การพัฒนาต้นแบบระบบจัดการพลังงานภายในบ้านอยู่อาศัย

นายชนัตพล ผิวล่อง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2555
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
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 Graduate School.

Prototype Development of Home Energy Management System

Mr. Chanutpol Pewlong

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
ChulalongkornUniversity
Academic Year 2012
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาต้นแบบระบบจัดการพลังงานภายในบ้านอยู่อาศัย
โดย	นายชนัตพล ผิวล่อง
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. แนบบุญ หุนเจริญ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วันเฉลิม โปรา)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. แนบบุญ หุนเจริญ)

.... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. สุรชัย ชัยทัศนีย์)

.... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. ประดิษฐ์ เฟื่องฟู)

ชนัตพล ผิวล่อง : การพัฒนาต้นแบบระบบจัดการพลังงานภายในบ้านอยู่อาศัย. (PROTOTYPE DEVELOPMENT OF HOME ENERGY MANAGEMENT SYSTEM) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ.ดร.แนบบุญ หุนเจริญ, 142 หน้า.

ทางเลือกหนึ่งในการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในภาคครัวเรือนคือ การจัดการพลังงานอย่างเหมาะสม วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการพัฒนาต้นแบบและการทดสอบเชิงสมรรถนะของระบบจัดการพลังงานภายในบ้านอยู่อาศัย (Home Energy Management System) แนวคิดในการออกแบบและพัฒนาระบบดังกล่าวได้รวมเอา 3 คุณลักษณะหลักเข้าด้วยกัน ได้แก่ การวางแผนอย่างชาญฉลาด การควบคุมอัตโนมัติ และการแสดงผลการใช้พลังงานไฟฟ้าให้ผู้ใช้ไฟฟ้าทราบ โดยอาศัยซิ๊กบี (Zigbee) ช่วยในการรับส่งข้อมูลและคำสั่งให้แก่ระบบ ทำให้อุปกรณ์บางส่วนภายในระบบสามารถติดต่อสื่อสารกันได้โดยไม่ต้องใช้สายสัญญาณ ในทางกลับกันระบบสามารถติดตั้งและนำไปใช้ในสถานที่ต่างๆได้อย่างสะดวก ทดสอบระบบที่พัฒนาขึ้น ณ ห้องปฏิบัติการวิจัยระบบไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ผลการทดสอบพบว่า คุณลักษณะหลักที่มีส่วนช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้สูงที่สุดคือ การควบคุมอัตโนมัติ ในขณะที่การวางแผนอย่างชาญฉลาดและการแสดงผลการใช้พลังงานไฟฟ้าให้ผู้ใช้ไฟฟ้าทราบยังช่วยเพิ่มศักยภาพด้านการประหยัดให้แก่ระบบอีกเช่นกัน นอกจากนี้การทำให้ระบบสามารถควบคุมความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุด และการพัฒนาส่วนต่อประสานผู้ใช้ให้สามารถสื่อสารข้อมูลผ่านทางระบบอินเตอร์เน็ต จะช่วยเพิ่มสมรรถนะของระบบให้ดีขึ้นต่อไปในอนาคตได้

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต ....

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ....

ปีการศึกษา 2555

5470158821 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING
KEYWORDS : HOME ENERGY MANAGEMENT SYSTEM / IN HOME DISPLAY / SENSOR / ZIGBEE

CHANUTPOL PEWLONG: PROTOTYPE DEVELOPMENT OF HOME ENERGY MANAGEMENT SYSTEM. ASST.PROF.NAEBBOON HOONCHAREON, Ph.D., 142 pp.

One option to reduce the cost of energy consumption in household sector is the appropriate energy management. This thesis proposes the prototype development and performance testing of Home Energy Management System (HEMS). The design concept and development of the proposed HEMS incorporate three main functions which are smart planning, automatic controlling and energy consumption visualizing. Using Zigbee in transferring data and commands makes some devices inside HEMS communicate with no need of wired cables. In turn, the system can be installed and reused in other places, conveniently. This developed system has been tested at the Power System Research Laboratory (PSRL), Faculty of Engineering, Chulalongkorn University. Test results have shown that the most effective feature in reducing the energy consumption in this case is automatic controlling function, while smart planning and energy consumption visualizing also enhance the potential savings through HEMS. Additional, peak demand control function and web-based graphic user interface development can enhance performance of the proposed system in the future.

Department : Electrical Engineering Student's Signature ....

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

Academic Year : 2012

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี กระผมขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. แนบบุญ หุนเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆในการทำวิจัยด้วยดีตลอดมา รวมถึงเป็นผู้สนับสนุนเงินทุนในการทำวิจัยครั้งนี้ด้วย ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ชนะ ผิวล่อง ผู้ให้คำแนะนำในเรื่องการออกแบบวงจร รวมถึงการออกแบบกล่อง และลายแผ่นวงจรพิมพ์ทั้งหมด พร้อมทั้ง ครู วุฒิชัย เรืองดำรงค์ ที่ได้สละเวลาช่วยเหลือในการติดตั้งระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าภายในบ้านครั้งนี้ด้วย

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้อนุเคราะห์ทุนศิษย์ก้นกุฏิเป็นทุนการศึกษาในการเรียนระดับปริญญามหาบัณฑิต

ขอขอบคุณคณะนิสิตระดับบัณฑิตศึกษา ห้องปฏิบัติการระบบไฟฟ้ากำลัง ตึก 4 ชั้น 12 ทุกท่าน ที่คอยให้กำลังใจและให้ความคิดเห็นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาและครอบครัว ตลอดจนญาติทุกๆท่านที่คอยเป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอดจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .... จ

กิตติกรรมประกาศ........ ฉ

สารบัญ .... ช

สารบัญตาราง........ ฏ

สารบัญภาพ .... ฏ

บทที่ 1 บทนำ........ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา........ 1

1.2 วัตถุประสงค์........ 1

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ 2

1.4 ขั้นตอนการศึกษาและวิธีการดำเนินงาน........ 2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์........ 2

บทที่ 2 ระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน........ 4

2.1 นิยามของระบบจัดการพลังงาน 4

2.1.1 ระบบจัดการพลังงานภายในโรงงาน 4

2.1.2 ระบบจัดการพลังงานภายในตึกอาคาร 4

2.1.3 ระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน........ 5

2.2 หลักการทำงานของระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน........ 5

2.2.1 แนวคิดของการจัดการพลังงานภายในบ้าน........ 6

2.2.2 ฟังก์ชันการทำงานของระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน........ 13

2.3 ส่วนเชื่อมต่อและโครงสร้างของระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน........ 15

2.3.1 ส่วนเชื่อมต่อของระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน 15

2.3.2 โครงสร้างของระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน 17

2.4 ตัวอย่างระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน 21

หน้า

2.4.1 Distributed Demand Side Management System for Home Energy Management [14] 21
2.4.2 Development and Evaluation of Smart Tap Type Home Energy Management System Using Sensor Network [15] 22
บทที่ 3 เทคโนโลยีการสื่อสารและสารสนเทศสำหรับระบบจัดการพลังงาน 23
3.1 การสื่อสารแบบไร้สายโดยใช้ซิ๊กบี 23
3.2 การสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า 25
3.3 เซนเซอร์สำหรับระบบจัดการพลังงาน 26
3.3.1 เซนเซอร์วัดความเข้มแสง 27
3.3.2 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ 28
3.3.3 เซนเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวของมนุษย์ 29
3.3.4 เซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า 32
3.4 ระบบประมวลผลสำหรับระบบจัดการพลังงาน 32
3.4.1 ระบบประมวลผลแบบรวมศูนย์ 33
3.4.2 ระบบประมวลผลแบบกระจายศูนย์ 33
3.5 เทคโนโลยีควบคุมการเปิดปิดวงจรอัตโนมัติ 34
3.5.1 รีเลย์ 34
3.5.2 แมกเนติกคอนแทคเตอร์ 35
3.5.3 ไตรแอค 35
บทที่ 4 การออกแบบระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน 37
4.1 การออกแบบเชิงแนวคิดของระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน 37
4.1.1 การวางแผนอย่างชาญฉลาด 37
4.1.2 ระบบควบคุมอัตโนมัติ 39
4.1.3 การแสดงผลการใช้พลังงาน 43
4.2 ภาพรวมของระบบ 45
4.3 การออกแบบส่วนระบบไฟฟ้า 47
4.4 การออกแบบส่วนสารสนเทศและการสื่อสาร 54
4.4.1 ระบบสื่อสารแบบมีสาย 54
4.4.2 ระบบสื่อสารแบบไร้สาย 58

หน้า

บทที่ 5 การสร้างและพัฒนาระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน 64
5.1 การสร้างกล่องอัจฉริยะ 64
5.1.1 วงจรวัดกระแสไฟฟ้าและตัดต่อโหลด 65
5.1.2 วงจรของไมโครโปรเซสเซอร์และซิ๊กบี 68
5.1.3 วงจรแหล่งจ่ายและวัดค่าแรงดัน 70
5.2 การพัฒนาระบบเซนเซอร์ 78
5.1.1 เซนเซอร์วัดความเข้มแสง 78
5.1.2 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ 80
5.1.3 เซนเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวของมนุษย์ 81
5.3 การพัฒนาซอร์ฟแวร์ 82
5.3.1 ซอร์ฟแวร์ที่ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถติดต่อสื่อสารกับระบบ 83
5.3.2 ซอร์ฟแวร์ที่ฝังตัวอยู่กับระบบ 88
บทที่ 6 การทดสอบสมรรถนะของระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน 98
6.1 ระบบทดสอบ 98
6.2 วิธีการทดสอบ 102
6.2.1 การปรับเทียบความแม่นยำของเครื่องมือวัดผลการใช้พลังงานไฟฟ้า 102
6.1.2 แผนการทดสอบระบบ 104
6.3 ผลการทดสอบ 105
6.3.1 ผลการตั้งค่าการทำงานของระบบโดยผู้อยู่อาศัยภายในบ้านหลังติดตั้งระบบ 106
6.3.2 ภาพรวมของผลการใช้พลังงานไฟฟ้า 109
6.3.3 ผลการเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าของวันในช่วง
ก่อนติดตั้งระบบและหลังติดตั้งระบบ 110
6.4 วิเคราะห์ผลการทดสอบ 116
6.4.1 ดัชนีชี้วัดเชิงสมรรถนะของระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน 117
6.4.2 ปัจจัยที่ก่อให้เกิดการประหยัดพลังงาน 118
บทที่ 7 สรุป 121
7.1 สรุปผลการวิจัย 121
7.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต 122
รายการอ้างอิง 123

หน้า

ภาคผนวก... 126
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.. 142

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ระดับความสว่างมาตรฐานของส่วนต่างๆในบ้าน [2] 6
ตารางที่ 2.2 อัตราปกติสำหรับบ้านอยู่อาศัยขนาดใหญ่ที่ซื้อไฟฟ้าจากระบบแรงดันต่ำ [9] 12
ตารางที่ 2.3 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU) [9] 12
ตารางที่ 4.1 ค่าโหลดของหลอด FL [27].. 48
ตารางที่ 4.2 Panel Load Schedule ของระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน 53
ตารางที่ 4.3 การเชื่อมต่อระหว่างกล่องอัจฉริยะกับเซนเซอร์.. 55
ตารางที่ 5.1 ค่า Span สำหรับการวัดกระแสไฟฟ้าของโหลดภายในระบบ 67
ตารางที่ 6.1 โหลดทั้งหมดที่ต้องการนำมาใช้ในระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน 100
ตารางที่ 6.2 ผลการสอบเทียบเครื่องมือวัดของระบบกับเครื่องมือวัดของ
สถาบันวิจัยพลังงาน... 103
ตารางที่ 6.3 ค่าคงที่ (Factor) เพื่อคูณค่ากำลังไฟฟ้าที่ระบบวัดได้ของโหลดทั้ง 6................... 103
ตารางที่ 6.4 ช่วงเวลาที่ผู้ใช้ไฟฟ้าตั้งเวลาให้โหลดภายในระบบทำงาน 106
ตารางที่ 6.5 พลังงานไฟฟ้าและราคาค่าไฟฟ้ารวมที่ใช้ไปในแต่ละสัปดาห์ 110
ตารางที่ ก.1 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าทองแดงหุ้มฉนวน PVC ตาม
มอก.11–2531 อุณหภูมิ ตัวนำ 70 °C ขนาดแรงดัน 300 V และ 750 V
อุณหภูมิโดยรอบ 40 °C (สำหรับวิธีการเดินสายแบบ ก–ค) และ 30 °C
(สำหรับวิธีการเดินสายแบบ ง และ จ) [37] 127

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 วงจรแสงสว่างเปิดสวิตซ์ควบคุมหลอดไฟฟ้า [2] 7
ภาพที่ 2.2 วงจรที่แสดงการใช้ไฟฟ้าแสงสว่างมาควบคุมระบบหรี่ควบคุมหลอดไฟฟ้า [2] 7
ภาพที่ 2.3 การใช้สวิตซ์เวลาซึ่งตอนเปิดจะใช้มือและเวลาปิดจะใช้เวลาเป็นตัวปิด [2] 8
ภาพที่ 2.4 การใช้สวิตซ์ไทม์ดีเลย์ [2] 8
ภาพที่ 2.5 การให้แสงสว่างธรรมชาติจากดวงอาทิตย์กับรูปแบบของบ้าน [2] 9
ภาพที่ 2.6 โครงสร้างของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน [8] 10
ภาพที่ 2.7 กราฟแสดงอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมต่อการอยู่อาศัย
ของมนุษย์ [8] 11
ภาพที่ 2.8 ฟังก์ชันของการสั่งงานเครื่องใช้ไฟฟ้าผ่านทางระบบอินเตอร์เน็ต 14
ภาพที่ 2.9 หน้าจอหลักของโปรแกรม Internet Time Table Switch Manager 15
ภาพที่ 2.10 การเชื่อมต่อระหว่าง Home Energy Management กับส่วนต่างๆ
ในระบบไฟฟ้ากำลัง [10] 15
ภาพที่ 2.11 โครงสร้างของระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน (HEMS Structure) [10] 17
ภาพที่ 2.12 Google Power Meter [12] 21
ภาพที่ 2.13 องค์ประกอบภายในและส่วนติดต่อกับภายนอกของ
Condition-Based Control [8] 15
ภาพที่ 3.1 ย่านความถี่มาตรฐานทั้ง 3 ย่านของ Zigbee [16] 23
ภาพที่ 3.2 ลักษณะการทำงานของ Zigbee [16] 24
ภาพที่ 3.3 การสื่อสารระหว่าง Master Zigbee และ Slave Zigbee [17-19] 25
ภาพที่ 3.4 การสื่อสารระหว่าง Master และ Slave ของระบบ Power Line Communication 26
ภาพที่ 3.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความความต้านทาน LDR
และความเข้มแสง [21] 27
ภาพที่ 3.6 สัญลักษณ์แสดงทิศทางของกระแสและแรงดันของไดโอด [22] 28
ภาพที่ 3.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของไดโอดเบอร์ 1N4148 [22] 29
ภาพที่ 3.8 รูปร่างของสัญญาณที่ได้จาก motion sensor เบอร์ AMN34112 [23] 30
ภาพที่ 3.9 ขอบเขตบริเวณการตรวจจับทั้งหมดของ motion sensor [23] 31

หน้า

ภาพที่ 3.10 การตรวจจับในแนวระนาบของ motion sensor [23] 31
ภาพที่ 3.11 รูปร่างของ Current Sensor ACS754SCB-200 [24] 32
ภาพที่ 3.12 โครงสร้างการทำงานของรีเลย์ [20] 34
ภาพที่ 3.13 โครงสร้างการทำงานของแมกเนติกคอนแทกเตอร์ [21] 35
ภาพที่ 3.14 วงจรตัดต่อโหลดโดยอาศัย IC เบอร์ MOC3043 [26] 36
ภาพที่ 3.15 block diagram ของวงจรภายใน IC เบอร์ MOC3043 [26] 36
ภาพที่ 4.1 หน้าต่างของโปรแกรมตารางสวิตซ์ตั้งเวลาอัจฉริยะสำหรับโหลด 1 ชนิด 38
ภาพที่ 4.2 เงื่อนไขของอุณหภูมิในการเดินโหลดทำความเย็น 39
ภาพที่ 4.3 เงื่อนไขของ Motion Sensor ในการเดินโหลดทำความเย็น 39
ภาพที่ 4.4 เงื่อนไขของความเข้มแสงในการทำงานของโหลดแสงสว่าง 40
ภาพที่ 4.5 เงื่อนไขของ Motion Sensor ในการทำงานของโหลดแสงสว่าง 40
ภาพที่ 4.6 หน้าต่างของโปรแกรมที่ติดต่อกับผู้ใช้งานระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน 42
ภาพที่ 4.7 ความสัมพันธ์ของแนวคิดทั้ง 3 ของระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน 44
ภาพที่ 4.8 ภาพรวมของระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน 46
ภาพที่ 4.9 ภาพแสดงตำแหน่งของอุปกรณ์ต่างๆภายในระบบจัดการพลังงาน
ภายในบ้านทั้งหมด 46
ภาพที่ 4.10 ตำแหน่งของสวิตซ์และเซอร์กิตเบรกเกอร์ โหลด และเต้ารับภายในบ้าน 49
ภาพที่ 4.11 Single Line Diagram ของโหลดในระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน 53
ภาพที่ 4.12 การเชื่อมต่อระหว่างกล่องอัจฉริยะและเซ็นเซอร์โดยใช้สายชิลด์ 56
ภาพที่ 4.13 แบบการเชื่อมต่อเซนเซอร์ในบริเวณต่างๆเข้ากับกล่องอัจฉริยะ 56
ภาพที่ 4.14 กลุ่มของ Sensor 1 ที่ติดตั้งบนเพดานของห้องทำงาน 57
ภาพที่ 4.15 กลุ่มของ Sensor 2 ที่ติดตั้งบนเพดานของห้องครัว 57
ภาพที่ 4.16 กลุ่มของ Sensor 3 ที่ติดตั้งบนเพดานของห้องนั่งเล่น 58
ภาพที่ 4.17 โครงข่ายของซิ๊กบีสำหรับระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน 59
ภาพที่ 4.18 เสาอากาศขนาด 3 dBi ของซิ๊กบีที่ต้องโผล่พ้นออกมาจากกล่องอัจฉริยะ 60
ภาพที่ 4.19 การรับส่งข้อมูล ของ Microprocessor และ Zigbee ภายใน Smart box 1 61
ภาพที่ 4.20 การรับส่งข้อมูล ของ Microprocessor และ Zigbee ภายใน Smart box 2 61
ภาพที่ 4.21 การรับส่งข้อมูล ของ Microprocessor และ Zigbee ภายใน Smart box 3 62
ภาพที่ 4.22 การรับส่งข้อมูล ของ Microprocessor และ Zigbee ภายใน Smart box 4 62

หน้า

ภาพที่ 5.1 ภาพรวมแสดงหน้าที่และการเชื่อมต่อของวงจรแต่ละวงจรภายในกล่องอัจฉริยะ....... 64
ภาพที่ 5.2 block diagram ของวงจร Current Measurement 65
ภาพที่ 5.3 การประกอบวงจรตัดต่อโหลดเข้ากับวงจรวัดกระแสไฟฟ้า....................................... 68
ภาพที่ 5.4 วงจรการเชื่อมต่อของไมโครโปรเซสเซอร์และซิ๊กบีภายในกล่องอัจฉริยะ 69
ภาพที่ 5.5 block diagram ของวงจรแหล่งจ่าย 71
ภาพที่ 5.6 การคำนวณหาค่ายอดของแรงดัน full wave ที่เหมาะสมเพื่อชาร์จแบตเตอรี่ 72
ภาพที่ 5.7 block diagram ของวงจรวัดค่าแรงดันโหลด.. 73
ภาพที่ 5.8 การจัดเรียงอุปกรณ์ภายในกล่องอัจฉริยะที่ 1.. 74
ภาพที่ 5.9 ภาพจริงภายในกล่องอัจฉริยะที่ 1 75
ภาพที่ 5.10 การจัดเรียงอุปกรณ์ภายในกล่องอัจฉริยะที่ 2.. 75
ภาพที่ 5.11 ภาพจริงภายในกล่องอัจฉริยะที่ 2 76
ภาพที่ 5.12 การจัดเรียงอุปกรณ์ภายในกล่องอัจฉริยะที่ 3.. 76
ภาพที่ 5.13 ภาพจริงภายในกล่องอัจฉริยะที่ 3 77
ภาพที่ 5.14 การจัดเรียงอุปกรณ์ภายในกล่องอัจฉริยะที่ 4.. 77
ภาพที่ 5.15 ภาพจริงภายในกล่องอัจฉริยะที่ 4 78
ภาพที่ 5.16 วงจรของเซนเซอร์วัดความเข้มแสง.. 79
ภาพที่ 5.17 Light Sensor ที่ประกอบสำเร็จและพร้อมจะติดตั้ง.. 80
ภาพที่ 5.18 บล็อกไดอะแกรมของวงจร Temperature Sensor 81
ภาพที่ 5.19 block diagram ของวงจร Motion Sensor 81
ภาพที่ 5.20 กรวยรีแสดงขอบเขตการตรวจจับของ motion sensor.. 82
ภาพที่ 5.21 หน้าต่างของโปรแกรม HEM GUI ที่ถูกพัฒนาขึ้นใน Matlab................................ 83
ภาพที่ 5.22 หน้าต่างของโปรแกรม Edit Setting 86
ภาพที่ 5.23 หน้าต่างของโปรแกรม Remote Control.. 87
ภาพที่ 5.24 block diagram
ของซอร์ฟแวร์ภายในไมโครโปรเซสเซอร์ตัวรับของกล่องอัจฉริยะที่ 1 88
ภาพที่ 5.25 block diagram
ของซอร์ฟแวร์ภายในไมโครโปรเซสเซอร์ตัวส่งของกล่องอัจฉริยะที่ 1 89
ภาพที่ 5.26 block diagram
ของซอร์ฟแวร์ภายในไมโครโปรเซสเซอร์ตัวรับของกล่องอัจฉริยะที่ 2 89

หน้า

ภาพที่ 5.27 block diagram
ของซอร์ฟแวร์ภายในไมโครโปรเซสเซอร์ตัวส่งของกล่องอัจฉริยะที่ 2 90
ภาพที่ 5.28 block diagram
ของซอร์ฟแวร์ภายในไมโครโปรเซสเซอร์ตัวรับของกล่องอัจฉริยะที่ 3 90
ภาพที่ 5.29 block diagram
ของซอร์ฟแวร์ภายในไมโครโปรเซสเซอร์ตัวส่งของกล่องอัจฉริยะที่ 3 90
ภาพที่ 5.30 block diagram
ของซอร์ฟแวร์ภายในไมโครโปรเซสเซอร์ตัวรับของกล่องอัจฉริยะที่ 4 91
ภาพที่ 5.31 block diagram
ของซอร์ฟแวร์ภายในไมโครโปรเซสเซอร์ตัวส่งของกล่องอัจฉริยะที่ 4 91
ภาพที่ 6.1 โครงสร้างการจัดเรียงของห้องครัว ห้องทำงาน และห้องนั่งเล่น
ภายในบ้าน 1 หลัง 98
ภาพที่ 6.2 พื้นที่ในห้องปฏิบัติการวิจัยที่จำลองเป็นห้องครัว 99
ภาพที่ 6.3 พื้นที่ในห้องปฏิบัติการวิจัยที่จำลองเป็นห้องทำงาน 99
ภาพที่ 6.4 พื้นที่ในห้องปฏิบัติการวิจัยที่จำลองเป็นห้องนั่งเล่น 100
ภาพที่ 6.5 ระบบไฟฟ้าภายในบ้านก่อนติดตั้งระบบจัดการพลังงาน 101
ภาพที่ 6.6 ระบบไฟฟ้าภายในบ้านหลังติดตั้งระบบจัดการพลังงาน....................................... 101
ภาพที่ 6.7 เครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้ายี่ห้อ CHAUVIN ARNOUX ของสถาบันวิจัยพลังงาน......... 102
ภาพที่ 6.8 การตั้งค่าโปรแกรม Remote Control เพื่อวัดค่าพลังงานไฟฟ้าก่อนติดตั้งระบบ...... 104
ภาพที่ 6.9 ค่าต่างๆในโปรแกรม Edit Setting ที่ผู้ใช้ไฟฟ้าได้ตั้งไว้... 108
ภาพที่ 6.10 กราฟ Weekly Load Curve
เฉลี่ยของการใช้พลังงานไฟฟ้าก่อนและหลังติดตั้งระบบ... 109
ภาพที่ 6.11 กราฟ Daily Load Curve ของวันอาทิตย์ในช่วงสัปดาห์แรกก่อนติดตั้งระบบ 110
ภาพที่ 6.12 กราฟ Daily Load Curve ของวันเสาร์ในช่วงสัปดาห์ที่สองหลังติดตั้งระบบ 111
ภาพที่ 6.13 กราฟ Daily Load Curve ของวันจันทร์ในช่วงสัปดาห์แรกก่อนติดตั้งระบบ.......... 111
ภาพที่ 6.14 กราฟ Daily Load Curve ของวันจันทร์ในช่วงสัปดาห์แรกหลังติดตั้งระบบ 112
ภาพที่ 6.15 กราฟ Daily Load Curve ของวันพุธในช่วงสัปดาห์แรกก่อนติดตั้งระบบ 113
ภาพที่ 6.16 กราฟ Daily Load Curve ของวันอังคารในช่วงสัปดาห์แรกหลังติดตั้งระบบ 113
ภาพที่ 6.17 กราฟ Daily Load Curve ของวันพุธในช่วงสัปดาห์ที่สองก่อนติดตั้งระบบ 114

หน้า

ภาพที่ 6.18 กราฟ Daily Load Curve ของวันพุธในช่วงสัปดาห์แรกหลังติดตั้งระบบ 114
ภาพที่ 6.19 กราฟ Daily Load Curve ของวันจันทร์ในช่วงสัปดาห์ที่สองก่อนติดตั้งระบบ 115
ภาพที่ 6.20 กราฟ Daily Load Curve ของวันศุกร์ในช่วงสัปดาห์แรกหลังติดตั้งระบบ 115
ภาพที่ 6.21 กราฟ Daily Load Curve ของวันเสาร์ในช่วงสัปดาห์ที่สองก่อนติดตั้งระบบ 116
ภาพที่ 6.22 กราฟ Daily Load Curve ของวันเสาร์ในช่วงสัปดาห์แรกหลังติดตั้งระบบ 116
ภาพที่ 6.23 แผนภูมิวงกลมแสดงสัดส่วนร้อยละของแนวคิด
ที่ทำให้เกิดการประหยัดพลังงาน 119
ภาพที่ 6.24 ความสัมพันธ์ของแนวคิด
Smart Planning และ Energy Consumption Visualizing 120
ภาพที่ ข.1 บอร์ดทดลอง Fio Standard (ขวา) และ บอร์ดทดลอง Fio lite (ซ้าย) [28] 129
ภาพที่ ข.2 รูปร่างของ Zigbee เบอร์ XB24-Z7SIT-004 [29] 130
ภาพที่ ค.1 กราฟ Daily Load Curve ของวันอาทิตย์ในช่วงสัปดาห์แรกก่อนติดตั้งระบบ 131
ภาพที่ ค.2 กราฟ Daily Load Curve ของวันจันทร์ในช่วงสัปดาห์แรกก่อนติดตั้งระบบ 131
ภาพที่ ค.3 กราฟ Daily Load Curve ของวันอังคารในช่วงสัปดาห์แรกก่อนติดตั้งระบบ 132
ภาพที่ ค.4 กราฟ Daily Load Curve ของวันพุธในช่วงสัปดาห์แรกก่อนติดตั้งระบบ 132
ภาพที่ ค.5 กราฟ Daily Load Curve ของวันพฤหัสบดีในช่วงสัปดาห์แรกก่อนติดตั้งระบบ 132
ภาพที่ ค.6 กราฟ Daily Load Curve ของวันศุกร์ในช่วงสัปดาห์แรกก่อนติดตั้งระบบ 133
ภาพที่ ค.7 กราฟ Daily Load Curve ของวันเสาร์ในช่วงสัปดาห์แรกก่อนติดตั้งระบบ 133
ภาพที่ ค.8 กราฟ Daily Load Curve ของวันอาทิตย์ในช่วงสัปดาห์ที่สองก่อนติดตั้งระบบ 134
ภาพที่ ค.9 กราฟ Daily Load Curve ของวันจันทร์ในช่วงสัปดาห์ที่สองก่อนติดตั้งระบบ 134
ภาพที่ ค.10 กราฟ Daily Load Curve ของวันอังคารในช่วงสัปดาห์ที่สองก่อนติดตั้งระบบ 134
ภาพที่ ค.11 กราฟ Daily Load Curve ของวันพุธในช่วงสัปดาห์ที่สองก่อนติดตั้งระบบ 135
ภาพที่ ค.12 กราฟ Daily Load Curve ของวันพฤหัสบดี
ในช่วงสัปดาห์ที่สองก่อนติดตั้งระบบ 135
ภาพที่ ค.13 กราฟ Daily Load Curve ของวันศุกร์ในช่วงสัปดาห์ที่สองก่อนติดตั้งระบบ 135
ภาพที่ ค.14 กราฟ Daily Load Curve ของวันเสาร์ในช่วงสัปดาห์ที่สองก่อนติดตั้งระบบ 136
ภาพที่ ค.15 กราฟ Daily Load Curve ของวันอาทิตย์ในช่วงสัปดาห์แรกหลังติดตั้งระบบ 136
ภาพที่ ค.16 กราฟ Daily Load Curve ของวันจันทร์ในช่วงสัปดาห์แรกหลังติดตั้งระบบ 137
ภาพที่ ค.17 กราฟ Daily Load Curve ของวันอังคารในช่วงสัปดาห์แรกหลังติดตั้งระบบ 137

หน้า

ภาพที่ ค.18 กราฟ Daily Load Curve ของวันพุธในช่วงสัปดาห์แรกหลังติดตั้งระบบ 137
ภาพที่ ค.19 กราฟ Daily Load Curve ของวันพฤหัสบดีในช่วงสัปดาห์แรกหลังติดตั้งระบบ 138
ภาพที่ ค.20 กราฟ Daily Load Curve ของวันศุกร์ในช่วงสัปดาห์แรกก่อนติดตั้งระบบ 138
ภาพที่ ค.21 กราฟ Daily Load Curve ของวันเสาร์ในช่วงสัปดาห์แรกหลังติดตั้งระบบ............ 138
ภาพที่ ค.22 กราฟ Daily Load Curve ของวันอาทิตย์ในช่วงสัปดาห์ที่สองหลังติดตั้งระบบ 139
ภาพที่ ค.23 กราฟ Daily Load Curve ของวันจันทร์ในช่วงสัปดาห์ที่สองหลังติดตั้งระบบ........ 139
ภาพที่ ค.24 กราฟ Daily Load Curve ของวันอังคารในช่วงสัปดาห์ที่สองหลังติดตั้งระบบ 140
ภาพที่ ค.25 กราฟ Daily Load Curve ของวันพุธในช่วงสัปดาห์ที่สองหลังติดตั้งระบบ............ 140
ภาพที่ ค.26 กราฟ Daily Load Curve ของวันพฤหัสบดี
ในช่วงสัปดาห์ที่สองหลังติดตั้งระบบ... 140
ภาพที่ ค.27 กราฟ Daily Load Curve ของวันศุกร์ในช่วงสัปดาห์ที่สองหลังติดตั้งระบบ 141
ภาพที่ ค.28 กราฟ Daily Load Curve ของวันเสาร์ในช่วงสัปดาห์ที่สองหลังติดตั้งระบบ 141

บทที่ 1

บทนำ

เนื้อหาในบทนี้ได้นำเสนอที่มาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขต ขั้นตอนการศึกษาและวิธีการดำเนินงาน และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากราคาค่าไฟฟ้าที่ปรับตัวสูงขึ้น ปัญหาเรื่องการขาดแคลนพลังงาน และ ความต้องการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้ต้องมีการพัฒนา ระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน Home Energy Management System (HEMS) ที่พัฒนาขึ้นมาจากสวิตซ์ควบคุมอัจฉริยะ Intelligent Time Table Switch (ITTS) ซึ่งสามารถควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าหลายเครื่องได้แบบอัตโนมัติ และมีความฉลาดมากกว่าระบบไฟฟ้าภายในบ้านที่มีอยู่เดิม เพื่อเป็นการลดการใช้ไฟฟ้าในช่วงราคาแพง, ลดการใช้พลังงานสูญเปล่า, เพิ่มความสะดวกสบายและความปลอดภัยของผู้อยู่อาศัย ในวิทยานิพนธ์นี้จะพัฒนาระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าภายในบ้านที่สามารถ ลดการใช้ไฟฟ้าในช่วงราคาแพง, ลดการใช้พลังงานสูญเปล่า, เพิ่มความสะดวกสบายและความปลอดภัยของผู้อยู่อาศัย รวมถึงผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถโปรแกรมและทราบข้อมูลของการใช้พลังไฟฟ้าได้

1.2 วัตถุประสงค์

1) พัฒนาสวิตซ์ควบคุมอัจฉริยะ Intelligent Time Table Switch (ITTS) ให้เป็นระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน Home Energy Management System (HEMS)
2) ทดสอบสมรรถนะของระบบที่ได้ทำการพัฒนาไว้ โดยคาดว่าหลังจากการติดตั้งระบบจัดการพลังงานภายในบ้านแล้วจะสามารถลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมได้

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1) พิจารณาเฉพาะระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าภายในบ้านเท่านั้น
2) ระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าภายในบ้านที่กล่าวถึงนี้เป็นการจัดการกับโหลดในห้อง 3 ห้องของบ้าน 1 หลัง ได้แก่ห้องครัว ห้องทำงาน และห้องนั่งเล่น
3) ไม่พิจารณาพลังงานหมุนเวียนที่ใช้กับ HEMS

4) พิจารณา เซ็นเซอร์วัดการเคลื่อนไหวของมนุษย์, เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ, เซ็นเซอร์วัดความเข้มแสง และมาตรวัดกำลังไฟฟ้าของโหลดไฟฟ้า ในการทดสอบระบบดังกล่าว

1.4 ขั้นตอนการศึกษาและวิธีการดำเนินงาน

1) กำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขตของวิทยานิพนธ์
2) ศึกษารูปแบบของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าภายในบ้านที่มีการศึกษาในอดีต
3) นำเอาลักษณะเด่นของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าภายในบ้านในแต่ละแบบที่มีการทำในอดีตมาวิเคราะห์เพื่อกำหนดฟังก์ชันการทำงานของระบบจัดการพลังงานภายในบ้านที่จะถูกพัฒนาขึ้น
4) กำหนดฟังก์ชันการทำงานของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าภายในบ้าน
5) นำฟังก์ชันการทำงานของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าภายในบ้าน ไปประยุกต์ใช้กับฮาร์ดแวร์ และพัฒนาขึ้นเป็นระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าภายในบ้านที่ใช้งานได้จริง
6) ทดลองนำระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าภายในบ้านมาประยุกต์ใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้า
7) วิเคราะห์หาสมรรถนะของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าภายในบ้านที่สร้างขึ้น
8) สรุปผล

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ระบบจัดการพลังงานที่พัฒนาขึ้นสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงราคาแพงได้
2) ระบบจัดการพลังงานที่พัฒนาขึ้นสามารถลดการใช้พลังงานสูญเปล่าได้
3) ระบบจัดการพลังงานที่พัฒนาขึ้นสามารถเพิ่มความสะดวกสบายและความปลอดภัยแก่ผู้ใช้พลังงานไฟฟ้า

1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งออกเป็น 7 บท โดยแต่ละบทมีเนื้อหา ดังนี้

บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงที่มาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ ขั้นตอนการศึกษาและวิธีการดำเนินงาน ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ส่วนเนื้อหาของวิทยานิพนธ์ที่จะกล่าวถึงในบทต่อไป

บทที่ 2 ระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน ในบทนี้จะทำการอธิบายถึง นิยามของระบบจัดการพลังงาน หลักการทำงานของระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน ส่วนเชื่อมต่อและโครงสร้าง

ของระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน และตัวอย่างระบบจัดการพลังงานภายในบ้านที่เคยมีการพัฒนาขึ้นมาก่อนแล้ว

บทที่ 3 เทคโนโลยีการสื่อสารและสารสนเทศสำหรับระบบจัดการพลังงาน ในบทนี้จะอธิบายถึง เทคโนโลยีสำหรับการพัฒนาระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน ได้แก่ การสื่อสารแบบไร้สายโดยใช้ซิ๊กบี การสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า เซนเซอร์สำหรับระบบจัดการพลังงาน ระบบประมวลผลสำหรับระบบจัดการพลังงาน และเทคโนโลยีสารสนเทศสำหรับควบคุมการเปิดปิดวงจร

บทที่ 4 การออกแบบระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน ในบทนี้จะอธิบายถึงการออกแบบเชิงแนวคิดของระบบการจัดการพลังงานภายในบ้าน ภาพรวมของระบบ การออกแบบส่วนระบบไฟฟ้า และการออกแบบส่วนสารสนเทศและการสื่อสาร

บทที่ 5 การสร้างและพัฒนาระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน ในบทนี้จะอธิบายถึงการสร้างกล่องอัจฉริยะซึ่งทำหน้าที่เป็นระบบประมวลผลของระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน การพัฒนาระบบเซนเซอร์ และการพัฒนาซอร์ฟแวร์

บทที่ 6 การทดสอบสมรรถนะของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าภายในบ้าน ในบทนี้จะกล่าวถึง ระบบทดสอบ วิธีการทดสอบ ผลการทดสอบ พร้อมทั้งการวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่มีผลในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในบ้าน

บทที่ 7 สรุป เป็นบทสรุปในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ พร้อมทั้งข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

บทที่ 2

ระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน

ในปัจจุบันได้มีการนำเอาเทคโนโลยีที่ทันสมัยมาประยุกต์ใช้กับระบบไฟฟ้ากำลัง เพื่อพัฒนาให้ระบบดังกล่าวมีประสิทธิภาพมากขึ้น แต่เนื่องจากปัญหาการขาดแคลนพลังงาน ทำให้ต้องมีการจัดการพลังงานทางด้านผู้ใช้พลังงานไฟฟ้า เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าสิ้นเปลือง โดยอาศัยราคาค่าไฟฟ้าที่ลดลงเป็นแรงจูงใจให้มีการลดการใช้พลังงานไฟฟ้า ในบทที่ 2 นี้จะกล่าวถึงระบบการจัดการพลังงาน ซึ่งประกอบด้วย นิยามของระบบจัดการพลังงาน หลักการทำงานของระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน ส่วนเชื่อมต่อและโครงสร้างของระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน และตัวอย่างระบบจัดการพลังงานภายในบ้านที่เคยมีการพัฒนาขึ้นมาก่อนแล้ว

2.1 นิยามของระบบจัดการพลังงาน

ระบบจัดการพลังงาน (Energy Management System: EMS) คือเทคโนโลยีการสื่อสารและสารสนเทศที่ใช้ในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบไฟฟ้าของส่วนผู้ใช้ไฟฟ้า ทำให้ระบบไฟฟ้าสามารถทำงานและจัดการได้อย่างมีประสิทธิภาพ, ประหยัดพลังงาน และผลิตไฟฟ้าจากพลังงานที่เป็นมิตรต่อธรรมชาติมากกว่าระบบที่มีอยู่เดิม โดยระบบจัดการพลังงานสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทจำแนกตามปริมาณความต้องการไฟฟ้าจากมากไปน้อยตามลำดับได้ดังนี้ [1-3]

2.1.1 ระบบจัดการพลังงานภายในโรงงาน

ระบบจัดการพลังงานภายในโรงงาน (Factory Energy Management System: FEMS) คือเทคโนโลยีการสื่อสารและสารสนเทศที่ใช้เชื่อมต่อกับเครื่องจักรและอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆภายในโรงงาน เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องจักรเหล่านี้ และวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ระบบประมวลผล เพื่อดำเนินการเปิดปิดเครื่องจักรในเวลาที่เหมาะสม หรือปรับปรุงคุณภาพของการใช้ไฟฟ้าให้ดีกว่าเดิม เพื่อให้ผู้ประกอบการจ่ายค่าไฟฟ้าในราคาที่ถูกลงกว่าเดิม [1]

2.1.2 ระบบจัดการพลังงานภายในตึกอาคาร

ระบบจัดการพลังงานภายในตึกอาคาร (Building Energy Management System: BEMS) คือเทคโนโลยีการสื่อสารและสารสนเทศที่ใช้ในการเชื่อมต่อกับโหลดภายในอาคารอัน

ได้แก่ โหลดแสงสว่าง และโหลดปรับอากาศ รวมถึงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย (Distribuite Generator) ของตัวอาคาร เช่น ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนที่เกิดจากโหลดปรับอากาศ ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม ระบบผลิตไฟฟ้าจากเครื่องยนต์ดีเซล เป็นต้น เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของโหลดรวมถึงข้อมูลการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหล่านี้ และวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ระบบประมวลผลเพื่อดำเนินการจัดสรรการจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้แก่โหลดในเวลาที่เหมาะสมที่สุด เพื่อให้เจ้าของอาคารจ่ายค่าไฟฟ้าในราคาที่ถูกลงกว่าเดิม [2]

2.1.3 ระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน

ระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน (Home Energy Management System: HEMS) คือการประยุกต์เทคโนโลยีการสื่อสารและสารสนเทศเพื่อจัดการความต้องการพลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้าน เช่น การตัดต่อโหลดตามลำดับความสำคัญ [3] การควบคุมพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่ไม่แน่นอน [4] เป็นต้น และเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าจากเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆโดยใช้ smart meter รวมถึงแจ้งเตือนให้ผู้ใช้ไฟฟ้าทราบถึงสถานะ การใช้พลังงานไฟฟ้าของตน [5] เพื่อให้เจ้าของบ้านจ่ายค่าไฟฟ้าในราคาที่ถูกลงกว่าเดิม และผู้อยู่อาศัยภายในบ้านมีความสะดวกสบายมากกว่าเดิม

จากระบบจัดการพลังงานในข้อ 2.1.1 ถึงข้อ 2.1.3 ที่กล่าวมา ทำให้สามารถสรุปได้ว่าระบบจัดการพลังงานดังกล่าวมีข้อดีที่มากกว่าระบบไฟฟ้าของส่วนผู้ใช้ไฟฟ้าเดิมดังนี้

- ลดความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด [5,6]
- ลดพลังงานสูญเสียในระบบ [6]
- ลดภาวะไฟดับในระบบไฟฟ้าเนื่องจากโหลดมากกว่าแหล่งจ่าย [6]
- สนับสนุนให้ภาคอุตสาหกรรมผลิตสิ่งของเพื่อช่วยในการอนุรักษ์พลังงาน [6]
- ลดภาวะโลกร้อน [5,7]

2.2 หลักการทำงานของระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน

หลักการทำงานของระบบจัดการพลังงานภายในบ้านเกิดจากแนวคิดของการจัดการพลังงานของผู้สร้างระบบ และแนวคิดจะเป็นตัวกำหนดฟังก์ชันของระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน ดังต่อไปนี้

2.2.1 แนวคิดของการจัดการพลังงานภายในบ้าน

จากการศึกษางานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องกับการจัดการพลังงานภายในบ้าน สามารถสรุปแนวคิดเชิงทฤษฎีของการจัดการพลังงานภายในบ้านได้ 3 แนวคิด ได้แก่ การประหยัดพลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง, การประหยัดพลังงานของเครื่องปรับอากาศ และการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงราคาแพงโดยการเปลี่ยนมาใช้อัตรา TOU [2, 8-9] ดังนี้

2.2.1.1 **การประหยัดพลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง [2]**

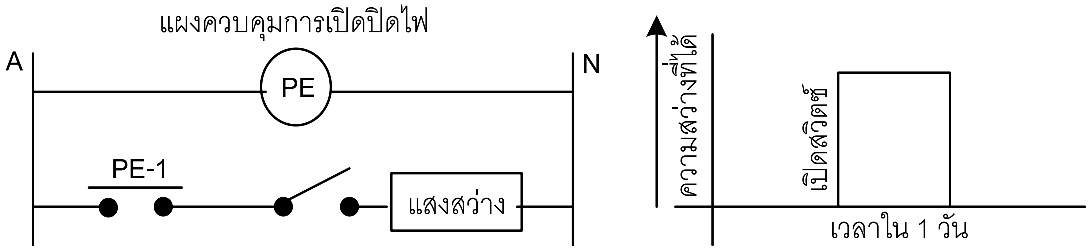
หลักการที่สำคัญในการประหยัดพลังงานไฟแสงสว่างคือ การใช้ไฟแสงสว่างให้มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยใช้แสงสว่างที่จำเป็นอย่างเต็มที่และขจัดไฟส่วนที่ไม่จำเป็นออกไป โดยหลักการสำคัญของการประหยัดพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างนั้นมีดังต่อไปนี้

1) การเลือกวิธีให้แสงสว่างที่เหมาะสมและตรงกับความต้องการ โดยระดับความสว่างมาตรฐานของส่วนต่างๆในบ้านที่เหมาะสมและตรงกับความต้องการสามารถพิจารณาได้จากตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ระดับความสว่างมาตรฐานของส่วนต่างๆในบ้าน [2]

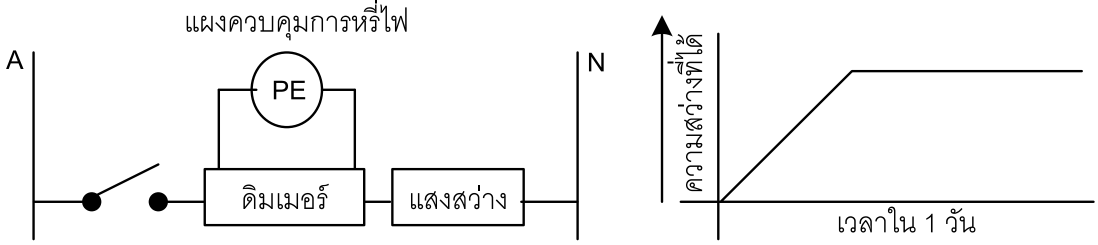
ห้องภายในบ้าน	บริเวณต่างๆภายในห้อง	ความเข้มมาตรฐานของการส่องสว่าง (ลักซ์)
ห้องนอน	บริเวณทั่วไป	50
	หัวเตียง	200
ห้องน้ำ	บริเวณทั่วไป	100
	โกนหนวด แต่งหน้า	500
ห้องนั่งเล่น	บริเวณทั่วไป	100
	อ่านหนังสือ เย็บจักร	500
	บันได	100
ห้องครัว	บริเวณทั่วไป	300
	ห้องเตรียมอาหาร	500
ห้องทำงาน	ทำงาน	300
ห้องเด็กอ่อน	บริเวณเลี้ยงเด็ก	150

2) การใช้แสงสว่างเปิดสวิตซ์ เพื่อป้องกันป้องกันการลืมปิดดวงโคมที่ถูกเปิดทิ้งไว้ในเวลากลางวัน การใช้พลังงานไปอย่างเปล่าประโยชน์ในช่วงเวลากลางวัน การใช้แสงสว่างเปิดสวิตซ์เป็นการควบคุมการเปิดแสงสว่างอัตโนมัติชนิดหนึ่ง วงจรที่ใช้เป็นดังภาพที่ 2.1 [2]



ภาพที่ 2.1 วงจรแสงสว่างเปิดสวิตซ์ควบคุมหลอดไฟฟ้า [2]

3) การใช้ดิมเมอร์หรือสวิตซ์หรี่ไฟ ในบริเวณห้องซึ่งบางครั้งต้องการแสงสว่างมาก แต่บางครั้งต้องการแสงสว่างต่ำหรือห้องที่ที่มีการใช้แสงจากธรรมชาติจากภายนอกเข้ามาช่วยให้แสงสว่างภายใน ระดับแสงสว่างจากดวงอาทิตย์ตามธรรมชาติจะแปรเปลี่ยนไปไม่แน่นอน ห้องดังกล่าวนี้ควรจะนำดิมเมอร์ (Dimmer) ช่วยในการปรับระดับแสงสว่างให้เหมาะสมสำหรับกิจกรรมแต่ละแบบที่ต้องการแสงสว่างไม่เท่ากันจะเป็นการช่วยอนุรักษ์พลังงานลงด้วยการลดปริมาณแสงที่ไม่ต้องการแสงสว่างจากธรรมชาติภายนอกช่วย ดิมเมอร์ที่ใช้กับหลอดไส้สมัยก่อนมีประสิทธิภาพต่ำ ในปัจจุบันนิยมใช้ดิมเมอร์ระบบอิเล็กทรอนิกส์อาจจะเป็น SCR หรือ Triac ซึ่งจะทำให้มีประสิทธิภาพสูง ราคาถูก หรือหาซื้อง่าย ส่วนดิมเมอร์ที่ใช้สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์และหลอดปรอท จะต้องใช้บัลลาสต์พิเศษสำหรับการหรี่ไฟ ซึ่งจะมีราคาแพงและหาซื้อได้ยากกว่า โดยวงจรที่แสดงการใช้ไฟฟ้าแสงสว่างมาควบคุมระบบหรี่ควบคุมหลอดไฟฟ้าเป็นดังภาพที่ 2.2 [2]

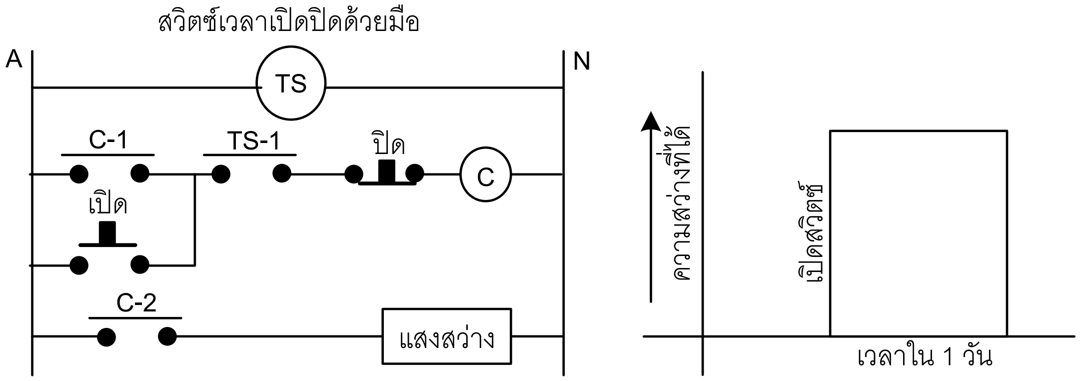


ภาพที่ 2.2 วงจรที่แสดงการใช้ไฟฟ้าแสงสว่างมาควบคุมระบบหรี่ควบคุมหลอดไฟฟ้า [2]

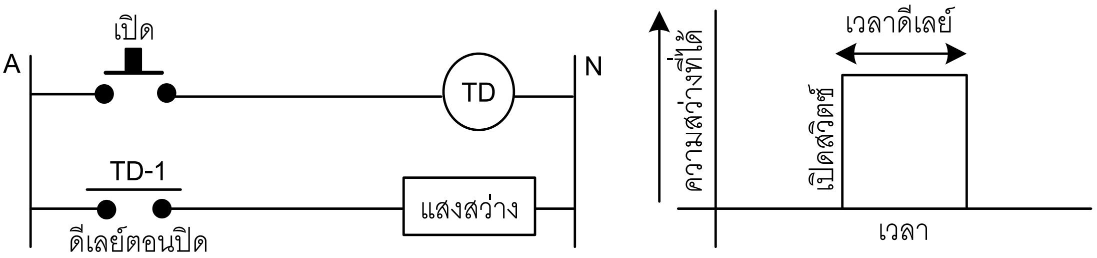
4) การใช้สวิตซ์กุญแจ การใช้สวิตซ์ติดกับกุญแจนี้นิยมใช้กับห้องพักต่างๆในบ้านที่

อยู่กันหลายคน การเปิดปิดโดยใช้สวิตซ์กุญแจนี้เป็นการบังคับว่าเมื่อมีคนเข้าพักในห้อง จะต้องเสียบสวิตซ์กุญแจไว้ หลอดไฟจึงจะสว่าง และเมื่อออกจากห้องต้องดึงสวิตซ์กุญแจออกหลอดไฟก็จะดับ ถ้าเป็นสวิตซ์กุญแจจะต้องห้อยติดกับกุญแจห้องจึงจะได้ผล วิธีการใช้สวิตซ์ติดกับกุญแจนี้จะเป็นการช่วยอนุรักษ์พลังงานในช่วงที่ไม่มีคนเข้าพักอาศัยได้เป็นอย่างดี [2]

5) การใช้สวิตซ์เวลาหรือไทม์ดีเลย์ เหมาะสำหรับห้องที่ใช้งานในช่วงเวลาสั้นๆ มักลืมปิดไฟไว้เมื่อเลิกใช้งาน เช่นห้องเก็บเอกสาร ห้องเก็บของ ห้องเก็บหนังสือ ห้องน้ำส่วนตัว การทำงานของสวิตซ์จะมีอยู่สองแบบ แบบแรกจะทำงานตามเวลาที่ได้ตั้งเอาไว้ และแบบที่สองจะเปิดสวิตซ์โดยใช้มือ และใช้เวลาที่ตั้งไว้เป็นตัวปิด (ดังภาพที่ 2.3) โดยแบบแรกนั้นนิยมใช้กับห้องที่ทราบระยะเวลาการทำงานตลอดทั้งวันเป็นเวลาที่ค่อนข้างแน่นอน แบบที่สองนั้นสวิตซ์จะเริ่มทำงานตั้งแต่เริ่มเปิดสวิตซ์และถึงเวลาที่ตั้งเอาไว้ก็จะปิดเองโดยอัตโนมัติ สวิตซ์เวลาแบบนี้มีทั้งใช้ระบบอิเล็กทรอนิกส์และใช้ไขลาน การใช้สวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์จะมีพลังงานส่วนหนึ่งซึ่งสวิตซ์นี้จะต้องใช้ไป แต่ถ้าแบบไขลานนาฬิกาจะดียิ่งขึ้นอีก สำหรับสวิตซ์อีกแบบหนึ่งซึ่งจะใช้ปิดหลอดไฟฟ้าในช่วงเวลาอันสั้นหลังจากเปิดสวิตซ์แล้วเรียกว่า ไทม์ดีเลย์ (Time Delay) ดังภาพที่ 2.4 [2]



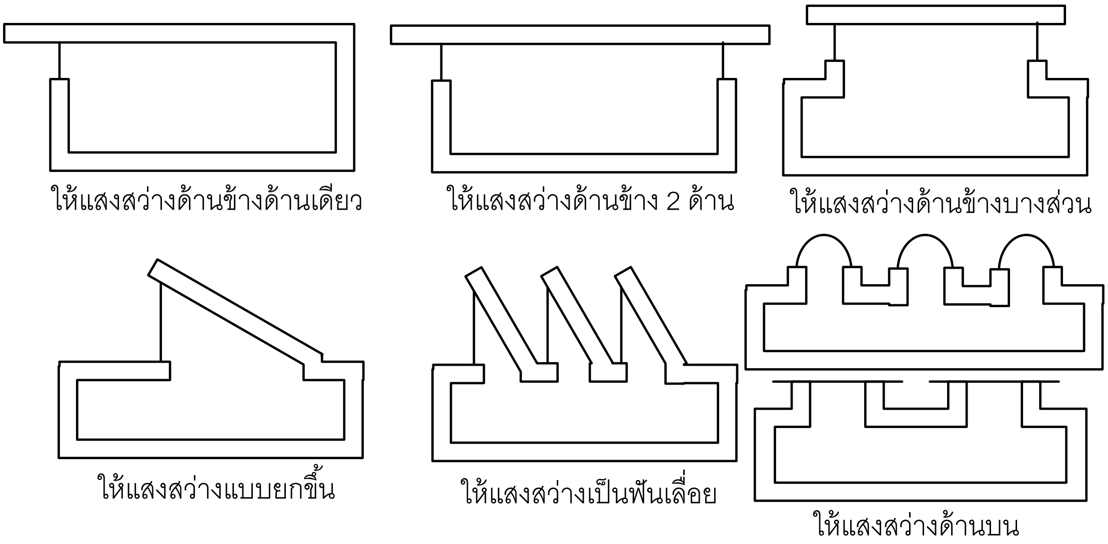
ภาพที่ 2.3 การใช้สวิตซ์เวลาซึ่งตอนเปิดจะใช้มือและเวลาปิดจะใช้เวลาเป็นตัวปิด [2]



ภาพที่ 2.4 การใช้สวิตซ์ไทม์ดีเลย์ [2]

6) การใช้แสงจากดวงอาทิตย์ในเวลากลางวันให้เป็นประโยชน์ การออกแบบบ้าน

จะต้องคำนึงถึงเรื่องแสงสว่างและทิศทางของฤดูกาลและสภาพอากาศด้วย ดังนั้นการออกแบบบ้านควรจะให้มีหน้าต่างและช่องแสงให้มากและเหมาะสม การเปิดช่องแสงตลอดผนังห้องให้แสงสว่างจากดวงอาทิตย์เข้าเพียงพอ จะสามารถปิดโคมไฟบางแถวที่อยู่ใกล้กับผนังหน้าต่างได้และเปิดให้แสงสว่างเฉพาะโคมส่วนที่อยู่กลางห้องหรือส่วนของห้องที่แสงสว่างธรรมชาติเข้าถึงได้น้อย การเปิดช่องแสงและและมีช่องหน้าต่างจะต้องคำนึงถึงปริมาณความร้อนจากแสงสว่างธรรมชาติจากดวงอาทิตย์เข้ามาด้วย ซึ่งแสงสว่างจำนวนนี้จะทำให้เกิดการสูญเสียในระบบปรับอากาศอีกส่วนหนึ่งด้วย การให้แสงสว่างภายในบ้านใหญ่ๆทั่วๆไปจะเป็นดังรูปที่ 2.5 [2]



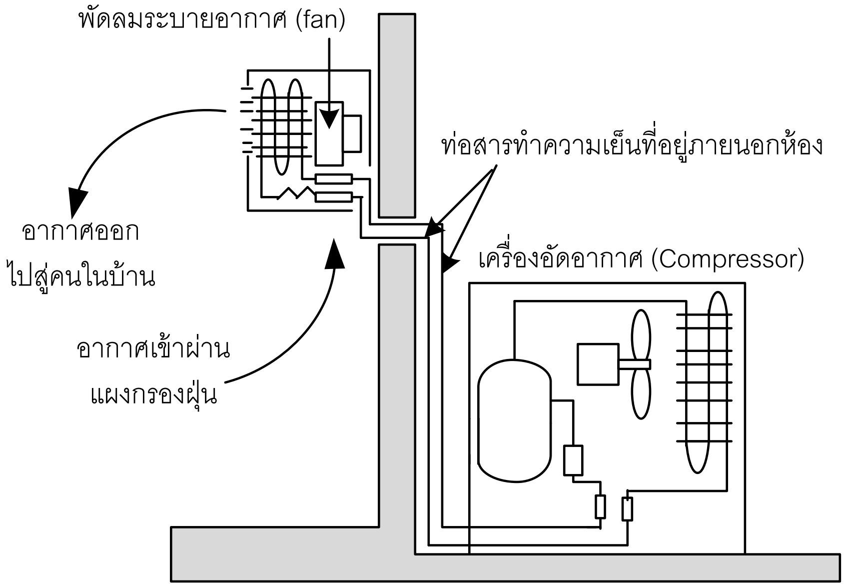
ภาพที่ 2.5 การให้แสงสว่างธรรมชาติจากดวงอาทิตย์กับรูปแบบของบ้าน [2]

7) การแก้ไขสภาพภายในบ้าน สภาพแวดล้อมภายในบ้าน ถ้าหากใส่สีไม่ถูกต้องจะทำให้ต้องใช้แสงสว่างมาก ดังนั้น ฝาผนัง เพดาน และพื้นจะต้องเลือกวิธีและเลือกใช้สีที่สามารถสะท้อนแสงได้สูง สีที่ออกสว่างอย่างเช่นสีขาวจะให้การสะท้อนแสงสูงถึง 60 - 80 % ซึ่งจะทำให้ลดจำนวนโคมไฟฟ้าลงได้ 20 – 30 % อันจะเป็นการช่วยอนุรักษ์พลังงานอีกทางหนึ่งด้วย สำหรับห้องที่ใช้งานมานานหากมีการทำความสะอาดหรือทาสีใหม่ก็จะช่วยให้สภาพแวดล้อมภายในบ้านสว่างน่าอยู่ขึ้นด้วย [2]

8) การคำนวณและเลือกขนาดสายไฟฟ้าให้มีค่าความสูญเสียต่ำ ทำได้โดยการเพิ่มขนาดสายให้โตขึ้น เนื่องจากสายที่มีความต้านทานต่ำกว่าจะทำให้สามารถลดความสูญเสียเนื่องจากแรงดันไฟฟ้าตกและลดค่าไฟฟ้าลงได้ อย่างไรก็ตามหากมีการศึกษาเปรียบเทียบว่าจะคุ้มหรือไม่เพื่อหาจำนวนสายป้อนและขนาดของสายป้อนให้เหมาะสมจะมีส่วนช่วยในการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าได้ [2]

2.2.1.2 **การประหยัดพลังงานของเครื่องปรับอากาศ [8]**

อุปกรณ์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดของเครื่องปรับอากาศมีอยู่ 2 อุปกรณ์หลักได้แก่ พัดลมระบายอากาศ (Fan) และเครื่องอัดอากาศ (Compressor) โดยระบบปรับอากาศที่นิยมใช้ในบ้านส่วนใหญ่จะเป็นระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนและมีโครงสร้างเป็นดังภาพที่ 2.6

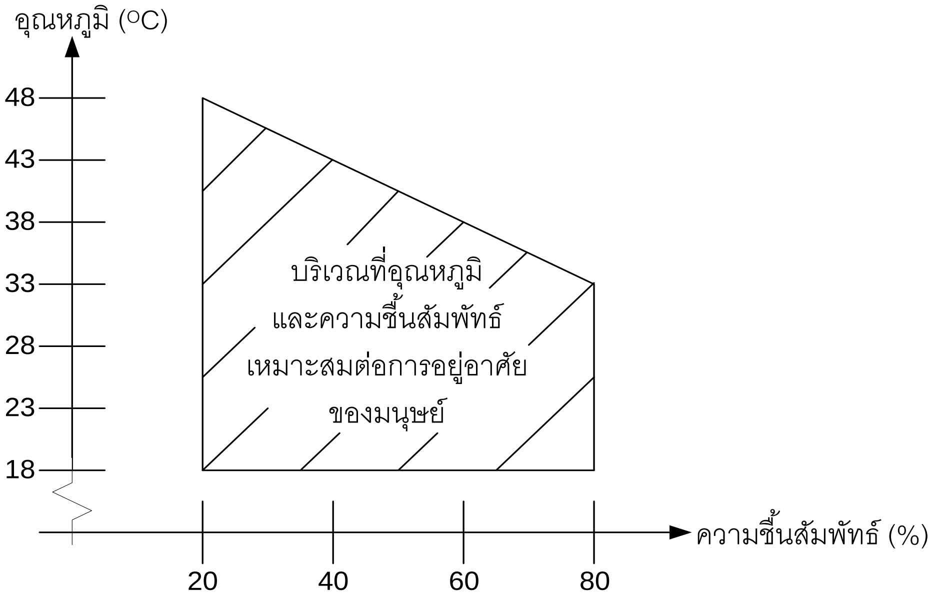


ภาพที่ 2.6 โครงสร้างของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน [8]

จากภาพที่ 2.6 การประหยัดพลังงานของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนสามารถทำได้โดย การควบคุมการทำงานของพัดลมระบายอากาศ (Fan Control) และการควบคุมการทำงานของเครื่องอัดอากาศ (Compressor Control) โดยมีหลักการดังต่อไปนี้

1) การควบคุมการทำงานของพัดลมระบายอากาศ ทำได้โดยการวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบริเวณห้องนั้นๆ โดยใช้เซนเซอร์วัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และควบคุมให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในห้องมีค่าไม่เกิน 1000 ppm (ตามกฎหมายหมายมาตรฐานสถาปัตยกรรม) ดังนั้นจึงหมายความว่า จำเป็นต้องถ่ายเทอากาศจากภายนอกเข้ามาไม่ต่ำกว่า 20 – 30 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง ต่อบุคคลในห้อง 1 คน [8] ซึ่งถ้ามีจำนวนคนในห้องมากต้องควบคุมให้พัดลมระบายอากาศหมุนเร็วมาก แต่ถ้ามีจำนวนคนในห้องน้อยพัดลมระบายอากาศสามารถหมุนด้วยความเร็วรอบที่ช้าลงได้ การควบคุมการทำงานของพัดลมระบายอากาศด้วยวิธีการดังกล่าวนี้สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการหมุนของพัดลมระบายอากาศได้ เนื่องจากพัดลมระบายอากาศจะต้องหมุนด้วยความเร็วรอบที่สูงและคงที่ตลอดเวลาเมื่อเริ่มเปิดเครื่องปรับอากาศโดยปราศจากการควบคุม [8]

2) การควบคุมการทำงานของเครื่องอัดอากาศ ทำได้โดยการวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในบริเวณห้องนั้นๆ โดยอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมต่อการอยู่อาศัยของมนุษย์สามารถแสดงได้ดังกราฟในภาพที่ 2.7 [8]



ภาพที่ 2.7 กราฟแสดงอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมต่อการอยู่อาศัยของมนุษย์ [8]

จากภาพที่ 2.7 พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการอยู่อาศัยของมนุษย์มีค่าตั้งแต่ 18 – 48 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมต่อการอยู่อาศัยของมนุษย์มีค่าตั้งแต่ 20 – 80 เปอร์เซ็นต์โดยถ้าอุณหภูมิมีค่าสูงมากจะต้องควบคุมให้ความชื้นสัมพัทธ์มีค่าต่ำลงเพื่อให้มนุษย์รู้สึกสบาย การวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อาจทำได้โดยการใช้เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ (Temperature Sensor) และเซนเซอร์วัดความชื้น (Humidity Sensor) ซึ่งเมื่อความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิห้องไม่อยู่ในบริเวณกราฟดังภาพที่ 2.7 เซนเซอร์จะต้องตรวจจับและสั่งการให้เครื่องอัดอากาศเริ่มทำงานจนกระทั่งอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์มีค่าที่เหมาะสมเพียงพอ เครื่องอัดอากาศจึงจะหยุดทำงานได้ การควบคุมการทำงานของเครื่องอัดอากาศด้วยวิธีการดังกล่าวนี้สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการหมุนเครื่องอัดอากาศได้ เนื่องจากเครื่องอัดอากาศจะต้องหมุนคงที่ตลอดเวลาเมื่อเริ่มเปิดเครื่องปรับอากาศโดยปราศจากการควบคุม [8]

2.2.1.3 **การลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงราคาแพงโดยการเปลี่ยนมาใช้อัตรา TOU [9]**

เพื่อเป็นแรงจูงใจให้ผู้ใช้ไฟฟ้าไม่ใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงโหลดสูงสุดของวัน ซึ่งมีผล

