลในตาราง S0013A2004070F6F4

ตารางที่ 4-5 อธิบายความหมายแต่ละช่องของตาราง S0013A2004070F6F4

ช่อง	ความหมาย
DATE	วันและเวลาที่มีการวัดค่าของเซ็นเซอร์ต่างๆ
LIGHT	ค่าความสว่างของแสง
TEMP	ค่าอุณหภูมิ
PIR	ค่าการเคลื่อนไหว

6) ตาราง C0013A20040796733 เป็นตารางที่รวบรวมข้อมูลสถานะของแต่ละปลั๊กอุปกรณ์ส่วนควบคุมดังแสดงในรูปที่ 4-29 โดยชื่อของตารางจะขึ้นต้นด้วยตัว C และตามด้วยชุดตัวเลขเฉพาะอุปกรณ์ Xbee ของอุปกรณ์ส่วนควบคุมและสามารถอธิบายความหมายแต่ละช่องได้ในตารางที่ 4-6

DATE	TIME	STATE_D0	STATE_D1	STATE_D2	STATE_D3
2014-10-25	16:06:27	False	True	False	False
2014-10-25	18:27:42	False	False	False	False
2014-10-25	19:11:51	False	True	False	False

รูปที่ 4-29 เก็บข้อมูลในตาราง C0013A20040796733

ตารางที่ 4-6 อธิบายความหมายแต่ละช่องของตาราง C0013A20040796733

ช่อง	ความหมาย
DATE	วันที่สถานะของแต่ละปลั๊กอุปกรณ์ส่วนควบคุมเปลี่ยน
TIME	เวลาที่สถานะของแต่ละปลั๊กอุปกรณ์ส่วนควบคุมเปลี่ยน
STATE_D0	สถานะปลั๊ก D0 ของอุปกรณ์ส่วนควบคุม
STATE_D1	สถานะปลั๊ก D1 ของอุปกรณ์ส่วนควบคุม
STATE_D2	สถานะปลั๊ก D2 ของอุปกรณ์ส่วนควบคุม
STATE_D3	สถานะปลั๊ก D3 ของอุปกรณ์ส่วนควบคุม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
การทดสอบ

5.1 ทดสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ในระบบ

ต้นแบบระบบควบคุมการทำงานเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านแบบอัตโนมัติประกอบด้วยอุปกรณ์ 5 ตัวคือ อุปกรณ์ส่วนเซ็นเซอร์, อุปกรณ์ส่วนการประมวลผล, อุปกรณ์ส่วนควบคุม, อุปกรณ์ส่วนโปรแกรมประยุกต์ (เราเตอร์) และอุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรด โดยระบบที่พัฒนาต้องทำงานได้ตลอดเวลาดังนั้นในแต่ละอุปกรณ์ของระบบจะต้องมีการใช้พลังงานไฟฟ้าอยู่ตลอดเวลาซึ่งการใช้พลังงานไฟฟ้าของแต่ละอุปกรณ์อาจเพิ่มค่าไฟฟ้าให้ผู้ใช้งานระบบได้ แต่จะไม่ทดสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ส่วนโปรแกรมประยุกต์เพราะการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ส่วนโปรแกรมประยุกต์จะขึ้นอยู่กับเราเตอร์ของแต่ละบ้านแต่ละยี่ห้อ ซึ่งบ้านเรือนส่วนใหญ่ก็มีการติดตั้งไว้อยู่แล้วเพราะต้องใช้ระบบอินเทอร์เน็ต

<u>วัตถุประสงค์การทดสอบ</u> ต้องการทราบการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ในระบบเพื่อคำนวณค่าใช้จ่ายที่ต้องเสียเพิ่มในการติดตั้งระบบ

<u>เครื่องมือในการทดสอบ</u>
1) อุปกรณ์ส่วนเซ็นเซอร์
2) อุปกรณ์ส่วนการประมวลผล
3) อุปกรณ์ส่วนควบคุม
4) อุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรด
5) FLUKE 43B

<u>วิธีการทดสอบ</u>
1) วางอุปกรณ์ต่างๆ ให้ระบบทำงานได้ปกติ
2) ใช้ FLUKE 43B วัดกระแสในแต่ละอุปกรณ์

<u>ผลการทดสอบ</u>

เมื่อใช้ FLUKE 43B วัดกระแสในแต่ละอุปกรณ์ส่วนต่างๆ แล้วนำมาคำนวณปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ามีหน่วยเป็นวัตต์-ชั่วโมง (Wh) และคิดเป็นค่าไฟฟ้ามีหน่วยเป็นบาท โดยคิดค่าไฟฟ้าหน่วยละ 3 บาท [26] มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 5-1

1) ทดสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ส่วนเซ็นเซอร์ขณะมีการทำงานเท่ากับ 0.44 Wh
2) ทดสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ส่วนการประมวลผลขณะมีการทำงานเท่ากับ 5 Wh
3) ทดสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ส่วนควบคุมขณะมีการทำงานใช้เท่ากับ 5.5 Wh
4) ทดสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรดขณะมีการทำงานเท่ากับ 4 Wh

ตารางที่ 5-1 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ส่วนต่างๆ

อุปกรณ์	จำนวน (ตัว)	การใช้งาน/ วัน (ชั่วโมง)	จำนวน วัน (วัน)	พลังงานไฟฟ้า (วัตต์-ชั่วโมง)	หน่วย (ยูนิต)	ค่าไฟฟ้า (บาท)
ส่วนเซ็นเซอร์	1	24	30	0.44	0.317	0.951
ส่วนการประมวลผล	1	24	30	5.00	3.600	10.800
ส่วนควบคุม	1	24	30	5.50	3.960	11.880
ส่วนรีโมทอินฟราเรด	1	24	30	4.00	2.880	8.640
				รวม	10.757	32.271

สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ในระบบพบว่าอุปกรณ์ในระบบมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า 10.757 หน่วยต่อเดือนหรือคิดเป็นค่าไฟฟ้าเท่ากับประมาณ 32 บาทต่อเดือน ซึ่งเป็นค่าไฟฟ้าที่ไม่เพิ่มภาระค่าใช้จ่ายให้ผู้ใช้งานระบบมากนัก

5.2 ทดสอบการรับส่งข้อมูลของอุปกรณ์ในระบบ

ต้นแบบระบบควบคุมการทำงานเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านแบบอัตโนมัติใช้เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายซิกบีในการรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์และคุณสมบัติของอุปกรณ์ XBee ที่นำมาใช้ในระบบมีระยะรับส่งข้อมูลแบบมีสิ่งกีดขวางหรือในที่ร่ม 40 เมตรซึ่งเป็นระยะที่เพียงพอต่อการรับส่งข้อมูลภายในห้องของบ้านแต่ถ้าต้องมีการรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ผ่านผนังห้องหรือเพดานบ้านและสภาพแวดล้อมจริงภายในบ้านส่วนใหญ่จะมีอุปกรณ์ Access Point ที่ทำหน้าที่ปล่อยสัญญาณวายฟายซึ่งมีความถี่ตรงกับซิกบีจึงเกิดสัญญาณรบกวนจนอาจทำให้ระยะการรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์น้อยลง

วัตถุประสงค์การทดสอบ ต้องการทราบความสามารถการรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ในระบบที่ระยะต่างๆ ภายในบ้าน

เครื่องมือในการทดสอบ
1) บ้านสี่ชั้นที่มีผนังหนา 9 เซนติเมตรและเพดานหนา 12 เซนติเมตร
2) อุปกรณ์ส่วนการประมวลผล
3) อุปกรณ์ส่วนควบคุม
4) เราเตอร์

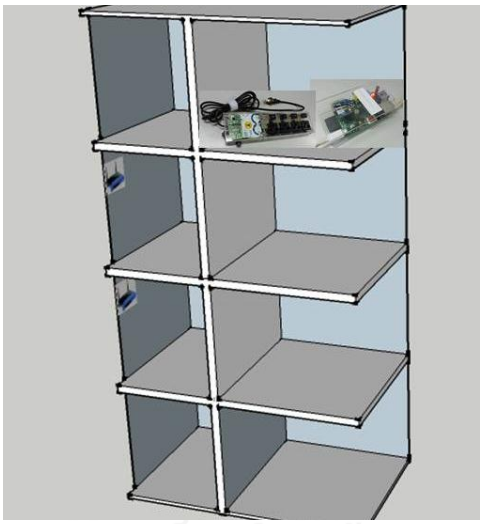
วิธีการทดสอบ
1) ต่ออุปกรณ์ส่วนการประมวลผลเข้ากับเราเตอร์ให้ระบบทำงานได้ปกติและติดตั้งไว้ภายในห้องชั้น 4

2) ติดตั้งอุปกรณ์ส่วนควบคุมที่ระยะต่างๆ ได้แก่ภายในห้องชั้น 4, ภายในห้องชั้น 3, ภายในห้องชั้น 2 และภายในห้องชั้นล่าง

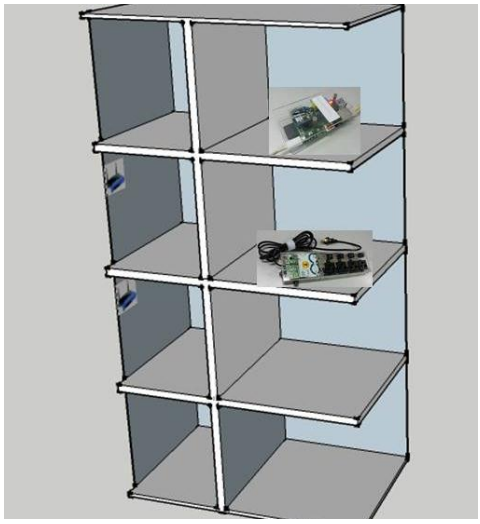
3) ใช้งานปลั๊กอุปกรณ์ส่วนควบคุมโดยการกดสวิตช์เปิดและปิด 10 ครั้ง

ผลการทดสอบ

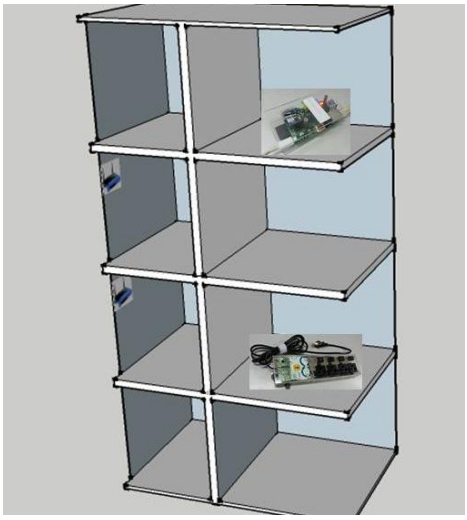
เมื่อติดตั้งอุปกรณ์ส่วนการประมวลผลภายในห้องชั้น 4 และอุปกรณ์ส่วนควบคุมภายในห้องที่ชั้นต่างๆ ของบ้าน โดยแต่ละชั้นห่างกัน 4 เมตรมีลักษณะดังรูปที่ 5-1, 5-2, 5-3 และ 5-4 ภายในบ้านมี Access Point ที่ชั้น 2 ชื่อ marai_floor2 และที่ชั้น 3 ชื่อ marai_floor3 โดยมีความแรงของสัญญาณ (Received Signal Strength Indicator) วายฟายแต่ละชั้นดังรูปที่ 5-5, 5-6, 5-7 และ 5-8



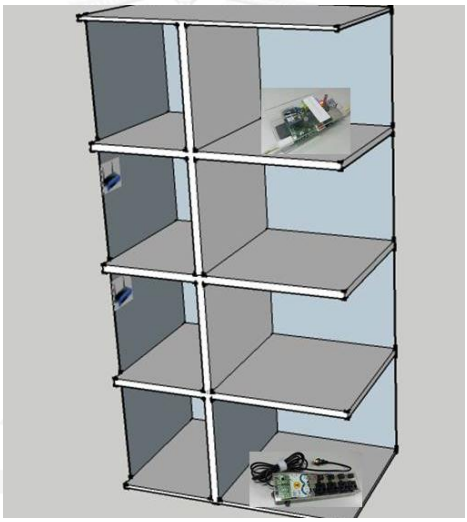
รูปที่ 5-1 การติดตั้งอุปกรณ์ให้อยู่ในห้องเดียวกัน



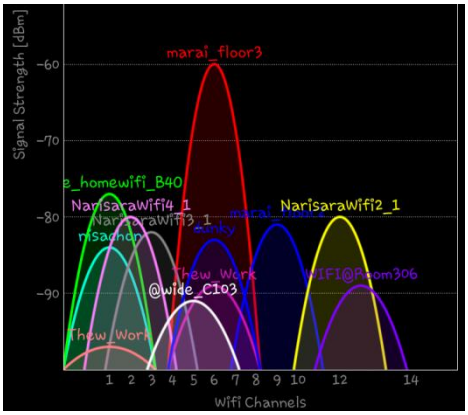
รูปที่ 5-2 การติดตั้งอุปกรณ์ให้ห่างกัน 1 ชั้น



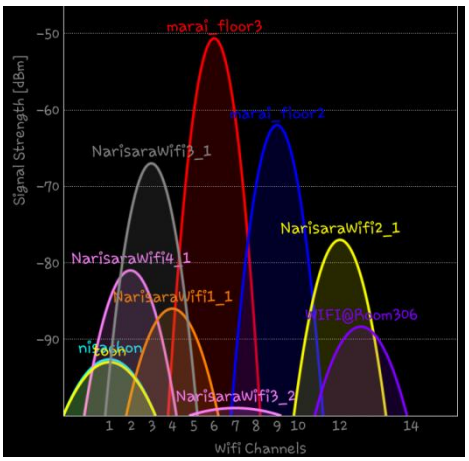
รูปที่ 5-3 การติดตั้งอุปกรณ์ให้ห่างกัน 2 ชั้น



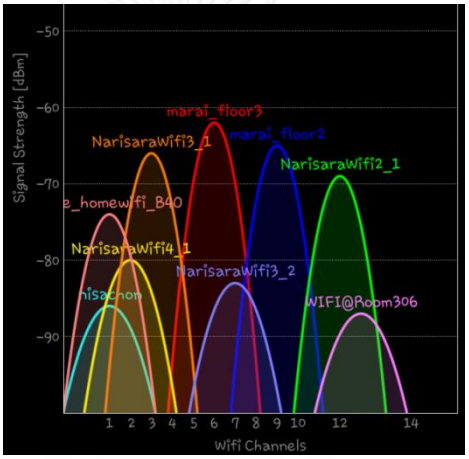
รูปที่ 5-4 การติดตั้งอุปกรณ์ให้ห่างกัน 3 ชั้น



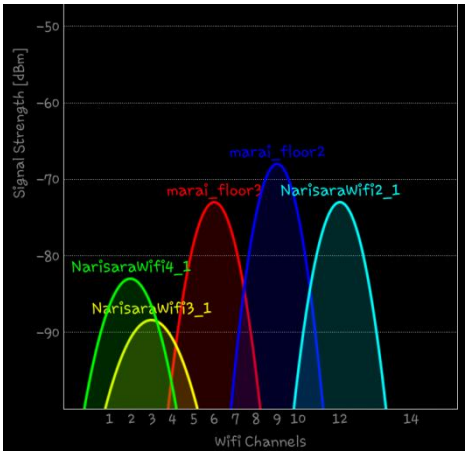
รูปที่ 5-5 ความแรงของสัญญาณวายฟายชั้น 4



รูปที่ 5-6 ความแรงของสัญญาณวายฟายชั้น 3



รูปที่ 5-7 ความแรงของสัญญาณวายฟายชั้น 2



รูปที่ 5-8 ความแรงของสัญญาณวายฟายชั้นล่าง

ได้ทดสอบใช้งานปลั๊กอุปกรณ์ส่วนควบคุมโดยการกดสวิตช์เปิดและปิด 10 ครั้งที่สถานการณ์ต่าง มีรายละเอียดดังตารางที่ 5-2 พบว่าการรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ภายในห้องที่ระยะไม่ถึง 4 เมตร และไม่มีสิ่งกีดขวางมีการรับส่งข้อมูลสำเร็จทุกครั้ง การรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ที่ติดตั้งต่างกัน 1 ชั้นที่ระยะประมาณ 4 เมตรและมีสิ่งกีดขวางคือเพดานหนา 12 เซนติเมตรมีการรับส่งข้อมูลสำเร็จทุกครั้งและการรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ที่ติดตั้งต่างกัน 2 ชั้นที่ระยะประมาณ 8 เมตรและมีสิ่งกีดขวางคือเพดานหนา 12 เซนติเมตรสองชั้นมีการรับส่งข้อมูลสำเร็จทุกครั้ง แต่การรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ที่ติดตั้งต่างกัน 3 ชั้นที่ระยะประมาณ 12 เมตรและมีสิ่งกีดขวางคือเพดานหนา 12 เซนติเมตรสามชั้นมีการรับส่งข้อมูลที่ไม่สำเร็จ

ตารางที่ 5-2 ทดสอบใช้งานปลั๊กอุปกรณ์ส่วนควบคุมที่สถานการณ์ต่างๆ

สถานการณ์	ภายในห้อง	ต่างกัน 1 ชั้น	ต่างกัน 2 ชั้น	ต่างกัน 3 ชั้น
เปิด AP ชั้น 3 เปิด AP ชั้น 2	10 ครั้ง	10 ครั้ง	10 ครั้ง	0 ครั้ง
ปิด AP ชั้น 3 เปิด AP ชั้น 2	10 ครั้ง	10 ครั้ง	10 ครั้ง	1 ครั้ง
เปิด AP ชั้น 3 ปิด AP ชั้น 2	10 ครั้ง	10 ครั้ง	10 ครั้ง	1 ครั้ง

สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบการรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ในระบบที่ระยะต่างๆ ภายในบ้านพบว่าอุปกรณ์ในระบบสามารถรับส่งข้อมูลระหว่างกันได้ระยะไกลที่สุดคือต่างกัน 2 ชั้นหรือที่ระยะประมาณ 8 เมตรแบบมีสิ่งกีดขวางคือเพดานหนา 12 เซนติเมตรสองชั้น ซึ่งสัญญาณรบกวนจาก Access Point ทั้งสองตัวไม่ทำให้เกิดผลกระทบในการรับส่งข้อมูลแต่การที่มีสิ่งกีดขวางเป็นเพดานหนานั้นทำให้ระยะการรับส่งข้อมูลน้อยลง

5.3 ทดสอบการทำงานของการควบคุมอัตโนมัติ

ระบบที่พัฒนามีการควบคุมอัตโนมัติ 4 แบบหลักๆ กล่าวคือการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์วัดความสว่างของแสง, การควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ, การควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์ตรวจวัดการเคลื่อนไหวและการควบคุมอัตโนมัติด้วยเวลา ซึ่งการควบคุมอัตโนมัติแบบหลักต่างๆ สามารถทำงานร่วมกันได้ในการควบคุมครั้งเดียวกัน โดยในการประมวลผลจะผสมเงื่อนไขของการควบคุมอัตโนมัติแบบหลักต่างๆ เข้าด้วยกันทำให้เกิดรูปแบบการควบคุมอัตโนมัติ 16 รูปแบบ จึงนำมาทดสอบการทำงานของการควบคุมอัตโนมัติรูปแบบต่างๆ ว่าเป็นไปตามเงื่อนไขที่ได้พัฒนาหรือไม่

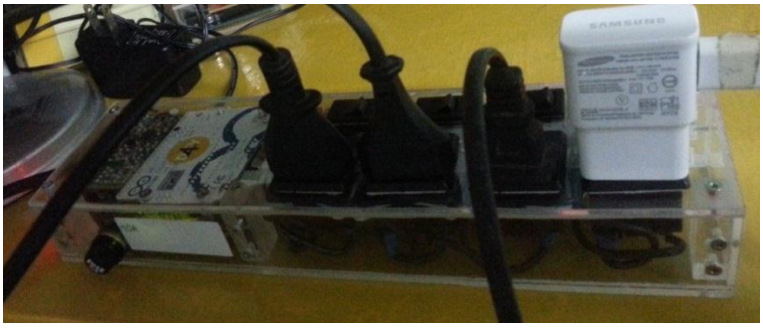
วัตถุประสงค์การทดสอบ ต้องการทราบการทำงานของการควบคุมอัตโนมัติรูปแบบต่างๆ ว่าเป็นไปตามเงื่อนไขที่ได้พัฒนาหรือไม่

เครื่องมือในการทดสอบ
1) ห้องขนาด 4x4 เมตร
2) อุปกรณ์ส่วนการประมวลผล
3) อุปกรณ์ส่วนควบคุม
4) อุปกรณ์ส่วนเซ็นเซอร์
5) เราเตอร์
6) โคมไฟ
7) โทรทัศน์
8) อุปกรณ์ชาร์จโทรศัพท์มือถือ
9) พัดลม

