

การออกแบบระบบตรวจติดตามการใช้กำลังไฟฟ้าตามเวลาจริงและการวิเคราะห์ความ
ต้องการใช้ไฟฟ้าสำหรับอาคารโรงพยาบาล

DESIGN OF A REAL TIME ELECTRICAL POWER MONITORING SYSTEM AND
ELECTRICAL DEMAND ANALYSIS FOR A HOSPITAL BUILDING



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2563

KMITL-2020-EN-M-020-009

การออกแบบระบบตรวจติดตามการใช้กำลังไฟฟ้าตามเวลาจริงและการวิเคราะห์ความ
ต้องการใช้ไฟฟ้าสำหรับอาคารโรงพยาบาล

DESIGN OF A REAL TIME ELECTRICAL POWER MONITORING SYSTEM AND
ELECTRICAL DEMAND ANALYSIS FOR A HOSPITAL BUILDING



พชร กลิ่นวิชิต
PODCHARA KLINWICHIT

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2563

KMITL-2020-EN-M-020-009

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN OF A REAL TIME ELECTRICAL POWER MONITORING SYSTEM AND
ELECTRICAL DEMAND ANALYSIS FOR A HOSPITAL BUILDING



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2020

KMITL-2020-EN-M-020-009

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2020

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบระบบตรวจติดตามการใช้กำลังไฟฟ้าตามเวลาจริง และการวิเคราะห์ความต้องการใช้ไฟฟ้าสำหรับอาคารโรงพยาบาล
นักศึกษา	นายพชร กลิ่นวิชิต
รหัสประจำตัว	59601169
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2563
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.เปี่ยมภูมิ สฤกพฤกษ์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอระบบตรวจติดตามการใช้กำลังไฟฟ้าในอาคารโรงพยาบาลตามเวลาจริง โดยใช้เทคโนโลยีระบบสมองกลฝังตัวเป็นองค์ประกอบหลัก และนำเทคโนโลยีระบบอินเทอร์เน็ต ออฟทิงส์มาประยุกต์ในการส่งข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ต โดยมีโครงสร้างที่ออกแบบประกอบด้วย 3 ส่วน ดังนี้ ส่วนที่หนึ่ง คือ วงจรเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าที่สามารถวัดค่า กำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าปรากฏ ค่าประกอบกำลังไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าได้ ส่วนที่สอง คือ วงจรศูนย์กลางระบบที่สามารถรับส่งข้อมูลและบันทึกพารามิเตอร์ไฟฟ้าในหน่วยความจำไมโครเอสดีการ์ดได้ ส่วนที่สาม คือ วงจรอินเทอร์เน็ตออฟทิงส์ทำหน้าที่รับส่งข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ตเพื่อบันทึกค่าลงในฐานข้อมูลเชิงสปีคบนอินเทอร์เน็ต เพื่อให้ผู้ใช้สามารถติดตามการใช้กำลังไฟฟ้าตามเวลาจริงได้ นอกจากนี้ยังทำการออกแบบและติดตั้งวงจรบันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นในอาคารเพื่อใช้ประกอบการวิเคราะห์ความต้องการไฟฟ้า เครื่องมือนี้สามารถบันทึกค่าพารามิเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส ทั้งหมด 32 วงจร โดยมีอัตราการวัดสูงสุด 1 ค่าต่อ 1 วินาที มีสถานที่ติดตั้งระบบ คือ อาคารโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยบูรพา โดยเก็บข้อมูลเป็นระยะเวลา 6 เดือนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ได้นำเสนอแนวทางการวิเคราะห์เบื้องต้นเพื่อการประมาณค่าความต้องการไฟฟ้าล่วงหน้า 1 วันของแต่ละวงจร วิธีการวิเคราะห์ที่นำเสนอประกอบด้วย ขั้นแรกเป็นวิธีการแยกกลุ่มข้อมูลด้วยวิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อน เพื่อแยกวงจรย่อยที่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่แตกต่างกัน ส่วนต่อมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการใช้ไฟฟ้ากับจำนวนผู้ใช้อาคาร อุณหภูมิและความชื้นในอาคาร เพื่อศึกษาตัวแปรที่ส่งผลต่อการใช้ไฟฟ้าของแต่ละวงจรย่อย ส่วนสุดท้ายเสนอวิธีประมาณค่าความต้องการไฟฟ้าเบื้องต้นด้วยวิธีวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ ผลลัพธ์ที่ได้คือความต้องการไฟฟ้าและขอบเขตเพื่อนำไปใช้ประเมินความผิดปกติของการใช้กำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพได้ตามเวลาจริง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการพลังงานในอาคารโรงพยาบาลได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Design of a Real Time Electrical Power Monitoring System and Electrical Demand Analysis for a Hospital Building
Student	Mr. Podchara Klinwichit
Student ID.	59601160
Degree	Master of Engineering
Program	Electrical Engineering
Year	2020
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Piampoom Sarikprueck

ABSTRACT

This thesis proposes a real time electrical power monitoring system using an embedded system as a key component. Internet of things technology is additionally equipped in the proposed system to improve the transmitting data ability via the internet. The designed system consists of 3 parts. The first part is electrical power meter circuits which can measure real power, apparent power, power factor, current, and voltage. The second part is the data transmission center circuits which can receive data from each power meter and transmit these data for recording to a local memory micro SD card. The third part is the internet of things circuit which can provide an ability to receive and transmit data via the internet. The collected data from this part are sent to the online database “ThingSpeak” that help users to monitor the electrical power of the building in real time. In addition, an ambient temperature and humidity measurement circuit is designed and installed in the building for electrical demand analysis consideration. This proposed system is installed for 32 electric circuits to measure 3 phase electrical parameters in the Burapha University hospital building with the sampling rate as 1 second. The proposed system can effectively collect the data for 6 months. After collecting the data, this thesis proposes a preliminary analyzing technique to estimate day-ahead electrical demand for each circuit. First of all, the K-means clustering technique is used to divide the electrical power characteristics. Next, a correlation analysis is used to calculate the relationship between electrical power and three important relevant parameters including customers, ambient temperature and humidity. Finally, the multiple regression technique is implemented

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

to estimate day ahead electrical demand and bounds of electric circuit. The results show that the proposed method can effectively evaluate real time abnormal electrical power characteristics to efficiently enhance the electrical energy management in hospital building.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และตัด||อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาของ ผศ.ดร.เปี่ยมภูมิ สฤกพฤกษ์ อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ และ รศ. พิชิต ถ้ายอง ที่ให้ความช่วยเหลือแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ สำหรับโครงการสนับสนุนทุนนักวิจัยใหม่ (วท.) ประจำปี 2560 ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณ ห้องปฏิบัติการวิจัยเครื่องจักรกลไฟฟ้า (Electrical Machines Research Laboratory : EMRL) ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เป็นสถานที่ในการออกแบบ พัฒนาและจัดทำระบบตรวจติดตามไฟฟ้าทำให้ได้เรียนรู้กระบวนการสร้างชิ้นงานขึ้นจริง ซึ่งเป็นทักษะที่สามารถนำไปใช้ในอนาคตได้