ทำให้เกิดภาวะพลังงานไฟฟ้าขาดแคลน มาตรการเก็บราคาค่าไฟฟ้าแบบ TOU จึงเป็นมาตรการหนึ่งซึ่งทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าหันมาใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยได้ โดยผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องประเมินความเหมาะสมให้แน่นอนเสียก่อนดำเนินการเปลี่ยนอัตราค่าไฟฟ้าจากแบบเดิมไปเป็นแบบ TOU ซึ่งการวิเคราะห์ค่าไฟฟ้าจะต้องพิจารณาโครงสร้างของราคาค่าไฟฟ้าแบบเดิมเปรียบเทียบกับโครงสร้างของราคาค่าไฟฟ้าแบบ TOU ดังต่อไปนี้ [9]

1) ค่าไฟฟ้าตามอัตราปกติ สามารถพิจารณาได้จากตารางที่ 2.2 [9]

ตารางที่ 2.2 อัตราปกติสำหรับบ้านอยู่อาศัยขนาดใหญ่ที่ซื้อไฟฟ้าจากระบบแรงดันต่ำ [9]

หน่วยไฟฟ้าที่ใช้	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)	ค่าบริการ (บาท/เดือน)
150 หน่วยแรก	1.8047	40.90
250 หน่วยต่อไป	2.7781	
เกิน 400 หน่วยขึ้นไป	2.9780	

จากข้อมูลอัตราค่าไฟฟ้าตามตารางที่ 2.2 จะได้ค่าไฟฟ้าเป็นไปดังสมการที่ 2.1 โดยค่าไฟฟ้าในสมการที่ 2.1 คือค่าพลังงานไฟฟ้าเท่านั้น (ไม่รวมค่า ft ค่าบริการ และภาษีมูลค่าเพิ่ม) และใช้ได้เฉพาะกรณีที่ผู้ใช้ไฟฟ้าใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้ามากกว่า 400 หน่วยต่อเดือนเท่านั้น [9]

$$C = 2.978 \times E - 255.97 \tag{2.1}$$

เมื่อ

C คือ ค่าไฟฟ้าฐานเฉพาะค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท)

E คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด (หน่วย)

2) ค่าไฟฟ้าตามอัตรา TOU สามารถพิจารณาได้จากตารางที่ 2.3 [9]

ตารางที่ 2.3 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU) [9]

ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ขอใช้ (กิโลโวลต์)	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		ค่าบริการ (บาท/เดือน)
	On Peak	Off Peak	
12 – 24 kV หรือ 22-23 kV	3.6246	1.1914	228.17
ต่ำกว่า 12 kV หรือต่ำกว่า 22 kV	4.3093	1.2246	57.95

หมายเหตุ On Peak อยู่ในช่วงเวลา 9.00-22.00 น. ของวันจันทร์ – ศุกร์ที่ไม่ใช่วันหยุดราชการตามปกติ

จากข้อมูลอัตราค่าไฟฟ้าตามตารางที่ 2.3 จะได้ค่าไฟฟ้าเป็นไปดังสมการที่ 2.2 โดยค่าไฟฟ้าในสมการที่ 2.2 คือค่าพลังงานไฟฟ้าเท่านั้น (ไม่รวมค่า ft ค่าบริการ และภาษีมูลค่าเพิ่ม) [9]

$$C = 3.0847 \times E_{on} + 1.2246 \times E \qquad (2.2)$$

เมื่อ

C คือ ค่าไฟฟ้าฐานเฉพาะค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท)

E_{on} คือ ปริมาณพลังงานที่ใช้ช่วง On Peak (หน่วย)

E คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด (หน่วย)

3) เปลี่ยนจากอัตราปกติเป็นอัตรา TOU จุดประสงค์ของการเปลี่ยนอัตราค่าไฟฟ้าคือต้องการเสียค่าไฟฟ้าให้น้อยกว่าเดิม ดังนั้นค่าไฟฟ้าตามอัตรา TOU ต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าไฟฟ้าตามอัตราปกติ ในกรณีนี้จึงกำหนดให้ค่าไฟฟ้าตามสมการที่ 2.2 มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าไฟฟ้าตามสมการที่ 2.1 ทำให้ได้อสมการที่ 2.3 [9]

$$\frac{E_{on}}{E} \leq 0.5684 - \frac{73.2551}{E} \qquad (2.3)$$

จากอสมการที่ 2.3 นี้พบว่าสำหรับบ้านอยู่อาศัยขนาดใหญ่และกิจการขนาดเล็กที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งเดือนตั้งแต่ 1,000 หน่วยขึ้นไป หากใช้ไฟฟ้าในช่วง On Peak ไม่เกิน 50% ของปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมดแล้วค่าไฟฟ้าตามอัตรา TOU จะถูกกว่าค่าไฟฟ้าตามอัตราปกติ [9]

2.2.2 ฟังก์ชันการทำงานของระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน

จากการศึกษางานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องกับระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน สามารถสรุปฟังก์ชันการทำงานของระบบจัดการพลังงานภายในบ้านได้ 4 ฟังก์ชัน [2, 6, 9-10] ดังต่อไปนี้

2.2.2.1 **ระบบตรวจจับอัตโนมัติ** (Auto-Detection)

คือการตรวจจับพฤติกรรมการเคลื่อนไหวของมนุษย์และสภาพแวดล้อมเพื่อนำมาเป็นเงื่อนไขในการเปิด-ปิดการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้า เช่นการใช้ Motion Sensor เพื่อนำมาเป็นเงื่อนไขว่ามีคนอยู่หรือไม่ หากมีคนอยู่ก็จะมีการตรวจจับสภาพแวดล้อมต่อไป เช่น เมื่อ

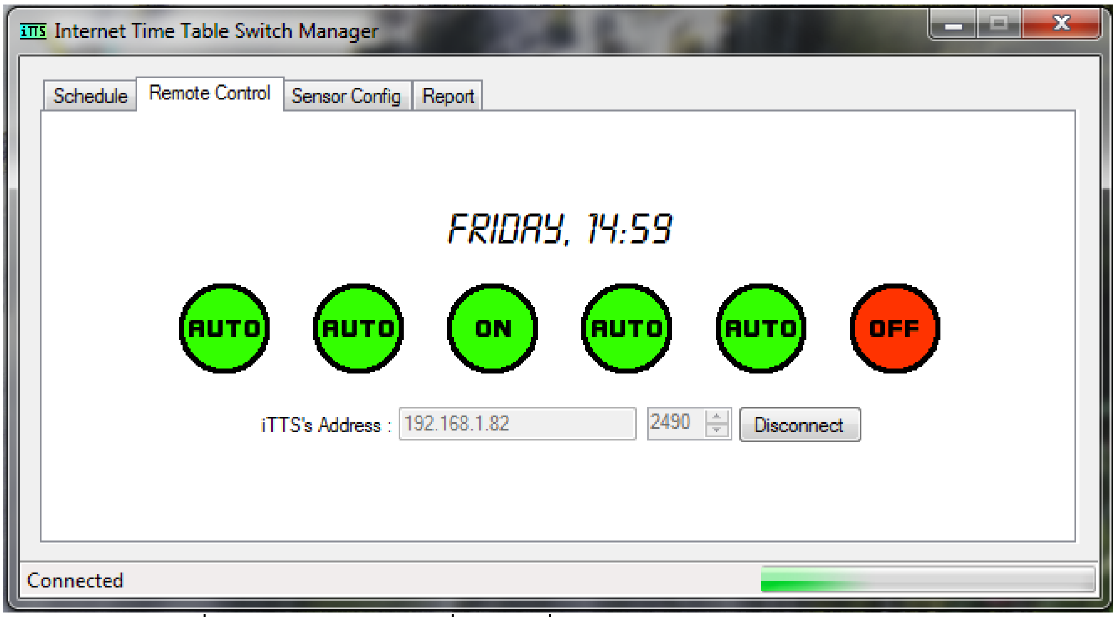
Motion Sensor ตรวจจับว่ามีคนอยู่ และ Lighting Sensor ตรวจจับว่ามีแสงสว่างไม่เพียงพอ ระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าภายในบ้านจะสั่งให้เปิดไฟโดยอัตโนมัติ เป็นต้น

2.2.2.2 **รับรู้ข้อมูลได้โดยง่าย** (Easy Monitoring)

คือการแจ้งข้อมูลการใช้ไฟฟ้า, ราคาค่าไฟฟ้า, ค่าพลังงานหมุนเวียนที่ใช้และจ่ายออกไปยังกริด ให้ผู้ใช้ไฟฟ้าทราบแบบ Real-time เพื่อให้ผู้ใช้ไฟฟ้าตระหนักถึงการประหยัดพลังงาน และแนะนำพฤติกรรมที่ช่วยในการประหยัดพลังงานสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่ใช้พลังงานไฟฟ้ามากเกินความจำเป็น

2.2.2.3 **การควบคุมจากระยะไกล** (Remote Controlling)

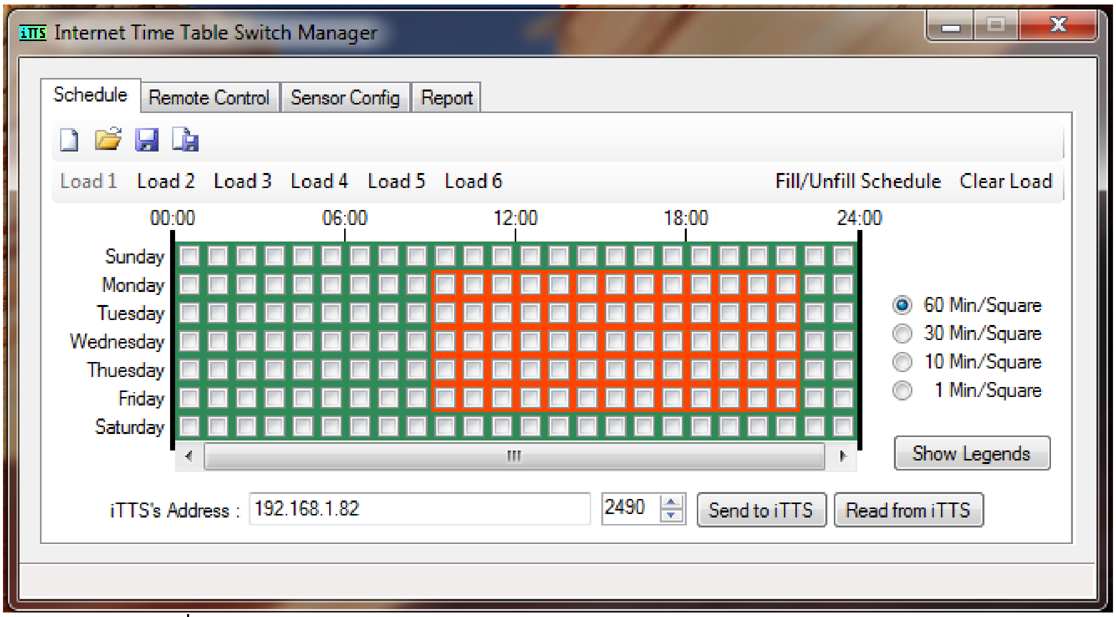
เครื่องใช้ไฟฟ้าทุกเครื่องสามารถควบคุมได้จากระยะไกล เช่น การใช้รีโมทปิด-เปิดเครื่องใช้ไฟฟ้า หรือการสั่งงานเครื่องใช้ไฟฟ้าในบ้านผ่านอินเตอร์เน็ตดังภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 ฟังก์ชันของการสั่งงานเครื่องใช้ไฟฟ้าผ่านทางระบบอินเตอร์เน็ต

2.2.2.4 **การวางแผนอย่างชาญฉลาด** (Smart Planning)

ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถวางแผนการใช้พลังงานไฟฟ้าในล่วงหน้าได้ โดยการโปรแกรมผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์เพื่อให้ระบบจัดการพลังงานภายในบ้านทำงานตามเวลาที่ได้ตั้งไว้ เช่น การใช้โปรแกรม Internet Time Table Switch Manager เพื่อตั้งเวลาให้เครื่องใช้ไฟฟ้าทำงานตามเวลาที่ต้องการ ดังภาพที่ 2.9

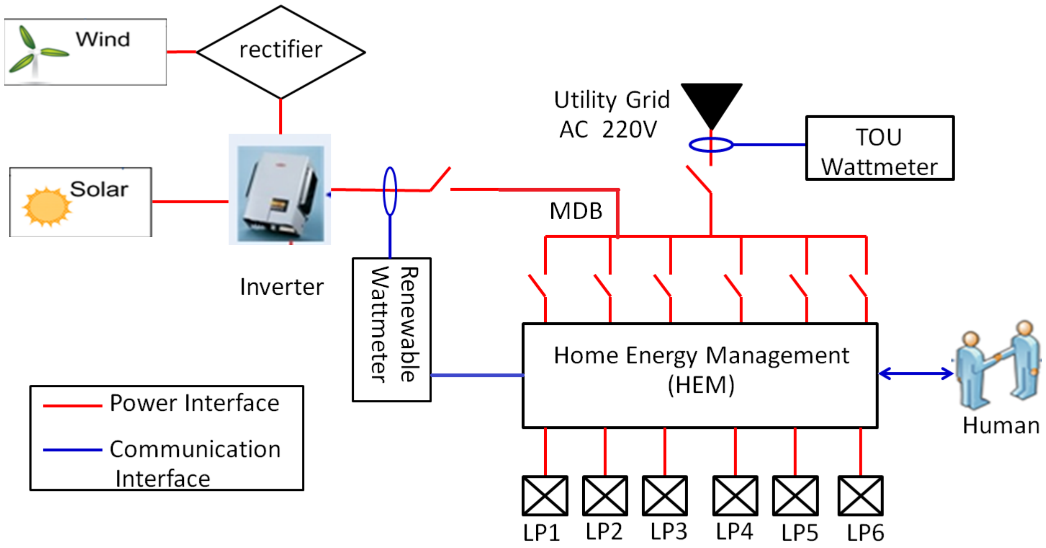


ภาพที่ 2.9 หน้าจอหลักของโปรแกรม Internet Time Table Switch Manager

2.3 ส่วนเชื่อมต่อและโครงสร้างของระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน

2.3.1 ส่วนเชื่อมต่อของระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน

ระบบจัดการพลังงานภายในบ้านประกอบด้วย 2 ส่วนเชื่อมต่อหลักได้แก่ ส่วนเชื่อมต่อทางระบบไฟฟ้า และส่วนเชื่อมต่อทางระบบสื่อสาร [2, 5, 10] ซึ่งสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2.10 โดยรายละเอียดของแต่ละส่วนได้ถูกกล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.3.1.1 ถึงหัวข้อ 2.3.1.2 ดังนี้



ภาพที่ 2.10 การเชื่อมต่อระหว่าง Home Energy Management กับส่วนต่างๆในระบบไฟฟ้า [10]

2.3.1.1 **ส่วนเชื่อมต่อทางระบบไฟฟ้า** (Electrical System Interface)

คือ ส่วนของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ทำหน้าที่รับ-จ่ายกำลังไฟฟ้าซึ่งเชื่อมต่อกับ ระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าในบ้าน (HEMS) ประกอบด้วย 3 ส่วนหลักได้แก่

1) ระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าฯ (Utility Grid) ซึ่งเชื่อมต่อกับระบบจัดการพลังงานภายในบ้านผ่านทาง Main Distribution Board การเชื่อมต่อได้ถูกแสดงไว้แล้วดังภาพที่ 2.10

2) โหลด (Load) คือ อุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน โดยจากภาพที่ 2.10 แสดงตัวอย่างการแบ่งโหลดออกเป็น 6 ชุด (LP1 ถึง LP6) ซึ่งโหลดแต่ละชุดจะถูกควบคุมการเปิด-ปิดโดยระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน (HEMS)

3) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) ในระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน (HEMS) นั้นจะเน้นพลังงานแสงอาทิตย์ที่รับโดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และพลังงานลมที่รับโดยกังหันลม ดังภาพที่ 2.4 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

3.1) พลังงานแสงอาทิตย์ รับโดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานความเข้มแสงอาทิตย์มาเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงให้เข้าสู่อินเวอร์เตอร์ เพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับให้โหลดภายในบ้านใช้ต่อไป [10]

3.2) พลังงานลม รับโดยกังหันลมซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานลมมาเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความถี่ไม่คงที่โดยขึ้นอยู่กับความเร็วของลม (Asynchronous Generator) พลังงานที่ได้นี้จะถูกแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงก่อนโดย rectifier เพื่อให้เข้าสู่อินเวอร์เตอร์เพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับที่แรงดัน 220 V 50 Hz ให้โหลดภายในบ้านใช้ต่อไป [10]

2.3.1.2 **ส่วนเชื่อมต่อทางระบบไฟฟ้าสื่อสาร** (Communication System Interface)

ทำหน้าที่รับส่งข้อมูล รวมถึงนำคำสั่งไปสั่งงานให้อุปกรณ์ไฟฟ้าทุกชนิดทำงานได้ตามต้องการ ซึ่งเชื่อมต่อกับระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าในบ้าน (HEMS) ประกอบด้วย 3 ส่วนหลักได้แก่

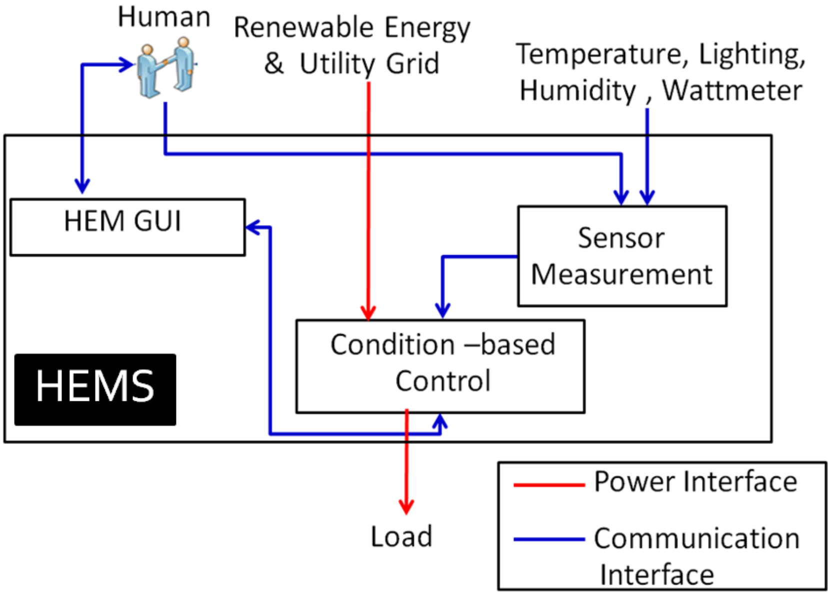
1) วัตต์มิเตอร์วัดค่าพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลา (TOU Wattmeter) ดังภาพที่ 2.10 คือวัตต์มิเตอร์ ของการไฟฟ้าฯ ที่คิดราคาค่าไฟฟ้า ตามช่วงเวลาซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ช่วง off-peak และช่วง on-peak [11] ซึ่งระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าภายในบ้านที่พัฒนาขึ้นจะออกแบบให้บ้านเรือนบริโภคไฟฟ้า ณ ช่วงเวลา peak ให้น้อยที่สุด เพื่อประหยัดค่าไฟฟ้าและลดการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อมีการใช้ไฟฟ้าเป็นปริมาณมาก

2) มาตรวัดกำลังไฟฟ้าหมุนเวียน (Renewable Wattmeter) ทำหน้าที่วัดค่าพลังงานไฟฟ้าหมุนเวียนที่ผลิตได้ในแต่ละช่วงเวลา (การเชื่อมต่อเป็นดังภาพที่ 2.10) เพื่อส่งข้อมูลให้ระบบจัด

การพลังงานภายในบ้าน (HEMS) ทำการจัดการกับโหลดของบ้านเรือนแต่ละหลังในชุมชนขนาดใหญ่เพื่อลดปัญหา Power Swing โดยรวมได้ [10]

3) มนุษย์ (Human) ระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน (HEMS) จะแนะนำพฤติกรรมที่เหมาะสมในการใช้ไฟฟ้าให้แก่มนุษย์ผู้อยู่อาศัยภายในบ้าน เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงราคาแพง และลดความไม่แน่นอนของการใช้กำลังไฟฟ้าภายในบ้าน (Power Swing) และมีเซนเซอร์ที่สามารถตรวจจับสภาพแวดล้อมและพฤติกรรมการเคลื่อนไหวของมนุษย์ เพื่อลดการใช้พลังงานสูญเปล่า เพิ่มความสะดวกสบายของ และความปลอดภัยแก่ผู้อยู่อาศัยในบ้าน นอกจากนี้แล้ว มนุษย์ยังสามารถสั่งการปิด-เปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าทันทีทันใด และโปรแกรมเครื่องใช้ไฟฟ้าล่วงหน้าได้ผ่านทางระบบ Internet [10]

2.3.2 โครงสร้างของระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน

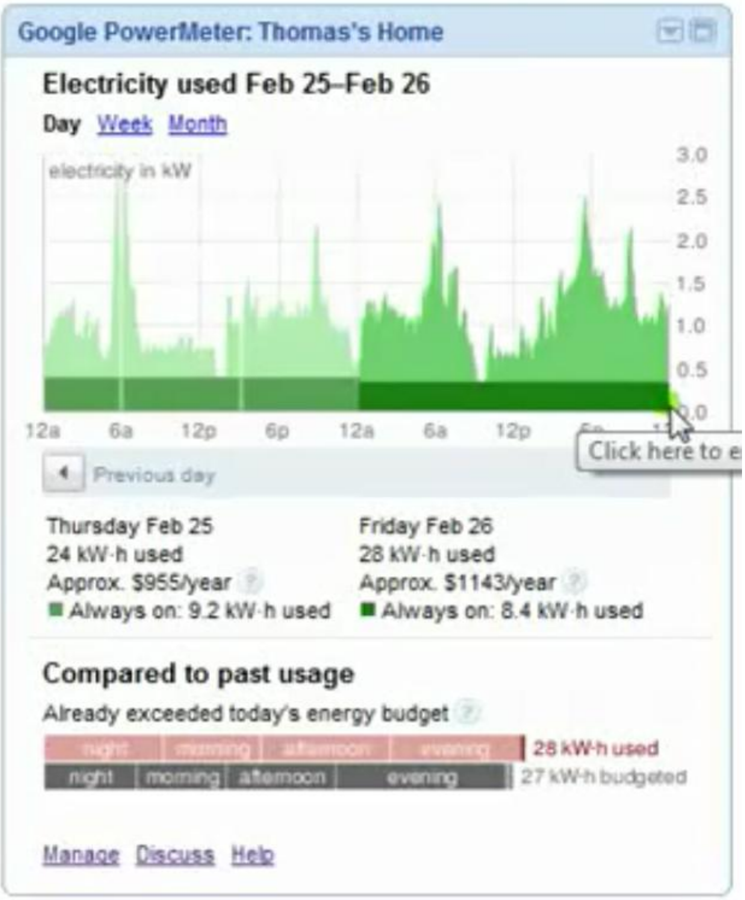


ภาพที่ 2.11 โครงสร้างของระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน (HEMS Structure) [10]

จากภาพที่ 2.11 โครงสร้างของระบบจัดการพลังงานภายในบ้านประกอบด้วย 3 ส่วนหลักได้แก่ส่วนติดต่อประสานงานกับผู้ใช้ไฟฟ้า (Home Energy Management Graphic User Interface: HEM GUI) ส่วนวัดค่าสภาพแวดล้อมภายในระบบ (Sensor Measurement) ส่วนหัวสมองการควบคุม (Condition – based Control) และโปรโตคอลการสื่อสารภายในระบบ (Communication Protocol) ซึ่งทำหน้าที่เชื่อมโยง รับ-ส่งข้อมูล ของส่วนต่างๆภายในระบบให้สามารถทำงานเข้าด้วยกันได้ โดยรายละเอียดของแต่ละส่วนเป็นดังนี้ [10]

2.3.2.1 **ส่วนต่อประสานผู้ใช้** (HEM GUI)

ทำหน้าที่รายงานข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า รวมถึงแนะนำพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสมแก่ผู้ใช้ไฟฟ้า ให้ผู้ใช้ไฟฟ้าทราบถึงพฤติกรรมที่สมควรปฏิบัติ เพื่อทำให้เกิดการประหยัดพลังงาน เพื่อทำให้ผู้อยู่อาศัยภายในบ้านจ่ายค่าไฟฟ้าในราคาที่ถูกลงกว่าเดิม ดังเช่น GUI สำหรับรายงานผลการใช้พลังงานไฟฟ้าของบริษัท Google หรือ Google Power Meter ดังภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12 Google Power Meter [12]

จากภาพที่ 2.12 จะเห็นว่าส่วนต่อประสานผู้ใช้ของ Google ได้แสดงการเปรียบเทียบผลการใช้พลังงานไฟฟ้าของวันในปัจจุบันและวันที่แล้ว โดยแสดงเป็นกราฟ Daily Load Curve ของสองวันเปรียบเทียบกัน และในแต่ละวันจะมีแถบสีเขียวเข้มแสดงให้เห็นถึง Base Load ส่วนโหลดที่นอกเหนือจาก Base Load จะแสดงสีเขียวอ่อน นอกจากนี้แล้วยังมีการประมาณค่าไฟฟ้าเป็นดอลล่าร์ต่อปีจากข้อมูลของ Daily Load Curve ของแต่ละวัน รวมถึงผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถวางแผนให้เครื่องใช้ไฟฟ้าให้ไม่ทำงานเกินกว่าราคาค่าไฟฟ้าที่ตั้งไว้ได้ และมีการแบ่งช่วงการใช้พลังงานไฟฟ้าออกเป็น 4 ช่วงได้แก่ช่วงดึก (Night) ช่วงเช้า (Morning) ช่วงบ่าย (Afternoon) และ

ช่วงเย็น (Evening) พร้อมทั้งผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถเรียกดู Weekly Load Curve และ Monthly Load Curve ได้ ซึ่งการแสดงผลการใช้พลังงานไฟฟ้าของ Google นี้จะสามารถสร้างความตระหนักรู้ให้ผู้ใช้ไฟฟ้าหันมาประหยัดพลังงานได้ [12]

2.3.2.2 **ส่วนวัดค่าสภาพแวดล้อมภายในระบบ** (Sensor Measurement)

คืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ตรวจจับปริมาณต่างๆให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า หรือส่วนที่ทำหน้าที่รับสัญญาณไฟฟ้ามาเป็นลักษณะข้อมูล เพื่อนำข้อมูลเหล่านี้มาพิจารณา เพื่อจัดการกับโหลดไฟฟ้า และรายงานผลผ่านทาง HEM GUI ต่อไป ซึ่ง Sensor Measurement ที่จะใช้ในระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าภายในบ้าน (HEMS) ได้แก่

1) มิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้า (Energy Meter) ทำหน้าที่วัดพลังงานไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 2 ชนิดตามหน้าที่การทำงานได้แก่ [10]

1.1) มาตรวัดพลังงานไฟฟ้าหมุนเวียน (Renewable Energy Meter) ทำหน้าที่วัดพลังงานไฟฟ้าหมุนเวียนที่ผลิตได้ในแต่ละช่วงเวลาเพื่อส่งข้อมูลให้ Condition-Based Control ทำการจัดการกับโหลดเพื่อลดปัญหา Power Swing และหากระบบนี้สามารถลดปัญหาดังกล่าวได้จริง เมื่อนำระบบดังกล่าวไปใช้กับบ้านเรือนหลายหลังจะสามารถทำให้การไฟฟ้าไม่ต้องเปิด-ปิดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอยู่บ่อยครั้งอันเนื่องจากความไม่แน่นอนของโหลดได้ ดังตัวอย่างการจัดการพลังงานไฟฟ้าภายในบ้านที่มีในต่างประเทศ ที่จะได้กล่าวต่อไป

1.2) มิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าประจำโหลดแต่ละชุด (Load Energy Meter) ติดตั้งประจำโหลดแต่ละชุดเพื่อทำหน้าที่เก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของโหลดในแต่ละช่วงเวลา เพื่อรายงานไปยัง Condition-Based Control ทำการจัดการกับโหลด และรายงานพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่ผ่านมา พร้อมทั้งเสนอพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสมซึ่งทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าจ่ายค่าไฟฟ้าได้ถูกลง เมื่อมีการเก็บค่าไฟฟ้าตามช่วงเวลา และลดปัญหา Power Swing ของระบบไฟฟ้าภายในบ้านเมื่อผู้ใช้ไฟฟ้าวางแผนการใช้ไฟฟ้าที่เหมาะสมตามพฤติกรรมที่ระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าภายในบ้าน (HEMS) ได้แนะนำไว้

2) เซนเซอร์ตรวจจับสิ่งมีชีวิต (Occupancy Sensor) ใช้ในการตรวจจับว่าตรวจจับว่ามีมนุษย์อาศัยอยู่ในบริเวณนั้นหรือไม่ ตัวอย่างการใช้งาน เช่น การนำ เซนเซอร์ตรวจจับสิ่งมีชีวิตไปใช้งานร่วมกับเซนเซอร์อื่นๆเพื่อทำการเปิด-ปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ และสามารถนำเซนเซอร์ชนิดนี้ไปประยุกต์ใช้เป็นเครื่องกันขโมยได้ โดยจากงานวิจัยในอดีตที่ได้ศึกษามานั้นเซนเซอร์ตรวจจับสิ่งมีชีวิตในระบบจัดการพลังงานภายในบ้านทั้งหมดมี 3 ชนิด [2, 4-6, 10] ได้แก่

2.1) เซนเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว (Motion Sensor) ใช้ในการตรวจจับว่ามีสิ่งมีชีวิตอาศัยอยู่ในบริเวณนั้นหรือไม่ โดยการวัดรังสีอินฟราเรดจากสิ่งมีชีวิตที่มีการเคลื่อนที่ตัดผ่านตัวเซนเซอร์ตลอดเวลา แต่ถ้าสิ่งมีชีวิตอยู่นิ่งๆนานๆเซนเซอร์จะไม่สามารถตรวจจับได้

2.2) เซนเซอร์วัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 Sensor) ใช้ในการตรวจจับว่ามีสิ่งมีชีวิตอาศัยอยู่ในบริเวณนั้นหรือไม่ โดยการวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์บริเวณนั้น ถ้าหากว่ามีสิ่งมีชีวิตอาศัยอยู่ ณ บริเวณดังกล่าว ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเพิ่มขึ้นสูงกว่าปกติ

2.3) กล้องวงจรปิด (CCTV Camera) ใช้ในการตรวจจับว่ามีสิ่งมีชีวิตอาศัยอยู่ในบริเวณนั้นหรือไม่ โดยการเขียนโปรแกรมรับค่าสัญญาณที่ได้จากกล้องวงจรปิดซึ่งเป็นสัญญาณดิจิทัล แล้วหาข้อแตกต่างระหว่างสัญญาณที่มีมนุษย์อาศัยอยู่ในบริเวณนั้น และไม่มีมนุษย์อาศัยอยู่ในบริเวณนั้น โดยความแม่นยำของเซนเซอร์ชนิดนี้ขึ้นอยู่กับความไว ความละเอียดของกล้องวงจรปิด ไมโครโปรเซสเซอร์ที่รับสัญญาณดิจิทัลจากกล้องวงจรปิด และความสามารถในการเขียนโปรแกรมเพื่อหาความแตกต่างระหว่าง 2 สัญญาณ

3) เซนเซอร์วัดความสว่าง (Lighting Sensor) ทำหน้าที่วัดความสว่างภายในบริเวณบ้านว่ามีแสงสว่างเพียงพอต่อความเป็นอยู่ของมนุษย์ ณ บริเวณดังกล่าวหรือไม่ โดยทำงานร่วมกับ Motion Sensor เพื่อส่งข้อมูลไปยัง Condition-based Control และทำการควบคุมโหลดประเภทแสงสว่างต่อไป

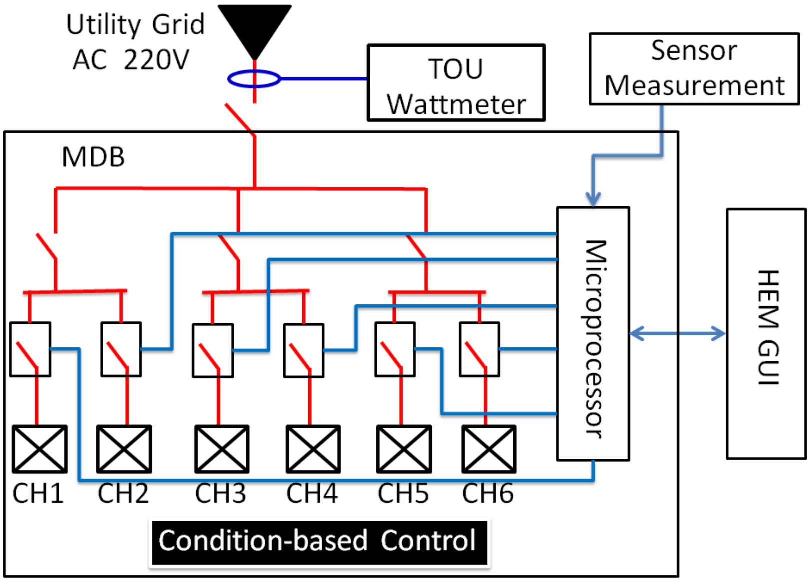
4) เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ (Temperature Sensor) ทำหน้าที่วัดอุณหภูมิภายในบริเวณบ้านว่ามีอุณหภูมิเหมาะสมต่อความเป็นอยู่ของมนุษย์ ณ บริเวณดังกล่าวหรือไม่ โดยทำงานร่วมกับ Motion Sensor และ Humidity Sensor เพื่อส่งข้อมูลไปยัง Condition-based Control และทำการควบคุมโหลดประเภทเครื่องปรับอากาศต่อไป

5) Humidity Sensor คือเซนเซอร์วัดความชื้น ทำหน้าที่วัดความชื้นภายในบริเวณบ้านว่ามีความชื้นเหมาะสมต่อความเป็นอยู่ของมนุษย์ ณ บริเวณดังกล่าวหรือไม่ โดยทำงานร่วมกับ Motion Sensor และ Temperature Sensor เพื่อส่งข้อมูลไปยัง Condition-based Control และทำการควบคุมโหลดประเภท พัดลม, เครื่องกำจัดความชื้น ต่อไป

2.3.2.3 **ส่วนหัวสมองการควบคุม** (Condition-Based Control)

คือ อุปกรณ์เครื่องมือที่ทำหน้าที่ควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน ให้มีการใช้พลังงานงานไฟฟ้าอย่างเหมาะสม โดยอุปกรณ์ดังกล่าวนี้ประกอบด้วย รีเลย์หรืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่คล้ายรีเลย์ ไมโครโปรเซสเซอร์ และส่วนที่ทำหน้าที่ติดต่อประสานงานกับ HEM GUI และ

Sensor Measurement โดย รีเลย์ซึ่งต่ออยู่กับโหลดแต่ละชุด จะทำหน้าที่ตัดต่อโหลดตามคำสั่งของ ไมโครโปรเซสเซอร์ และ ไมโครโปรเซสเซอร์มีหน้าที่ รับข้อมูลจาก HEM GUI และ Sensor Measurement เพื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลและจัดการกับโหลดอย่างเหมาะสม เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าสิ้นเปลือง และ ลดความไม่แน่นอนในการใช้กำลังไฟฟ้าซึ่งหมายถึงการพยายามทำให้ Daily Load Curve เรียบสม่ำเสมอซึ่งทำให้การไฟฟ้าฯไม่ต้องเปิด-ปิดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอยู่บ่อยครั้งเนื่องมาจากความไม่แน่นอนของโหลด ดังตัวอย่างการจัดการพลังงานไฟฟ้าภายในบ้านในหัวข้องานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้อง โดยองค์ประกอบภายในและส่วนติดต่อกับภายนอกของ Condition-Based Control เป็นดังภาพที่ 2.13 [6-8,12-13]



ภาพที่ 2.13 องค์ประกอบภายในและส่วนติดต่อกับภายนอกของ Condition-Based Control [8]

2.4 ตัวอย่างระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน

จากการศึกษางานวิจัยในอดีตที่ผ่านมา พบว่างานวิจัยในอดีตที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาระบบจัดการพลังงานภายในบ้านมีอยู่ด้วยกันหลายเรื่อง แต่ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะหยิบยกตัวอย่างระบบจัดการพลังงานภายในบ้านที่น่าสนใจมา 2 เรื่องเพื่อเป็นตัวอย่างสำหรับการออกแบบระบบในบทที่ 3 และบทที่ 4 ต่อไป ดังนี้

2.4.1 Distributed Demand Side Management System for Home Energy Management [14]

ตัวอย่างนี้เป็นการพัฒนาระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน โดย มหาวิทยาลัย เคียวโอ ประเทศ ญี่ปุ่น ได้ได้คิดประดิษฐ์เครื่องมือชนิดหนึ่งเพื่อใช้ในการจัดการพลังงานไฟฟ้าภายในบ้าน มีชื่อเรียกว่า KNIVES (Keio University Network Oriented Intelligent and Versatile Energy Saving System) มีลักษณะการทำงานด้วยระบบประมวลผลที่เป็นเครือข่ายในการรับส่งข้อมูลของค่าพลังงานไฟฟ้าของโหลดแต่ละชนิด และสามารถนำเครื่องมือดังกล่าวไปติดตั้งอนุกรมเข้ากับสวิตซ์และเซอร์กิตเบรคเกอร์ได้โดยตรง เครื่องมือชนิดนี้สามารถรายงานผลการใช้พลังงานไฟฟ้าของโหลดทุกๆครึ่งชั่วโมงผ่านทางระบบซิ๊กบี ซึ่งสามารถรับส่งข้อมูลแบบไร้สาย นอกจากนี้แล้ว ยังมีการพัฒนาอัลกอริทึมหรับการพยากรณ์การใช้โหลดใส่เข้าไปในระบบประมวลผลของเครื่อง KNIVE แต่ละเครื่อง เพื่อตัดโหลดที่ไม่จำเป็นออกในช่วงที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้ามาก (Peak Shaving) ได้ โดยทางมหาวิทยาลัยได้ทดสอบระบบกับเครื่องใช้ไฟฟ้าที่อยู่ในห้องทดลอง ผลปรากฏว่าระบบสามารถตัด Peak Load ลงได้โดยการลดการทำงานของเครื่องปรับอากาศลงในช่วงที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้ามาก [14]

2.4.2 Development and Evaluation of Smart Tap Type Home Energy Management System Using Sensor Network [15]

ตัวอย่างนี้เป็นการพัฒนาระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน โดย มหาวิทยาลัย ไชโซก้า (Shizuoka) ประเทศญี่ปุ่น ได้ได้คิดประดิษฐ์มิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart Watt – hour Meter) เพื่อใช้ในการจัดการพลังงานไฟฟ้าภายในบ้าน มีชื่อเรียกว่า Smart Tap ซึ่งทำหน้าที่เป็นเป็นมิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้าอัจฉริยะวัดค่าพลังงานไฟฟ้าและส่งข้อมูลของค่าพลังงานไฟฟ้าไปที่ Smart Tap ตัวอื่นๆโดยใช้ Zigbee รวมถึงผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถเรียกดูข้อมูลของการใช้พลังงานไฟฟ้าของโหลดที่ต่ออยู่กับ Smart Tap ตัวนั้นๆได้ซึ่งออกแบบให้ใช้งานกับเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยทั่วไปที่ต้องการเต้ารับหรือ Load Panel ที่ต่อกับ Circuit Breaker ของบ้านโดยตรง

ทางมหาวิทยาลัยได้ทดสอบระบบโดยการนำ Smart Tap ไปติดตั้งใช้กับโหลดในห้องปฏิบัติการวิจัยซึ่งจำลองเป็นบ้าน 1 หลัง ซึ่งผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถเรียกดูค่าพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่โหลดใช้ไปผ่านทางระบบอินเตอร์เน็ต โดยใช้ Smart Tap วัดค่าและรายงานผลการใช้พลังงานไฟฟ้าทุกๆชั่วโมง ผลปรากฏว่าระบบดังกล่าวสามารถสร้างความตระหนักรู้ให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้า ทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าลดการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ไม่จำเป็นลงได้ โดยสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อเดือนได้ถึง 29.5 kWh คิดเป็นเงิน 667 เยน หรือช่วยประหยัดเงินได้ถึงประมาณปีละ 8000 เยน [15]

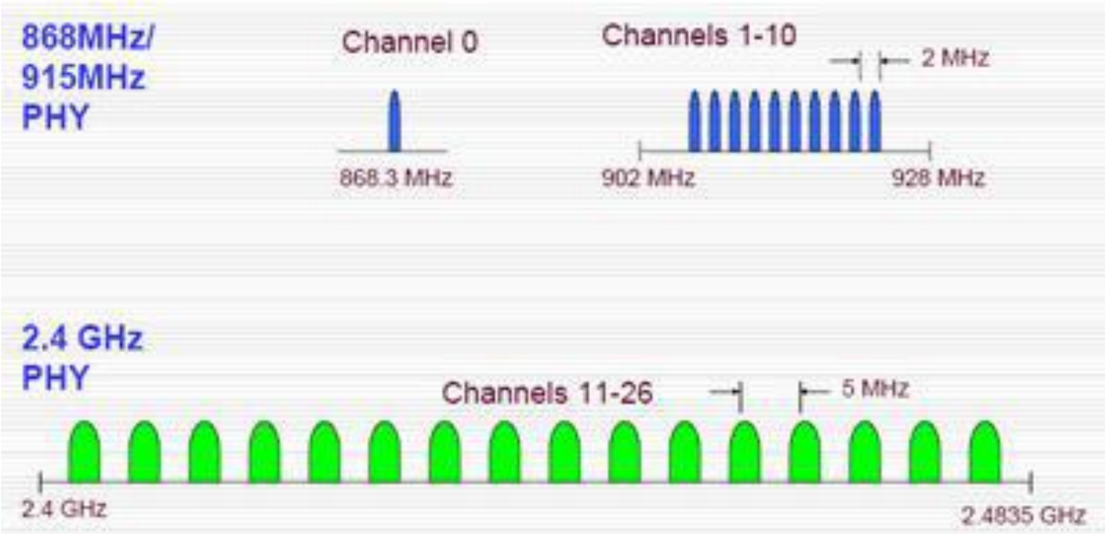
บทที่ 3

เทคโนโลยีการสื่อสารและสารสนเทศสำหรับระบบจัดการพลังงาน

ในบทนี้ จะศึกษาเทคโนโลยีการสื่อสารและสารสนเทศที่เกี่ยวข้องกับระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน เพื่อนำไปใช้ในการสร้างและพัฒนาระบบในบทที่ 5 โดยเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ การสื่อสารแบบไร้สายโดยใช้ซิ๊กบี การสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า เซนเซอร์สำหรับระบบจัดการพลังงาน ระบบประมวลผลสำหรับระบบจัดการพลังงาน และเทคโนโลยีสารสนเทศสำหรับควบคุมการเปิดปิดวงจร ซึ่งมีรายละเอียดของเทคโนโลยีดังกล่าวตามลำดับดังนี้

3.1 **การสื่อสารแบบไร้สายโดยใช้ซิ๊กบี** (Zigbee Communication)

Zigbee ย่อมาจาก Zigzag of Bee เป็นการสื่อสารแบบไร้สายราคาถูก โดยอาศัยหลักการส่งข้อมูลเหมือนกับผึ้งขนส่งอาหาร ใช้ในการส่งข้อมูลที่วัดได้โดย Sensor โดยเฉพาะ สามารถสร้างระบบที่เรียกว่า Wireless Sensor Network ได้ ซึ่งระบบนี้ จะสามารถทำงาน ในร่ม กลางแจ้ง ทนแดด ทนฝน Zigbee กำหนด ย่านความถี่ใช้งานตามมาตรฐานไว้ 3 ย่านความถี่คือ ย่าน 2.4 GHz , ย่าน 915 MHz และย่าน 868 MHz โดยแต่ละย่านจะมีช่องสัญญาณ 16 ช่อง , 10 ช่อง และ 1 ช่อง ตามลำดับ (ดังภาพที่ 3.1) ส่วน อัตรารับส่งข้อมูล (ทางอากาศ) จะอยู่ที่ 250 kbps , 40 kbps , 20 kbps ตามลำดับ



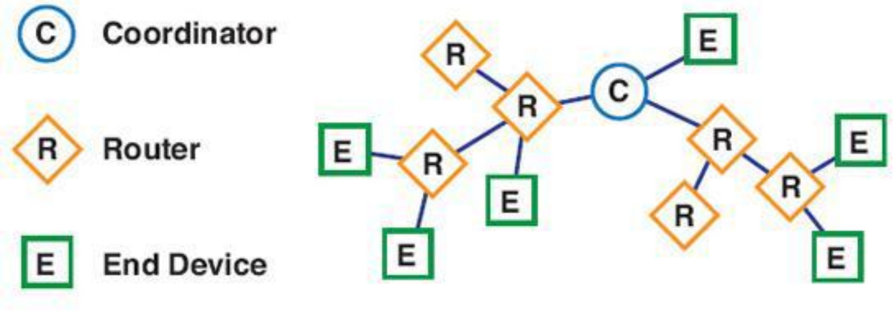
ภาพที่ 3.1 ย่านความถี่มาตรฐานทั้ง 3 ย่านของ Zigbee [16]

ZigBee นำ Physical Layer และ MAC Layer ของ IEEE 802.15.4 ซึ่งเป็นมาตรฐานการกำหนดการสื่อสารไร้สายแบบ WPAN (Wireless Personal Area Network) มาทำงานใน Layer ที่ต่ำกว่า เช่น เรื่องของ ระดับกำลังสัญญาณ , Link Quality , Access control , Security ฯลฯ ZigBee สามารถสร้างเป็นเครือข่ายได้ ทั้งนี้ ZigBee ได้อ้างอิงมาตรฐานตาม IEEE 802.15.4 โดย Zigbee แบ่งชนิดอุปกรณ์ในเครือข่ายออกเป็น 2 ประเภท คือ FFD (Full Function Device) ซึ่งหมายถึงอุปกรณ์ที่สามารถทำงานได้ทุกอย่างในเครือข่าย และ RFD (Reduce Function Device) ซึ่งหมายถึงอุปกรณ์ที่ถูกลดความสามารถการทำงานในเครือข่าย โดย ZigBee ได้แบ่งลักษณะการทำงานออกเป็น 3 แบบ (ดังภาพที่ 3.2) ดังต่อไปนี้ [16]

1) Coordinator มีหน้าที่สร้างการสื่อสาร เชื่อมโยงเครือข่าย ระหว่าง End Device กับ Router หรือ Coordinator กับ Coordinator ด้วยกัน หรือ Coordinator กับ Router กำหนด address ให้กับ device ที่อยู่ในวงเครือข่าย ไม่ให้ซ้ำกัน ดูแลจัดการเรื่องการ Routing เส้นทาง ซึ่งเทียบได้กับ FFD

2) End Device เป็นอุปกรณ์ปลายทางสุด ซึ่งจะใช้รับสัญญาณจาก Sensor ที่ปลายทาง โดยที่ใช้พลังงานต่ำในการทำงาน เทียบได้กับ RFD หรือ FFD บางกรณี ขึ้นอยู่กับ sensor ที่ใช้

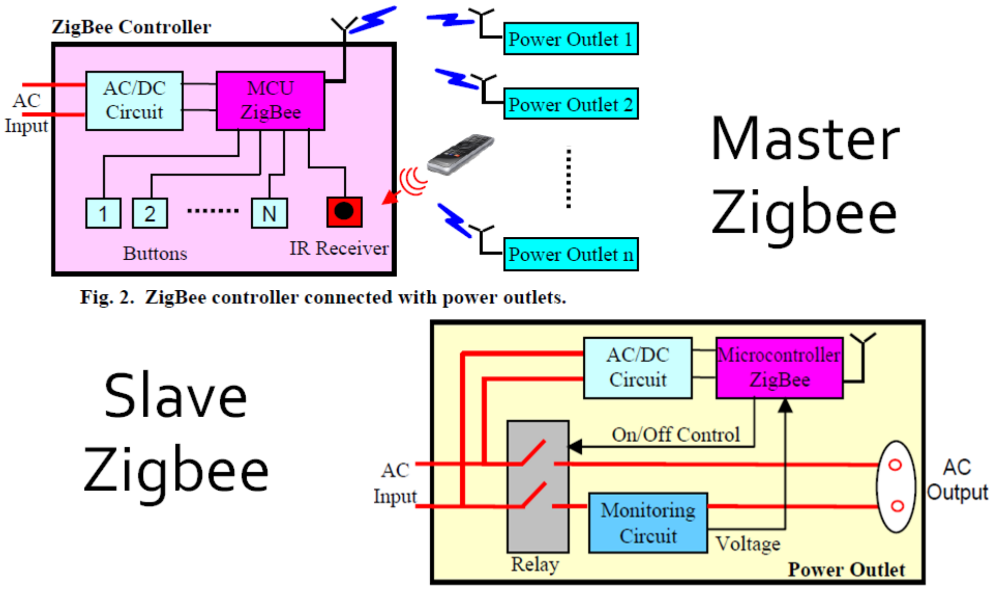
3) Router มีหน้าที่ รับส่งข้อมูล ในเส้นทางต่าง ๆ ของเครือข่าย ซึ่งเทียบได้กับ FFD



ภาพที่ 3.2 ลักษณะการทำงานของ Zigbee [16]

นอกจากนี้แล้ว การรับและส่งข้อมูลโดยใช้ Zigbee ยังต้องกำหนดให้ Zigbee ตัวหนึ่งทำหน้าที่เป็น Master เพื่อเป็นตัวกำหนดช่องทางการสื่อสารไปยัง Zigbee อื่นที่เป็น Slave โดยลักษณะของข้อมูลที่มีการรับ-ส่งกันนั้น จะมี 2 ประเภทได้แก่ ข้อมูลประเภทคำสั่ง และข้อมูลประเภท address ของ slave ตัวนั้นๆ การสื่อสารระหว่าง Master Zigbee และ Slave Zigbee แสดงให้เห็นดังภาพที่ 3.3 Zigbee สามารถใช้กับระบบจัดการพลังงานภายในบ้านได้ โดยการนำ Zigbee ตัวส่งข้อมูลประกอบเข้ากับ ไมโครโปรเซสเซอร์ที่เป็นหัวสมองของระบบ เพื่อส่งคำสั่งให้แก่ Zigbee ตัวรับที่

เชื่อมต่อกับไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งควบคุมการทำงานของรีเลย์ที่เชื่อมต่อกับโหลด และสามารถนำ Zigbee ตัวรับข้อมูล ส่งข้อมูลของพลังงานไฟฟ้าที่โหลดใช้ไป กลับไปยัง Zigbee ตัวส่งเพื่อให้ไมโครโปรเซสเซอร์ที่เป็นหัวสมองของระบบรับทราบ และรายงานผลการใช้พลังงานไฟฟ้ากลับไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าได้ [17-19]



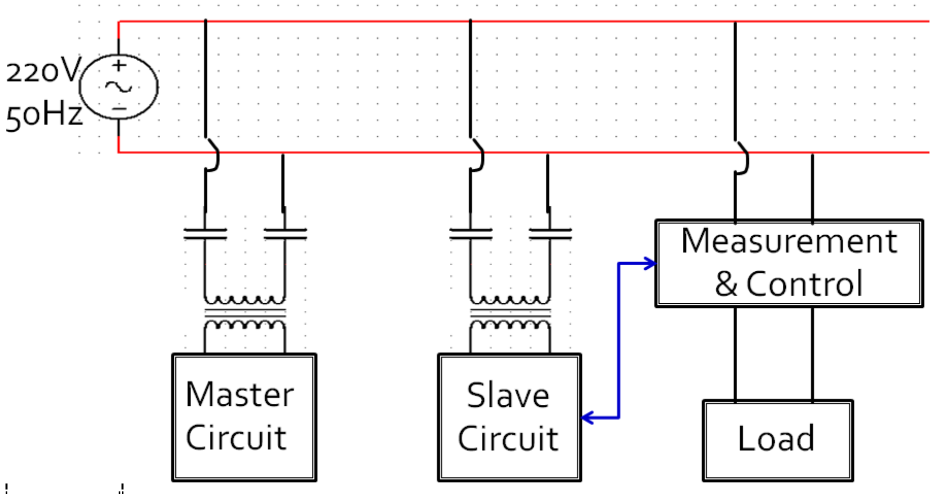
ภาพที่ 3.3 การสื่อสารระหว่าง Master Zigbee และ Slave Zigbee [17-19]

ตัวอย่างการใช้งาน Zigbee ในระบบจัดการพลังงานภายในบ้านได้แก่ งานวิจัยเรื่อง Distributed Demand Site Management System for Home Energy Management [14] และงานวิจัยเรื่อง Development and Evaluation of Smart Tap Type Home Energy Management System Using Sensor Network [15] ซึ่งงานวิจัยดังกล่าวมีการใช้ Zigbee ในการรายงานผลข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถรับทราบผลการใช้พลังงานไฟฟ้าได้โดยง่าย และการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆค่อนข้างสะดวกรวดเร็วเพราะไม่ต้องใช้สายสัญญาณในการรับส่งข้อมูล

3.2 **การสื่อสารผ่านสายไฟฟ้า** (Powerline Communication)

เป็นการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ภายในระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน โดยการมอดูเลตสัญญาณดิจิทัลลงไปในสายไฟฟ้าเพื่อควบคุมอุปกรณ์ ดังนั้นเมื่อส่งสัญญาณควบคุมลงไปในสายไฟฟ้า จำเป็นต้องระบุตำแหน่ง (Address) ของอุปกรณ์ที่ต้องการควบคุมดังกล่าวด้วย และที่

ปลายทางอุปกรณ์ไฟฟ้าจะรับสัญญาณที่มาจากปลั๊กไฟบ้านทั่วไป (Home Plug Power line Alliance and the Universal Power line Association) และแยกถอดรหัสสัญญาณ (Decode) ออกมาเพื่อส่งไปยังภาคควบคุมอุปกรณ์ต่อไป การสื่อสารโดยใช้ระบบ Power Line Communication นี้มีระบบ Master และ Slave เช่นเดียวกับระบบ Zigbee ดังภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 การสื่อสารระหว่าง Master และ Slave ของระบบ Power Line Communication

จากภาพที่ 3.4 ระบบ Power Line Communication นั้น เริ่มครั้งแรกด้วยแนวความคิดเพื่อจะใช้ควบคุมการปิดเปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้าน (Home Automation) ระยะไกล โดยไม่ต้องเดินสายเพื่อควบคุมอุปกรณ์เพิ่มเติม [4, 5, 13]

ตัวอย่างการใช้งาน Power Line Communication ในระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน ได้แก่ งานวิจัยเรื่อง Home Energy Management System based on Power Line Communication [5] และงานวิจัยเรื่อง Home Energy Management System based on Automatic Meter Reading [13] ซึ่งงานวิจัยดังกล่าวมีการใช้ระบบ Power Line Communication ในการรายงานผลข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถรับทราบผลการใช้พลังงานไฟฟ้าได้โดยง่ายผ่านทางสายไฟฟ้าภายในบ้าน แต่ระบบดังกล่าวนี้จะสามารถติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ที่ต่ออยู่กับสายไฟฟ้ากำลังของหม้อแปลงฝั่งเดียวกันเท่านั้น โดยสัญญาณไม่สามารถเดินทางข้ามหม้อแปลงได้ทำให้ระบบนี้ยังมีขีดจำกัดในการรับส่งข้อมูลอยู่บ้าง

3.3 เซนเซอร์สำหรับระบบจัดการพลังงาน

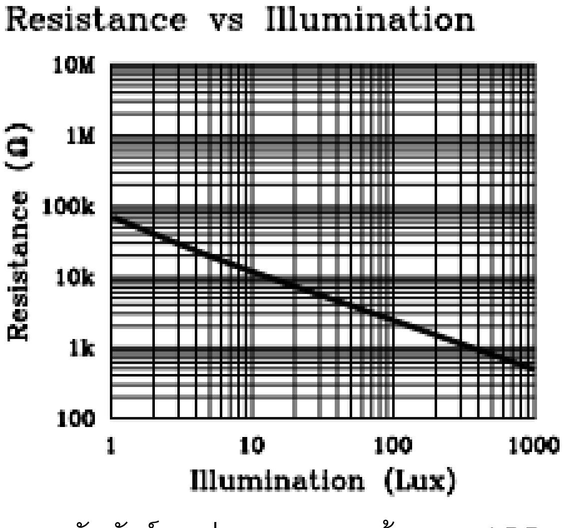
ในการพัฒนาระบบจัดการพลังงานภายในบ้านครั้งนี้จะศึกษาเซนเซอร์ 3 ชนิด ได้แก่

เซนเซอร์วัดความเข้มแสง (Light Sensor) เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ (Temperature Sensor) เซนเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวของมนุษย์ (Motion Sensor) และเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า (Current Sensor) โดยมีรายละเอียดของเซนเซอร์แต่ละชนิดตามลำดับดังต่อไปนี้

3.3.1 เซนเซอร์วัดความเข้มแสง

เซนเซอร์วัดความเข้มแสงจะมีส่วนช่วยในการประหยัดพลังงานสำหรับบ้านที่ออกแบบให้มีหน้าต่างหรือกระจกเพื่อรับแสงอาทิตย์เข้ามาในบ้าน โดยเซนเซอร์ชนิดนี้จะวัดปริมาณความเข้มแสงในบริเวณที่มีมนุษย์อาศัยอยู่ ถ้าหากความเข้มแสงในบริเวณนั้นเพียงพอต่อความต้องการของมนุษย์ เซนเซอร์ดังกล่าวจะส่งข้อมูลความเข้มแสงให้ระบบประมวลผลปิดโหลดแสงสว่างทันที

หลักการทำงานของเซนเซอร์วัดความเข้มแสงจะใช้ LDR (Light Dependent Resistor) เป็นตัวรับค่าความเข้มแสง ซึ่งเซนเซอร์ชนิดนี้ จะมีค่าความต้านทานเปลี่ยนแปลงตามปริมาณความเข้มแสง โดยความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานที่ความเข้มแสงต่างๆของ LDR เป็นดังภาพที่ 3.5 [21]



ภาพที่ 3.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความความต้านทาน LDR และความเข้มแสง [21]

จากภาพที่ 3.5 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างความความต้านทานที่ความเข้มแสงต่างๆของ LDRเป็นไปดังสมการที่ 3.1

$$R = 66069x\ L^{-0.7} \quad (3.1)$$

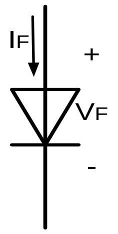
เมื่อ R คือค่าความต้านทานของ LDR หน่วยเป็น โอห์ม (ohm)

L คือความเข้มของการส่องสว่าง หน่วยเป็น ลักซ์ (lux)

3.3.2 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ

เซนเซอร์วัดอุณหภูมิมีส่วนช่วยในการประหยัดพลังงานสำหรับบ้านที่ใช้เครื่องปรับอากาศ โดยเซนเซอร์ชนิดนี้จะวัดปริมาณอุณหภูมิในบริเวณที่มีมนุษย์อาศัยอยู่ ถ้าหากอุณหภูมิในบริเวณนั้นเพียงพอต่อความต้องการของมนุษย์ เซนเซอร์ดังกล่าวจะส่งข้อมูลของปริมาณอุณหภูมิให้ระบบประมวลผลปิดโหลดทำความเย็นโดยทันที

หลักการทำงานของเซนเซอร์วัดความเข้มอุณหภูมิจะใช้ไดโอดเบอร์ 1N4148 ซึ่งเป็นไดโอดขนาดเล็กและมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ เป็นตัววัดค่าอุณหภูมิโดยใช้หลักการของความสัมพันธ์ระหว่างกระแส, แรงดันและอุณหภูมิของไดโอดดังภาพที่ 3.6 และสมการที่ 3.2 [22]



ภาพที่ 3.6 สัญลักษณ์แสดงทิศทางของกระแสและแรงดันของไดโอด [22]

จากสมการของไดโอด

$$V_F = \frac{kT}{q} \ln\left(\frac{I_F}{Io} + 1\right) \tag{3.2}$$

เมื่อ

V_F แทนค่าแรงดัน Forward Voltage ของไดโอด (Volt)

k คือค่าคงที่โบร์ซมานด์มีค่าเป็น 1.381 X 10^{-23} J/K

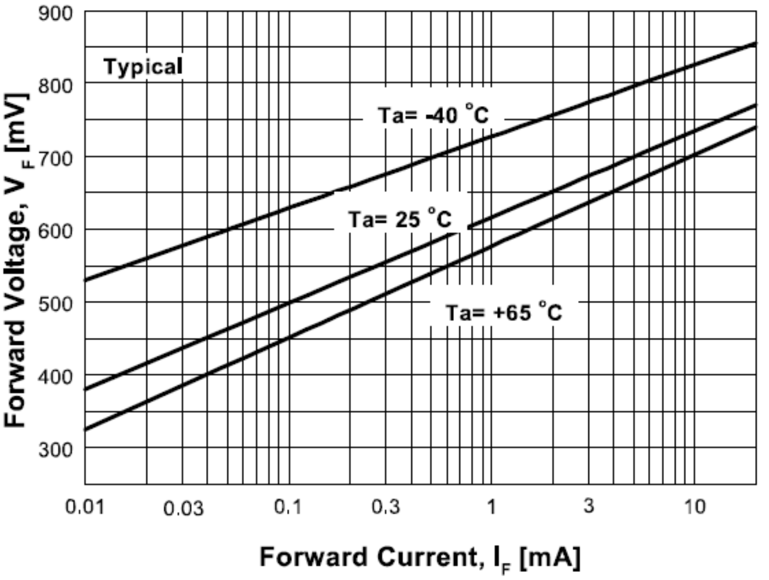
T คืออุณหภูมิของไดโอด (Kelvin)

q คือค่าประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอนมีค่าเป็น 1.602 X 10^{-19} C

I_F คือค่ากระแส Forward Current ที่ไหลผ่านโอด (Ampare)

Io คือค่ากระแส Reverse Saturation Current (Ampare)

เมื่อทราบสมการของไดโอดแล้วสามารถหาค่า Io จากภาพที่ 3.7 และแทนค่าในสมการที่ 3.6



ภาพที่ 3.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของไดโอดเบอร์ 1N4148 [22]

จากภาพที่ 3.7 และสมการที่ 3.2 ที่อุณหภูมิ 25 ^{O}C จะได้ Io มีค่าเป็น 1.42 x 10^{-14} แอมป์ ทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันและกระแสของไดโอดเบอร์ 1N4148 เป็นดังสมการที่ 3.3

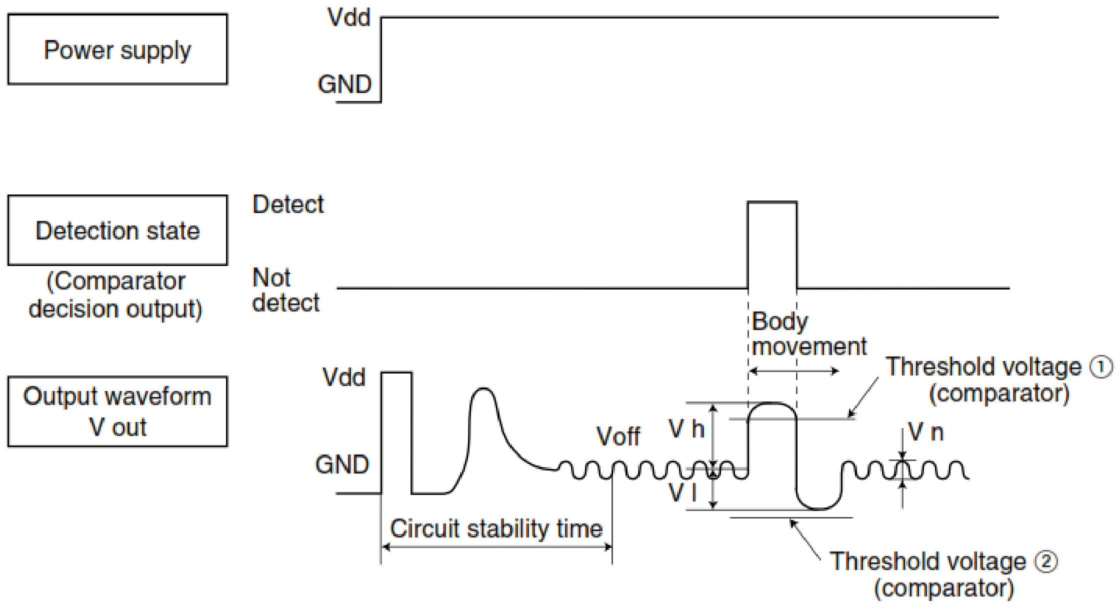
$$V_F = 8.62\times10^{-5} T \ln\left(7.1\times10^{13} I_F + 1\right) \qquad (3.3)$$

3.3.3 เซนเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวของมนุษย์

เซนเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวของมนุษย์จะช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าสิ้นเปลืองสำหรับบ้านที่ใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าทั้งหมด โดยเซนเซอร์ชนิดนี้จะคอยตรวจจับว่าในบริเวณนั้นๆมีมนุษย์อาศัยอยู่หรือไม่ โดยถ้า Motion Sensor ตรวจไม่พบว่ามีมนุษย์อาศัยอยู่ในบริเวณนั้นๆ เซนเซอร์ชนิดนี้จะส่งข้อมูลให้ระบบประมวลผลปิดโหลดทั้งหมดที่อยู่ในบริเวณนั้นทันที

หลักการทำงานของเซนเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวของมนุษย์จะใช้ PIR Motion Sensor เบอร์ AMN34112 ในการตรวจจับว่ามีมนุษย์อาศัยอยู่ในบริเวณนั้นหรือไม่ โดยการตรวจจับรังสีอินฟราเรดที่ตัดผ่านพื้นที่ช่องเล็กๆของ PIR Motion Sensor ตามขอบเขตการตรวจจับรังสีอินฟราเรดนั้นๆ เมื่อเซนเซอร์ชนิดนี้ตรวจจับการเคลื่อนที่ของรังสีอินฟราเรดได้แล้ว เซนเซอร์จะให้สัญญาณแรงดันบวกลบออกมา โดยขนาดของสัญญาณนี้จะขึ้นอยู่กับปริมาณของรังสีอินฟราเรดที่เคลื่อนที่ผ่านบริเวณตรวจจับ ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของสิ่งมีชีวิตนั้นๆ ถ้าสิ่งมีชีวิตมีขนาดใหญ่มาก