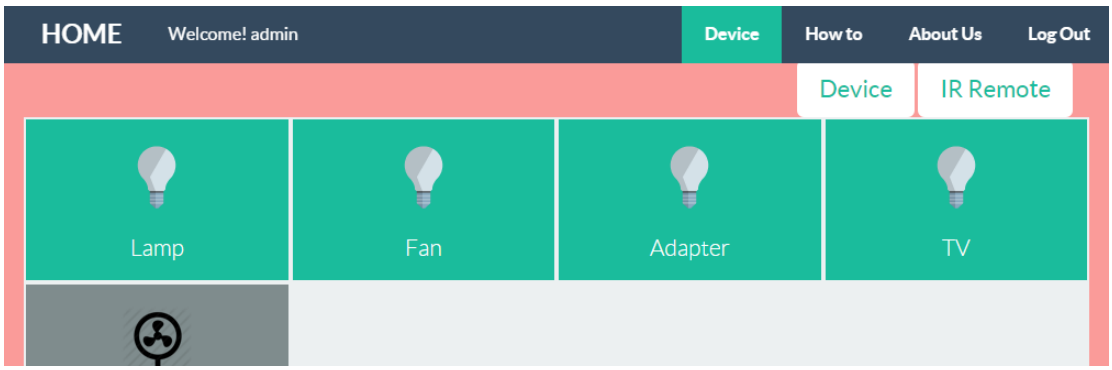
วิธีการทดสอบ
1) ต่ออุปกรณ์ส่วนการประมวลผลเข้ากับเราเตอร์ให้ระบบทำงานได้ปกติและติดตั้งไว้ภายในห้อง
2) ติดตั้งอุปกรณ์ส่วนควบคุมไว้ภายในห้องและได้นำเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ มาเสียบปลั๊กอุปกรณ์ส่วนควบคุมซึ่งได้แก่ โคมไฟ, โทรทัศน์, อุปกรณ์ชาร์จโทรศัพท์มือถือและพัดลม
3) ติดตั้งอุปกรณ์ส่วนเซ็นเซอร์ไว้บนเพดานภายในห้อง
4) ตั้งค่าการทำงานการควบคุมอัตโนมัติรูปแบบต่างๆ ผ่านเว็บบราวเซอร์

ผลการทดสอบ

เมื่อนำเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ มาเสียบปลั๊กอุปกรณ์ส่วนควบคุมแสดงดังรูปที่ 5-9 โดยด้านซ้ายสุดคือปลั๊กโทรทัศน์, ปลั๊กโคมไฟ, ปลั๊กพัดลมและปลั๊กอุปกรณ์ชาร์จโทรศัพท์มือถือตามลำดับ ซึ่งมีการตั้งค่าชื่อของอุปกรณ์ต่างๆ บนหน้าเว็บบราวเซอร์อุปกรณ์แสดงดังรูปที่ 5-10

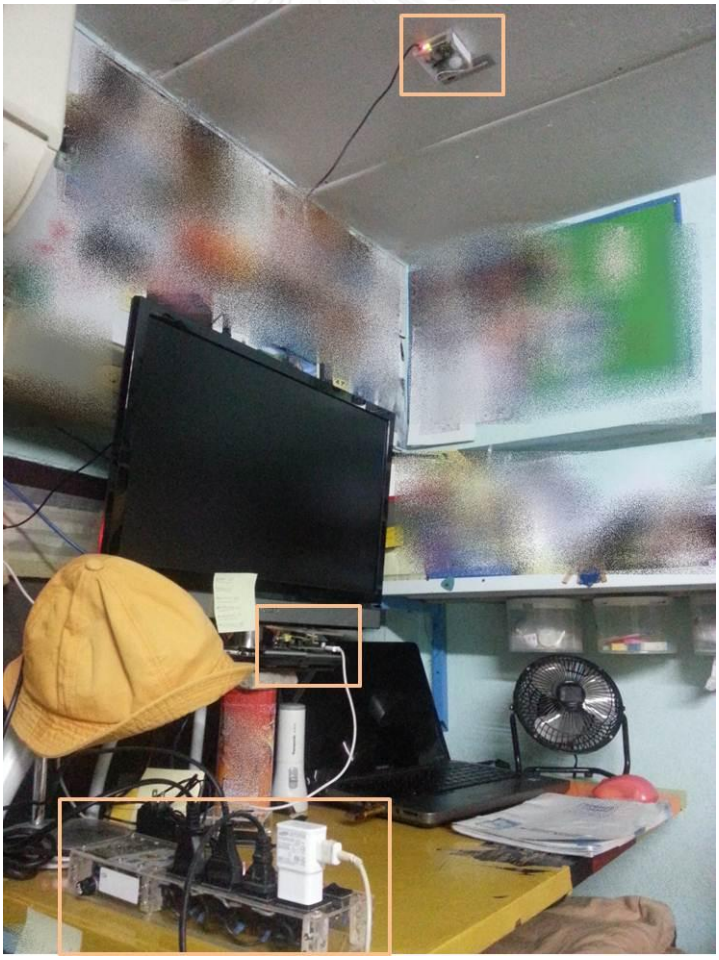


รูปที่ 5-9 เครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ เสียบที่ปลั๊กอุปกรณ์ส่วนควบคุม



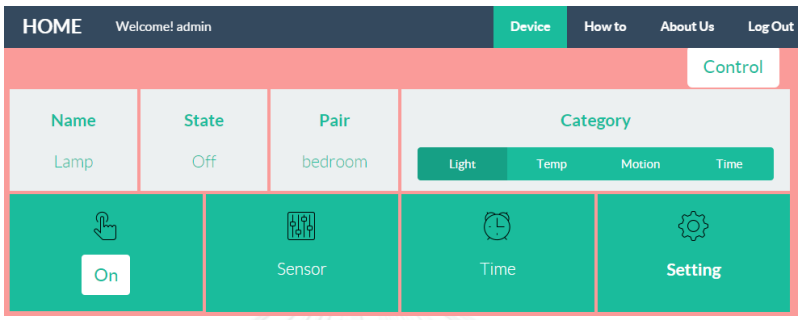
รูปที่ 5-10 หน้าเว็บบราวเซอร์อุปกรณ์

สถานที่ในการทดสอบแสดงดังรูปที่ 5-11 โดยต่ออุปกรณ์ส่วนการประมวลผลเข้ากับเราเตอร์ที่อยู่ภายนอกห้องผ่านอีเทอร์เน็ตและติดตั้งไว้หน้าโทรทัศน์ ติดตั้งอุปกรณ์ส่วนควบคุมไว้บนโต๊ะทำงานที่นำเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ มาเสียบปลั๊กและติดตั้งอุปกรณ์ส่วนเซ็นเซอร์ไว้บนเพดาน

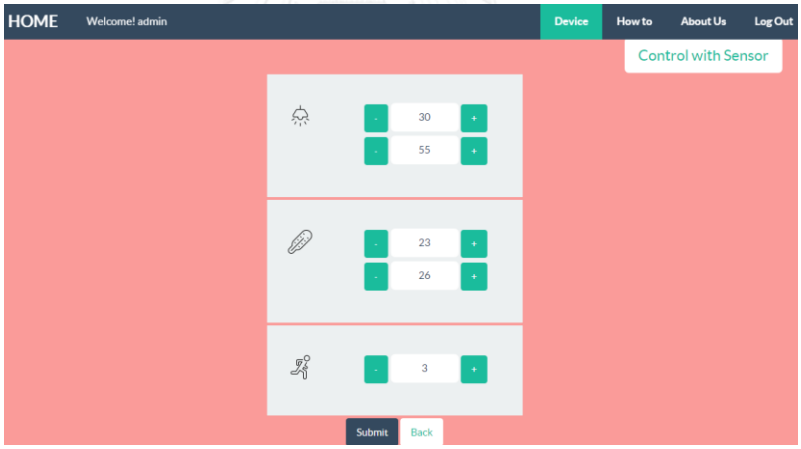


รูปที่ 5-11 สถานที่ในการทดสอบการทำงานของการควบคุมอัตโนมัติ

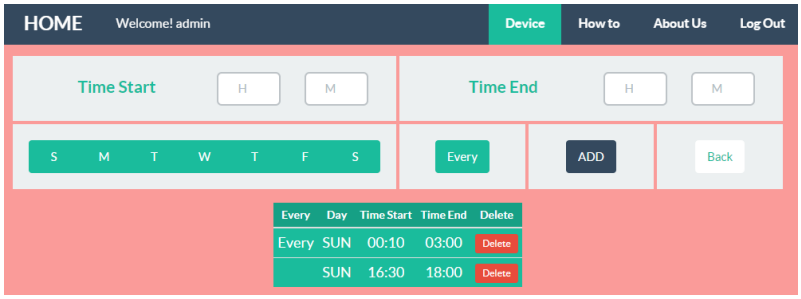
เริ่มตั้งค่าการควบคุมอัตโนมัติรูปแบบต่างๆ ให้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าผ่านหน้าเว็บบราวเซอร์ของการควบคุม หน้าเว็บบราวเซอร์การควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์ต่างๆ และหน้าเว็บบราวเซอร์การควบคุมอัตโนมัติด้วยเวลาแสดงดังรูปที่ 5-12, 5-13, 5-14 ตามลำดับ โดยที่แต่ละรูปแบบมีการเก็บผลการทำงานทุก 20 วินาทีเป็นระยะเวลา 1 วันและแต่ละรูปแบบไม่ได้ควบคุมสภาพแวดล้อมภายในห้องให้เหมือนกัน ซึ่งมีผู้อยู่อาศัยเข้าออกห้องและมีการเปิดปิดอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ ภายในห้องที่ไม่ได้เสียบปลั๊กอุปกรณ์ส่วนควบคุมของระบบที่พัฒนา ในแต่ละรูปแบบมีการทดสอบดังนี้



รูปที่ 5-12 หน้าเว็บบราวเซอร์ของการควบคุม



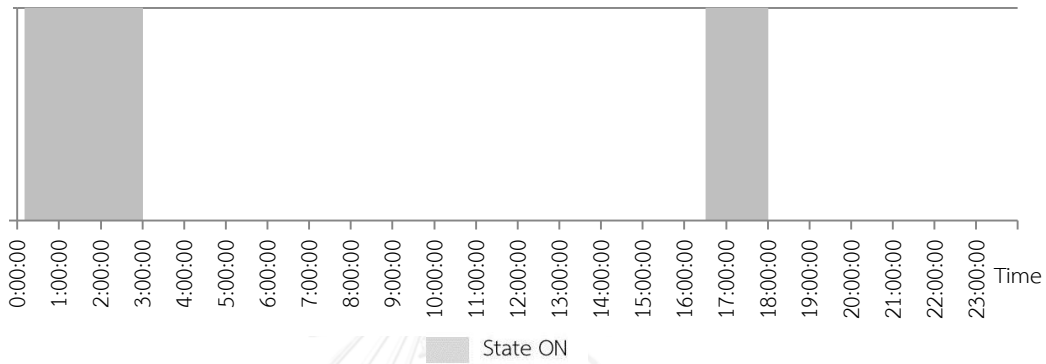
รูปที่ 5-13 หน้าเว็บบราวเซอร์การควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์ต่างๆ



รูปที่ 5-14 หน้าเว็บบราวเซอร์การควบคุมอัตโนมัติด้วยเวลา

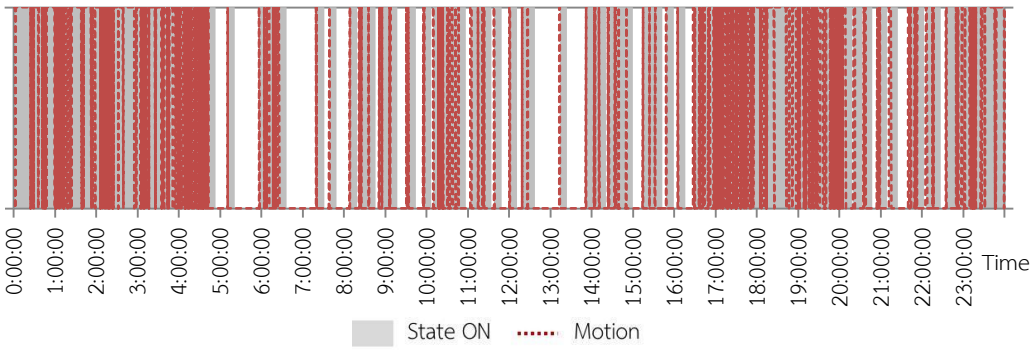
1) โคมไฟไม่เลือกรูปแบบการควบคุมอัตโนมัติ สถานะการทำงานของโคมไฟจะขึ้นอยู่กับผู้ใช้เองว่าต้องการเปิดหรือปิดโคมไฟ

2) อุปกรณ์ชาร์จโทรศัพท์มือถือเลือกรูปแบบการควบคุมอัตโนมัติด้วยเวลา โดยที่ตั้งเวลาเปิดปิดแบบทำงานเหมือนกันทุกวันเวลาเปิด 00:10 น. เวลาปิด 03:00 น. และแบบทำงานแค่วันเดียวเวลาเปิด 16:30 น. เวลาปิด 18:00 น. แสดงผลสถานะการทำงานของอุปกรณ์ชาร์จโทรศัพท์มือถือดังรูปที่ 5-15



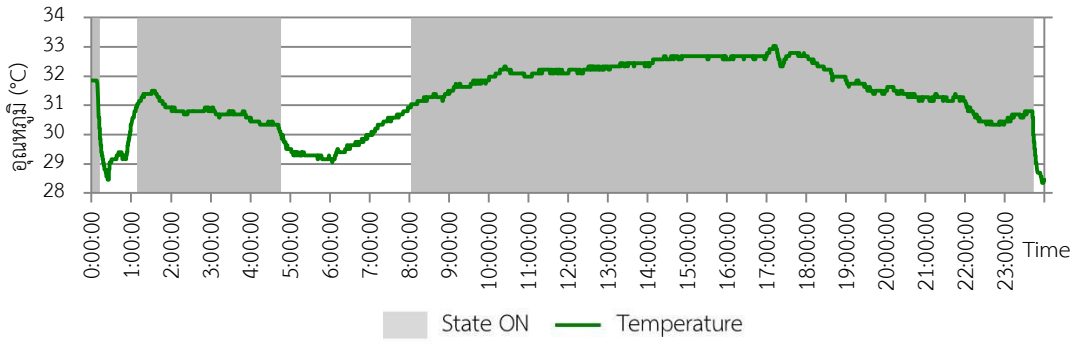
รูปที่ 5-15 สถานะการทำงานของอุปกรณ์ชาร์จโทรศัพท์มือถือที่ควบคุมแบบ Time

3) โทรทัศน์เลือกรูปแบบการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์ตรวจ วัดการเคลื่อนไหว โดยที่ตั้งค่ากำหนดช่วงเวลาที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าเปิด 10 นาที แสดงผลสถานะการทำงานของโทรทัศน์แสดงดังรูปที่ 5-16



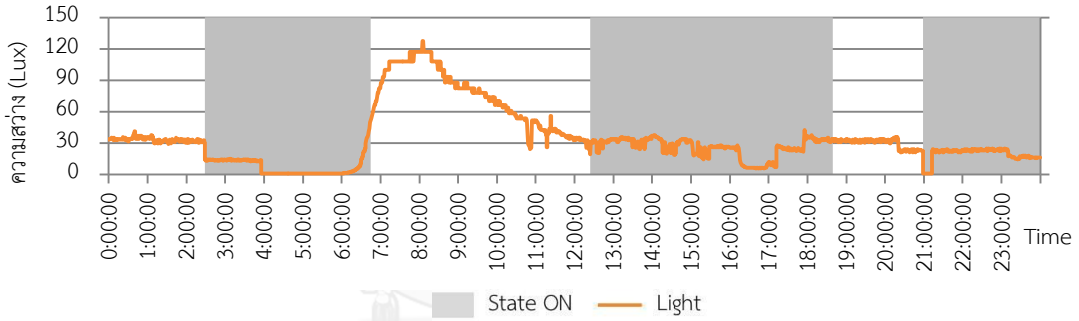
รูปที่ 5-16 สถานะการทำงานของโทรทัศน์ที่ควบคุมแบบ Motion

4) พัดลมเลือกรูปแบบการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ โดยที่ตั้งค่าอุณหภูมิต่ำที่สุดที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าเปิด 30 °C และค่าอุณหภูมิสูงที่สุดที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าปิด 31 °C แสดงผลสถานะการทำงานของพัดลมแสดงดังรูปที่ 5-17



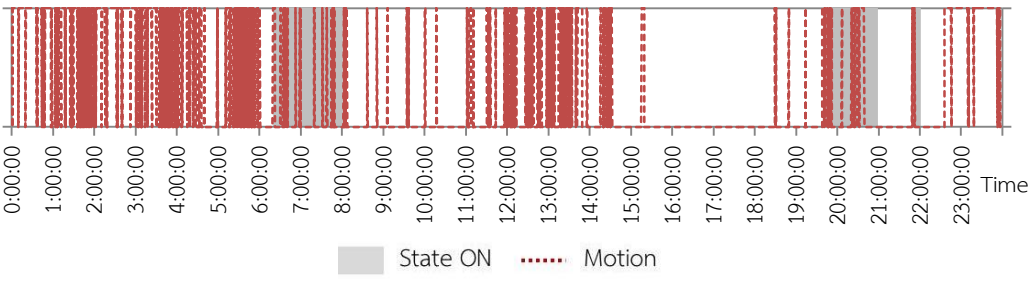
รูปที่ 5-17 สถานะการทำงานของพัดลมที่ควบคุมแบบ Temp

5) โคมไฟเลือกรูปแบบการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์วัดความสว่างของแสงอย่างเดียว โดยที่ตั้งค่าความสว่างของแสงน้อยที่สุดที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าปิด 20 Lux และค่าความสว่างของแสงมากที่สุดที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าเปิด 50 Lux แสดงผลสถานะการทำงานของโคมไฟแสดงดังรูปที่ 5-18



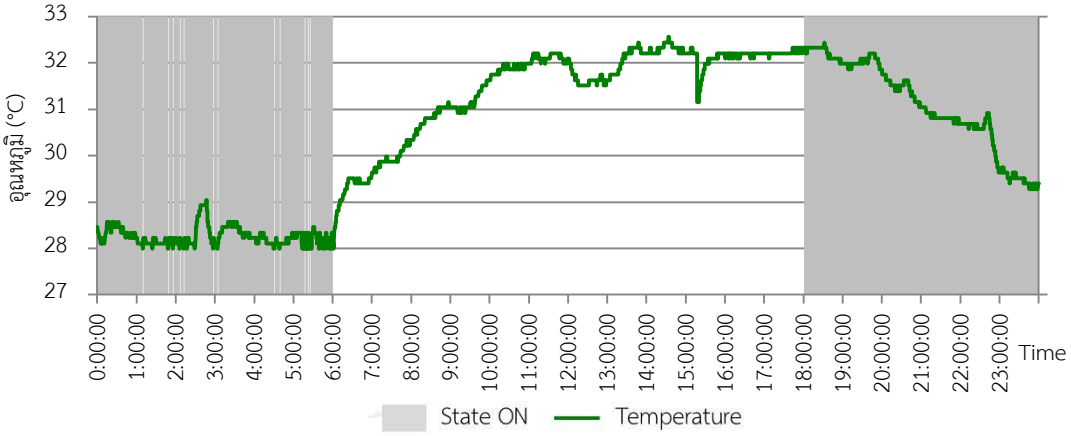
รูปที่ 5-18 สถานะการทำงานของโคมไฟที่ควบคุมแบบ Light

6) โทรทัศน์เลือกรูปแบบการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์ตรวจวัดการเคลื่อนไหวและการควบคุมอัตโนมัติด้วยเวลา โดยที่ตั้งค่ากำหนดช่วงเวลาที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าเปิด 20 นาที เวลาเปิดปิดแบบทำงานเหมือนกันทุกวันเวลาเปิด 06:00 น. เวลาปิด 08:00 น. และแบบทำงานแค่วันเดียวเวลาเปิด 19:00 น. เวลาปิด 22:00 น. แสดงผลสถานะการทำงานของโทรทัศน์แสดงดังรูปที่ 5-19



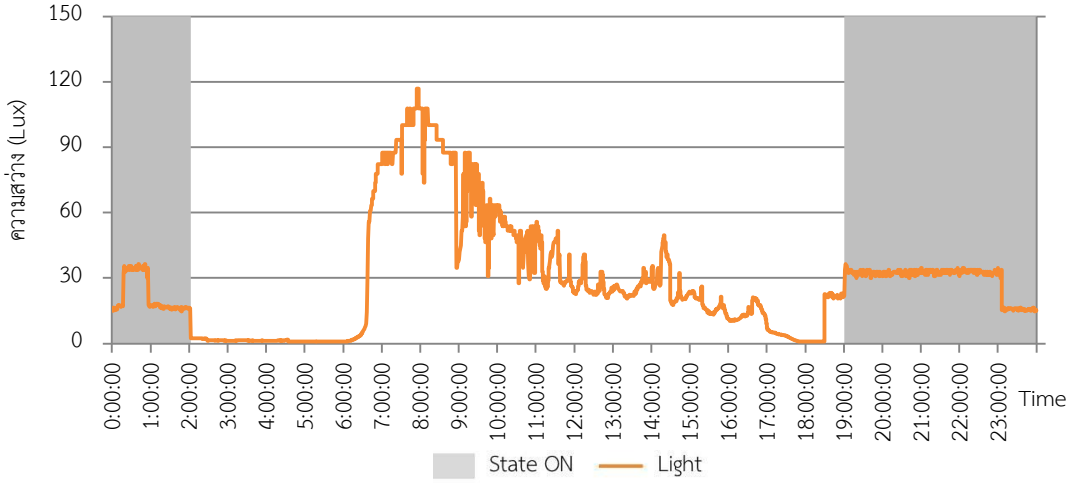
รูปที่ 5-19 สถานะการทำงานของโทรทัศน์ที่ควบคุมแบบ Motion และ Time

7) พัดลมเลือกรูปแบบการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและการควบคุมอัตโนมัติด้วยเวลา โดยที่ตั้งค่าอุณหภูมิต่ำที่สุดที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าเปิด 28 °C และค่าอุณหภูมิสูงที่สุดที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าปิด 30 °C เวลาเปิดปิดแบบทำงานแค่วันเดียวเวลาเปิด 00:00 น. เวลาปิด 06:00 น. และแบบทำงานเหมือนกันทุกวันเวลาเปิด 18:00 น. เวลาปิด 23:59 น. แสดงผลสถานะการทำงานของพัดลมแสดงดังรูปที่ 5-20



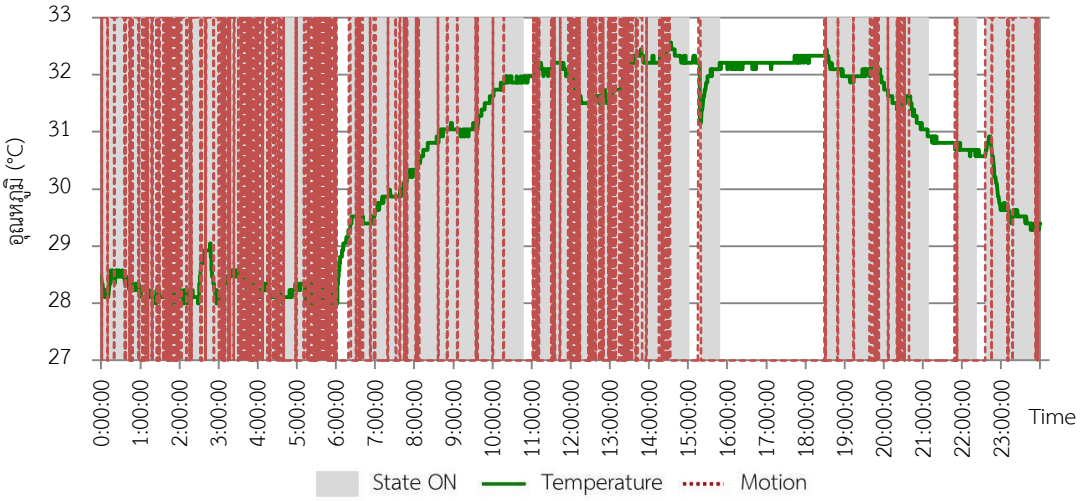
รูปที่ 5-20 สถานะการทำงานของพัดลมที่ควบคุมแบบ Temp และ Time

8) โคมไฟเลือกรูปแบบการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์วัดความสว่างของแสงและการควบคุมอัตโนมัติด้วยเวลา โดยที่ตั้งค่าความสว่างของแสงน้อยที่สุดที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าปิด 20 Lux ค่าความสว่างของแสงมากที่สุดที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าเปิด 50 Lux เวลาเปิดปิดแบบทำงานแค่วันเดียวเวลาเปิด 00:00 น. เวลาปิด 02:00 น. และแบบทำงานเหมือนกันทุกวันเวลาเปิด 19:00 น. เวลาปิด 23:59 น. แสดงผลสถานะการทำงานของโคมไฟแสดงดังรูปที่ 5-21



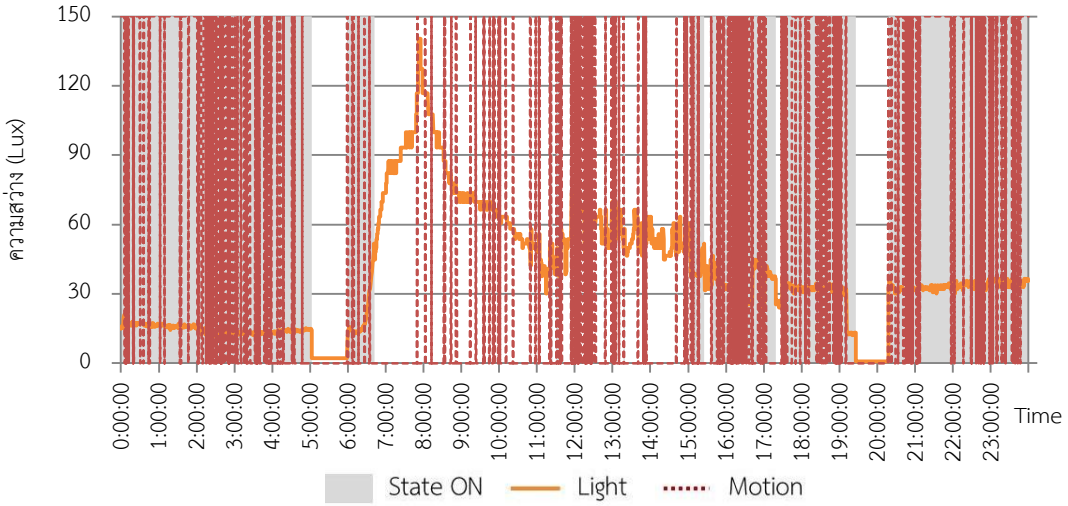
รูปที่ 5-21 สถานะการทำงานของโคมไฟที่ควบคุมแบบ Light และ Time

9) พัดลมเลือกรูปแบบการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์ตรวจวัดการเคลื่อนไหว โดยที่ตั้งค่าอุณหภูมิต่ำที่สุดที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าเปิด 28 °C และค่าอุณหภูมิสูงที่สุดที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าปิด 29 °C และค่ากำหนดช่วงเวลาที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าเปิด 30 นาที แสดงผลสถานะการทำงานของพัดลมแสดงดังรูปที่ 5-22



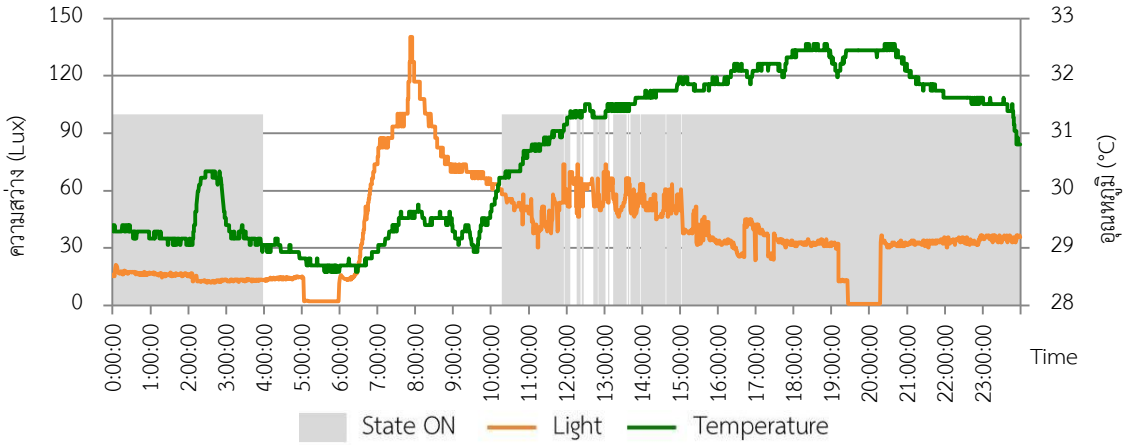
รูปที่ 5-22 สถานะการทำงานของพัดลมที่ควบคุมแบบ Temp และ Motion

10) โคมไฟเลือกรูปแบบการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์วัดความสว่างของแสงและการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์ตรวจวัดการเคลื่อนไหว โดยที่ตั้งค่าความสว่างของแสงน้อยที่สุดที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าปิด 20 Lux ค่าความสว่างของแสงมากที่สุดที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าเปิด 50 Lux และค่ากำหนดช่วงเวลาที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าเปิด 15 นาที แสดงผลสถานะการทำงานของโคมไฟแสดงดังรูปที่ 5-23



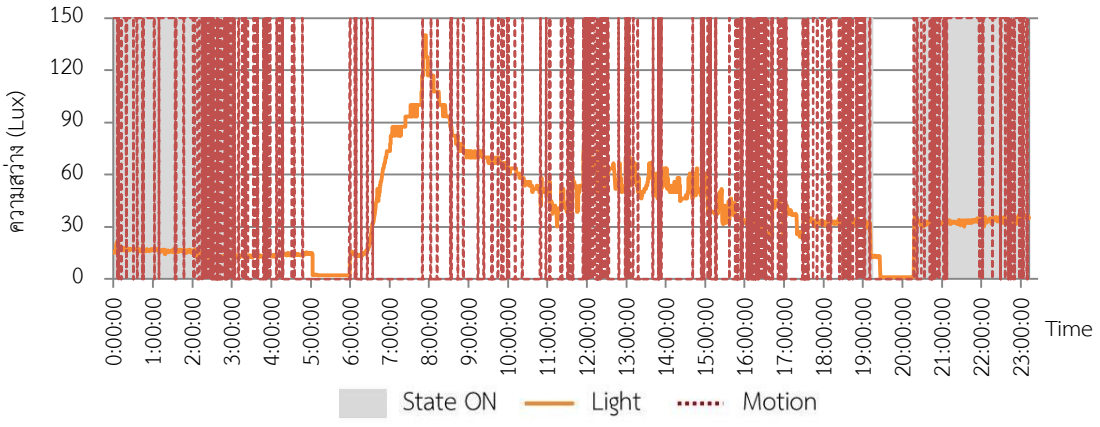
รูปที่ 5-23 สถานะการทำงานของโคมไฟที่ควบคุมแบบ Light และ Motion

11) พัดลมเลือกรูปแบบการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์วัดความสว่างของแสง โดยที่ตั้งค่าอุณหภูมิต่ำที่สุดที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าเปิด 29 °C ค่าอุณหภูมิสูงที่สุดที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าปิด 30 °C ค่าความสว่างของแสงน้อยที่สุดที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าปิด 20 Lux และค่าความสว่างของแสงมากที่สุดที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าเปิด 60 Lux แสดงผลสถานะการทำงานของพัดลมแสดงดังรูปที่ 5-24



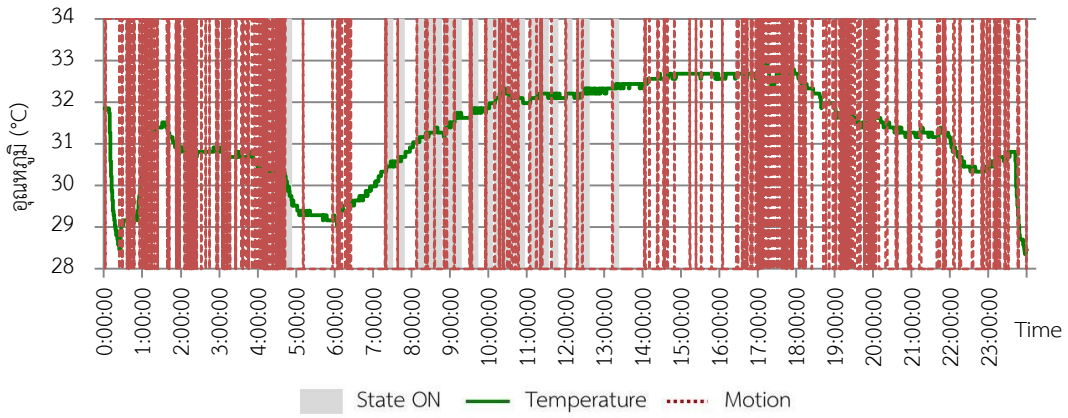
รูปที่ 5-24 สถานะการทำงานของพัดลมที่ควบคุมแบบ Temp และ Light

12) โคมไฟเลือกรูปแบบการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์วัดความสว่างของแสง, การควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์ตรวจวัดการเคลื่อนไหวและการควบคุมอัตโนมัติด้วยเวลา โดยที่ตั้งค่าความสว่างของแสงน้อยที่สุดที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าปิด 20 Lux ค่าความสว่างของแสงมากที่สุดที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าเปิด 60 Lux ค่ากำหนดช่วงเวลาที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าเปิด 5 นาที เวลาเปิดปิดแบบทำงานเหมือนกันทุกวันเวลาเปิด 00:00 น. เวลาปิด 03:00 น. และแบบทำงานแค่วันเดียวเวลาเปิด 19:00 น. เวลาปิด 23:59 น. แสดงผลสถานะการทำงานของโคมไฟแสดงดังรูปที่ 5-25



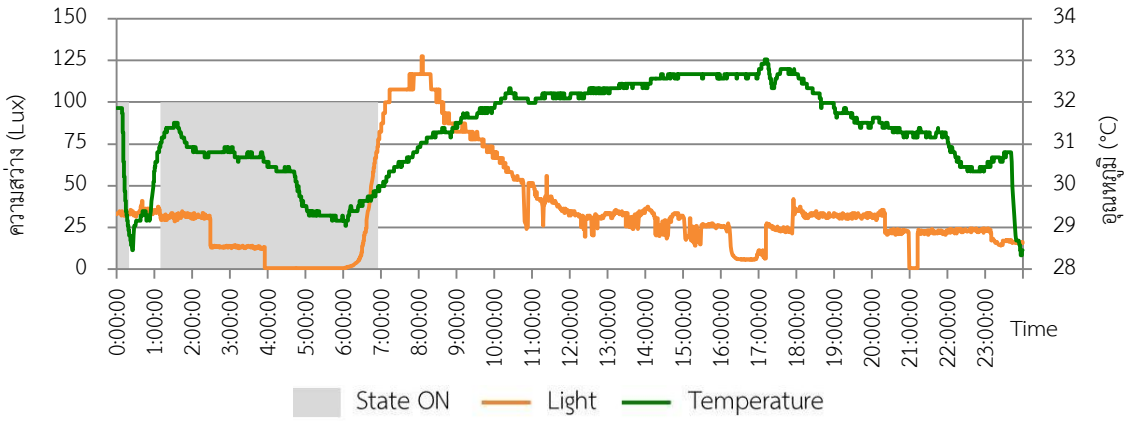
รูปที่ 5-25 สถานะการทำงานของโคมไฟที่ควบคุมแบบ Light, Motion และ Time

13) พัดลมเลือกรูปแบบการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ, การควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์ตรวจวัดการเคลื่อนไหวและการควบคุมอัตโนมัติด้วยเวลา โดยที่ตั้งค่าอุณหภูมิต่ำที่สุดที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าเปิด 30 °C ค่าอุณหภูมิสูงที่สุดที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าปิด 31 °C ค่ากำหนดช่วงเวลาที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าเปิด 10 นาที และเวลาเปิดปิดแบบทำงานแค่วันเดียวเวลาเปิด 04:00 น. เวลาปิด 14:00 น. แสดงผลสถานะการทำงานของพัดลมแสดงดังรูปที่ 5-26



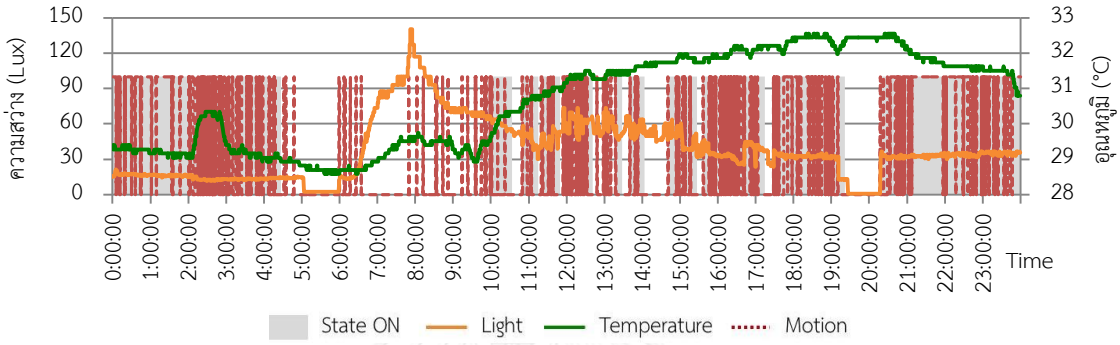
รูปที่ 5-26 สถานะการทำงานของพัดลมที่ควบคุมแบบ Temp, Motion และ Time

14) โคมไฟเลือกรูปแบบการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์วัดความสว่างของแสง, การควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและการควบคุมอัตโนมัติด้วยเวลา โดยที่ตั้งค่าความสว่างของแสงน้อยที่สุดที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าปิด 25 Lux ค่าความสว่างของแสงมากที่สุดที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าเปิด 70 Lux ค่าอุณหภูมิต่ำที่สุดที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าเปิด 29 °C ค่าอุณหภูมิสูงที่สุดที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าปิด 31 °C และเวลาเปิดปิดแบบทำงานแค่วันเดียวเวลาเปิด 00:00 น. เวลาปิด 08:00 น. แสดงผลสถานะการทำงานของโคมไฟแสดงดังรูปที่ 5-27



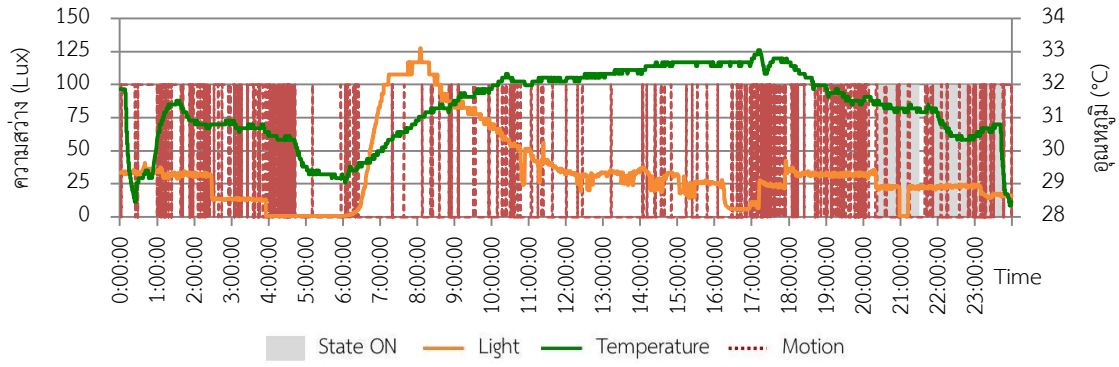
รูปที่ 5-27 สถานะการทำงานของโคมไฟที่ควบคุมแบบ Light, Temp และ Time

15) พัดลมเลือกรูปแบบการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ, การควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์วัดความสว่างของแสงและการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์ตรวจวัดการเคลื่อนไหว โดยที่ตั้งค่าอุณหภูมิต่ำที่สุดที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าเปิด 29 °C ค่าอุณหภูมิสูงที่สุดที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าปิด 30 °C ค่าความสว่างของแสงน้อยที่สุดที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าปิด 25 Lux ค่าความสว่างของแสงมากที่สุดที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าเปิด 65 Lux และค่ากำหนดช่วงเวลาที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าเปิด 10 นาที แสดงผลสถานะการทำงานของพัดลมแสดงดังรูปที่ 5-28



รูปที่ 5-28 สถานะการทำงานของพัดลมที่ควบคุมแบบ Temp, Light และ Motion

16) โคมไฟเลือกรูปแบบการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์วัดความสว่างของแสง, การควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ, การควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์ตรวจวัดการเคลื่อนไหวและการควบคุมอัตโนมัติด้วยเวลา โดยที่ตั้งค่าความสว่างของแสงน้อยที่สุดที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าปิด 20 Lux ค่าความสว่างของแสงมากที่สุดที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าเปิด 30 Lux ค่าอุณหภูมิต่ำที่สุดที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าเปิด 30 °C ค่าอุณหภูมิสูงที่สุดที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าปิด 31 °C ค่ากำหนดช่วงเวลาที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าเปิด 15 นาที และเวลาเปิดปิดแบบทำงานแค่วันเดียวเวลาเปิด 18:00 น. เวลาปิด 23:59 น. แสดงผลสถานะการทำงานของโคมไฟแสดงดังรูปที่ 5-29



รูปที่ 5-29 สถานะการทำงานของโคมไฟที่ควบคุมแบบ Light, Temp, Motion และ Time

เมื่อนำการทดสอบรูปแบบต่างๆ มาตรวจสอบการทำงานว่าเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดหรือไม่ ได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 5-3

ตารางที่ 5-3 ทดสอบการทำงานของการควบคุมอัตโนมัติรูปแบบต่างๆ

เครื่องใช้ไฟฟ้า	Light	Temp	Motion	Time	การทำงาน
โคมไฟ	ไม่เลือก	ไม่เลือก	ไม่เลือก	ไม่เลือก	ถูกต้อง
โคมไฟ	เลือก	ไม่เลือก	ไม่เลือก	ไม่เลือก	ถูกต้อง
โคมไฟ	เลือก	ไม่เลือก	ไม่เลือก	เลือก	ถูกต้อง
โคมไฟ	เลือก	ไม่เลือก	เลือก	ไม่เลือก	ถูกต้อง
โคมไฟ	เลือก	ไม่เลือก	เลือก	เลือก	ถูกต้อง
โคมไฟ	เลือก	เลือก	ไม่เลือก	เลือก	ถูกต้อง
โคมไฟ	เลือก	เลือก	เลือก	เลือก	ถูกต้อง
อุปกรณ์ชาร์จโทรศัพท์มือถือ	ไม่เลือก	ไม่เลือก	ไม่เลือก	เลือก	ถูกต้อง
โทรทัศน์	ไม่เลือก	ไม่เลือก	เลือก	ไม่เลือก	ถูกต้อง
โทรทัศน์	ไม่เลือก	ไม่เลือก	เลือก	เลือก	ถูกต้อง
พัดลม	ไม่เลือก	เลือก	ไม่เลือก	ไม่เลือก	ถูกต้อง
พัดลม	ไม่เลือก	เลือก	ไม่เลือก	เลือก	ถูกต้อง
พัดลม	ไม่เลือก	เลือก	เลือก	ไม่เลือก	ถูกต้อง
พัดลม	ไม่เลือก	เลือก	เลือก	เลือก	ถูกต้อง
พัดลม	เลือก	เลือก	ไม่เลือก	ไม่เลือก	ถูกต้อง
พัดลม	เลือก	เลือก	เลือก	ไม่เลือก	ถูกต้อง