ขอขอบคุณ นายชาญปกรณ์ ณ นิโรจน์ นาย วาทิต ผิงผาย นางสาว วริสสรา ชื่นชมน้อย รวมถึง พี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ ที่คอยให้ความช่วยเหลือและแนะนำแก่ผู้วิจัยเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ ผศ.ดร.ปานจิต ดำรงกุลกำจร ผศ.ดร.เชาว์ ชมภูอินทร์ ผศ.ดร.ชาย ชมภูอินทร์ และ ผศ.ดร.วรวัชรณ์ นาคะวิโร คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำและแนวทางในการจัดทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยบูรพา ที่เป็นสถานที่ติดตั้งระบบตรวจติดตามไฟฟ้า และขอขอบคุณ นายแพทย์อนุเทพ บุรมิ รองผู้อำนวยการโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้การสนับสนุนในการประสานงานและสนับสนุนข้อมูลที่เป็นต่อการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่สนับสนุนให้คำแนะนำการทำวิทยานิพนธ์และวิธีติดต่อประสานงานกับโรงพยาบาล ทั้งยังเป็นกำลังใจทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

คุณประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

เพชร กลิ่นวิชิต

สารบัญ

หน้าที่

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	IV
สารบัญ.....	V
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญรูป	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา	3
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	3
1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับ	4
1.5 ขั้นตอนของการศึกษา.....	4
บทที่ 2 ความรู้และโครงสร้างของระบบตรวจติดตามการใช้กำลังไฟฟ้า.....	5
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.2 ระบบสมองกลฝังตัว.....	9
2.3 เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตออฟริงส์.....	10
2.4 ทฤษฎีวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ.....	13
2.4.1 แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ	13
2.4.2 ภาระไฟฟ้า.....	14
2.4.3 กำลังไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ	16
2.4.4 การวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์.....	16
2.4.5 การวัดสัญญาณกระแสสลับ.....	18
2.5 วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลด้วยวิธีค่าเฉลี่ยเค.....	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้าที่

2.5.1 การวิเคราะห์กลุ่มแบบเป็นขั้นตอน.....	18
2.5.2 การวิเคราะห์กลุ่มแบบไม่เป็นขั้นตอน.....	19
2.6 การวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์	22
2.7 สถิติเชิงพรรณนา	25
2.7.1 การวัดค่าความแจกแจงด้วยค่าทางสถิติ	26
2.7.2 การแสดงข้อมูลแบบฮิสโตแกรม	26
2.7.3 การแจกแจงปกติ.....	27
2.7.4 การตรวจสอบว่าชุดข้อมูลเป็นการแจกแจงปกติหรือไม่	28
2.8 การสร้างเส้นค่าฐานการใช้ไฟฟ้า	30
2.9 การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ.....	32
บทที่ 3 การออกแบบระบบตรวจติดตามการใช้กำลังไฟฟ้า.....	33
3.1 วงจรย่อยในอาคารโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยบูรพา	34
3.2 เจ็อนไซในการออกแบบระบบ	36
3.3 รายละเอียดอุปกรณ์ที่ใช้สร้างระบบตรวจติดตามการใช้กำลังไฟฟ้าตามเวลาจริง... ..	36
3.3.1 อาร์ดูโนนาโน (Arduino Nano)	36
3.3.2 หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า (Potential Transformer).....	38
3.3.3 หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า (Current Transformer).....	38
3.3.4 โมดูลไวไฟโหนดเอ็มซียู (NodeMCU WiFi Module)	39
3.3.5 โมดูลนาฬิกาเรียลไทม์คล็อก (Real Time Clock Module)	41
3.3.6 ไมโครเอสดีการ์ดโมดูล (Micro SD Card Module).....	41
3.3.7 ไมโครเอสดีการ์ด (Micro SD Card).....	41
3.3.8 เซนเซอร์อุณหภูมิและความชื้น (Temperature and Humidity Sensor).....	42
3.3.9 เครื่องสำรองไฟฟ้า (Uninterruptible Power Supply: UPS).....	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้าที่

3.3.10 โมเด็มอินเทอร์เน็ตไร้สาย (4G Pocket WiFi)	43
3.4 โครงสร้างของระบบที่ได้ออกแบบ	43
3.4.1 วงจรวัดกำลังไฟฟ้า 3 เฟส (สเลฟ).....	44
3.4.2 วงจรศูนย์กลางในการรับส่งข้อมูลและเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต (มาสเตอร์) 50	
3.4.3 วงจรบันทึกค่าพารามิเตอร์อุณหภูมิและความชื้น.....	60
3.5 ติดตั้งระบบตรวจติดตามการใช้ไฟฟ้าตามเวลาจริง	63
บทที่ 4 ผลการติดตั้งระบบตรวจติดตามการใช้กำลังไฟฟ้าตามเวลาจริงและแนวทางการวิเคราะห์ ความต้องการใช้ไฟฟ้าเบื้องต้น.....	68
4.1 ผลของการติดตั้งระบบตรวจติดตามการใช้กำลังไฟฟ้าตามเวลาจริง	69
4.1.1 ผลการสอบเทียบอุปกรณ์ที่สร้าง	69
4.1.2 ลักษณะข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของภาระแต่ละประเภทในอาคารโรงพยาบาล	72
4.1.3 ผลของการบันทึกอุณหภูมิและความชื้น	81
4.1.4 ความสมบูรณ์ในการจัดเก็บข้อมูล.....	85
4.2 แนวทางการวิเคราะห์ความต้องการไฟฟ้าเบื้องต้น	88
4.2.1 วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลด้วยวิธีค่าเฉลี่ยเค	89
4.2.2 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์.....	93
4.2.3 การสร้างเส้นค่าฐานการใช้กำลังไฟฟ้าและขอบเขต	99
4.2.4 การประมาณค่าความต้องการไฟฟ้า	104
4.2.5 การประเมินความผิดปกติของการใช้กำลังไฟฟ้าตามเวลาจริง.....	109
บทที่ 5 สรุปผลวิทยานิพนธ์.....	111
5.1 การออกแบบและจัดทำระบบตรวจติดตามการใช้ไฟฟ้าตามเวลาจริง	111
5.1.1 ความสามารถของระบบตรวจติดตามการใช้กำลังไฟฟ้า.....	111
5.1.2 ประเมินกิจกรรมรณรงค์จากข้อมูลของโรงพยาบาล.....	111

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้าที่

5.1.3 เปรียบเทียบราคา.....	112
5.2 การวิเคราะห์การใช้กำลังไฟฟ้าด้วยวิธีทางสถิติ.....	113
5.2.1 การแบ่งกลุ่มข้อมูลด้วยวิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อน 113	113
5.2.2 การหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 113	113
5.2.3 การสร้างเส้นค่าฐานการใช้ไฟฟ้า 114	114
5.2.4 การประมาณค่าความต้องการไฟฟ้าด้วยวิธีวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ	114
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	114
5.3.1 การพัฒนาความสมบูรณ์ในการเก็บข้อมูล.....	114
5.3.2 ระบบการบริหารจัดการการใช้ไฟฟ้าในอาคารโรงพยาบาล.....	114
5.3.3 วิธีการวิเคราะห์ที่ดียิ่งขึ้น.....	116
เอกสารอ้างอิง.....	117
ภาคผนวก.....	119
ภาคผนวก ก อาคารโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยบูรพาที่ติดตั้งระบบตรวจติดตามพลังงาน.....	120
ภาคผนวก ข หนังสือขอความอนุเคราะห์.....	131
ภาคผนวก ค Single line diagram ของโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยบูรพา.....	134
ภาคผนวก ง ข้อมูลอุปกรณ์.....	136
ภาคผนวก จ บทความที่ได้รับการตีพิมพ์.....	140
ประวัติผู้เขียน.....	145