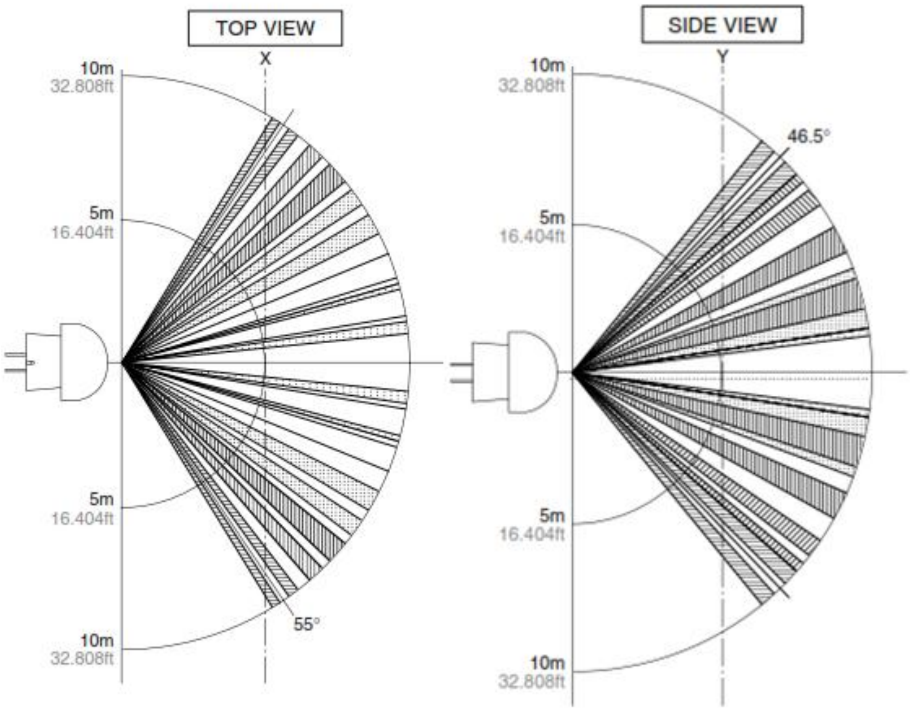
สัญญาณก็จะมีขนาดใหญ่ด้วย โดยรูปร่างของสัญญาณที่ได้จาก Motion Sensor ชนิดนี้เป็นดังภาพที่ 3.8 [23]



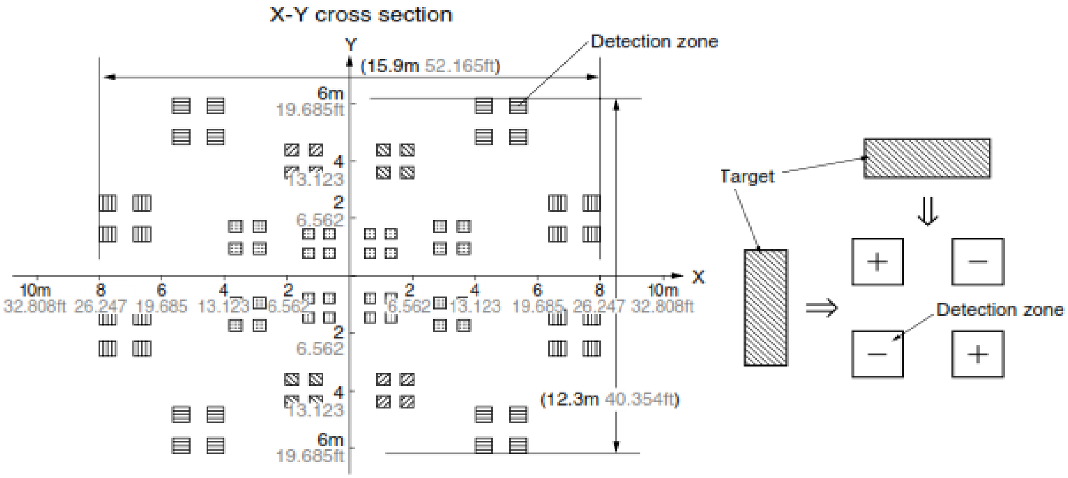
ภาพที่ 3.8 รูปร่างของสัญญาณที่ได้จาก Motion Sensor เบอร์ AMN34112 [23]

จากภาพที่ 3.8 อธิบายได้ว่าเมื่อจ่ายไฟเลี้ยงให้กับ Motion Sensor (Vdd = 5V) เซนเซอร์จะต้องใช้เวลาในการเข้าสู่สถานะอยู่ตัว (Circuit Stability Time) เป็นเวลาไม่เกิน 45 วินาที หลังจากนั้นเมื่อเซนเซอร์สามารถตรวจจับการเคลื่อนไหวของสิ่งมีชีวิตได้แล้ว เซนเซอร์จะให้สัญญาณ บวกลบที่มีขนาดใหญ่กว่าสัญญาณรบกวนหรือ Noise (ดูที่หัวข้อ Output Wavefrom V out ในภาพที่ 3.8 ที่เขียนว่า Body Movement) ดังนั้นถ้าต้องการ Output ของวงจรนี้ให้ออกมาเป็นสัญญาณดิจิตอลซึ่งแสดงว่ามีคนอยู่หรือไม่ดังสัญญาณที่ปรากฏในสถานะ Detection State นั้น จะต้องสร้างวงจร Threshold Voltage Comparator โดยอาศัยข้อมูลที่ว่า สัญญาณพื้นฐานของ Motion Sensor มีค่ากลางอยู่ที่ 2.3 V – 2.7 V (Output Offset Average Voltage) และบนสัญญาณพื้นฐานจะมีสัญญาณ Noise ขนาดไม่เกิน 300 mV_{p-p} ปนอยู่ด้วย [23]

สำหรับการติดตั้ง Motion Sensor จะต้องพิจารณาขอบเขตบริเวณการตรวจจับมนุษย์ของ motion sensor ดังภาพที่ 3.9 และภาพที่ 3.10 ตามลำดับ



ภาพที่ 3.9 ขอบเขตบริเวณการตรวจจับทั้งหมดของ Motion Sensor [23]



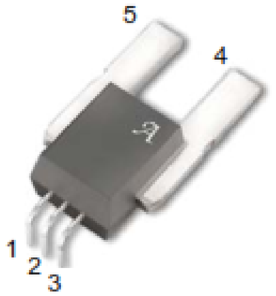
ภาพที่ 3.10 การตรวจจับในแนวระนาบของ Motion Sensor [23]

จากภาพที่ 3.10 อธิบายได้ว่าเมื่อมีรังสีอินฟราเรดเคลื่อนที่ผ่านโซนลบหรือโซนบวกโซนใดโซนหนึ่งแล้วเซนเซอร์จะทำงาน แต่ถ้ารังสีอินฟราเรดเคลื่อนที่ผ่าน 2 โซนพร้อมกันสัญญาณจะหักล้างกันไปและทำให้เซนเซอร์ไม่ทำงานได้ ดังนั้นหากมีสิ่งมีชีวิตอยู่แต่ไม่เคลื่อนไหวเซนเซอร์จะไม่ทำงาน

3.3.4 เซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า (Current Sensor)

เซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าทำหน้าที่วัดข้อมูลปริมาณกระแสไฟฟ้า เพื่อส่งข้อมูลดังกล่าวไปยังระบบประมวลผลซึ่งทำหน้าที่คำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าสำหรับใช้ในการแสดงผลข้อมูลให้ผู้ใช้ไฟฟ้าได้รับทราบ

หลักการทำงานของเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าจะใช้ Sensor เบอร์ ACS754SCB-200 ซึ่งเป็น Hall's effect IC อาศัยปรากฏการณ์ทางแม่เหล็กไฟฟ้าในการเปลี่ยนค่ากระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านให้เป็นค่าแรงดันไฟฟ้า สามารถรับกระแสไฟฟ้าได้ตั้งแต่ -200 A ถึง 200 A มีความต้านทานภายใน (Internal Resistance) 100 ไมโครโอห์ม และสามารถวัดกระแสไฟฟ้าสลับที่มีความถี่ได้สูงถึง 35 kHz และใช้ไฟเลี้ยง IC 5V เมื่อไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านจะให้ค่าแรงดัน output เป็น 2.5 V และเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านจะให้ค่าแรงดัน output เป็น 10 mV/A โดยรูปร่างของ Current Sensor เป็นดังภาพที่ 3.11 [24]



ภาพที่ 3.11 รูปร่างของ Current Sensor เบอร์ ACS754SCB-200 [24]

จากภาพที่ 3.11 ขา 5 และขา 4 เป็นขาของ Current Sensor ที่ให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ส่วนขา 1 ขา 2 และขา 3 เป็นขาของไฟเลี้ยง กราวด์ และแรงดัน output ตามลำดับ

3.4 ระบบประมวลผลสำหรับระบบจัดการพลังงาน

ระบบประมวลผลสำหรับระบบจัดการพลังงาน ทำหน้าที่เป็นหัวสมองในการควบคุมอุปกรณ์ทั้งหมดในระบบ อีกทั้งเป็นศูนย์กลางในการแลกเปลี่ยนรับส่งคำสั่ง (Command) ในการควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าและข้อมูล (Data) ที่เซนเซอร์ต่างๆในระบบตรวจวัดได้ โดยอัลกอริทึมที่ฝังตัวอยู่ในระบบและโครงสร้างของระบบประมวลผลที่เหมาะสม จะเป็นจะเป็นปัจจัยสำคัญในการช่วยจัดการพลังงานภายในบ้านได้ ซึ่งโครงสร้างของระบบประมวลผลสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลักได้แก่ ระบบประมวลผลแบบรวมศูนย์ (Centralized Processing System) และระบบประมวลผลแบบกระจายศูนย์ (Distributed Processing System) ดังต่อไปนี้

3.4.1 ระบบประมวลผลแบบรวมศูนย์

ระบบประมวลผลแบบรวมศูนย์ (Centralized Processing System) คือ ระบบประมวลผลที่มีศูนย์กลางการสั่งงานอยู่แห่งเดียวเพื่อทำหน้าที่รับข้อมูลจากเซนเซอร์ประเภทต่างๆ แล้วทำหน้าที่ประมวลผลออกมาเป็นรูปแบบคำสั่งให้เปิดปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าตามโปรแกรมที่ได้ตั้งไว้ ข้อดีของระบบประมวลผลประเภทนี้คือมีเอกภาพในการควบคุมระบบสูง การวางระบบไม่ยุ่งยากซับซ้อน การวางโปรแกรมค่อนข้างง่ายเพราะรับคำสั่งเพียงแห่งเดียว แต่ข้อเสียคือถ้าศูนย์กลางการสั่งงานของระบบมีปัญหา จะทำให้ระบบจัดการพลังงานภายในบ้านทั้งระบบมาปัญหาตามมาด้วยเพราะการทำงานทุกอย่างขึ้นอยู่กับศูนย์กลางการสั่งงานอยู่แห่งเดียว [6] ตัวอย่างการใช้งานระบบประเภทนี้เช่น การวางระบบประมวลแบบรวมศูนย์ของระบบจัดการพลังงานภายในบ้านโดยใช้เซิร์ฟเวอร์ของคอมพิวเตอร์เครื่องเดียวในการสั่งการ ในงานวิจัยเรื่อง A New Method for Load Indentification of Noninstrusive Energy Management System in Smart Home [6] และงานวิจัยเรื่อง Integrated Home Gateway Controller for Home Energy Management System [7]

3.4.2 ระบบประมวลผลแบบกระจายศูนย์

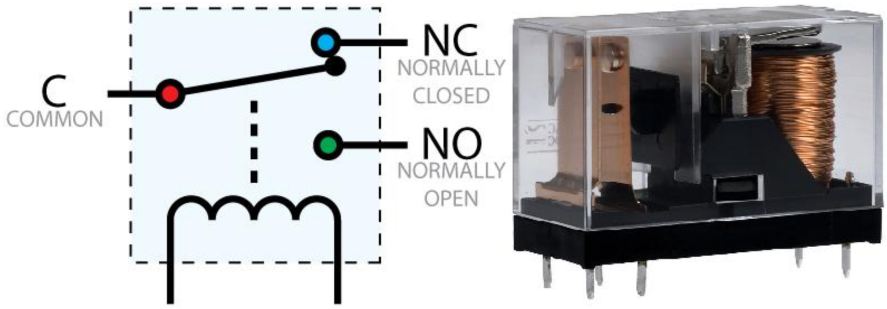
ระบบประมวลผลแบบกระจายศูนย์ (Distributed Processing System) คือ ระบบประมวลผลที่มีการควบคุมการเปิดปิดวงจรอยู่หลายแหล่งโดยคำสั่งในการควบคุมของแต่ละแหล่งจะมีการจัดเรียงลำดับความสำคัญ (Priority) โดยคำสั่งจากศูนย์กลางการสั่งงานของระบบจะถือว่ามีความสำคัญมากที่สุด ระบบประมวลผลทั้งหมดจะต้องควบคุมให้วงจรเปิดปิดตามคำสั่งดังกล่าวนี้ทันทีไม่ว่าคำสั่งอื่นๆจะเป็นอย่างไรก็ตาม เมื่อสิ้นสุดการสั่งงานของคำสั่งดังกล่าวคำสั่งอื่นๆจึงจะสามารถทำงานได้ตามลำดับ ข้อดีของระบบประมวลผลประเภทนี้คือระบบจัดการพลังงานจะมีความน่าเชื่อถือได้สูง (High Reliability) เนื่องจากถ้าศูนย์กลางการสั่งงานของระบบมีปัญหาระบบจัดการพลังงานภายในบ้านระบบก็จะสามารถทำงานต่อไปได้โดยใช้การควบคุมการเปิดปิดวงจรจากระบบประมวลผลย่อยซึ่งมีลำดับความสำคัญรองลงมาจากระบบประมวลผลหลัก แต่ข้อเสียคือการวางโครงสร้างของระบบค่อนข้างยุ่งยากซับซ้อนเพราะรับคำสั่งจากหลายแหล่ง [14] ตัวอย่างการใช้งานระบบประเภทนี้เช่น การวางระบบประมวลแบบรวมศูนย์ในการสร้างเครือข่ายซิ๊กบีแบบ Tree ในงานวิจัยเรื่อง Distributed Demand Side Management System for Home Energy Management [14]

3.5 เทคโนโลยีควบคุมการเปิดปิดวงจรอัตโนมัติ

ในส่วนนี้จะทำหน้าที่เป็นสวิตซ์อัตโนมัติในการตัดต่อโหลด โดยวงจรตัดต่อโหลดจะรับคำสั่งเป็นสัญญาณดิจิตอลมาจากระบบประมวลผลหรือไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งสัญญาณดิจิตอลจะมีอยู่ 2 ระดับแรงดัน ได้แก่ แรงดันของ Logic Low หมายความว่าให้ปิดเครื่องใช้ไฟฟ้า และแรงดันของ Logic High หมายความว่าให้เปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าซึ่งสวิตซ์อัตโนมัติที่ใช้ในการควบคุมการเปิดปิดวงจรแบ่งออกเป็น 3 ประเภทหลักดังต่อไปนี้

3.5.1 รีเลย์

ทำหน้าที่ในการควบคุมการเปิดปิดวงจรโดยรับคำสั่งมาจากไมโครโปรเซสเซอร์หรือระบบประมวลผล สามารถควบคุมการเปิดปิดวงจรสำหรับโหลดไฟฟ้ากระแสตรงและโหลดไฟฟ้ากระแสสลับได้ โดยโครงสร้างการทำงานของรีเลย์สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3.12 [20]

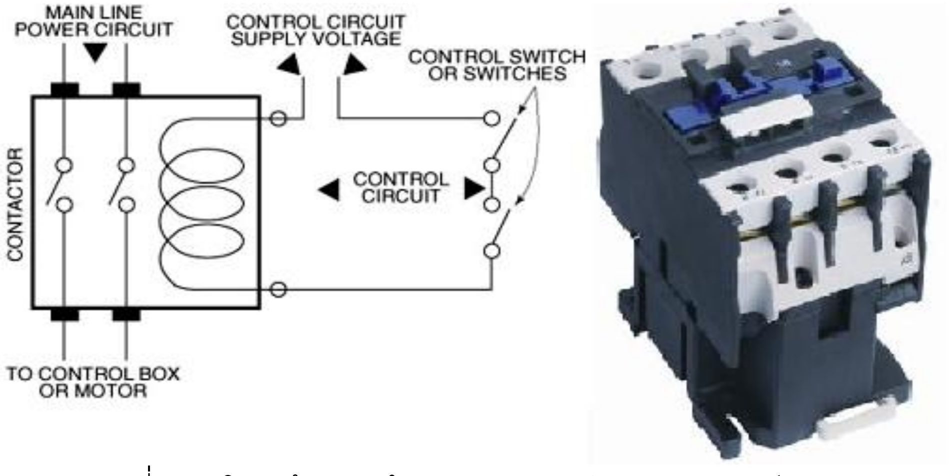


ภาพที่ 3.12 โครงสร้างการทำงานของรีเลย์ [20]

จากภาพที่ 3.12 รีเลย์ลักษณะเป็นสวิตซ์แบบ 3 ทางมีขั้ว NO (Normally Open) คือถ้าโหลดต่ออยู่กับขั้วดังกล่าวแล้ววงจรจะถูกเปิดตลอดเวลาจนกว่าจะมีคำสั่งจากระบบประมวลผลให้ปิดวงจร และขั้ว NC (Normally Close) คือถ้าโหลดต่ออยู่กับขั้วดังกล่าวแล้ววงจรจะถูกปิดตลอดเวลาจนกว่าจะมีคำสั่งจากระบบประมวลผลให้เปิดวงจร ข้อดีคือสามารถนำไปใช้งานได้ง่ายโดยการต่อเข้ากับไมโครโปรเซสเซอร์ได้โดยตรง แต่ถ้าหากเป็นไมโครโปรเซสเซอร์แรงดันต่ำอาจต้องเพิ่มวงจรบ้างเล็กน้อย ข้อเสียคือไม่สามารถใช้งานกับโหลดที่มีกระแสไฟฟ้าสูงๆได้เช่นเครื่องปรับอากาศ หากต้องการนำรีเลย์ไปใช้ในการตัดต่อวงจรของโหลดที่มีกระแสไฟฟ้าสูงๆจะต้องนำไปใช้งานร่วมกับ Magnetic Contactor และการสั่งให้รีเลย์ตัดต่อวงจรนั้นต้องอาศัยพลังงานไฟฟ้าส่วนหนึ่งในการสร้างแรงแม่เหล็กทางกลให้รีเลย์ทำงาน [20]

3.5.2 แมกเนติกคอนแทคเตอร์

ทำหน้าที่ในการควบคุมการเปิดปิดวงจรโดยรับคำสั่งมาจากรีเลย์อีกทีหนึ่ง สามารถควบคุมการเปิดปิดวงจรสำหรับโหลดไฟฟ้ากระแสตรงและโหลดไฟฟ้ากระแสสลับแบบเฟสเดียวหรือแบบ 3 เฟสที่มีกระแสไฟฟ้าสูงๆได้เช่นเครื่องปรับอากาศ โดยโครงสร้างการทำงานของแมกเนติกคอนแทกเตอร์สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 3.13 [21]



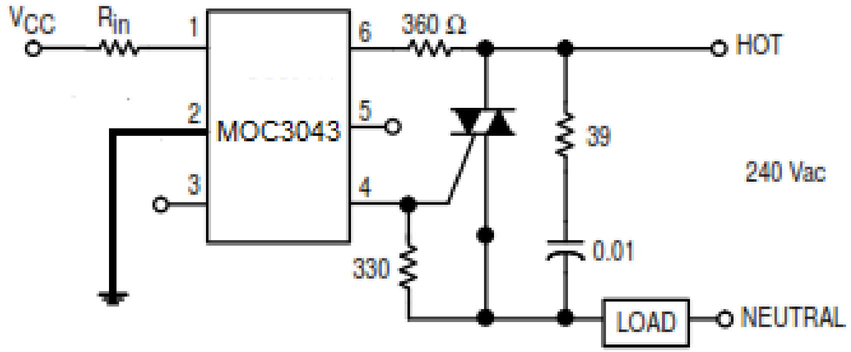
ภาพที่ 3.13 โครงสร้างการทำงานของแมกเนติกคอนแทกเตอร์ [21]

จากภาพที่ 3.13 แมกเนติกคอนแทกเตอร์ลักษณะเป็นสวิตซ์แบบทางเดียวทำงานโดยอาศัยกระแสไฟฟ้ากระแสตรงที่มีขนาด 0.15 A ขึ้นไปไหลผ่านขดลวดเพื่อให้เกิดแรงแม่เหล็กทางกลดึงแกนเหล็กเข้ามาทำให้ต่อวงจร แต่ถ้าไม่มีกระแสไหลผ่านขดลวดดังกล่าววงจรจะถูกตัดออกทันที ข้อดีคือสามารถนำไปใช้งานกับโหลดที่มีกระแสไฟฟ้าสูงๆได้ ข้อเสียคือต้องใช้กระแสไฟฟ้าสูงในการสั่งให้ Magnetic Contactor ทำงาน และการติดตั้งค่อนข้างยุ่งยากเพราะต้องนำไปต่อร่วมกับรีเลย์ทำให้สิ้นเปลืองเนื้อที่ในการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้า [21]

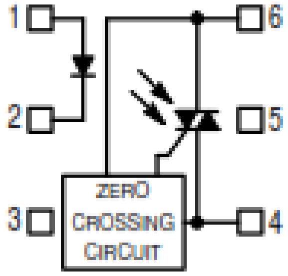
3.5.3 ไตรแอค

ทำหน้าที่เปิดปิดวงจรไฟฟ้าโดยรับคำสั่งมาจากไมโครโปรเซสเซอร์หรือระบบประมวลผลได้โดยตรง สามารถควบคุมการเปิดปิดวงจรสำหรับโหลดไฟฟ้ากระแสสลับได้เท่านั้น และสามารถนำไปใช้กับโหลดที่มีกระแสไฟฟ้าสูงๆได้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของไตรแอคที่เลือกใช้ มีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่ารีเลย์และแมกเนติกคอนแทคเตอร์เพราะไม่มีหน้าสัมผัสที่ต้องแตะและปล่อยในขณะที่ทำการเปิดปิดวงจร แต่มีข้อเสียคือรูปคลื่นของกระแสที่ได้จากการเปิดปิดวงจรไฟฟ้าด้วยไตรแอคจะเพี้ยนไปจากรูปไซน์เล็กน้อยเนื่องจากการสวิตซ์ซิ่ง

การทำงานของไตรแอคจะอาศัย IC เบอร์ MOC3043 ซึ่งเป็น Optoisolator และ Cross-Zero IC ในตัวเดียวกัน IC ตัวนี้จะรับคำสั่งมาจากไมโครโปรเซสเซอร์ และสั่งให้ Triac ทำการเปิดปิดโหลดตามคำสั่งเมื่อกระแสไฟฟ้าของโหลดอยู่ที่ค่า Cross-Zero เท่านั้น ซึ่งจะทำให้ไม่เกิดการอาร์กบริเวณรอยต่อภายใน junction ของ Triac โดยวงจรตัดต่อโหลดดังกล่าว และ block diagram ของวงจรภายใน IC เบอร์ MOC3043 แสดงได้ดังภาพที่ 3.14 และภาพที่ 3.15 ตามลำดับ [26]



ภาพที่ 3.14 วงจรตัดต่อโหลดโดยอาศัย IC เบอร์ MOC3043 [26]



ภาพที่ 3.15 block diagram ของวงจรภายใน IC เบอร์ MOC3043 [26]

จากภาพที่ 3.14 IC เบอร์ MOC3043 ต้องการกระแสไฟฟ้าขนาด 5 mA ในการสั่งให้ Triac ทำงานเมื่อมีสัญญาณ logic 1 (Vcc) เข้ามาเลี้ยงวงจร

บทที่ 4

การออกแบบระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน

ระบบจัดการพลังงานภายในบ้านพัฒนาขึ้นเพื่อจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้า ให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ โดยวิถีชีวิตความเป็นอยู่ของผู้อยู่อาศัยภายในบ้านยังคงเป็นเช่นเดิม แต่อาจมีการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของผู้อยู่อาศัยเล็กน้อย โดยมีแรงจูงใจคือ เมื่อผู้ใช้ไฟฟ้าลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลง หรือใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลาที่เหมาะสม ผู้ใช้พลังงานไฟฟ้าจะสามารถจ่ายค่าไฟฟ้าในราคาที่ถูกกว่าราคาค่าไฟฟ้าครั้งก่อน โดยระบบจะเป็นตัวรายงานให้ผู้ใช้ไฟฟ้าทราบเอง

ดังนั้นในบทนี้จะอธิบายถึง การออกแบบเชิงแนวคิดของการจัดการพลังงานภายในบ้าน ภาพรวมของระบบ (System Overview) การออกแบบส่วนระบบไฟฟ้า (Electrical System Design) และการออกแบบส่วนสารสนเทศและการสื่อสาร (ICT Design)

4.1 การออกแบบเชิงแนวคิดของระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน

การออกแบบเชิงแนวคิดของระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน (The design concepts of HEMS) คือ การออกแบบระบบ เพื่อลดการใช้พลังงานภายในบ้าน และลดราคาค่าไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้าภายในบ้านเป็นประการแรก ส่วนประการที่สองคือเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมของประเทศในช่วงเวลาที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่าปกติ (peak time) ถ้าหากมีบ้านเรือนหลายหลังนิยมมาใช้ระบบจัดการพลังงานภายในบ้านที่พัฒนาขึ้นนี้ และผู้ใช้ไฟฟ้ามีความตระหนักรู้ว่าตนไม่สมควรใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงราคาแพง จากวัตถุประสงค์ของการออกแบบเพื่อผลประโยชน์ที่อาจเกิดขึ้นทั้ง 2 ประการนั้น ก่อให้เกิดแนวคิดหลักของระบบจัดการพลังงานภายในบ้านแบ่งออกเป็น 3 แนวคิด ซึ่งแนวคิดทั้งหมดต้องอยู่ในระบบจัดการพลังงานภายในบ้านที่พัฒนาขึ้น ได้แก่

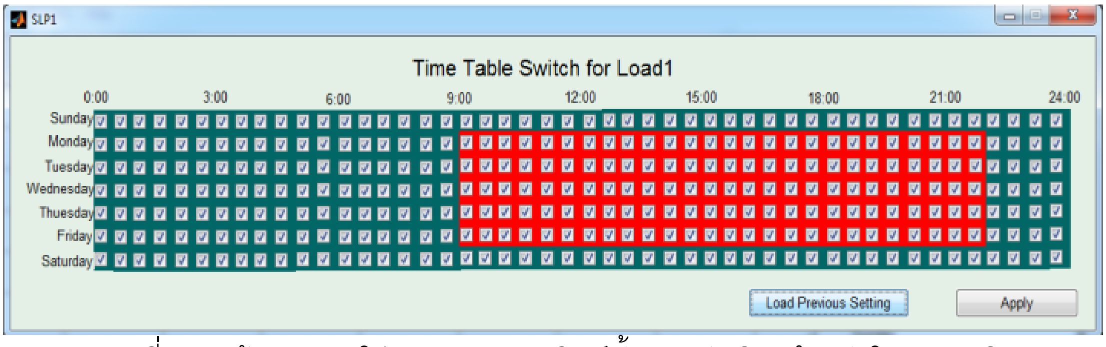
4.1.1 การวางแผนอย่างชาญฉลาด

ระบบจัดการพลังงานภายในบ้านที่พัฒนาขึ้นนั้น ได้ออกแบบให้ผู้ใช้พลังงานไฟฟ้าสามารถวางแผนการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าเป็นวงรอบสัปดาห์ผ่านทางเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยมีแนวคิดหลักของการออกแบบการวางแผนการใช้โหลดอยู่ 2 ประการ ได้แก่

1) Time of Use Planning (TOU Planning) หมายถึง การวางแผนการใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าตามช่วงเวลา โดยในโปรแกรมที่แสดงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์จะมีช่องที่แสดงให้ผู้ใช้ไฟฟ้าทราบว่าช่วงเวลาใดเป็นช่วงเวลา on-peak ซึ่งเป็นช่วงที่คิดราคาค่าไฟฟ้าแพง และช่วงเวลาใดเป็นช่วงเวลา off-peak ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่คิดราคาค่าไฟฟ้าถูก เพื่อให้ผู้ใช้ไฟฟ้าตระหนักรู้ถึงการใช้พลังงานไฟฟ้าให้เหมาะสมกับช่วงเวลาดังกล่าว

2) 7 –day Independent Programming หมายถึง ระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน (HEMS) จะอนุญาตให้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถโปรแกรมการใช้พลังงานไฟฟ้าล่วงหน้าได้ใน 7 วันหรือหนึ่งสัปดาห์ โดยในแต่ละวันของสัปดาห์นั้นๆสามารถตั้งเวลาการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าได้โดยไม่ซ้ำกันแม้แต่วันเดียว และในแต่ละวันสามารถกำหนดสถานะของการเปิด – ปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าได้สถานะละครึ่งชั่วโมง เพื่อให้สะดวกต่อการตัดสินใจตั้งเวลา

จากหลักการของการออกแบบการวางแผนการใช้โหลดในข้อ 1) และข้อ 2) ทำให้ได้หน้าต่างของโปรแกรมตารางสวิตซ์ตั้งเวลาอัจฉริยะ (Intelligent Time Table Switch: ITTS) ดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 หน้าต่างของโปรแกรมตารางสวิตซ์ตั้งเวลาอัจฉริยะสำหรับโหลด 1 ชนิด

จากภาพที่ 4.1 โปรแกรมตารางสวิตซ์ตั้งเวลาอัจฉริยะสำหรับโหลด 1 ชนิดจะออกแบบให้สอดคล้องกับแนวคิดของ Smart Planning ให้ได้มากที่สุด โดยจะมีช่องสี่เหลี่ยมให้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถทำเครื่องหมายถูกโดยใช้เมาส์คลิ๊กเข้าไปในบริเวณช่องนั้นๆ หรือยกเลิกเครื่องหมายถูกโดยการคลิ๊กซ้ำอีกที โดยแต่ละช่องจะแสดงสถานะของเครื่องใช้ไฟฟ้าทุกๆ 30 นาที ถ้ามีเครื่องหมายถูกอยู่บริเวณช่องดังกล่าวจะแสดงว่าให้ระบบเปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดนั้นๆ ณ ช่วงเวลาครึ่งชั่วโมงนั้น หากไม่มีเครื่องหมายถูกอยู่จะแสดงว่าให้ระบบปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าชนิดนั้นๆ ณ ช่วงเวลาดังกล่าว เมื่อผู้ใช้ไฟฟ้าตั้งเวลาการเปิด-ปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าแบบอัตโนมิติแล้ว สามารถกดปุ่ม Apply เพื่อให้ระบบบันทึกค่าที่ตั้งไว้ให้เข้าสู่คอมพิวเตอร์ก่อนที่จะโหลดลงยังตัว Server ต่อไป

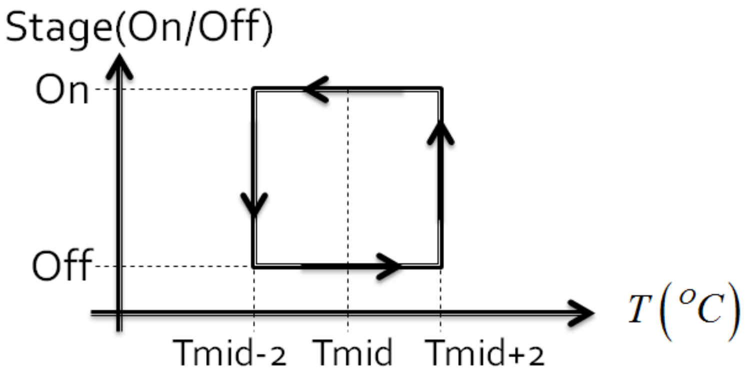
นอกจากนี้แล้วผู้ใช้ไฟฟ้ายังสามารถโหลดข้อมูลการตั้งเวลาการเปิด-ปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าครั้งล่าสุดได้ทางปุ่ม Load Previous Setting แล้วระบบจะแสดงค่าที่ได้ตั้งไว้ครั้งล่าสุดเป็นเครื่องหมายถูกและช่องว่างอยู่บนหน้าต่างของโปรแกรมเดิม

4.1.2 **ระบบควบคุมอัตโนมัติ**

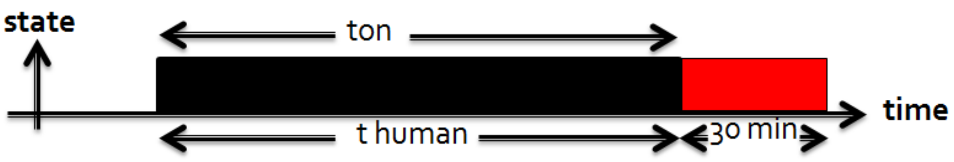
ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ถูกนำมาใช้ในการจัดการพลังงานแบบอัตโนมัติมีอยู่ 2 ชนิดคือ โหลดทำความเย็นและโหลดให้แสงสว่างโดยใช้ 3 เซนเซอร์หลักในการควบคุม ได้แก่ Motion Sensor, Temperature Sensor และ Light Sensor ซึ่งในการควบคุมโหลดแต่ละชนิดนั้นมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1.2.1 **โหลดทำความเย็น**

โหลดทำความเย็นนั้นอาศัยเซนเซอร์ 2 ชนิดในการควบคุม ได้แก่ Motion Sensor และ Temperature Sensor โดยต้องมีมนุษย์อาศัยอยู่ในบริเวณดังกล่าว และมีอุณหภูมิสูงเกินกว่าค่าที่ได้ตั้งไว้ โหลดทำความเย็นจึงจะทำงาน หรือเงื่อนไขของ Motion Sensor และเงื่อนไขของ Temperature Sensor ต้องสั่งให้เปิดโหลดทำความเย็นทั้งคู่ แล้วโหลดทำความเย็นจึงจะทำงาน มิฉะนั้นแล้วโหลดทำความเย็นจะหยุดการทำงานโดยทันที โดยเงื่อนไขการสั่งงานให้แก่โหลดทำความเย็นของ Motion Sensor และ Temperature Sensor นี้เป็นดังภาพที่ 4.2 และภาพที่ 4.3 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.2 เงื่อนไขของอุณหภูมิในการเดินโหลดทำความเย็น

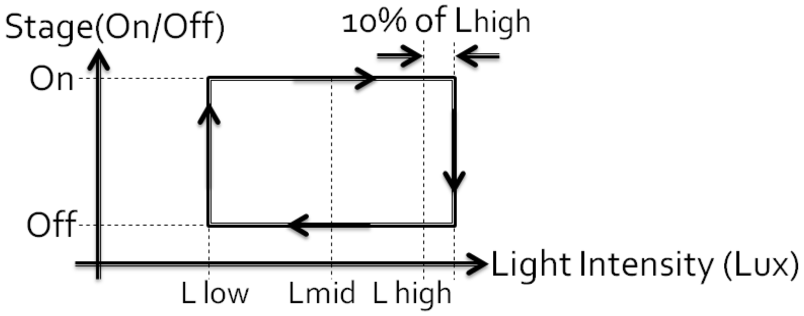


ภาพที่ 4.3 เงื่อนไขของ Motion Sensor ในการเดินโหลดทำความเย็น

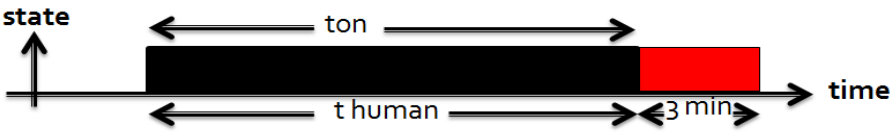
จากภาพที่ 4.2 อธิบายได้ว่าโหลดทำความเย็นจะถูกควบคุมโดยเงื่อนไขของอุณหภูมิ โดยผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถเปลี่ยนค่า Tmid (Middle Temperature) ได้ผ่านทางโปรแกรมคอมพิวเตอร์ของระบบ และโหลดทำความเย็นจะเริ่มเดินเครื่องเมื่ออุณหภูมิที่เซ็นเซอร์วัดได้มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ Tmid + 2 องศาเซลเซียสจนกระทั่งอุณหภูมิภายในห้องเย็นขึ้นเรื่อยๆจนถึง Tmid – 2 องศาเซลเซียสแล้ว โหลดทำความเย็นจึงจะหยุดเดินเครื่อง โดยปกติแล้วระบบจัดการพลังงานภายในบ้านจะตั้งค่า Tmid ที่สถานะเริ่มต้นเป็น 25 องศาเซลเซียสซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการอยู่อาศัยของมนุษย์ จากภาพที่ 4.3 อธิบายได้ว่าโหลดทำความเย็นจะเริ่มเดินเครื่องเมื่อ Motion Sensor สามารถตรวจจับว่ามีมนุษย์อาศัยอยู่ ณ บริเวณดังกล่าวและโหลดทำความเย็นจะหยุดทำงานเมื่อ Motion Sensor ไม่สามารถตรวจจับมนุษย์ได้โดยมีการหน่วงเวลาไว้ 30 นาทีก่อนหยุดทำงาน เนื่องจากการเปิด-ปิดโหลดทำความเย็นบ่อยครั้งอาจทำให้เกิดความเสียหายได้

4.1.2.2 **โหลดแสงสว่าง**

โหลดแสงสว่างนั้นอาศัยเซนเซอร์ 2 ชนิดในการควบคุมเช่นเดียวกับโหลดทำความเย็น ได้แก่ Motion sensor และ Light Sensor โดยต้องมีมนุษย์อาศัยอยู่ในบริเวณดังกล่าว และมีความเข้มของแสงสว่าง (Light Intensity) ต่ำเกินกว่าค่าที่ได้ตั้งไว้ โหลดแสงสว่างจึงจะทำงาน หรือเงื่อนไขของ Motion Sensor และเงื่อนไขของ Light Sensor ต้องสั่งให้เปิดโหลดแสงสว่างทั้งคู่ แล้วโหลดประเภทนี้จึงจะทำงาน มิฉะนั้นแล้วโหลดแสงสว่างจะหยุดให้ความสว่างโดยทันที โดยเงื่อนไขการสั่งงานให้แก่โหลดแสงสว่างของ Motion Sensor และ Light Sensor นี้เป็นดังภาพที่ 4.4 และภาพที่ 4.5 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.4 เงื่อนไขของความเข้มแสงในการทำงานของโหลดแสงสว่าง



ภาพที่ 4.5 เงื่อนไขของ Motion Sensor ในการทำงานของโหลดแสงสว่าง

จากภาพที่ 4.4 อธิบายได้ว่าโหลดแสงสว่างจะถูกควบคุมโดยเงื่อนไขของความเข้มแสง โดยผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถเปลี่ยนค่า Lmid (middle light intensity) ได้ผ่านทางโปรแกรมคอมพิวเตอร์ของระบบซึ่ง Lmid จะมีค่าดังสมการที่ 4.1

$$Lmid = \frac{Llow + Lhigh}{2} \tag{4.1}$$

เมื่อ

$Lmid$	คือ ความเข้มแสงที่อยู่ตรงกลางระหว่าง Lhigh กับ Llow (lux)
$Llow$	คือ ความเข้มแสงมีค่าน้อยที่ทำให้มนุษย์เริ่มรู้สึกไม่สบาย (lux)
$Lhigh$	คือ ค่าความเข้มแสงที่เซ็นเซอร์วัดได้ขณะเปิดโหลดแสงสว่าง (lux)

โดยโหลดแสงสว่างจะเริ่มให้ความสว่างเมื่อความเข้มแสงที่เซ็นเซอร์วัดได้มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ Llow (low light intensity) แต่เมื่อความเข้มแสงที่เซ็นเซอร์วัดได้มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 110 เปอร์เซ็นต์ของ Lhigh (high light intensity) โหลดแสงสว่างจะหยุดให้ความสว่างทันที ดังนั้นจึงต้องตั้งค่าของความเข้มแสงในการปิดโหลดแสงสว่างให้มากกว่าค่า Lhigh เล็กน้อยเพื่อป้องกันมิให้เกิดการกระพริบติดๆดับของโหลดแสงสว่าง โดยปกติแล้วระบบจะตั้งค่า Llow ไว้ที่ 320 lux และตั้งค่า Lhigh ไว้ที่ 500 lux เนื่องจากความสว่างของหลอดฟลูออเรสเซนต์ภายในบ้านที่เพียงพอต่อการดำรงชีวิตอยู่ของมนุษย์มีค่าประมาณ 320 – 500 lux [27] ดังนั้นจากสมการที่ 4.1 ถ้าผู้ใช้ไฟฟ้าทำการเปลี่ยนค่า Lmid แล้ว จะทำให้ Llow และ Lhigh เปลี่ยนไปดังสมการที่ 4.2 และสมการที่ 4.3 ตามลำดับ

$$Llow = Lmid - 90 \tag{4.2}$$

$$Lhigh = Lmid + 90 \tag{4.3}$$

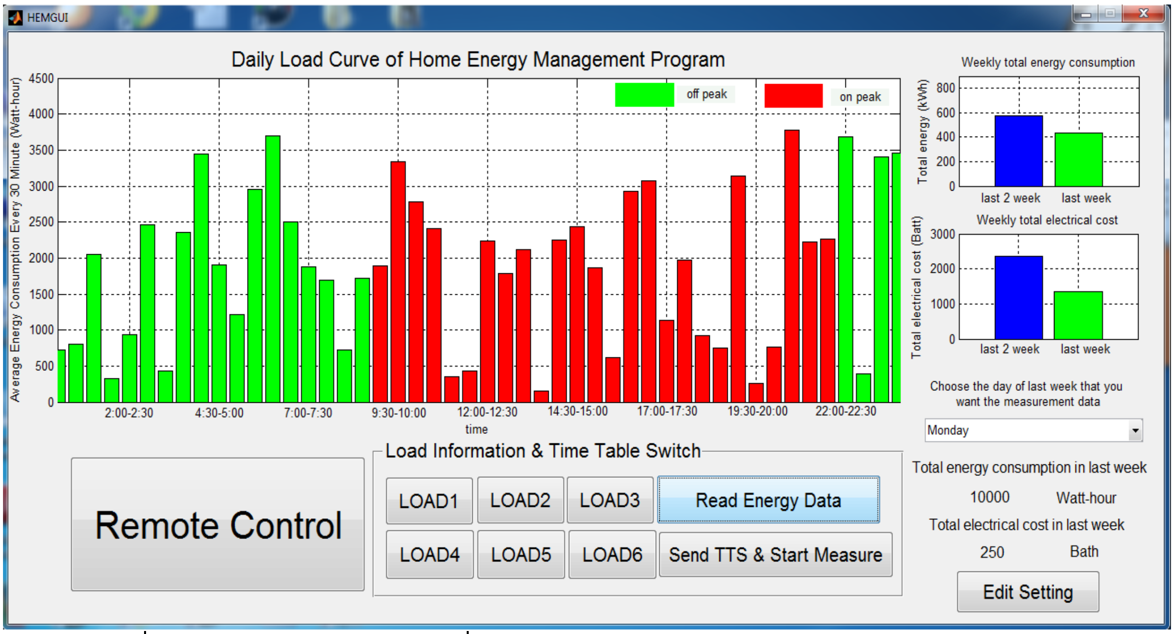
จากภาพที่ 4.5 อธิบายได้ว่าโหลดแสงสว่างจะเริ่มทำงานเมื่อ motion sensor สามารถตรวจจับว่ามีมนุษย์อาศัยอยู่ ณ บริเวณดังกล่าวและโหลดแสงสว่างจะหยุดให้ความสว่างเมื่อ motion sensor ไม่สามารถตรวจจับมนุษย์ได้โดยมีการหน่วงเวลาไว้ 3 นาทีก่อนหยุดทำงาน เนื่องจากการเปิดโหลดเฉพาะแสงสว่างในระยะเวลาที่ต้องการใช้นั้น สามารถประหยัดพลังงาน

ไฟฟ้าได้ และการเปิด-ปิดโหลดแสงสว่างบ่อยครั้งจะไม่มีผลกระทบต่ออายุการใช้งานของโหลดแสงสว่างแต่อย่างใด

จากการควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติของโหลดทำความเย็นและโหลดแสงสว่างนั้น พบว่า โหลดทำความเย็นต้องใช้ Temperature Sensor ควบคุมเป็นหลัก และโหลดแสงสว่างต้องใช้ Light sensor เป็นหลัก ซึ่งการสั่งการไปที่โหลดของเซนเซอร์ทั้ง 2 ประเภทนี้ต้องอาศัยฟังก์ชันของ histerisis loop เพื่อป้องกันมิให้เกิดปัญหาของสัญญาณรบกวน ที่จะทำอันตรายต่อระบบแสงสว่างและระบบทำความเย็น

4.1.3 **การแสดงผลการใช้พลังงาน**

แนวคิดที่จะทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าเห็นภาพรวมของการใช้พลังงานนั้น ทำได้โดยการแสดงค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าและราคาค่าไฟฟ้าของช่วงเวลาที่ผ่านดังภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 หน้าต่างของโปรแกรมที่ติดต่อกับผู้ใช้งานระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน

จากภาพที่ 4.6 ส่วนของโปรแกรมที่ทำหน้าที่แสดงผลของการใช้พลังงานไฟฟ้าและราคาค่าไฟฟ้าในอดีตเพื่อสร้างความตระหนักรู้ในการประหยัดพลังงานให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน ประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ดังต่อไปนี้

4.1.3.1 **ส่วนแสดงโหลดรายวัน**

เมื่อผู้ใช้ไฟฟ้ากดปุ่ม Read Energy Data จากโปรแกรมนี้ ข้อมูลการใช้พลังงาน

ไฟฟ้าของโหลดจากระบบจะถูกส่งเข้าไปเก็บยังเครื่องคอมพิวเตอร์ หลังจากนั้นผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถเลือกวันที่ต้องการดูโหลดรายวันได้จากปุ่ม pop-up menu ที่มีหัวข้อ choose the day of last week that you want the measurement data กำกับไว้ แล้วโปรแกรมจะแสดง Daily Load Curve ของวันนั้นๆของสัปดาห์ที่แล้วออกมาในรูปแบบของกราฟแท่ง โดยกราฟแต่ละแท่งมีความหมายถึงค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้ไปในแต่ละ 30 นาทีของวันนั้นๆ (หน่วยเป็น วัตต์-ชั่วโมง) ซึ่งกราฟแท่งจะแบ่งออกเป็นกราฟแท่งสีเขียวและกราฟแท่งสีแดง กราฟแท่งสีเขียวแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงราคาค่าไฟฟ้าถูก (off-peak time) ส่วนกราฟแท่งสีแดงแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงราคาค่าไฟฟ้าแพง (on-peak time) เมื่อมีการคิดราคาค่าไฟฟ้าแบบ TOU

4.1.3.2 **ส่วนแสดงการเปรียบเทียบของราคาค่าไฟฟ้าและพลังงานที่ใช้ไปในอดีต**

ในส่วนนี้ประกอบด้วย 2 ส่วนย่อยได้แก่ ส่วนแสดงการเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้ารายสัปดาห์ที่ใช้ไปในอดีตซึ่งอยู่ภายใต้หัวข้อ Weekly total energy consumption และส่วนแสดงการเปรียบเทียบราคาค่าไฟฟ้ารายสัปดาห์ในอดีตซึ่งอยู่ภายใต้หัวข้อ Weekly total electrical cost โดยทั้งสองส่วนนี้จะแสดงการเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ไป (หน่วยเป็นกิโลวัตต์ – ชั่วโมง) ของสัปดาห์ที่ผ่านมา (กราฟแท่งสีเขียว) กับสัปดาห์ก่อนสัปดาห์ที่ผ่านมา (กราฟแท่งสีน้ำเงิน) และแสดงการเปรียบเทียบราคาค่าไฟฟ้า (หน่วยเป็นบาท) ของสัปดาห์ที่ผ่านมา (กราฟแท่งสีเขียว) กับสัปดาห์ก่อนสัปดาห์ที่ผ่านมา (กราฟแท่งสีน้ำเงิน) ตามลำดับ โดยเมื่อผู้ใช้ไฟฟ้ากดปุ่ม Read Energy Data จากโปรแกรมนี้ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของโหลดจากระบบจะถูกส่งเข้าไปเก็บยังเครื่องคอมพิวเตอร์ แล้วเครื่องคอมพิวเตอร์จะโหลดข้อมูลของพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ไปและข้อมูลของราคาค่าไฟฟ้าของสัปดาห์ก่อนหน้าสัปดาห์ที่แล้วออกมาแสดงผลเป็นกราฟแท่งสีน้ำเงิน เพื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลดังกล่าวของสัปดาห์ที่แล้วที่คอมพิวเตอร์กำลังรับข้อมูลนี้เข้าไปและแสดงผลออกมาเป็นกราฟแท่งสีเขียว

4.1.3.3 **ส่วนแสดงราคาค่าไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้ารายสัปดาห์**

ในส่วนนี้ประกอบด้วย 2 ส่วนย่อยได้แก่ ส่วนแสดงพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ไปในสัปดาห์ที่แล้ว (หน่วยเป็นวัตต์-ชั่วโมง) ซึ่งอยู่ภายใต้หัวข้อ total energy consumption in last week และส่วนแสดงราคาค่าไฟฟ้าของสัปดาห์ที่แล้ว (หน่วยเป็นบาท) ซึ่งอยู่ภายใต้หัวข้อ total electrical cost in last week โดยเมื่อผู้ใช้ไฟฟ้ากดปุ่ม Read Energy Data จากโปรแกรมนี้ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของโหลดจากระบบจะถูกส่งเข้าไปเก็บยังเครื่องคอมพิวเตอร์ แล้วคอมพิวเตอร์จะทำหน้าที่ประมวลผลของพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ไฟในสัปดาห์ที่แล้ว และราคา

ค่าไฟฟ้าเมื่อคิดในอัตรา TOU ของสัปดาห์ที่แล้ว ออกมาแสดงผลในรูปแบบของตัวเลขซึ่งอยู่ภายใต้ของหัวข้อทั้งสองหัวข้อดังที่ได้กล่าวไว้

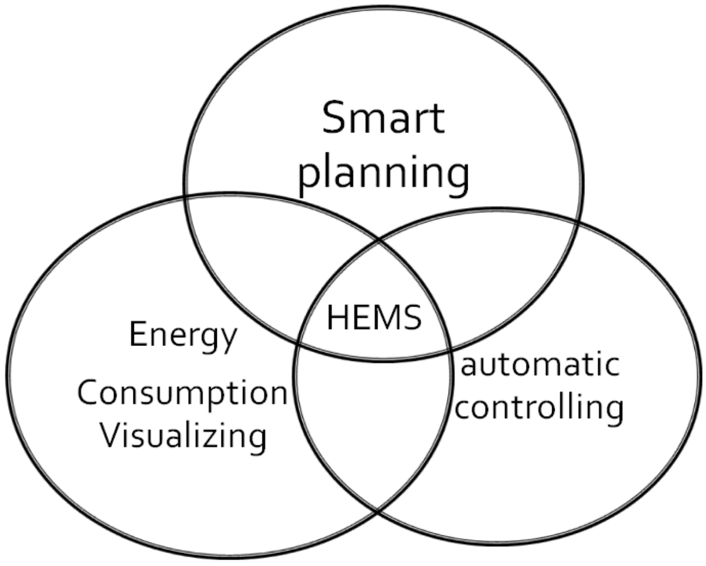
จากส่วนของโปรแกรมที่ทำหน้าที่แสดงผลของการใช้พลังงานไฟฟ้าและราคาค่าไฟฟ้าในอดีตทั้ง 3 ส่วนหลักอาจสร้างความตระหนักรู้ในการประหยัดพลังงานให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้าดังต่อไปนี้

1) เมื่อผู้ใช้ไฟฟ้าเห็นกราฟแท่งของโหลดรายวัน และเห็นว่ากราฟแท่งของโหลดรายวันสีแดงมีความสูงมากกว่า กราฟแท่งของโหลดรายวันสีเขียว เขาอาจจะลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากช่วง on-peak time มาใช้ในช่วง off-peak time ให้มากขึ้น

2) เมื่อผู้ใช้ไฟฟ้าเห็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบของราคาค่าไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปในอดีต แล้วพบว่าตัวเขาเองใช้พลังงานไฟฟ้าและราคาค่าไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นกว่าเดิม เขาอาจจะมีความตระหนักรู้ว่า สาเหตุใดที่ทำให้พลังงานไฟฟ้าและราคาค่าไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นกว่าเดิม แล้วพยายามแก้ไขปัญหานั้นๆจนทำให้การใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นแบบปกติ

3) เมื่อผู้ใช้ไฟฟ้าเห็นราคาค่าไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้ารายสัปดาห์ แล้วพบว่าทั้งราคาค่าไฟฟ้าแพงมาก และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปมีค่าสูงมาก ผู้ใช้ไฟฟ้าอาจเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าให้มีการลดการใช้พลังงาน เพื่อที่จะได้ไม่ต้องเสียค่าไฟฟ้าในราคาแพง

เท่าที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ แนวคิดแต่ละแนวคิดของระบบจัดการพลังงานภายในบ้านนั้นมีความสัมพันธ์เป็นดังภาพที่ 4.7

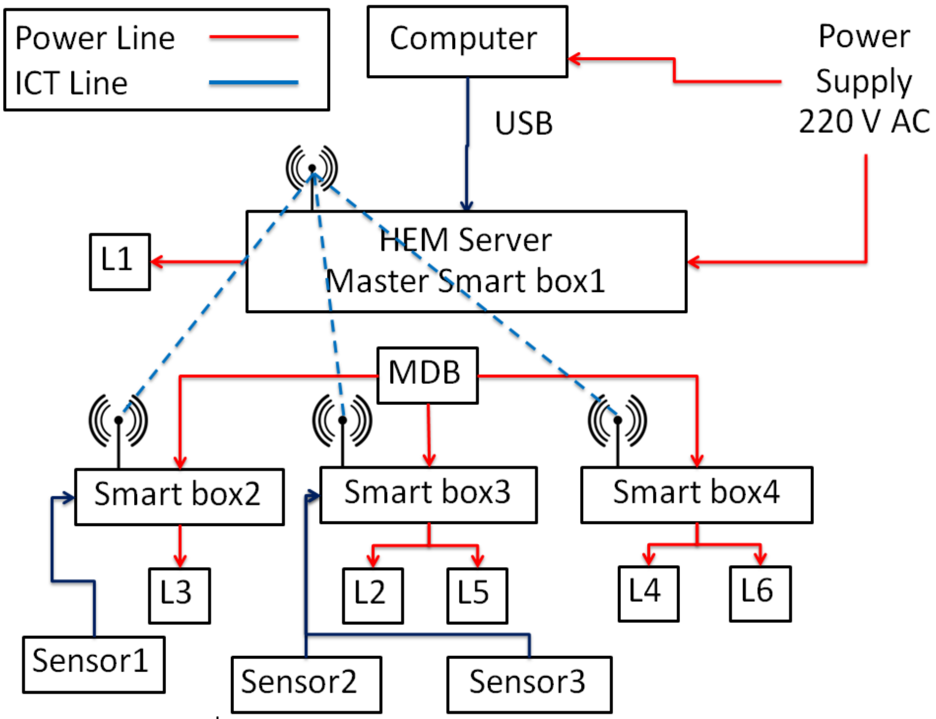


ภาพที่ 4.7 ความสัมพันธ์ของแนวคิดทั้ง 3 ของระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน

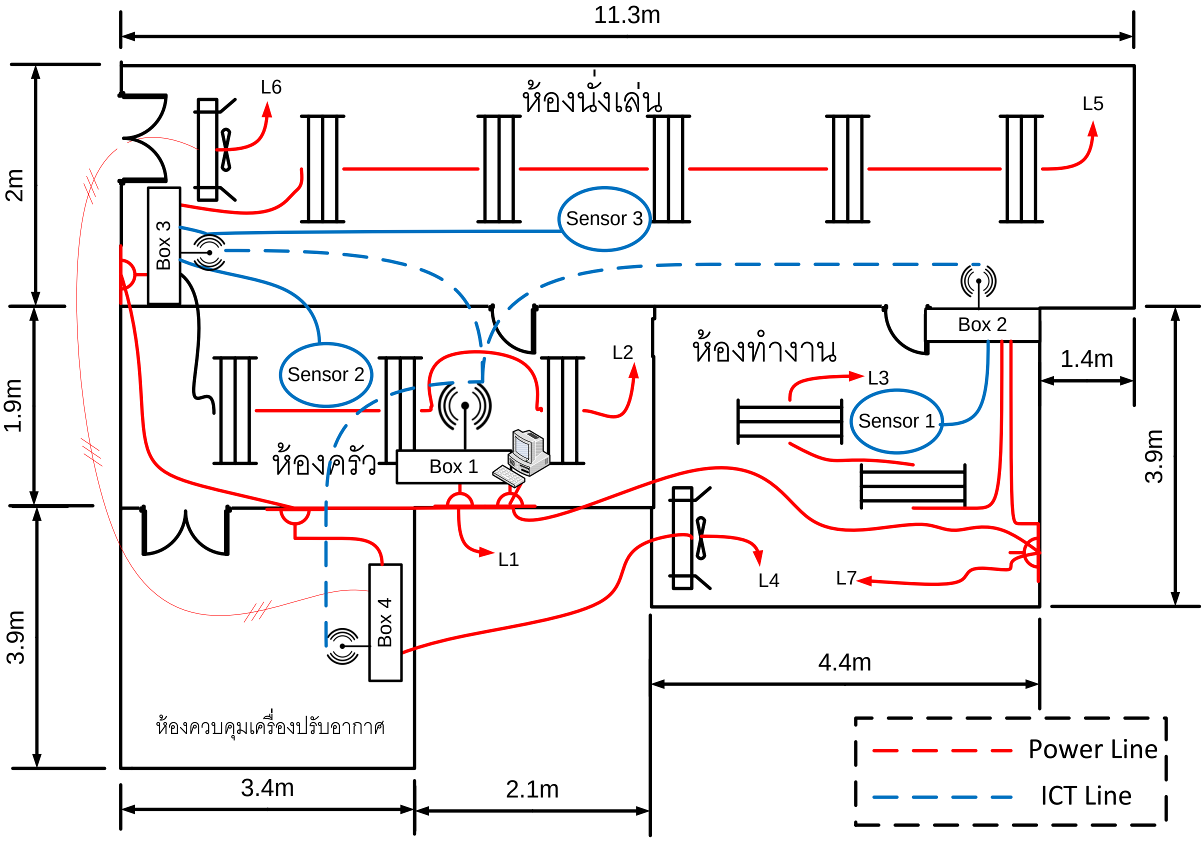
จากภาพที่ 4.7 อธิบายได้ว่าแนวคิดทั้ง 3 ของระบบจัดการพลังงานภายในบ้านมีความสัมพันธ์กันโดย เมื่อผู้ใช้ไฟฟ้าวางแผนการใช้พลังงานไฟฟ้า (Smart Planning) จากโปรแกรมตารางสวิตซ์ตั้งเวลาอัจฉริยะเรียบร้อยแล้ว หลังจากนั้นผู้ใช้ไฟฟ้าจะกดปุ่ม Send TTS & Start Measure จากโปรแกรมที่ติดต่อกับผู้ใช้งานระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน (Home Energy Management Graphic User Interface: HEM GUI) ตารางการทำงานของโหลดและค่าของความเข้มแสงและอุณหภูมิที่เคยตั้งไว้จะถูกโหลดเข้าสู่ระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน หลังจากนั้นระบบจัดการพลังงานภายในบ้านจะทำงานแบบอัตโนมัติตามตารางเวลาของโหลดที่ได้ตั้งไว้และทำงานแบบใช้เซ็นเซอร์ตัดต่ออัตโนมัติ (Automatic Controlling) โดย ณ ช่วงเวลานั้นๆ ตารางเวลาของโหลดที่เคยตั้งไว้และเซ็นเซอร์ตัดต่ออัตโนมัติต้องยอมให้เปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าประเภทนั้นๆ แล้วเครื่องใช้ไฟฟ้าดังกล่าวจะเปิดทันที แต่ถ้าหากเงื่อนไขใดเงื่อนไขหนึ่งหรือทั้งคู่สั่งให้ปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าแล้ว เครื่องใช้ไฟฟ้านั้นต้องปิดทันที เมื่อระบบจัดการพลังงานภายในบ้านได้ทำงานครบ 7 วันนับตั้งแต่วันที่เริ่มกดปุ่ม Send TTS & Start Measure แล้ว ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถเรียกดูภาพรวมของการใช้พลังงานไฟฟ้าในอดีต (Energy Consumption Visualizing) ได้ เพื่อพิจารณาในการทำ Smart Planning ครั้งต่อไป

4.2 ภาพรวมของระบบ

ระบบจัดการพลังงานภายในบ้านประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ได้แก่ ส่วนระบบไฟฟ้า (Electrical System) และส่วนสารสนเทศและการสื่อสาร (ICT) โดยส่วนระบบไฟฟ้าจะทำหน้าที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่โหลดอุปกรณ์ต่างๆภายในระบบ และส่วนสารสนเทศและการสื่อสารจะทำหน้าที่รับส่งข้อมูลระหว่าง เครื่องประมวลผลหลัก (master machines), เครื่องประมวลผลรอง (slave machines) และเซนเซอร์ ซึ่งระบบจัดการพลังงานภายในบ้านที่พัฒนาขึ้นในการศึกษาวิจัยครั้งนี้สามารถแสดงให้เห็นเป็นภาพรวมได้ดังภาพที่ 4.8 และภาพแสดงตำแหน่งของอุปกรณ์ต่างๆ ภายในระบบทั้งหมดได้ดังภาพที่ 4.9 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.8 ภาพรวมของระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน



ภาพที่ 4.9 ภาพแสดงตำแหน่งของอุปกรณ์ต่างๆภายในระบบจัดการพลังงานภายในบ้านทั้งหมด

4.3 การออกแบบส่วนระบบไฟฟ้า

ในการออกแบบระบบไฟฟ้านั้น สิ่งแรกที่ควรพิจารณาคือในพื้นที่ที่เราจะทำการจัดการพลังงานนั้นประกอบด้วยโหลดอะไรบ้าง และแต่ละโหลดมีพิกัดกำลังไฟฟ้าเป็นเท่าใด ซึ่งในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ จะแบ่งพื้นที่ออกเป็น 3 บริเวณ ได้แก่ ห้องครัว ห้องทำงาน และห้องนั่งเล่นซึ่งในแต่ละบริเวณจะประกอบด้วยเครื่องใช้ไฟฟ้า และข้อมูลดิบที่อ่านได้จากสเปกของเครื่องใช้ไฟฟ้าดังต่อไปนี้

1) บริเวณห้องครัว ประกอบด้วย

1.1) เครื่องทำน้ำร้อน–เย็น ทำน้ำร้อน 450 วัตต์, ทำน้ำเย็น 125 วัตต์ (pf. = 0.4)

1.2) หลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์จำนวน 9 หลอด รวม 324 วัตต์

2) บริเวณห้องทำงาน ประกอบด้วย

2.1) หลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์จำนวน 6 หลอด รวม 216 วัตต์

2.2) เครื่องปรับอากาศเฟสเดียว 12000 BTU คิดเป็น 1500 โวลต์-แอมป์

3) บริเวณห้องนั่งเล่น ประกอบด้วย

3.1) หลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์จำนวน 15 หลอด รวม 540 วัตต์

3.2) เครื่องปรับอากาศเฟสเดียว 36000 BTU คิดเป็น 4500 โวลต์-แอมป์

เมื่อทราบข้อมูลดิบของเครื่องใช้ไฟฟ้าแล้ว สิ่งที่ต้องดำเนินการต่อไปคือการประมาณโหลดจากข้อมูลดิบของเครื่องใช้ไฟฟ้าแต่ละเครื่อง เพื่อหาพิกัดของกระแสไฟฟ้าสูงสุดเพื่อใช้ในการเดินสายไฟและกำหนดขนาดของเครื่องมือวัดพลังงานไฟฟ้า โดยมีหลักการดังต่อไปนี้

1) เครื่องทำน้ำร้อน – เย็น เป็นโหลดประเภทเต้ารับ (Receptacle) ซึ่งประกอบด้วยขดลวดทำความร้อน (Heater) ขนาด 450 วัตต์ คิดเป็น 450 VA และ มอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียวสำหรับ compressor ทำความเย็นขนาด 125 วัตต์ คิดที่ค่า pf. = 0.4 ซึ่งคิดเป็น 312.5 VA เพราะฉะนั้นโหลดประเภทนี้จะมีพิกัดกำลังไฟฟ้าสูงสุดเมื่อทำน้ำร้อนและน้ำเย็นพร้อมกันคิดเป็น 762.5 VA

2) หลอดฟลูออเรสเซนต์ เป็นโหลดประเภทแสงสว่างประกอบด้วยตัวหลอดและบัลลาสต์ซึ่งการประมาณค่ากำลังไฟฟ้าแสดงดังตารางที่ 4.1 [27]

ตารางที่ 4.1 ค่าโหลดของหลอด FL [27]

กำลังไฟฟ้า (W)	โหลด (VA)	
	LPF บัลลาสต์	HPF บัลลาสต์
18 (20)	90	40
36(40)	100	60

จากตารางที่ 4.1 ทำให้สามารถประมาณค่าโหลดของหลอดฟลูออเรสต์เซนต์ที่ใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ชนิด High Power Factor (HPF) ในบริเวณต่างๆของบ้านได้ดังนี้

2.1) บริเวณห้องครัว (หลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์จำนวน 9 หลอด)

หลอดฟลูออเรสต์เซนต์ 1 หลอดใช้กำลังไฟฟ้า 60 VA

เพราะฉะนั้น 9 หลอดใช้กำลังไฟฟ้า 540 VA

2.2) บริเวณห้องทำงาน (หลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์จำนวน 6 หลอด)

หลอดฟลูออเรสต์เซนต์ 1 หลอดใช้กำลังไฟฟ้า 60 VA

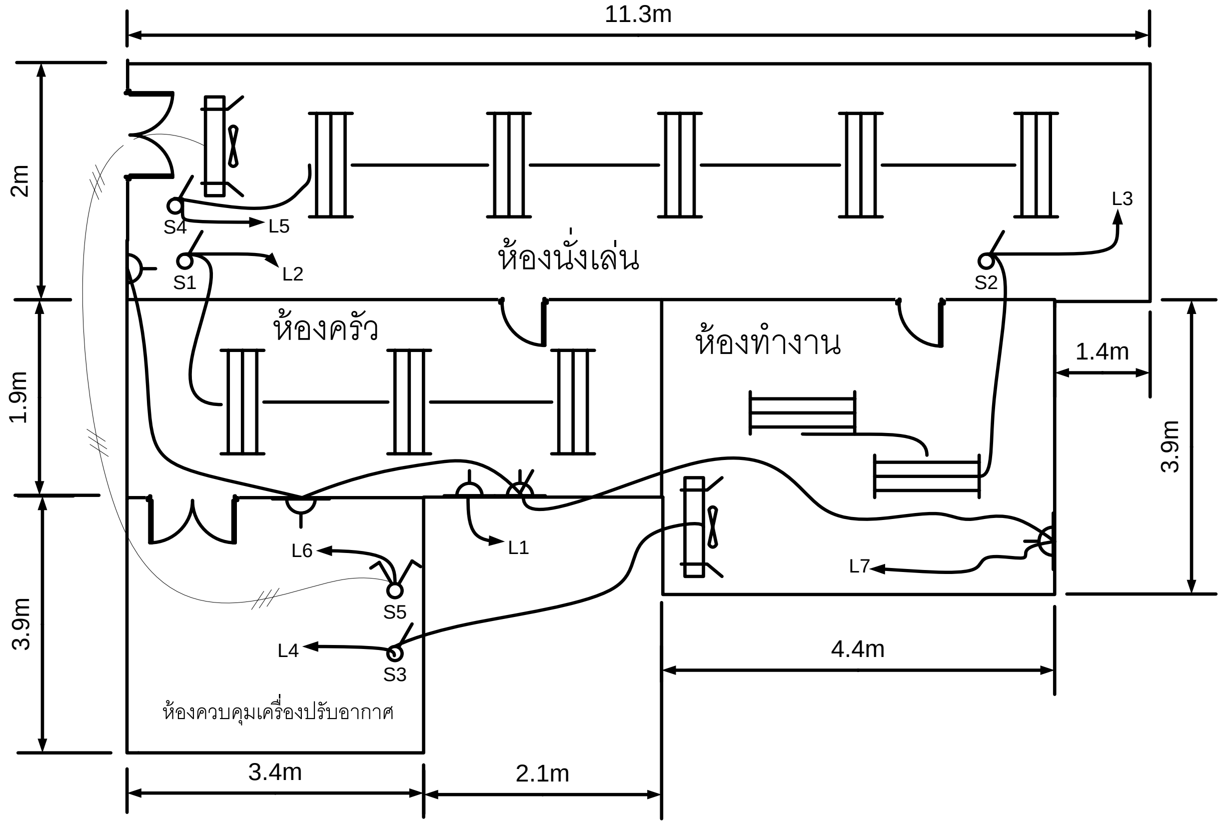
เพราะฉะนั้น 6 หลอดใช้กำลังไฟฟ้า 360 VA

2.3) บริเวณห้องนั่งเล่น (หลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 วัตต์จำนวน 15 หลอด)