<u>สรุปผลการทดสอบ</u>

จากการทดสอบการทำงานของการควบคุมอัตโนมัติรูปแบบต่างๆ พบว่าการทำงานเป็นไปตามเงื่อนไขที่ได้พัฒนาทุกรูปแบบ

5.4 ทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรด

อุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรดมีหลักการทำงานคือเลียนแบบสัญญาณอินฟราเรดจากรีโมทคอนโทรลของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต้องการควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติ จึงนำมาทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรดว่าสามารถเลียนแบบสัญญาณอินฟราเรดจากรีโมทคอนโทรลของเครื่องใช้ไฟฟ้าได้และสามารถนำไปควบคุมการทำงานเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านแบบอัตโนมัติได้

5.4.1 ทดสอบการเลียนแบบสัญญาณอินฟราเรด

<u>วัตถุประสงค์การทดสอบ</u> ต้องการทราบความสามารถของอุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรดในการเลียนแบบสัญญาณอินฟราเรดจากรีโมทคอนโทรลของเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดต่างๆ และนำสัญญาณอินฟราเรดที่เลียนแบบได้ไปควบคุมการทำงานเครื่องใช้ไฟฟ้านั้นๆ ได้

<u>เครื่องมือในการทดสอบ</u>

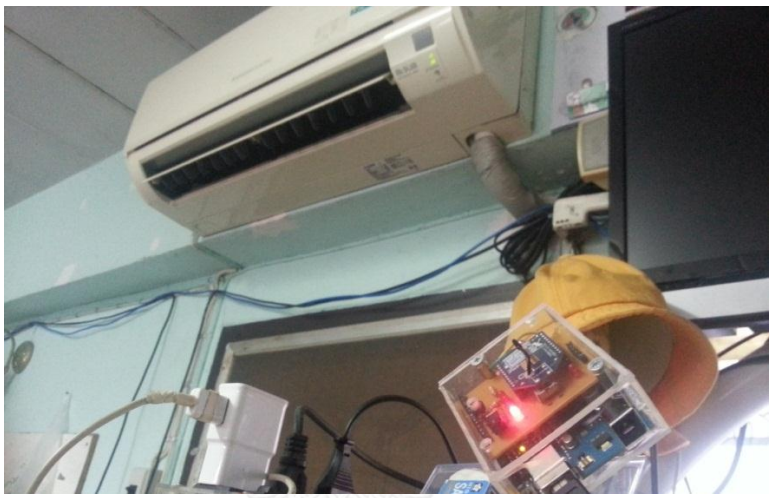
1) อุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรด
2) อุปกรณ์ส่วนการประมวลผล
3) เครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดต่างๆ ภายในบ้านที่ใช้รีโมทคอนโทรลได้
4) เราเตอร์

<u>วิธีการทดสอบ</u>

1) ติดตั้งอุปกรณ์ส่วนการประมวลผลไว้ภายในห้องและต่อเข้ากับเราเตอร์ให้ระบบทำงานได้ปกติ
2) นำอุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรดมาเลียนแบบสัญญาณอินฟราเรดจากรีโมทคอนโทรลของเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดต่างๆ ไปเก็บยังอุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรด โดยเริ่มจากชี้รีโมทคอนโทรลของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต้องการไปทางอุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรดเพื่อให้อุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรดได้บันทึกรูปแบบสัญญาณอินฟราเรดนั้น แล้วทำการกดรีโมทคอนโทรลของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต้องการที่ปุ่มเปิดและปุ่มปิดตามลำดับ
3) ติดตั้งอุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรดในระยะที่สามารถส่งสัญญาณอินฟราเรดถึงเครื่องใช้ไฟฟ้าได้
4) ควบคุมการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดต่างๆ แบบการควบคุมด้วยตัวผู้ใช้เองผ่านเว็บบราวเซอร์ โดยกดเปิดและปิดเพื่อทดสอบว่าสัญญาณอินฟราเรดที่เลียนแบบสามารถส่งไปควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดนั้นๆ ในการเปิดและปิดได้

ผลการทดสอบ

เมื่อนำอุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรดมาเลียนแบบสัญญาณอินฟราเรดจากรีโมทคอนโทรลของเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดต่างๆ แล้วติดตั้งไว้ในระยะที่สามารถส่งสัญญาณอินฟราเรดถึงเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดนั้นได้แสดงดังรูปที่ 5-30 และทดสอบว่าสัญญาณอินฟราเรดที่เลียนแบบนั้นสามารถส่งไปควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดนั้นๆ ในการเปิดและปิดได้ โดยกดเปิดและปิดในการควบคุมการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดต่างๆ แบบการควบคุมด้วยตัวผู้ใช้เองผ่านเว็บบราวเซอร์ดังแสดงผลการทดสอบในตารางที่ 5-4



รูปที่ 5-30 สถานที่ในการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรด

ตารางที่ 5-4 ทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรดกับเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดต่างๆ

เครื่องใช้ไฟฟ้า		**การควบคุม**	
ชนิด	**ยี่ห้อ**	**เปิด**	**ปิด**
พัดลม	Mitsubishi	ถูกต้อง	ถูกต้อง
	Hatari	ถูกต้อง	ถูกต้อง
โทรทัศน์	Toshiba	ถูกต้อง	ถูกต้อง
	Panasonic	ถูกต้อง	ถูกต้อง
	Samsung	ถูกต้อง	ถูกต้อง
กล่องรับสัญญาณทีวีดิจิตอล	Createch	ถูกต้อง	ถูกต้อง
เครื่องปรับอากาศ	Mitsubishi	ถูกต้อง	ถูกต้อง

สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรด พบว่าอุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรดสามารถเลียนแบบสัญญาณอินฟราเรดจากรีโมทคอนโทรลของเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดต่างๆ และนำไปควบคุมการเปิดปิดของเครื่องใช้ไฟฟ้านั้นๆ แบบการควบคุมด้วยตัวผู้ใช้เองบนเว็บบราวเซอร์ได้

5.4.2 ทดสอบการควบคุมการทำงานเครื่องใช้ไฟฟ้า (ชนิดที่มีรีโมทคอนโทรล) แบบอัตโนมัติ

วัตถุประสงค์การทดสอบ ต้องการทราบความสามารถของอุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรดที่ทำงานร่วมกับระบบในการควบคุมการทำงานเครื่องใช้ไฟฟ้า (ชนิดที่มีรีโมทคอนโทรล) ภายในบ้านแบบอัตโนมัติได้

เครื่องมือในการทดสอบ
1) อุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรด
2) อุปกรณ์ส่วนการประมวลผล
3) อุปกรณ์ส่วนเซ็นเซอร์
4) ห้องขนาด 4x4 เมตร
5) เครื่องปรับอากาศ
6) เราเตอร์

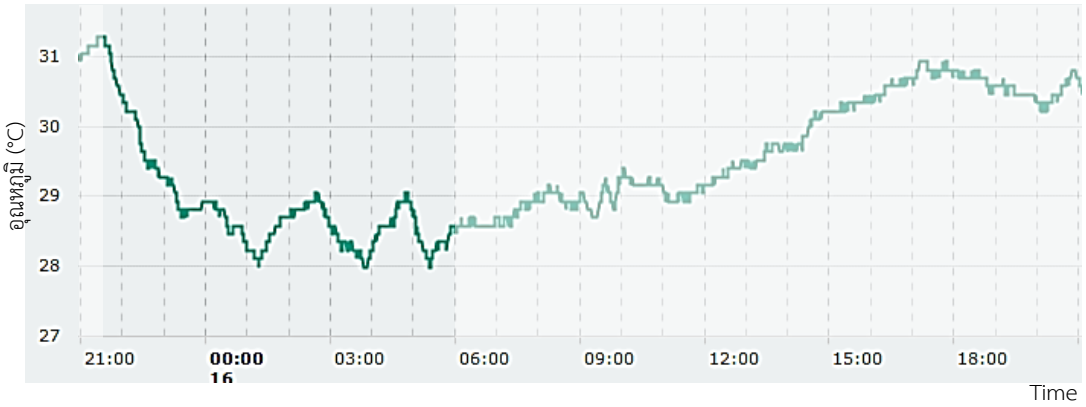
วิธีการทดสอบ
1) ติดตั้งอุปกรณ์ส่วนการประมวลผลไว้ภายในห้องและต่อเข้ากับเราเตอร์ให้ระบบทำงานได้ปกติ
2) ติดตั้งอุปกรณ์ส่วนเซ็นเซอร์ไว้บนเพดานภายในห้อง
3) นำอุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรดมาเลียนแบบสัญญาณอินฟราเรดจากรีโมทคอนโทรลของเครื่องปรับอากาศไปเก็บยังอุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรด โดยเริ่มจากชี้รีโมทคอนโทรลของเครื่องปรับอากาศไปทางอุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรดเพื่อให้อุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรดได้บันทึกรูปแบบสัญญาณอินฟราเรดนั้น แล้วทำการกดรีโมทคอนโทรลของเครื่องปรับอากาศที่ปุ่มเปิด 25 ℃ และปุ่มปิดตามลำดับ
4) ติดตั้งอุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรดในระยะที่สามารถส่งสัญญาณอินฟราเรดถึงเครื่องปรับอากาศได้
5) ตั้งค่าการทำงานการควบคุมอัตโนมัติผ่านเว็บบราวเซอร์

ผลการทดสอบ

การติดตั้งอุปกรณ์ส่วนการประมวลผลและอุปกรณ์ส่วนเซ็นเซอร์จะมีลักษณะเช่นเดียวกับการทดสอบ 5.3 และการติดตั้งอุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรดจะมีลักษณะเช่นเดียวกับการทดสอบ 5.4.1

การทดสอบเลือกรูปแบบการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและการควบคุมอัตโนมัติด้วยเวลา โดยที่ตั้งค่าอุณหภูมิต่ำที่สุดที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าเปิด 28 ℃ ค่าอุณหภูมิสูงที่สุดที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าปิด 29 ℃ และเวลาเปิดปิดแบบทำงานเหมือนกันทุกวันเวลาเปิด 21:30 น. เวลาปิด 06:00 น. แสดงผลอุณหภูมิภายในห้องดังรูปที่ 5-31 จะสังเกตเห็นว่า

- เวลา 21:30 น. ของวันที่ 15 อุณหภูมิภายในห้องเริ่มลดลงเนื่องจากระบบสั่งเปิดเครื่องปรับอากาศตามช่วงเวลาที่ตั้งค่าไว้
- เวลา 01:17 น. ของวันที่ 16 อุณหภูมิภายในห้องต่ำกว่า 28 ℃ ดังนั้นระบบสั่งปิดเครื่องปรับอากาศ
- เวลา 02:39 น. ของวันที่ 16 อุณหภูมิภายในห้องสูงกว่า 29 ℃ ดังนั้นระบบสั่งเปิดเครื่องปรับอากาศ
- เวลา 03:51 น. ของวันที่ 16 อุณหภูมิภายในห้องต่ำกว่า 28 ℃ ดังนั้นระบบสั่งปิดเครื่องปรับอากาศ
- เวลา 04:51 น. ของวันที่ 16 อุณหภูมิภายในห้องสูงกว่า 29 ℃ ดังนั้นระบบสั่งเปิดเครื่องปรับอากาศ
- เวลา 05:24 น. ของวันที่ 16 อุณหภูมิภายในห้องต่ำกว่า 28 ℃ ดังนั้นระบบสั่งปิดเครื่องปรับอากาศ
- เวลา 06:00 น. ของวันที่ 16 อุณหภูมิภายในห้องเริ่มสูงขึ้น เนื่องจากระบบสั่งปิดเครื่องปรับอากาศตามช่วงเวลาที่ตั้งค่าไว้



รูปที่ 5-31 อุณหภูมิภายในห้อง

สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบพบว่าอุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรดสามารถทำงานร่วมกับระบบในการควบคุมการทำงานเครื่องปรับอากาศแบบอัตโนมัติได้

5.5 ทดสอบการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของการใช้งานระบบ

ตามวัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ในด้านการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของการใช้งานระบบควบคุมการทำงานเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านแบบอัตโนมัติ จึงทดสอบระบบที่พัฒนาสำหรับระบบการจัดการพลังงานภายในบ้านซึ่งจะช่วยให้การใช้พลังงานไฟฟ้าในบ้านมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

วัตถุประสงค์การทดสอบ การใช้งานระบบควบคุมการทำงานเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านแบบอัตโนมัติจะช่วยให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้าภายในบ้านได้หรือไม่

เครื่องมือในการทดสอบ
1) ห้องขนาด 4x4 เมตร
2) อุปกรณ์ส่วนการประมวลผล
3) อุปกรณ์ส่วนควบคุม
4) อุปกรณ์ส่วนเซ็นเซอร์
5) อุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรด
6) เราเตอร์
7) โคมไฟ
8) โทรทัศน์
9) โน๊ตบุ๊ค
10) พัดลม
11) เครื่องปรับอากาศ
12) FLUKE 43B

วิธีการทดสอบ
1) ติดตั้งอุปกรณ์ส่วนการประมวลผลไว้ภายในห้องและต่อเข้ากับเราเตอร์ให้ระบบทำงานได้ปกติ
2) ติดตั้งอุปกรณ์ส่วนเซ็นเซอร์ไว้บนเพดานภายในห้อง
3) ติดตั้งอุปกรณ์ส่วนควบคุมไว้ภายในห้องและนำเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ มาเสียบปลั๊กอุปกรณ์ส่วนควบคุมซึ่งได้แก่ โคมไฟ, โทรทัศน์, โน๊ตบุ๊คและพัดลม
4) นำอุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรดมาเลียนแบบสัญญาณอินฟราเรดจากรีโมทคอนโทรลของเครื่องปรับอากาศไปเก็บยังอุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรด โดยเริ่มจากชี้รีโมทคอนโทรลของเครื่องปรับอากาศไปทางอุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรดเพื่อให้อุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรดได้บันทึกรูปแบบสัญญาณอินฟราเรดนั้น แล้วทำการกดรีโมทคอนโทรล

ของเครื่องปรับอากาศที่ปุ่มเปิด 25 ℃ เปิด 26 ℃ เปิด 27 ℃ และปิด ตามลำดับ

5) ติดตั้งอุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรดในระยะที่สามารถส่งสัญญาณอินฟราเรดถึงเครื่องปรับอากาศได้
6) ตั้งค่าการทำงานการควบคุมอัตโนมัติรูปแบบต่างๆ ผ่านเว็บบราวเซอร์
7) ใช้ FLUKE 43B วัดกระแสของเครื่องปรับอากาศและบันทึกผล
8) คำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ

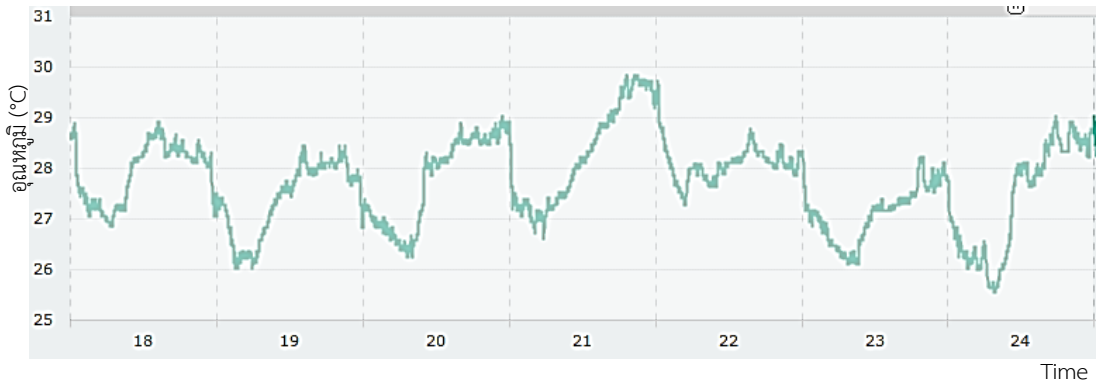
ผลการทดสอบ

การติดตั้งอุปกรณ์ส่วนการประมวลผล อุปกรณ์ส่วนเซ็นเซอร์และอุปกรณ์ส่วนควบคุม จะมีลักษณะเช่นเดียวกับการทดสอบ 5.3 และการติดตั้งอุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรดจะมีลักษณะเช่นเดียวกับการทดสอบ 5.4.1

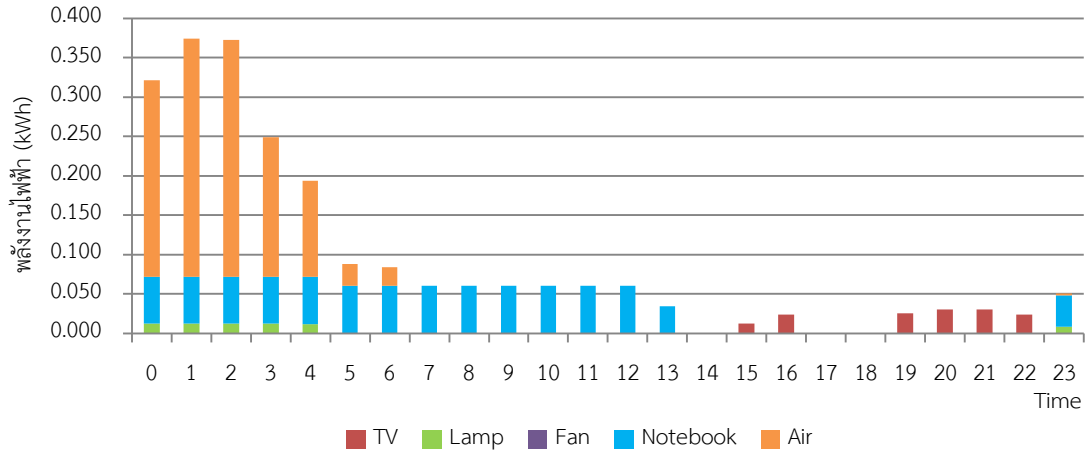
การทดสอบการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของการใช้งานระบบใช้ระยะเวลาในการทดสอบสองสัปดาห์ โดยแบ่งเป็นสองช่วงการทดสอบคือช่วงสัปดาห์แรกวันที่ 18 - 24 ธันวาคม 2557 เป็นการบันทึกผลการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในห้องก่อนใช้งานระบบ โดยที่ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ได้อย่างอิสระปราศจากการควบคุม ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในห้องก่อนใช้งานระบบแสดงดังตารางที่ 5-5 รูปที่ 5-32 แสดงอุณหภูมิภายในห้องของช่วงสัปดาห์แรก และรูปที่ 5-33 ถึง 5-39 แสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในห้องก่อนใช้งานระบบของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวัน

ตารางที่ 5-5 การใช้พลังงานไฟฟ้าภายในห้องก่อนใช้งานระบบ (หน่วยคือวัตต์-ชั่วโมง)

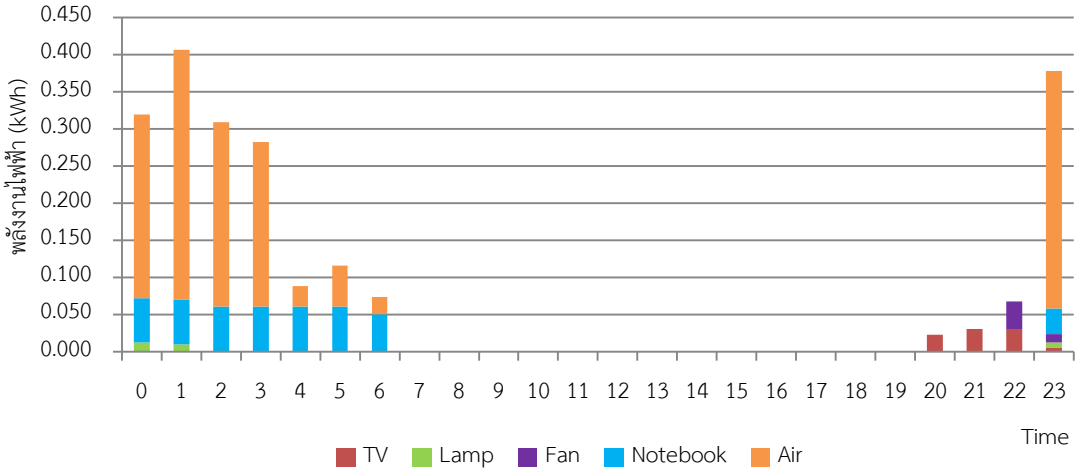
วันที่	โทรทัศน์	โคมไฟ	พัดลม	โน๊ตบุ๊ค	เครื่องปรับอากาศ	รวม
18	144.533	67.850	0.000	854.367	1204.796	2271.546
19	87.692	28.843	48.681	443.933	1483.242	2092.391
20	334.592	66.653	96.641	558.150	1303.158	2359.194
21	177.629	52.337	260.944	328.617	1774.490	2594.016
22	87.167	64.267	0.000	318.117	2040.968	2510.518
23	72.917	59.600	0.000	964.017	1305.474	2402.007
24	45.083	61.930	286.611	855.567	832.193	2081.385
รวม	949.612	401.480	692.878	4322.767	9944.320	16311.057