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และดัดแปลง VIII อย่างไรก็ดีเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้าที่
2.1 ค่าวิกฤตของ Kolmogorov-Smirnov Test.....	29
3.1 พิกัดกระแสไฟฟ้าของเซอร์กิตเบรกเกอร์แต่ละวงจร.....	35
3.2 ทดสอบหาจำนวนวงจรสเลฟต่อวงจรมาสเตอร์ 1 วงจร	50
4.1 การสอบเทียบเครื่องมือวัดพารามิเตอร์ไฟฟ้าที่สร้างขึ้น.....	70
4.2 การสอบเทียบเครื่องมือวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้น	71
4.3 การสอบเทียบเครื่องมือวัดความชื้นที่สร้างขึ้น.....	71
4.4 ชนิดของภาระไฟฟ้าในแต่ละวงจรรย่อย	72
4.5 แผนกของโรงพยาบาลในแต่ละชั้น	73
4.6 ความสมบูรณ์ในการจัดเก็บข้อมูลของไมโครเอสดีการ์ด	85
4.7 ความสมบูรณ์ในการจัดเก็บข้อมูลในฐานข้อมูลอินเทอร์เน็ต	86
4.8 วันหยุดเดือนเมษายน.....	90
4.9 ผลการแบ่งกลุ่มข้อมูลด้วยวิธีค่าเฉลี่ยเคของวงจรรย่อย SC32 “LP2A”	90
4.10 ผลการแบ่งกลุ่มข้อมูลด้วยวิธีค่าเฉลี่ยเคของวงจรรย่อย SC10 “X-Ray”	91
4.11 ผลการจัดกลุ่มของทุกวงจรรย่อย.....	91
4.12 ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	94
4.13 ผลการวิเคราะห์ Kolmogorov-Smirnov	102
4.14 การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณของ SC19 “New load center floor 5”	104
4.15 ผลการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณของแต่ละวงจรรย่อย	106
4.16 ค่าความผิดพลาดจากการประมาณค่าของแต่ละวงจรรย่อย	109
5.1 ราคาของระบบตรวจติดตามไฟฟ้าในท้องตลาด	112
5.2 ราคาของระบบตรวจติดตามไฟฟ้าที่สร้างขึ้น.....	113
5.3 เียบฟังค์ชันการทำงาน.....	113

สารบัญรูป

รูปที่	หน้าที่
2.1 โครงสร้างของระบบตรวจติดตามการใช้ไฟฟ้า.....	5
2.2 การประมาณภาระไฟฟ้าใน 1 วัน ในช่วงฤดูร้อน.....	8
2.3 องค์ประกอบระบบสมองกลฝังตัว.....	10
2.4 โครงสร้างอินเตอร์เน็ตออฟฟิงส์.....	11
2.5 โครงสร้างของระบบอินเตอร์เน็ตออฟฟิงส์จากหนังสือ.....	13
2.6 แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส.....	14
2.7 ภาระไฟฟ้า ตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ.....	14
2.8 ลักษณะภาระไฟฟ้าตัวต้านทาน.....	15
2.9 ลักษณะภาระไฟฟ้าตัวเหนี่ยวนำ.....	15
2.10 ลักษณะภาระไฟฟ้าตัวเก็บประจุ.....	15
2.11 แผนภาพภาระไฟฟ้ากระแสสลับและสามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า.....	16
2.12 วงจรวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ.....	17
2.13 วงจรเพิ่มระดับแรงดันกระแสตรง.....	17
2.14 กราฟเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง.....	17
2.15 การใช้หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า.....	18
2.16 Agglomerative Hierarchical Clustering.....	19
2.17 Divisive Hierarchical Clustering.....	19
2.18 การแบ่งกลุ่มข้อมูลด้วยวิธีค่าเฉลี่ยเค.....	21
2.19 ความสัมพันธ์ระหว่างสองตัวแปรไปในทิศทางตรงข้ามกัน.....	22
2.20 ตัวแปรทั้งสองตัวไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกัน.....	23
2.21 ความสัมพันธ์ระหว่างสองตัวแปรไปในทิศทางเดียวกัน.....	23
2.22 ลักษณะที่มีข้อมูลที่มีความสัมพันธ์ไม่เป็นเชิงเส้น.....	24
2.23 ลักษณะที่มีข้อมูลผิดปกติ.....	24
2.24 ลักษณะที่มีข้อมูลที่มีความสัมพันธ์เชิงเส้น.....	25
2.25 เส้นแนวโน้มและความคาดเคลื่อน.....	25
2.26 กราฟฮิสโตแกรมการแจกแจงปกติ.....	27
2.27 ลักษณะกราฟการแจกแจงปกติ.....	27
2.28 กราฟการแจกแจงปกติ (ก) และ กราฟพื้นที่ใต้กราฟ (ข).....	28
2.29 ขอบเขตของข้อมูลที่มีการแจกแจงตัวแบบปกติ.....	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้าที่
3.1 ขั้นตอนการออกแบบและจัดทำระบบตรวจติดตามการใช้ไฟฟ้า	33
3.2 วงจรย่อยของโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยบูรพาที่ติดตามการใช้ไฟฟ้า	34
3.3 อาร์คดยุโนนาโน.....	36
3.4 แผนผังของอาร์คดยุโนนาโน	37
3.5 หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า	38
3.6 หม้อแปลงกระแสไฟฟ้าแบบแกนแยก	39
3.7 โมดูลไวไฟโหนดเอ็มซียู	40
3.8 แผนผังของโหนดเอ็มซียู.....	40
3.9 เรียลไทม์คล็อก (DS1302)	41
3.10 โมดูลไมโครเอสดีการ์ด	41
3.11 ไมโครเอสดีการ์ด	42
3.12 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น (DHT22)	42
3.13 เครื่องสำรองไฟฟ้า	43
3.14 โมเด็มอินเทอร์เน็ตไร้สายของ AIS.....	43
3.15 วงจรระบบตรวจติดตามการใช้ไฟฟ้าตามเวลาจริง	44
3.16 วงจรวัดพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า 3 เฟส	45
3.17 วงจรอ่านแรงดันไฟฟ้า	45
3.18 วงจรอ่านค่ากระแสไฟฟ้า.....	46
3.19 แผนผังซอฟต์แวร์การทำงานของวงจรสเลฟ	47
3.20 วงจรวัดพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า 3 เฟส ของจริง.....	49
3.21 วงจรศูนย์กลางระบบ	51
3.22 ระบบตรวจติดตามการใช้ไฟฟ้าตามเวลาจริง	52
3.23 แผนผังซอฟต์แวร์การทำงานของวงจรมาสเตอร์.....	54
3.24 แผนผังซอฟต์แวร์การทำงานของโมดูลอินเทอร์เน็ต.....	55
3.25 ตัวอย่างไฟล์ข้อมูลพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า 3 เฟส ในไมโครเอสดีการ์ด	56
3.26 ตัวอย่างกราฟกำลังไฟฟ้า ภายใน 1 วัน	57
3.27 ข้อมูลจากฐานข้อมูลเชิงสปีค.....	57
3.28 วงจรศูนย์กลางระบบ ของจริง	58
3.29 กล่องที่ติดตั้งระบบตรวจติดตามการใช้ไฟฟ้าตามเวลาจริง ของจริง	59