หลอดฟลูออเรสต์เซนต์ 1 หลอดใช้กำลังไฟฟ้า 60 VA

เพราะฉะนั้น 15 หลอดใช้กำลังไฟฟ้า 900 VA

เมื่อสามารถประมาณโหลดให้อยู่ในหน่วยของโวลต์ – แอมป์เรียบร้อยแล้ว ต่อไปจะต้องพิจารณาตำแหน่งของสวิตซ์และเซอร์กิตเบรคเกอร์ของโหลดแต่ละเครื่อง เพื่อใช้ในการกำหนดจำนวนและตำแหน่งการติดตั้งกล่องอัจฉริยะ (Smart box) ซึ่งต่ออนุกรมอยู่กับสวิตซ์และเซอร์กิตเบรกเกอร์ โดยกล่องอัจฉริยะนี้จะทำหน้าที่เป็นสวิตซ์อัจฉริยะที่สามารถเปิด-ปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าได้แบบอัตโนมัติและวัดค่าพลังงานไฟฟ้าได้ การพิจารณาตำแหน่งของสวิตซ์และเซอร์กิตเบรคเกอร์ของโหลดนั้น จะต้องพิจารณาประกอบกับการพิจารณาตำแหน่งของเต้ารับที่อยู่ใกล้กับสวิตซ์ดังกล่าวมากที่สุด เพื่อใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าให้กับวงจรภายในกล่องอัจฉริยะนี้ และตำแหน่งการติดตั้งกล่องต้องมีความปลอดภัยแก่ผู้อยู่อาศัย โดยหลักการคือกล่องอัจฉริยะ 1 กล่องต่อตำแหน่งของสวิตซ์และเซอร์กิตเบรกเกอร์หนึ่งตำแหน่ง บวกกับกล่องอัจฉริยะที่ทำหน้าที่เป็นตัว Master อีก 1 กล่อง รวมแล้วในระบบจัดการพลังงานภายในบ้านจะต้องมีกล่องอัจฉริยะเป็นจำนวนทั้งสิ้น N + 1 กล่อง โดย N เป็นจำนวนตำแหน่งของสวิตซ์ ซึ่งในระบบที่ทำการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ตำแหน่งของสวิตซ์และเซอร์กิตเบรกเกอร์ โหลด และเต้ารับเป็นดังภาพที่ 4.10

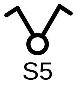


ภาพที่ 4.10 ตำแหน่งของสวิตซ์และเซอร์กิตเบรกเกอร์ โหลด และเต้ารับภายในบ้าน

จากภาพที่ 4.10 สัญลักษณ์ต่างๆมีความหมายดังนี้

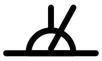
L1-L7 หมายถึง Load Panel ทั้ง 7 ที่ต่อกับ main circuit breaker ของบ้าน

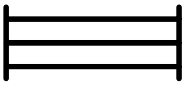
สัญลักษณ์แทนสวิตซ์และเซอร์กิตเบรกเกอร์เฟสเดียวของเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน (มีทั้งหมด 4 ตัว)

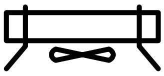


สัญลักษณ์แทนเซอร์กิตเบรกเกอร์ 3 เฟสของเครื่องปรับอากาศ

สัญลักษณ์แทนเต้ารับ 1 ตัว


สัญลักษณ์แทนเต้ารับมากกว่า 1 ตัว


สัญลักษณ์แทนหลอดฟลูออเรสต์เซนต์ 1 ชุด ซึ่งประกอบด้วยหลอดฟลูออเรสต์เซนต์ 3 หลอด


สัญลักษณ์แทนเครื่องปรับอากาศ 1 เครื่อง

เมื่อพิจารณาตำแหน่งของสวิตซ์และเซอร์กิตเบรกเกอร์ของบริเวณที่ได้ทำการศึกษาวิจัยครั้งนี้ตามหลักการที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นพบว่า จะต้องใช้กล่องอัจฉริยะในการควบคุมเครื่องใช้ไฟฟ้าจำนวนทั้งหมด 4 กล่องโดยแต่ละกล่องมีรายละเอียดดังนี้

กล่องที่ 1: ทำหน้าที่เป็นตัว Master และควบคุมการทำงานของเครื่องทำน้ำร้อน – เย็น (โหลด L1 พิกัดกำลังไฟฟ้า 762.5 VA) ในห้องครัว ซึ่งต่ออนุกรมกับเต้ารับของโหลด L1

กล่องที่ 2: ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของหลอดฟลูออเรสต์เซนต์ 6 หลอด (โหลด L3 พิกัดกำลังไฟฟ้า 360 VA) ในห้องทำงาน โดยการต่ออนุกรมกับสวิตซ์ S2

กล่องที่ 3: ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของหลอดฟลูออเรสต์เซนต์ 9 หลอด (โหลด L2 พิกัดกำลังไฟฟ้า 540 VA) ในห้องครัว โดยการต่ออนุกรมกับสวิตซ์ S1 และควบคุมการทำงานของหลอดฟลูออเรสต์เซนต์ 15 หลอด (โหลด L5 พิกัดกำลังไฟฟ้า 900 VA) ในห้องนั่งเล่น โดยการต่ออนุกรมกับสวิตซ์ S4 ตามลำดับ

กล่องที่ 4: ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศ 12000 BTU 1 เฟส (โหลด L4 พิกัดกำลังไฟฟ้า 1500 VA) ในห้องทำงาน โดยการต่ออนุกรมกับสวิตซ์ S3 และควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศ 36000 BTU 3 เฟส (โหลด L6 พิกัดกำลังไฟฟ้า 4500 VA) ในห้องนั่งเล่น โดยการต่ออนุกรมกับสวิตซ์ S5 ตามลำดับ

เมื่อกำหนดจำนวนกล่องอัจฉริยะและหน้าที่การทำงานของกล่องอัจฉริยะแต่ละกล่องเรียบร้อยแล้ว ต่อไปจะต้องพิจารณาหาขนาดของสายไฟและรางเดินสายที่เหมาะสมเพื่อต่ออนุกรมระหว่างกล่องกับโหลด โดยการคำนวณตามหลักการออกแบบระบบไฟฟ้า (Electrical System Design) ซึ่งพิจารณาตั้งแต่กล่องที่ 1 ถึงกล่องที่ 4 ดังต่อไปนี้

1) กล่องที่ 1 ประกอบด้วย

1.1) เครื่องทำน้ำร้อน – เย็น (โหลด L1) พิกัดกำลัง 762.5 VA

กระแสโหลด	=	762.5/220	=	3.5	A
พิกัดกระแสของสายไฟฟ้า	>=	1.25 X 3.5	=	4.4	A

(เนื่องจากเป็นโหลดต่อเนื่องจึงอาจมีการเผื่อขนาดสายไว้ 25%)

จากตารางที่ ก.1 วิธีการเดินสายแบบ ค. ในท่ออโลหะ

ใช้สาย T – 4 ขนาด 2 X 0.5 mm^2 (พิกัดกระแส 7 A)

จากสาย T – 4 ขนาด 0.5 mm^2 มีขนาดพื้นที่หน้าตัด 7.1 mm^2

(ขนาดพื้นที่หน้าตัดใช้ค่าใน มอก. 11- 2531)

ดังนั้นสาย T – 4 ขนาด 2 X 0.5 mm^2 มีขนาดพื้นที่หน้าตัด 14.2 mm^2

เพราะฉะนั้นรางเดินสายจะต้องมีพื้นที่หน้าตัด >= 14.2 X 100/31 = 45.81 mm^2

(สาย 2 เส้น ต้องใช้พื้นที่หน้าตัดในรางเดินสายไม่เกิน 31 % [27])

2) กล่องที่ 2 ประกอบด้วย

2.1) หลอดฟลูออเรสต์เซนต์ 6 หลอด (โหลด L3) พิกัดกำลัง 360.00 VA

กระแสโหลด	=	360/220	=	1.67	A
พิกัดกระแสของสายไฟฟ้า	>=	1.25 X 1.67	=	2.10	A

(เนื่องจากเป็นโหลดต่อเนื่องจึงอาจมีการเผื่อขนาดสายไว้ 25%)

จากตารางที่ ก.1 วิธีการเดินสายแบบ ค. ในท่ออโลหะ

ใช้สาย T – 4 ขนาด 2 X 0.5 mm^2 (พิกัดกระแส 7 A)

จากสาย T – 4 ขนาด 0.5 mm^2 มีขนาดพื้นที่หน้าตัด 7.1 mm^2

(ขนาดพื้นที่หน้าตัดใช้ค่าใน มอก. 11- 2531)

ดังนั้นสาย T – 4 ขนาด 2 X 0.5 mm^2 มีขนาดพื้นที่หน้าตัด 14.2 mm^2

เพราะฉะนั้นรางเดินสายจะต้องมีพื้นที่หน้าตัด >= 14.2 X 100/31 = 45.81 mm^2

(สาย 2 เส้น ต้องใช้พื้นที่หน้าตัดในรางเดินสายไม่เกิน 31 % [27])

3) กล่องที่ 3 ประกอบด้วย

3.1) หลอดฟลูออเรสต์เซนต์ 9 หลอด (โหลด L2) พิกัดกำลัง 540.00 VA

กระแสโหลด	=	540/220	=	2.45	A
พิกัดกระแสของสายไฟฟ้า	>=	1.25 X 2.45	=	3.10	A

(เนื่องจากเป็นโหลดต่อเนื่องจึงอาจมีการเผื่อขนาดสายไว้ 25%)

จากตารางที่ ก.1 วิธีการเดินสายแบบ ค. ในท่ออโลหะ

ใช้สาย T – 4 ขนาด 2 X 0.5 mm^2 (พิกัดกระแส 7 A)

3.2) หลอดฟลูออเรสต์เซนต์ 15 หลอด (โหลด L5) พิกัดกำลัง 900.00 VA

กระแสโหลด	=	900/220	=	4.09	A
พิกัดกระแสของสายไฟฟ้า	>=	1.25 X 4.09	=	5.10	A

(เนื่องจากเป็นโหลดต่อเนื่องจึงอาจมีการเผื่อขนาดสายไว้ 25%)

จากตารางที่ ก.1 วิธีการเดินสายแบบ ค. ในท่ออโลหะ

ใช้สาย T – 4 ขนาด 2 X 0.5 mm^2 (พิกัดกระแส 7 A)

จากสาย T – 4 ขนาด 0.5 mm^2 มีขนาดพื้นที่หน้าตัด 7.1 mm^2

(ขนาดพื้นที่หน้าตัดใช้ค่าใน มอก. 11- 2531)

ดังนั้นสาย T – 4 ขนาด 4 X 0.5 mm^2 มีขนาดพื้นที่หน้าตัด 28.4 mm^2

เพราะฉะนั้นรางเดินสายจะต้องมีพื้นที่หน้าตัด >= 28.4 X 100/40 = 71 mm^2

(สาย 4 เส้น ต้องใช้พื้นที่หน้าตัดในรางเดินสายไม่เกิน 40 % [27])

4) กล่องที่ 4 ประกอบด้วย

4.1) เครื่องปรับอากาศเฟสเดียว 4000 BTU (โหลด L4) พิกัดกำลัง 1500.00 VA

กระแสโหลด	=	1500/220	=	6.82	A
พิกัดกระแสของสายไฟฟ้า	>=	1.25 X 6.82	=	8.50	A

(เนื่องจากเป็นโหลดต่อเนื่องจึงอาจมีการเผื่อขนาดสายไว้ 25%)

จากตารางที่ ก.1 วิธีการเดินสายแบบ ค. ในท่อออโลหะ

ใช้สาย T – 4 ขนาด 2 X 1 mm^2 (พิกัดกระแส 10 A)

4.2) เครื่องปรับอากาศ 3 เฟส 12,000 BTU (โหลด L6) พิกัดกำลัง 4500.00 VA

กระแสโหลด	=	$4500/(\sqrt{3}\times 380)$	=	6.84	A
พิกัดกระแสของสายไฟฟ้า	>=	1.25 X 6.84	=	8.60	A

(เนื่องจากเป็นโหลดต่อเนื่องจึงอาจมีการเผื่อขนาดสายไว้ 25%)

จากตารางที่ ก.1 วิธีการเดินสายแบบ ค. ในท่อออโลหะ

ใช้สาย T – 4 ขนาด 3 X 1 mm^2 (พิกัดกระแส 10 A)

จากสาย T – 4 ขนาด 1 mm^2 มีขนาดพื้นที่หน้าตัด 9.6 mm^2

(ขนาดพื้นที่หน้าตัดใช้ค่าใน มอก. 11- 2531)

ดังนั้นสาย T – 4 ขนาด 5 X 1 mm^2 มีขนาดพื้นที่หน้าตัด 48 mm^2

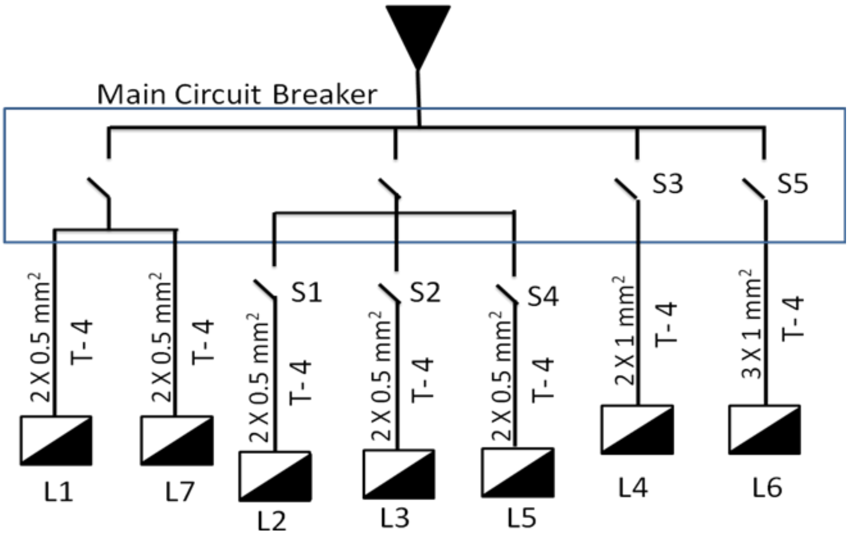
เพราะฉะนั้นรางเดินสายจะต้องมีพื้นที่หน้าตัด >= 48 X 100/40 = 91.61 mm^2

(สาย 5 เส้น ต้องใช้พื้นที่หน้าตัดในรางเดินสายไม่เกิน 40 % [27])

5) เต้ารับที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่กล่องอัจฉริยะและคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก (โหลด L7)

เนื่องจากกล่องอัจฉริยะแต่ละกล่องใช้กำลังไฟฟ้าไม่มาก (กล่องละไม่เกิน 10 VA) จำนวน 4 กล่อง และคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก 1 เครื่องซึ่งใช้กำลังไฟฟ้าไม่เกิน 100 VA ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าของระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน ดังนั้นกำลังไฟฟ้ารวมที่โหลด L7 จะไม่เกิน 140 VA เพราะฉะนั้นโหลดเต้ารับ L7 นี้ใช้กระแสไม่เกิน 0.8 A จึงสามารถใช้สาย T – 4 ขนาด 2 X 0.5 mm^2 (พิกัดกระแส 7 A) ซึ่งเป็นสาย T – 4 ที่มีขนาดเล็กที่สุด และใช้รางเดินสายที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัดมากกว่าหรือเท่ากับ 45.81 mm^2 ในการเดินสายไฟได้

เมื่อสามารถคำนวณหาขนาดของสายไฟและรางเดินสายได้เรียบร้อยแล้ว ต่อไปต้องเขียนลักษณะของระบบไฟฟ้าทั้งระบบให้เห็นเป็นภาพรวม (Single Line Diagram) ดังภาพที่ 4.11 และตารางแสดงรายการโหลด (Panel Load Schedule) ดังตารางที่ 4.2 เพื่อให้ช่างเดินสายไฟสามารถนำแบบไปประเมินราคาและจัดซื้ออุปกรณ์การติดตั้งได้โดยง่าย



ภาพที่ 4.11 Single Line Diagram ของโหลดในระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน

ตารางที่ 4.2 Panel Load Schedule ของระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน

Ck. No.	ROOM	DESCRIPTION	WIRE		CONNECTED LOAD (VA)		
			SIZE	TYPE	ϕA	ϕB	ϕC
1	Kitchen	Water Machine	0.5	T-4	762.5		
2		Fluorescent lamps	0.5	T-4	540		
3	Office	Fluorescent lamps	0.5	T-4	360		
4		Air Conditioning	1	T-4	1500		
5	Living Room	Fluorescent lamps	1	T-4	900		
6		Air Conditioning	1	T-4	1500		
			1	T-4		1500	
			1	T-4			1500
7	Other	Receptacle	0.5	T-4	140		
TOTAL CONNECTED LOAD (VA)					5702.5	1500	1500
					8702.5		

4.4 การออกแบบส่วนสารสนเทศและการสื่อสาร

ระบบสื่อสารที่ใช้ในระบบจัดการพลังงานภายในบ้านที่พัฒนาขึ้นนี้ มีอยู่ 2 ระบบ ได้แก่ ระบบสื่อสารแบบมีสาย (Wire Line Communication) ซึ่งใช้ติดต่อสื่อสารระหว่างเซ็นเซอร์กับกล่องอัจฉริยะ (Smart box) และระบบสื่อสารแบบไร้สาย (Wireless Communication) ซึ่งใช้ติดต่อสื่อสารระหว่างกล่องอัจฉริยะกับกล่องอัจฉริยะ โดยรายละเอียดของการออกแบบส่วนสารสนเทศและการสื่อสารในแต่ละระบบเป็นดังนี้

4.4.1 ระบบสื่อสารแบบมีสาย

ในการออกแบบระบบสื่อสารแบบมีสาย จะต้องระบุได้ว่า ควรใช้เซนเซอร์ใดควบคุมอะไรในห้องนั้นๆของบ้าน เพื่อกำหนดชนิดและจำนวนของเซนเซอร์ในห้องนั้นด้วย ซึ่งเซนเซอร์ที่ใช้ในการพัฒนาระบบจัดการพลังงานภายในบ้านครั้งนี้ มี 3 ชนิด ได้แก่ เซนเซอร์วัดความเข้มแสง (Light Sensor) เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ (Temperature Sensor) และเซนเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวของมนุษย์ (Motion Sensor) โดยภายในห้องแต่ละห้องของบ้าน 1 หลังของระบบจัดการพลังงานภายในบ้านที่พัฒนาขึ้น จะประกอบด้วยเซนเซอร์ต่างๆ ดังต่อไปนี้

1) ห้องครัว ประกอบด้วย

1.1) เซนเซอร์วัดความเข้มแสง เพื่อควบคุมหลอดฟลูออเรสเซนต์ภายในห้องครัว เมื่อความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์ที่ส่องผ่านหน้าต่างของห้องครัวมีค่ามากแล้วหลอดฟลูออเรสเซนต์ภายในห้องครัวจะปิดโดยอัตโนมัติ

1.2) เซนเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวของมนุษย์ เพื่อวัดว่าภายในห้องครัวนั้นมีคนอยู่หรือไม่ และนำค่าที่ได้ไปควบคุมหลอดฟลูออเรสเซนต์ภายในห้องครัวต่อไป

2) ห้องทำงาน ประกอบด้วย

1.1) เซนเซอร์วัดความเข้มแสง เพื่อควบคุมหลอดฟลูออเรสเซนต์ภายในห้องทำงาน เมื่อความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์ที่ส่องผ่านหน้าต่างของห้องทำงานมีค่ามากแล้วหลอดฟลูออเรสเซนต์ภายในห้องทำงานจะปิดโดยอัตโนมัติ

1.2) เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ เพื่อควบคุมเครื่องปรับอากาศภายในห้องทำงาน

1.3) เซนเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวของมนุษย์ เพื่อวัดว่าภายในห้องทำงานนั้นมีมนุษย์อาศัยอยู่หรือไม่ และนำค่าที่ได้ไปควบคุมหลอดฟลูออเรสเซนต์และเครื่องปรับอากาศภายในห้องทำงานต่อไป

3) ห้องนั่งเล่น ประกอบด้วย

1.1) เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ เพื่อควบคุมเครื่องปรับอากาศภายในห้องนั่งเล่น

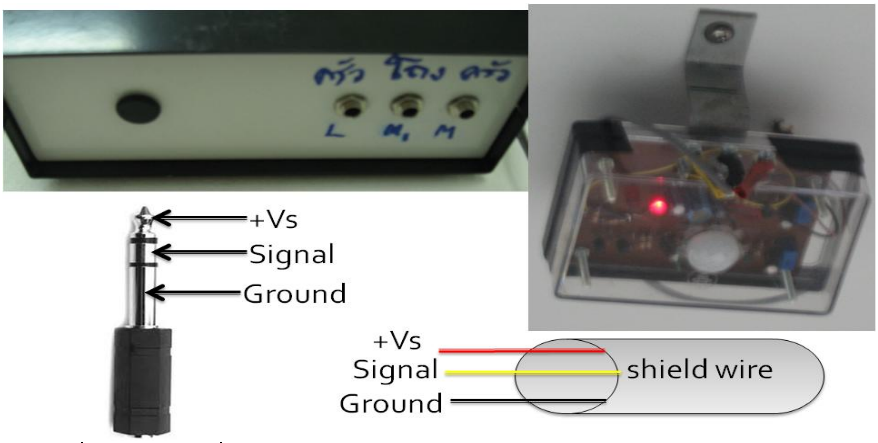
1.2) เซนเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวของมนุษย์ เพื่อวัดว่าภายในห้องนั่งเล่นนั้นมีมนุษย์อาศัยอยู่หรือไม่ และนำค่าที่ได้ไปควบคุมหลอดฟลูออเรสเซนต์และเครื่องปรับอากาศภายในห้องนั่งเล่นต่อไป

เมื่อทราบชนิดและจำนวนของเซนเซอร์ที่จะติดตั้งในห้องแต่ละห้องของบ้านแล้ว ต้องระบุได้ว่า จะใช้กล่องอัจฉริยะกล่องใดเชื่อมต่อกับเซนเซอร์ตัวใด ณ ตำแหน่งใด โดยใช้สายชิลด์ในการเชื่อมต่อ โดยกล่องอัจฉริยะที่อยู่ใกล้เซนเซอร์มากที่สุดจะถูกเชื่อมต่อกับเซนเซอร์ตัวนั้นๆ ซึ่งจากตำแหน่งของเซนเซอร์และกล่องอัจฉริยะที่ได้กล่าวมาแล้วสามารถระบุการเชื่อมต่อได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 การเชื่อมต่อระหว่างกล่องอัจฉริยะกับเซนเซอร์

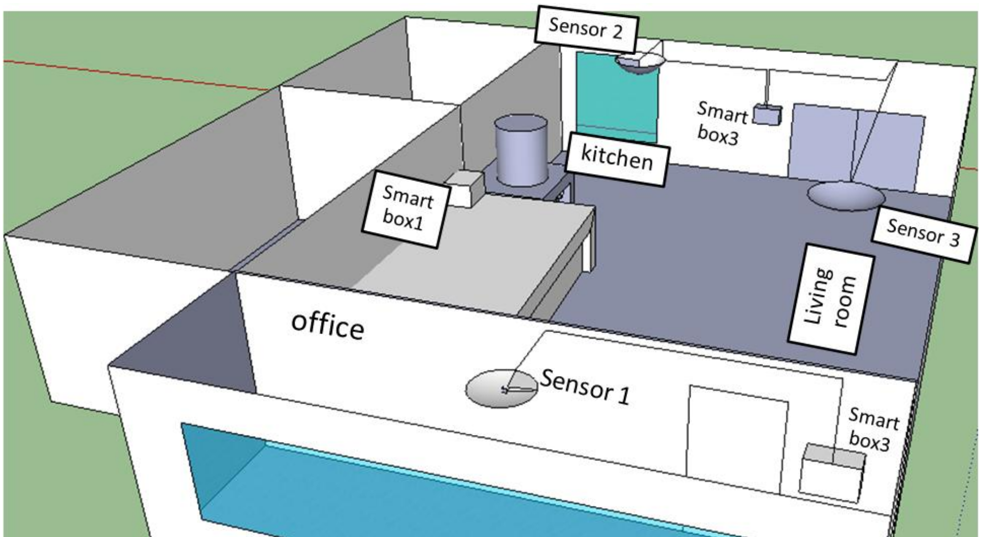
กล่องที่ 1:	ทำหน้าที่เป็นตัว Master ไม่เชื่อมต่อกับเซนเซอร์ตัวใดเลย
กล่องที่ 2:	1) เชื่อมต่อกับเซนเซอร์วัดแสงในห้องทำงาน 2) เชื่อมต่อกับเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและ motion sensor ในห้องทำงาน
กล่องที่ 3:	1) เชื่อมต่อกับเซนเซอร์วัดแสงในห้องครัว 2) เชื่อมต่อกับ motion sensor ในห้องครัว 3) เชื่อมต่อกับเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและ motion sensor ในห้องนั่งเล่น
กล่องที่ 4:	ไม่เชื่อมต่อกับเซนเซอร์ตัวใดเลย

เมื่อได้ระบุกล่องอัจริยะที่ต้องการเชื่อมต่อกับเซนเซอร์ดังกล่าวได้เรียบร้อยแล้ว ลำดับถัดไปคือ การพิจารณาหาขนาดของสายชิลด์และขนาดของรางเดินสาย โดยต้องใช้สาย 3 เส้นในการเชื่อมต่อข้อมูลจากเซนเซอร์ไปถึงกล่อง ได้แก่ สายสำหรับไฟเลี้ยงวงจรเซ็นเซอร์ (5V, 3V), สายสำหรับสัญญาณที่ส่งออกมาจากเซนเซอร์ และสายกราวด์ ซึ่งภาพของหัวต่อสายที่ต่อเข้ากับกล่องอัจฉริยะและสายชิลด์ที่ประกอบด้วยสายย่อย 3 เส้น ได้แสดงไว้ดังภาพที่ 4.12



ภาพที่ 4.12 การเชื่อมต่อระหว่างกล่องอัจฉริยะและเซ็นเซอร์โดยใช้สายชิลด์

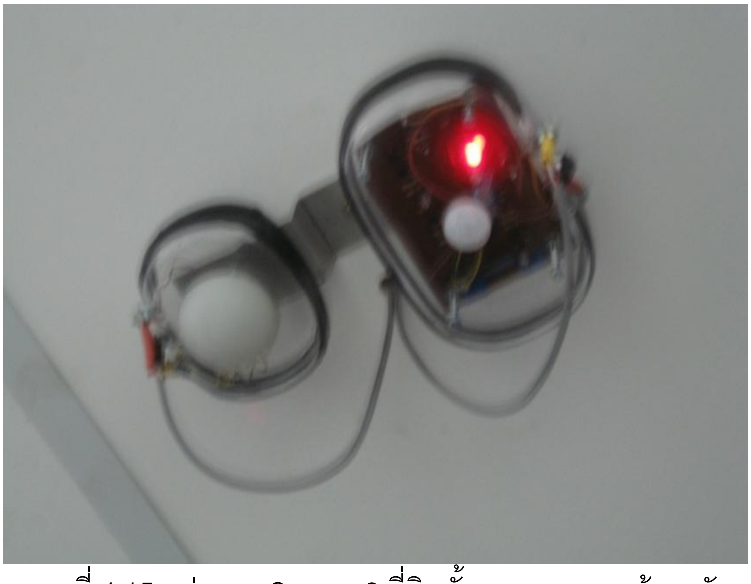
เนื่องจากสายชิลด์ที่เลือกมาใช้งานมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 4 มิลลิเมตรซึ่งคิดเป็นพื้นที่หน้าตัด 12.57 ตารางมิลลิเมตร และกล่องที่ใช้สายชิลด์มากที่สุดใช้สายชิลด์ถึง 3 เส้นซึ่งคิดเป็นพื้นที่หน้าตัด 37.71 ตารางมิลลิเมตร จากสายชิลด์ 3 เส้นควรใช้พื้นที่หน้าตัดของรางเดินสายไม่เกิน 40 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงเลือกรางเดินสายที่มีพื้นที่หน้าตัดที่มากกว่า 95 ตารางมิลลิเมตร และเพื่อความสะดวกในการซื้อรางเดินสาย จึงเลือกให้กล่องที่ใช้สายชิลด์ 2 เส้น เดินสายชิลด์ด้วยรางเดินสายขนาดเดียวกัน จากภาพรวมแสดงการติดตั้งเซนเซอร์และสายชิลด์ทั้งหมดสามารถเขียนเป็นแบบสำหรับการติดตั้งเซนเซอร์และกล่องอัจฉริยะภายในบ้านได้ดังภาพที่ 4.13



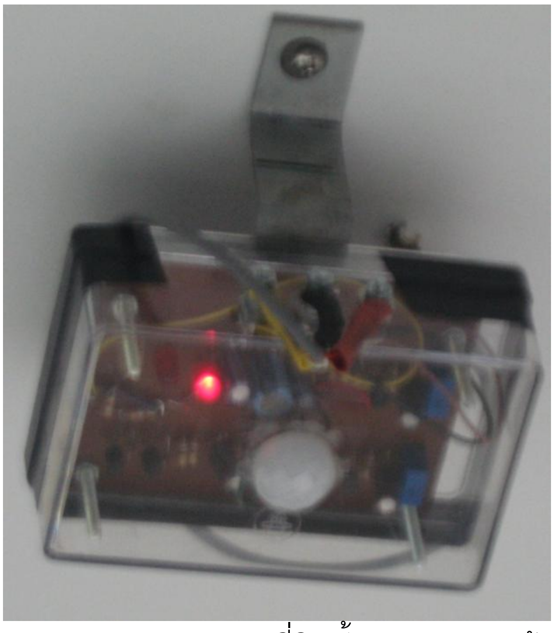
ภาพที่ 4.13 แบบการเชื่อมต่อเซนเซอร์ในบริเวณต่างๆเข้ากับกล่องอัจฉริยะ

จากภาพที่ 4.13 Sensor 1, Sensor 2 และ Sensor 3 แสดงกลุ่มของเซนเซอร์ที่ได้ติดตั้งในห้องทำงาน ห้องครัว และห้องนั่งเล่นตามลำดับ ซึ่งในกลุ่มของเซนเซอร์ 1 กลุ่มประกอบด้วยเซนเซอร์มากกว่า 1 ชนิด โดย Sensor 1 ประกอบด้วยเซนเซอร์วัดแสง, อุณหภูมิและการเคลื่อนไหวของมนุษย์ Sensor 2 ประกอบด้วยเซนเซอร์วัดแสงและการเคลื่อนไหวของมนุษย์ Sensor 3 ประกอบเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและการเคลื่อนไหวของมนุษย์ ซึ่งกลุ่มของเซนเซอร์ที่ติดตั้งจริงในบริเวณห้องต่างๆ แสดงได้ดังภาพที่ 4.14 ภาพที่ 4.15 และภาพที่ 4.16 ตามลำดับ

ภาพที่ 4.14 กลุ่มของ Sensor 1 ที่ติดตั้งบนเพดานของห้องทำงาน



ภาพที่ 4.15 กลุ่มของ Sensor 2 ที่ติดตั้งบนเพดานของห้องครัว

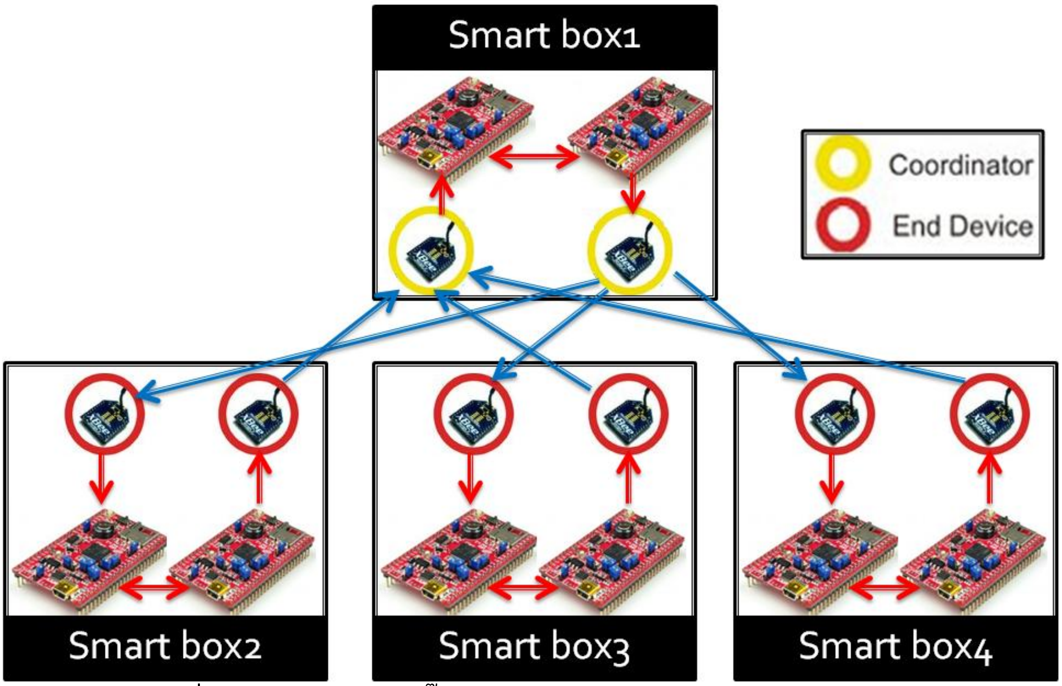


ภาพที่ 4.16 กลุ่มของ Sensor 3 ที่ติดตั้งบนเพดานของห้องนั่งเล่น

4.4.2 ระบบสื่อสารแบบไร้สาย

ในระบบสื่อสารแบบไร้สายจะใช้ซิ๊กบี (Zigbee) เพื่อติดต่อสื่อสารระหว่างกล่องอัจฉริยะกับกล่องอัจฉริยะ เพื่อให้ระบบจัดการพลังงานภายในบ้านสามารถรับรู้คำสั่งและข้อมูลในการทำงานโดยไม่ต้องใช้สายสัญญาณระยะไกล เนื่องจากซิ๊กบีใช้พลังงานต่ำและมีคลื่นความถี่ 2.4 GHz ในการติดต่อสื่อสารระหว่างกันและกัน นอกจากนี้แล้วบริษัทผู้ผลิตซิ๊กบีได้ผลิตอุปกรณ์ชนิดนี้ขึ้นมาเพื่อสนับสนุนระบบกริดไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart Grid) ได้แก่ ระบบบ้านอัจฉริยะ (Smart home) ระบบอาคารอัจฉริยะ (Smart Building) เป็นต้น [26] แต่ซิ๊กบีเป็นระบบสื่อสารแบบ half duplex หมายความว่า ซิ๊กบี 1 ตัวสามารถทำหน้าที่เป็นตัวส่งข้อมูลอย่างเดียวหรือตัวรับข้อมูลอย่างเดียวอย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้น และไม่สามารถทำหน้าที่รับและส่งข้อมูลพร้อมกันได้ แต่ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยต้องการให้กล่องอัจฉริยะแต่ละกล่องสามารถรับและส่งข้อมูลพร้อมกันในเวลาเดียวกัน ดังนั้นภายในกล่องอัจฉริยะแต่ละกล่องจะต้องประกอบด้วยซิ๊กบีจำนวน 2 ตัวได้แก่ ซิ๊กบีตัวรับข้อมูลและซิ๊กบีตัวส่งข้อมูล และไมโครโปรเซสเซอร์จำนวน 2 ตัวได้แก่ ไมโครโปรเซสเซอร์ตัวรับข้อมูลจากซิ๊กบีตัวรับ และไมโครโปรเซสเซอร์ตัวส่งข้อมูลให้กับซิ๊กบีตัวส่ง และไมโครโปรเซสเซอร์ทั้ง 2 ตัวนี้จะทำหน้าที่แลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกัน ในระบบจัดการพลังงานภายในบ้านที่ได้พัฒนาขึ้นนี้ประกอบด้วยกล่องอัจฉริยะจำนวน 4 กล่อง โดยกล่องที่1 (Smart box1) จะทำหน้าที่เป็นตัวแม่ข่าย (Master) หรือเป็นศูนย์กลางในการรับส่งข้อมูลระหว่างกล่องกับกล่องและระหว่างมนุษย์กับระบบ ส่วนกล่องที่เหลือจะทำหน้าที่เป็นตัวลูกข่าย (Slave)

และเพื่อให้โครงข่ายของซิ๊กบีมีศูนย์กลางการควบคุมเพียงจุดเดียวคือให้ กล่องที่1 เป็นศูนย์กลางการควบคุมเท่านั้น ดังนั้นจึงออกแบบให้โครงข่ายของซิ๊กบีประกอบด้วยโครงข่ายรูปดาว (Star Network) 2 โครงข่าย ได้แก่ โครงข่ายรูปดาวแบบกระจายข้อมูล (broadcast) และโครงข่ายรูปดาวแบบรับข้อมูล (star-receiver) โดยการสื่อสารกันระหว่างซิ๊กบีภายในโครงข่ายรูปดาว และการสื่อสารกันของข้อมูลภายในกล่องอัจฉริยะระหว่างซิ๊กบีกับไมโครโปรเซสเซอร์และไมโครโปรเซสเซอร์กับไมโครโปรเซสเซอร์เป็นดังภาพที่ 4.17

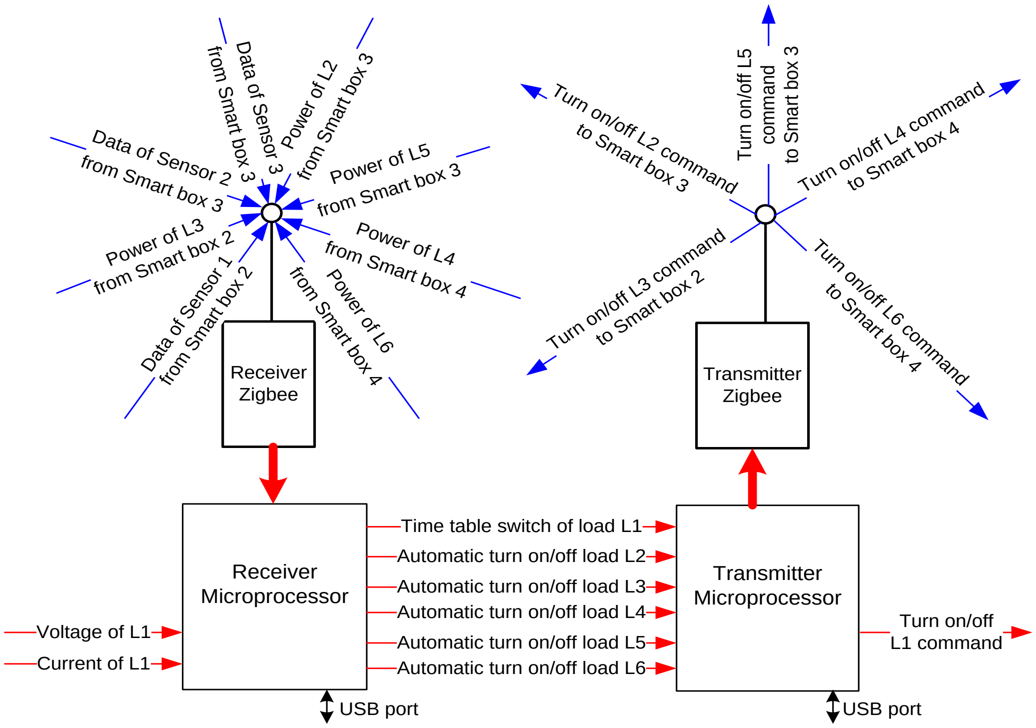


ภาพที่ 4.17 โครงข่ายของซิ๊กบีสำหรับระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน

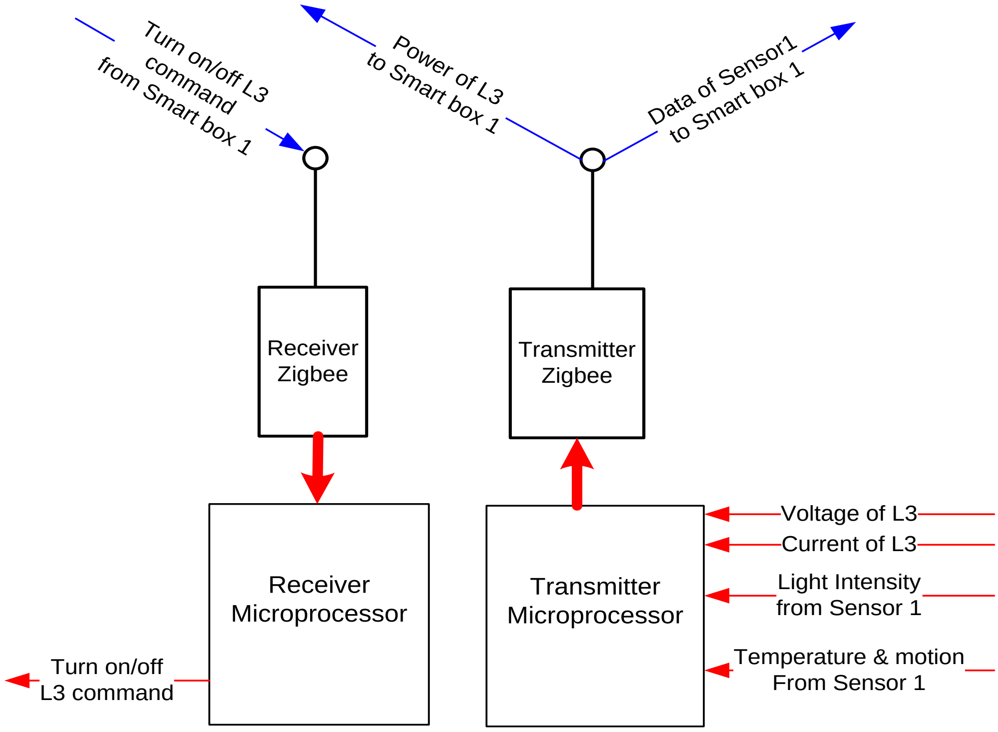
จากภาพที่ 4.17 เส้นสีน้ำเงินและสีแดงแสดงทิศทางการรับส่งข้อมูลระระหว่างกล่องและภายในกล่องตามลำดับ และกล่องที่1ได้ตั้งค่าให้ซิ๊กบีตัวรับและซิ๊กบีตัวส่งทำหน้าที่เป็น Coordinator ทั้ง 2 ตัวเพื่อเป็นศูนย์กลางของการรับ – ส่งข้อมูลตามลำดับ ส่วนในกล่องที่เหลือนั้นซิ๊กบีจะถูกตั้งค่าเป็น end device ทั้งหมดเพื่อทำหน้าที่เป็นตัวลูกข่าย และซิ๊กบีถือเป็น USART ประเภทหนึ่ง โดยการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ใช้ซิ๊กบีเบอร์ XB24-Z7SIT-004 ในการรับส่งข้อมูลเพราะเป็นซิ๊กบีซีรีย์ 2 ซึ่งรองรับโครงข่ายแบบ mesh ที่อาจพัฒนาต่อยอดได้ในอนาคต และมีระยะไกลสุดในการรับส่งสัญญาณ 100 เมตร ซึ่งเหมาะสำหรับการส่งสัญญาณภายในบ้านในระยะใกล้ เนื่องจากกล่องอัจฉริยะเป็นกล่องโลหะดังนั้นต้องออกแบบให้เสาอากาศของซิ๊กบีออกมาอยู่นอกกล่องดังภาพที่ 4.18 และเนื่องเป็นการสื่อสารระยะใกล้จึงเลือกเสาอากาศที่มีอัตราการขยายสัญญาณต่ำที่สุดคือ 3 dBi

ภาพที่ 4.18 เสาอากาศขนาด 3 dBi ของซิ๊กบีที่ต้องโผล่พ้นออกมาจากกล่องอัจฉริยะ

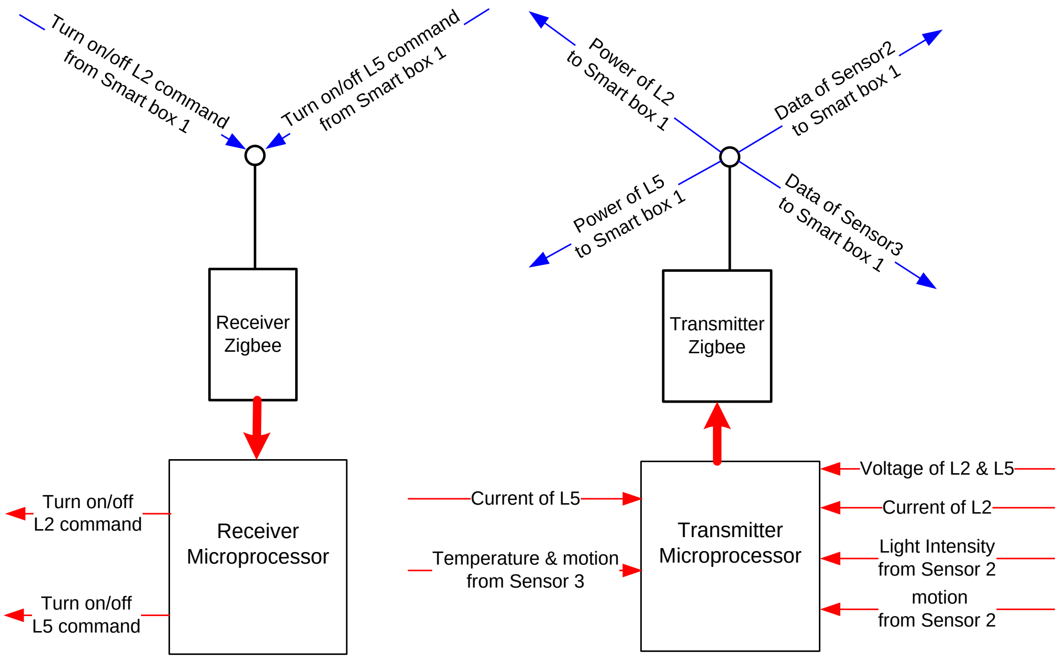
เมื่อสามารถออกแบบโครงข่ายของซิ๊กบีในการสื่อสารภายในระบบจัดการพลังงานภายในบ้านแล้ว ต่อไปจะเป็นการกำหนดว่าภายในกล่องอัจฉริยะแต่ละกล่องนั้น ซิ๊กบีตัวส่งจะทำหน้าที่ส่งข้อมูลอะไรไปที่กล่องใด, ซิ๊กบีตัวรับจะทำหน้าที่รับข้อมูลอะไรจากกล่องใด และไมโครโปรเซสเซอร์ภายในกล่องแลกเปลี่ยนข้อมูลอะไรระหว่างกัน เพื่อกำหนด baud rate ในการรับส่งข้อมูลของโครงข่าย Zigbee ทั้งหมด โดยการกำหนดการรับส่งข้อมูลทั้งหมดนี้สามารถแสดงเป็น Block Diagram ได้ดังภาพที่ 4.19 ภาพที่ 4.20 ภาพที่ 4.21 และ ภาพที่ 4.22 ตามลำดับ



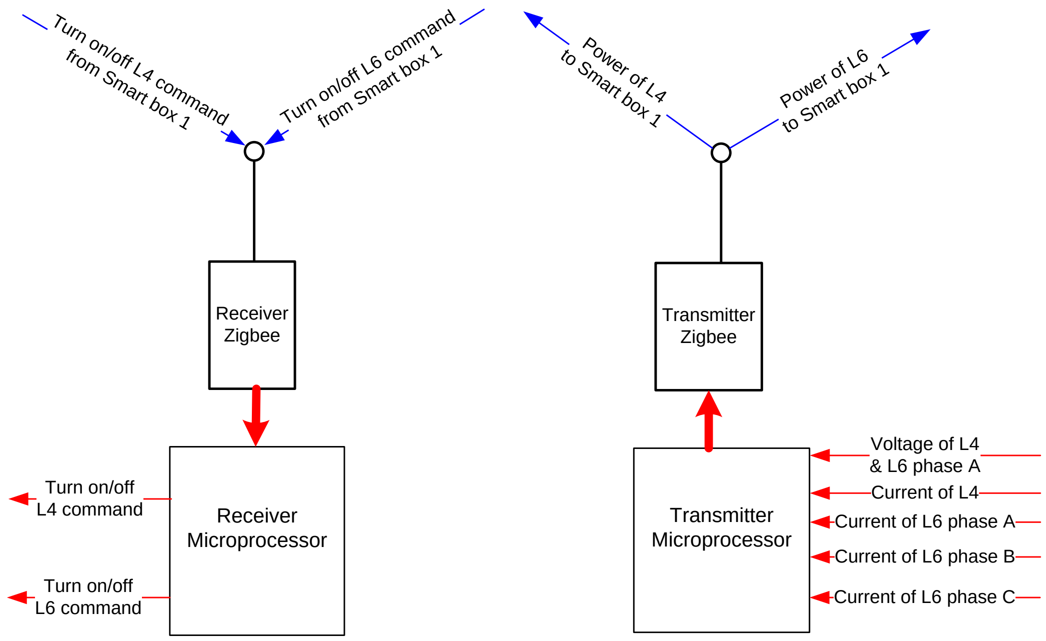
ภาพที่ 4.19 การรับส่งข้อมูล ของ Microprocessor และ Zigbee ภายใน Smart box 1



ภาพที่ 4.20 การรับส่งข้อมูล ของ Microprocessor และ Zigbee ภายใน Smart box 2



ภาพที่ 4.21 การรับส่งข้อมูล ของ Microprocessor และ Zigbee ภายใน Smart box 3



ภาพที่ 4.22 การรับส่งข้อมูล ของ Microprocessor และ Zigbee ภายใน Smart box 4

จากภาพที่ 4.19 ภาพที่ 4.20 ภาพที่ 4.21 และภาพที่ 4.22 พบว่า ซิ๊กบีตัวรับในกล่องที่ 1 มีอัตราการรับข้อมูลสูงที่สุด โดยข้อมูลที่ซิ๊กบีกล่องที่ 1 รับค่าประกอบด้วยข้อมูลและความละเอียด ดังต่อไปนี้

1) ข้อมูลจาก Sensor 1 ประกอบด้วย

1.1) ข้อมูลความเข้มแสงในห้องทำงาน ความละเอียด 64 bit = 8 word

1.2) ข้อมูลของอุณหภูมิในห้องทำงาน ความละเอียด 64 bit = 8 word

1.3) ข้อมูลการตรวจจับคนในห้องทำงาน ความละเอียด 8 bit = 1 word

2) ข้อมูลของการวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่โหลด L3 ความละเอียด 64 bit = 8 word

3) ข้อมูลจาก Sensor 2 ประกอบด้วย

3.1) ข้อมูลความเข้มแสงในห้องครัว ความละเอียด 64 bit = 8 word

3.2) ข้อมูลการตรวจจับคน ความละเอียด 8 bit = 1 word

4) ข้อมูลจาก Sensor 3 ประกอบด้วย

4.1) ข้อมูลของอุณหภูมิในห้องทำงาน ความละเอียด 64 bit = 8 word

4.2) ข้อมูลการตรวจจับคนในห้องทำงาน ความละเอียด 8 bit = 1 word

5) ข้อมูลของการวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่โหลด L2 ความละเอียด 64 bit = 8 word

6) ข้อมูลของการวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่โหลด L5 ความละเอียด 64 bit = 8 word

7) ข้อมูลของการวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่โหลด L4 ความละเอียด 64 bit = 8 word

8) ข้อมูลของการวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่โหลด L6 ความละเอียด 64 bit = 8 word

รวมจำนวนความละเอียดทั้งหมดในการรับข้อมูล 1 ครั้งคิดเป็น 75 word แต่ต้องการส่งข้อมูลให้ได้ภายในครั้งละ 1 ms หรือความถี่ในการส่งข้อมูลทั้งหมดเป็น 1 kHz เพื่อความแม่นยำในการวัดค่าพลังงานไฟฟ้า ดังนั้น baud rate ของซิ๊กบีควรมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 75000 word/sec เพราะฉะนั้นจึงกำหนดให้ซิ๊กบีของระบบจัดการพลังงานภายในบ้านทั้งหมดมีอัตราการรับส่งข้อมูลที่ baud rate 115200 word/sec

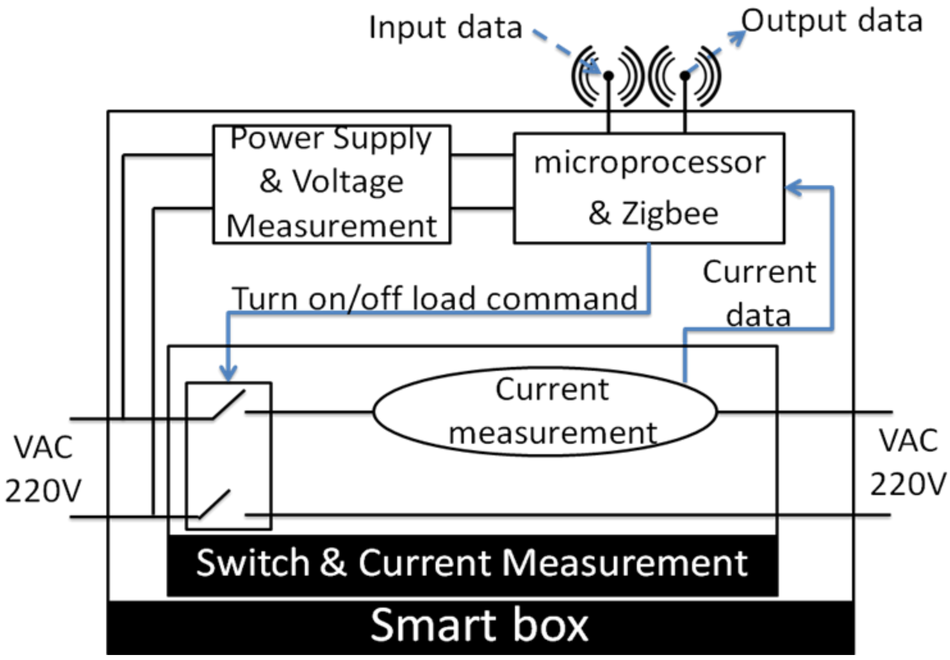
บทที่ 5

การสร้างและพัฒนาระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน

ในบทนี้จะอธิบายถึงการสร้างกล่องอัจฉริยะซึ่งทำหน้าที่เป็นระบบประมวลผลของระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน การพัฒนาระบบเซนเซอร์ และการพัฒนาซอร์ฟแวร์ เพื่อสร้างและพัฒนาระบบจัดการพลังงานภายในบ้านที่ได้ออกแบบไว้ในบทที่ 4 ให้เกิดขึ้นจริง

5.1 การสร้างกล่องอัจฉริยะ

จากแนวคิดของการจัดการพลังงานภายในบ้าน และภาพรวมของระบบจัดการพลังงานภายในบ้านที่ได้กล่าวมาในบทที่ 4 นั้น สามารถนำข้อมูลดังกล่าวมากำหนดเป็นฟังก์ชันการทำงานของกล่องอัจฉริยะแต่ละกล่อง (Smart box) ได้ โดยการกำหนดส่วนประกอบของวงจรภายในกล่องอัจฉริยะที่สมบูรณ์ ซึ่งภายในกล่องอัจฉริยะนี้จะประกอบด้วย วงจรวัดกระแสไฟฟ้าและตัดต่อโหลด (Switch & Current Measurement) วงจรของไมโครโปรเซสเซอร์และซิ๊กบี (Microprocessor & Zigbee) วงจรแหล่งจ่ายและวัดค่าแรงดัน (Power Supply & Voltage Measurement) โดยภาพรวมแสดงหน้าที่และการเชื่อมต่อของวงจรแต่ละวงจรภายในกล่องอัจฉริยะนี้เป็นดังภาพที่ 5.1



ภาพที่ 5.1 ภาพรวมแสดงหน้าที่และการเชื่อมต่อของวงจรแต่ละวงจรภายในกล่องอัจฉริยะ

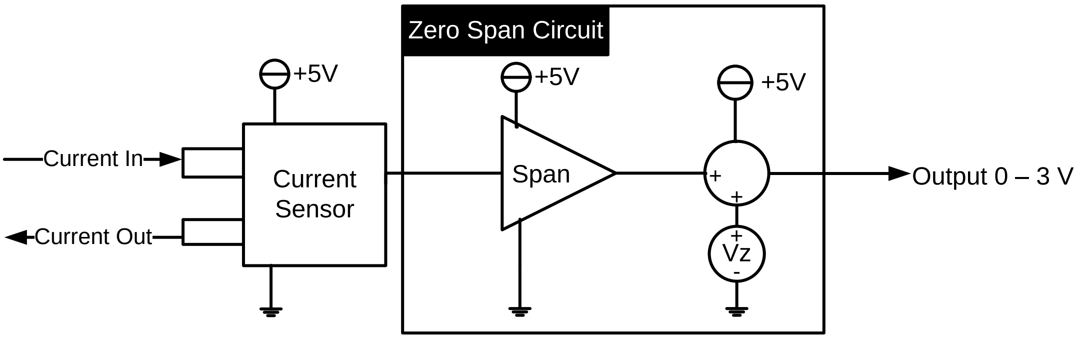
จากภาพที่ 5.1 วงจรแต่ละวงจรภายในกล่องอัจฉริยะมีหลักการสร้างตามลำดับดังต่อไปนี้

5.1.1 **วงจรวัดกระแสไฟฟ้าและตัดต่อโหลด**

เนื่องจากการสร้างกล่องอัจฉริยะนั้นมีแนวคิดมาจากความต้องการที่จะวัดค่าพลังงานไฟฟ้าของโหลดและรายงานค่ากลับไปยังไมโครโปรเซสเซอร์ พร้อมทั้งสามารถรับคำสั่งจากไมโครโปรเซสเซอร์เพื่อทำหน้าที่เป็นสวิตซ์ในการตัดต่อโหลด ดังนั้นภายในกล่องอัจฉริยะจึงจำเป็นต้องมีวงจรวัดกระแสไฟฟ้าและตัดต่อโหลด โดยจากภาพที่ 5.1 จะเห็นได้ว่าวงจรวัดกระแสไฟฟ้าและตัดต่อโหลดนั้นประกอบด้วย 2 ส่วนที่สำคัญ ได้แก่ ส่วนวัดกระแสไฟฟ้า และส่วนตัดต่อโหลด ซึ่งในแต่ละส่วนนั้นมีหลักการสร้างและมีฟังก์ชันการทำงานดังต่อไปนี้

5.1.1.1 **ส่วนวัดกระแสไฟฟ้า**

จากข้อมูลของ Current Sensor ที่กล่าวไว้ในบทที่ 4 ทำให้ต้องกำหนดช่วงค่า Input ของกระแสไฟฟ้าที่ต้องการวัดและกำหนดช่วงค่า Output ของแรงดันของวงจร Current Measurement ที่จะสร้างขึ้น เพื่อให้ไมโครโปรเซสเซอร์สามารถรับค่าแรงดันดังกล่าวไปประมวลผลต่อได้ โดยขา ADC (Analog to Digital Converter) ของไมโครโปรเซสเซอร์สามารถรับแรงดันไฟฟ้าได้ในช่วง 0 – 3 V ดังนั้น Output ของวงจร Current Measurement จึงต้องอยู่ในช่วง 0 – 3 V ส่วนการกำหนดช่วงของค่า Input ของกระแสไฟฟ้าที่ต้องการวัดนั้น ให้พิจารณาตามพิกัดกระแสไฟฟ้าของโหลดที่ต้องไหลผ่านวงจร Current Measurement ของกล่องอัจฉริยะแต่ละกล่องเพื่อใช้ในการสร้างวงจรสำหรับวัดค่ากระแสไฟฟ้าแยกเป็นรายโหลดไป โดยวงจร Current Measurement ที่จะสร้างขึ้นนี้มี block diagram เป็นดังภาพที่ 5.2



ภาพที่ 5.2 block diagram ของวงจร Current Measurement

จากภาพที่ 5.2 พบว่าการสร้างวงจร Current Measurement นั้น ต้องใช้วงจร Zero-Span ต่อเข้ากับ Current Sensor เพื่อปรับค่าแรงดันที่ได้จาก Output ของ Current Sensor ให้มีค่าอยู่ในช่วง 0 – 3 V เพื่อให้ไมโครโปรเซสเซอร์สามารถรับค่าแรงดันดังกล่าวไปประมวลผลต่อได้ โดยวงจร Zero-Span จะทำหน้าที่ขยายสัญญาณและปรับระดับแรงดันเริ่มต้นของสัญญาณซึ่งเป็นไปตามสมการที่ 5.1

$$V_{out}(t) = mV_{in}(t) + V_z \tag{5.1}$$

เมื่อ

$V_{out}(t)$ คือค่าแรงดัน Output ของวงจร Zero-Span (Volt)

m คือค่า Span หรืออัตราขยาย (ไม่มีหน่วย)

$V_{in}(t)$ คือค่าแรงดัน input ของวงจร Zero-Span (Volt)

V_z คือค่า Zero offset ของวงจร Zero-Span (Volt) ซึ่งเป็นค่าคงที่

เนื่องจากโหลดแต่ละตัวที่ระบบจัดการพลังงานภายในบ้านทำการวัดค่ากระแสไฟฟ้านั้นมีพิกัดกระแสไฟฟ้าไม่เท่ากัน ดังนั้นค่า Span และค่า Zero offset ของวงจร Current Measurement ที่วัดกระแสไฟฟ้าของโหลดแต่ละเครื่องจึงมีค่าไม่เท่ากัน และขึ้นอยู่กับปริมาณพิกัดกระแสไฟฟ้าของโหลดชนิดนั้นๆด้วย โดยจากข้อมูลที่ได้กล่าวมาข้างต้น ค่า Span สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (5.2)

$$m = \frac{3}{2V_p} = \frac{3}{2\times 0.01I_p} = \frac{3}{2\times 0.01\sqrt{2}I_{rms}} = \frac{75\sqrt{2}}{I_{rms}} \tag{5.2}$$

เมื่อ m คือค่า Span หรืออัตราขยาย (ไม่มีหน่วย)

V_p คือ Peak Voltage Output ของ Current Sensor (Volt)

I_p คือ Maximum Peak Current ของโหลด (Ampare)

I_{rms} คือ Maximum Root Mean Square Current ของโหลด (Ampare)

จากสมการที่ 5.2 ทำให้สามารถคำนวณหาค่า Span ของวงจร Current Measurement สำหรับการวัดกระแสไฟฟ้าของโหลดในระบบจัดการพลังงานภายในบ้านที่พัฒนาขึ้นได้ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ค่า Span สำหรับการวัดกระแสไฟฟ้าของโหลดภายในระบบ

Smart Box No.	โหลด	พิกัดกำลัง (VA)	พิกัดกระแส (A)	ค่า Span
1	L1	762.5	3.5	30.3
2	L3	360	1.7	62.4
3	L2	540	2.5	42.4
3	L5	900	4.1	25.9
4	L4	1500	7	15.2
4	L6 Phase A	1500	7	15.2
4	L6 Phase B	1500	7	15.2
4	L6 Phase C	1500	7	15.2

ส่วนค่า Zero offset สำหรับวงจร Current Measurement สำหรับโหลดใดๆนั้นให้ใช้ค่า -1 Volt เสมอเนื่องจากต้องการให้ Output ที่ได้จากวงจรนี้มีค่าเป็น 1.5 V เมื่อไม่มีกระแสไฟฟ้าจากโหลดไหลผ่านวงจร Current Measurement แล้ว

จากข้อมูลต่างๆของส่วนวัดกระแสไฟฟ้าที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น ทำให้สามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านวงจรวัดกระแสไฟฟ้า และแรงดันขาออกของวงจรนี้ ได้ดังสมการที่ 5.3

$$V_{out}(t) = \frac{3}{2\sqrt{2}I_{\max}} I_{in}(t) + 1.5 \qquad (5.3)$$

เมื่อ $V_{out}(t)$ คือ คือค่าแรงดัน Output ของวงจร Current Measurement (Volt)

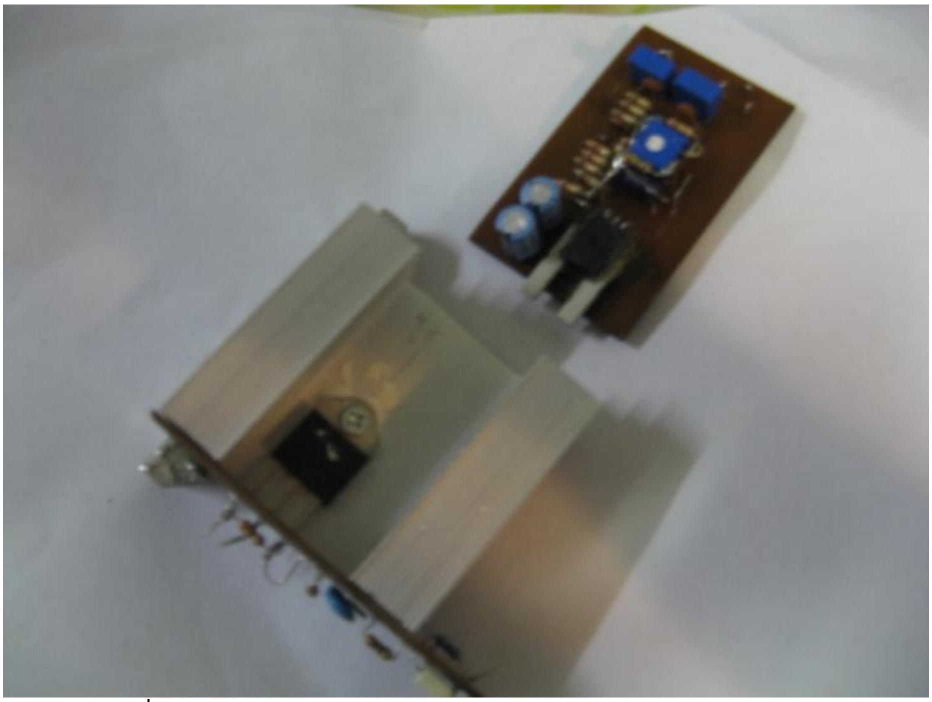
I_{max} คือ คือค่าพิกัดกระแสโหลดของวงจร Current Measurement แต่ละวงจร (Ampare)