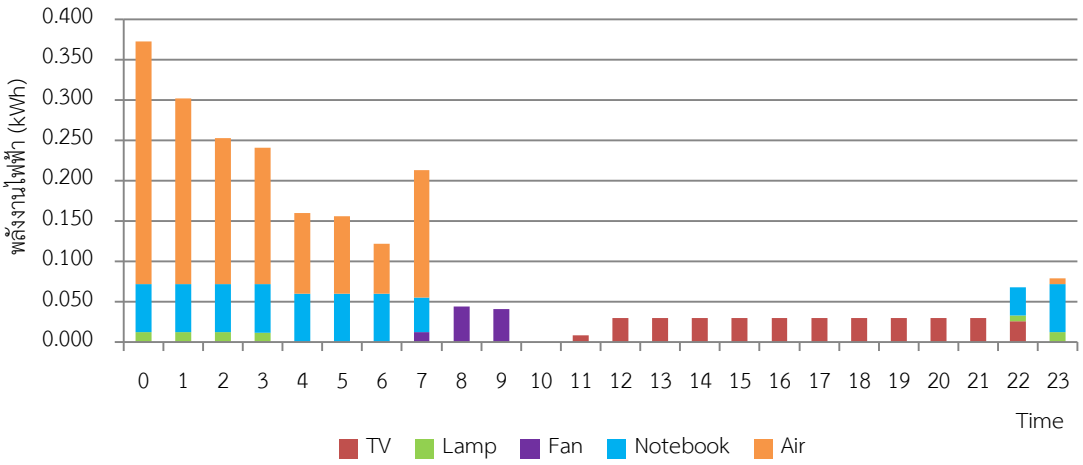
รูปที่ 5-32 อุณหภูมิภายในห้องของช่วงสัปดาห์แรก



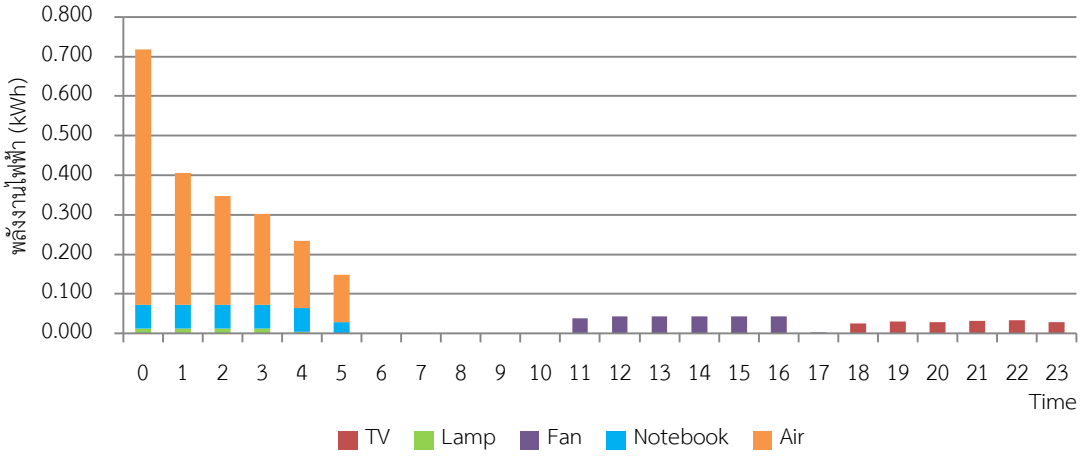
รูปที่ 5-33 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 18 ธ.ค. 57



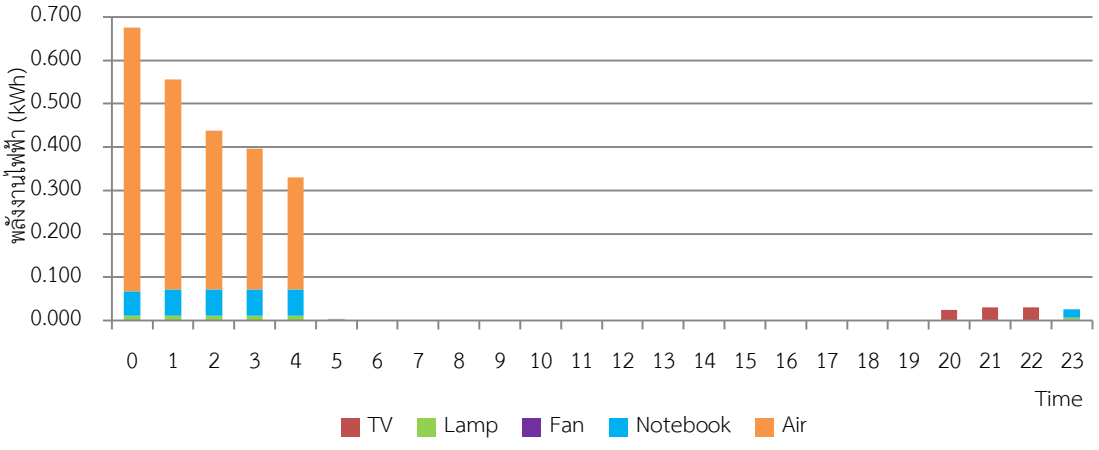
รูปที่ 5-34 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 19 ธ.ค. 57



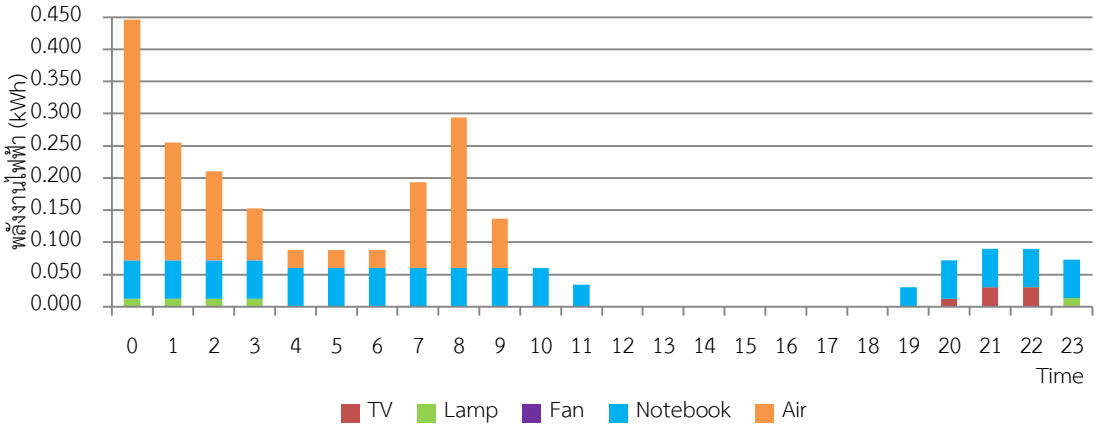
รูปที่ 5-35 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 20 ธ.ค. 57



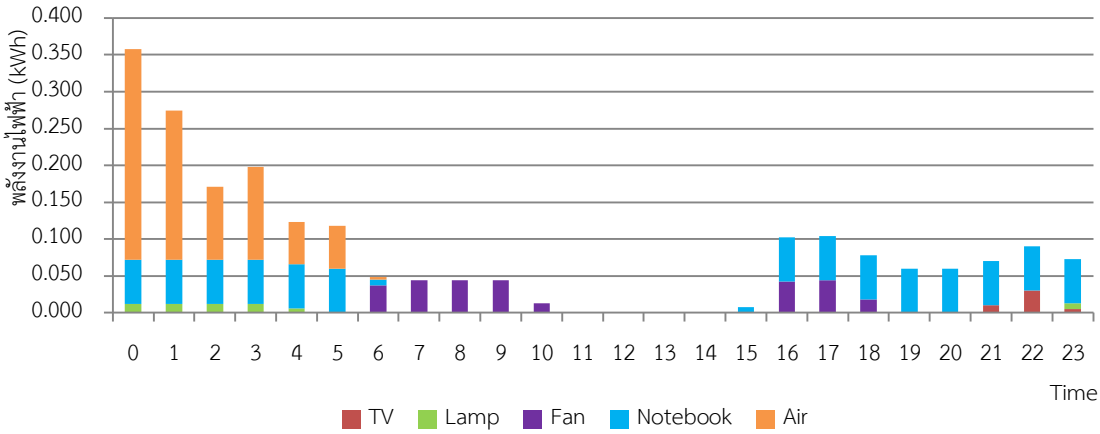
รูปที่ 5-36 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 21 ธ.ค. 57



รูปที่ 5-37 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 22 ธ.ค. 57



รูปที่ 5-38 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 23 ธ.ค. 57



รูปที่ 5-39 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 24 ธ.ค. 57

ช่วงสัปดาห์ที่สองวันที่ 25 - 31 ธันวาคม 2557 เป็นการบันทึกผลการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในห้องขณะใช้งานระบบ โดยที่ผู้ใช้ไฟฟ้าตั้งค่าการควบคุมอัตโนมัติรูปแบบต่างๆ ให้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าผ่านหน้าเว็บบราวเซอร์ของการควบคุมดังนี้

โทรทัศน์และพัดลมไม่มีการตั้งค่าการควบคุมอัตโนมัติเนื่องจากมีช่วงเวลาการใช้งานที่ไม่แน่นอน จึงเป็นการควบคุมด้วยตัวผู้ใช้เองและสามารถดูสถานะการทำงานผ่านหน้าเว็บบราวเซอร์ได้

โคมไฟเลือกรูปแบบการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์วัดความสว่างของแสง, การควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์ตรวจวัดการเคลื่อนไหวและการควบคุมอัตโนมัติด้วยเวลา โดยที่ตั้งค่าความสว่างของแสงน้อยที่สุดที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าปิด 3 Lux ค่าความสว่างของแสงมากที่สุดที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าเปิด 14 Lux ค่ากำหนดช่วงเวลาที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าเปิด 10 นาที และเวลาเปิดปิดแบบทำงานเหมือนกันทุกวันเวลาเปิด 22:00 น. เวลาปิด 06:00 น.

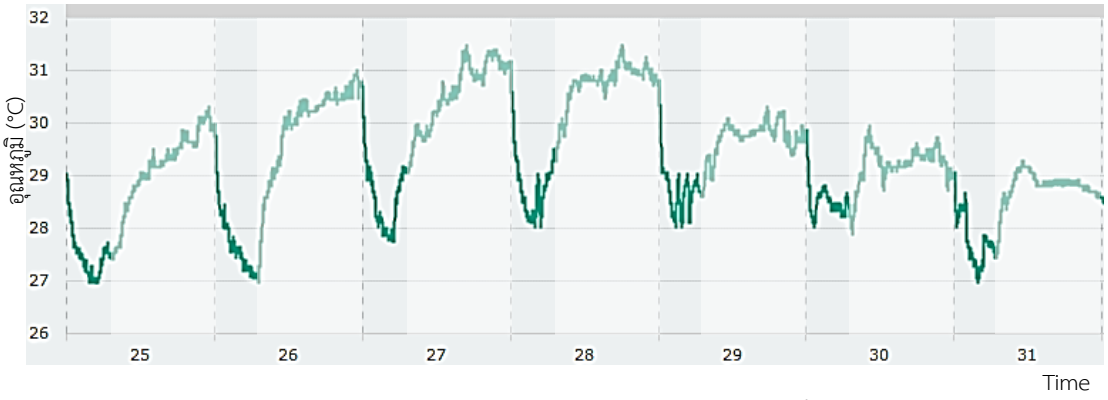
โน๊ตบุ๊คเลือกรูปแบบการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์ตรวจวัดการเคลื่อนไหวและการควบคุมอัตโนมัติด้วยเวลา โดยที่ตั้งค่ากำหนดช่วงเวลาที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าเปิด 15 นาที และเวลาเปิดปิดแบบทำงานเหมือนกันทุกวันเวลาเปิด 22:00 น. เวลาปิด 06:00 น.

เครื่องปรับอากาศเลือกรูปแบบการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและการควบคุมอัตโนมัติด้วยเวลา โดยที่ตั้งค่าเวลาเปิดปิดแบบทำงานเหมือนกันทุกวันเวลาเปิด 00:00 น. เวลาปิด 05:00 น. และอุณหภูมิต่ำที่สุดที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าเปิด 27 ℃ และค่าอุณหภูมิสูงที่สุดที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าปิด 28 ℃ ในวันที่ 25, 26, 27, 31 อุณหภูมิต่ำที่สุดที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าเปิด 28 ℃ และค่าอุณหภูมิสูงที่สุดที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าปิด 29 ℃ ในวันที่ 28, 29, 30

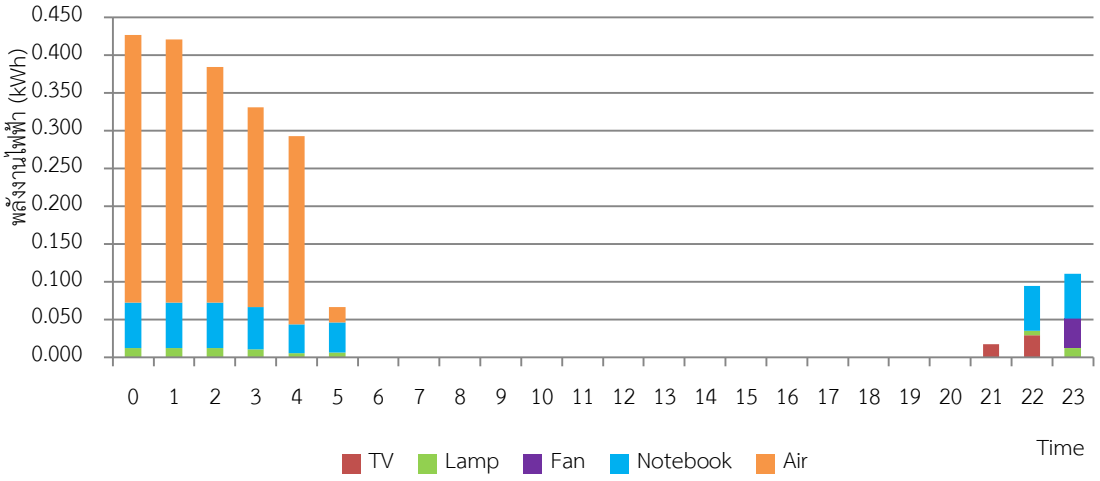
ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในห้องขณะใช้งานระบบแสดงดังตารางที่ 5-6 รูปที่ 5-40 แสดงอุณหภูมิภายในห้องของช่วงสัปดาห์ที่สอง และรูปที่ 5-41 ถึง 5-47 แสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในห้องขณะใช้งานระบบของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวัน

ตารางที่ 5-6 การใช้พลังงานไฟฟ้าภายในห้องขณะใช้งานระบบ (หน่วยคือวัตต์-ชั่วโมง)

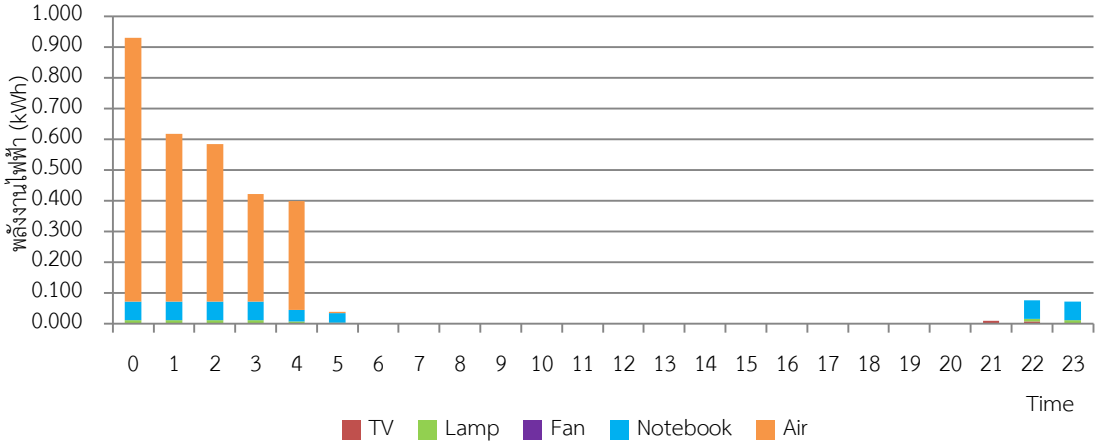
วันที่	โทรทัศน์	โคมไฟ	พัดลม	โน๊ตบุ๊ค	เครื่องปรับอากาศ	รวม
25	46.592	76.753	38.842	433.000	1550.169	2145.356
26	16.767	82.310	0.000	427.133	2624.337	3150.547
27	0.000	65.590	29.248	421.783	4051.213	4567.834
28	0.000	64.553	24.261	389.900	3397.197	3875.912
29	0.000	50.210	68.334	369.750	3126.827	3615.121
30	0.000	62.867	0.000	418.017	939.095	1419.978
31	0.000	72.000	0.000	360.000	1288.555	1720.555
รวม	63.358	474.283	160.686	2819.583	16977.393	20495.304



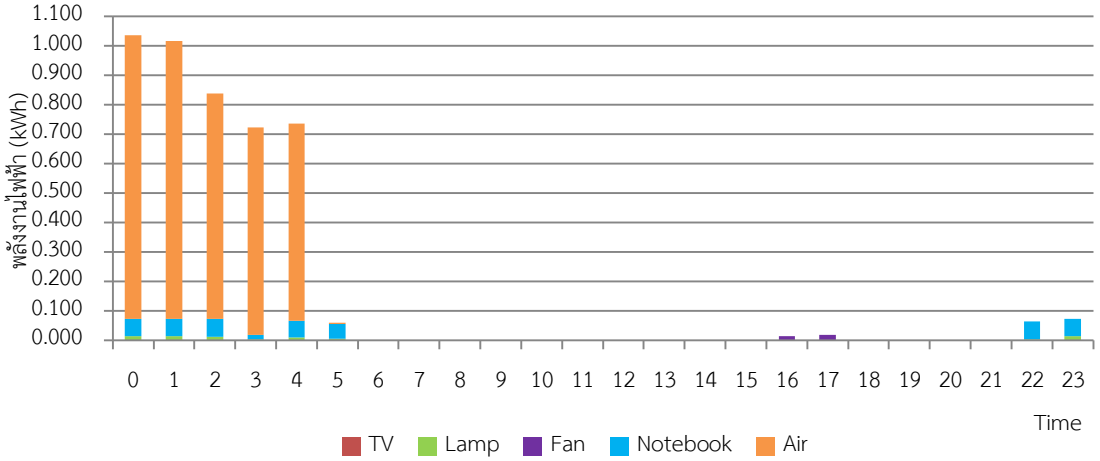
รูปที่ 5-40 อุณหภูมิภายในห้องของช่วงสัปดาห์ที่สอง



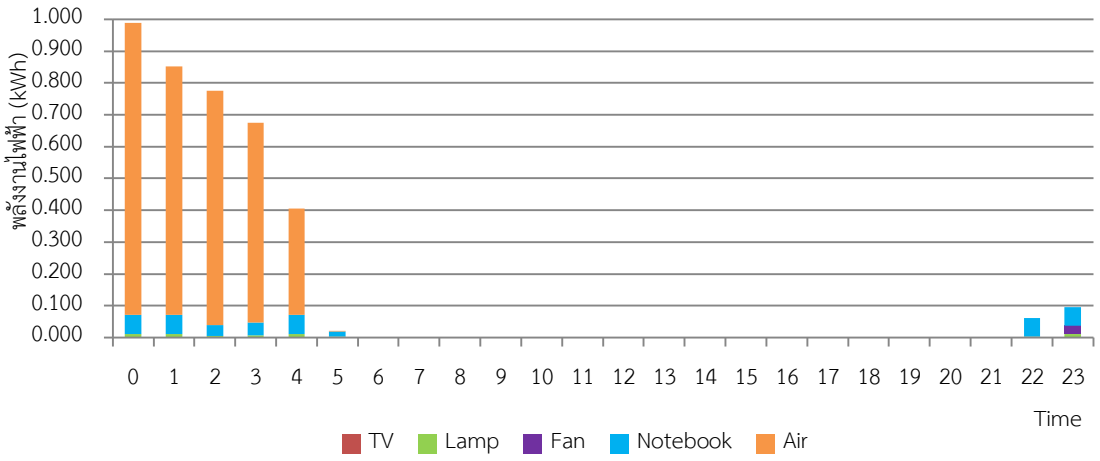
รูปที่ 5-41 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 25 ธ.ค. 57