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้าที่
3.30 วงจรจุดแยกหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า	59
3.31 หม้อแปลงไฟฟ้าที่ถูกต้องเข้ากับวงจรย่อยแต่ละตัว	60
3.32 วงจรบันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้น	61
3.33 แผนผังซอฟต์แวร์การทำงานของวงจรบันทึกค่าพารามิเตอร์อุณหภูมิและความชื้น	61
3.34 เครื่องมือวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้น ของจริง	62
3.35 ช่องใส่ไมโครเอสดีการ์ดของเครื่องบันทึกอุณหภูมิและความชื้น	62
3.36 วงจรบันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นที่จัดทำขึ้น	63
3.37 ไมโครเอสดีการ์ดโมดูลที่ใช้เก็บข้อมูล	63
3.38 การติดตั้งกล่อง Safety	64
3.39 กล่องป้องกันอันตราย	64
3.40 ติดตั้งหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า	65
3.41 ติดตั้งสายวัดแรงดันไฟฟ้า	65
3.42 ระบบตรวจติดตามไฟฟ้าที่ติดตั้ง	66
3.43 ติดตั้งโมเด็มอินเทอร์เน็ตไร้สายของ AIS	66
3.44 ติดตั้งวงจรวัดอุณหภูมิและความชื้น	67
3.45 โถงกลางอาคารที่ติดตั้งวงจรวัดอุณหภูมิและความชื้น	67
4.1 ผลของการติดตั้งระบบและการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น	68
4.2 Power Meter YOKOGAWA CW240	69
4.3 เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น (Thermo-Hygrometer) รุ่น Testo 625	71
4.4 ลักษณะของภาวะไฟฟ้าลัด 1	74
4.5 ลักษณะของภาวะไฟฟ้าลัด 2	74
4.6 ลักษณะของภาวะไฟฟ้าลัด 3	75
4.7 ลักษณะของภาวะไฟฟ้าเครื่องเอกซเรย์	76
4.8 ลักษณะของภาวะไฟฟ้าป้อนสัญญาณ	77
4.9 ลักษณะของภาวะไฟฟ้าป้อนลมทางการแพทย์ 1	78
4.10 ลักษณะของภาวะไฟฟ้าป้อนลมทางการแพทย์ 2	78
4.11 ลักษณะของภาวะไฟฟ้าเครื่องปรับอากาศ 1	79
4.12 ลักษณะของภาวะไฟฟ้าเครื่องปรับอากาศ 2	80
4.13 ลักษณะของภาวะไฟฟ้าแสงสว่างและเตารีด 1	80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้าที่
4.14 ลักษณะของภาระไฟฟ้าแสงสว่างและเต้ารับ 2	81
4.15 อุณหภูมิภายในวันที่ 2 มิถุนายน.....	82
4.16 อุณหภูมิภายในวันที่ 7 มิถุนายน.....	82
4.17 ความชื้นภายในวันที่ 2 มิถุนายน	83
4.18 ความชื้นในวันที่ 7 มิถุนายน	83
4.19 อุณหภูมิเฉลี่ยใน 1 วัน เป็นเวลา 6 เดือน.....	84
4.20 อุณหภูมิเฉลี่ยใน 1 วัน เป็นเวลา 6 เดือน.....	84
4.21 แผนผังแสดงการวิเคราะห์การใช้กำลังไฟฟ้าเบื้องต้น	88
4.22 ความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังไฟฟ้าของวงจรร้อยย SC19 และจำนวนผู้ใช้งานอาคาร	96
4.23 ความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังไฟฟ้าของวงจรร้อยย SC19 และอุณหภูมิสภาพอากาศ.....	97
4.24 ความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังไฟฟ้าของวงจรร้อยย SC32 และจำนวนผู้ใช้งานอาคาร	97
4.25 ความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังไฟฟ้าของวงจรร้อยย SC32 และอุณหภูมิสภาพอากาศ (วันทำงาน)	98
4.26 ความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังไฟฟ้าของวงจรร้อยย SC32 และอุณหภูมิสภาพอากาศ (วันหยุด)	98
4.27 เส้นค่าฐานการใช้ไฟฟ้าของ SC19 “New load center floor 5”.....	99
4.28 ฮีสโตแกรมของ SC19 (สีส้ม) เทียบกับเส้นส่วนเบี่ยงเบนปกติ (สีน้ำเงิน).....	100
4.29 พื้นที่ใต้กราฟของเส้นแจกแจงของ SC19 และเส้นส่วนเบี่ยงเบนปกติ	101
4.30 เส้นค่าฐานการใช้ไฟฟ้าและขอบเขตของ SC19 “New load center floor 5”	102
4.31 เส้นค่าฐานการใช้ไฟฟ้าและขอบเขตของ SC32 “LP2A” (วันทำงาน).....	103
4.32 เส้นค่าฐานการใช้ไฟฟ้าและขอบเขตของ SC32 “LP2A” (วันหยุด).....	103
4.33 การประมาณความต้องการไฟฟ้ารายวัน ณ วันที่ 13 มิถุนายน 2562 ของวงจรร้อยย SC19	105
4.34 การประมาณความต้องการไฟฟ้ารายวัน ณ วันที่ 24 มิถุนายน 2562 ของวงจรร้อยย SC32	107
4.35 การประมาณความต้องการไฟฟ้ารายวัน ณ วันที่ 23 มิถุนายน 2562 ของวงจรร้อยย SC32	108
4.36 การประมาณความต้องการไฟฟ้ารายวัน ณ วันที่ 3 มิถุนายน 2562 ของวงจรร้อยย SC32	110
5.1 ระบบตรวจติดตามแบบครบวงจร	115