$I_{in}(t)$ คือ คือค่ากระแสโหลดที่ไหลผ่านวงจร Current Measurement (Ampare)

5.1.1.2 **ส่วนตัดต่อโหลด**

จากข้อมูลของวงจรตัดต่อโหลดโดยอาศัย IC เบอร์ MOC3043 (ภาพที่ 3.15 ที่กล่าวไว้ในบทที่ 3) ทำให้ต้องออกแบบให้ R_{in} มีค่าประมาณ 3.3V/5mA (เนื่องจาก IC เบอร์ MOC3043 ต้องการกระแส 5 mA จึงจะทำงาน และ Digital Output Logic High ของไมโครโปรเซสเซอร์มีขนาด 3.3V) ซึ่งเท่ากับ 660 โอห์ม จึงเลือกใช้ R_{in} ขนาด 680 โอห์ม และเลือกใช้ Triac 40 A สำหรับวงจรตัดต่อโหลดทุกวงจรเพื่อให้วงจรนี้มีความสามารถในการรับกระแสไฟฟ้าได้สูง

เมื่อสามารถสร้างวงจรในส่วนวัดกระแสไฟฟ้าและส่วนตัดต่อโหลดได้แล้ว ต่อไปต้องนำวงจรทั้ง 2 ส่วนประกอบเข้าเป็นวงจรวัดกระแสไฟฟ้าและตัดต่อโหลด โดยผู้วิจัยได้ออกแบบให้วงจรมีความเล็กกะทัดรัดและอยู่ภายใน Heat Sink ตัวเดียว โดยให้ Triac อยู่ติดกับแผ่น Heat Sink เพื่อระบายความร้อน ซึ่งการประกอบวงจรตัดต่อโหลดเข้ากับวงจรวัดกระแสไฟฟ้าเป็นดังภาพที่ 5.3



ภาพที่ 5.3 การประกอบวงจรตัดต่อโหลดเข้ากับวงจรวัดกระแสไฟฟ้า

ชุดวัดกระแสไฟฟ้าและตัดต่อโหลดซึ่งต้องสร้างขึ้นมาเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้มีทั้งหมด 8 ชุด เพื่อใช้ในการวัดกระแสไฟฟ้าและตัดต่อโหลดที่ต่ออนุกรมกับกล่องอัจฉริยะกล่องต่างๆดังตารางที่ 5.1 ที่ได้กล่าวมาแล้ว

5.1.2 วงจรของไมโครโปรเซสเซอร์และซิ๊กบี

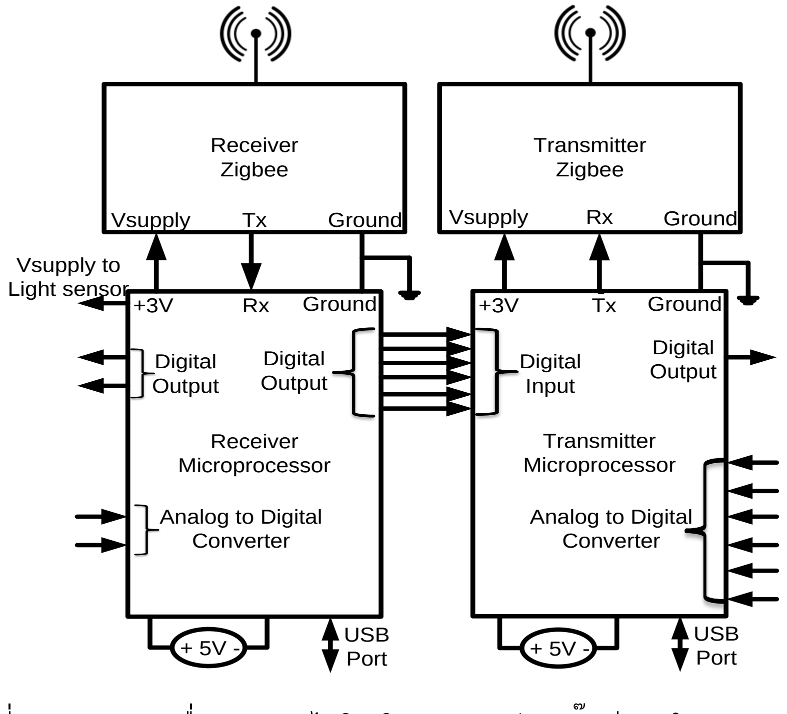
หน้าที่ของการรับส่งข้อมูลและการเชื่อมต่อกับส่วนต่างๆภายในกล่องอัจฉริยะของวงจรนี้ได้ถูกกล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 4.4.2 ระบบสื่อสารแบบไร้สาย สำหรับในหัวข้อ 5.1.2 นี้ จะกล่าวเพิ่มเติมในส่วนของการใช้งานไมโครโปรเซสเซอร์ และการประกอบวงจรไมโครโปรเซสเซอร์เข้ากับซิ๊กบีเพื่อใช้ในการรับส่งข้อมูลดังต่อไปนี้

5.1.2.1 **การใช้งานไมโครโปรเซสเซอร์**

จากภาพรวมของการรับส่งข้อมูลระหว่างไมโครโปรเซสเซอร์และซิ๊กบีที่ได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อ 4.4.2 ระบบสื่อสารแบบไร้สาย ทำให้สามารถประเมินได้ว่า ต้องใช้ Fio Standard 1 ชุดเพื่อเป็น Receiver Microprocessor ภายใน Smart box 1 เพื่อทำหน้าที่เป็น Data loger เก็บข้อมูลของพลังงานไฟฟ้ารวมภายในบ้านที่ใช้ไปทุกๆครึ่งชั่วโมง และใช้ Fio lite 7 ชุดเพื่อทำหน้าที่เป็น Microprocessor ตัวอื่นภายในกล่องอัจฉริยะกล่องต่างๆ โดย Receiver Microprocessor ในกล่องอัจฉริยะที่ 1 จะทำหน้าที่เก็บข้อมูลค่าพลังงานไฟฟ้าของโหลดทั้ง 6 ตัวภายในระบบจัดการพลังงานฯ ทุกๆ 30 นาที เป็นเวลาอย่างน้อย 1 สัปดาห์ ดังนั้นถ้าข้อมูลค่าพลังงานไฟฟ้าของโหลดแต่ละข้อมูลมีขนาด 64 bit SD card ที่ต่ออยู่กับ Receiver Microprocessor จะต้องมีความจุอย่างน้อย 21504 bit จึงเลือกใช้ SD card ขนาด 2 GB ซึ่งถือว่ามีความจุเพียงพอต่อการเก็บข้อมูลสำหรับระบบจัดการพลังงานภายในบ้านที่ได้ทำการศึกษาวิจัยครั้งนี้

5.1.2.2 **การประกอบวงจรไมโครโปรเซสเซอร์เข้ากับซิ๊กบีเพื่อใช้ในการรับส่งข้อมูล**

วงจรการเชื่อมต่อของไมโครโปรเซสเซอร์และซิ๊กบีภายในกล่องอัจฉริยะที่รวมครบทุกฟังก์ชัน (กล่องอัจฉริยะแต่ละกล่องอาจไม่จำเป็นต้องมีครบทุกฟังก์ชัน) สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 5.4 โดยข้อมูลทางเทคนิกของไมโครโปรเซสเซอร์และซิ๊กบีได้แสดงไว้ใน ภาคผนวก ข ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้



ภาพที่ 5.4 วงจรการเชื่อมต่อของไมโครโปรเซสเซอร์และซิ๊กบีภายในกล่องอัจฉริยะ

5.1.3 **วงจรแหล่งจ่ายและวัดค่าแรงดัน**

วงจรทุกวงจรภายในกล่องอัจฉริยะจะทำงานได้ก็ต่อเมื่อมีแหล่งจ่ายจ่ายพลังงานให้แก่วงจรเหล่านั้น โดยวงจรแหล่งจ่ายคือวงจรที่ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V ให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาดที่เหมาะสมกับความต้องการของวงจรต่างๆภายในกล่องอัจฉริยะ และเนื่องจากวงจรแหล่งจ่ายมีภาค Input เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V หรือแรงดันของโหลดเฟส A ดังนั้นผู้วิจัยจึงออกแบบให้วงจรแหล่งจ่ายสามารถวัดค่าแรงดันไฟฟ้าเพื่อส่งข้อมูลให้เข้าสู่ไมโครโปรเซสเซอร์สำหรับการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าของโหลดได้ โดยในหัวข้อนี้วงจรแหล่งจ่ายและวัดค่าแรงดันสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนย่อย ได้แก่ วงจรแหล่งจ่าย (Power Supply Circuit) และวงจรวัดค่าแรงดันโหลด (Load Voltage Measurement Circuit) ซึ่งในแต่ละวงจรมีวิธีการออกแบบและหลักการทำงานดังต่อไปนี้

5.1.3.1 **วงจรแหล่งจ่าย**

ในการออกแบบวงจรแหล่งจ่าย ต้องกำหนดคุณสมบัติของวงจรดังกล่าวโดยการพิจารณาจากฟังก์ชันการทำงานของกล่องอัจฉริยะ ขนาดของแรงดันและกำลังไฟฟ้าที่วงจรภายในกล่องอัจฉริยะต้องการ รวมถึงจำนวนวงจรที่อยู่ภายในกล่องอัจฉริยะทั้งหมด ซึ่งจากการพิจารณาข้อมูลดังกล่าวที่ผ่านมา ทำให้สามารถกำหนดคุณสมบัติของวงจรแหล่งจ่ายได้ดังนี้

1) ภาค Input ต้องการแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220 V ความถี่ 50 Hz

2) ภาค Output ต้องการจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 5 V

3) เลือกใช้ battery 6 V 1.3AH/20 HR ชาร์จได้ ในการสำรองไฟฟ้าเก็บไว้ใช้ในยามที่ไฟดับได้นานถึง 20 ชั่วโมง

4) สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้สูงสุด 1.16 A เมื่อพิจารณาจากวงจรที่ต้องการใช้แรงดันไฟฟ้า 5 V จากวงจรแหล่งจ่ายดังต่อไปนี้

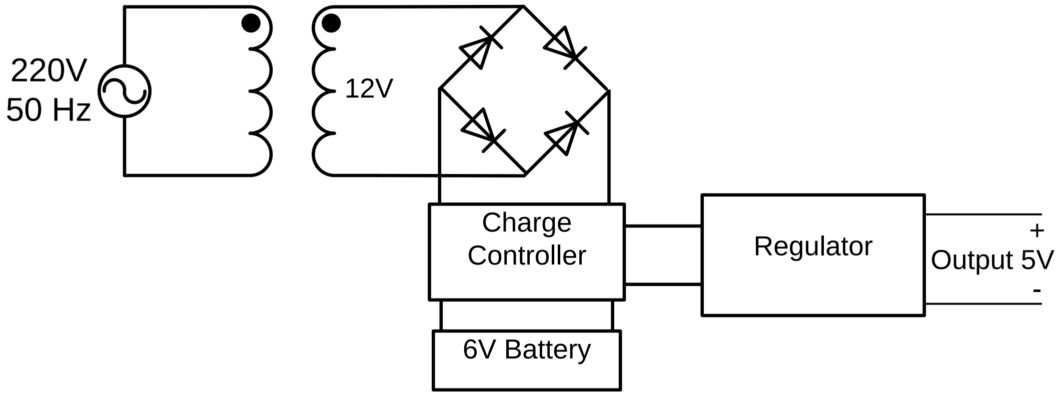
4.1) ไมโครโปรเซสเซอร์พิกัดกระแสบอร์ดละ 480 mA รวม 2 บอร์ดใช้ 960 mA

4.2) Current Measurement พิกัดกระแสวงจรละ 25 mA รวม 4 วงจรใช้ 100 mA

4.3) Sensor พิกัดกระแสวงจรละ 25 mA รวม 4 วงจรใช้ 100 mA

เมื่อรวมกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่วงจรแหล่งจ่ายจะต้องจ่ายสำหรับโหลดขนาด 5 V คิดเป็น 1.16 A แต่ภายในกล่องอัจฉริยะอาจใช้กระแสน้อยกว่า 1.16 A เพราะภายในกล่องอัจฉริยะแต่ละกล่องอาจไม่มีวงจรครบตามข้อ 4.1) – 4.2)

จากคุณสมบัติของวงจรแหล่งจ่ายตามข้อ 1) – 4) ทำให้สามารถออกแบบวงจรแหล่งจ่ายซึ่งแสดงเป็น block diagram ได้ดังภาพที่ 5.5

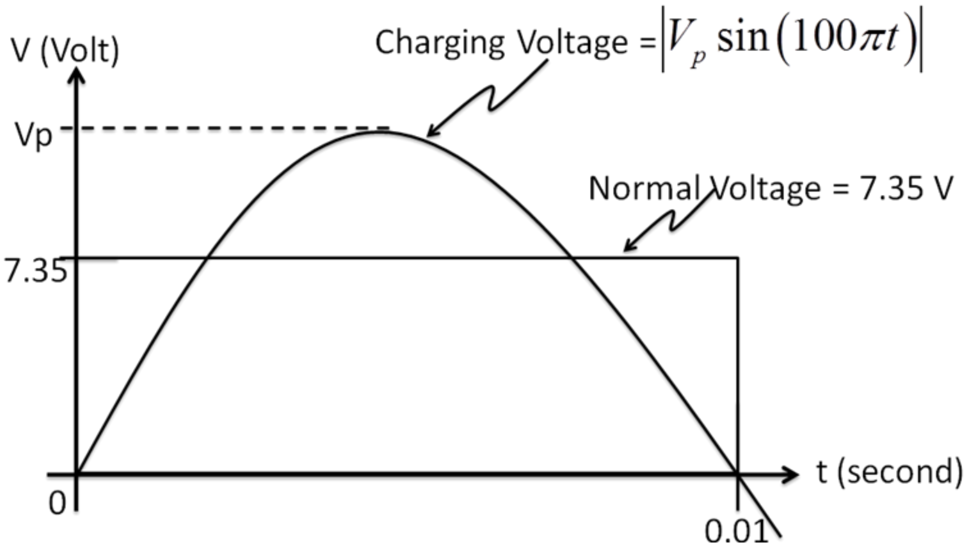


ภาพที่ 5.5 block diagram ของวงจรแหล่งจ่าย

จากภาพที่ 5.5 วงจรแหล่งจ่ายทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220V 50Hz ให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 5V และสามารถเก็บสำรองพลังงานไฟฟ้าไว้ใช้ในยามไฟดับได้ โดยมีหลักการทำงานคือ เมื่อวงจรแหล่งจ่ายรับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 220V 50 Hz เข้ามาแล้ว แรงดันดังกล่าวจะถูกแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 12V 50 Hz โดยหม้อแปลงซึ่งมีพิกัดกระแสทางฝั่งแรงดันต่ำเป็น 500 mA (เนื่องจากพิกัดกระแสขาออกฝั่ง 5V มีค่า 1.16 A ดังนั้นพิกัดกระแสทางฝั่งแรงดันต่ำของหม้อแปลงจึงเป็น 483 mA จึงเลือกใช้หม้อแปลงซึ่งมีพิกัดกระแสทางฝั่งแรงดันต่ำเป็น 500 mA) และแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 12V 50Hz จะเข้าสู่วงจร Bridge Rectifier ซึ่งจะทำให้ได้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงแบบเต็มคลื่น (full wave) ก่อนเข้าสู่วงจร Charge Controller ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการชาร์จประจุให้แก่แบตเตอรี่ โดยมีเงื่อนไขของการควบคุมดังต่อไปนี้

1) เมื่อไฟดับวงจร Charge Controller จะควบคุมให้แบตเตอรี่จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่วงจร Regulator จนกว่าแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่ลดลงถึง 4.5V จึงจะปลดแบตเตอรี่ออกไม่ให้แรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่ลดลงต่ำกว่า 4.5V เพราะจะทำให้ไม่สามารถนำแบตเตอรี่กลับมาชาร์จใหม่ได้

2) เมื่อไฟไม่ดับวงจร Charge Controller จะชาร์จประจุให้แก่ Battery โดยแรงดันไฟฟ้าที่เข้าสู่ขั้วของแบตเตอรี่มีลักษณะเป็น full wave ซึ่งวงจรนี้จะลดทอนค่ายอดของแรงดัน full wave จากวงจร Bridge Rectifier ให้มีขนาดที่เหมาะสมกับแรงดันปกติของแบตเตอรี่ โดยแบตเตอรี่ขนาด 6V นี้มีแรงดันปกติอยู่ที่ 7.35V ดังนั้นจึงสามารถคำนวณหาค่ายอดของแรงดัน full wave ที่เหมาะสมเพื่อชาร์จแบตเตอรี่ได้ดังภาพที่ 5.6



ภาพที่ 5.6 การคำนวณหาค่ายอดของแรงดัน full wave ที่เหมาะสมเพื่อชาร์จแบตเตอรี่

จากภาพที่ 5.6 จะสามารถคำนวณหาค่ายอดของแรงดัน full wave (V_p) ที่เหมาะสมโดยอาศัยหลักการคือ พื้นที่ใต้กราฟของแรงดันไฟฟ้าที่ชาร์จเข้าสู่ขั้วแบตเตอรี่ (Charging Voltage) ย่อมเท่ากับพื้นที่ใต้กราฟของแรงดันปกติของแบตเตอรี่ (Normal Voltage) ซึ่งจากภาพที่ 5.6 และหลักการดังกล่าวสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 5.4 และสามารถคำนวณหาค่ายอดของแรงดัน full wave ได้ดังสมการที่ 5.5 ตามลำดับ

$$\int_0^{0.01} \left|V_p \sin(100\pi t)\right| dt = 7.35 \times 0.01 \tag{5.4}$$

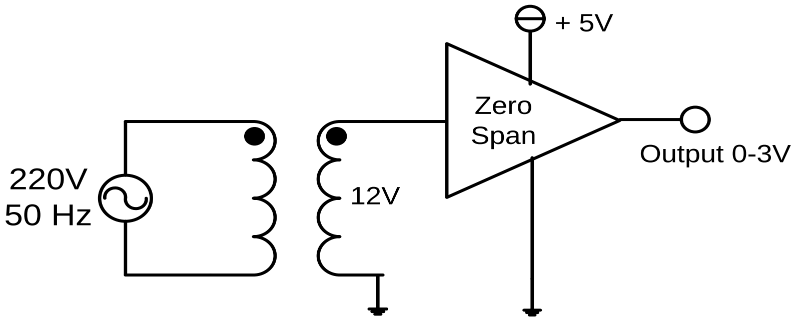
$$\therefore V_p = 11.54 \;\; Volt \tag{5.5}$$

ข้อดีของการชาร์จแบตเตอรี่แบบ full wave คือแบตเตอรี่จะไม่เสื่อมสภาพเร็วเพราะแบตเตอรี่จะรับและคายประจุกับวงจร Charge Controller อยู่ตลอดเวลา

3) วงจร Charge Controller จะให้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่มีค่าอยู่ในช่วง 5V – 11.54V แก่วงจร Regulator ยกเว้นกรณีที่ไฟดับและแรงดันไฟฟ้าที่ขั้วของแบตเตอรี่ลดลงถึง 4.5V โดยวงจร Regulator จะแปลงแรงดันในช่วง 5V – 11.54V เป็นแรงดันสม่ำเสมอขนาด 5V คงที่เพื่อเป็นไฟเลี้ยงจ่ายให้แก่วงจรอื่นๆภายในกล่องอัจฉริยะ

5.1.3.2 **วงจรวัดค่าแรงดันโหลด**

วงจรวัดค่าแรงดันโหลดจะทำหน้าที่วัดค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับขนาด 220 Volt 50 Hz เฟส A โดยใช้หม้อแปลงลูกเดียวกันกับวงจรแหล่งจ่าย และใช้วงจร Zero-Span แปลงค่าแรงดันไฟฟ้าที่อยู่ในช่วง -16.97 Volt ถึง + 16.97 Volt (แรงดันค่ายอดทางบวกและทางลบ) ซึ่งเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าทางฝั่งแรงดันต่ำของหม้อแปลง ให้เป็นค่าแรงดันไฟฟ้าที่อยู่ในช่วง 0 – 3 Volt เพื่อให้ไมโครโปรเซสเซอร์สามารถรับค่าแรงดันดังกล่าวไปประมวลผลต่อได้ โดย block diagram ของวงจรวัดค่าแรงดันโหลดนี้สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 5.7



ภาพที่ 5.7 block diagram ของวงจรวัดค่าแรงดันโหลด

จากภาพที่ 5.7 ทำให้ได้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันโหลดเฟส A และแรงดัน Output ของวงจรวัดค่าแรงดันโหลดได้ดังสมการที่ 5.6

$$V_A(t) = 207.42\left(v_{out}(t) - 1.5\right) \tag{5.6}$$

เมื่อ

$V_A(t)$ คือค่าแรงดันโหลดเฟส A (Volt)

$V_{out}(t)$ คือค่าแรงดัน Output ของวงจรวัดค่าแรงดันโหลด (Volt)

เมื่อสามารถออกแบบและประกอบวงจรภายในกล่องอัจฉริยะเรียบร้อยแล้ว ต่อไปจะเป็นการนำวงจรต่างๆประกอบลงกล่อง โดยมีหลักการดังต่อไปนี้

1) อุปกรณ์ที่มีความร้อนสูงควรอยู่ด้านบนของตัวกล่อง เพราะความร้อนจะระบายขึ้นสู่ด้านบนของกล่องเสมอ ดังนั้นจึงเลือกให้หม้อแปลงอยู่ด้านบนของตัวกล่องเสมอ

2) วงจรวัดกระแสและตัดต่อโหลดควรอยู่ติดด้านข้างของกล่องเพื่อให้กระแสไฟฟ้าของโหลดใช้ระยะทางที่สั้นที่สุดในการไหลผ่านวงจรวัดกระแสและตัดต่อโหลดนี้ ถ้าหากมีวงจร

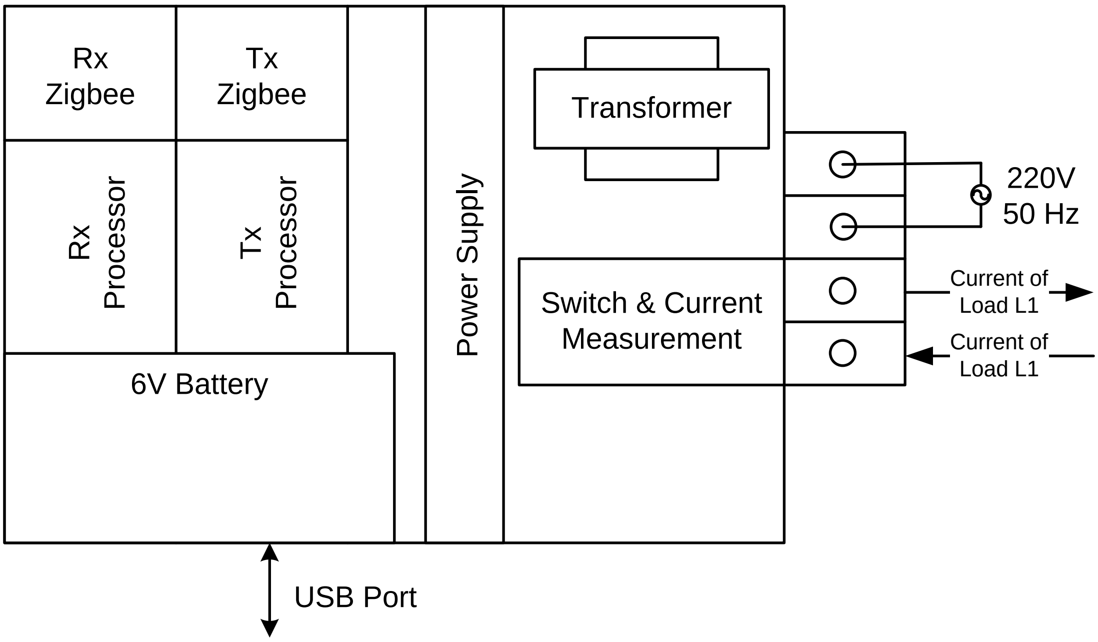
ดังกล่าวอยู่ภายในกล่องมากกว่า 1 วงจร ควรให้วงจรเหล่านั้นอยู่เรียงชิดติดกัน เพื่อความสะดวกในการใช้ Power Terminal ร่วมกัน

3) ควรให้แบตเตอรี่ที่อยู่ภายในกล่องอัจฉริยะตั้งตรงเสมอเพื่อป้องกันมิให้ของเหลวที่อยู่ภายในแบตเตอรี่หกออกมาเลอะเทอะภายในกล่องได้

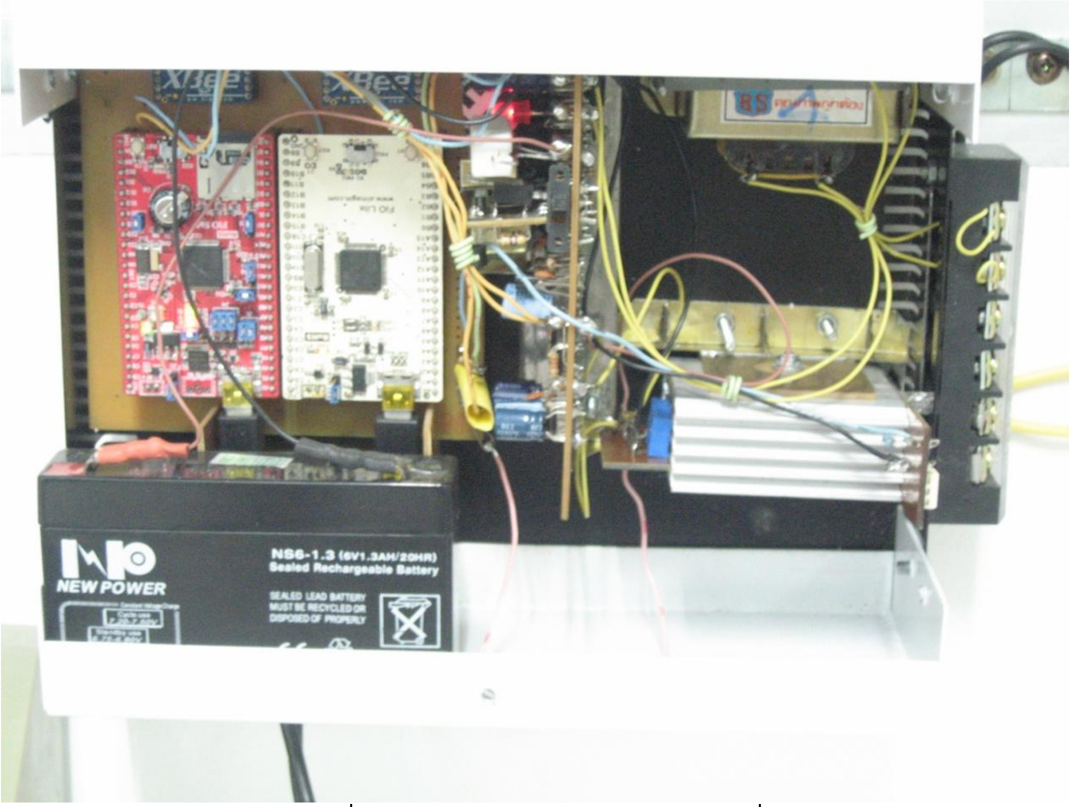
4) ต้องออกแบบให้เสาอากาศของ Zigbee สามารถโผล่พ้นออกมาจากกล่อง เพราะกล่องอัจฉริยะที่ใช้เป็นกล่องเหล็ก และคลื่นวิทยุของ Zigbee ไม่สามารถทะลุผ่านกล่องเหล็กได้ นอกจากนี้แล้วกล่องอัจฉริยะทุกกล่องยังต้องออกแบบให้สาย USB สามารถเสียบเข้ากับไมโครโปรเซสเซอร์เพื่อทำการแก้ไขโปรแกรมและสื่อสารข้อมูลกับคอมพิวเตอร์ได้

5) ควรหาตำแหน่งการจัดเรียงอุปกรณ์ที่ใช้พื้นที่ภายในกล่องอัจฉริยะน้อยที่สุด และมีระยะห่างระหว่างวงจรที่เหมาะสมเพื่อความสะดวกในการติดตั้ง บำรุงรักษา และซ่อมแซม

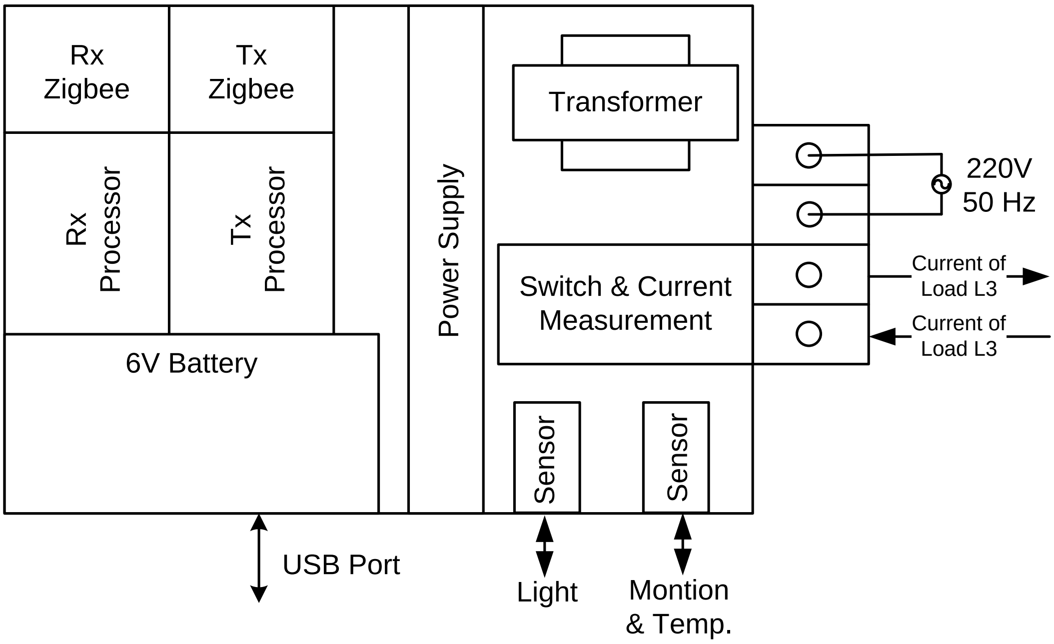
จากหลักการทั้ง 5 ข้อที่ได้กล่าวมาในข้างต้น ทำให้สามารถนำวงจรต่างๆประกอบลงกล่องทำให้ได้กล่องอัจฉริยะตั้งแต่กล่องอัจฉริยะที่ 1 ถึงกล่องอัจฉริยะที่ 4 โดยมีการจัดเรียงอุปกรณ์และวงจรต่างๆภายในกล่องอัจฉริยะเป็นดังภาพที่ 5.8 ถึงภาพที่ 5.15



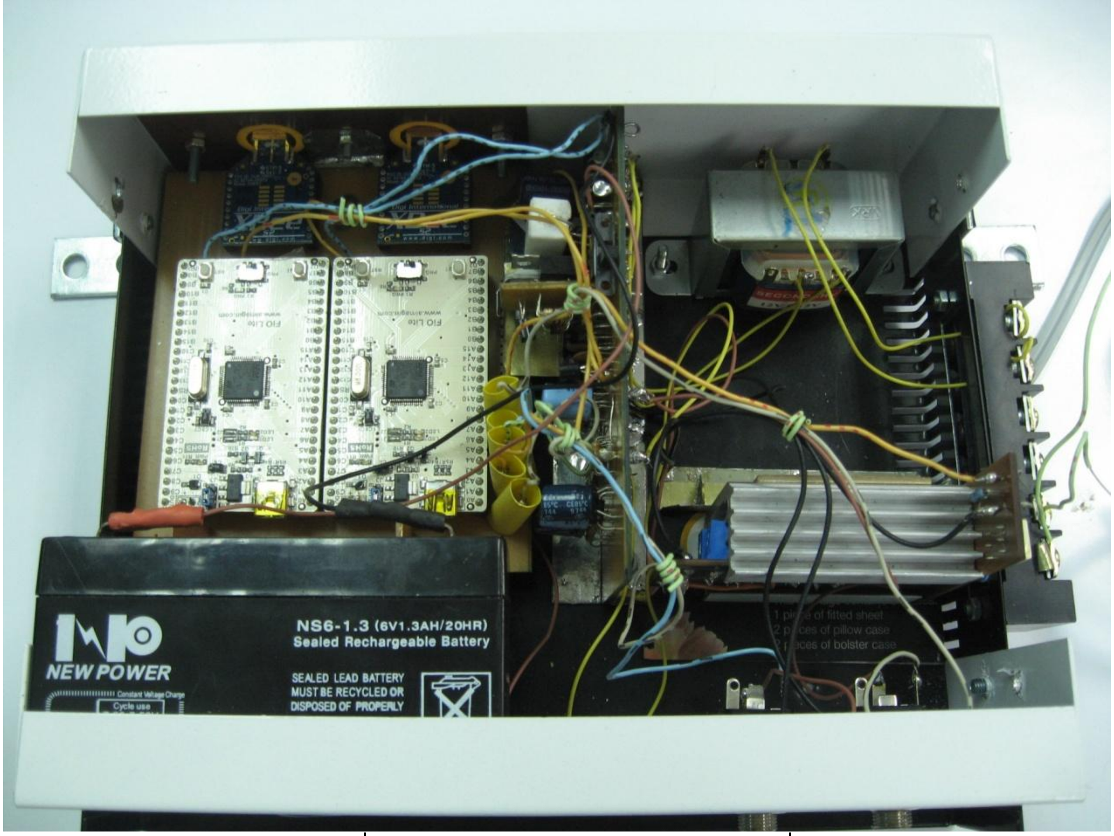
ภาพที่ 5.8 การจัดเรียงอุปกรณ์ภายในกล่องอัจฉริยะที่ 1



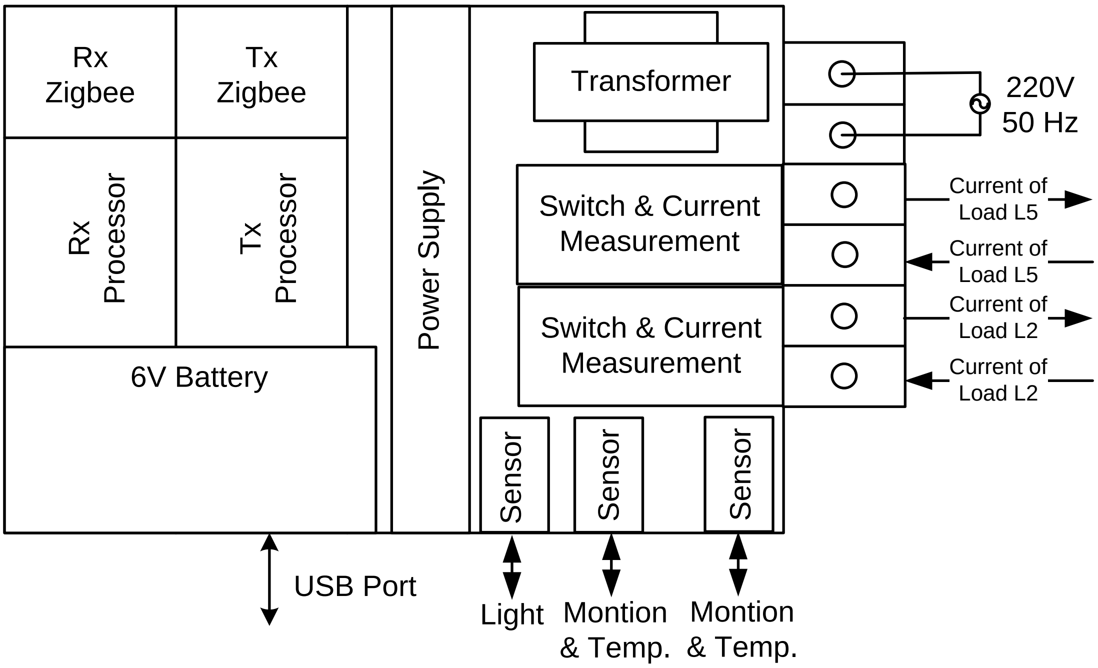
ภาพที่ 5.9 ภาพจริงภายในกล่องอัจฉริยะที่ 1



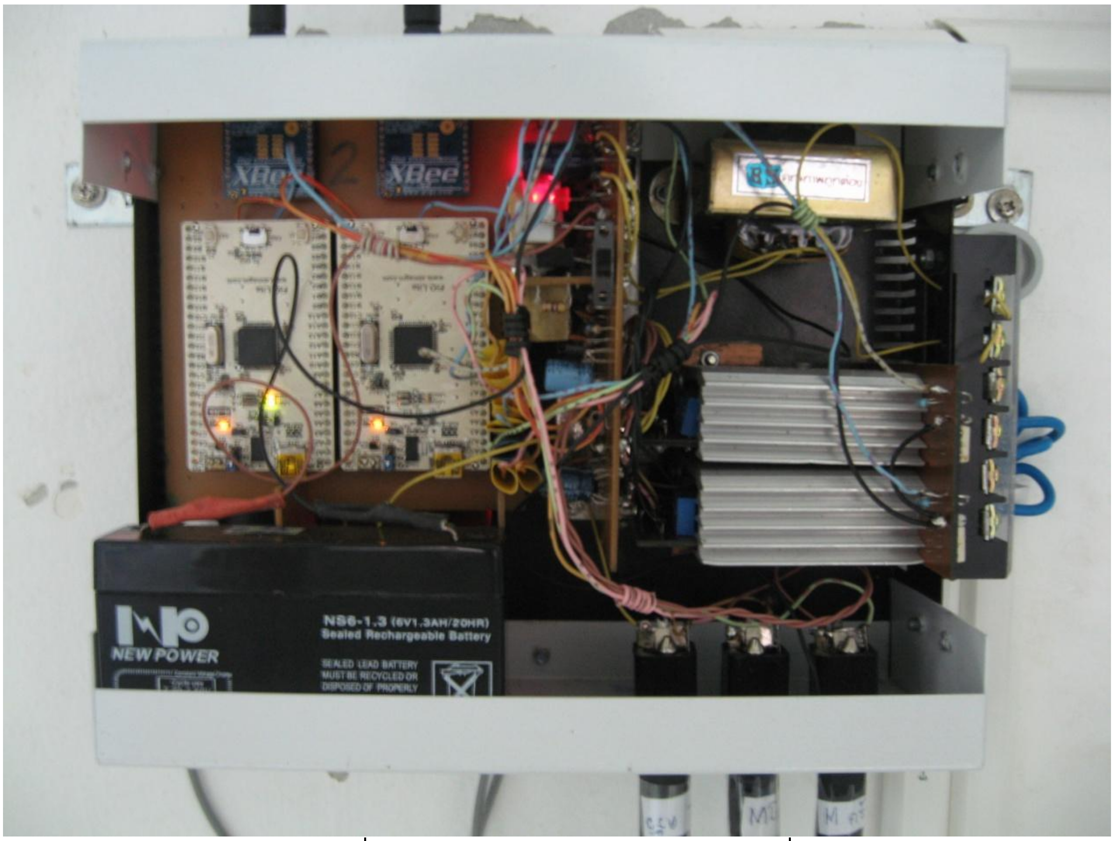
ภาพที่ 5.10 การจัดเรียงอุปกรณ์ภายในกล่องอัจฉริยะที่ 2



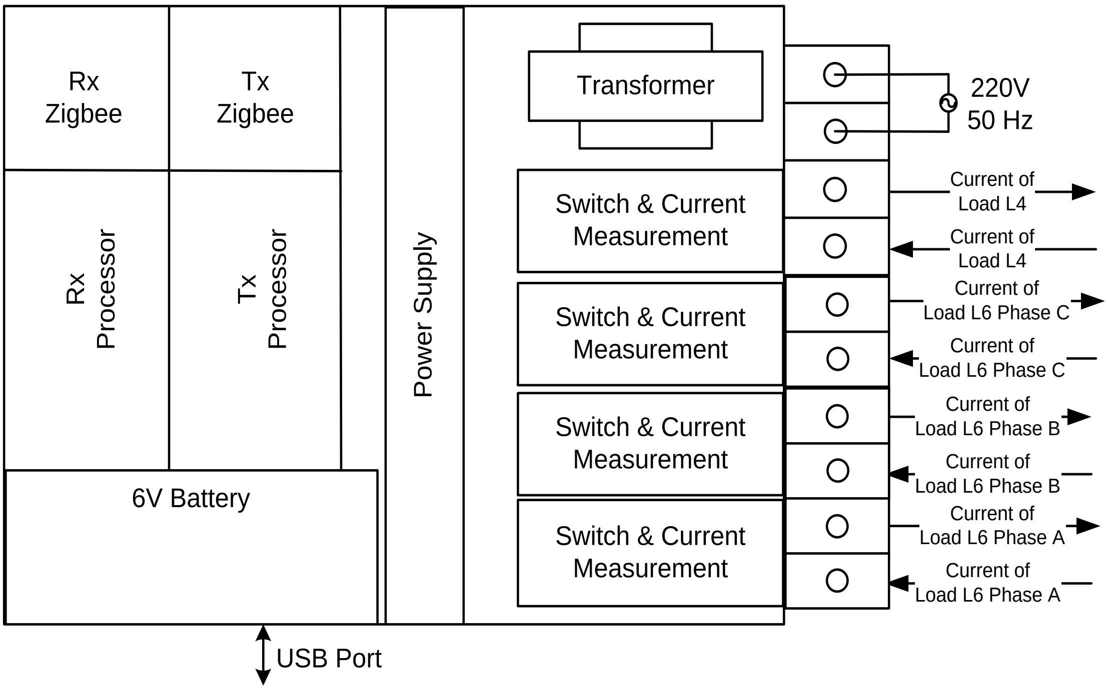
ภาพที่ 5.11 ภาพจริงภายในกล่องอัจฉริยะที่ 2



ภาพที่ 5.12 การจัดเรียงอุปกรณ์ภายในกล่องอัจฉริยะที่ 3



ภาพที่ 5.13 ภาพจริงภายในกล่องอัจฉริยะที่ 3



ภาพที่ 5.14 การจัดเรียงอุปกรณ์ภายในกล่องอัจฉริยะที่ 4

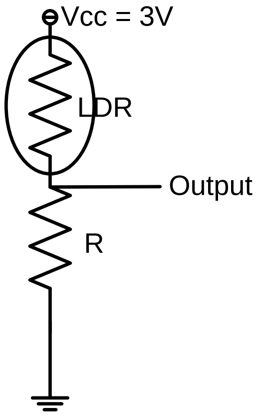
ภาพที่ 5.15 ภาพจริงภายในกล่องอัจฉริยะที่ 4

5.2 การพัฒนาระบบเซนเซอร์

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงการพัฒนาเซนเซอร์ 3 ชนิดได้แก่ เซนเซอร์วัดความเข้มแสง (Light Sensor) เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ (Temperature Sensor) และเซนเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวของมนุษย์ (Motion Sensor) เพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าตามที่ได้ออกแบบไว้ในบทที่ 4 ดังต่อไปนี้

5.2.1 เซนเซอร์วัดความเข้มแสง

ใช้ LDR (Light Dependent Resistor) เป็นตัวรับค่าความเข้มแสง โดยการออกแบบเซนเซอร์วัดแสงนั้น จะต้องคำนึงถึงช่วงของความเข้มแสงที่จะวัด ซึ่งจากแนวคิดของการควบคุมแบบอัตโนมัติของระบบจัดการพลังงานภายในบ้านนี้ ได้กำหนดให้ช่วงของความเข้มแสงที่เซนเซอร์ต้องวัดได้เป็น 230 – 649 ลักซ์ ดังนั้นต้องออกแบบให้เซนเซอร์วัดแสงสามารถวัดความเข้มของแสงได้ในช่วงนี้โดยการพิจารณาวงจรของเซนเซอร์วัดแสงดังภาพที่ 5.16



ภาพที่ 5.16 วงจรของเซนเซอร์วัดความเข้มแสง

จากภาพที่ 5.16 ถ้าต้องการ Output ตั้งแต่ 0 – 3 V ในช่วงการวัดความเข้มแสงตั้งแต่ 230 – 649 ลักซ์แล้ว จะต้องคำนวณให้ R มีขนาดที่เหมาะสม เพื่อให้สามารถวัดค่าความเข้มแสงในย่านนั้นได้

ดังนั้นถ้าต้องการวัดความเข้มแสงซึ่งอยู่ในช่วง 230 – 649 ลักซ์แล้ว ค่าความต้านทานของ LDR ที่วัดได้ต้องมีค่าอยู่ในช่วง 710.27 – 1468.21 โอห์ม (ตามสมการที่ 3.1 ในบทที่ 4) ซึ่งค่ากลางของการวัดความเข้มแสงครั้งนี้คือ 419 ลักซ์ และเมื่อคำนวณตามสมการที่ 3.1 จะให้ LDR มีความต้านทานเป็น 1089.24 โอห์ม และจากภาพที่ 5.16 ถ้าต้องการให้แรงดัน Output มีค่าเป็น 1.5 V ขณะที่ความเข้มแสงอยู่ที่ค่ากลางพอดีจะต้องใช้ R ขนาด 1089.24 โอห์มต่ออนุกรมกับ LDR ดังนั้น ในภาพที่ 5.16 จึงเลือกใช้ R ขนาด 1200 โอห์มต่ออนุกรมกับ LDR ซึ่งทำให้ค่าแรงดัน Output มีค่าเป็น 1.35 โวลต์ ณ ขณะที่ความเข้มแสงมีค่าเป็น 649 ลักซ์ และทำให้ค่าแรงดัน Output มีค่าเป็น 1.88 โวลต์ ณ ขณะที่ความเข้มแสงมีค่าเป็น 230 ลักซ์ จากการเลือก R ขนาด 1200 โอห์มมาต่ออนุกรมกับ LDR ดังกล่าว ทำให้ได้สมการสำหรับการหาค่าความเข้มแสงสำหรับวงจรในภาพที่ 5.16 ดังสมการที่ 5.7 นี้

$$L = 306.82\left[\frac{3}{Vo} - 1\right]^{-1.43} \tag{5.7}$$

เมื่อ L คือ ค่าความเข้มแสงที่วัดได้ หน่วยเป็น ลักซ์ (lux)

Vo ค่าแรงดัน Output จากตัวเซนเซอร์ หน่วยเป็น โวลต์ (Volt)

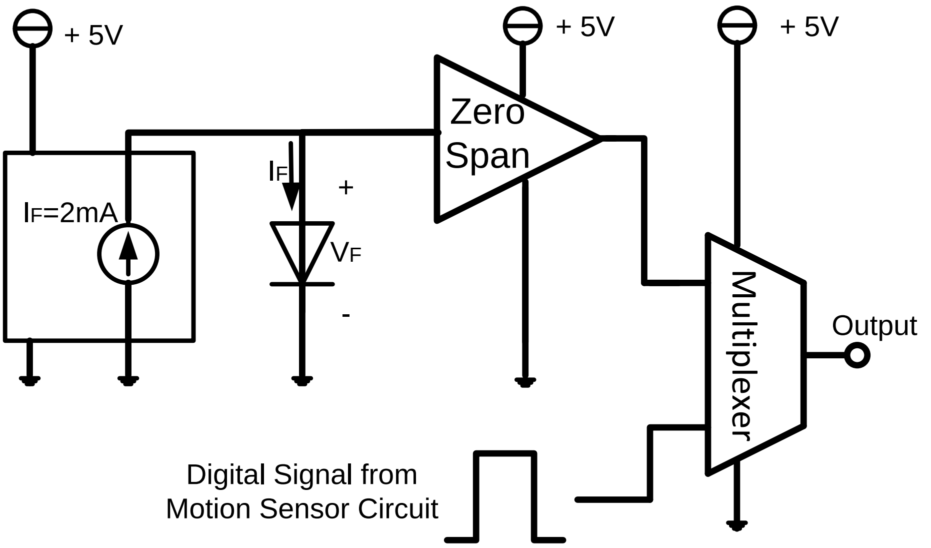
เมื่อได้สามารถสร้างวงจรสำหรับ Light Sensor ได้แล้ว ต้องออกแบบให้ฝาครอบ LDR มีลักษณะเป็นสีขาวและมีผิวเป็นส่วนหนึ่งของทรงกลมต่อบริเวณที่ต้องการทำการวัดเพื่อเพิ่ม

ความสามารถในการตรวจจับแสงในแนวรัศมีของ Light Sensor โดย Light Sensor ที่ประกอบสำเร็จและพร้อมจะติดตั้งเป็นดังภาพที่ 5.17

ภาพที่ 5.17 Light Sensor ที่ประกอบสำเร็จและพร้อมจะติดตั้ง

5.2.2 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ

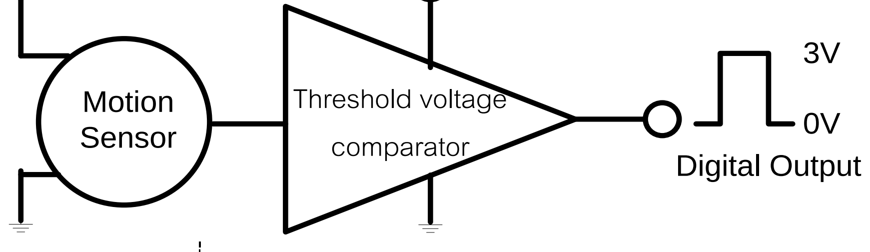
จากสมการที่ 3.3 ของไดโอดเบอร์ 1N4148 ในบทที่ 3 พบว่าถ้าให้ I_F เป็นค่าคงที่จะทำให้ค่า V_F มีค่าแปรผันตรงตามอุณหภูมิ ดังนั้นจึงเลือก I_F ให้มีค่า 2 mA ซึ่งทำให้ V_F มีค่าเป็น 0.66 V ที่อุณหภูมิ 25 ^{O}C โดยช่วงอุณหภูมิที่ต้องการวัดตามแนวคิดของการจัดการพลังงานมีค่าอยู่ในช่วง 13 – 32 ^{O}C ซึ่งจะทำให้ V_F มีค่าอยู่ในช่วง 0.63 – 0.68 V (จากการคำนวณตามสมการที่ 3.3 เมื่อแทนค่า I_F เป็น 2 mA) ถ้าต้องการนำแรงดัน output ของวงจร Temperature Sensor ไปยังขา A/D Converter ของไมโครโปรเซสเซอร์จะต้องใช้วงจร Zero – Span ที่เปลี่ยนค่าแรงดันจากค่า 0.63 – 0.68 V เป็นค่าแรงดันในช่วง 0 – 3 V ซึ่งอยู่ในย่านที่ไมโครโปรเซสเซอร์รับได้ เนื่องจากวงจร Temperature Sensor ต้องการไฟเลี้ยง 5 V เช่นเดียวกันกับวงจรของ Motion Sensor ที่กำลังจะตามมาและเพื่อเป็นการประหยัดสายชิลด์สำหรับเซนเซอร์ ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบให้วงจร 2 วงจรนี้รวมอยู่ด้วยกัน โดยการมัลติเพลซสัญญาณจากวงจร Temperature Sensor และวงจร Motion Sensor นี้ด้วยวงจรมัลติเพลซเซอร์ ซึ่งมีคาบของการส่งสัญญาณแต่ละสัญญาณเป็น 0.01 วินาที ดังนั้นคาบรวมของการมัลติเพลซจะเป็น 0.02 วินาที โดยค่าแรงดัน Output ของวงจรมัลติเพลซเซอร์จะถูกส่งไปยังขา A/D Converter ของไมโครโปรเซสเซอร์ต่อไป จากที่กล่าวมาทั้งหมดนี้บล็อกไดอะแกรมของวงจร Temperature Sensor เป็นดังภาพที่ 5.18



ภาพที่ 5.18 บล็อกไดอะแกรมของวงจร Temperature Sensor

5.2.3 เซนเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวของมนุษย์

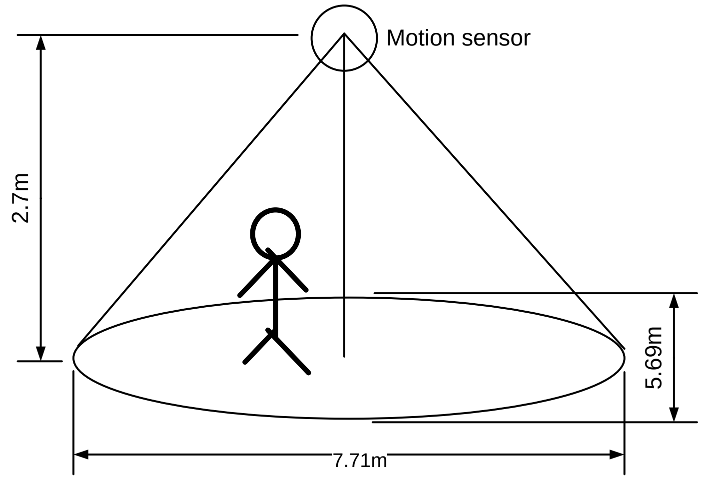
จากภาพที่ 3.9 ในบทที่ 3 ในการสร้างวงจรของ Motion Sensor จะเลือกให้ Threshold Voltage มีค่าเป็น 2.2 – 2.8 V หมายความว่าต้องสร้างวงจร Threshold voltage comparator ที่ให้ค่าลอจิก 0 (0V) เมื่อ Output จาก Motion Sensor มีค่าอยู่ในช่วง 2.2 – 2.8 V และให้ให้ค่าลอจิก 1 (1V) เมื่อ Output จาก motion sensor ไม่มีค่าอยู่ในช่วงดังกล่าว ซึ่งในความเป็นจริงแล้ววงจร Threshold voltage comparator นี้ต้องสร้างให้สามารถปรับค่า Threshold voltage ได้เพื่อเป็นการปรับค่าความไวของวงจร Motion Sensor ด้วย โดย block diagram วงจร motion senser นี้เป็นดังภาพที่ 5.19



ภาพที่ 5.19 block diagram ของวงจร Motion Sensor

เมื่อได้วงจรดังภาพที่ 5.19 เรียบร้อยแล้วจะต้องนำ Digital Output นี้ไปต่อกับวงจร multiplexer ในภาพที่ 5.18 เพื่อส่งสัญญาณแรงดันดิจิตอลของสถานะการมีคนอาศัยอยู่ในบริเวณนั้น และสัญญาณแรงดันอะนาล็อกของค่าอุณหภูมิในบริเวณนั้นๆต่อไป

เมื่อประกอบวงจรทั้งหมดเสร็จเรียบร้อยแล้ว ลำดับถัดไปคือการพิจารณาบริเวณการติดตั้งของวงจรดังกล่าว โดยจากข้อมูลในภาพที่ 3.10 บทที่ 3 สามารถนำมาเขียนเป็นรูปกรวยรีแสดงขอบเขตการตรวจจับเมื่อวางเซนเซอร์ที่เพดานสูง 2.7 m ซึ่งเป็นความสูงเพดานของห้องทุกห้องในระบบจัดการพลังงานภายในบ้านที่ทำการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ดังภาพที่ 5.20



ภาพที่ 5.20 กรวยรีแสดงขอบเขตการตรวจจับของ motion sensor

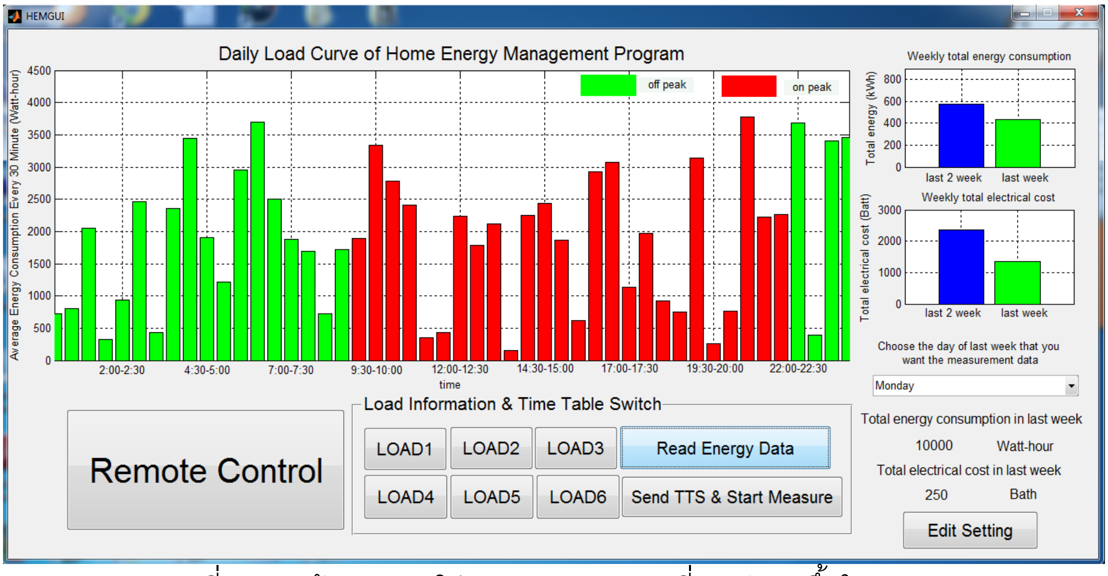
เมื่อทราบหลักการทำงานของเซนเซอร์ทั้ง 3 ชนิดดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ต่อไปต้องพิจารณาตำแหน่งที่ตั้งของเซนเซอร์ทั้ง 3 นี้ โดยในแต่ละห้องควรจะมีเซนเซอร์อย่างน้อยหนึ่งจุด และค่าสภาพแวดล้อมที่เซนเซอร์วัดได้ควรจะเป็นค่าเฉลี่ยของสภาพแวดล้อมนั้นๆ จากหลักการดังกล่าวจึงออกแบบให้เซนเซอร์ทั้งสามเกาะติดกันเป็นจุดๆเดียวและติดอยู่บริเวณเพดานของห้องทั้งสามของระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน และเมื่อพิจารณาตำแหน่งการวางของ motion sensor ในภาพที่ 5.20 ประกอบการพิจารณาพื้นที่ของห้องแต่ละห้องในภาพที่ 4.9 บทที่ 4 พบว่า motion sensor 1 ตัว เพียงพอที่จะตรวจจับการเคลื่อนไหวในบริเวณห้อง 1 ห้องได้ แต่ต้องติดตั้ง motion sensor ไว้บริเวณจุดศูนย์กลางของเพดานห้องนั้นๆ และต้องวาง motion sensor ให้ด้านยาวของขอบเขตการตรวจจับรูปวงรีมีทิศทางเดียวกับด้านยาวของห้องนั้นๆ

5.3 การพัฒนาซอร์ฟแวร์

ซอร์ฟแวร์ที่ใช้ในระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน สามารถจำแนกตามลักษณะการทำงานออกได้เป็น 2 ประเภท ได้แก่ ซอร์ฟแวร์ที่ผู้ใช้พลังงานไฟฟ้าสามารถติดต่อสื่อสารกับระบบ (Graphic User Interface Software) และซอร์ฟแวร์ที่ฝังตัวอยู่กับระบบ (Embedded Software) ซึ่งผู้ใช้พลังงานไฟฟ้าไม่สามารถแก้ไขซอร์ฟแวร์ในส่วนนี้ได้ โดยซอร์ฟแวร์แต่ละประเภทมีหลักการทำงานดังต่อไปนี้

5.3.1 **ซอร์ฟที่ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถติดต่อสื่อสารกับระบบ**

ซอร์ฟแวร์ในส่วนนี้จะถูกพัฒนาขึ้นจาก GUI (Graphic User Interface) จากโปรแกรม Matlab ซึ่งส่วนประกอบของโปรแกรมประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 4 ส่วน ได้แก่ ส่วนแสดงผลข้อมูลของการใช้พลังงานไฟฟ้า ส่วนตารางสวิตซ์ตั้งเวลาอัจฉริยะ ส่วนแก้ไขค่าตัวแปรต่างๆที่ได้ตั้งไว้ และส่วนการเปิดปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าด้วยรีโมทคอนโทรล ซึ่งซอร์ฟแวร์ทั้ง 4 ส่วนนี้สามารถเรียกขึ้นมาใช้งานจากหน้าต่างของโปรแกรม HEM GUI (Home Energy Management Graphic User Interface) โดยหน้าต่างของโปรแกรม HEM GUI นี้เป็นดังภาพที่ 5.21



ภาพที่ 5.21 หน้าต่างของโปรแกรม HEM GUI ที่ถูกพัฒนาขึ้นใน Matlab

จากภาพที่ 5.21 รายละเอียดของโปรแกรม HEM GUI ในแต่ละส่วนทั้ง 4 ส่วนจะกล่าวไว้ในหัวข้อที่ 5.3.1.1 – 5.4.1.4 ดังต่อไปนี้

5.3.1.1 **ส่วนแสดงผลข้อมูลของการใช้พลังงานไฟฟ้า**

ซอร์ฟแวร์ในส่วนนี้ได้เคยกล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 4.1.3 การแสดงผลการใช้พลังงาน (Energy Consumption Vizualizing) ซึ่งอธิบายการใช้งานโปรแกรมในส่วนนี้อย่างละเอียด ดังนั้นในหัวข้อนี้จะกล่าวเพิ่มเติมในเรื่องของหลักการทำงานและสูตรการคำนวณเพื่อหาค่าพลังงานไฟฟ้า และราคาค่าไฟฟ้าสำหรับการแสดงผล เพื่อให้ผู้ใช้พลังงานไฟฟ้าภายในบ้านรับทราบหลังจากที่ได้ใช้พลังงานไฟฟ้าผ่านไปแล้วเป็นเวลา 1 สัปดาห์ โดยมีขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมตามลำดับดังต่อไปนี้

1) เมื่อผู้ใช้ไฟฟ้าต้องการเริ่มวัดค่าพลังงานไฟฟ้า ผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องกดปุ่ม Send TTS & Start Measure จากโปรแกรม HEM GUI ซึ่งอยู่ภายใต้กรอบของหัวข้อ Load Information & Time Table Switch แล้วคอมพิวเตอร์จะบันทึกเวลาที่กดปุ่ม และค่าตัวแปรต่างๆที่ผู้ใช้ไฟฟ้าได้เคยตั้งไว้จะถูกส่งจากคอมพิวเตอร์ลงไปยังไมโครโปรเซสเซอร์ตัวรับของกล่องอัจฉริยะที่ 1 หลังจากนั้นระบบจัดการพลังงานภายในบ้านจะเริ่มดำเนินการเปิดปิดโหลดแบบอัตโนมัติตามตารางเวลาที่ได้ตั้งไว้ และไมโครโปรเซสเซอร์จะเริ่มบันทึกค่าพลังงานไฟฟ้าของโหลดแต่ละชนิดทุกๆ 30 นาทีเก็บไว้ใน SD card ขนาด 2 GB

2) หลังจากที่ระบบจัดการพลังงานภายในบ้านได้ดำเนินการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าครบ 7 วัน ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถเรียกดูข้อมูลการพลังงานไฟฟ้าและราคาค่าไฟฟ้าที่ผ่านมาได้ โดยการกดปุ่ม Read Energy Data จากโปรแกรม HEM GUI ซึ่งอยู่ภายใต้กรอบของหัวข้อ Load Information & Time Table Switch แล้วข้อมูลในส่วนแสดงผลข้อมูลของการใช้พลังงานไฟฟ้าจะปรากฏออกมา ซึ่งข้อมูลในส่วนนี้ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนดังที่ได้เคยกล่าวไว้แล้วในหัวข้อที่ 4.1.3 ซึ่งในแต่ละส่วนมีหลักการนำข้อมูลจาก SD card มาประมวลผลและแสดงผล ดังต่อไปนี้

2.1) ความสูงของกราฟแต่ละแท่งของส่วนแสดงโหลดรายวัน (Daily load curve) คือ ผลรวมของค่าพลังงานไฟฟ้าที่โหลดทุกตัวใช้ไปในแต่ละครึ่งชั่วโมงของวันนั้นๆ

2.2) ค่าพลังงานไฟฟ้ารวมทั้งหมดที่ใช้ไปในแต่ละสัปดาห์ (Weekly total energy consumption) คือ ผลรวมของค่าพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่โหลดทุกตัวใช้ไปทุกๆครึ่งชั่วโมงของสัปดาห์นั้นๆ

2.3) ราคาค่าไฟฟ้ารวมในแต่ละสัปดาห์ (Weekly total electrical cost) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 5.8 [11]

$$C_{total} = C_{off-peak} \times \sum E_{off-peak} + C_{on-peak} \times \sum E_{on-peak} + \frac{S}{4} + Ft. + Tag \qquad (5.8)$$

เมื่อ C_{total} คือ ราคาค่าไฟฟ้าที่ต้องจ่ายรวมในสัปดาห์นั้นๆ (บาท)

$C_{off-peak}$ คือ ราคาค่าไฟฟ้าในช่วงเวลา off-peak (บาท/kWh)

$\sum E_{off-peak}$ คือ ค่าพลังงานไฟฟ้ารวมที่โหลดทั้งหมดใช้ไปในช่วงเวลา off-peak ของสัปดาห์นั้นๆ

$C_{on-peak}$ คือ ราคาค่าไฟฟ้าในช่วงเวลา on-peak (บาท/kWh)

$\sum E_{on-peak}$ คือ ค่าพลังงานไฟฟ้ารวมที่โหลดทั้งหมดใช้ไปในช่วงเวลา on-peak ของสัปดาห์นั้นๆ

S คือค่าบริการรายเดือน

Ft. คือค่าไฟฟ้าผันแปรรวม สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 5.9

$$Ft. = ft. \times \sum E \tag{5.9}$$

เมื่อ ft. คือ อัตราค่าไฟฟ้าผันแปร (บาท/kWh)

$\sum E$ ค่าพลังงานไฟฟ้ารวมที่โหลดทั้งหมดใช้ไปของสัปดาห์นั้นๆ

Tag คือ ภาษีมูลค่าเพิ่มที่ต้องจ่ายสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 5.10

$$Tag = \frac{T}{100} \times \left(C_{off-peak} \times \sum E_{off-peak} + C_{on-peak} \times \sum E_{on-peak} + \frac{S}{4} + Ft. \right) \tag{5.10}$$