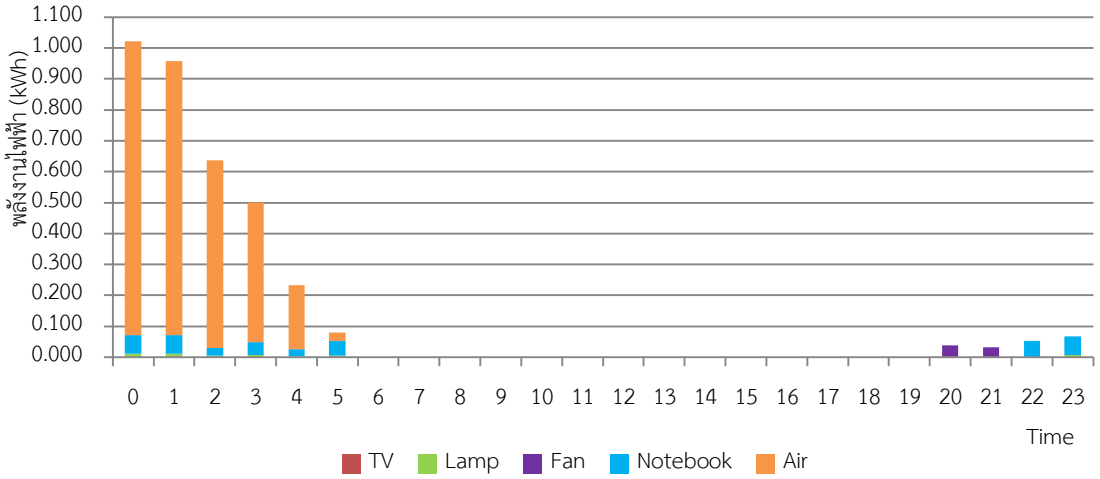
รูปที่ 5-42 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 26 ธ.ค. 57



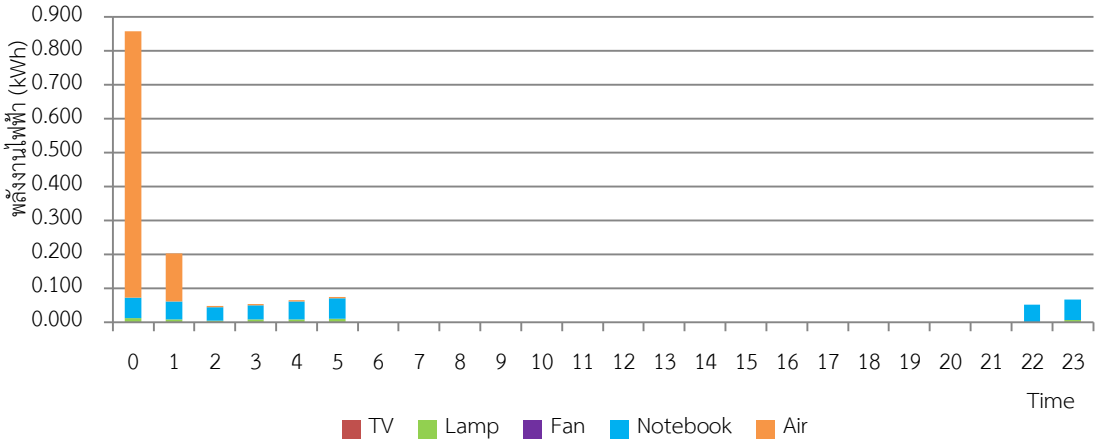
รูปที่ 5-43 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 27 ธ.ค. 57



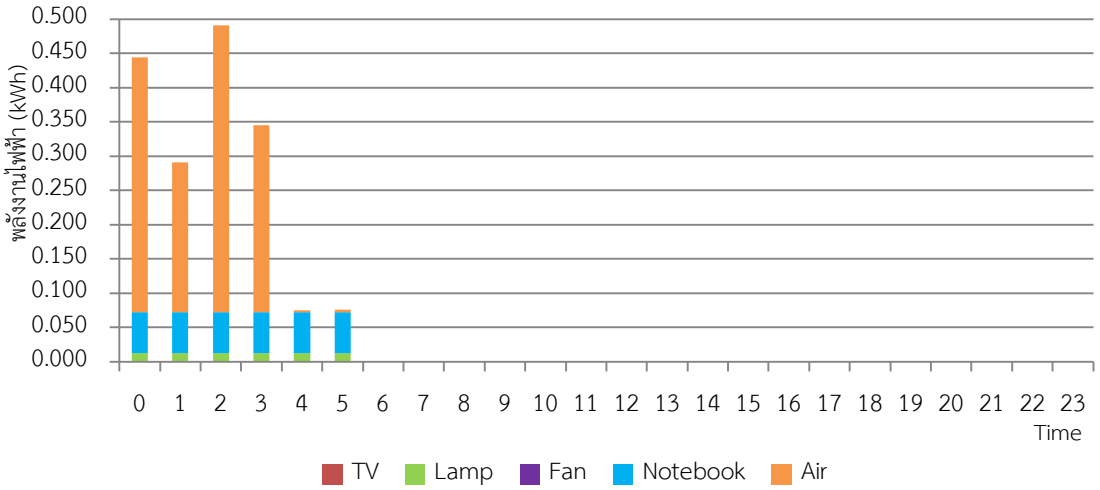
รูปที่ 5-44 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 28 ธ.ค. 57



รูปที่ 5-45 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 29 ธ.ค. 57



รูปที่ 5-46 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 30 ธ.ค. 57



รูปที่ 5-47 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 31 ธ.ค. 57

จากการบันทึกผลการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในห้องก่อนและขณะใช้งานระบบใช้ระยะเวลาในการทดสอบสองสัปดาห์ เมื่อนำมาเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าก่อนและขณะใช้งานระบบแสดงดังตารางที่ 5-7 จะเห็นว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในห้องขณะใช้งานระบบมีค่ามากกว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในห้องก่อนใช้งานระบบ เนื่องจากอุณหภูมิภายในห้องช่วงสัปดาห์แรกต่ำกว่าอุณหภูมิภายในห้องช่วงสัปดาห์ที่สองทำให้เครื่องปรับอากาศใช้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้น ดังแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายในห้องระหว่างการทดสอบการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของการใช้งานระบบในรูปที่ 5-48

ตารางที่ 5-7 เปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าก่อนและขณะใช้งานระบบ (หน่วยคือวัตต์-ชั่วโมง)

การใช้งานระบบ	โทรทัศน์	โคมไฟ	พัดลม	โน๊ตบุ๊ค	เครื่องปรับอากาศ	รวม
ก่อน	949.612	401.480	692.878	4322.767	9944.320	16311.057
ขณะ	63.358	474.283	160.686	2819.583	16977.393	20495.304
ผลต่าง	-886.254	+72.803	-532.192	-1503.184	+7033.073	+4184.247

รูปที่ 5-48 อุณหภูมิภายในห้องระหว่างการทดสอบการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของการใช้งานระบบ

จึงทำการทดสอบใหม่แบบวันต่อวันสลับกันเพื่อให้อุณหภูมิภายในห้องในช่วงการทดสอบต่างกันน้อยที่สุดและใช้ระยะเวลาในการทดสอบสองสัปดาห์เท่าเดิมในวันที่ 15 - 28 กุมภาพันธ์ 2558 โดยการทดสอบในวันเลขคี่เป็นการบันทึกผลการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในห้องก่อนใช้งานระบบ โดยที่ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ได้อย่างอิสระปราศจากการควบคุม และในวันเลขคู่เป็นการบันทึกผลการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในห้องขณะใช้งานระบบ โดยที่ผู้ใช้ไฟฟ้าตั้งค่าการควบคุมอัตโนมัติรูปแบบต่างๆ ให้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าผ่านหน้าเว็บบราวเซอร์ของการควบคุมดังนี้

โทรทัศน์และพัดลมไม่มีการตั้งค่าการควบคุมอัตโนมัติเนื่องจากมีช่วงเวลาการใช้งานที่ไม่แน่นอน จึงเป็นการควบคุมด้วยตัวผู้ใช้เองและสามารถดูสถานะการทำงานผ่านหน้าเว็บบราวเซอร์ได้

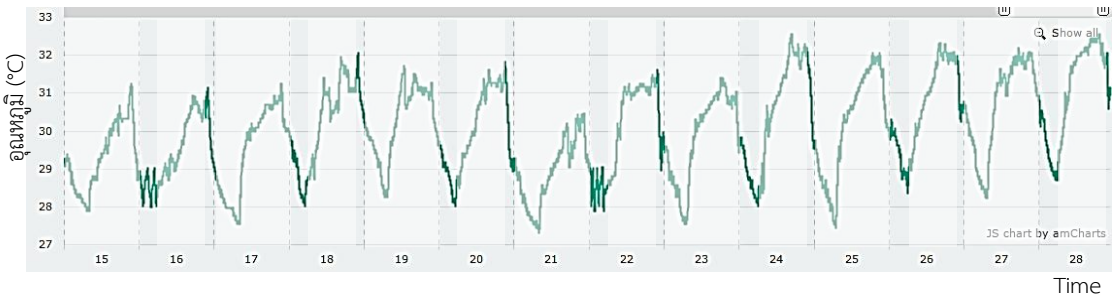
โคมไฟเลือกรูปแบบการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์วัดความสว่างของแสง, การควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์ตรวจวัดการเคลื่อนไหวและการควบคุมอัตโนมัติด้วยเวลา โดยที่ตั้งค่าความสว่างของแสงน้อยที่สุดที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าปิด 3 Lux ค่าความสว่างของแสงมากที่สุดที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าเปิด 30 Lux ค่ากำหนดช่วงเวลาที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าเปิด 10 นาที และเวลาเปิดปิดแบบทำงานเหมือนกันทุกวันเวลาเปิด 20:00 น. เวลาปิด 23:59 น.

โน๊ตบุ๊คเลือกรูปแบบการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์ตรวจวัดการเคลื่อนไหวและการควบคุมอัตโนมัติด้วยเวลา โดยที่ตั้งค่ากำหนดช่วงเวลาที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าเปิด 15 นาที และเวลาเปิดปิดแบบทำงานเหมือนกันทุกวันเวลาเปิด 20:00 น. เวลาปิด 23:59 น.

เครื่องปรับอากาศเลือกรูปแบบการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและการควบคุมอัตโนมัติด้วยเวลา โดยที่ตั้งค่าเวลาเปิดปิดแบบทำงานเหมือนกันทุกวันเวลาเปิด 22:00 น. เวลาปิด 06:00 น. และอุณหภูมิต่ำที่สุดที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าเปิด 28 °C และค่าอุณหภูมิสูงที่สุดที่ยอมให้เครื่องใช้ไฟฟ้าปิด 29 °C

Chulalongkorn University

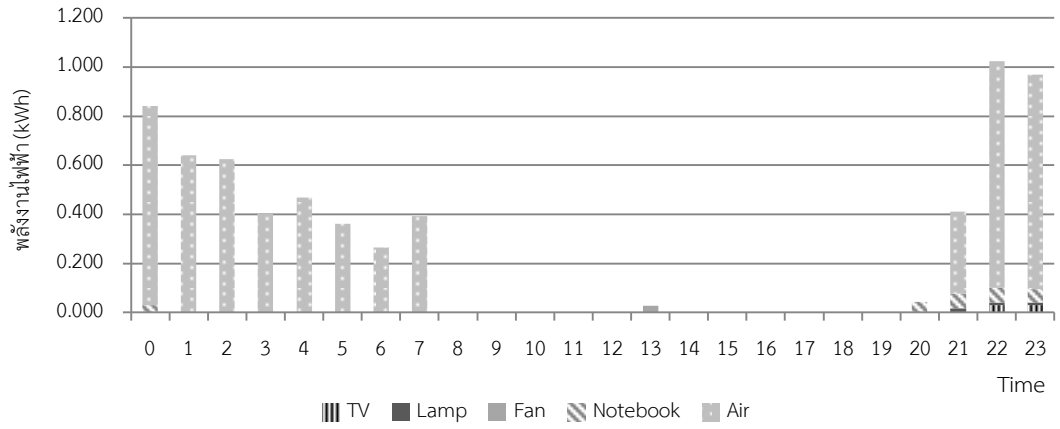
โดยรูปที่ 5-49 แสดงอุณหภูมิภายในห้องของการทดสอบใหม่แบบวันต่อวันสลับกันและผลการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในห้องก่อนใช้งานระบบแสดงดังตารางที่ 5-8 และรูปที่ 5-50 ถึง 5-56 แสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในห้องก่อนใช้งานระบบของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวัน



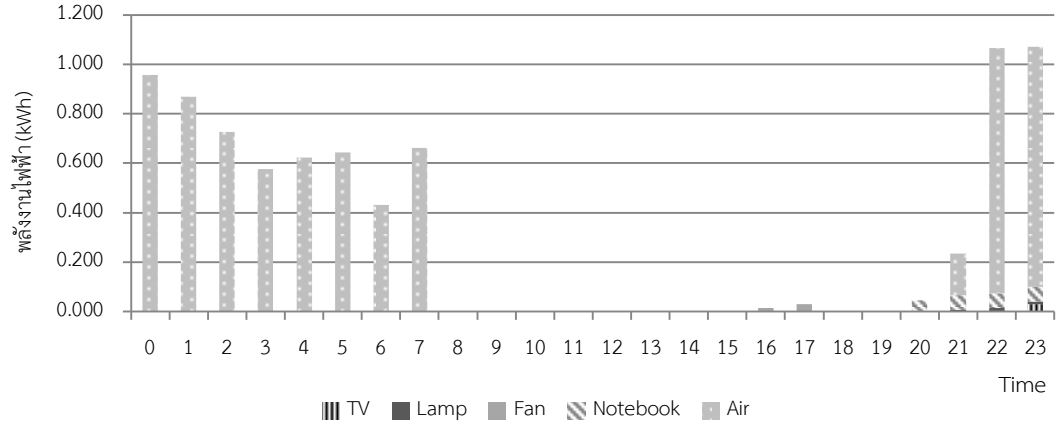
รูปที่ 5-49 อุณหภูมิภายในห้องช่วงวันที่ 15 - 28 กุมภาพันธ์ 2558

ตารางที่ 5-8 การใช้พลังงานไฟฟ้าภายในห้องก่อนใช้งานระบบ (หน่วยคือวัตต์-ชั่วโมง)

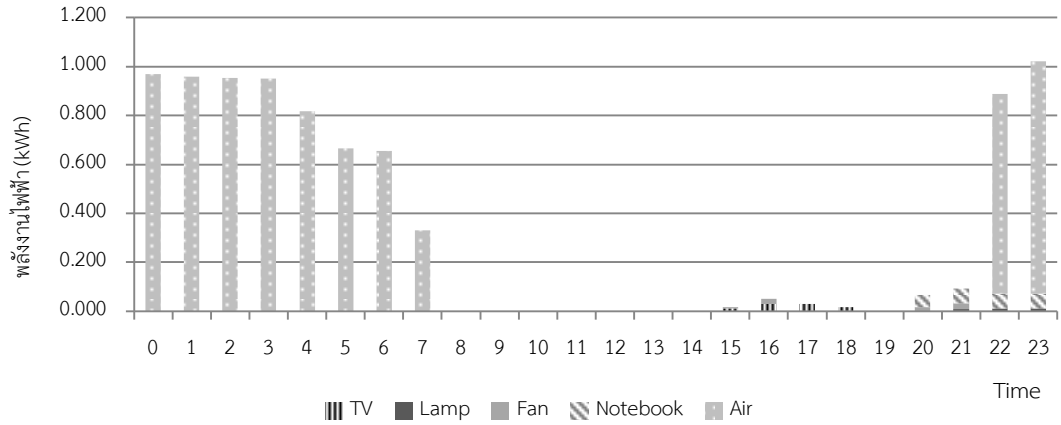
วันที่	โทรทัศน์	โคมไฟ	พัดลม	โน๊ตบุ๊ค	เครื่องปรับอากาศ	รวม
15	65.692	47.263	32.120	239.133	6100.090	6484.299
17	30.800	29.697	43.743	223.000	7626.855	7954.095
19	87.700	33.733	67.283	228.500	8059.538	8476.755
21	94.692	43.483	116.099	226.383	6712.346	7193.003
23	79.250	68.707	228.996	200.733	5806.050	6383.736
25	45.175	43.043	24.933	261.883	7877.714	8252.749
27	34.592	41.930	72.539	209.650	8490.782	8849.493
รวม	437.900	307.857	585.713	1589.283	50673.375	53594.129



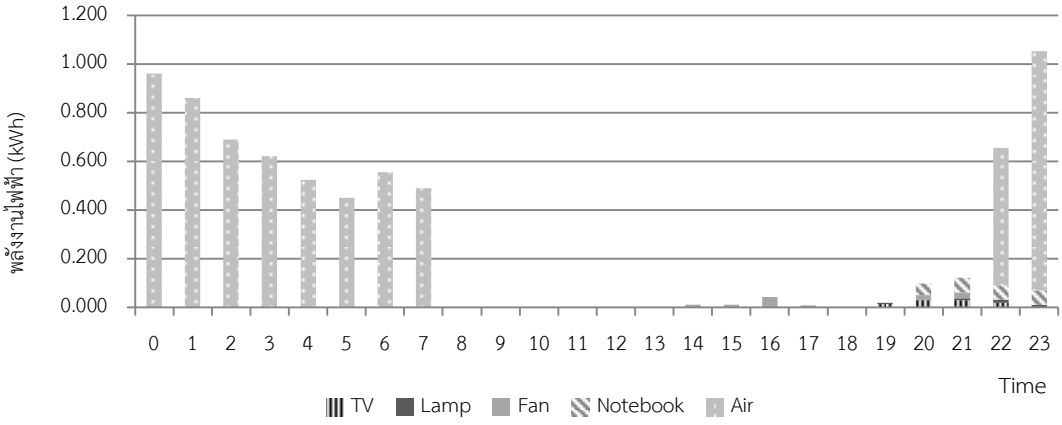
รูปที่ 5-50 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 15 ก.พ. 58



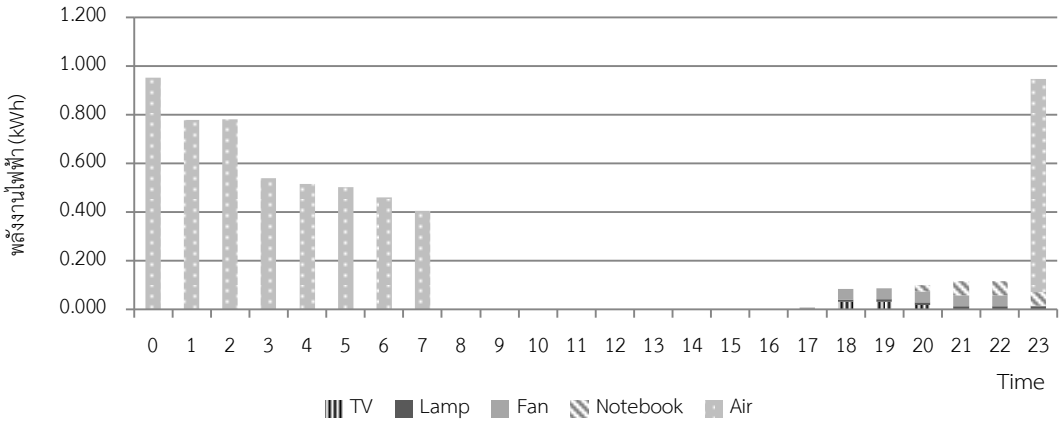
รูปที่ 5-51 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 17 ก.พ. 58



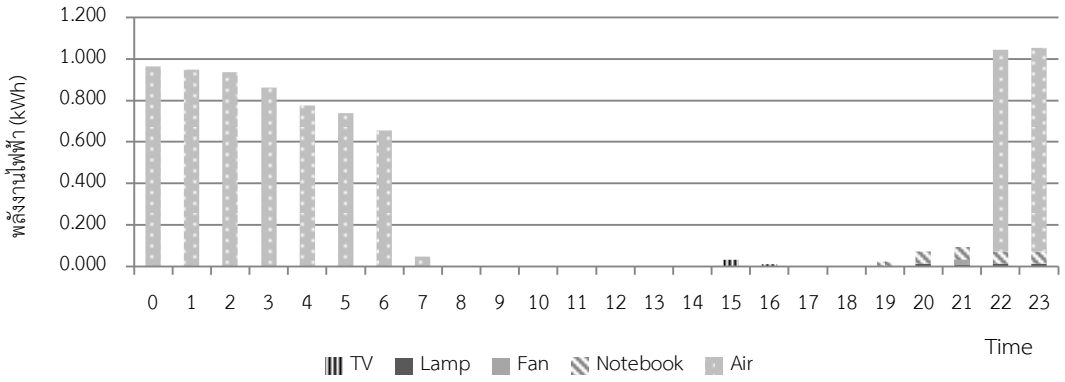
รูปที่ 5-52 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 19 ก.พ. 58