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันมนุษย์ได้พัฒนาเทคโนโลยีและเครื่องมือต่าง ๆ อย่างมากมายเพื่ออำนวยความสะดวกในการดำเนินงานและการใช้ชีวิตประจำวัน เทคโนโลยีเหล่านั้นโดยส่วนใหญ่มีการใช้ไฟฟ้าในการทำงานเป็นหลัก ทำให้ไฟฟ้าเป็นปัจจัยสำคัญของการดำรงชีวิตประจำวันของมนุษย์ อาทิ อาคารที่อยู่อาศัยหรือสำนักงานต่าง ๆ ซึ่งล้วนแล้วแต่จำเป็นต้องมีระบบจ่ายไฟฟ้าให้กับอาคาร ทำให้มีค่าใช้จ่ายเกิดขึ้น ดังนั้นการใช้ไฟฟ้าจึงเป็นตัวแปรสำคัญที่ส่งผลต่อสภาพเศรษฐกิจของแต่ละองค์กรอย่างมาก ความน่าเชื่อถือของการบริหารจัดการระบบไฟฟ้าให้เกิดความประหยัด และมีประสิทธิภาพจึงมีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่ง นอกจากนี้ยังส่งผลต่อความปลอดภัยของอาคารนั้น ๆ อีกด้วย อาคารประเภทโรงพยาบาลเป็นอาคารที่มีการใช้ไฟฟ้าสูงเนื่องจากระบบการทำงานที่ต้องรองรับการดูแลผู้ป่วยและประกอบกิจกรรมด้านการรักษาพยาบาล 24 ชั่วโมง ทำให้มีการใช้งานอาคารตลอดเวลา จะเห็นได้ว่าโรงพยาบาลส่วนใหญ่มีการกำหนดนโยบายที่แสดงถึงการให้ความสำคัญและสนับสนุนให้เกิดกิจกรรมอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าอย่างจริงจังเพื่อให้ทุกคนใช้ไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพและลดภาระค่าใช้จ่ายของสถานพยาบาล[1] จากการสอบถามผู้บริหารโรงพยาบาลแห่งหนึ่งในภาคตะวันออก ทำให้ทราบว่าคณะกรรมการบริหารโรงพยาบาลมีความประสงค์ในการติดตั้งระบบตรวจสอบการใช้ไฟฟ้าเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของการใช้ไฟฟ้าของอาคาร และจัดกิจกรรมเพื่อรณรงค์ให้สมาชิกในองค์กรลดการใช้ไฟฟ้าส่วนเกินหรือการเปลี่ยนบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นเพื่อลดค่าใช้จ่ายไฟฟ้าง ซึ่งเดิมการประเมินผลลัพธ์จากกิจกรรมดังกล่าวสามารถดูได้จากข้อมูลค่าไฟภายในเดือนต่าง ๆ เทียบเป็นรอบปี เป็นข้อมูลภาพรวมการใช้ไฟฟ้าของทุกหน่วยงานในองค์กรและเป็นยอดรวมของทั้งเดือน จึงไม่สามารถระบุจุดที่ใช้ไฟฟ้าของแต่ละหน่วยงานภายในองค์กรได้และไม่สามารถระบุช่วงเวลาที่มีการใช้ไฟฟ้าปริมาณมากภายในเดือนได้อย่างชัดเจน ทำให้องค์กรไม่สามารถระบุถึงสาเหตุ ที่มาและช่วงเวลาของการใช้ไฟฟ้าที่ผิดปกติและยากที่จะระบุได้ว่ากิจกรรมที่จัดขึ้นเพื่ออนุรักษ์ไฟฟ้านั้นสามารถแก้ปัญหาได้อย่างตรงจุด

ดังนั้นระบบติดตามการใช้ไฟฟ้าสำหรับอาคารโรงพยาบาล จึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อสังเกตความผิดปกติของการใช้ไฟฟ้า ทำให้ทราบถึงสภาพและปริมาณการใช้ไฟฟ้า โดยระบบติดตามการใช้ไฟฟ้าเป็นการติดตามพารามิเตอร์ไฟฟ้า เช่น แรงดันและกระแสไฟฟ้าได้ตามเวลาจริงและยังสามารถระบุพื้นที่การใช้ไฟฟ้าแต่ละส่วนของอาคารได้อีกด้วย [2] แต่ปัจจุบันเครื่องมือที่ใช้ในการวัดไฟฟ้าและระบบติดตามการใช้ไฟฟ้ามีราคาค่อนข้างสูงทำให้การลงทุนซื้อและติดตั้งเครื่องมือนี้อาจไม่คุ้มกับค่า

ไฟฟ้าที่สามารถประหยัดได้ นอกจากนี้ ภายในอาคารโรงพยาบาลยังประกอบด้วยเครื่องมือ อุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือครุภัณฑ์ทางการแพทย์ที่มีความจำเป็นต้องใช้ไฟฟ้า ซึ่งหากเครื่องมือ อุปกรณ์หรือครุภัณฑ์ทางการแพทย์ที่ใช้ไฟฟ้างดงกล่าวเกิดความเสียหายจะส่งผลกระทบต่อผู้ป่วยโดยตรง รวมถึงระบบบริการทางการแพทย์ ซึ่งโดยปกติหากเกิดปัญหาจากระบบไฟฟ้าการแก้ไขปัญหานั้นเป็นการแก้ไขปัญหาในเชิงรับ นั่นคือ จะดำเนินการแก้ไขปัญหาหลังจากเกิดความเสียหายแล้วเท่านั้น หากโรงพยาบาลมีระบบตรวจติดตามการใช้ไฟฟ้าแบบตามเวลาจริง ระบบนี้จะสามารถแสดงความผิดปกติของการใช้ไฟฟ้าของเครื่องมือ อุปกรณ์ หรือครุภัณฑ์ทางการแพทย์ก่อนเกิดความเสียหายได้ สามารถลดความเสี่ยงและเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบการให้บริการทางการแพทย์แก่สถานพยาบาลได้ดียิ่งขึ้น ปัจจุบันได้มีการพัฒนาระบบสมองกลฝังตัว (Embedded System) ซึ่งเป็นระบบที่ใช้ไมโครโพรเซสเซอร์ในการประมวลผลข้อมูลเปรียบเสมือนเครื่องคอมพิวเตอร์ แต่ถูกฝังตัวอยู่ในเครื่องใช้ไฟฟ้าเพื่อเพิ่มความสามารถให้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าตามการออกแบบซอฟต์แวร์ที่ผู้พัฒนาระบบฝังตัวได้พัฒนาขึ้น เรียกว่า ไมโครคอนโทรลเลอร์ เช่น เครื่องปรับอากาศ โทรศัพทมือถือ กล้องดิจิทัลและโทรทัศน์ เป็นต้น โดยในปัจจุบัน ไมโครคอนโทรลเลอร์มีราคาลดลงและสามารถเข้าถึงได้ ซึ่งการศึกษาครั้งนี้จะนำมาเป็นองค์ประกอบหลักในการทำงานของระบบตรวจติดตามการใช้ไฟฟ้า และนอกจากนี้การพัฒนาระบบอินเทอร์เน็ตของสิ่ง (Internet of Things: IoTs) ซึ่งเป็นเครือข่ายที่เชื่อมโยงอุปกรณ์ไฟฟ้าเข้าด้วยกัน รวมถึงทำระบบให้เป็นอัตโนมัติได้อย่างเต็มรูปแบบ สามารถบันทึกส่งและประมวลผลข้อมูล [3] จากระบบสมองกลฝังตัวที่เพิ่มความสามารถให้กับเครื่องใช้ไฟฟ้า เข้าสู่ฐานข้อมูลบนอินเทอร์เน็ต การเชื่อมโยงอุปกรณ์ต่าง ๆ เข้าด้วยกัน สื่อสารผ่านระบบอินเทอร์เน็ตออฟอิงส์ ทำให้ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบข้อมูล ประมวลผลและสั่งงานได้จากทุกที่ ที่มีระบบอินเทอร์เน็ต