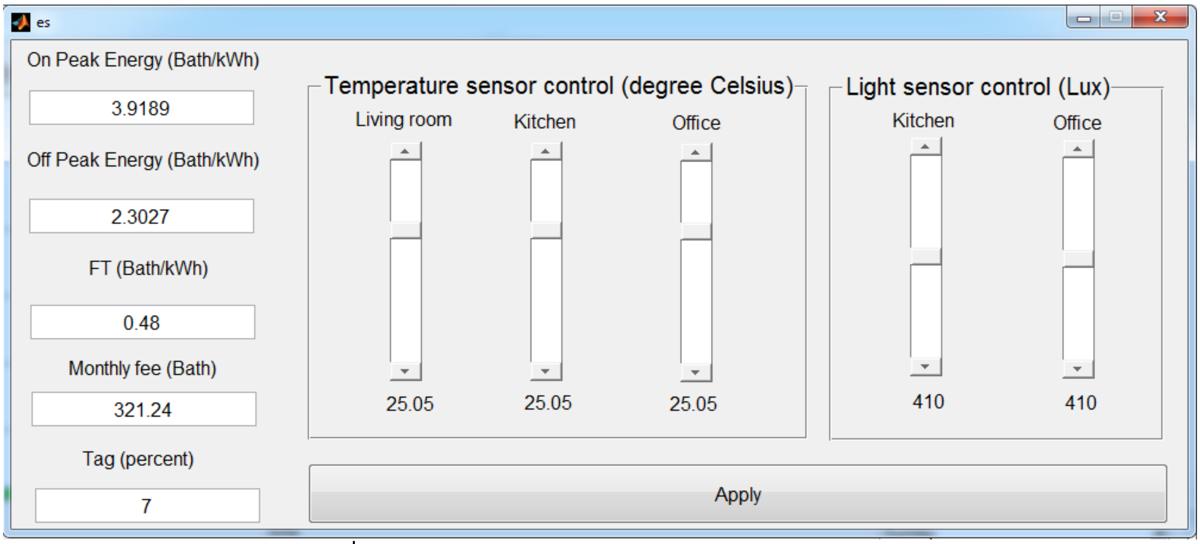
เมื่อ T คือ เปอร์เซ็นต์ของภาษีมูลค่าเพิ่ม (%)

5.3.1.2 **ส่วนตารางสวิตซ์ตั้งเวลาอัจฉริยะ**

ซอร์ฟแวร์ในส่วนนี้จะมีปุ่มควบคุมการทำงานอยู่ภายใต้กรอบของหัวข้อ Load Information & Time Table Switch จากโปรแกรม HEM GUI โดยเมื่อผู้ใช้ไฟฟ้าต้องการตั้งเวลาการทำงานให้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้าน ผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องกดที่ปุ่มที่มีชื่อของเครื่องใช้ไฟฟ้าเครื่องนั้นๆ โดยชื่อของเครื่องใช้ไฟฟ้าในภาพที่ 5.21 คือชื่อ LOAD1 ถึง LOAD6 และเมื่อชื่อของเครื่องใช้ไฟฟ้าเครื่องใดถูกกดขึ้นมาแล้ว โปรแกรมจะแสดงตารางสวิตซ์ตั้งเวลาอัจฉริยะของเครื่องใช้ไฟฟ้าเครื่องนั้นขึ้นมาให้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถเข้าไปตั้งเวลาการเปิดปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าได้ ซึ่งรายละเอียดของโปรแกรมตารางสวิตซ์ตั้งเวลาอัจฉริยะได้เคยกล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 4.1.1 การวางแผนอย่างชาญฉลาด (Smart Planning) และหลังจากที่ผู้ใช้ไฟฟ้าตั้งเวลาการทำงานให้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าภายในบ้านทุกเครื่องเสร็จเรียบร้อยแล้ว ผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องกดปุ่ม Send TTS & Start Measure เพื่อส่งค่าตารางเวลาการเปิดปิดโหลดทั้งหมดจากไฟล์ที่ถูกเก็บไว้ในคอมพิวเตอร์ไปยังไมโครโปรเซสเซอร์ เพื่อเป็นการเริ่มต้นการทำงานของระบบจัดการพลังงานภายในบ้านต่อไป

5.3.1.3 **ส่วนแก้ไขค่าตัวแปรต่างๆที่ได้ตั้งไว้**

ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถเรียกใช้งานซอร์ฟแวร์นี้ได้ โดยการกดที่ปุ่ม Edit Setting ซึ่งอยู่ที่มุมขวาล่างสุดของหน้าต่างของโปรแกรม HEM GUI แล้วหน้าต่างของโปรแกรม Edit Setting จะปรากฏขึ้นมาดังภาพที่ 5.22



ภาพที่ 5.22 หน้าต่างของโปรแกรม Edit Setting

จากภาพที่ 5.21 หน้าต่างของโปรแกรม Edit Setting ประกอบด้วย 2 ส่วนหลักได้แก่

1) ส่วนการแก้ไขพารามิเตอร์ต่างๆของการคำนวณราคาค่าไฟฟ้า ในส่วนนี้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถแก้ไข ราคาค่าไฟฟ้าในช่วงเวลา off-peak, ราคาค่าไฟฟ้าในช่วงเวลา on-peak, อัตราค่าไฟฟ้าผันแปร, ค่าบริการรายเดือน และเปอร์เซ็นต์ของภาษีมูลค่าเพิ่มได้ เพื่อให้โปรแกรมสามารถคำนวณราคาค่าไฟฟ้าให้ตรงกับความเป็นจริงในปัจจุบัน

2) ส่วนการแก้ไขค่าอุณหภูมิและค่าความเข้มแสงที่ใช้ในการควบคุมแบบอัตโนมัติของเซนเซอร์ ในส่วนนี้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถแก้ไขค่า Tmid และ ค่า Lmid ของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและเซนเซอร์วัดความเข้มแสงทุกตัวที่ติดอยู่ในบริเวณต่างๆได้ (รายละเอียดของค่า Tmid และ ค่า Lmid ได้เคยกล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 4.1.2 ระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ) โดยการเลื่อน Slide bar ประจำเซนเซอร์ตัวนั้นๆ แล้วโปรแกรมจะแสดงค่า Tmid (^{o}C) หรือ ค่า Lmid (Lux) ที่ได้ทำการแก้ไขไปอยู่ข้างล่างของ Slide bar

เมื่อผู้ใช้ไฟฟ้าแก้ไขค่าตัวแปรต่างๆที่ได้ตั้งไว้เสร็จเรียบร้อยแล้ว ผู้ใช้ไฟฟ้าต้องกดปุ่ม Apply ที่อยู่ทางด้านล่างสุดของหน้าต่างของโปรแกรม Edit Setting เพื่อบันทึกค่าตัวแปรต่างๆที่ได้ตั้งไว้เข้าสู่คอมพิวเตอร์ หลังจากนั้นหน้าต่างของโปรแกรม Edit Setting จะหายไปและคงเหลือเฉพาะหน้าต่างของโปรแกรม HEM GUI เท่านั้น และผู้ใช้ไฟฟ้าต้องกดปุ่ม Send TTS & Start Measure เพื่อส่งค่าตัวแปรต่างๆที่ได้ตั้งไว้ทั้งหมดจากไฟล์ที่ถูกเก็บไว้ในคอมพิวเตอร์ไปยังไมโครโปรเซสเซอร์ เพื่อเป็นการเริ่มต้นการทำงานของระบบจัดการพลังงานภายในบ้านตามค่าตัวแปรต่างๆที่ได้ตั้งไว้ต่อไป

5.3.1.4 **ส่วนการเปิดปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าด้วยรีโมทคอนโทรล**

ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถเรียกใช้งานซอร์ฟแวร์ในส่วนนี้ได้ โดยการกดที่ปุ่ม Remote Control (ปุ่มใหญ่) ของหน้าต่างของโปรแกรม HEM GUI ในภาพที่ 5.21 แล้วหน้าต่างของโปรแกรม Remote Control จะปรากฏขึ้นมาดังภาพที่ 5.23

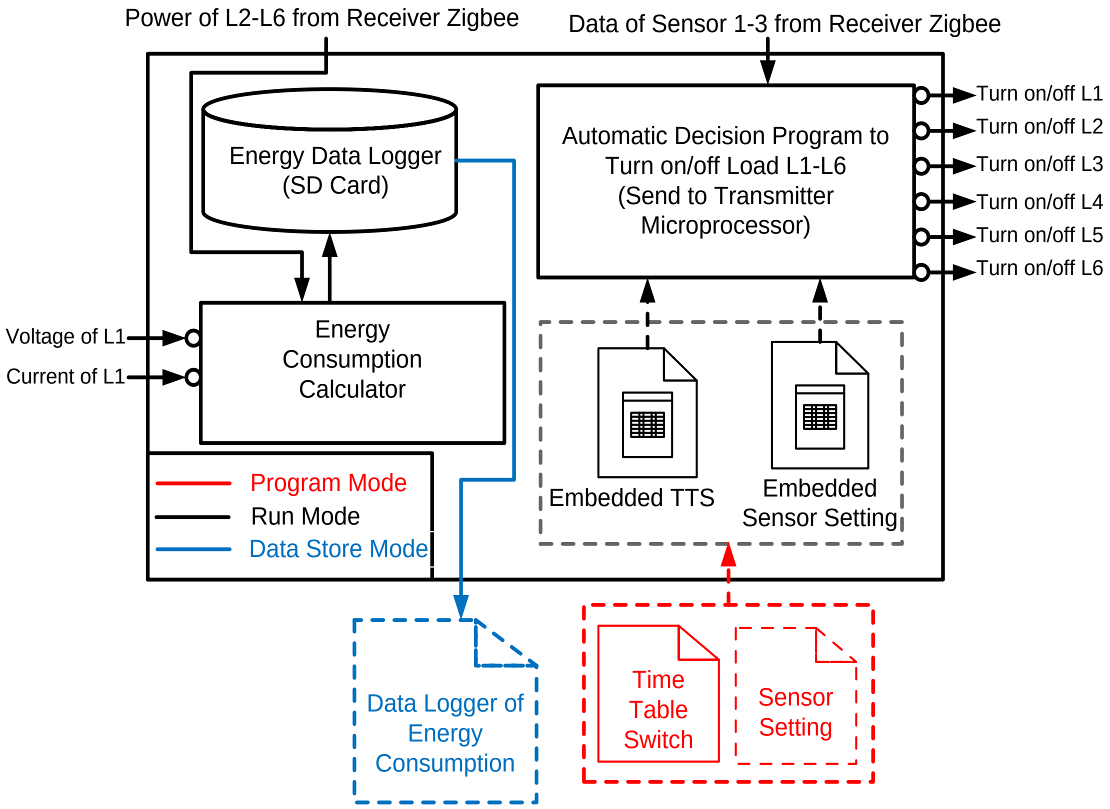
ภาพที่ 5.23 หน้าต่างของโปรแกรม Remote Control

จากภาพที่ 5.23 ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถเปิดปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ได้ โดยการกดที่ปุ่ม Enable Remote Control (ปุ่มบนสุด) ให้เปลี่ยนจากสีเทาเป็นสีเหลืองหรือถ้าเป็นสีเหลืองอยู่แล้วก็ไม่ต้องกด โดยปุ่มนี้จะเป็นปุ่มสำหรับให้ผู้ใช้ไฟฟ้าเลือกว่าจะให้เครื่องใช้ไฟฟ้าทั้งหมดภายในระบบถูกเปิดปิดด้วยระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ (ปุ่ม Enable Remote Control เป็นสีเทา) หรือเปิดปิดด้วยโปรแกรม Remote Control ผ่านทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ (ปุ่ม Enable Remote Control เป็นสีเหลือง) และถ้าปุ่ม Enable Remote Control เป็นสีเหลืองแล้วผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถเปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าเครื่องนั้นได้ โดยการกดที่ปุ่มที่มีชื่อของเครื่องใช้ไฟฟ้าเครื่องนั้นในโปรแกรม Remote Control ให้สีของปุ่มเปลี่ยนจากสีเทาเป็นสีเหลือง และถ้าผู้ใช้ไฟฟ้าต้องการปิดเครื่องใช้ไฟฟ้า เขาต้องกดที่ปุ่มที่มีชื่อของเครื่องใช้ไฟฟ้าเครื่องนั้นในโปรแกรม Remote Control ให้สีของปุ่มเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีเทา ดังนั้นสถานะของปุ่มกดในภาพที่ 3.23 จะทำให้ตู้น้ำดื่มและหลอดไฟในห้องนั่งเล่นเท่านั้นที่เปิดอยู่ ส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้าเครื่องอื่นๆภายในระบบจะถูกปิด

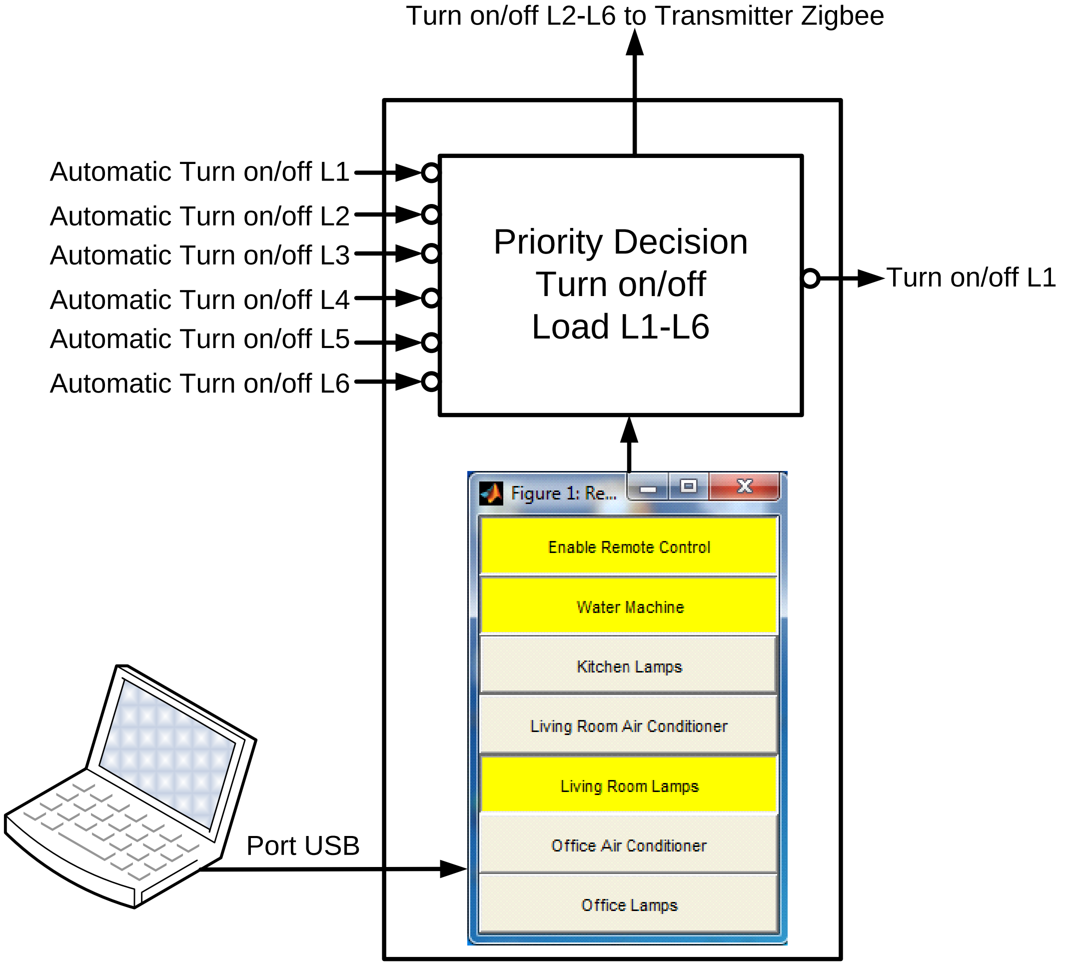
ทั้งหมด และสถานะการทำงานของเครื่องใช้ไฟฟ้าจะยังคงเป็นเช่นเดิมต่อไปถึงแม้ว่าจะปิดโปรแกรม Remote Control, โปรแกรม HEM GUI หรือปิดเครื่องเครื่องคอมพิวเตอร์ไปแล้วก็ตาม

5.3.2 ซอร์ฟแวร์ที่ฝังตัวอยู่กับระบบ

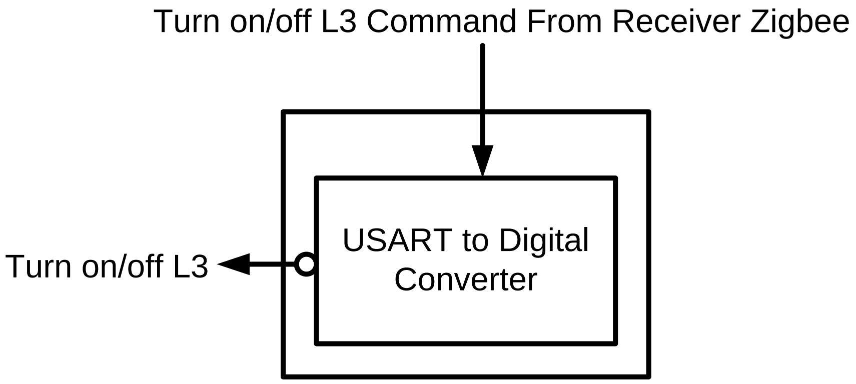
ซอร์ฟแวร์ที่ฝังตัวอยู่กับระบบจัดการพลังงานภายในบ้านที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้คือ ซอร์ฟแวร์ที่ฝังตัวอยู่ในไมโครโปรเซสเซอร์ตัวรับและไมโครโปรเซสเซอร์ตัวส่งที่อยู่ภายในกล่องอัจฉริยะทั้ง 4 กล่องของระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน โดยสามารถเขียน block diagram แสดงการทำงานของซอร์ฟแวร์ภายในไมโครโปรเซสเซอร์ทั้งหมดที่อยู่ภายในกล่องอัจฉริยะที่ 1 ถึงกล่องอัจฉริยะที่ 4 ได้ดังภาพที่ 5.24 ถึง ภาพที่ 5.31 ตามลำดับ



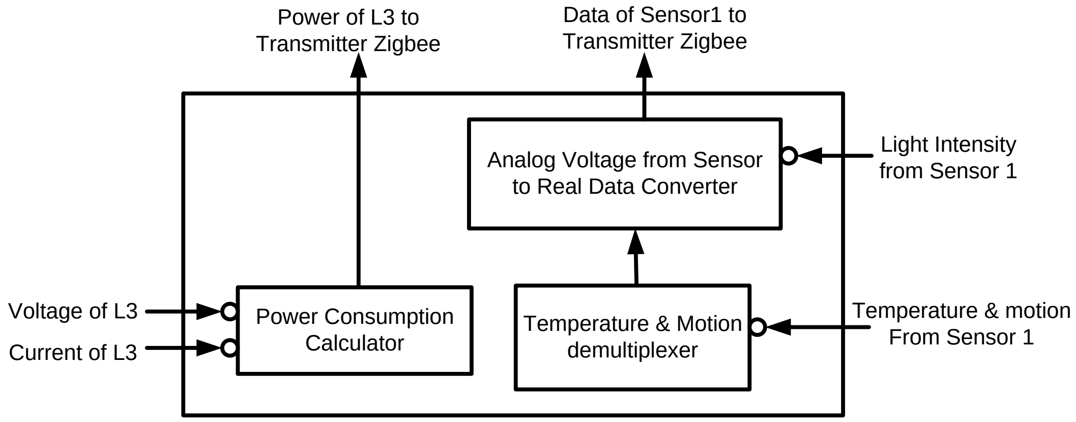
ภาพที่ 5.24 block diagram ของซอร์ฟแวร์ภายในไมโครโปรเซสเซอร์ตัวรับของกล่องอัจฉริยะที่ 1



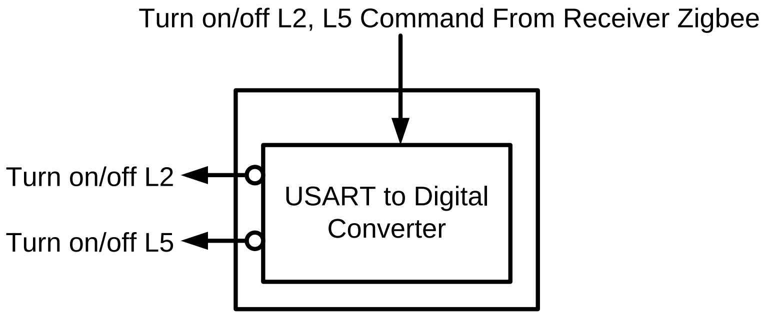
ภาพที่ 5.25 block diagram ของซอร์ฟแวร์ภายในไมโครโปรเซสเซอร์ตัวส่งของกล่องอัจฉริยะที่ 1



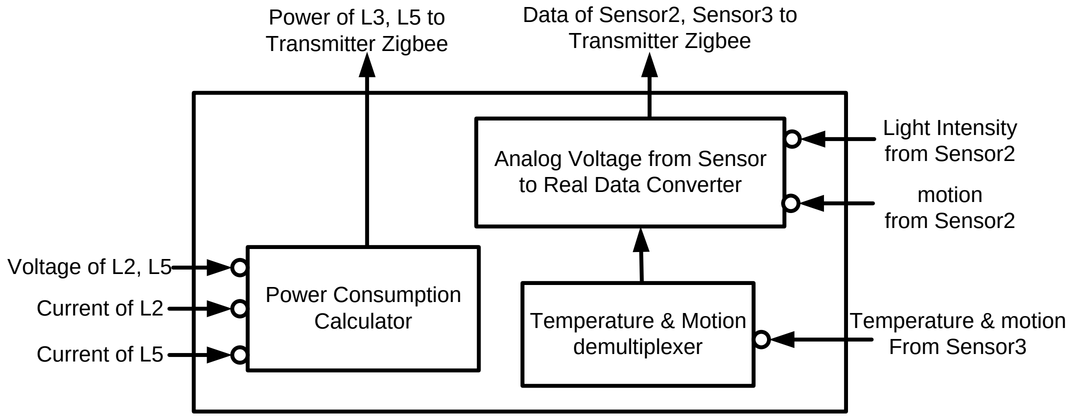
ภาพที่ 5.26 block diagram ของซอร์ฟแวร์ภายในไมโครโปรเซสเซอร์ตัวรับของกล่องอัจฉริยะที่ 2



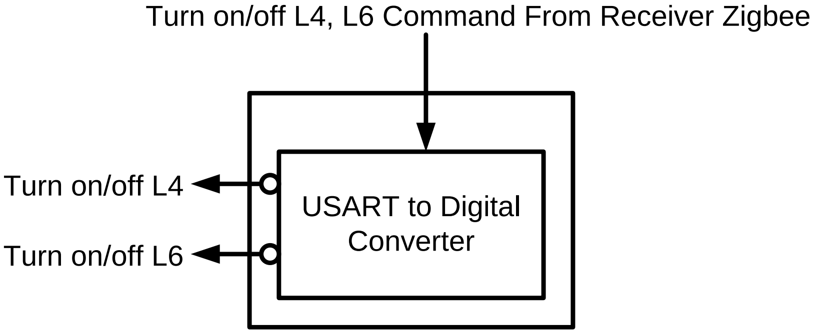
ภาพที่ 5.27 block diagram ของซอร์ฟแวร์ภายในไมโครโปรเซสเซอร์ตัวส่งของกล่องอัจฉริยะที่ 2



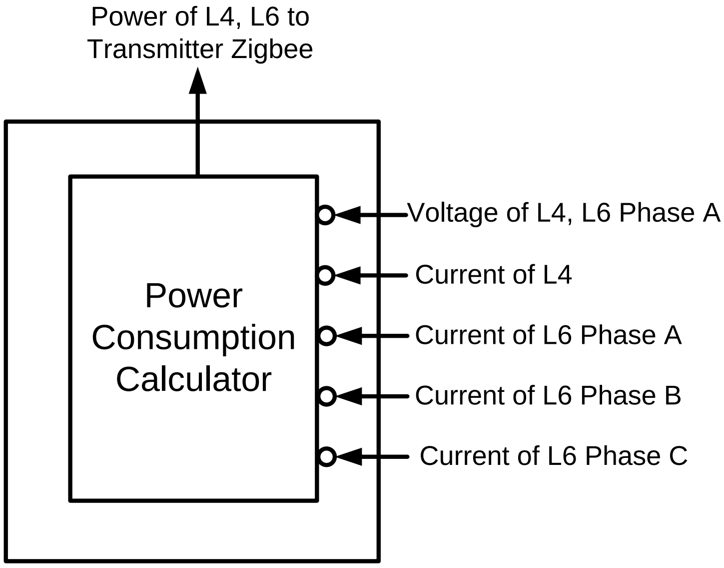
ภาพที่ 5.28 block diagram ของซอร์ฟแวร์ภายในไมโครโปรเซสเซอร์ตัวรับของกล่องอัจฉริยะที่ 3



ภาพที่ 5.29 block diagram ของซอร์ฟแวร์ภายในไมโครโปรเซสเซอร์ตัวส่งของกล่องอัจฉริยะที่ 3



ภาพที่ 5.30 block diagram ของซอร์ฟแวร์ภายในไมโครโปรเซสเซอร์ตัวรับของกล่องอัจฉริยะที่ 4



ภาพที่ 5.31 block diagram ของซอร์ฟแวร์ภายในไมโครโปรเซสเซอร์ตัวส่งของกล่องอัจฉริยะที่ 4

จากภาพที่ 5.24 ถึง ภาพที่ 5.31 สามารถอธิบายได้ว่าซอร์ฟแวร์ทั้งหมดที่ฝังตัวอยู่ภายในไมโครโปรเซสเซอร์ตัวรับและโครโปรเซสเซอร์ตัวส่งของกล่องอัจฉริยะทั้ง 4 กล่อง มีซอร์ฟแวร์ซึ่งทำหน้าที่เป็นหัวสมองหลักของระบบจัดการพลังงานภายในบ้านคือ ซอร์ฟแวร์ภายในไมโครโปรเซสเซอร์ตัวรับของกล่องอัจฉริยะที่ 1(ภาพที่ 5.24) ซึ่งมี 3 โหมดการทำงาน โดยแต่ละโหมดไม่สามารถทำงานพร้อมกันได้ และรายละเอียดของการทำงานในแต่ละโหมดเป็นดังนี้

1) Program Mode ลักษณะการทำงานของโหมดนี้ได้ถูกแสดงไว้แล้วในภาพที่ 5.24 ที่มีลูกศรสีแดงแสดงทิศทางของการส่งข้อมูล โดยเมื่อไมโครโปรเซสเซอร์เข้าสู่ Program Mode แล้วมันจะนำข้อมูลของตารางสวิตซ์ตั้งเวลาอัจฉริยะของโหลดทั้ง 6 (Time Table Switch) และค่า

Lmid และ Tmid ของ Light Sensor และ Temperature Sensor ทุกตัวที่ผู้ใช้ไฟฟ้าได้เคยตั้งค่าไว้ (Sensor Setting) จากไฟล์ในคอมพิวเตอร์ เข้าสู่ไมโครโปรเซสเซอร์และทำให้เกิดเป็นไฟล์ที่ฝังตัวอยู่ในไมโครโปรเซสเซอร์ที่มีชื่อว่า Embeded TTS และ Embeded Sensor Setting ตามลำดับ

2) Run Mode ลักษณะการทำงานของโหมดนี้ได้ถูกแสดงไว้แล้วในภาพที่ 5.24 ที่มีลูกศรสีดำแสดงทิศทางของการส่งข้อมูล โดยเมื่อไมโครโปรเซสเซอร์เริ่มเข้าสู่ Run Mode แล้ว มันจะนำข้อมูลของตารางสวิตซ์ตั้งเวลาอัจฉริยะของโหลดทั้ง 6 (Embeded TTS) และค่า Lmid และ Tmid ของ Light Sensor และ Temperature Sensor ทุกตัวที่ผู้ใช้ไฟฟ้าได้เคยตั้งค่าไว้ (Embeded Sensor Setting) จากไฟล์ที่ฝังตัวอยู่ในไมโครโปรเซสเซอร์ พร้อมทั้งนำข้อมูลของสภาพแวดล้อมภายในระบบที่เซ็นเซอร์ทุกตัวอ่านค่าได้จากซิ๊กบีตัวรับข้อมูล เข้าสู่โปรแกรมตัดสินใจการเปิดปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าแบบอัตโนมัติ (Automatic Decision Program to Turn on/off Load L1-L6) เพื่อทำการตัดสินใจเปิด-ปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าทั้งหมดภายในระบบและส่งค่าการตัดสินใจไปยังไมโครโปรเซสเซอร์ตัวส่งข้อมูลต่อไป โดยมีเงื่อนไขของการตัดสินใจคือ เงื่อนไขของระบบควบคุมแบบอัตโนมัติ (Automatic Controlling) ดังที่กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 4.1.2 และเงื่อนไขของตารางสวิตซ์ตั้งเวลาอัจฉริยะ ณ เวลานั้นๆต้องสั่งให้เปิดเครื่องใช้ไฟฟ้าทั้งคู่ แล้วเครื่องใช้ไฟฟ้านั้นจึงจะทำงาน โดยโหลดทั้งหมดภายในระบบจัดการพลังงานภายในบ้านจะถูกควบคุมโดยทั้ง 2 เงื่อนไขนี้ ยกเว้นเครื่องทำน้ำร้อน – เย็น (โหลด L1) ซึ่งถูกควบคุมโดยเงื่อนไขของตารางสวิตซ์ตั้งเวลาอัจฉริยะเท่านั้น ในเวลาเดียวกัน ไมโครโปรเซสเซอร์ตัวนี้ยังทำหน้าที่คำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าที่โหลดทั้งหมดภายในระบบใช้ไป (Energy Consumption Calculator) โดยการรับข้อมูลของค่ากำลังไฟฟ้าของโหลด L2 – L5 จากซิ๊กบีตัวรับข้อมูลทุกๆ 0.001 วินาทีและคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่โหลดแต่ละตัวภายในระบบใช้ไปทุกๆ 30 นาทีตามสมการที่ 5.11 ก่อนส่งค่าดังกล่าวไปยัง SD Card ทุกๆ 30 นาทีต่อไป

$$E = \frac{\sum_{t=1}^{1800000} P(t)}{3600000} \tag{5.11}$$

เมื่อ E คือ ค่าพลังงานไฟฟ้าที่โหลดแต่ละตัวภายในระบบใช้ไปทุกๆ 30 นาที (kilowatt-hour)

P(t) คือ ค่ากำลังไฟฟ้าที่โหลดแต่ละตัวภายในระบบใช้ไปทุกๆ 0.001 วินาที (kilowatt)

ส่วนค่าพลังงานที่โหลด L1 ใช้ไปทุกๆ 30 นาทีสามารถคำนวณได้จากข้อมูลดิบขนาด 12 bit ของค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าของโหลด L1 ที่ไมโครโปรเซสเซอร์ตัวนี้รับค่าเข้ามาทุกๆ 0.001 วินาที ก่อนการคำนวณ ข้อมูลดิบเหล่านี้ต้องถูกแปลงให้เป็นข้อมูลของค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าของโหลด L1 ที่แท้จริงก่อน โดยโปรแกรม Energy Consumption Calculator ซึ่งอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลดิบและข้อมูลจริงของค่ากระแสไฟฟ้าและค่าแรงดันไฟฟ้าดังสมการที่ 5.3 และสมการที่ 5.6 ตามลำดับที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้น หลังจากนั้นโปรแกรมนี้จะทำหน้าที่คำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าที่โหลด L1 ใช้ไปทุกๆ 0.001 วินาทีตามสมการที่ 5.12 ก่อนที่จะคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้าตามสมการที่ 5.11 และส่งค่าดังกล่าวไปยัง SD Card ทุกๆ 30 นาทีต่อไป

$$P(t) = \frac{v(t) \times i(t)}{1000} \tag{5.12}$$

เมื่อ P(t) คือ ค่ากำลังไฟฟ้าที่โหลดใช้ไปทุกๆ 0.001 วินาที (kilowatt-hour)

v(t) คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าของโหลดที่คำนวณได้จากข้อมูลดิบทุกๆ 0.001 วินาที (volt)

i(t) คือ ค่ากระแสไฟฟ้าของโหลดที่คำนวณได้จากข้อมูลดิบทุกๆ 0.001 วินาที (Ampare)

3) Data Store Mode ลักษณะการทำงานของโหมดนี้ได้ถูกแสดงไว้แล้วในภาพที่ 5.24 ที่มีลูกศรสีฟ้าแสดงทิศทางการส่งข้อมูล โดยเมื่อไมโครโปรเซสเซอร์เข้าสู่ Data Store Mode แล้ว มันจะนำข้อมูลของค่าพลังงานไฟฟ้าที่โหลดแต่ละตัวภายในระบบใช้ไปทุกๆ 30 นาที (Energy Data Loger) จากไฟล์ใน SD Card เข้าสู่คอมพิวเตอร์ และทำให้เกิดเป็นไฟล์ในคอมพิวเตอร์ชื่อว่า Data Logger of Energy Consumption

ในขณะที่ไมโครโปรเซสเซอร์ตัวรับของกล่องอัจฉริยะที่ 1 กำลังทำงานใน Run Mode อยู่นั้น ไมโครโปรเซสเซอร์ตัวส่งของกล่องอัจฉริยะที่ 1 จะทำหน้าที่รับคำสั่งของการตัดสินใจเปิด-ปิดโหลดทั้ง 6 จากไมโครโปรเซสเซอร์ตัวรับ (ดูภาพที่ 5.25 ประกอบ) พร้อมทั้งรับคำสั่งจากโปรแกรม Remote Control ผ่านทาง Port USB ของคอมพิวเตอร์ ให้เข้าสู่โปรแกรม Priority Decision turn on/off Load L1 – L6 เพื่อตัดสินใจเปิด-ปิดโหลดทั้งหมดภายในระบบขั้นสุดท้าย โดยมีเงื่อนไขของการตัดสินใจขึ้นอยู่กับสถานะของปุ่ม Enable Remote Control ในโปรแกรม Remote Control ถ้าปุ่มนี้อยู่ในสถานะถูกกด Load L1 – L6 จะถูกเปิดปิดตามคำสั่งจากโปรแกรม Remote Control เท่านั้น แต่ถ้าปุ่มนี้อยู่ในสถานะถูกปล่อย Load L1 – L6 จะถูกเปิดปิดตามคำสั่งของการตัดสินใจ

จากไมโครโปรเซสเซอร์ตัวรับของกล่องอัจฉริยะที่ 1 เท่านั้น หลังจากที่โปรแกรม Priority Decision turn on/off Load L1 – L6 ได้ตัดสินใจเปิด-ปิดโหลดเป็นที่เรียบร้อยแล้วมันจะส่งคำสั่งไปยังส่วนต่างๆของระบบจัดการพลังงานภายในบ้านดังต่อไปนี้

1) คำสั่งเปิด-ปิดโหลด L1 จะถูกส่งเป็นสัญญาณแรงดันดิจิตอลไปยังวงจรตัดต่อโหลด L1

2) คำสั่งเปิด-ปิดโหลด L3 จะถูกส่งไปยังซิ๊กบีตัวส่งของกล่องอัจฉริยะที่ 1 หลังจากที่ซิ๊กบีดังกล่าวได้ส่งค่าออกไป ซิ๊กบีตัวรับของกล่องอัจฉริยะที่ 2 จะรับค่าสัญญาณนั้นและส่งสัญญาณ USART ที่รับมาจากซิ๊กบีตัวส่งของกล่องอัจฉริยะที่ 1 ไปยังไมโครโปรเซสเซอร์ตัวรับของกล่องอัจฉริยะที่ 2 เพื่อให้สัญญาณดังกล่าวเข้าสู่โปรแกรม USART to Digital Converter (ดูภาพที่ 5.26 ประกอบ) ซึ่งทำหน้าที่แปลงสัญญาณประเภท USART เป็นสัญญาณแรงดันดิจิตอลไปยังวงจรตัดต่อโหลด L3 ต่อไป

3) คำสั่งเปิด-ปิดโหลด L2 และ L5 จะถูกส่งไปยังซิ๊กบีตัวส่งของกล่องอัจฉริยะที่ 1 หลังจากที่ซิ๊กบีดังกล่าวได้ส่งค่าออกไป ซิ๊กบีตัวรับของกล่องอัจฉริยะที่ 3 จะรับค่าสัญญาณนั้นและส่งสัญญาณ USART ที่รับมาจากซิ๊กบีตัวส่งของกล่องอัจฉริยะที่ 1 ไปยังไมโครโปรเซสเซอร์ตัวรับของกล่องอัจฉริยะที่ 3 เพื่อให้สัญญาณดังกล่าวเข้าสู่โปรแกรม USART to Digital Converter (ดูภาพที่ 5.28 ประกอบ) ซึ่งทำหน้าที่แปลงสัญญาณประเภท USART เป็นสัญญาณแรงดันดิจิตอลไปยังวงจรตัดต่อโหลด L2 และวงจรตัดต่อโหลด L5 ต่อไป

4) คำสั่งเปิด-ปิดโหลด L4 และ L6 จะถูกส่งไปยังซิ๊กบีตัวส่งของกล่องอัจฉริยะที่ 1 หลังจากที่ซิ๊กบีดังกล่าวได้ส่งค่าออกไป ซิ๊กบีตัวรับของกล่องอัจฉริยะที่ 4 จะรับค่าสัญญาณนั้นและส่งสัญญาณ USART ที่รับมาจากซิ๊กบีตัวส่งของกล่องอัจฉริยะที่ 1 ไปยังไมโครโปรเซสเซอร์ตัวรับของกล่องอัจฉริยะที่ 4 เพื่อให้สัญญาณดังกล่าวเข้าสู่โปรแกรม USART to Digital Converter (ดูภาพที่ 5.30 ประกอบ) ซึ่งทำหน้าที่แปลงสัญญาณประเภท USART เป็นสัญญาณแรงดันดิจิตอลไปยังวงจรตัดต่อโหลด L2 และวงจรตัดต่อโหลด L5 ต่อไป

ในขณะที่คำสั่งเปิด-ปิดโหลดทั้ง 6 ถูกถ่ายทอดโดยซิ๊กบีและไมโครโปรเซสเซอร์อยู่นั้น ข้อมูลของสภาพแวดล้อมต่างๆภายในระบบที่ถูกวัดโดยเซ็นเซอร์และค่ากำลังไฟฟ้าที่โหลดแต่ละตัวใช้ไป จะถูกส่งจากไมโครโปรเซสเซอร์ตัวส่งของกล่องอัจฉริยะที่ 2 ไมโครโปรเซสเซอร์ตัวส่งของกล่องอัจฉริยะที่ 3 และไมโครโปรเซสเซอร์ตัวส่งของกล่องอัจฉริยะที่ 4 ไปยังไมโครโปรเซสเซอร์ตัวรับของกล่องอัจฉริยะที่ 1 โดยซิ๊กบีซึ่งต่ออยู่กับไมโครโปรเซสเซอร์เหล่านั้น และหลักการทำงานของโปรแกรมภายในไมโครโปรเซสเซอร์ตัวส่งของกล่องอัจฉริยะดังกล่าวเป็นดังนี้

1) ไมโครโปรเซสเซอร์ตัวส่งของกล่องอัจฉริยะที่ 2 มีหลักการทำงานแบ่งออกเป็น 2 ส่วน (ดูภาพที่ 5.27 ประกอบ) ได้แก่ ส่วนคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าที่โหลด L3 ใช้ไปทุกๆ 0.001 วินาที (Power Consumption Calculator) ซึ่งมีหลักการคำนวณเหมือนกับการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าที่โหลด L1 ใช้ไปทุกๆ 0.001 วินาที และส่วนการแปลงข้อมูลดิบที่วัดได้จากเซ็นเซอร์เป็นข้อมูลที่แท้จริง โดยในส่วนนี้ไมโครโปรเซสเซอร์ตัวส่งของกล่องอัจฉริยะที่ 2 จะรับค่าแรงดันแบบมัลติเพลซจากวงจรวัดอุณหภูมิและตรวจจับการเคลื่อนไหวของมนุษย์ของเซนเซอร์ตัวที่ 1 ด้วยความละเอียดขนาด 12 bit ของขา A/D Converter เข้าสู่โปรแกรม Temperature & Motion Demultiplexer เพื่อแยกข้อมูลดิบของค่าอุณหภูมิที่วัดได้ และข้อมูลดิบของการมีมนุษย์อาศัยอยู่ในบริเวณนั้นออกจากกัน โดยอาศัยหลักการคือ ข้อมูลดิบของค่าอุณหภูมิที่วัดได้จะเป็นสัญญาณแรงดันแบบอะนาล็อกซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0 – 3 V แต่จะไม่เป็น 0 V หรือ 3 V พอดี ส่วนข้อมูลดิบของการมีมนุษย์อาศัยอยู่ในบริเวณนั้นจะเป็นสัญญาณแรงดันแบบดิจิตอลซึ่งมีค่าเป็น 0 V หรือ 3 V เท่านั้น หลังจากที่ไมโครโปรเซสเซอร์สามารถแยกข้อมูลดิบดังกล่าวได้เรียบร้อยแล้ว มันจะนำข้อมูลดิบของค่าอุณหภูมิที่วัดได้ ข้อมูลดิบของการมีมนุษย์อาศัยอยู่ในบริเวณนั้น และข้อมูลดิบของความเข้มแสงจากเซนเซอร์ตัวที่ 1 ด้วยความละเอียดขนาด 12 bit จากขา A/D Converter เข้าสู่โปรแกรม Analog Voltage from Sensor to Real Data Converter เพื่อทำหน้าที่แปลงข้อมูลดิบที่วัดได้จากเซนเซอร์ทั้งหมดเป็นข้อมูลที่แท้จริง โดยข้อมูลดิบของค่าอุณหภูมิที่วัดได้จะอาศัยความสัมพันธ์ตามสมการที่ 5.13 ในการแปลงค่า

$$T = 6.33V_i + 13 \tag{5.13}$$

เมื่อ T คือ ค่าอุณหภูมิที่แท้จริงของบริเวณนั้นๆ (^{O}C)

V_i คือ ค่าแรงดันของข้อมูลดิบของอุณหภูมิที่ไมโครโปรเซสเซอร์รับเข้ามา (Volt)

โดยสมการที่ 5.13 นี้สามารถคำนวณได้จากข้อมูลในหัวข้อ 5.2.2 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ ส่วนข้อมูลดิบของค่าความเข้มแสงที่วัดได้จะอาศัยความสัมพันธ์ตามสมการที่ 5.7 ในหัวข้อ 5.2.1 เซนเซอร์วัดความเข้มแสงในการแปลงค่า เมื่อโปรแกรม Analog Voltage from Sensor to Real Data Converter สามารถแปลงข้อมูลดิบที่วัดได้จากเซนเซอร์ทั้งหมดเป็นข้อมูลที่แท้จริงได้เรียบร้อยแล้ว ไมโครโปรเซสเซอร์ตัวนี้จะส่งข้อมูลของค่ากำลังไฟฟ้าที่โหลด L3 ใช้ไปทุกๆ 0.001 วินาที และข้อมูลที่แท้จริงของค่าต่างๆที่เซนเซอร์ตัวที่ 1 วัดได้ไปยังซิ๊กบีตัวส่งต่อไป

2) ไมโครโปรเซสเซอร์ตัวส่งของกล่องอัจฉริยะที่ 3 มีหลักการทำงานแบ่งออกเป็น 2 ส่วน (ดูภาพที่ 5.29 ประกอบ) ได้แก่ ส่วนคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าที่โหลด L2 และ L5 ใช้ไปทุกๆ 0.001 วินาที (Power Consumption Calculator) ซึ่งมีหลักการคำนวณเช่นเดียวกับการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าที่โหลด L1 ใช้ไปทุกๆ 0.001 วินาที และส่วนการแปลงข้อมูลดิบที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ตัวที่ 2 และเซ็นเซอร์ตัวที่ 3 เป็นข้อมูลที่แท้จริง โดยมีหลักการแปลงข้อมูลเช่นเดียวกับการแปลงข้อมูลดิบเป็นข้อมูลที่แท้จริงของไมโครโปรเซสเซอร์ตัวส่งของกล่องอัจฉริยะที่ 2 ที่ได้กล่าวมาแล้ว หลังจากนั้น ไมโครโปรเซสเซอร์ตัวนี้จะส่งข้อมูลของค่ากำลังไฟฟ้าที่โหลด L2 และ L5 ใช้ไปทุกๆ 0.001 วินาที และข้อมูลที่แท้จริงของค่าต่างๆที่เซนเซอร์ตัวที่ 2 และเซนเซอร์ตัวที่ 3 วัดได้ไปยังซิ๊กบีตัวส่งต่อไป

3) ไมโครโปรเซสเซอร์ตัวส่งของกล่องอัจฉริยะที่ 4 จะทำหน้าที่คำนวณค่ากำลังไฟฟ้าที่โหลด L4 และ L6 ใช้ไปทุกๆ 0.001 วินาที (ดูภาพที่ 5.31 ประกอบ) โดยโปรแกรม Power Consumption Calculator และส่งค่ากำลังไฟฟ้าของโหลดดังกล่าวไปยังซิ๊กบีตัวส่งต่อไป ซึ่งการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าที่โหลด L4 ใช้ไปทุกๆ 0.001 วินาที มีหลักการคำนวณเช่นเดียวกับการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าที่โหลด L1 ใช้ไปทุกๆ 0.001 วินาที ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ส่วนการคำนวณค่ากำลังไฟฟ้าที่โหลด L6 ซึ่งเป็นโหลด 3 เฟส ใช้ไปทุกๆ 0.001 วินาที มีหลักการทำงานตามลำดับดังต่อไปนี้

3.1) โปรแกรม Power Consumption Calculator จะรับข้อมูลดิบของค่าแรงดันไฟฟ้าเฟส A ของโหลด L6 (ค่าเดียวกันกับค่าแรงดันไฟฟ้าของโหลด L4) ค่ากระแสไฟฟ้าเฟส A ของโหลด L6 ค่ากระแสไฟฟ้าเฟส B ของโหลด L6 และค่ากระแสไฟฟ้าเฟส C ของโหลด L6 แล้วแปลงค่าข้อมูลดิบเหล่านี้ให้เป็นข้อมูลที่แท้จริงทั้งหมด โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลดิบและข้อมูลจริงของค่ากระแสไฟฟ้าและค่าแรงดันไฟฟ้าดังสมการที่ 5.3 และสมการที่ 5.6 ตามลำดับที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้น

3.2) เมื่อได้ข้อมูลที่แท้จริงของกระแสและแรงดันของโหลด L6 แล้ว โปรแกรม Power Consumption Calculator จะนำข้อมูลนี้ไปคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าที่โหลด L6 ใช้ไป ตามสมการที่ 5.14 ก่อนส่งค่ากำลังไฟฟ้าดังกล่าวไปยังซิ๊กบีตัวส่งข้อมูลทุกๆ 0.001 วินาทีต่อไป

$$P(t) = \frac{V_A(t)\times I_A(t) + V_B(t)\times I_B(t) + V_C(t)\times I_C(t)}{1000} \quad (5.14)$$

เมื่อ P(t) คือ ค่ากำลังไฟฟ้าที่โหลด L6 ใช้ไปทุกๆ 0.001 วินาที (kilowatt)

$V_A(t)$ คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าเฟส A ที่แท้จริงของโหลด L6 (Volt)

$I_A(t)$ คือ ค่ากระแสไฟฟ้าเฟส A ที่แท้จริงของโหลด L6 (Ampare)

$V_B(t)$ คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าเฟส B ที่แท้จริงของโหลด L6 (Volt) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 5.15 ดังต่อไปนี้

$$V_B(t) = \left(-\frac{V_A(t)}{2} + \frac{\sqrt{3}}{200\pi} \cdot \frac{d}{dt}\left(V_A(t)\right) \right) \times I_B(t) \tag{5.15}$$

$I_B(t)$ คือ ค่ากระแสไฟฟ้าเฟส B ที่แท้จริงของโหลด L6 (Ampare)

$V_C(t)$ คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าเฟส C ที่แท้จริงของโหลด L6 (Volt) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 5.16 ดังต่อไปนี้

$$V_C(t) = \left(-\frac{V_A(t)}{2} - \frac{\sqrt{3}}{200\pi} \cdot \frac{d}{dt}\left(V_A(t)\right) \right) \times I_C(t) \tag{5.16}$$

$I_C(t)$ คือ ค่ากระแสไฟฟ้าเฟส C ที่แท้จริงของโหลด L6 (Ampare)

หมายเหตุ สมการที่ 5.15 และสมการที่ 5.16 เกิดจากการประมาณว่า รูปคลื่นของแรงดัน V_A, V_B และ V_C มีลักษณะเหมือนกันและเป็นคลื่นรูปไซน์ที่มีความถี่ 50 Hz โดย V_B มีเฟสล้าหลัง V_A อยู่ 120° และ V_C มีเฟสล้าหลัง V_A อยู่ 240°

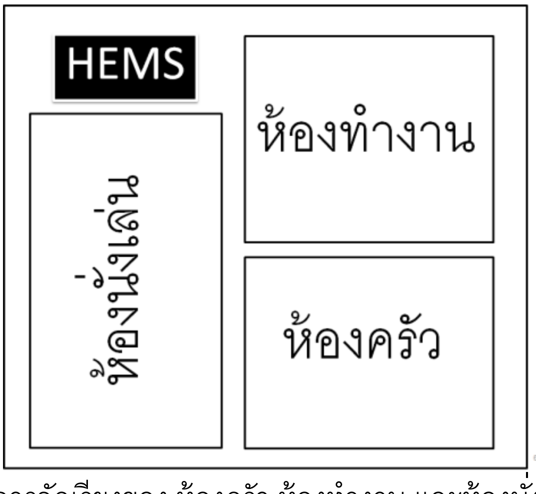
บทที่ 6

การทดสอบเชิงสมรรถนะของระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน

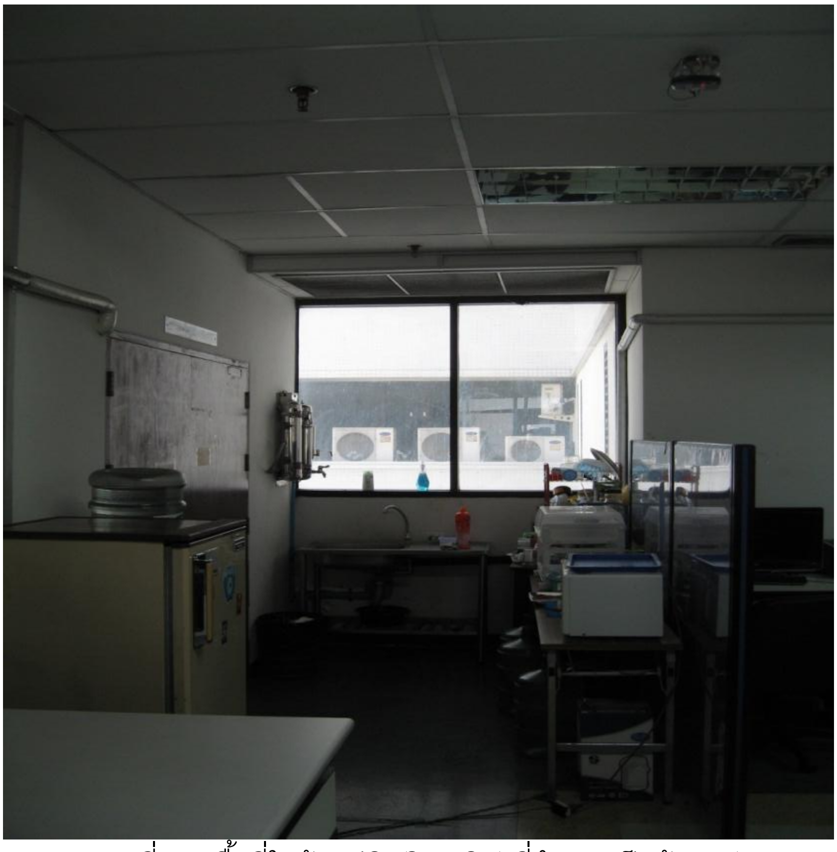
ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดสอบเชิงสมรรถนะของระบบจัดการพลังงานภายในบ้านที่ได้พัฒนาขึ้น เพื่อหาคำตอบว่า แนวคิดของระบบจัดการพลังงานภายในบ้านที่ได้ออกแบบไว้จนก่อให้เกิดการพัฒนาระบบที่ใช้งานได้จริงนั้น สามารถช่วยลดการใช้พลังงานภายในบ้านได้มากน้อยเพียงใด และจะคุ้มค่าหรือไม่ถ้าจะลงทุนติดตั้งระบบจัดการพลังงานภายในบ้านนี้ กับบ้านเรือนที่อยู่ในประเทศไทย โดยเนื้อหาในบทนี้ประกอบด้วย ระบบทดสอบ วิธีการทดสอบ ผลการทดสอบ และการวิเคราะห์ผลการทดสอบ

6.1 ระบบทดสอบ

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้เลือกบริเวณพื้นที่ในห้องปฏิบัติการวิจัยระบบไฟฟ้ากำลังและพลังงาน ของภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จำลองเป็นบ้านหนึ่งหลัง ซึ่งในบ้านหนึ่งหลังนี้ประกอบไปด้วยห้อง 3 ห้อง ได้แก่ ห้องครัว (บริเวณอ่างล้างมือจนถึงบริเวณชั้นวางของหน้าห้อง อ.ดร.ธวัชชัย เตชัสอนันต์) ห้องทำงาน (ห้องทำงานของ ผศ.ดร. แนบบุญ หุนเจริญ) และห้องนั่งเล่น (พื้นที่ของโถงกลางในห้องปฏิบัติการวิจัย) โดยโครงสร้างการจัดเรียงห้องทั้ง 3 ห้องในบ้าน 1 หลังเมื่อมองจากมุมมองด้านบน (Top View) เป็นดังภาพที่ 6.1 และภาพถ่ายจากสถานที่จริงของห้องทั้ง 3 ห้องดังกล่าวเป็นดังภาพที่ 6.2 ภาพที่ 6.3 และภาพที่ 6.4 ตามลำดับ



ภาพที่ 6.1 โครงสร้างการจัดเรียงของ ห้องครัว ห้องทำงาน และห้องนั่งเล่นภายในบ้าน 1 หลัง



ภาพที่ 6.2 พื้นที่ในห้องปฏิบัติการวิจัยที่จำลองเป็นห้องครัว

ภาพที่ 6.3 พื้นที่ในห้องปฏิบัติการวิจัยที่จำลองเป็นห้องทำงาน

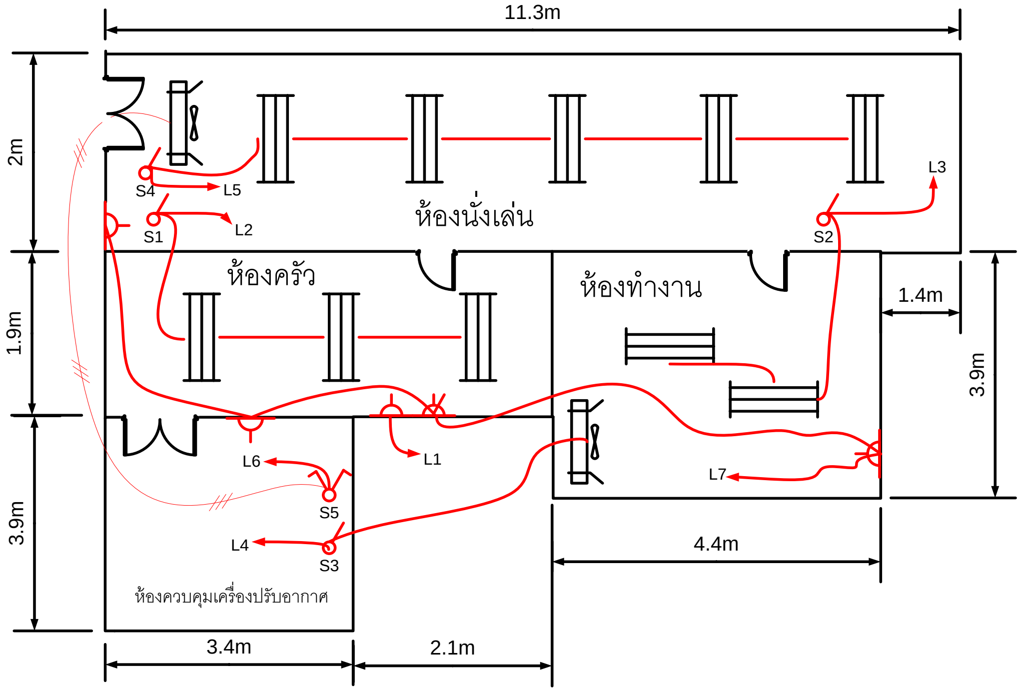
ภาพที่ 6.4 พื้นที่ในห้องปฏิบัติการวิจัยที่จำลองเป็นห้องนั่งเล่น

โดยในห้องแต่ละห้องที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้นประกอบด้วยโหลดที่ต้องการนำมาใช้ในระบบจัดการพลังงานภายในบ้านดังตารางที่ 6.1

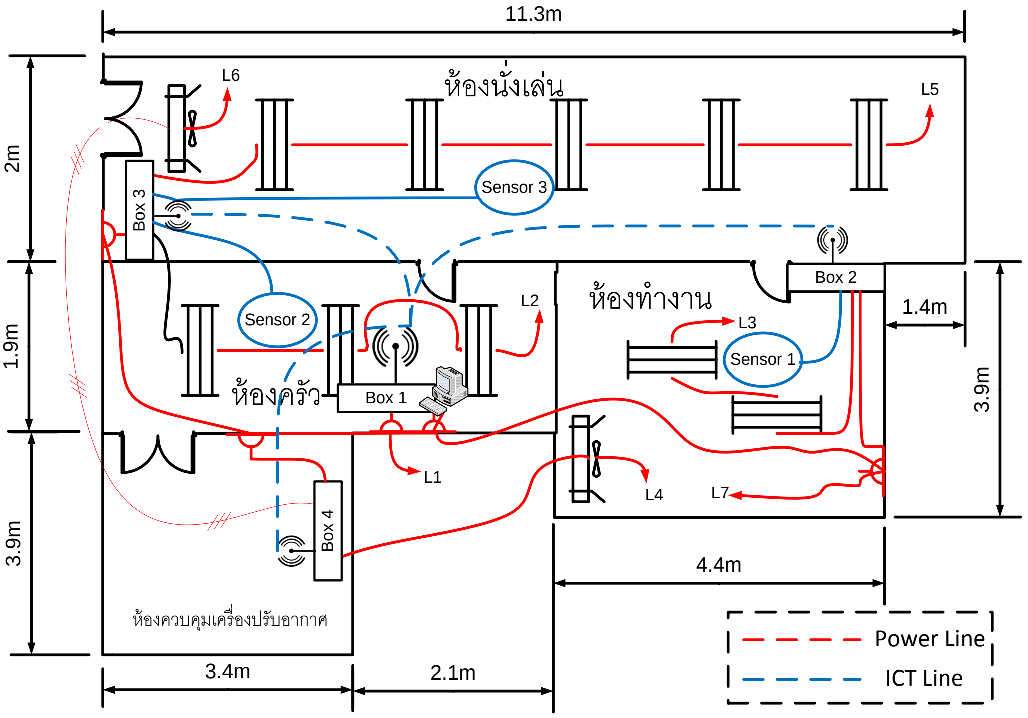
ตารางที่ 6.1 โหลดทั้งหมดที่ต้องการนำมาใช้ในระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน

ห้อง	ลำดับโหลด	รายการโหลด	พิกัดกำลังไฟฟ้า (VA)
ห้องครัว	1	เครื่องทำน้ำร้อน – เย็น	762.5
	2	หลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 W 9 หลอด	540
ห้องทำงาน	3	หลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 W 6 หลอด	360
	4	เครื่องปรับอากาศเฟสเดียว 12,000 BTU	1500
ห้องนั่งเล่น	5	หลอดฟลูออเรสเซนต์ 36 W 15 หลอด	900
	6	เครื่องปรับอากาศ 3 เฟสเดียว 36,000 BTU	4500
รวมโหลดทั้งหมด (VA)			8702.5

โดยระบบไฟฟ้าภายในบ้านก่อนติดตั้งระบบจัดการพลังงานและหลังติดตั้งระบบจัดการพลังงานสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 6.5 และ ภาพที่ 6.6 ตามลำดับ



ภาพที่ 6.5 ระบบไฟฟ้าภายในบ้านก่อนติดตั้งระบบจัดการพลังงาน



ภาพที่ 6.6 ระบบไฟฟ้าภายในบ้านหลังติดตั้งระบบจัดการพลังงาน

6.2 วิธีการทดสอบ

หลังจากที่ระบบจัดการพลังงานภายในบ้านได้ถูกพัฒนาและติดตั้งในพื้นที่ของห้องปฏิบัติการวิจัยระบบไฟฟ้ากำลังและพลังงาน ซึ่งจำลองเป็นบ้าน 1 หลัง เป็นที่เรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือ การปรับเทียบความแม่นยำของเครื่องมือวัดผลการใช้พลังงานไฟฟ้า และการวางแผนการทดสอบ ตามลำดับ โดยมีรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนดังนี้

6.2.1 การปรับเทียบความแม่นยำของเครื่องมือวัดผลการใช้พลังงานไฟฟ้า

ผลการทดสอบระบบจัดการพลังงานภายในบ้านจะมีความน่าเชื่อถือมากน้อยเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับ ความเที่ยงตรงและแม่นยำของเครื่องมือวัดพลังงานไฟฟ้าของระบบซึ่งทำหน้าที่วัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่โหลดแต่ละตัวใช้ไป โดยผู้วิจัยได้ได้สอบเทียบเครื่องมือวัดของระบบ กับเครื่องมือวัดของสถาบันวิจัยพลังงาน ยี่ห้อ CHAUVIN ARNOUX (พิกัดแรงดัน 600 V พิกัดกระแส 1000 A ถ้าวัดกำลังไฟฟ้าในย่าน 10 W – 5999 W จะมีความผิดพลาดสูงสุด 1 W ดูภาพที่ 6.7 ประกอบ) เพื่อวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่โหลดแต่ละตัวภายในระบบใช้ไปเป็นเวลา 1 นาทีในขณะเปิดโหลด และได้ผลการสอบเทียบเป็นไปดังตารางที่ 6.2

ภาพที่ 6.7 เครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้ายี่ห้อ CHAUVIN ARNOUX ของสถาบันวิจัยพลังงาน

ตารางที่ 6.2 ผลการสอบเทียบเครื่องมือวัดของระบบกับเครื่องมือวัดของสถาบันวิจัยพลังงาน

ชื่อโหลด	กำลังไฟฟ้าที่เครื่องมือวัดอ่านได้เฉลี่ยภายใน 1 นาที (Watt)		% ความผิดพลาด
	เครื่องมือวัดของระบบ	เครื่องมือวัดของสถาบันวิจัยฯ	
โหลด L1	ทำน้ำเย็น136.6, ทำน้ำร้อน 436.1	ทำน้ำเย็น141.3,ทำน้ำร้อน 451.1	3.33%
โหลด L2	105.3	111.1	5.22%
โหลด L3	223.1	231.0	5.78%
โหลด L4	1231	1275	3.45%
โหลด L5	370.2	390.1	5.10%
โหลด L6	2728	2825	3.43%

จากตารางที่ 6.2 สามารถอธิบายได้ว่า % ความผิดพลาดของเครื่องมือวัดของระบบกับเครื่องมือวัดของสถาบันวิจัยพลังงานมีค่าไม่เกิน 6% และค่าที่เครื่องมือวัดของระบบอ่านได้จะมีค่าน้อยกว่าค่าที่เครื่องมือวัดของสถาบันวิจัยพลังงานอ่านได้เสมอ เนื่องจากค่าที่เครื่องมือวัดของระบบอ่านได้ เกิดจากการสุ่มค่ากระแสและค่าแรงดันที่มีความถี่น้อยกว่าความถี่ในการสุ่มค่ากระแสและค่าแรงดันของเครื่องมือวัดของสถาบันวิจัยพลังงาน นอกจากนี้แล้ว ความผิดพลาดในการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าของโหลดประเภทหลอดฟลูออเรสเซนต์ของระบบจะมีค่าสูงกว่าความผิดพลาดในการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าของโหลดประเภทอื่นๆ เนื่องจากรูปคลื่นของกระแสไฟฟ้าของโหลดประเภทนี้ไม่เป็นรูปไซน์อันเนื่องจากการสวิตซ์ซิ่งของบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์

เพื่อให้ผลการทดสอบมีความถูกต้อง จึงต้องเพิ่มค่าคงที่ (Factor) เพื่อใช้ในการคูณค่ากำลังไฟฟ้าที่ระบบวัดได้ให้สอดคล้องกับค่ากำลังไฟฟ้าที่แท้จริง ก่อนที่ระบบจะส่งค่าดังกล่าวไปยังโปรแกรมคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้าต่อไป โดยค่าคงที่ดังกล่าวของโหลดทั้ง 6 นั้นเป็นไปดังตารางที่ 6.3 ซึ่งเกิดจากการนำข้อมูลในตารางที่ 6.2 มาคำนวณ

ตารางที่ 6.3 ค่าคงที่ (Factor) เพื่อคูณค่ากำลังไฟฟ้าที่ระบบวัดได้ของโหลดทั้ง 6

ชื่อโหลด	โหลด L1	โหลด L2	โหลด L3	โหลด L4	โหลด L5	โหลด L6
ค่าคงที่ (Factor)	1.0344	1.0551	1.0614	1.0357	1.0538	1.0356

6.2.2 แผนการทดสอบระบบ

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าจุดประสงค์ของการทดสอบระบบในครั้งนี้คือ เพื่อหาคำตอบว่าระบบจัดการพลังงานภายในบ้านที่พัฒนาขึ้นนั้น สามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในบ้านได้หรือไม่ อย่างไร ดังนั้นในการทดสอบครั้งนี้จึงต้องวัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่โหลดทั้งหมดภายในระบบใช้ไปก่อนติดตั้งระบบเป็นเวลา 2 สัปดาห์ และค่าพลังงานไฟฟ้าที่โหลดทั้งหมดภายในระบบใช้ไปหลังติดตั้งระบบเป็นเวลา 2 สัปดาห์ แล้วจึงนำค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้มาเปรียบเทียบกัน และวิเคราะห์ผลการทดสอบ โดยมีการวางแผนการทดสอบดังต่อไปนี้

6.2.2.1 การวัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่โหลดทั้งหมดใช้ไปก่อนติดตั้งระบบ 2 สัปดาห์

แบ่งช่วงการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าในส่วนนี้ออกเป็น 2 ช่วง ได้แก่

1) ช่วงสัปดาห์แรกของการใช้พลังงานไฟฟ้าก่อนติดตั้งระบบ เริ่มทำการวัดตั้งแต่วัน อังคารที่ 2 ตุลาคม พ.ศ. 2555 เวลา 12.00 น. ถึงวัน อังคารที่ 9 ตุลาคม พ.ศ. 2555 เวลา 12.00 น. ซึ่งจะได้ผลเป็นข้อมูลของกราฟ Daily Load Curve ของแต่ละวันในสัปดาห์

2) ช่วงสัปดาห์ที่สองของการใช้พลังงานไฟฟ้าก่อนติดตั้งระบบ เริ่มทำการวัดตั้งแต่วัน อังคารที่ 9 ตุลาคม พ.ศ. 2555 เวลา 14.00 น. ถึงวัน อังคารที่ 16 ตุลาคม พ.ศ. 2555 เวลา 14.00 น. ซึ่งจะได้ผลเป็นข้อมูลของกราฟ Daily Load Curve ของแต่ละวันในสัปดาห์

ในการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าก่อนติดตั้งระบบทั้ง 2 สัปดาห์ต้องตั้งค่าโปรแกรม Remote Control ให้เป็นไปดังภาพที่ 6.8 ก่อนกดปุ่ม Send TTS & Start Measure ในโปรแกรม HEM GUI เพื่อให้ระบบเริ่มวัดค่าพลังงานไฟฟ้า เมื่อระบบได้วัดค่าพลังงานไฟฟ้าครบ 1 สัปดาห์แล้ว ต้องกดปุ่ม Read Energy Data เพื่อโหลดข้อมูลของค่าพลังงานไฟฟ้าที่ระบบวัดได้ให้เข้าสู่คอมพิวเตอร์สำหรับใช้ในการแสดงผลในโปรแกรม HEM GUI ต่อไป

ภาพที่ 6.8 การตั้งค่าโปรแกรม Remote Control เพื่อวัดค่าพลังงานไฟฟ้าก่อนติดตั้งระบบ

จากภาพที่ 6.8 สามารถอธิบายได้ว่าโหลดภายในระบบทั้งหมดจะถูกเปิดอยู่โดยโปรแกรม Remote Control และสามารถควบคุมการเปิดปิดโหลดด้วยสวิตซ์ของโหลดเพียงอย่างเดียวเท่านั้น เสมือนกับไม่มีระบบจัดการพลังงานภายในบ้านต่ออยู่กับโหลดเลย เพราะสวิตซ์ของระบบได้ถูกต่ออนุกรมเข้ากับสวิตซ์ที่แท้จริงของโหลดแล้ว

6.2.2.1 **การวัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่โหลดทั้งหมดใช้ไปหลังติดตั้งระบบ 2 สัปดาห์**

แบ่งช่วงการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าในส่วนนี้ออกเป็น 2 ช่วง ได้แก่

1) ช่วงสัปดาห์แรกของการใช้พลังงานไฟฟ้าหลังติดตั้งระบบ เริ่มทำการวัดตั้งแต่วัน อังคารที่ 16 ตุลาคม พ.ศ. 2555 เวลา 14.00 น. ถึงวัน อังคารที่ 23 ตุลาคม พ.ศ. 2555 เวลา 14.00 น. ซึ่งจะได้ผลเป็นข้อมูลของกราฟ Daily Load Curve ของแต่ละวันในสัปดาห์

2) ช่วงสัปดาห์ที่สองของการใช้พลังงานไฟฟ้าหลังติดตั้งระบบ เริ่มทำการวัดตั้งแต่ วัน อังคารที่ 23 ตุลาคม พ.ศ. 2555 เวลา 14.30 น. ถึงวัน อังคารที่ 30 ตุลาคม พ.ศ. 2555 เวลา 14.30 น. ซึ่งจะได้ผลเป็นข้อมูลของกราฟ Daily Load Curve ของแต่ละวันในสัปดาห์

ในการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าหลังติดตั้งระบบทั้ง 2 สัปดาห์จะให้ผู้ใช้พลังงานไฟฟ้าที่อยู่ในระบบตั้งค่าตารางเวลาการเปิดปิดโหลดผ่านโปรแกรมตารางสวิตซ์ตั้งเวลาอัจฉริยะ (Intelligent Time Table Switch) และตั้งค่าการทำงานของเซนเซอร์พร้อมทั้งพารามิเตอร์สำหรับการคำนวณหาราคาค่าไฟฟ้าผ่านโปรแกรม Edit Setting ก่อนกดปุ่ม Send TTS & Start Measure ในโปรแกรม HEM GUI เพื่อให้ระบบเริ่มวัดค่าพลังงานไฟฟ้า ในขณะที่ระบบวัดค่าพลังงานไฟฟ้าอยู่นั้น ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถเรียกใช้โปรแกรม Remote Control ได้ตามต้องการ เมื่อระบบได้วัดค่าพลังงานไฟฟ้าครบ 1 สัปดาห์แล้ว ผู้ใช้ไฟฟ้าต้องกดปุ่ม Read Energy Data เพื่อโหลดข้อมูลของค่าพลังงานไฟฟ้าที่ระบบวัดได้ให้เข้าสู่คอมพิวเตอร์ สำหรับใช้ในการแสดงผลในโปรแกรม HEM GUI ต่อไป หลังจากที่โปรแกรม HEM GUI ได้แสดงผลข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าแล้ว ผู้ใช้ไฟฟ้าต้องทราบข้อมูลเหล่านั้น เพื่อปรับปรุงพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้า และวางแผนการใช้โหลดเพื่อตั้งค่าตารางเวลาการเปิดปิดโหลดผ่านโปรแกรมตารางสวิตซ์ตั้งเวลาอัจฉริยะครั้งต่อไป

6.3 ผลการทดสอบ

ในหัวข้อนี้จะนำเสนอผลการทดสอบระบบ ซึ่งประกอบด้วยผลการตั้งค่าการทำงานของระบบ โดยผู้อยู่อาศัยภายในบ้านหลังติดตั้งระบบ ภาพรวมของการใช้พลังงานไฟฟ้า และผลการเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าของวันในช่วงก่อนติดตั้งระบบและหลังติดตั้งระบบ ดังนี้

6.3.1 ผลการตั้งค่าการทำงานของระบบโดยผู้อยู่อาศัยภายในบ้านหลังติดตั้งระบบ

6.3.1.1 ผลการตั้งค่าการทำงานของระบบในช่วงสัปดาห์แรกหลังติดตั้งระบบ

ในช่วงสัปดาห์แรกหลังติดตั้งระบบพบว่าผู้ใช้ไฟฟ้าได้ตั้งค่าตารางเวลาการเปิดปิดโหลดแบบอัตโนมัติในโปรแกรมตารางสวิตซ์ตั้งเวลาอัจฉริยะ ให้โหลดทั้งหมดภายในระบบทำงานในช่วงเวลาดังตารางที่ 6.4

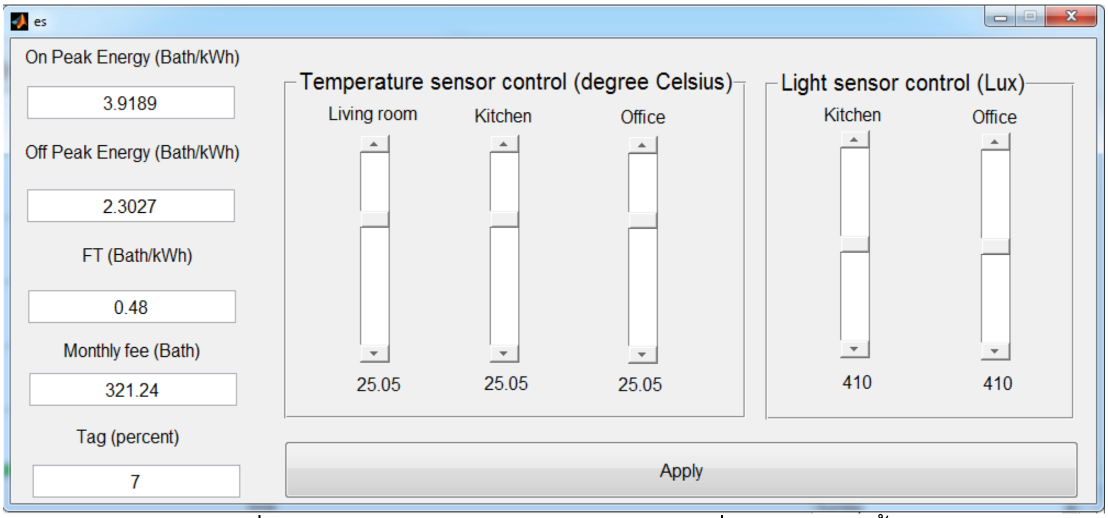
ตารางที่ 6.4 ช่วงเวลาที่ผู้ใช้ไฟฟ้าตั้งเวลาให้โหลดภายในระบบทำงาน

ชื่อโหลด	ช่วงเวลาที่โหลดทำงาน	
	วัน	เวลา
ตู้ทำน้ำร้อน-เย็น (Load L1)	อาทิตย์	0.00 น. - 1.00น. และ 6.00 น. – 24.00 น.
	จันทร์	0.00 น. - 1.00น. และ 6.00 น. – 24.00 น.
	อังคาร	0.00 น. - 1.00น. และ 6.00 น. – 24.00 น.
	พุธ	0.00 น. - 1.00น. และ 6.00 น. – 24.00 น.
	พฤหัสบดี	0.00 น. - 1.00น. และ 6.00 น. – 24.00 น.
	ศุกร์	0.00 น. - 1.00น. และ 6.00 น. – 24.00 น.
	เสาร์	0.00 น. - 1.00น. และ 6.00 น. – 24.00 น.
หลอดฟลูออเรสเซนต์ ในห้องครัว (Load L2)	อาทิตย์	0.00 น. - 1.00น. และ 6.00 น. – 24.00 น.
	จันทร์	0.00 น. - 1.00น. และ 6.00 น. – 24.00 น.
	อังคาร	0.00 น. - 1.00น. และ 6.00 น. – 24.00 น.
	พุธ	0.00 น. - 1.00น. และ 6.00 น. – 24.00 น.
	พฤหัสบดี	0.00 น. - 1.00น. และ 6.00 น. – 24.00 น.
	ศุกร์	0.00 น. - 1.00น. และ 6.00 น. – 24.00 น.
	เสาร์	0.00 น. - 1.00น. และ 6.00 น. – 24.00 น.
หลอดฟลูออเรสเซนต์ ในห้องทำงาน (Load L3)	อาทิตย์	0.00 น. - 1.00น. และ 5.00 น. – 24.00 น.
	จันทร์	0.00 น. - 1.00น. และ 5.00 น. – 24.00 น.
	อังคาร	0.00 น. - 1.00น. และ 5.00 น. – 24.00 น.
	พุธ	0.00 น. - 1.00น. และ 5.00 น. – 24.00 น.
	พฤหัสบดี	0.00 น. - 1.00น. และ 5.00 น. – 24.00 น.