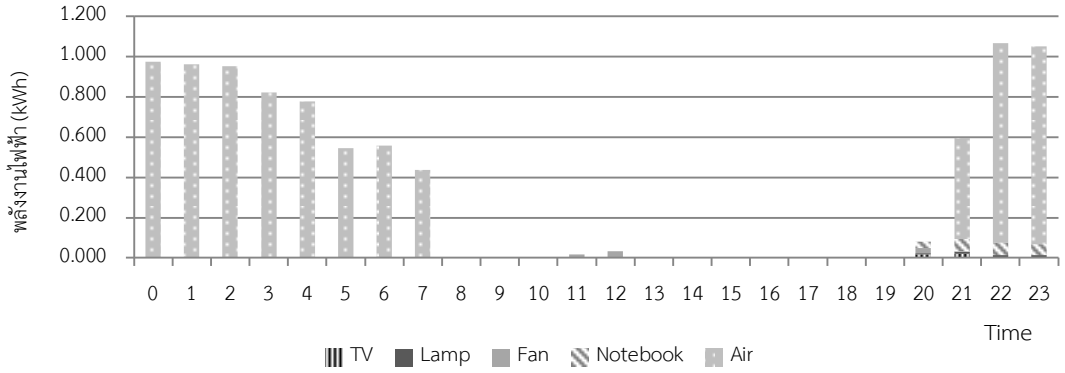
รูปที่ 5-53 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 21 ก.พ. 58



รูปที่ 5-54 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 23 ก.พ. 58



รูปที่ 5-55 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 25 ก.พ. 58

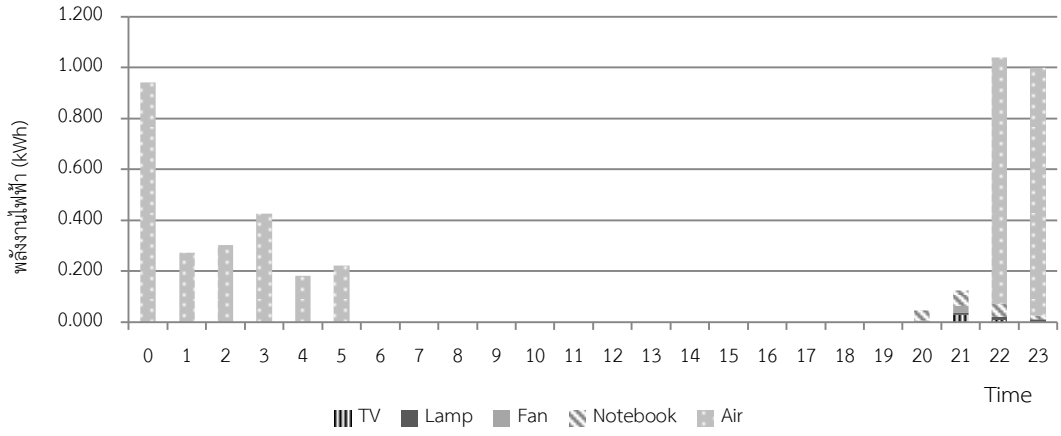


รูปที่ 5-56 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 27 ก.พ. 58

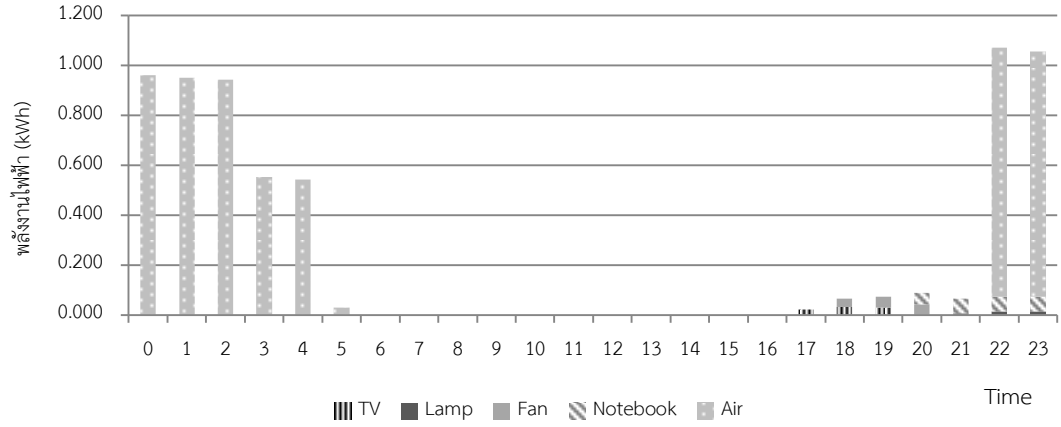
ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในห้องขณะใช้งานระบบแสดงดังตารางที่ 5-9 และรูปที่ 5-57 ถึง 5-63 แสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในห้องขณะใช้งานระบบของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวัน

ตารางที่ 5-9 การใช้พลังงานไฟฟ้าภายในห้องขณะใช้งานระบบ (หน่วยคือวัตต์-ชั่วโมง)

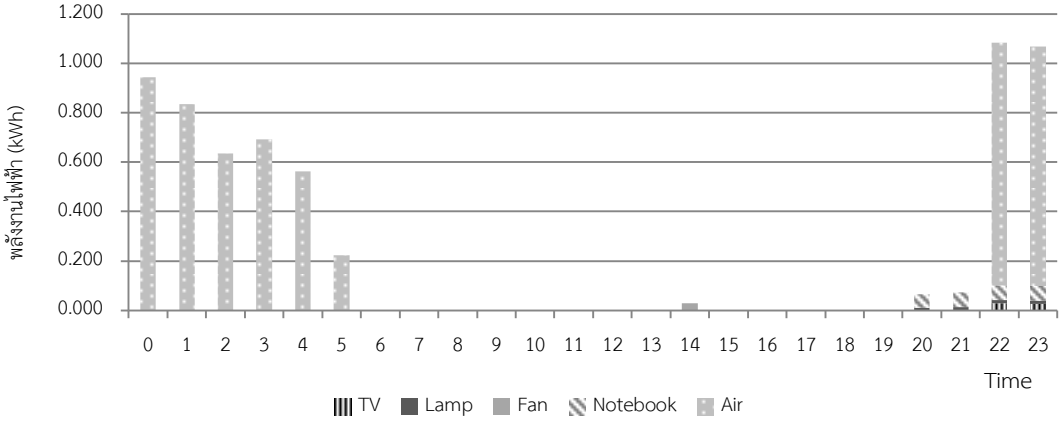
วันที่	โทรทัศน์	โคมไฟ	พัดลม	โน๊ตบุ๊ค	เครื่องปรับอากาศ	รวม
16	38.933	30.080	34.002	165.317	4290.819	4559.151
18	77.583	29.243	121.000	225.000	5952.862	6405.689
20	58.900	46.800	29.798	233.867	5845.638	6215.002
22	0.000	46.833	73.089	227.633	4014.226	4361.781
24	72.592	40.277	143.733	201.433	6803.762	7261.797
26	73.867	43.807	54.560	219.050	7341.874	7733.158
28	104.075	38.620	119.729	193.117	7633.893	8089.434
รวม	425.950	275.660	575.911	1465.417	41883.074	44626.012



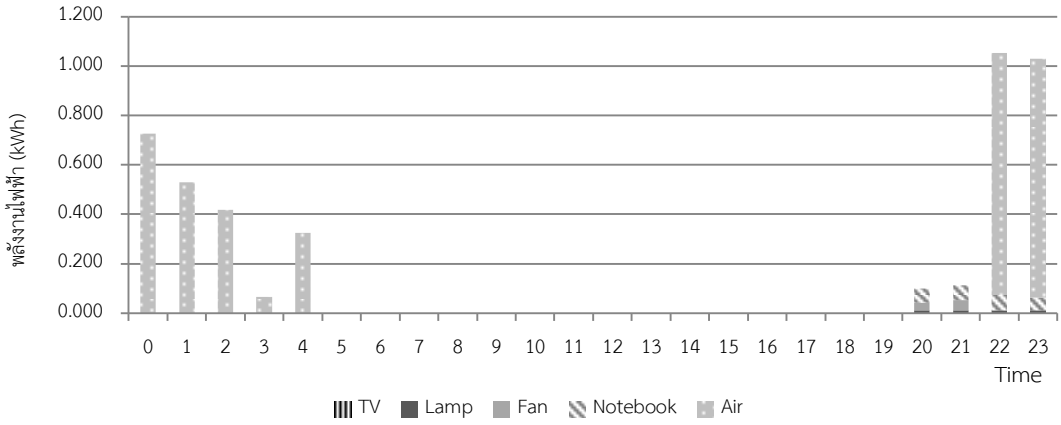
รูปที่ 5-57 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 16 ก.พ. 58



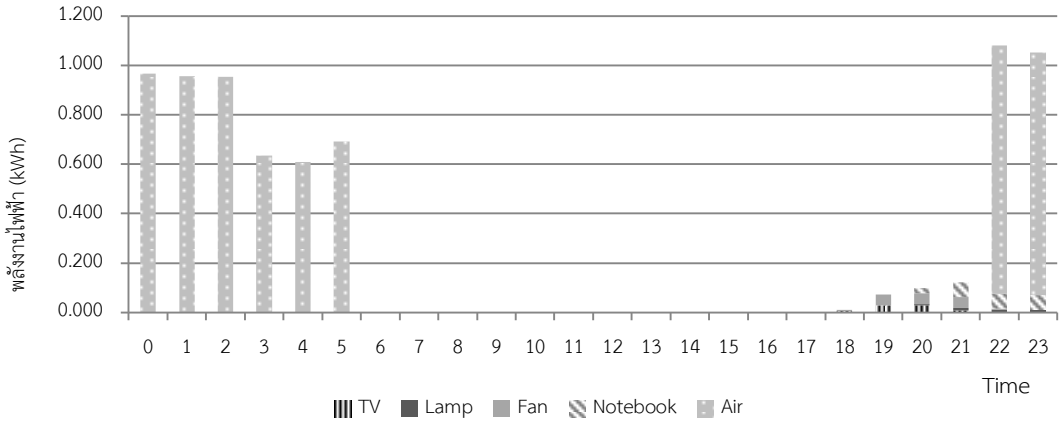
รูปที่ 5-58 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 18 ก.พ. 58



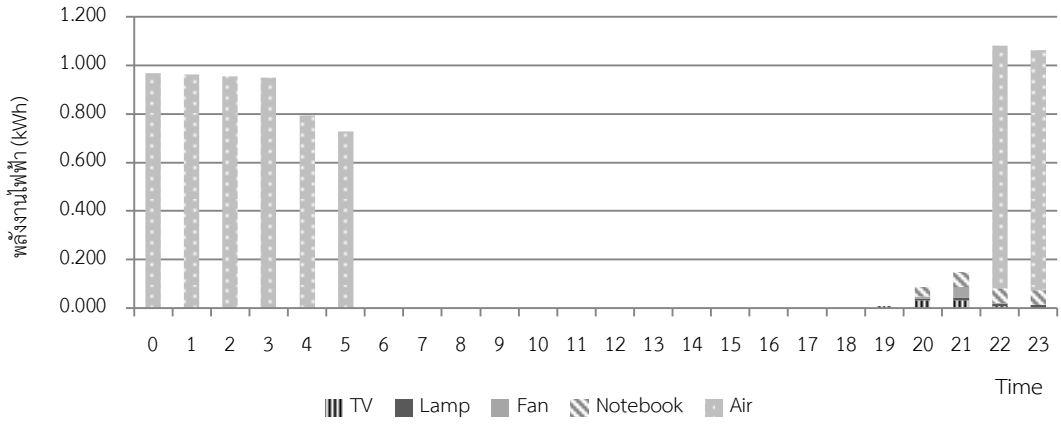
รูปที่ 5-59 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 20 ก.พ. 58



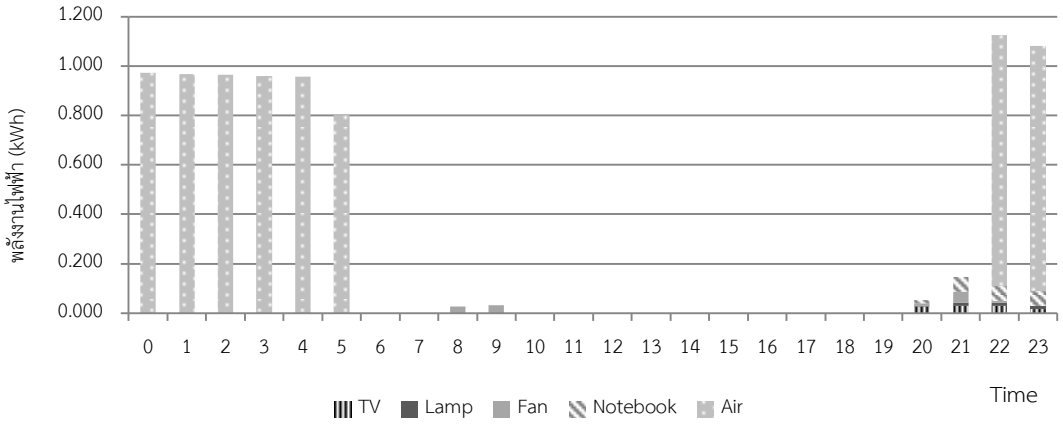
รูปที่ 5-60 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 22 ก.พ. 58



รูปที่ 5-61 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 24 ก.พ. 58



รูปที่ 5-62 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 26 ก.พ. 58



รูปที่ 5-63 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของวันที่ 28 ก.พ. 58

จากการทดสอบใหม่แบบวันต่อวันสลับกันและบันทึกผลการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในห้องก่อนและขณะใช้งานระบบสลับกันในระยะเวลาสองสัปดาห์ เมื่อนำมาเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าก่อนและขณะใช้งานระบบแสดงดังตารางที่ 5-10 จะเห็นว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในห้องขณะใช้งานระบบมีค่าน้อยกว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในห้องก่อนใช้งานระบบ

ตารางที่ 5-10 เปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าก่อนและขณะใช้งานระบบ (หน่วยคือวัตต์-ชั่วโมง)

การใช้งานระบบ	โทรทัศน์	โคมไฟ	พัดลม	โน๊ตบุ๊ค	เครื่องปรับอากาศ	รวม
ก่อน	437.900	307.857	585.713	1589.283	50673.375	53594.129
ขณะ	425.950	275.660	575.911	1465.417	41883.074	44626.012
ผลต่าง	-11.950	-32.197	-9.802	-123.866	-8790.301	-8968.117
ลดลง%	2.729%	10.458%	1.673%	7.794%	17.347%	16.733%

สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของการใช้งานระบบพบว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในห้องขณะใช้งานระบบมีค่าน้อยกว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในห้องก่อนใช้งานระบบประมาณ 8,968 วัตต์-ชั่วโมง ถ้ามีการใช้งานระบบครบ 1 เดือนจะช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในห้องประมาณ 35,872 วัตต์-ชั่วโมงหรือ 35.872 หน่วยต่อเดือน

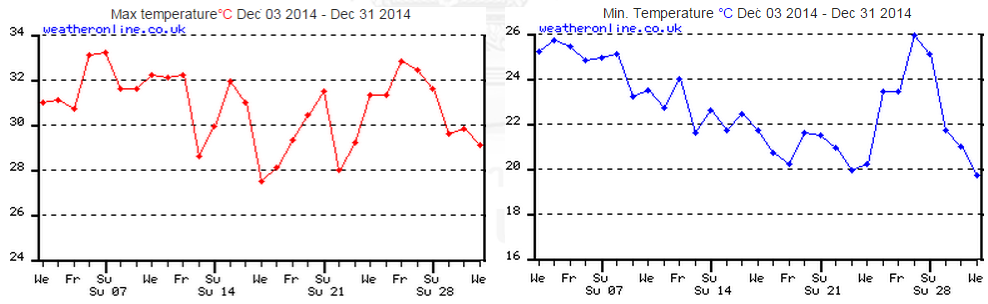
5.6 วิเคราะห์ผลการทดสอบ

5.6.1 วิเคราะห์การทดสอบการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของการใช้งานระบบ

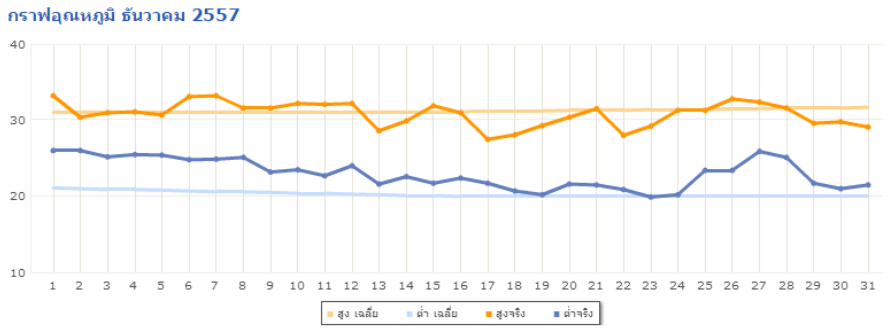
จากการทดสอบการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของการใช้งานระบบในหัวข้อที่ 5.5 ได้มีการทดสอบสองครั้งคือครั้งแรก ช่วงวันที่ 18 - 31 ธันวาคม 2557 แบบสัปดาห์ต่อสัปดาห์ และครั้งที่สอง ช่วงวันที่ 15 - 28 กุมภาพันธ์ 2558 แบบวันต่อวันสลับกัน เมื่อนำผลของการทดสอบทั้งสองครั้งมาเปรียบเทียบได้ผลแสดงดังตารางที่ 5-11 โดยมีอุณหภูมิภายนอกของช่วงการทดสอบครั้งแรกและครั้งที่สองดังรูปที่ 5-64 ถึง 5-67 [27], [28], [29] และเปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยภายในและภายนอกห้องของการทดสอบครั้งแรกและครั้งที่สองได้ผลแสดงดังตารางที่ 5-12 และ 5-13

ตารางที่ 5-11 เปรียบเทียบผลต่างการใช้พลังงานไฟฟ้าของการทดสอบ (หน่วยคือวัตต์-ชั่วโมง)

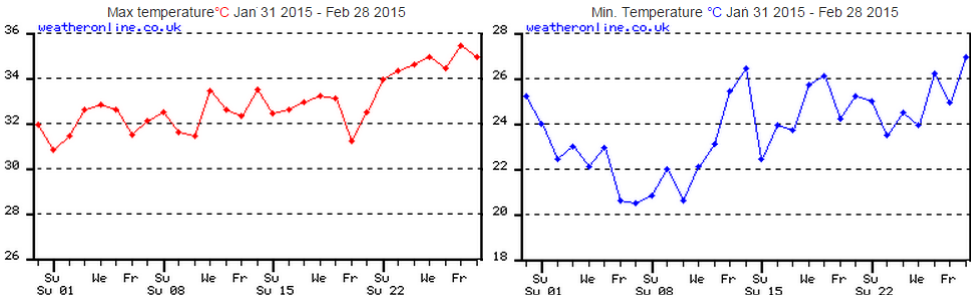
การทดสอบ	โทรทัศน์	โคมไฟ	พัดลม	โน๊ตบุ๊ค	เครื่องปรับอากาศ	รวม
ครั้งแรก	-886.254	+72.803	-532.192	-1503.184	+7033.073	+4184.247
ครั้งที่สอง	-11.950	-32.197	-9.802	-123.866	-8790.301	-8968.117



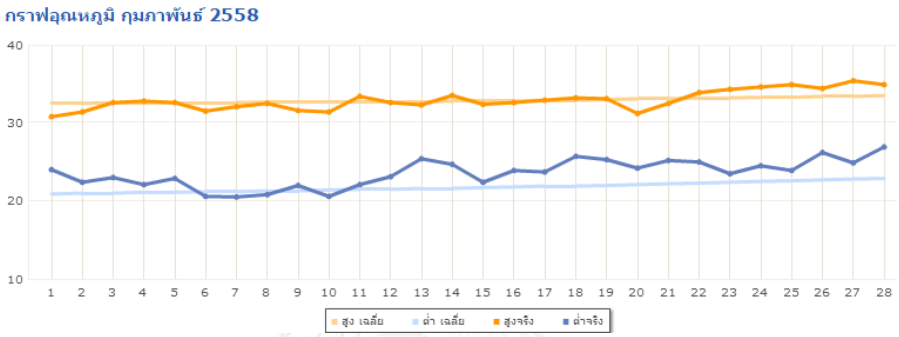
รูปที่ 5-64 อุณหภูมิภายนอกของช่วงการทดสอบครั้งแรก [27]



รูปที่ 5-65 อุณหภูมิภายนอกของช่วงการทดสอบครั้งแรก [28]



รูปที่ 5-66 อุณหภูมิภายนอกของช่วงการทดสอบครั้งที่สอง [27]



รูปที่ 5-67 อุณหภูมิภายนอกของช่วงการทดสอบครั้งที่สอง [29]

ตารางที่ 5-12 เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยภายในและภายนอกห้องของการทดสอบครั้งแรก