วิทยานิพนธ์นี้จึงนำเสนอระบบตรวจติดตามการใช้ไฟฟ้าสำหรับอาคารโรงพยาบาลเพื่อเพิ่มความปลอดภัย ความน่าเชื่อถือ และเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ไฟฟ้า โดยระบบที่ออกแบบและจัดทำขึ้นประกอบด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตออฟอิงส์ ทำให้ได้เครื่องมือวัดไฟฟ้า 3 เฟส ที่สามารถบันทึกข้อมูลลงฐานข้อมูลบนอินเทอร์เน็ตได้ ทำให้ติดตามการใช้ไฟฟ้าของโรงพยาบาลได้อย่างสะดวกในระยะไกลผ่านระบบอินเทอร์เน็ต ใช้งบประมาณในการจัดทำน้อยและเป็นระบบที่มีความน่าเชื่อถือ ออกแบบให้ระบบบันทึกการใช้ไฟฟ้าโดยสามารถจำแนกตามแต่ละวงจรรย่อย (Sub Circuits : SC) ของอาคารทำให้สามารถระบุและจำแนกการใช้กำลังไฟฟ้าของแต่ละหน่วยงานได้ โดยมีสถานที่บันทึกข้อมูล คือโรงพยาบาลมหาวิทาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี ผลลัพธ์ที่ได้สามารถแสดงลักษณะการใช้กำลังไฟฟ้าที่แตกต่างกันในแต่ละวงจรรย่อยของอาคารและสามารถสังเกตเห็นความผิดปกติของการใช้ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นได้ตามเวลาจริง องค์ประกอบของระบบตรวจติดตามการใช้ไฟฟ้าสำหรับอาคารโรงพยาบาลนี้ ประกอบไปด้วยฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ซึ่งสามารถวัดและบันทึกค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า ดังต่อไปนี้ได้ตามเวลาจริง ได้แก่ กำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าปรากฏ ค่าประกอบกำลังไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของโรงเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ใช้ประโยชน์ในการศึกษาไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้า โดยค่าที่อ่านได้จะถูกบันทึกตามเวลาจริงขณะที่วัดไว้ในหน่วยความจำในตัวระบบและยังส่งค่าเข้าสู่ฐานข้อมูลบนอินเทอร์เน็ตที่ชื่อว่า ธิงส์สปีค (ThingSpeak) ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของอาคารโรงพยาบาลได้จากภายนอกผ่านอินเทอร์เน็ต ทำให้สะดวกแก่ผู้บริหารอาคารโรงพยาบาลในการนำข้อมูลนี้ไปใช้ประโยชน์โดยไม่จำเป็นต้องเข้าไปในบริเวณห้องไฟฟ้าของอาคาร ข้อมูลเหล่านี้มีการบันทึกทั้งระบบออฟไลน์และออนไลน์ทำให้สามารถเปรียบเทียบข้อมูลซึ่งกันและกัน อีกทั้งยังเป็นการสำรองข้อมูลหากเกิดความผิดพลาดขึ้น เป็นการเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบ

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาออกแบบและจัดทำเครื่องมือบันทึกค่ากำลังไฟฟ้า 3 เฟส ตามเวลาจริงเพื่อติดตามการใช้กำลังไฟฟ้าของอาคารโรงพยาบาล
2. เพื่อจัดทำและติดตั้งเครื่องมือบันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นในบริเวณอาคารเพื่อนำข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นมาวิเคราะห์ร่วมกับพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าที่ได้
3. นำเสนอแนวทางการวิเคราะห์การใช้กำลังไฟฟ้าของอาคารโรงพยาบาลเบื้องต้น โดยวิเคราะห์จากจำนวนผู้ใช้งานอาคาร อุณหภูมิและความชื้นในบริเวณอาคาร ซึ่งแนวทางการวิเคราะห์นี้จะทำให้สามารถประเมินการใช้กำลังไฟฟ้าที่ผิดปกติได้ตามเวลาจริง

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

พัฒนาระบบตรวจติดตามการใช้ไฟฟ้าสำหรับอาคารโรงพยาบาลขนาด 160 เตียง โดยติดตั้งเครื่องบันทึกค่ากำลังไฟฟ้า 3 เฟส ที่ได้สร้างขึ้นจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งสามารถวัดแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าและตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ไวท์วงจรรย่อย หลังเซอร์กิตเบรกเกอร์หลัก (Main Circuits Breaker) ภายในตู้จ่ายไฟฟ้าหลัก (Main Distribution Board: MDB) ของอาคารซึ่งมีจำนวนวงจรรย่อยทั้งหมด 32 วงจร และเพิ่มความสามารถในการบันทึกข้อมูลลงในฐานข้อมูลบนอินเทอร์เน็ตด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตออฟธิงส์ บันทึกข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นของอาคารด้วยวงจรรที่สร้างขึ้น โดยมีระยะเวลาในการบันทึกข้อมูล 6 เดือน หลังจากนั้นนำเสนอแนวทางการวิเคราะห์ความต้องการไฟฟ้าเบื้องต้น เพื่อนำไปประเมินความผิดปกติของการใช้กำลังไฟฟ้าของวงจรรย่อยในอาคารโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยบูรพา โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้

ขั้นที่ 1 วิเคราะห์แบ่งกลุ่มข้อมูลด้วยวิธีค่าเฉลี่ยเค (K-Means Clustering) โดยทำการวิเคราะห์ลักษณะการใช้กำลังไฟฟ้าแบ่งตามวงจรรย่อย

ขั้นที่ 2 วิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation Analysis) ระหว่างการใช้กำลังไฟฟ้ากับข้อมูลผู้ใช้งานอาคารและข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นเพื่อหาระดับความสัมพันธ์ของแต่ละตัวแปรที่สนใจกับการใช้กำลังไฟฟ้าของแต่ละวงจรรย่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นที่ 3 สร้างเส้นค่าฐานการใช้กำลังไฟฟ้า (Baseline) ในวงจรย่อยภายใน 1 วัน เพื่อสังเกตพฤติกรรมการใช้กำลังไฟฟ้าของแต่ละวงจรย่อย

ขั้นที่ 4 เนื่องจากจำนวนผู้ใช้งานอาคารไม่สามารถทราบได้ตามเวลาจริง จึงทำการประมาณค่าความต้องการไฟฟ้าและขอบเขตล่วงหน้า 1 วัน ซึ่งสามารถนำค่าประมาณการนี้ไปใช้ในการประเมินพฤติกรรมการใช้กำลังไฟฟ้าที่ผิดปกติได้ตามเวลาจริง

1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับ

1. เครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้า 3 เฟส ตามเวลาจริง ที่สามารถติดตามการใช้กำลังไฟฟ้าของอาคารได้ตลอดเวลา
2. เครื่องมือบันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นที่สามารถติดตามค่าได้ตลอดเวลา สามารถใช้ประกอบการวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับการใช้กำลังไฟฟ้าของอาคารได้
3. แนวทางในการวิเคราะห์ความต้องการไฟฟ้าของอาคารเบื้องต้น โดยใช้ตัวแปรจำนวนผู้ใช้งานอาคาร อุณหภูมิและความชื้นในบริเวณอาคารประกอบการวิเคราะห์ เพื่อนำมาประเมินการใช้กำลังไฟฟ้าที่ผิดปกติตามเวลาจริง