หลอดฟลูออเรสเซนต์ ในห้องทำงาน	ศุกร์	0.00 น. - 1.00น. และ 5.00 น. – 24.00 น.
	เสาร์	0.00 น. - 1.00น. และ 5.00 น. – 24.00 น.
เครื่องปรับอากาศเฟสเดียว 12,000 BTU ในห้องทำงาน (Load L4)	อาทิตย์	0.00 น. - 1.00น. และ 5.00 น. – 24.00 น.
	จันทร์	0.00 น. - 1.00น. และ 5.00 น. – 24.00 น.
	อังคาร	0.00 น. - 1.00น. และ 5.00 น. – 24.00 น.
	พุธ	0.00 น. - 1.00น. และ 5.00 น. – 24.00 น.
	พฤหัสบดี	0.00 น. - 1.00น. และ 5.00 น. – 24.00 น.
	ศุกร์	0.00 น. - 1.00น. และ 5.00 น. – 24.00 น.
	เสาร์	0.00 น. - 1.00น. และ 5.00 น. – 24.00 น.
หลอดฟลูออเรสเซนต์ ในห้องนั่งเล่น (Load L5)	อาทิตย์	0.00 น. - 1.00น. และ 7.00 น. – 24.00 น.
	จันทร์	0.00 น. - 1.00น. และ 7.00 น. – 24.00 น.
	อังคาร	0.00 น. - 1.00น. และ 7.00 น. – 24.00 น.
	พุธ	0.00 น. - 1.00น. และ 7.00 น. – 24.00 น.
	พฤหัสบดี	0.00 น. - 1.00น. และ 7.00 น. – 24.00 น.
	ศุกร์	0.00 น. - 1.00น. และ 7.00 น. – 24.00 น.
	เสาร์	0.00 น. - 1.00น. และ 7.00 น. – 24.00 น.
เครื่องปรับอากาศ 3 เฟส 36,000 BTU ในห้องนั่งเล่น (Load L6)	อาทิตย์	0.00 น. - 1.00น. และ 7.00 น. – 24.00 น.
	จันทร์	0.00 น. - 1.00น. และ 7.00 น. – 24.00 น.
	อังคาร	0.00 น. - 1.00น. และ 7.00 น. – 24.00 น.
	พุธ	0.00 น. - 1.00น. และ 7.00 น. – 24.00 น.
	พฤหัสบดี	0.00 น. - 1.00น. และ 7.00 น. – 24.00 น.
	ศุกร์	0.00 น. - 1.00น. และ 7.00 น. – 24.00 น.
	เสาร์	0.00 น. - 1.00น. และ 7.00 น. – 24.00 น.

หลังจากที่ผู้ใช้ไฟฟ้าตั้งเวลาการทำงานของโหลดแล้ว ต่อไปผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องตั้งค่าต่างๆ ในโปรแกรม Edit Setting ซึ่งจะเป็นการตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆสำหรับการคำนวณหาราคาค่าไฟฟ้าที่โหลดทั้งหมดของระบบใช้ไปใน 1 สัปดาห์ และเป็นการตั้งค่าอุณหภูมิและความเข้มแสงสำหรับการทำงานของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและเซนเซอร์วัดความเข้มแสงทุกตัวในระบบ เพื่อ

ควบคุมการทำงานของโหลดแบบอัตโนมัติ โดยค่าต่างๆในโปรแกรม Edit Setting ที่ผู้ใช้ไฟฟ้าได้ตั้งไว้สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 6.9



ภาพที่ 6.9 ค่าต่างๆในโปรแกรม Edit Setting ที่ผู้ใช้ไฟฟ้าได้ตั้งไว้

เมื่อผู้ใช้ไฟฟ้าตั้งค่าต่างๆในโปรแกรม Edit Setting เรียบร้อยแล้ว เขาจะกดปุ่ม Send TTS & Start Measure ในโปรแกรม HEM GUI เพื่อให้ระบบเริ่มวัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่โหลดทั้งหมดใช้ไป โดยผลการใช้พลังงานไฟฟ้าของโหลดทั้งระบบของแต่ละวันในช่วงสัปดาห์แรกหลังติดตั้งระบบนี้เป็นไปตามกราฟ Daily Load Curve ที่ได้ถูกแสดงไว้ใน ภาคผนวกที่ ข.3 ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

จากพฤติกรรมของในช่วงสัปดาห์ดังกล่าวพบว่า ในช่วงวันแรกๆของการติดตั้งระบบ ผู้ใช้ไฟฟ้าไม่พอใจกับการทำงานของเซนเซอร์วัดแสง เพราะเซนเซอร์วัดแสงทำการปิดไฟที่ความเข้มแสงต่ำเกินไป และหลอดไฟติดๆดับๆอยู่บ่อยครั้งในขณะที่แสงสว่างภายในห้องทำงานอยู่ระหว่างกึ่งมืดกึ่งสว่าง ดังนั้นผู้วิจัยจึงต้องปรับช่วง Histerisis Loop การทำงานของ Light Sensor ให้อ้วนขึ้น คือเปลี่ยนการควบคุม Light Sensor ทั้งหมดจากสมการที่ 4.2 และ 4.3 (หน้า 43) เป็นสมการที่ 6.1 และ 6.2 ตามลำดับ หลังจากนั้นหลอดไฟไม่เกิดอาการติดๆดับๆอีกเลย

$$Llow = Lmid - 120 \qquad (6.1)$$

$$Lhigh = Lmid + 120 \qquad (6.2)$$

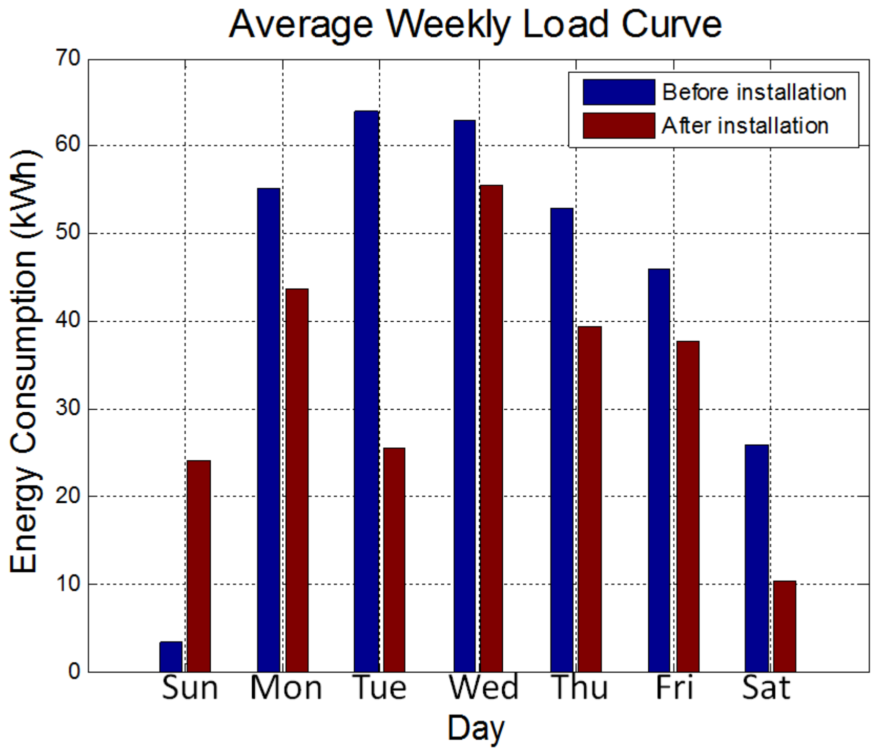
6.3.1.2 **ผลการตั้งค่าการทำงานของระบบในช่วงสัปดาห์ที่สองหลังติดตั้งระบบ**

ในช่วงสัปดาห์ที่สองหลังติดตั้งระบบพบว่าผู้ใช้ไฟฟ้าได้ตั้งค่าตารางเวลาการเปิดปิดโหลดแบบอัตโนมัติในโปรแกรมตารางสวิตซ์ตั้งเวลาอัจฉริยะ ให้โหลดทั้งหมดภายในระบบทำงานในช่วงเวลาเดียวกันกับช่วงเวลาการทำงานของโหลดในช่วงสัปดาห์แรกหลังติดตั้งระบบตามตารางที่ 6.4 ส่วนการตั้งค่าต่างๆในโปรแกรม Edit Setting นั้น ผู้ใช้ไฟฟ้าได้ปรับค่า Lmid ของ Light Sensor ทั้งระบบเพิ่มจาก 410 lux เป็น 464 lux และค่าอื่นๆในโปรแกรมนี้ยังคงไม่เปลี่ยนแปลงไปจากค่าที่ตั้งไว้ในช่วงสัปดาห์แรกหลังติดตั้งระบบ

เมื่อผู้ใช้ไฟฟ้าตั้งค่าต่างๆในโปรแกรม Edit Setting เรียบร้อยแล้ว เขาจะกดปุ่ม Send TTS & Start Measure ในโปรแกรม HEM GUI เพื่อให้ระบบเริ่มวัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่โหลดทั้งหมดใช้ไป

6.3.2 **ภาพรวมของผลการใช้พลังงานไฟฟ้า**

เมื่อนำผลการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วง 4 สัปดาห์ของการทดสอบระบบมาแสดงให้เห็นเป็นภาพรวม พบว่าผลการทดสอบดังกล่าวสามารถนำเสนอเป็นกราฟ Weekly Load Curve เฉลี่ยแสดงการเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงสัปดาห์ก่อนติดตั้งระบบและสัปดาห์หลังติดตั้งระบบได้ดังภาพที่ 6.10



ภาพที่ 6.10 กราฟ Weekly Load Curve เฉลี่ยของการใช้พลังงานไฟฟ้าก่อนและหลังติดตั้งระบบ

จากภาพที่ 6.10 จะเห็นว่า การใช้พลังงานไฟฟ้าของแต่ละวันในช่วงสัปดาห์ก่อนติดตั้งระบบส่วนใหญ่ยกเว้นวันอาทิตย์ (กราฟแท่งน้ำเงิน) มีค่ามากกว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของแต่ละวันในช่วงสัปดาห์หลังติดตั้งระบบ (กราฟแท่งสีน้ำตาล) โดยพลังงานไฟฟ้าและราคาค่าไฟฟ้ารวมที่ใช้ไปในแต่ละสัปดาห์ที่ทำการทดลองสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.5

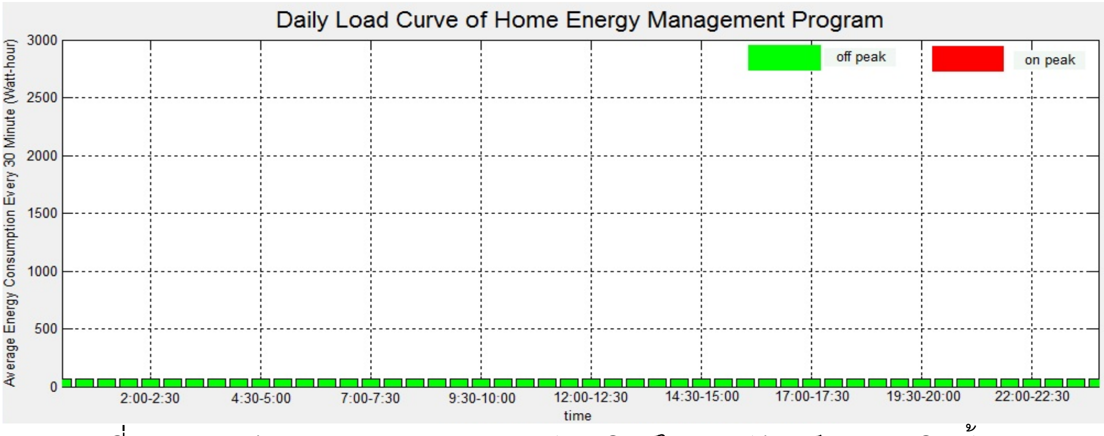
ตารางที่ 6.5 พลังงานไฟฟ้าและราคาค่าไฟฟ้ารวมที่ใช้ไปในแต่ละสัปดาห์

สัปดาห์	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไป (kWh)	ราคาค่าไฟฟ้ารวม (บาท)
สัปดาห์แรกก่อนติดตั้งระบบ	313.02	1400.52
สัปดาห์ที่สองก่อนติดตั้งระบบ	307.31	1390.79
สัปดาห์แรกหลังติดตั้งระบบ	275.65	1242.96
สัปดาห์ที่สองหลังติดตั้งระบบ	106.72	970.73

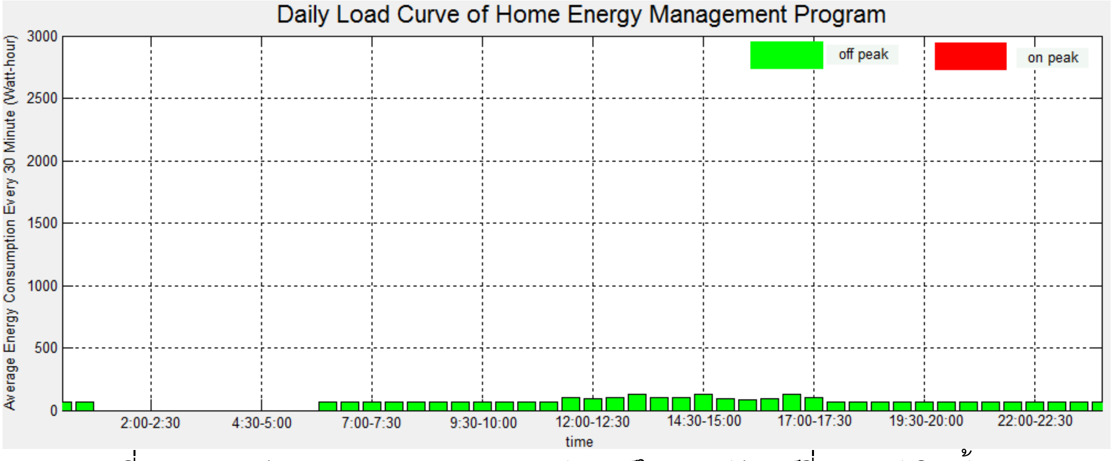
6.3.3 ผลการเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าของวันในช่วงก่อนติดตั้งระบบและหลังติดตั้งระบบ

ในหัวข้อนี้จะเป็นการนำกราฟ Daily Load Curve ในภาคผนวก ค มาเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าของวันในช่วงก่อนติดตั้งระบบและหลังติดตั้งระบบซึ่งผู้ใช้ไฟฟ้าทำกิจวัตรประจำวันเหมือนกันในเวลาเดียวกัน ดังนี้

1) การเปรียบเทียบการใช้พลังงานงานไฟฟ้าของวันอาทิตย์ในสัปดาห์แรกก่อนติดตั้งระบบกับการใช้พลังงานงานไฟฟ้าของวันเสาร์ในสัปดาห์ที่สองหลังติดตั้งระบบ สามารถนำภาพที่ 6.11 มาเปรียบเทียบกับภาพที่ 6.12 ได้ดังนี้



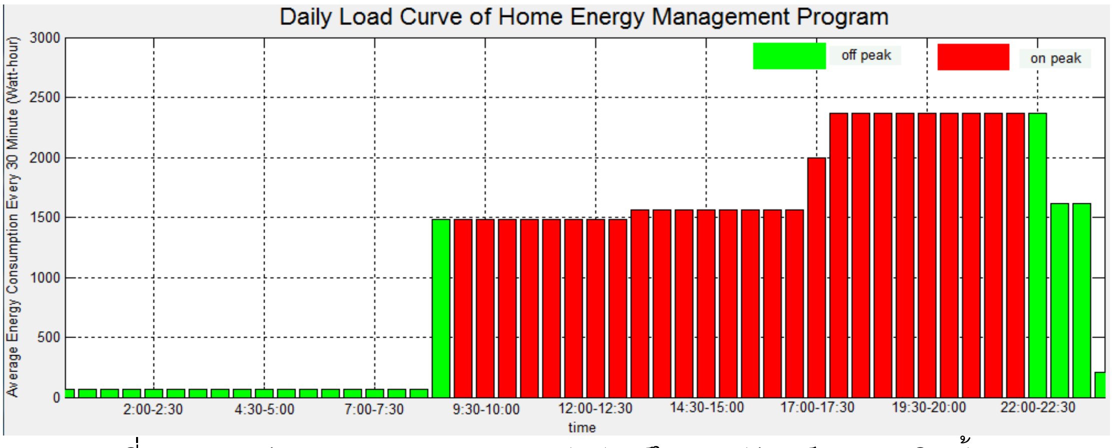
ภาพที่ 6.11 กราฟ Daily Load Curve ของวันอาทิตย์ในช่วงสัปดาห์แรกก่อนติดตั้งระบบ



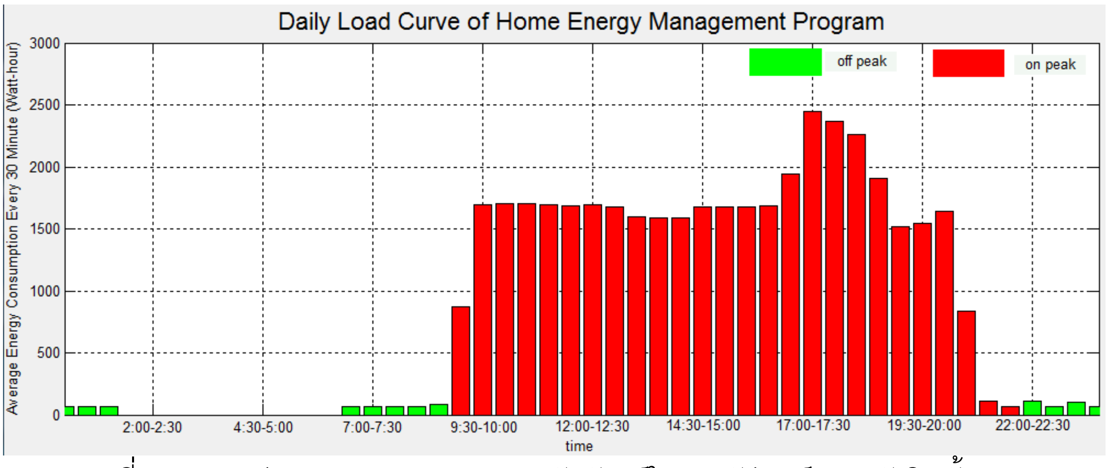
ภาพที่ 6.12 กราฟ Daily Load Curve ของวันเสาร์ในช่วงสัปดาห์ที่สองหลังติดตั้งระบบ

จากภาพที่ 6.11 และภาพที่ 6.12 พบว่าในวันหยุดที่ไม่มีคนอยู่ในบ้านจะไม่มีการใช้โหลดนอกจากตู้ทำน้ำร้อน – เย็นเท่านั้น โดยการใช้ระบบจัดการพลังงานภายในบ้านตั้งเวลาให้เครื่องทำน้ำร้อน – เย็นหยุดทำงานในเวลา 1.00 น. – 6.00 น. จะช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าสิ้นเปลืองในช่วงเวลาดังกล่าวลงได้

2) การเปรียบเทียบการใช้พลังงานงานไฟฟ้าของวันจันทร์ในสัปดาห์แรกก่อนติดตั้งระบบกับการใช้พลังงานงานไฟฟ้าของวันจันทร์ในสัปดาห์แรกหลังติดตั้งระบบ สามารถนำภาพที่ 6.13 มาเปรียบเทียบกับภาพที่ 6.14 ได้ดังนี้



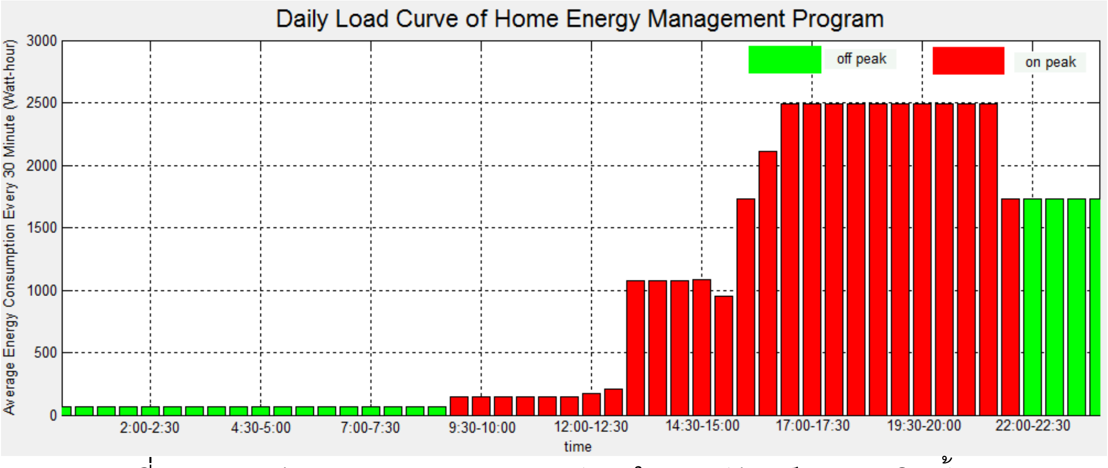
ภาพที่ 6.13 กราฟ Daily Load Curve ของวันจันทร์ในช่วงสัปดาห์แรกก่อนติดตั้งระบบ



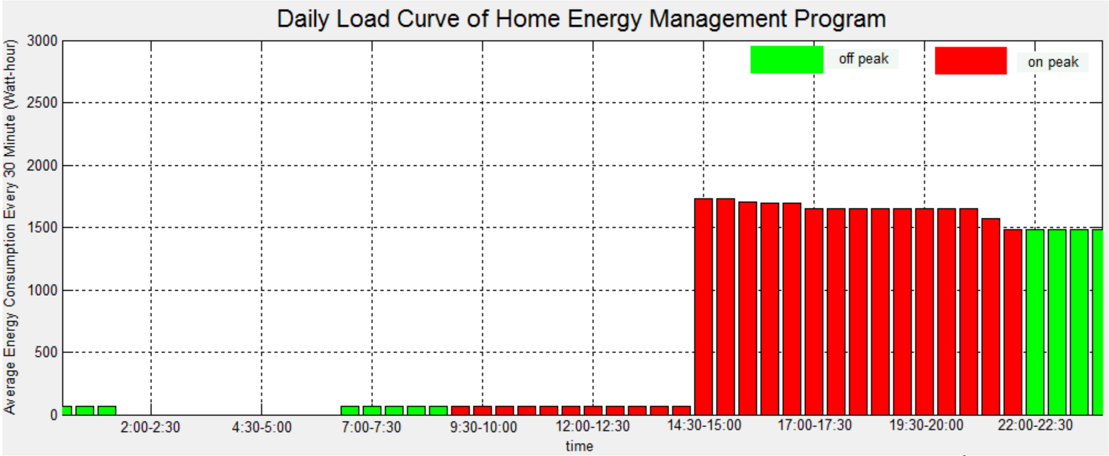
ภาพที่ 6.14 กราฟ Daily Load Curve ของวันจันทร์ในช่วงสัปดาห์แรกหลังติดตั้งระบบ

จากภาพที่ 6.13 และภาพที่ 6.14 พบว่า ในวันจันทร์เริ่มมีคนอยู่ในห้องนั่งเล่นเวลา 8.30 น. ดังนั้นเครื่องปรับอากาศและหลอดไฟในห้องนั่งเล่นจึงถูกเปิด และในช่วงตอนเย็นมีคนเข้ามาใช้ห้องทำงานและห้องครัวทำให้เกิด peak โหลด และผู้ใช้ไฟฟ้าออกจากพื้นที่จัดการพลังงานตั้งแต่เวลา 20.30 น. จากสถานการณ์ดังกล่าวสามารถอธิบายได้ว่า ระบบจัดการพลังงานสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วง peak โหลดตอนเย็นได้ โดยการตัดโหลดประเภทแสงสว่างออกเมื่อไม่มีคนอยู่ในบริเวณนั้นๆ และในช่วงเย็นหลังจากผู้ใช้ไฟฟ้าออกจากพื้นที่แล้วเครื่องปรับอากาศและหลอดไฟในห้องนั่งเล่นยังถูกเปิดทิ้งไว้อยู่ หากไม่มีระบบจัดการพลังงานมันก็ยังคงถูกเปิดต่อไปจนถึงเวลา 23.30 น. แต่ถ้ามีระบบจัดการพลังงาน โหลดทั้ง 2 จะถูกปิดตั้งแต่เวลา 21.00 น. โดยระบบควบคุมอัตโนมัติ

3) การเปรียบเทียบการใช้พลังงานงานไฟฟ้าของวันพุธในสัปดาห์แรกก่อนติดตั้งระบบกับการใช้พลังงานงานไฟฟ้าของวันอังคารในสัปดาห์แรกหลังติดตั้งระบบ สามารถนำภาพที่ 6.15 มาเปรียบเทียบกับภาพที่ 6.16 ได้ดังนี้



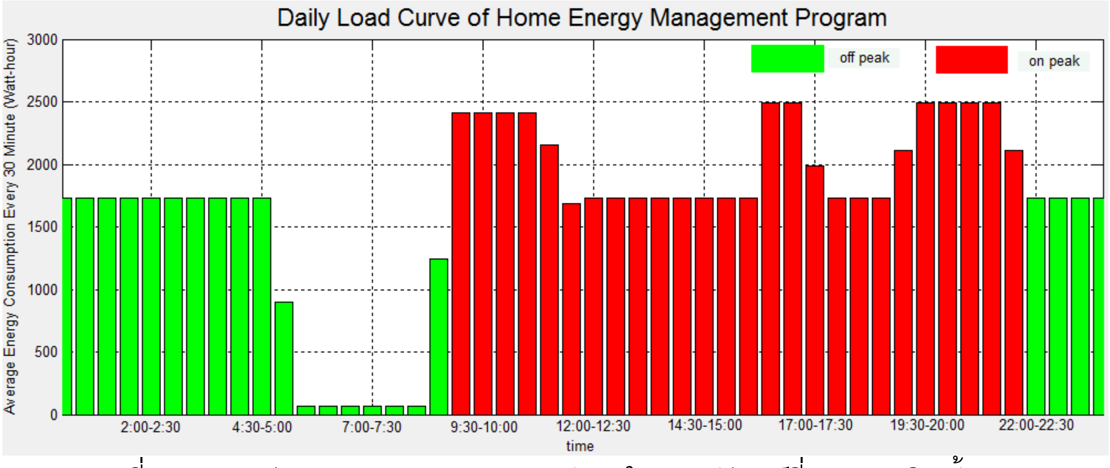
ภาพที่ 6.15 กราฟ Daily Load Curve ของวันพุธในช่วงสัปดาห์แรกก่อนติดตั้งระบบ



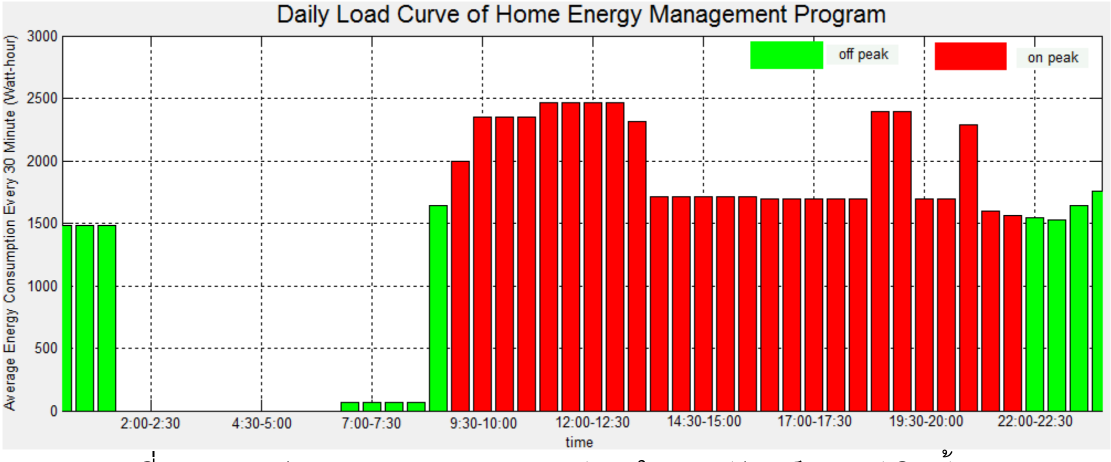
ภาพที่ 6.16 กราฟ Daily Load Curve ของวันอังคารในช่วงสัปดาห์แรกหลังติดตั้งระบบ

จากภาพที่ 6.15 และภาพที่ 6.16 พบว่า ในวันธรรมดาของสัปดาห์ทั้งคู่ เริ่มมีคนอยู่ในห้องนั่งเล่นในตอนบ่าย ดังนั้นเครื่องปรับอากาศและหลอดไฟในห้องนั่งเล่นจึงถูกเปิด และในช่วงตอนเย็นมีคนเข้ามาใช้ห้องทำงานและห้องครัวทำให้เกิด peak โหลด และโหลดในห้องทำงานอันได้แก่เครื่องปรับอากาศและหลอดไฟยังคงถูกเปิดอยู่เรื่อยๆถึงแม้ว่าผู้ใช้ไฟฟ้าจะออกจากห้องทำงานไปแล้วตั้งแต่เวลา 15.00 น. และกลับมาปิดโหลดในห้องทำงานอีกในเวลา 23.00 น. จากสถานการณ์ดังกล่าวสามารถอธิบายได้ว่า ระบบจัดการพลังงานสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วง peak โหลดตอนเย็นได้ โดยการตัดโหลดในห้องทำงานออกเมื่อไม่มีคนอยู่ในบริเวณนั้นๆ

4) การเปรียบเทียบการใช้พลังงานงานไฟฟ้าของวันพุธในสัปดาห์ที่สองก่อนติดตั้งระบบกับการใช้พลังงานงานไฟฟ้าของวันพุธในสัปดาห์แรกหลังติดตั้งระบบ สามารถนำภาพที่ 6.17 มาเปรียบเทียบกับภาพที่ 6.18 ได้ดังนี้



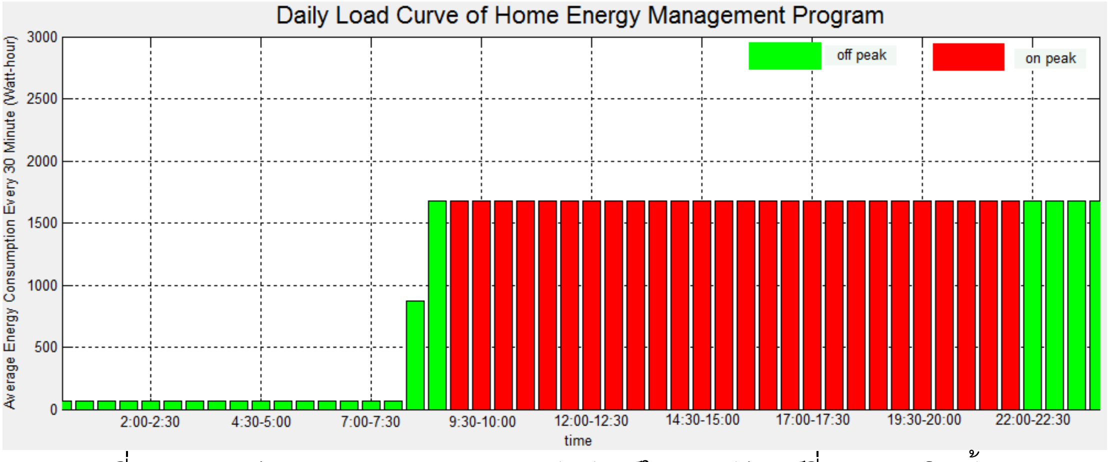
ภาพที่ 6.17 กราฟ Daily Load Curve ของวันพุธในช่วงสัปดาห์ที่สองก่อนติดตั้งระบบ



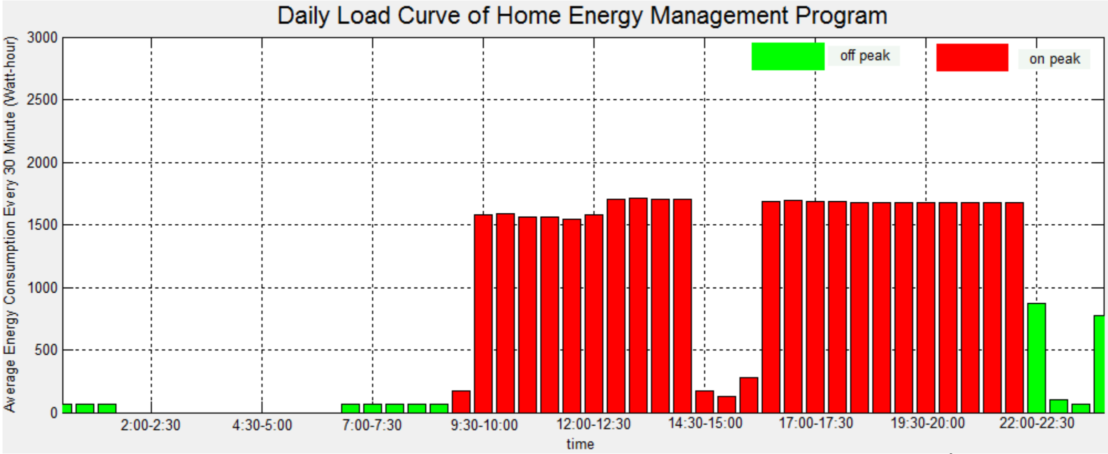
ภาพที่ 6.18 กราฟ Daily Load Curve ของวันพุธในช่วงสัปดาห์แรกหลังติดตั้งระบบ

จากภาพที่ 6.17 และภาพที่ 6.18 พบว่า ในวันพุธของสัปดาห์ทั้งคู่ โหลดในห้องครัวห้องและห้องนั่งเล่นถูกเปิดอยู่ในช่วงเวลา 1.00 น. ถึงช่วงเวลา 5.30 น. ทั้งๆที่ในช่วงเวลานั้นไม่มีผู้ใช้ไฟฟ้าอยู่ในบริเวณดังกล่าว จากสถานการณ์ดังกล่าวสามารถอธิบายได้ว่า ระบบจัดการพลังงานสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลานั้นได้ โดยการตัดโหลดออกตามเวลาที่ตั้งไว้ในโปรแกรมตารางสวิตซ์ตั้งเวลาอัจฉริยะหรือ smart planning

5) การเปรียบเทียบการใช้พลังงานงานไฟฟ้าของวันจันทร์ในสัปดาห์ที่สองก่อนติดตั้งระบบกับการใช้พลังงานงานไฟฟ้าของวันศุกร์ในสัปดาห์แรกหลังติดตั้งระบบ สามารถนำภาพที่ 6.19 มาเปรียบเทียบกับภาพที่ 6.20 ได้ดังนี้



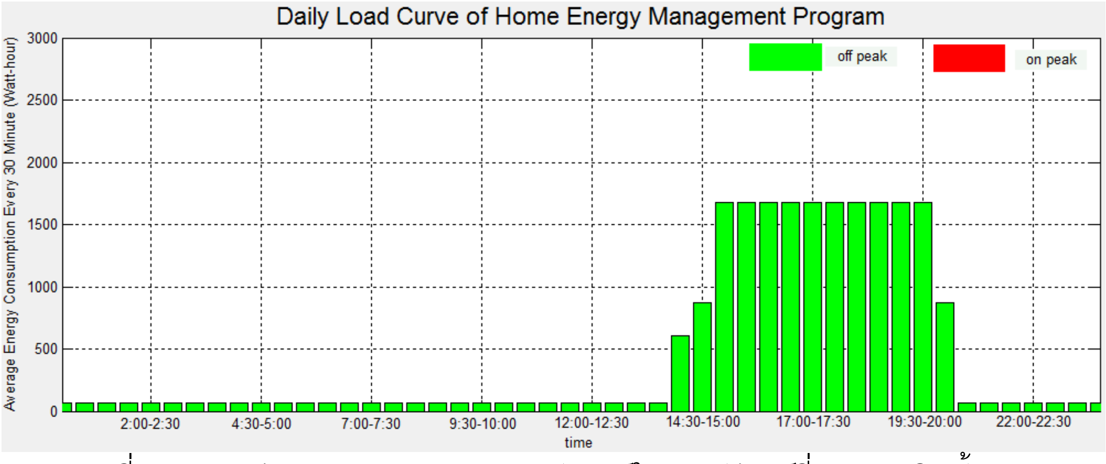
ภาพที่ 6.19 กราฟ Daily Load Curve ของวันจันทร์ในช่วงสัปดาห์ที่สองก่อนติดตั้งระบบ



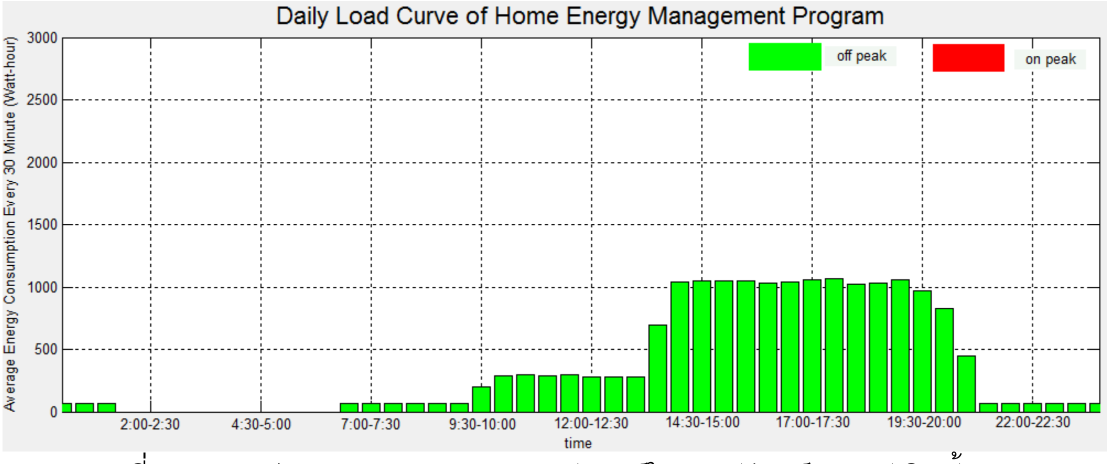
ภาพที่ 6.20 กราฟ Daily Load Curve ของวันศุกร์ในช่วงสัปดาห์แรกหลังติดตั้งระบบ

จากภาพที่ 6.19 และภาพที่ 6.20 พบว่า ในวันธรรมดาของสัปดาห์ทั้งคู่ โหลดในห้องครัวห้องและห้องนั่งเล่นถูกเปิดอยู่ในช่วงเวลา 9.30 น. ถึงช่วงเวลา 24.00 น. แต่ถ้ามีการจัดการพลังงานโดยระบบจัดการพลังงานภายในบ้านแล้ว จะสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงบ่ายซึ่งเป็นช่วง peak load ที่ผู้ใช้ไฟฟ้าออกไปรับประทานอาหารภายนอกบ้าน และลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงเย็นซึ่งเป็นช่วงที่ผู้ใช้ไฟฟ้าออกไปข้างนอกบ้านอีกเช่นกัน

6) การเปรียบเทียบการใช้พลังงานงานไฟฟ้าของวันเสาร์ในสัปดาห์ที่สองก่อนติดตั้งระบบกับการใช้พลังงานงานไฟฟ้าของวันเสาร์ในสัปดาห์แรกหลังติดตั้งระบบ สามารถนำภาพที่ 6.21 มาเปรียบเทียบกับภาพที่ 6.22 ได้ดังนี้



ภาพที่ 6.21 กราฟ Daily Load Curve ของวันเสาร์ในช่วงสัปดาห์ที่สองก่อนติดตั้งระบบ



ภาพที่ 6.22 กราฟ Daily Load Curve ของวันเสาร์ในช่วงสัปดาห์แรกหลังติดตั้งระบบ

จากภาพที่ 6.20 และภาพที่ 6.22 พบว่า ในวันเสาร์ของสัปดาห์ทั้งคู่ โหลดในห้องครัวห้องและห้องนั่งเล่นถูกเปิดอยู่ในช่วงเวลา 14.00 น. ถึงช่วงเวลา 20.30 น. แต่ถ้ามีการจัดการพลังงานโดยระบบจัดการพลังงานภายในบ้านแล้ว จะสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลาดังกล่าวได้ โดยอาศัย เซนเซอร์วัดความเข้มแสง เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ และเซนเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวของมนุษย์ ทำการควบคุมโหลดประเภทเครื่องปรับอากาศและโหลดแสงสว่าง

6.4 วิเคราะห์ผลการทดสอบ

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ผลการทดสอบระบบซึ่งประกอบด้วย 2 หัวข้อใหญ่ ได้แก่ ดัชนีชี้วัดเชิงสมรรถนะของระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน และปัจจัยที่ก่อให้เกิดการประหยัดพลังงาน ดังต่อไปนี้

6.4.1 ดัชนีชี้วัดเชิงสมรรถนะของระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน

ดัชนีชี้วัดเชิงสมรรถนะของระบบจัดการพลังงานภายในบ้านที่พัฒนาขึ้นนั้น มีอยู่ 2 ดัชนี ได้แก่ เปอร์เซ็นต์การใช้พลังงานไฟฟ้าภายในบ้านที่ลดลง และเปอร์เซ็นต์ราคาค่าไฟฟ้าภายในบ้านที่ลดลง โดยมีหลักการคำนวณดังนี้

6.4.1.1 เปอร์เซ็นต์การใช้พลังงานไฟฟ้าภายในบ้านที่ลดลง

ค่าดังกล่าวสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 6.3

$$\%E_{reduce} = \frac{E_{before} - E_{after}}{E_{before}} \times 100 \qquad (6.3)$$

เมื่อ

$\%E_{reduce}$ คือ เปอร์เซ็นต์การใช้พลังงานภายในบ้านที่ลดลง (%)

E_{before} คือ การใช้พลังงานเฉลี่ยของโหลดทั้งหมดในช่วงสัปดาห์ก่อนติดตั้งระบบ (kWh)

E_{after} คือ การใช้พลังงานเฉลี่ยของโหลดทั้งหมดในช่วงสัปดาห์หลังติดตั้งระบบ (kWh)

จากสมการที่ 6.3 และข้อมูลของภาพรวมของผลการใช้พลังงานไฟฟ้าในหัวข้อ 6.3.2 ทำให้สามารถวิเคราะห์ได้ว่า ระบบจัดการพลังงานภายในบ้านที่พัฒนาขึ้นสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในบ้านได้ถึง 38.36 % หรือลดการใช้พลังงานเฉลี่ยได้ถึงสัปดาห์ละ 118.98 kWh

6.4.1.2 เปอร์เซ็นต์ราคาค่าไฟฟ้าภายในบ้านที่ลดลง

ค่าดังกล่าวสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 6.4

$$\%C_{reduce} = \frac{C_{before} - C_{after}}{C_{before}} \times 100 \qquad (6.4)$$

เมื่อ

$\%C_{reduce}$ คือ เปอร์เซ็นต์ราคาค่าไฟฟ้าภายในบ้านที่ลดลง (%)

C_{before} คือ ราคาค่าไฟฟ้าภายในบ้านเฉลี่ยของช่วงสัปดาห์ก่อนติดตั้งระบบ (บาท)

C_{after} คือ ราคาค่าไฟฟ้าภายในบ้านเฉลี่ยของช่วงสัปดาห์หลังติดตั้งระบบ (บาท)

จากสมการที่ 6.4 และข้อมูลของภาพรวมของผลการใช้พลังงานไฟฟ้าในหัวข้อ 4.3.2 ทำให้สามารถวิเคราะห์ได้ว่า ระบบจัดการพลังงานภายในบ้านที่พัฒนาขึ้นสามารถลดราคาค่าไฟฟ้าภายในบ้านได้ถึง 20.69 % หรือลดราคาค่าไฟฟ้าเฉลี่ยได้ถึงสัปดาห์ละ 288.82 บาท

6.4.2 **ปัจจัยที่ก่อให้เกิดการประหยัดพลังงาน**

เมื่อวิเคราะห์ถึงสาเหตุที่ทำให้การใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยของโหลดทั้งหมดในช่วงสัปดาห์หลังติดตั้งระบบมีค่าน้อยกว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยของโหลดทั้งหมดในช่วงสัปดาห์ก่อนติดตั้งระบบพบว่า ปัจจัยที่ก่อให้เกิดผลดังกล่าวเป็นไปตามแนวคิดของระบบจัดการพลังงานภายในบ้านที่ได้ออกแบบไว้ ซึ่งประกอบด้วย 3 ปัจจัยหลัก เรียงลำดับตามเปอร์เซนต์ที่ก่อให้เกิดการประหยัดพลังงานจากมากไปน้อยได้ดังนี้

6.4.2.1 **ระบบควบคุมอัตโนมัติ**

เนื่องจากโหลดส่วนใหญ่ในระบบเป็นโหลดประเภทแสงสว่างและโหลดทำความเย็น ดังนั้น แนวคิดเรื่องระบบควบคุมอัตโนมัติโดยใช้เซนเซอร์ จึงสามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในบ้านได้มากที่สุด โดยคิดเป็นร้อยละ 87.17 ของการใช้พลังงานภายในบ้านที่ลดลง ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ 6.5

$$\%E_{Automatic} = \frac{E_{\mathrm{Re}duce} - E_{TTS}}{E_{\mathrm{Re}duce}} \times 100 \tag{6.5}$$

เมื่อ

$\%E_{Automatic}$ คือ ร้อยละของพลังงานไฟฟ้าซึ่งเกิดจากระบบควบคุมอัตโนมัติที่ลดลง (%)

$E_{\mathrm{Re}duce}$ คือ พลังงานไฟฟ้ารวมทั้งหมดที่ลดลง (kWh)

E_{TTS} คือ พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงซึ่งเกิดจากการตั้งเวลาให้โหลดหยุดทำงาน (kWh)

6.4.2.2 **การวางแผนอย่างชาญฉลาด**

แนวคิดนี้ช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในบ้านได้เป็นอันดับรองลงมาจากแนวคิดแรก โดยสามารถลดการใช้พลังงานภายในบ้านได้ถึงร้อยละ 12.83 ของการใช้พลังงานภายในบ้านที่ลดลง ซึ่งคำนวณได้จาก สมการที่ 6.6

$$\%E_{Smart} = \frac{E_{TTS}}{E_{Reduce}} \times 100 \tag{6.6}$$

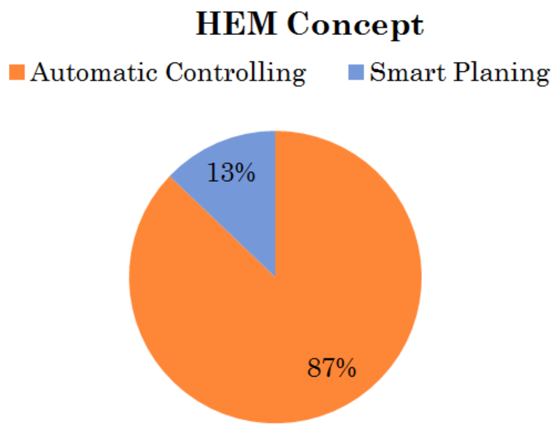
เมื่อ

$\%E_{Smart}$ คือ ร้อยละของพลังงานไฟฟ้าซึ่งเกิดจากการวางแผนอย่างชาญฉลาดที่ลดลง (%)

E_{Reduce} คือ พลังงานไฟฟ้ารวมทั้งหมดที่ลดลง (kWh)

E_{TTS} คือ พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงซึ่งเกิดจากการตั้งเวลาให้โหลดหยุดทำงาน (kWh)

จากข้อมูลของปัจจัยที่ก่อให้เกิดการประหยัดพลังงาน 2 ปัจจัยแรก ตามข้อ 6.4.2.1 และ 6.4.2.2 ที่ได้กล่าวมา ทำให้วิเคราะห์ได้ว่า การใช้พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงเฉลี่ยสัปดาห์ละ 118.98 kWh เกิดจากแนวคิดระบบควบคุมอัตโนมัติร้อยละ 87.17 และเกิดจากแนวคิดการวางแผนอย่างชาญฉลาดร้อยละ 12.83 ดังแผนภูมิวงกลมในภาพที่ 6.23

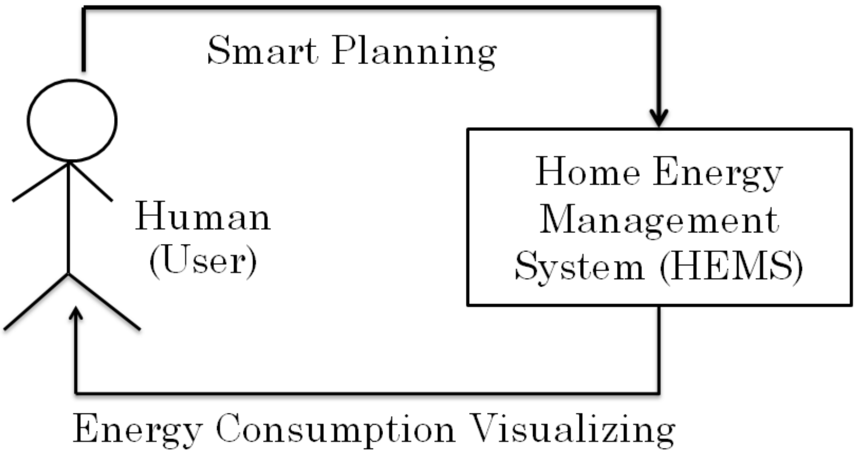


ภาพที่ 6.23 แผนภูมิวงกลมแสดงสัดส่วนร้อยละของแนวคิดที่ทำให้เกิดการประหยัดพลังงาน

6.4.2.3 **การแสดงผลการใช้พลังงาน**

ถึงแม้ว่าแนวคิดดังกล่าวจะไม่สามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในบ้านได้โดยตรง แต่แนวคิดนี้จะส่งผลต่อแนวคิดการวางแผนอย่างชาญฉลาด (Smart Planning) แก่ผู้ใช้ไฟฟ้ากล่าวคือ เมื่อระบบจัดการพลังงานฯได้วัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่โหลดทั้งหมดใช้ไปครบรอบ 1

สัปดาห์แล้ว มันจะแสดงผลการใช้พลังงานไฟฟ้าให้ผู้ใช้รับทราบ และวางแผนการใช้โหลดครั้งต่อไป ซึ่งจากผลการทดสอบระบบครั้งนี้พบว่า เมื่อผู้ใช้ไฟฟ้ารับทราบผลการใช้พลังงานไฟฟ้าของสัปดาห์ที่สองก่อนติดตั้งระบบแล้ว ผู้ใช้ไฟฟ้าได้ตัดโหลดที่ไม่จำเป็นออกในเวลาที่ไม่จำเป็นต้องใช้โหลดในช่วง 2 สัปดาห์หลังติดตั้งระบบ ได้แก่ ตัดโหลดทั้งหมดในห้องครัวออกในเวลา 1.00น. - 6.00น. ตัดโหลดทั้งหมดในห้องทำงานออกในเวลา 1.00น. - 5.00น. และตัดโหลดทั้งหมดในห้องนั่งเล่นออกในเวลา 1.00น. - 7.00น. กระบวนการดังกล่าวสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ถึงร้อยละ 12.83 ของการใช้พลังงานภายในบ้านที่ลดลง ดังนั้นถ้าการแสดงผลการใช้พลังงานยิ่งดีมากขึ้นเท่าใด อัตราการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าตามแนวคิด Smart Planning ยิ่งมากขึ้นเท่านั้น โดยความสัมพันธ์แบบวงจรปิดของแนวคิด Smart Planning และ Energy Consumption Visualizing เป็นดังภาพที่ 6.24



ภาพที่ 6.24 ความสัมพันธ์ของแนวคิด Smart Planning และ Energy Consumption Visualizing

บทที่ 7

สรุป

7.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการพัฒนาต้นแบบระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน โดยระบบที่พัฒนาขึ้นนั้นเป็นการจัดการพลังงานไฟฟ้าเทียบเท่ากับห้อง 3 ห้องของบ้าน 1 หลังได้แก่ ห้องครัว ห้องทำงาน และห้องนั่งเล่น ซึ่งใช้สถานที่บริเวณ ห้องปฏิบัติการวิจัยระบบไฟฟ้ากำลังและพลังงาน ชั้น12 อาคารเจริญวิศวกรรม (ตึก 4) คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในการจำลองเป็นบ้าน 1 หลัง มีวัตถุประสงค์เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าและลดราคาค่าไฟฟ้าภายในบ้าน จากวัตถุประสงค์ดังกล่าวทำให้เกิดการออกแบบเชิงแนวคิด 3 แนวคิดของระบบจัดการพลังงานภายในบ้าน ได้แก่ การวางแผนอย่างชาญฉลาด (Smart Planning) ระบบควบคุมอัตโนมัติ (Autometic Controlling) และการแสดงผลการใช้พลังงาน (Energy Consumption Visualizing) จากแนวคิดทั้ง 3 ทำให้เกิดการพัฒนาระบบจัดการพลังงานภายในบ้านตามแนวคิดนั้นๆ และเมื่อทำการทดสอบเชิงสมรรถนะของระบบที่ทำการพัฒนาขึ้นจะพบว่า ระบบจัดการพลังงานภายในบ้านสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ถึงร้อยละ 38.36 ของการใช้พลังงานภายในบ้านทั้งหมด และลดราคาค่าไฟฟ้าได้ถึงร้อยละ 20.69 ของราคาค่าไฟฟ้าทั้งหมด ซึ่งบรรลุวัตถุประสงค์ของการศึกษาวิจัย โดยแนวคิดของระบบควบคุมอัตโนมัติสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุด รองลงมาคือแนวคิดของการวางแผนอย่างชาญฉลาด และสุดท้ายคือแนวคิดของการแสดงผลการใช้พลังงานซึ่งไม่ได้ลดอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยตรงแต่จะมีผลต่ออัตราการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของแนวคิด Smart Planning ตามลำดับ

7.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

1) พัฒนา HEM GUI (Home Energy Management Graphic User Interface)ให้สามารถติดต่อสื่อสารผ่านทางระบบ Internet ได้
2) เปลี่ยนการตรวจจับการมีมนุษย์อาศัยอยู่ในบริเวณนั้นด้วย Motion Sensor เป็นการใช้กล้องวงจรปิดตรวจจับและใช้กระบวนการ Image Processing แทนซึ่งจะสามารถให้ผลการตรวจจับที่แม่นยำมากกว่า
3) พัฒนาระบบจัดการพลังงานภายในบ้านให้สามารถเชื่อมต่อกับระบบพลังงานไฟฟ้าหมุนเวียนได้ เช่น ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ และระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม เป็นต้น
4) พัฒนาระบบให้สามารถควบคุมความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละวันได้

รายการอ้างอิง

[1] Endo, M. and Nakajima, H. and Hata, Y. Simplified Factory Energy Management System based on operational condition estimation by sensor data. IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE) (2012): 14-19.

[2] สุวจิตตานนท์, ศิริกัลยา. เทคโนโลยีการจัดการและการอนุรักษ์พลังงาน. กรุงเทพฯ, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2554.

[3] Niyato, D. and Xiao, L. and Wang, P. Machine-to-Machine Communications for Home Energy Management System in Smart Grid. IEEE Communication Magazine (Apr 2011): 53.

[4] Son, Y.S. and Pulkkinen, T. and Moon, K.D. and Kim, C. Home Energy Management System based on Power Line Communication. IEEE Transaction on Consumer Electronics Vol. 56 No.3 (Aug 2010): 1380-1385.

[5] Son, Y.S. and Moon, K.D. Home Energy Management System based on Power Line Communication. IEEE International Conference on Consumer Electronics (Jan 2010): 115–116.

[6] Chang, H.H. and Lin, C.L. A new Method for Load Identification of Nonintrustive Energy Management System in Smart Home. IEEE International Conference on E-Business Engineering (2010): 351-353.

[7] Kushiro, N. and Suzuki, S. and Nakata, M. and Tarahara, H. and Inone, M. Integrated Home Gateway Controller for Home Energy Management System. IEEE International Conference on Consumer Electronics (Jun 2003): 386-387.

[8] มัทซึโอะ, โมะโตะกิ. เทคนิคการประหยัดพลังงานพลังงานภาคไฟฟ้า. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2527.

[9] แช่มช้อย, ไชยะ. เมื่อบ้านใหญ่อยากใช้อัตรา TOU. กรุงเทพฯ: เอ็มแอนด์อี, 2554.

[10] Dynapower Corporation. Energy Storage and Renewable Integration. [Online]. 2011. Available from: http://www.dynapower.com/products [2011, May].

[11] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. อัตราค่าไฟฟ้า. [ออนไลน์] 2555 แหล่งที่มา: http://www.pea.co.th/th/rates/rates_tou_tod_ft.htm [2555, ตุลาคม].

[12] บริษัท กูเกิ้ล จำกัด มหาชน Google Power Meter. [ออนไลน์] 2556 แหล่งที่มา: https://www.google.co.th/google-power-meter [2556, เมษายน].

[13] Ju, S.H. and Lim, Y.S. and Choi, M.S. and Back, J.M. and Lee, S.Y. An Effiencient Home Energy Management System based on Automatic Meter Reading. IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications (2011).

[14] Suhara, Y. and Nakabe, T and Mine, G. and Nishi, H. Distributed Demand Site Management System for Home Energy Management. IEEE Transactions on Consumer Electronics (Sep 2010).

[15] Abe, K. and Mineno, H. and Mizuno, T. Development and Evaluation of Smart Tap Type Home Energy Management System Using Sensor Network. IEEE Conference on Consumer Communications and Networking (2011): 1050-1054.

[16] Eady, F. Hands-On ZigBee Implementing 802.15.4 with Microcontrollers. Amsterdam: Elsevier Inc, 2009.

[17] Han, D.M. and Lim, J.H. Design and Implementation of Smart Home Energy Management System based on ZigBee. IEEE Transactions on Consumer Electronics (Sep 2010).