การติดตั้งระบบ	วันที่	อุณหภูมิเฉลี่ยภายนอก			อุณหภูมิเฉลี่ยภายใน	ผลต่าง	ผลต่าง%
		อ้างอิง1	อ้างอิง2	อ้างอิงเฉลี่ย			
ก่อน	18	24.50°C	24.50°C	24.50°C	28.00°C	-3.50°C	-14.29%
	19	24.80°C	24.50°C	24.65°C	27.30°C	-2.65°C	-10.75%
	20	26.20°C	26.00°C	26.10°C	27.70°C	-1.60°C	-6.13%
	21	26.60°C	27.00°C	26.80°C	28.20°C	-1.40°C	-5.22%
	22	24.50°C	24.50°C	24.50°C	28.10°C	-3.60°C	-14.69%
	23	24.60°C	24.50°C	24.55°C	27.20°C	-2.65°C	-10.79%
	24	25.90°C	25.50°C	25.70°C	27.30°C	-1.60°C	-6.23%
ขณะ	25	27.50°C	27.00°C	27.25°C	28.60°C	-1.35°C	-4.95%
	26	28.30°C	28.00°C	28.15°C	29.00°C	-0.85°C	-3.02%
	27	29.30°C	29.00°C	29.15°C	29.60°C	-0.45°C	-1.54%
	28	28.30°C	28.50°C	28.40°C	29.80°C	-1.40°C	-4.93%
	29	25.70°C	26.00°C	25.85°C	29.20°C	-3.35°C	-12.96%
	30	25.50°C	25.50°C	25.50°C	29.00°C	-3.50°C	-13.73%
	31	24.40°C	25.50°C	24.95°C	28.20°C	-3.25°C	-13.03%
เฉลี่ย		26.15°C	26.14°C	26.15°C	28.37°C	-2.23°C	-8.51%

ตารางที่ 5-13 เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยภายในและภายนอกห้องของการทดสอบครั้งที่สอง

การติดตั้งระบบ	วันที่	อุณหภูมิเฉลี่ยภายนอก			อุณหภูมิเฉลี่ยภายใน	ผลต่าง	ผลต่าง%
		อ้างอิง1	อ้างอิง2	อ้างอิงเฉลี่ย			
ก่อน	15	27.50℃	27.00℃	27.25℃	29.60℃	-2.35℃	-8.62%
	17	28.40℃	28.50℃	28.45℃	29.40℃	-0.95℃	-3.34%
	19	29.50℃	29.00℃	29.25℃	28.60℃	0.65℃	2.22%
	21	28.90℃	28.50℃	28.70℃	29.00℃	-0.30℃	-1.05%
	23	28.90℃	29.00℃	28.95℃	29.50℃	-0.55℃	-1.90%
	25	29.50℃	29.50℃	29.50℃	29.80℃	-0.30℃	-1.02%
	27	30.10℃	30.00℃	30.05℃	30.20℃	-0.15℃	-0.50%
ขณะ	16	28.30℃	28.50℃	28.40℃	29.60℃	-1.20℃	-4.23%
	18	29.50℃	29.50℃	29.50℃	30.00℃	-0.50℃	-1.69%
	20	27.70℃	27.50℃	27.60℃	29.90℃	-2.30℃	-8.33%
	22	29.50℃	29.50℃	29.50℃	29.80℃	-0.30℃	-1.02%
	24	29.50℃	29.50℃	29.50℃	30.30℃	-0.80℃	-2.71%
	26	30.40℃	30.00℃	30.20℃	30.30℃	-0.10℃	-0.33%
	28	30.90℃	31.00℃	30.95℃	30.70℃	0.25℃	0.81%
เฉลี่ย		29.19℃	29.07℃	29.13℃	29.76℃	-0.64℃	-2.18%

พบว่าผลการทดสอบในครั้งที่สองแบบวันต่อวันสลับกันให้ผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าดีกว่าผลการทดสอบในครั้งแรกแบบสัปดาห์ต่อสัปดาห์เนื่องจากอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดภายในห้องก่อนใช้งานระบบและขณะใช้งานระบบของการทดสอบครั้งที่สองแตกต่างกัน (2.18%) น้อยกว่าการทดสอบครั้งแรกซึ่งแตกต่างกันมากกว่า (8.51%) ทำให้เกิดผลกระทบในการทดสอบครั้งที่สองน้อยกว่า

5.6.2 วิเคราะห์ผลรูปแบบการควบคุมการทำงานเครื่องใช้ไฟฟ้า

จากการทดสอบการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของการใช้งานระบบในหัวข้อที่ 5.5 ในครั้งที่สองได้มีการควบคุมการทำงานเครื่องใช้ไฟฟ้า 5 ชนิด ได้แก่ โทรทัศน์, โคมไฟ, พัดลม, โน๊ตบุ๊ค และเครื่องปรับอากาศ โดยที่การควบคุมการทำงานโทรทัศน์และพัดลมเป็นการควบคุมแบบการควบคุมด้วยตัวผู้ใช้เองและการควบคุมการทำงานโคมไฟ, โน๊ตบุ๊คและเครื่องปรับอากาศเป็นการควบคุมแบบการควบคุมอัตโนมัติต่างๆ จากข้อมูลในตารางที่ 5-13 พบว่าผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของการควบคุมแบบการควบคุมอัตโนมัติต่างๆ ให้ผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่ดีกว่าการควบคุมแบบการควบคุมด้วยตัวผู้ใช้เอง

ตารางที่ 5-14 การประหยัดพลังงานไฟฟ้ากับการควบคุมรูปแบบต่างๆ

รายการเครื่องใช้ไฟฟ้า	**รูปแบบการควบคุม**		**เปอร์เซ็นการประหยัดพลังงานไฟฟ้า**
โทรทัศน์	การควบคุมด้วยตัวผู้ใช้เอง		2.729%
พัดลม			1.673%
โคมไฟ	การควบคุมอัตโนมัติ	ด้วยเซ็นเซอร์วัดความสว่างของแสง	10.458%
		ด้วยเซ็นเซอร์ตรวจวัดการเคลื่อนไหว	
		ด้วยเวลา	
โน๊ตบุ๊ค	การควบคุมอัตโนมัติ	ด้วยเซ็นเซอร์ตรวจวัดการเคลื่อนไหว	7.794%
		ด้วยเวลา	
เครื่องปรับอากาศ	การควบคุมอัตโนมัติ	ด้วยเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ	17.347%
		ด้วยเวลา	

5.6.3 วิเคราะห์ต้นทุน

<u>กรณีตัวอย่างการนำไปใช้งาน</u>

บ้านหลังหนึ่งมีการติดตั้งระบบเข้าไปภายในบ้าน ประกอบด้วย 3 ห้อง ได้แก่ ห้องนั่งเล่น, ห้องนอน และห้องครัว โดยแต่ละห้องมีการติดตั้งอุปกรณ์ในระบบสำหรับการควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าดังนี้

ห้องนั่งเล่นมีการติดตั้งอุปกรณ์ส่วนการประมวลผล, อุปกรณ์ส่วนเซ็นเซอร์, อุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรดสำหรับควบคุมเครื่องปรับอากาศ และอุปกรณ์ส่วนควบคุมสำหรับควบคุมโทรทัศน์, หลอดไฟ, พัดลมและโน๊ตบุ๊ค

ห้องนอนมีการติดตั้งอุปกรณ์ส่วนเซ็นเซอร์, อุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรดสำหรับควบคุมเครื่องปรับอากาศ และอุปกรณ์ส่วนควบคุมสำหรับควบคุมโทรทัศน์, หลอดไฟและพัดลม

ห้องครัวมีการติดตั้งอุปกรณ์ส่วนเซ็นเซอร์และอุปกรณ์ส่วนควบคุมสำหรับควบคุมหลอดไฟและพัดลม

เมื่อนำผลการทดสอบครั้งที่สองในหัวข้อที่ 5.5 มาช่วยในการวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าของบ้านหลังนี้ได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 5-14 และเมื่อคำนวณค่าใช้จ่ายอุปกรณ์ในการติดตั้งระบบจะได้ข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 5-15

ตารางที่ 5-15 การวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าของบ้านหลังหนึ่ง

ห้อง	อุปกรณ์ในระบบที่ติดตั้ง	การควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้า	ผลต่าง (วัตต์-ชั่วโมง)
ห้องนั่งเล่น	อุปกรณ์ส่วนการประมวลผล		
	อุปกรณ์ส่วนเซ็นเซอร์		
	อุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรด	เครื่องปรับอากาศ	-8,790.301
	อุปกรณ์ส่วนควบคุม	โทรทัศน์	-11.950
		หลอดไฟ	-32.197
		พัดลม	-9.802
		โน๊ตบุ๊ค	-123.866
ห้องนอน	อุปกรณ์ส่วนเซ็นเซอร์		
	อุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรด	เครื่องปรับอากาศ	-8,790.301
	อุปกรณ์ส่วนควบคุม	โทรทัศน์	-11.950
		หลอดไฟ	-32.197
		พัดลม	-9.802
ห้องครัว	อุปกรณ์ส่วนเซ็นเซอร์		
	อุปกรณ์ส่วนควบคุม	หลอดไฟ	-32.197
		พัดลม	-9.802
ผลต่างรวม 1 สัปดาห์			-17,854.365
ผลต่างรวม 1 เดือน			-142,834.920
พลังงานไฟฟ้าที่ต้องใช้เพิ่มจากการติดตั้งอุปกรณ์ในระบบ (1 เดือน)			+22,191.000
ปริมาณพลังงานไฟฟ้าภายในบ้านที่ลดลงได้ (1 เดือน)			-120,643.920

ตารางที่ 5-16 การคำนวณค่าใช้จ่ายอุปกรณ์ในการติดตั้งระบบ

รายการ	ราคาต่อหน่วย (บาท)	จำนวน	ราคารวม (บาท)
อุปกรณ์ส่วนการประมวลผล	3,000.00	1	3,000.00
อุปกรณ์ส่วนเซ็นเซอร์	2,000.00	3	6,000.00
อุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรด	2,300.00	2	4,600.00
อุปกรณ์ส่วนควบคุม	3,000.00	3	9,000.00
รวม			22,600.00

จากการวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าและคำนวณค่าใช้จ่ายอุปกรณ์ในการติดตั้งระบบของกรณีตัวอย่างการนำไปใช้งานกับบ้านหลังหนึ่ง สามารถนำมาวิเคราะห์ต้นทุนได้ดังต่อไปนี้

คิดเป็นค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ = (120,643.920 / 1,000) x 3 = 361.932 บาท/เดือน

= 361.932 x 12 = 4,343.184 บาท/ปี

ติดตั้งระบบภายในบ้านค่าใช้จ่ายรวม = 22,600 บาท

ระยะเวลาคืนทุน = 22,600 / 4,343.184 = ประมาณ 5.20 ปี

ถ้ามีการผลิตอุปกรณ์ในการติดตั้งระบบจำนวนครั้งละมากๆ จะทำให้ค่าใช้จ่ายอุปกรณ์ในการติดตั้งระบบถูกลงดังแสดงในตารางที่ 5-16

ตารางที่ 5-17 การคำนวณค่าใช้จ่ายอุปกรณ์ในการติดตั้งระบบ (แบบผลิตครั้งละมากๆ)

รายการ	ราคาต่อหน่วย (บาท)	จำนวน	ราคารวม (บาท)
อุปกรณ์ส่วนการประมวลผล	1,750.00	1	1,750.00
อุปกรณ์ส่วนเซ็นเซอร์	1,350.00	3	4,050.00
อุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรด	1,650.00	2	3,300.00
อุปกรณ์ส่วนควบคุม	2,250.00	3	6,750.00
รวม			15,850.00

ระยะเวลาคืนทุน = 15,850 / 4,343.184 = ประมาณ 3.64 ปี

บทที่ 6
บทสรุป

6.1 บทสรุป

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้พัฒนาต้นแบบระบบควบคุมการทำงานเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านแบบอัตโนมัติ โดยระบบได้นำเซ็นเซอร์ต่างๆ มาใช้ในการควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติของเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านเกิดเป็นรูปแบบการควบคุมอัตโนมัติ 4 แบบหลักๆ กล่าวคือการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์วัดความสว่างของแสง การควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ การควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์ตรวจวัดการเคลื่อนไหวและการควบคุมอัตโนมัติด้วยเวลา ซึ่งการควบคุมอัตโนมัติแบบหลักต่างๆ สามารถทำงานร่วมกันได้ทำให้มีประสิทธิภาพในการควบคุมการทำงานเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านแบบอัตโนมัติมากขึ้นและลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้มากขึ้นด้วย

ระบบดังกล่าวนี้ประกอบด้วยอุปกรณ์ส่วนเซ็นเซอร์ อุปกรณ์ส่วนควบคุม อุปกรณ์ส่วนรีโมทอินฟราเรด และอุปกรณ์ส่วนการประมวลผล ซึ่งอุปกรณ์ในระบบมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าประมาณ 10.757 หน่วยต่อเดือนและเมื่อนำมาติดตั้งใช้งานภายในห้องสามารถช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าประมาณ 35.872 หน่วยต่อเดือนหรือ 16.733% ระยะเวลาคืนทุนประมาณ 3.64 ปี และทำการทดสอบการรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ในระบบที่ระยะต่างๆ ภายในบ้านพบว่าอุปกรณ์ในระบบสามารถรับส่งข้อมูลระหว่างกันได้ระยะไกลที่สุดคือต่างกัน 2 ชั้นของบ้าน โดยระบบมีการแสดงสถานะการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าผ่านเว็บบราวเซอร์บนโครงข่ายอินเทอร์เน็ตเพื่อเพิ่มความสะดวกสบายให้กับผู้อยู่อาศัยภายในบ้าน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6.2 ข้อเสนอแนะ

1) พัฒนาเว็บบราวเซอร์ให้มีการแสดงผลสถิติของการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาและมีการแสดงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องใช้ไฟฟ้าจากการคำนวณจำนวนการใช้งานกับวัตต์ของเครื่องใช้ไฟฟ้าเครื่องนั้นๆ และให้มีความปลอดภัยเพื่อป้องกันการขโมยข้อมูล
2) พัฒนาระบบให้ทำงานร่วมกับระบบการจัดการพลังงาน (HEMS) โดยรับคำสั่งรูปแบบการควบคุมจากส่วนคำแนะนำ
3) พัฒนาโปรแกรมประมวลผลการควบคุมให้มีการหน่วงเวลาสำหรับการใช้งานของผู้ใช้โดยตรงขณะที่ใช้การทำงานแบบการควบคุมอัตโนมัติอยู่ เช่น ผู้ใช้งานตั้งค่าการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์วัดความสว่างของแสงให้กับหลอดไฟไว้และในขณะนั้นโปรแกรมประมวลผลการควบคุมสั่งให้หลอดไฟนั้นปิดแต่ผู้ใช้ต้องการเปิดหลอดไฟนั้นโดยการกดที่สวิตซ์ของปลั๊ก

ควบคุมที่เสียบหลอดไฟนั้นอยู่ โดยในระบบปัจจุบันผู้ใช้จะไม่สามารถเปิดหลอดไฟนั้นได้ นอกจากจะยกเลิกการควบคุมอัตโนมัติด้วยเซ็นเซอร์วัดความสว่างของแสง จึงต้องพัฒนาส่วนนี้เพิ่มให้มีการหน่วงเวลา 10-30 นาทีสำหรับการเปิด-ปิดหลอดไฟตามที่ผู้ใช้ต้องการ เป็นต้น

4) พัฒนาอุปกรณ์ส่วนควบคุมให้สามารถวัดค่าแอมป์และค่าวัตต์ได้เพื่อการคำนวณปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจะได้มีความถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น

6.3 ข้อดี

1) ระบบพัฒนาขึ้นมาจากอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานต่ำ
2) อุปกรณ์ในระบบติดตั้งง่ายเหมาะสำหรับบ้านเก่าและบ้านที่สร้างใหม่
3) ค่าใช้จ่ายอุปกรณ์ในการติดตั้งระบบมีราคาถูกกว่าระบบที่มาจากต่างประเทศ
4) ระบบมีการพัฒนาและผลิตในประเทศไทยทำให้เหมาะสำหรับการใช้งานของคนไทยมากกว่าระบบที่มาจากต่างประเทศ

6.4 ข้อเสีย

1) ค่าใช้จ่ายอุปกรณ์ในการติดตั้งระบบไม่เหมาะสำหรับบ้านที่มีขนาดเล็กในด้านการลงทุน
2) รูปลักษณ์ของอุปกรณ์และหน้าเว็บบราวเซอร์ยังไม่น่าสนใจ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

[1] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.eppo.go.th. สืบค้นวันที่ 24 พฤศจิกายน พ.ศ. 2557.

[2] Yasuji KOMIYAMA, "Ministry of Economy, Trade and Industry Agency for Natural Resources and Energy," 2012.

[3] Hideki Hayashi, "Renewables Integration to the Grid based on Advanced Energy Management - Toward a low Carbon & Sustainable Society," presented at the ISGT Innovative Smart Grid Technologies EUROPE, 2011.

[4] Sonja van Dam, *Smart Energy Management for Households*, 2013.

[5] ชนัตพล ผิวล่อง, "การพัฒนาต้นแบบระบบจัดการพลังงานภายในบ้านอยู่อาศัย," วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, คณะวิศวกรรมศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2554.

[6] Yukio Suhara, Tomohisa Nakabe, Gouki Mine, and Hiroaki Nishi, "Distributed Demand Site Management System for Home Energy Management," presented at the IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2010.

[7] Dhiren Tejani, Ali Mohammed A. H. Al-Kuwari, and Vidyasagar Potdar, "Energy Conservation in a Smart Home," presented at the IEEE International Conference on Digital Ecosystems and Technologies, 2011.

[8] ZWaveWorld. *Ask the Expert 2007*. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.zwaveworld.com/ask/ask8.php. สืบค้นวันที่ 24 พฤศจิกายน พ.ศ. 2557.

[9] R. M. Tomoki Watanabe, Toru Kobayashi, and Masao Isshiki, "HACCS : Home Appliance Control Concierge System Extending Functions on Web Service," presented at the 2013 IEEE 37th Annual Computer Software and Applications Conference, 2013.

[10] *ECHONET*. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.echonet.gr.jp/english/index.htm. สืบค้นวันที่ 24 พฤศจิกายน พ.ศ. 2557.

[11] Jin-shyan Lee, Yu-wei Su, and Chung-chou Shen, "A Comparative Study of Wireless Protocols: Bluetooth, UWB, ZigBee, and Wi-Fi," in *The 33rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON)*, Taiwan, 2007.

[12] ZigBee Alliance, ZigBee Specification, 2004.

[13] DIGI, XBee – PRO ® ZB OEM RF MODULES Specification, 2014.

[14] Waitrony, Photo Conductive Cell Model No. KE-10715 Specification, 2011.

[15] N. Semiconductor, LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors, 2000.

[16] Panasonic, AMN34112 Motion sensor (passive infrared type) Datasheet, 2012.

[17] *Raspberry Pi*. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.raspberrypi.org. สืบค้นวันที่ 24 พฤศจิกายน พ.ศ. 2557.

[18] *Comparison of single-board computers*. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_single-board_computers. สืบค้นวันที่ 24 พฤศจิกายน พ.ศ. 2557.

[19] *List of single-board computers*. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_single-board_computers. สืบค้นวันที่ 24 พฤศจิกายน พ.ศ. 2557.

[20] *Infrared*. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://en.wikipedia.org/wiki/Infrared. สืบค้นวันที่ 24 พฤศจิกายน พ.ศ. 2557.

[21] Vishay, Data Formats for IR Remote Control, 2013.

[22] Vishay, IR Emitting Diode TSAL7400 Specification, 2011.

[23] Vishay, "Photo Modules for PCM Remote Control Systems TSOP4838 Specification," 2014.

[24] เทพฤทธิ์ ไกรสินธุ์ และ ภาคภูมิ บุญศรี, "อินฟราเรดรีโมทควบคุมด้วยแอนดรอยด์," 2556.

[25] *Arduino Uno Product*. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno#.UwAjYdI3CSo. สืบค้นวันที่ 24 พฤศจิกายน พ.ศ. 2557.

[26] อัตราค่าไฟฟ้าประเภทต่างๆ. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.mea.or.th/profile/index.php?l=th&tid=3&mid=111&pid=109. สืบค้นวันที่ 24 พฤศจิกายน พ.ศ. 2557.

[27] *Weather Bangkok* [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.weatheronline.co.uk/Thailand/Bangkok.htm. สืบค้นวันที่ 10 กรกฎาคม พ.ศ. 2558.

[28] สภาพอากาศประจำเดือนธันวาคม 2014 ที่กรุงเทพมหานคร. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.accuweather.com/th/th/bangkok/318849/month/318849?monyr=12%2F01%2F2014. สืบค้นวันที่ 10 กรกฎาคม พ.ศ. 2558.

[29] สภาพอากาศประจำเดือนกุมภาพันธ์ 2015 ที่กรุงเทพมหานคร. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก: http://www.accuweather.com/th/th/bangkok/318849/month/318849?monyr=2/01/2015. สืบค้นวันที่ 10 กรกฎาคม พ.ศ. 2558.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวดิราภา สุวรรณฤทธิ์ เกิดเมื่อวันที่ 11 มีนาคม พ.ศ.2533 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ในปีการศึกษา 2554 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ในกลุ่มวิจัยโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะและพลังงานหมุนเวียน คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา จนสำเร็จการศึกษาในปีการศึกษา 2557

บทความทางวิชาการจากวิทยานิพนธ์

[1] ดิราภา สุวรรณฤทธิ์ และ วาทิต เบญจพลกุล. การพัฒนาระบบควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติของเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านโดยใช้อุปกรณ์พลังงานต่ำ. การประชุมวิชาการงานวิจัย และพัฒนาเชิงประยุกต์ ครั้งที่ 6 การพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อให้โลกมีสันติสุข (ECTI-CARD 2014).

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University