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์นี้ ดำเนินการศึกษาเป็นขั้นตอน ดังต่อไปนี้

บทที่ 2 กล่าวถึงงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ได้แก่ ระบบสมองกลฝังตัว เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตออฟธิงส์ ทฤษฎีวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ การแบ่งกลุ่มข้อมูลด้วยวิธีค่าเฉลี่ยเค การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) การสร้างเส้นค่าฐานการใช้ไฟฟ้า และการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ (Multiple Regression Analysis)

บทที่ 3 กล่าวถึงเงื่อนไขในการออกแบบระบบ โครงสร้างของระบบ วิธีการดำเนินการสร้างวงจรขึ้นและการติดตั้งระบบที่โรงพยาบาล

บทที่ 4 กล่าวถึงผลการสอบเทียบอุปกรณ์ แสดงลักษณะการใช้ไฟฟ้าของภาระไฟฟ้าแต่ละชนิด วิเคราะห์แบ่งลักษณะการใช้ไฟฟ้าของแต่ละวงจรย่อยในโรงพยาบาลโดยใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลด้วยวิธีค่าเฉลี่ยเค วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของแต่ละวงจรย่อยกับตัวแปรจำนวนผู้ให้บริการที่ใช้อาคารและตัวแปรอุณหภูมิ การสร้างเส้นค่าฐานการใช้ไฟฟ้าที่แสดงลักษณะการใช้ไฟฟ้าแต่ละวงจร และการประมาณค่าการใช้ไฟฟ้าด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ

บทที่ 5 กล่าวถึงสรุปผลของงานวิทยานิพนธ์ภายในเล่มนี้ ประกอบด้วย สรุปการออกแบบและจัดทำระบบตรวจติดตามการใช้ไฟฟ้าตามเวลาจริง ประโยชน์ที่ได้รับและเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดที่มีการใช้จริงในเชิงพาณิชย์ สรุปผลการวิเคราะห์แต่ละขั้นตอนเพื่อสร้างเส้นประมาณค่าความต้องการไฟฟ้าและข้อเสนอแนะเพื่อพัฒนางานต่อไปในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

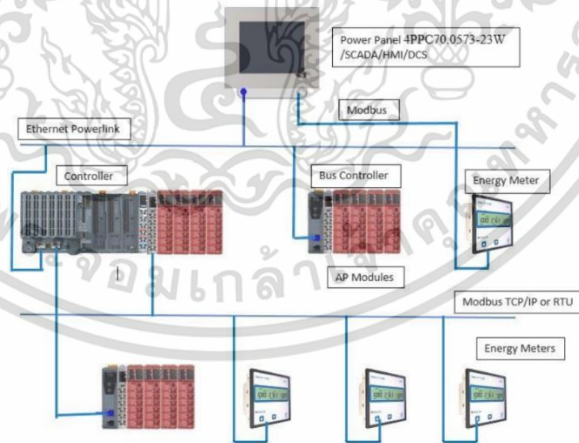
บทที่ 2

ความรู้และโครงสร้างของระบบตรวจติดตามการใช้กำลังไฟฟ้า

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่า ระบบตรวจติดตามและบันทึกข้อมูลการใช้ไฟฟ้า ได้ถูกนำเข้ามาใช้กับอาคารชนิดต่าง ๆ โดยนำคุณลักษณะข้อมูลของไฟฟ้ามาวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพ แก้ปัญหาและป้องกันปัญหาจากการใช้ไฟฟ้า [2-5]

ได้มีงานวิจัย [2] นำเสนอแนวทางแก้ปัญหาการใช้ไฟฟ้า ไว้ว่า “ถ้าทราบถึงการใช้ไฟฟ้าในแต่ละส่วนของสำนักงานหรือโรงงานได้ จะสามารถควบคุมการใช้ไฟฟ้าและค่าไฟได้” และได้เสนอโครงสร้างของระบบตรวจวัดไฟฟ้าโดยแบ่งออกเป็น 3 ลำดับ โดยมีโครงสร้างของระบบดังรูปที่ 2.1 ชั้นแรก คือ ในส่วนของหน้าจอแสดงผลและส่วนควบคุมการตอบสนองกับผู้ใช้งาน เป็นส่วนกลางในประมวลผล ส่งคำสั่งและบันทึกข้อมูลที่ได้มา โดยสามารถที่จะบันทึกข้อมูลการใช้ไฟฟ้าได้ด้วยหน่วยความจำข้อมูลผ่านทาง USB ในส่วนนี้ ชั้นที่ 2 คือ ในส่วนของตัวควบคุมบัสที่ใช้ในการสื่อสารกันระหว่างส่วนกลางกับอุปกรณ์อื่น ๆ ในระบบ ส่วนสุดท้าย คือ อุปกรณ์ที่ใช้ในวัดพารามิเตอร์ไฟฟ้า มีหน้าที่ในการวัดพารามิเตอร์ไฟฟ้าและส่งข้อมูลพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่วัดได้ไปยังส่วนกลางเพื่อแสดงผลบนหน้าจอให้ผู้ใช้งานเห็นและบันทึกค่าไว้ในหน่วยความจำที่ต่อเข้ามาทาง USB ซึ่งระบบทั้งหมด ส่งข้อมูลผ่านทางสายไฟ



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของระบบตรวจติดตามการใช้ไฟฟ้า

(ที่มา: Prasad S. Bhase, Gajanan M. Kolmare and A.S. Deshpande. 2016. “Design & Development of Energy Monitoring Solution” 1222-1227. in **International Conference on Computing, Communication and Automation (ICCCA2016)**. Greater Noida : Institute of Electrical and Electronics Engineers.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อเพิ่มความสะดวกสบายให้กับผู้ใช้งานในบางงานวิจัยจึงได้มีการเพิ่มความสามารถให้กับระบบตรวจติดตามข้อมูลของตัวเองด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของฟิงส์ [3, 5] ด้วยการเพิ่มเกตเวย์เพิ่มเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต ทำให้ระบบสามารถรับส่งข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ตได้หรืออาจเพิ่มความสามารถในการส่งข้อมูลแบบไร้สายให้กับระบบซึ่งทำให้ลดปริมาณสายไฟลงในงานวิจัย [3] ได้แก้ปัญหาความซับซ้อนในการเก็บข้อมูล ส่งข้อมูลและบันทึกข้อมูลในปริมาณมาก เมื่อมีมิเตอร์มากขึ้น ด้วยการใช้อินเทอร์เน็ตของฟิงส์ รับ ส่งและประมวลผลของข้อมูลบนอินเทอร์เน็ตแต่ยังคงมีโครงสร้างแบ่งเป็นสามส่วนเช่นกัน คือ ส่วนของการอ่านพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า (Sensing Layer) ส่วนของการรับส่งข้อมูล (Transport Layer) และส่วนกลางการจัดการระบบ (Management Layer)