[18] Park, S. and Lee, E.J. and Ryu, J.H. and JooI, and Kim, H.S. Distributed Borrowing Addressing Scheme for Zigbee/IEEE 802.15.4 Wireless Sensor Networks. ETRI Journal Vol. 31 No. 5 (Oct 2009): 525-533.

[19] Han, J. and Choi, C.S. and Lee, I. More Efficient Home Energy Management System Based on ZigBee Communication and Infrared Remote Controls. IEEE International Conference on Smart Grid Communications (2011).

[20] บริษัท โอห์มรอน ประเทศไทย จำกัด. Datasheet General-purpose Relay. [ออนไลน์] 2556 แหล่งที่มา: http://www.es.co.th/Schemetic/PDF/LY-OMRON.PDF [2556, เมษายน].

[21] บริษัท เอบีบี ประเทศไทย จำกัด. Datasheet Light Magnetic Contactor. [ออนไลน์] 2554 แหล่งที่มา: http://www.abb.co.th/SmartLinks/Magnetic+Contactor [2554, พฤศจิกายน].

[22] บริษัท อิเล็กทรอนิกส์ซอร์ซ จำกัด Datasheet Diode 1N4148. [ออนไลน์] 2554 แหล่งที่มา: https://www.es.co.th/products/motion_sensors [2554, พฤศจิกายน].

[23] บริษัท อิเล็กทรอนิกส์ซอร์ซ จำกัด Datasheet Panasonic Motion Sensor (Passive Infrared Type). [ออนไลน์] 2554 แหล่งที่มา: https://www.es.co.th/products/motion_sensors [2554, พฤศจิกายน].

[24] บริษัท อิเล็กทรอนิกส์ซอร์ซ จำกัด Datasheet Current Sensor: ACS754SCB-200. [ออนไลน์] 2554 แหล่งที่มา: https://www.es.co.th/products/current_sensors [2554, พฤศจิกายน].

[25] บริษัท เอมเมจิน จำกัด. Datasheet Fio board. [ออนไลน์] 2554 แหล่งที่มา: https://www.aimagin.com/fio-std.html [2554, พฤศจิกายน].

[26] บริษัท โมโตโลล่าร์ จำกัด Datasheet Optoisolator Triac Driver Output. [ออนไลน์] 2554 แหล่งที่มา: https://www.alldatasheet.com/datasheet/MOC3043.html [2554, พฤศจิกายน].

[27] พิทยพัฒน์, ประสิทธิ์. การออกแบบระบบไฟฟ้า. กรุงเทพฯ: ทีซีจี พริ้นติ้ง, 2545.

[28] บริษัท เอมเมจิน จำกัด. Datasheet Fio board. [ออนไลน์] 2554 แหล่งที่มา: https://www.aimagin.com/fio-std.html [2554, พฤศจิกายน].

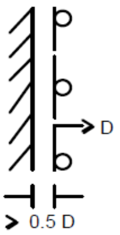
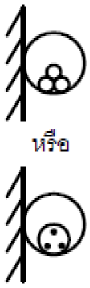
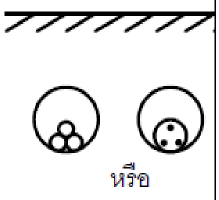
[29] บริษัท ดิจิ จำกัด. Datasheet XBee/XBee-Pro ZB RF Modules. [ออนไลน์] 2554 แหล่งที่มา: http://ftp1.digi.com/support/documentation/90000976_G.pdf [2554, พฤศจิกายน].

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

พิกัดกระแสของสายไฟฟ้าชนิดต่างๆสำหรับการติดตั้งระบบ

ตารางที่ ก.1 ขนาดกระแสของสายไฟฟ้าทองแดงหุ้มฉนวน PVC ตาม มอก.11–2531 อุณหภูมิตัวนำ 70 °C ขนาดแรงดัน 300 V และ 750 V อุณหภูมิโดยรอบ 40 °C (สำหรับวิธีการเดินสายแบบ ก–ค) และ 30 °C (สาหรับวิธีการเดินสายแบบ ง และ จ) [27]

ขนาดสายไฟฟ้า (mm^2)	ขนาดกระแสไฟฟ้า (A)						
	วิธีการเดินสาย						
	 ก	ข	 ค		 ง		จ
			ท่อโลหะ	ท่ออโลหะ	ท่อโลหะ	ท่ออโลหะ	
0.5	9	8	8	7	10	9	-
1	14	11	11	10	15	13	21
1.5	17	15	14	13	18	16	26
2.5	23	20	18	17	24	21	34
4	31	27	24	23	32	28	45
6	42	35	31	30	42	36	56
10	60	50	43	42	58	50	75
16	81	66	56	54	77	65	97
25	111	89	77	74	103	87	125
35	137	110	95	91	126	105	150
50	169	-	119	114	156	129	177

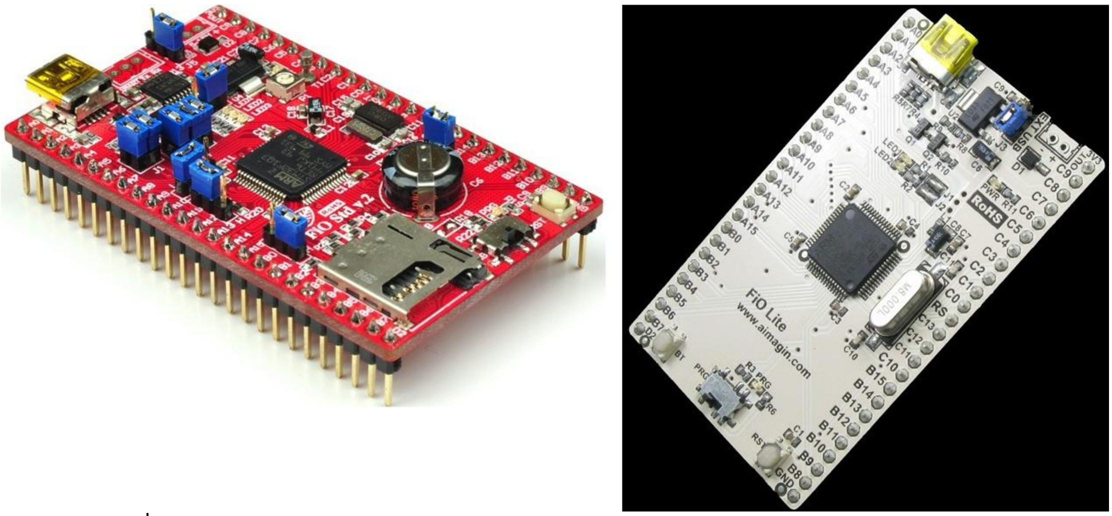
70	217	-	148	141	195	160	216
95	271	-	187	180	242	200	259
120	316	-	214	205	279	228	294
150	364	-	251	236	322	259	330
185	424	-	287	269	370	296	372
240	509	-	344	329	440	352	431
300	592	-	400	373	508	400	487
400	696	-	474	416	599	455	552
500	818	-	541	469	684	516	623

ภาคผนวก ข

ข้อมูลทางเทคนิคของไมโครโปรเซสเซอร์และซิ๊กบีที่เลือกใช้งาน

ข.1 ข้อมูลทางเทคนิคของไมโครโปรเซสเซอร์

ใช้ไมโครโปรเซสเซอร์เบอร์ STM32103RE เป็นระบบประมวลผลสำหรับระบบจัดการพลังงาน โดยไมโครโปรเซสเซอร์เบอร์ STM32103RE ได้ประกอบอยู่บนบอร์ดทดลองของบริษัท เอมเมจิน จำกัด และบอร์ดทดลองของบริษัทนี้มี 2 ประเภทได้แก่ Fio Standard คือชุดบอร์ดทดลองสำเร็จรูปที่สามารถโปรแกรมได้โดยอาศัยโปรแกรม Matlab และสามารถประยุกต์ใช้เป็น Data loger ได้ (มี SD การ์ดสำหรับการเก็บข้อมูล) และ Fio lite คือชุดบอร์ดทดลองสำเร็จรูปที่สามารถโปรแกรมได้โดยอาศัยโปรแกรม Matlab แต่ไม่สามารถประยุกต์ใช้เป็น Data loger ได้ โดยรูปของบอร์ดทดลอง Fio Standard และ Fio lite สามารถแสดงได้ดังภาพที่ ข.1 [28]



ภาพที่ ข.1 บอร์ดทดลอง Fio Standard (ขวา) และ บอร์ดทดลอง Fio lite (ซ้าย) [28]

จากภาพที่ ข.1 บอร์ดทดลองทั้ง 2 บอร์ดมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้ [28]

1) 16 Chanel 12 bit 1us Analog to digital converter

2) รับข้อมูลเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 0-3.3 V

3) สามารถรับข้อมูลและประมวลผลได้แบบอัตโนมัติโดยอาศัยโปรแกรม Matlab และสื่อสารกับคอมพิวเตอร์ผ่านทางสาย USB

4) สามารถกำหนดขา input และ Output ที่เป็นสัญญาณ Digital ได้ถึง 47 ขา

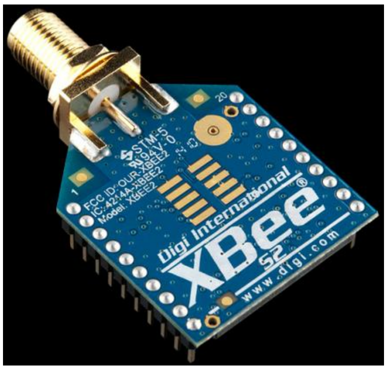
5) ต้องการไฟเลี้ยงบอร์ดขนาด 5 – 15 Vdc (ในที่นี้ใช้ไฟเลี้ยง 5 V)

6) สามารถสร้างแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 3.3 Vdc ได้ และจ่ายโหลดได้ถึง 800 mA

7) สำหรับบอร์ดทดลอง Fio Standard จะมีช่องสำหรับใส่ SD card ส่วนบอร์ดทดลอง Fio lite จะมีไม่มีช่องสำหรับใส่ SD card โดยเลือกใช้ SD card ขนาด 2 GB สำหรับบอร์ดทดลอง Fio Standard

ข.2 ข้อมูลทางเทคนิคของซิ๊กบี

สำหรับการพัฒนาระบบจัดการพลังงานภายในบ้านครั้งนี้ได้ศึกษา Zigbee เบอร์ XB24-Z7SIT-004 เพื่อจะนำมาใช้ในการรับส่งข้อมูล โดยรูปร่างของ Zigbee นี้เป็นดังภาพที่ ข.2 [29]



ภาพที่ ข.2 รูปร่างของ Zigbee เบอร์ XB24-Z7SIT-004 [29]

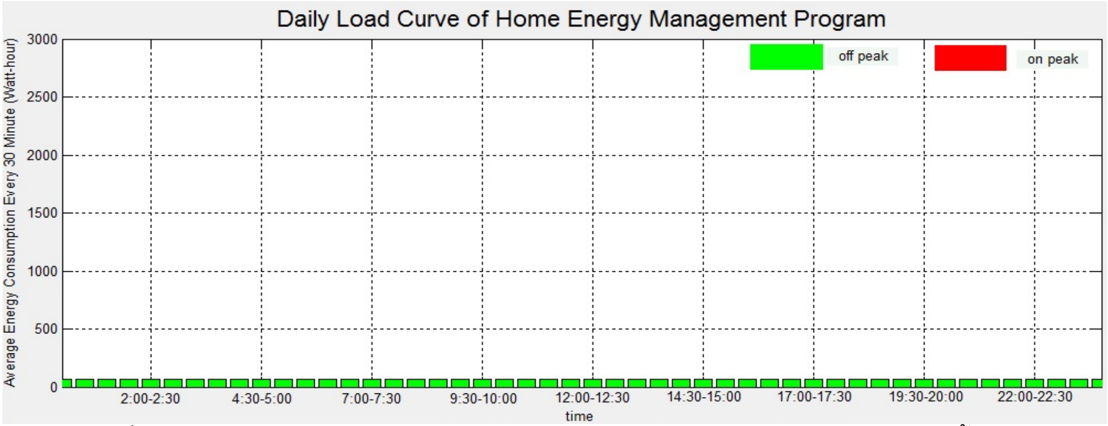
จากภาพที่ ข.2 Zigbee เบอร์ XB24-Z7SIT-004 ต้องการไฟเลี้ยง 3.3V และสามารถรับข้อมูลจาก zigbee ตัวอื่นได้โดยการต่อขา Tx ของ Zigbee เข้ากับขา Rx ของไมโครโปรเซสเซอร์ เพื่อให้ zigbee ส่งข้อมูลที่รับเข้ามาให้เข้าสู่ไมโครโปรเซสเซอร์ และสามารถส่งข้อมูลได้โดยการต่อขา Rx ของ Zigbee เข้ากับขา Tx ของไมโครโปรเซสเซอร์ เพื่อให้ zigbee ส่งข้อมูลที่รับมาจากไมโครโปรเซสเซอร์ไปยัง Zigbee ตัวอื่นๆ [29]

ภาคผนวก ค

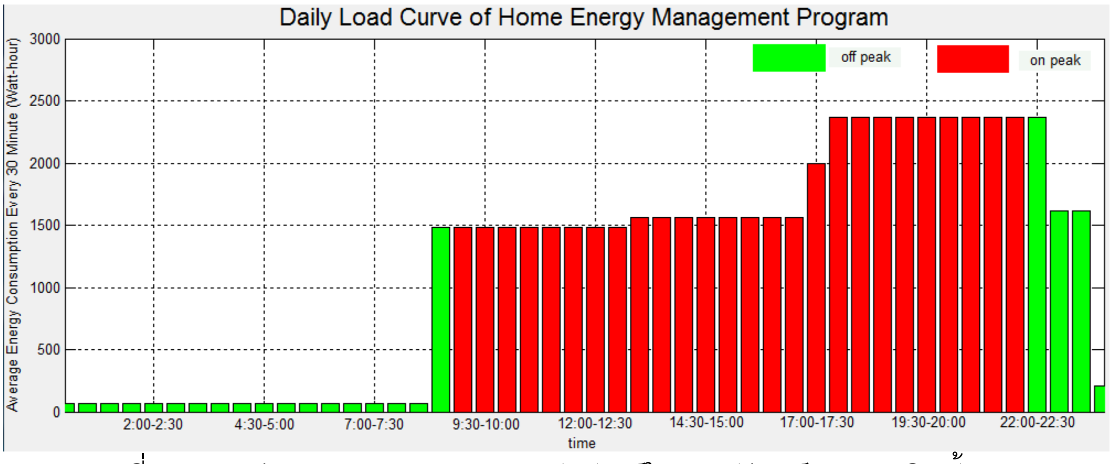
ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงก่อนและหลังการติดตั้งระบบ

ค.1 ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงสัปดาห์แรกก่อนติดตั้งระบบ

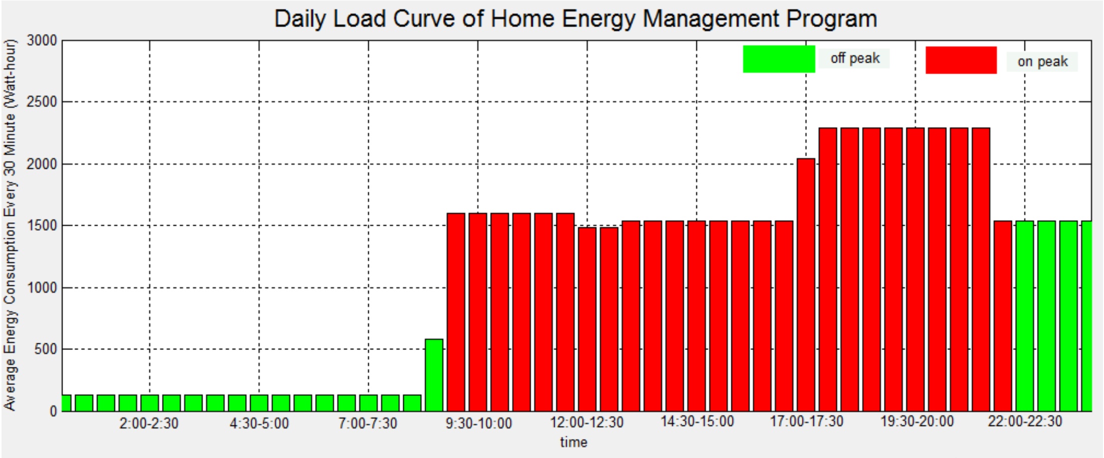
เมื่อดำเนินการทดสอบระบบตามแผนการทดสอบในช่วงสัปดาห์แรกก่อนติดตั้งระบบ พบว่า ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าของโหลดทั้งระบบของแต่ละวันในช่วงนี้เป็นไปตามกราฟ Daily Load Curve ที่แสดงในภาพที่ ค.1 ถึงภาพที่ ค.7 ตามลำดับ



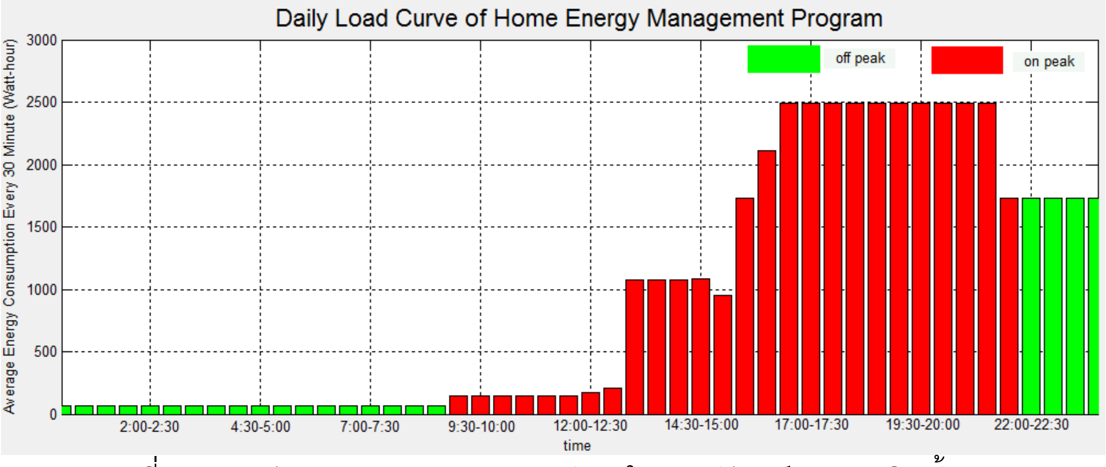
ภาพที่ ค.1 กราฟ Daily Load Curve ของวันอาทิตย์ในช่วงสัปดาห์แรกก่อนติดตั้งระบบ



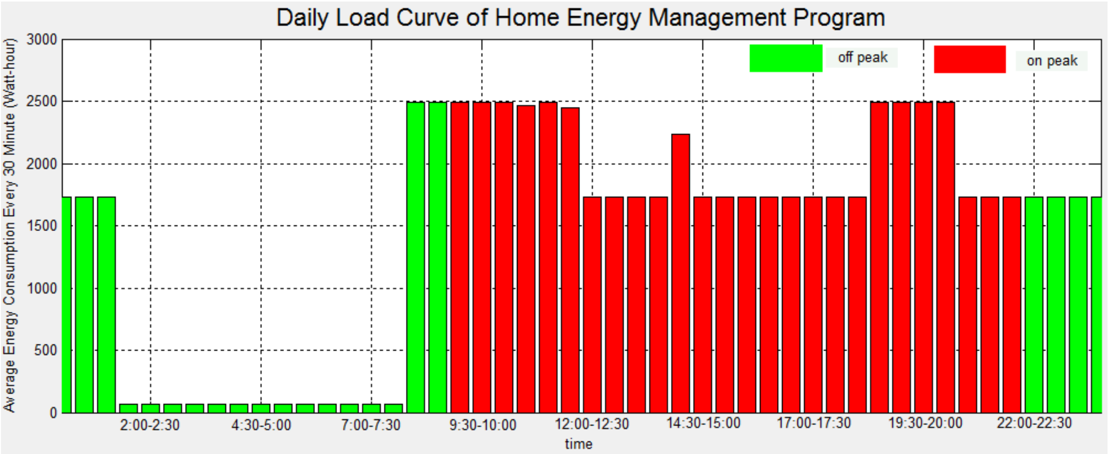
ภาพที่ ค.2 กราฟ Daily Load Curve ของวันจันทร์ในช่วงสัปดาห์แรกก่อนติดตั้งระบบ



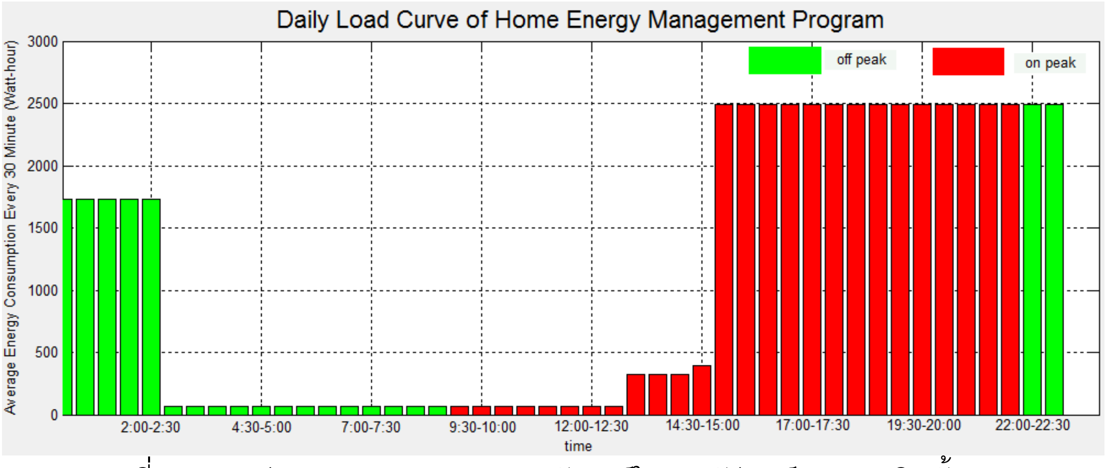
ภาพที่ ค.3 กราฟ Daily Load Curve ของวันอังคารในช่วงสัปดาห์แรกก่อนติดตั้งระบบ



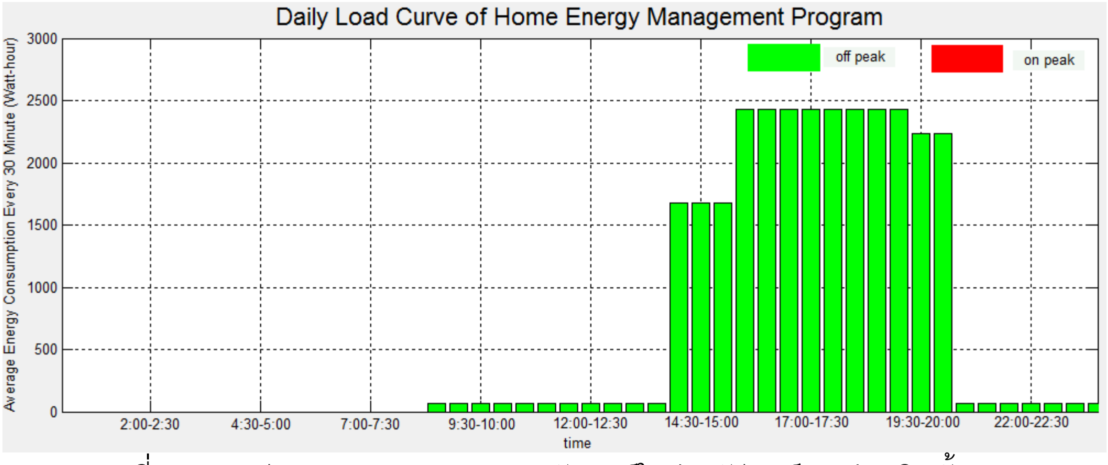
ภาพที่ ค.4 กราฟ Daily Load Curve ของวันพุธในช่วงสัปดาห์แรกก่อนติดตั้งระบบ



ภาพที่ ค.5 กราฟ Daily Load Curve ของวันพฤหัสบดีในช่วงสัปดาห์แรกก่อนติดตั้งระบบ



ภาพที่ ค.6 กราฟ Daily Load Curve ของวันศุกร์ในช่วงสัปดาห์แรกก่อนติดตั้งระบบ



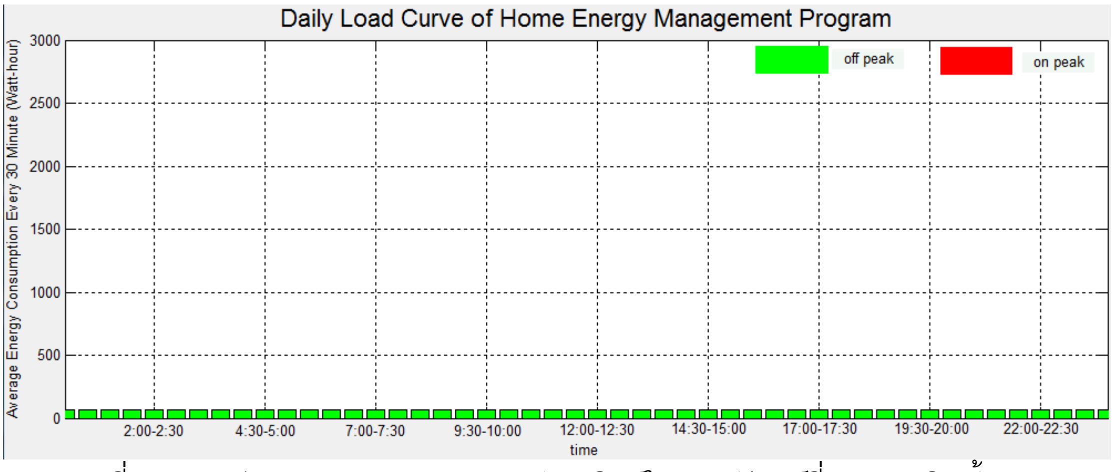
ภาพที่ ค.7 กราฟ Daily Load Curve ของวันเสาร์ในช่วงสัปดาห์แรกก่อนติดตั้งระบบ

จากผลการทดสอบพบว่า ค่าพลังงานไฟฟ้าที่โหลดทั้งหมดใช้ไปในช่วงสัปดาห์แรกก่อนติดตั้งระบบคิดเป็น 313.02 kWh และราคาค่าไฟฟ้ารวมของสัปดาห์ดังกล่าวคิดเป็น 1400.52 บาท ซึ่งคิดตามการเก็บราคาค่าไฟฟ้าอัตรา TOU ประจำเดือนตุลาคม พ.ศ. 2555 ที่คิดราคาค่าไฟฟ้าในช่วง off-peak เป็น 2.3027 บาท/kWh คิดราคาค่าไฟฟ้าในช่วง on-peak เป็น 3.9189 บาท/kWh ค่าพลังงานไฟฟ้าผันแปรเป็น 0.48 บาท/kWh ค่าบริการรายเดือนเป็น 321.24 บาท และคิดภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% [11] แล้วจึงคำนวณราคาค่าไฟฟ้าตามสูตรในสมการที่ 5.8 ซึ่งได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 5.3.1.1 ส่วนแสดงผลข้อมูลของการใช้พลังงานไฟฟ้าบทที่ 5 แล้ว

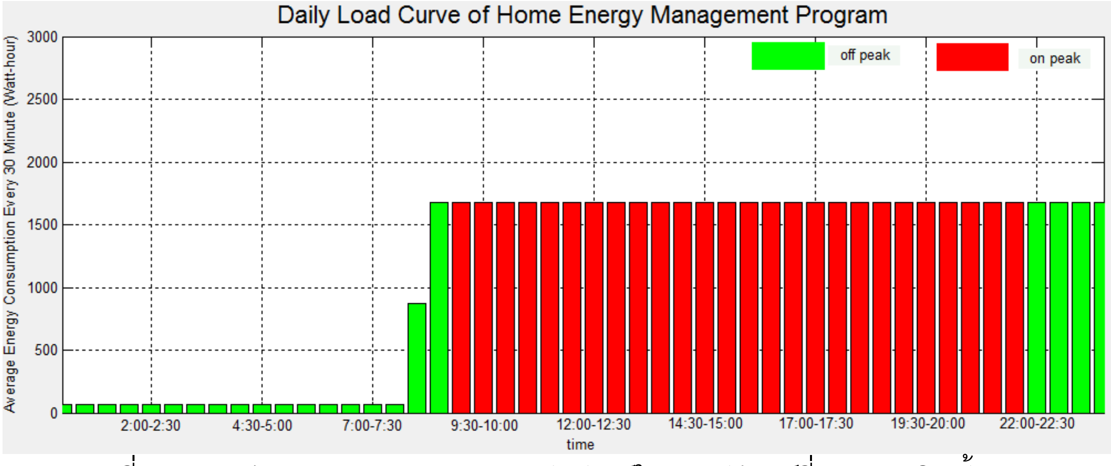
ค.2 ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงสัปดาห์ที่สองก่อนติดตั้งระบบ

เมื่อดำเนินการทดสอบระบบตามแผนการทดสอบในช่วงสัปดาห์ที่สองก่อนติดตั้งระบบ

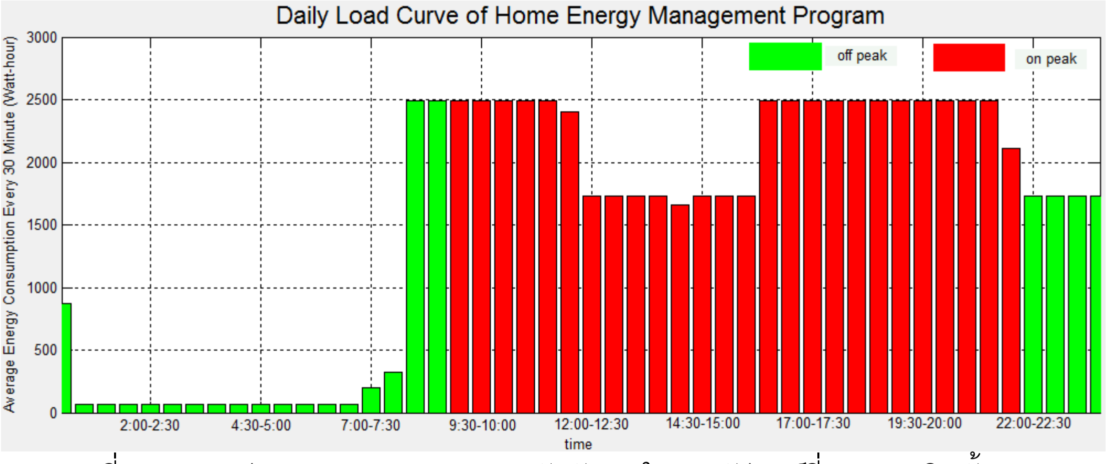
พบว่า ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าของโหลดทั้งระบบของแต่ละวันในช่วงนี้เป็นไปตามกราฟ Daily Load Curve ที่แสดงในภาพที่ ค.8 ถึงภาพที่ ค.14 ตามลำดับ



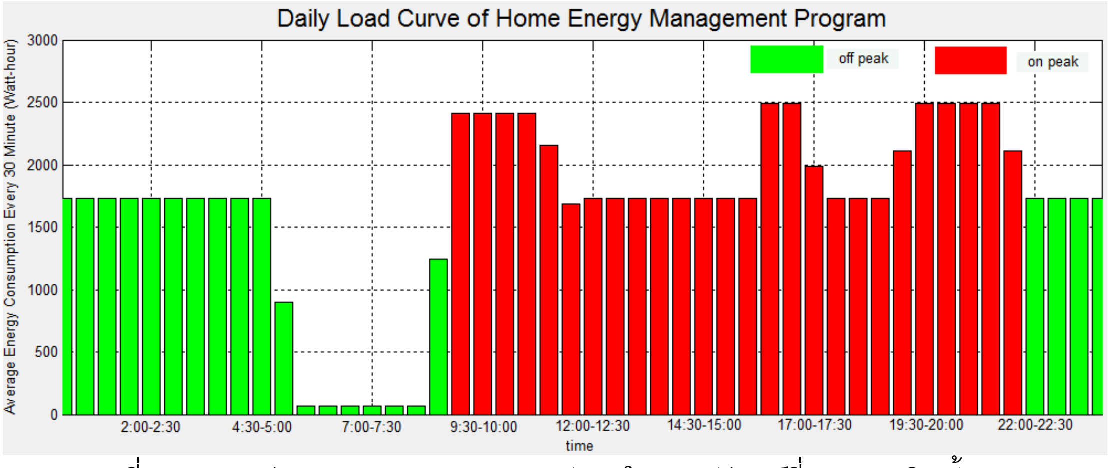
ภาพที่ ค.8 กราฟ Daily Load Curve ของวันอาทิตย์ในช่วงสัปดาห์ที่สองก่อนติดตั้งระบบ



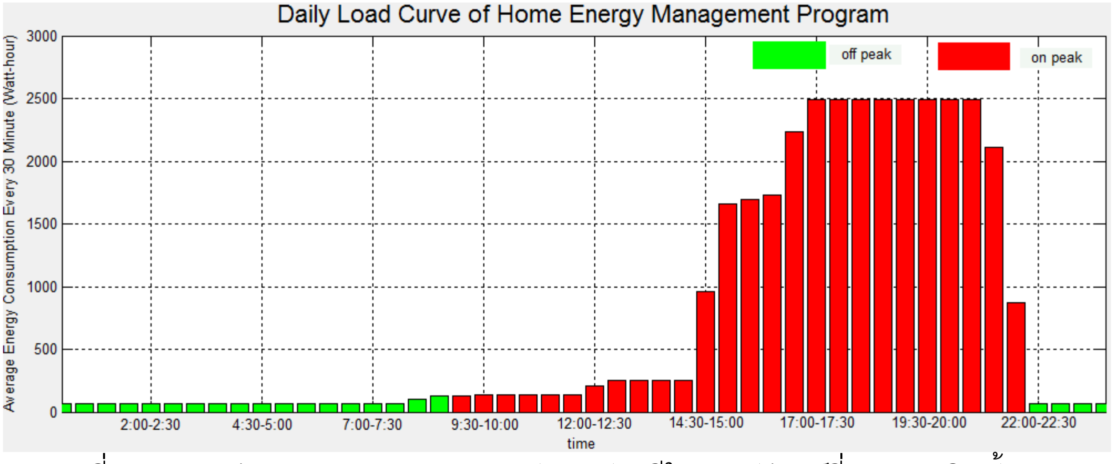
ภาพที่ ค.9 กราฟ Daily Load Curve ของวันจันทร์ในช่วงสัปดาห์ที่สองก่อนติดตั้งระบบ



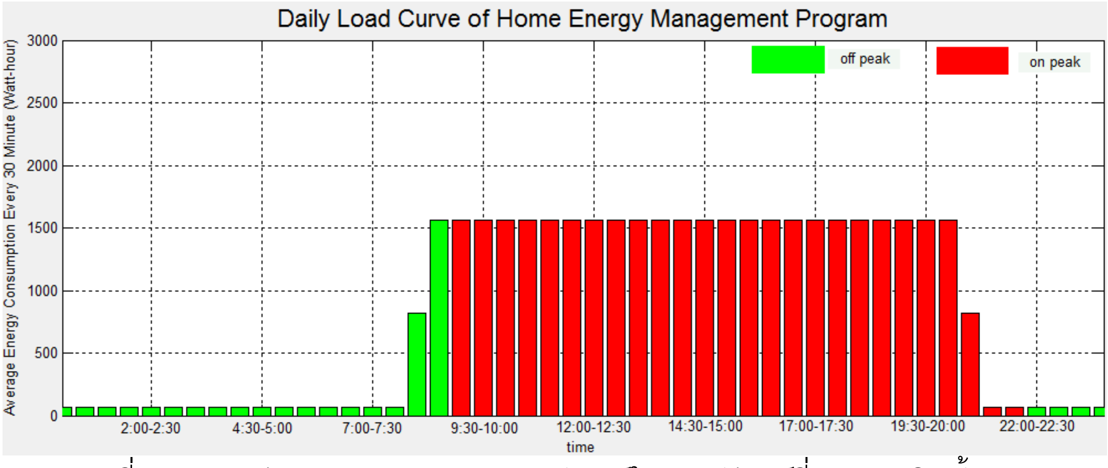
ภาพที่ ค.10 กราฟ Daily Load Curve ของวันอังคารในช่วงสัปดาห์ที่สองก่อนติดตั้งระบบ



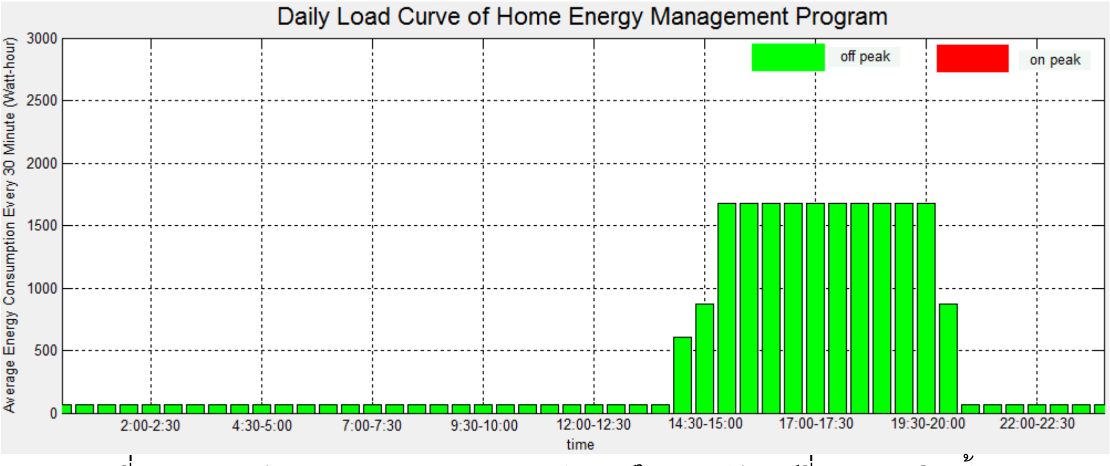
ภาพที่ ค.11 กราฟ Daily Load Curve ของวันพุธในช่วงสัปดาห์ที่สองก่อนติดตั้งระบบ



ภาพที่ ค.12 กราฟ Daily Load Curve ของวันพฤหัสบดีในช่วงสัปดาห์ที่สองก่อนติดตั้งระบบ



ภาพที่ ค.13 กราฟ Daily Load Curve ของวันศุกร์ในช่วงสัปดาห์ที่สองก่อนติดตั้งระบบ

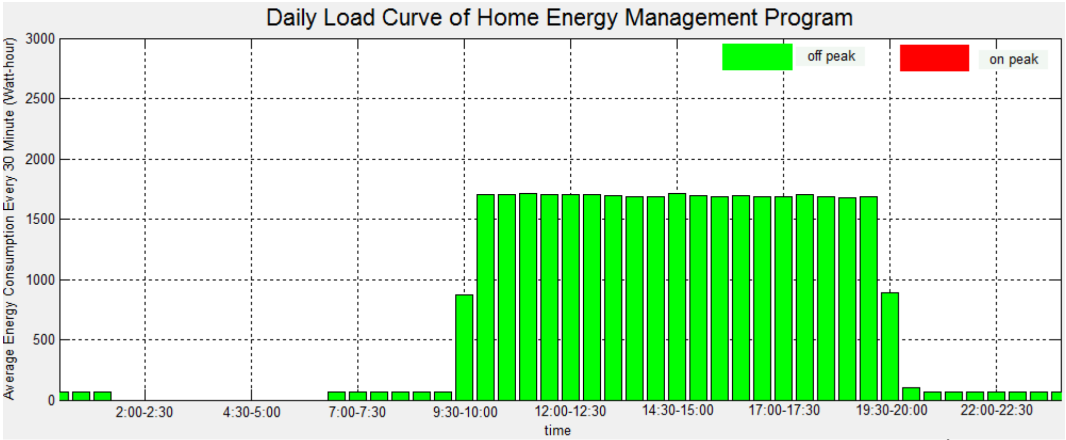


ภาพที่ ค.14 กราฟ Daily Load Curve ของวันเสาร์ในช่วงสัปดาห์ที่สองก่อนติดตั้งระบบ

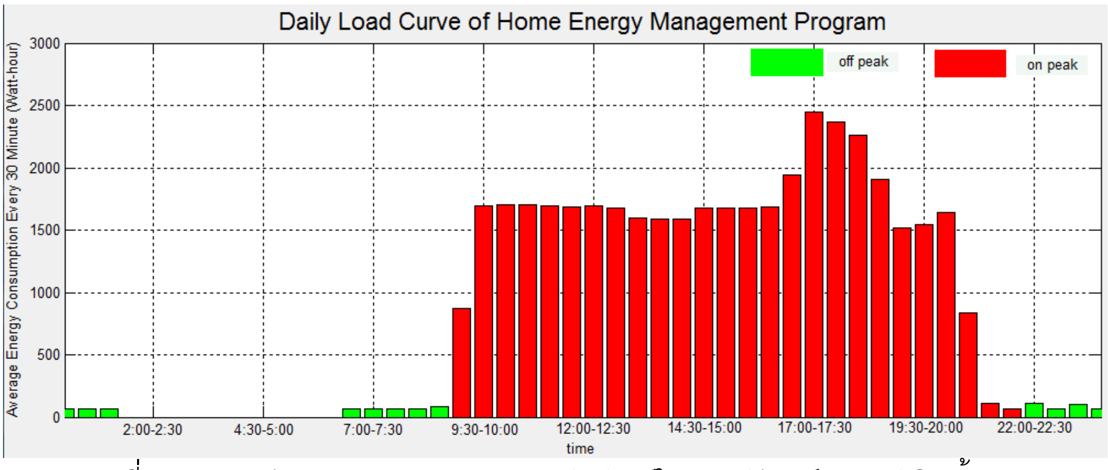
จากผลการทดสอบพบว่า ค่าพลังงานไฟฟ้าที่โหลดทั้งหมดใช้ไปในช่วงสัปดาห์ที่สองก่อนติดตั้งระบบคิดเป็น 307.31 kWh และราคาค่าไฟฟ้ารวมของสัปดาห์ดังกล่าวคิดเป็น 1390.79 บาท ซึ่งคิดตามการเก็บราคาค่าไฟฟ้าอัตรา TOU ประจำเดือนตุลาคม พ.ศ. 2555 ที่คิดราคาค่าไฟฟ้าในช่วง off-peak เป็น 2.3027 บาท/kWh คิดราคาค่าไฟฟ้าในช่วง on-peak เป็น 3.9189 บาท/kWh ค่าพลังงานไฟฟ้าผันแปรเป็น 0.48 บาท/kWh ค่าบริการรายเดือนเป็น 321.24 บาท และคิดภาษีมูลค่าเพิ่ม 7% [11] แล้วจึงคำนวณราคาค่าไฟฟ้าตามสูตรในสมการที่ 5.8 ซึ่งได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 5.3.1.1 ส่วนแสดงผลข้อมูลของการใช้พลังงานไฟฟ้าบทที่ 5 แล้ว

ค.3 ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงสัปดาห์แรกหลังติดตั้งระบบ

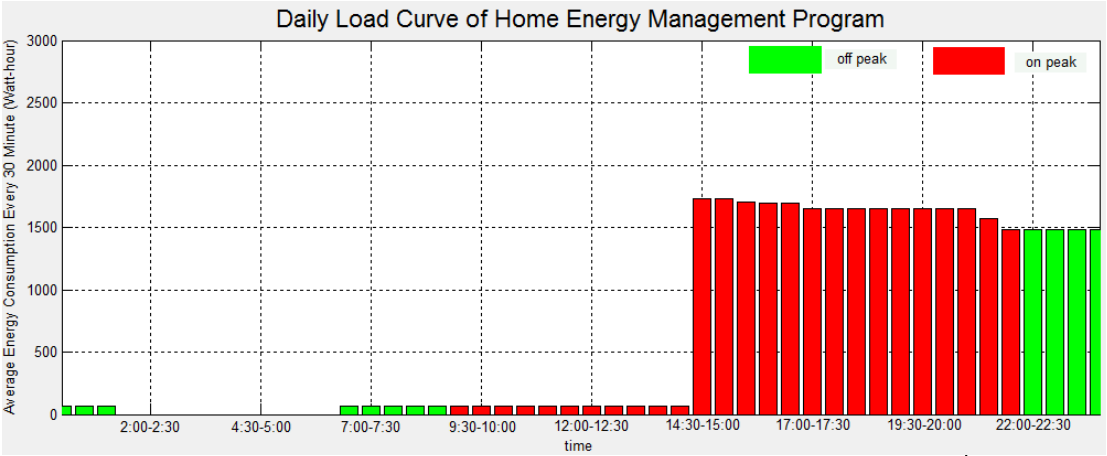
เมื่อดำเนินการทดสอบระบบตามแผนการทดสอบในช่วงสัปดาห์แรกหลังติดตั้งระบบ พบว่า ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าของโหลดทั้งระบบของแต่ละวันในช่วงนี้เป็นไปตามกราฟ Daily Load Curve ที่แสดงในภาพที่ ค.15 ถึงภาพที่ ค. 21 ตามลำดับ



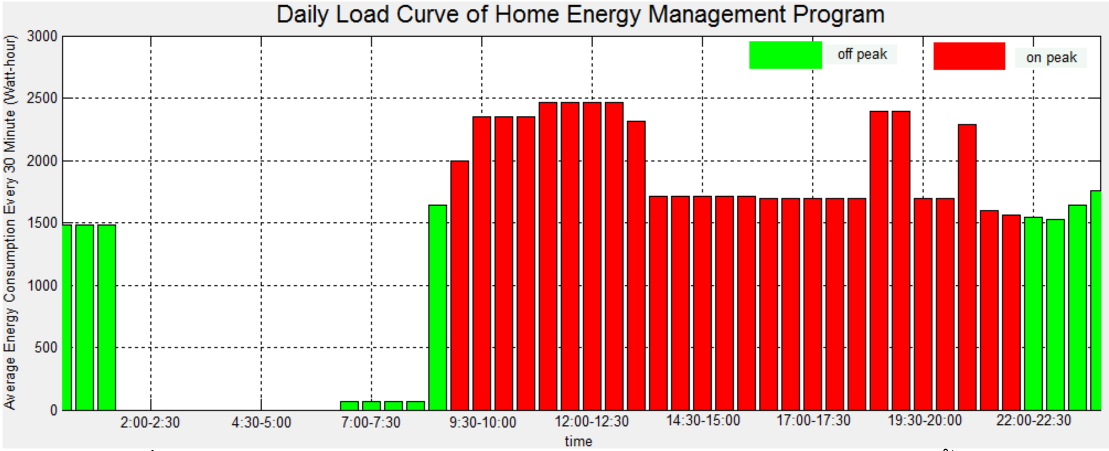
ภาพที่ ค.15 กราฟ Daily Load Curve ของวันอาทิตย์ในช่วงสัปดาห์แรกหลังติดตั้งระบบ



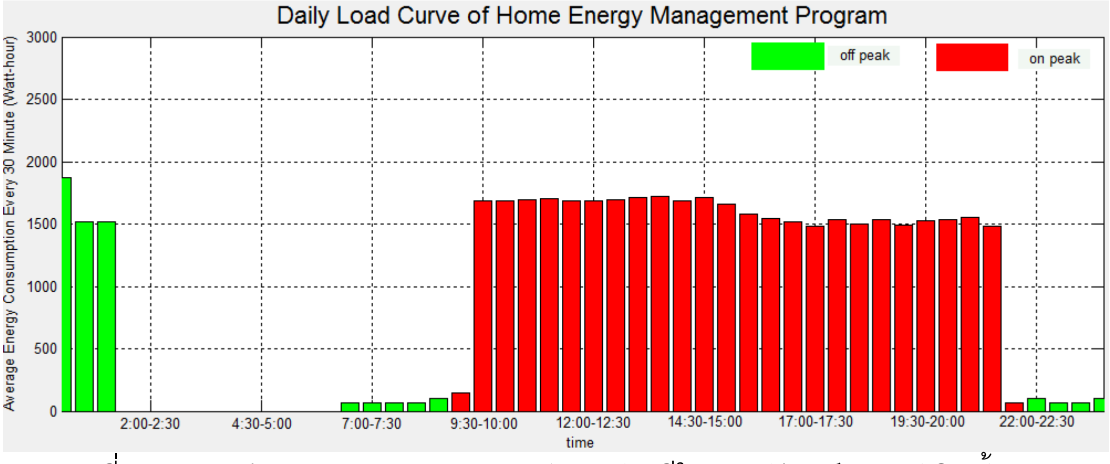
ภาพที่ ค.16 กราฟ Daily Load Curve ของวันจันทร์ในช่วงสัปดาห์แรกหลังติดตั้งระบบ



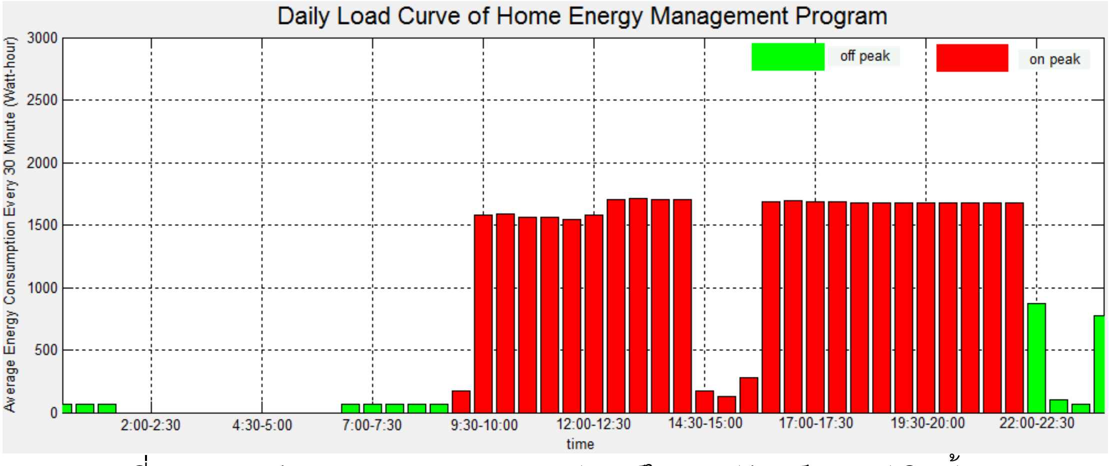
ภาพที่ ค.17 กราฟ Daily Load Curve ของวันอังคารในช่วงสัปดาห์แรกหลังติดตั้งระบบ



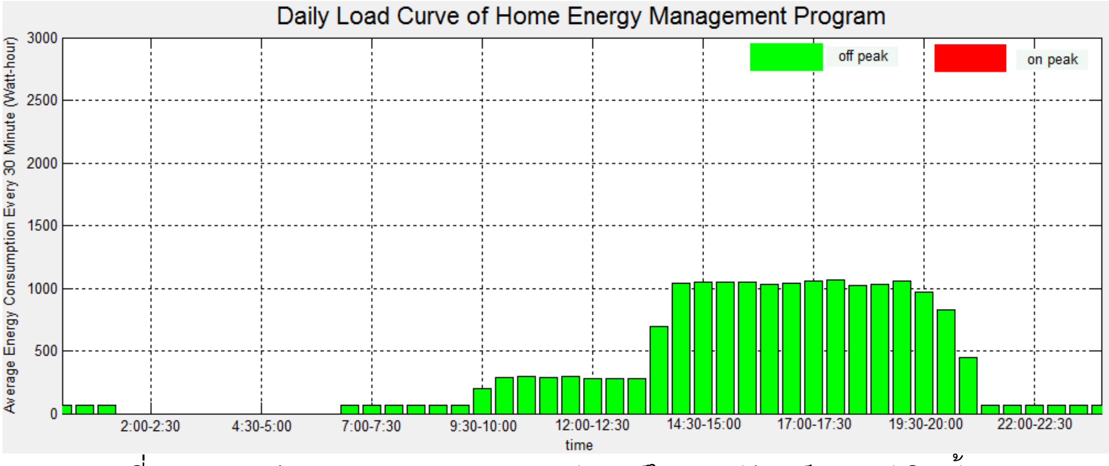
ภาพที่ ค.18 กราฟ Daily Load Curve ของวันพุธในช่วงสัปดาห์แรกหลังติดตั้งระบบ



ภาพที่ ค.19 กราฟ Daily Load Curve ของวันพฤหัสบดีในช่วงสัปดาห์แรกหลังติดตั้งระบบ



ภาพที่ ค.20 กราฟ Daily Load Curve ของวันศุกร์ในช่วงสัปดาห์แรกหลังติดตั้งระบบ

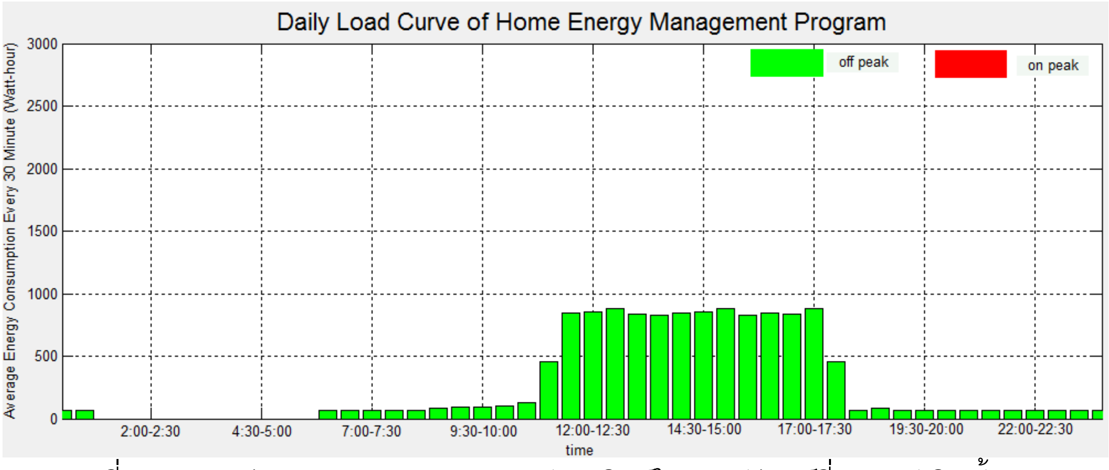


ภาพที่ ค.21 กราฟ Daily Load Curve ของวันเสาร์ในช่วงสัปดาห์แรกหลังติดตั้งระบบ

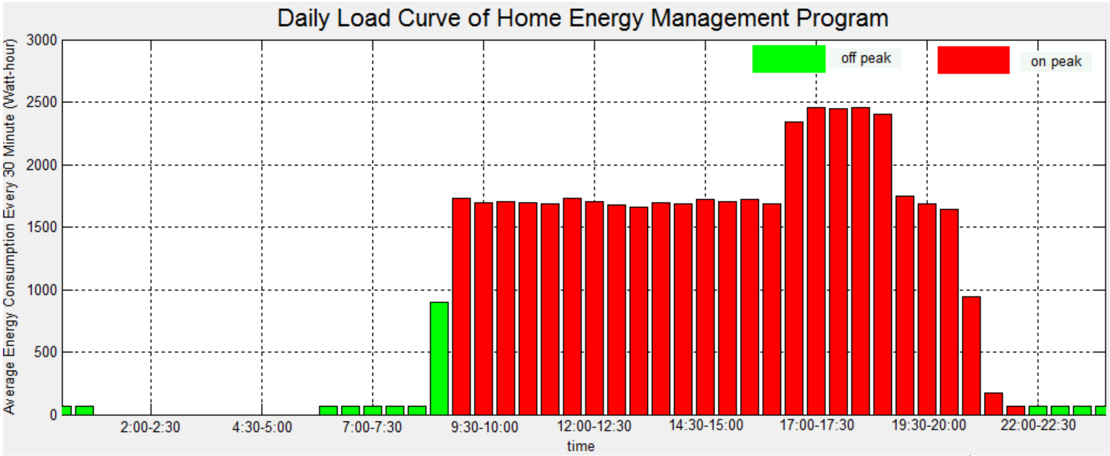
จากผลการทดสอบพบว่า ค่าพลังงานไฟฟ้าที่โหลดทั้งหมดใช้ไปในช่วงสัปดาห์แรกหลังติดตั้งระบบคิดเป็น 275.65 kWh และราคาค่าไฟฟ้ารวมของสัปดาห์ดังกล่าวคิดเป็น 1242.96 บาท ซึ่งคิดตามการเก็บราคาค่าไฟฟ้าอัตราเดียวกันกับอัตราการเก็บราคาค่าไฟฟ้าแบบ TOU ในช่วงสัปดาห์ก่อนติดตั้งระบบทั้ง 2 สัปดาห์

ค.4 ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงสัปดาห์ที่สองหลังติดตั้งระบบ

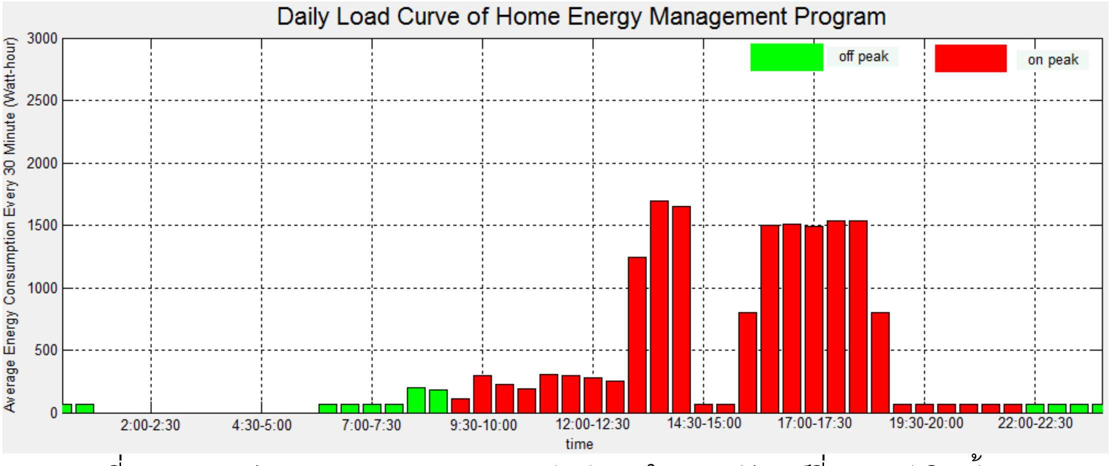
เมื่อดำเนินการทดสอบระบบตามแผนการทดสอบในช่วงสัปดาห์ที่สองหลังติดตั้งระบบ พบว่า ผลการใช้พลังงานไฟฟ้าของโหลดทั้งระบบของแต่ละวันในช่วงนี้เป็นไปตามกราฟ Daily Load Curve ที่แสดงในภาพที่ ค.22 ถึงภาพที่ ค.28 ตามลำดับ



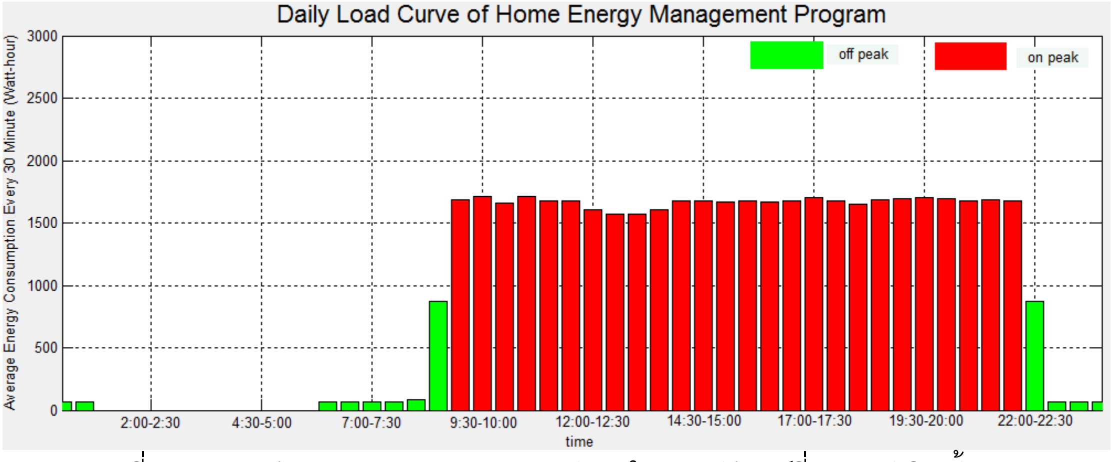
ภาพที่ ค.22 กราฟ Daily Load Curve ของวันอาทิตย์ในช่วงสัปดาห์ที่สองหลังติดตั้งระบบ



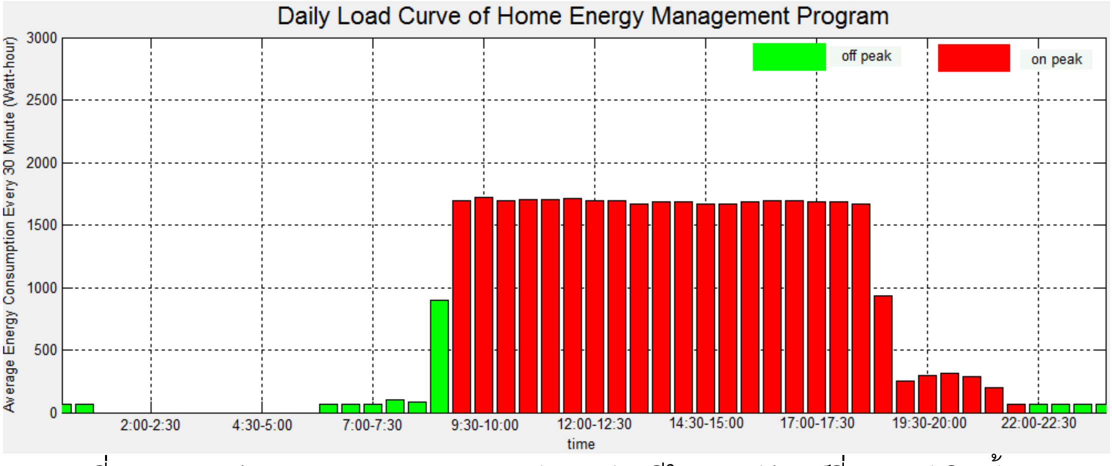
ภาพที่ ค.23 กราฟ Daily Load Curve ของวันจันทร์ในช่วงสัปดาห์ที่สองหลังติดตั้งระบบ



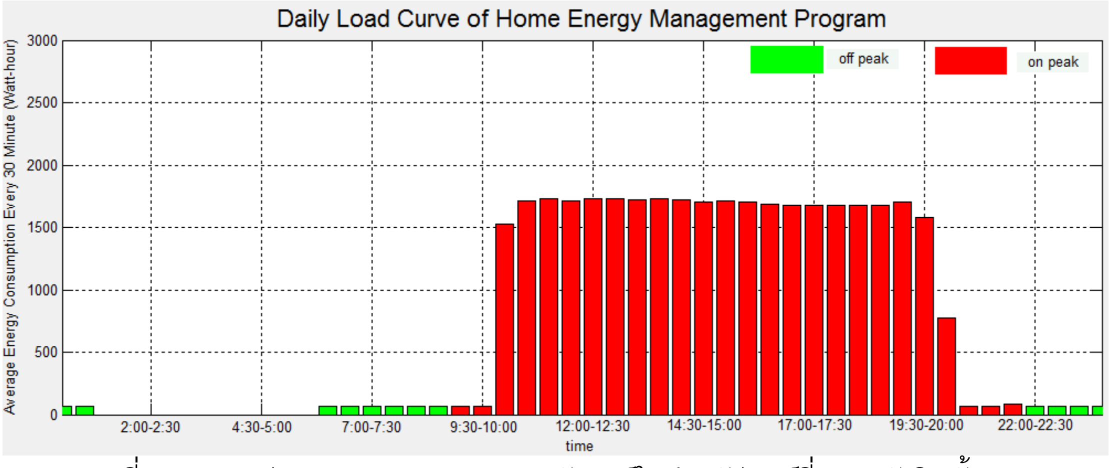
ภาพที่ ค.24 กราฟ Daily Load Curve ของวันอังคารในช่วงสัปดาห์ที่สองหลังติดตั้งระบบ



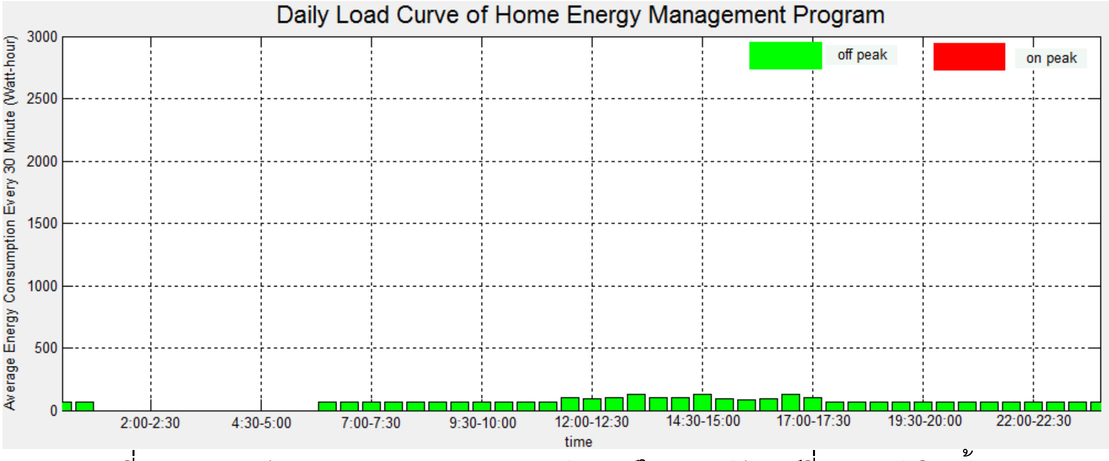
ภาพที่ ค.25 กราฟ Daily Load Curve ของวันพุธในช่วงสัปดาห์ที่สองหลังติดตั้งระบบ



ภาพที่ ค.26 กราฟ Daily Load Curve ของวันพฤหัสบดีในช่วงสัปดาห์ที่สองหลังติดตั้งระบบ



ภาพที่ ค.27 กราฟ Daily Load Curve ของวันศุกร์ในช่วงสัปดาห์ที่สองหลังติดตั้งระบบ



ภาพที่ ค.28 กราฟ Daily Load Curve ของวันเสาร์ในช่วงสัปดาห์ที่สองหลังติดตั้งระบบ

จากผลการทดสอบพบว่า ค่าพลังงานไฟฟ้าที่โหลดทั้งหมดใช้ไปในช่วงสัปดาห์ที่สองหลังติดตั้งระบบคิดเป็น 106.72 kWh และราคาค่าไฟฟ้ารวมของสัปดาห์ดังกล่าวคิดเป็น 970.73 บาท ซึ่งคิดตามการเก็บราคาค่าไฟฟ้าอัตราเดียวกันกับอัตราการเก็บราคาค่าไฟฟ้าแบบ TOU ในช่วงสัปดาห์ก่อนติดตั้งระบบทั้ง 2 สัปดาห์ และผู้ใช้ไฟฟ้ามีความพึงพอใจกับการจัดการพลังงานของระบบที่พัฒนาขึ้น

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย ชนัตพล ผิวล่อง เกิดวันที่ 21 พฤษภาคม พ.ศ. 2532 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2553 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2554