จากงานวิจัย [4] โครงสร้างของระบบตรวจวัดการใช้ไฟฟ้าจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนเช่นกัน คือ ส่วนแรก บริเวณภาคสนาม (Field Space Tier) ประกอบด้วยเครื่องวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้แก่ เครื่องวัดอุณหภูมิ เครื่องวัดก๊าซ เครื่องวัดน้ำและเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า ทำหน้าที่เก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ ของตึกแบบตามเวลาจริงและส่งไปยัง ส่วนที่สอง คือ ส่วนเครือข่ายการสื่อสารรับส่งข้อมูล (Network communication tier) ซึ่งส่วนนี้ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งออกเป็นสองส่วน ส่วนแรกใช้ในการสลับการส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์วัดและส่วนเก็บข้อมูล และอีกส่วนใช้ในการสลับการส่งข้อมูลระหว่างส่วนเก็บข้อมูลและคอมพิวเตอร์กลางที่ใช้ในการจัดการ ซึ่งส่งผ่านสายเช่นเดียวกับงานวิจัยที่ [2] ส่วนสุดท้าย คือ ส่วนประมวลผลกลาง (Station level management) เป็นส่วนกลางที่ใช้ในการสั่งการทุกอย่างของระบบ ซึ่งมีการเก็บบันทึกข้อมูลตามเวลาจริงลงในเซิร์ฟเวอร์และส่งมาแสดงผลที่หน้าจอแสดงผล ระบบนี้ได้ออกแบบให้มีความสามารถในการทำงาน ดังนี้

- เก็บรวบรวมและประมวลผลข้อมูลแบบตามเวลาจริง
- แสดงผลข้อมูลตามเวลาจริง
- เตือนเมื่อข้อมูลมีสถานะผิดปกติ
- เปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้าตามสถิติ
- วิเคราะห์และประมาณการใช้ไฟฟ้าล่วงหน้าได้

จากงานวิจัย [5] การเลือกอุปกรณ์สำหรับระบบอินเทอร์เน็ตของฟิงส์ในการอ่านค่ากำลังไฟฟ้า 3 เฟส ได้เลือกโมดูล PZEM-004t ในการอ่านค่ากำลังไฟฟ้าเนื่องจากต้นทุนต่ำ ใช้ Arduino Nano Mini เป็นหน่วยประมวลผลกลางและส่งข้อมูลเข้าสู่อินเทอร์เน็ตด้วยโมดูล ESP8266 ซึ่งระบบประกอบด้วย 3 ส่วนเช่นกัน คือ ส่วนเก็บข้อมูล ส่วนติดต่อกับอินเทอร์เน็ตและส่วนประมวลผลกลาง

จากงานวิจัยที่ได้ศึกษา [3-5] ทำให้ทราบว่า ส่วนประกอบที่สำคัญของระบบตรวจติดตามการใช้ไฟฟ้าตามเวลาจริงแบ่งออกเป็นสามส่วนที่สำคัญ คือ ส่วนของการเก็บข้อมูล ส่วนของการรับส่งข้อมูลและส่วนกลางในการประมวลผล และเพิ่มความสามารถให้กับระบบในด้านต่าง ๆ ได้ตามความต้องการ เช่น ความสามารถในการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตเพื่อให้รับส่งข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ตได้ ความสามารถในการวิเคราะห์ข้อมูลผ่านหน่วยประมวลผลกลางเพื่อเทียบหาความผิดปกติหรืออุปสรรคภาวะไฟฟ้าล่วงหน้าได้หรือใช้เทคนิคทางสถิติเพื่อช่วยการในการวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ที่ได้จากการเก็บข้อมูลของระบบตรวจติดตามการใช้ไฟฟ้า เป็นต้น ขึ้นอยู่กับการออกแบบของผู้วิจัย

ในงานวิทยานิพนธ์นี้จึงนำข้อมูลที่ได้ศึกษามาประกอบกับการสอบถามปัญหาและความต้องการของผู้บริหารโรงพยาบาลเพื่อออกแบบระบบที่จะใช้ในการตรวจวัดการใช้ไฟฟ้าสำหรับอาคารโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยบูรพา ร่วมกับข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นบริเวณโรงพยาบาล เพื่อวิเคราะห์และหาความผิดปกติของคุณลักษณะการใช้ไฟฟ้าของภาวะไฟฟ้าในโรงพยาบาลจำเป็นต้องใช้วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ จึงได้ศึกษางานวิจัยที่ใช้วิธีการทางสถิติช่วยวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

จากงานวิจัย [6] แสดงให้เห็นว่าหลังจากที่ได้ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของอาคาร โดยแบ่งตามชั้นหรือตามแผนกนั้นจะได้ข้อมูลที่มีรายละเอียดมากขึ้น แต่ส่งผลให้ขนาดข้อมูลใหญ่และซับซ้อนขึ้นเช่นกัน จึงได้นำวิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลด้วยวิธีค่าเฉลี่ยเค มาวิเคราะห์ทำให้สามารถแสดงภาพรวมที่ชัดเจนขึ้น และวิเคราะห์หาจุดที่มีการใช้ไฟฟ้าที่ผิดปกติได้ง่ายขึ้น

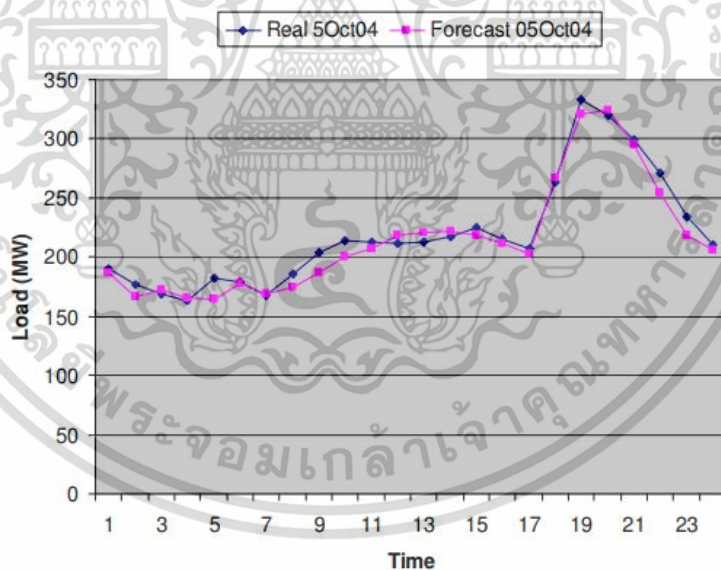
ในงานวิจัย [7] แสดงให้เห็นการประมาณค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์ไฟฟ้าแสงอาทิตย์โดยใช้วิธีการทางสถิติในการคาดการณ์ ด้วยวิธีการประมาณค่าด้วยวิธีการเดียวกัน ผลลัพธ์ที่ได้อาจมีความคลาดเคลื่อน งานวิจัยนี้จึงได้เสนอวิธีการประมาณค่าด้วยการใช้ 3 วิธี คือ วิธีการคงสภาพเดิม (The Persistence Method) วิธีการซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (The Support Vector Machine : SVM) และวิธีการประมาณค่าโดยอ้างอิงจากค่าที่คล้ายกัน นำมาผสมกันโดยน้ำหนักของแต่ละวิธีการขึ้นกับค่าความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าที่วิเคราะห์ได้ของแต่ละวิธีกับกำลังไฟฟ้าที่เก็บได้จริง โดยตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้ ค่าความผิดพลาดของวิธีการ คงสภาพเดิม ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน และวิธีการประมาณจากค่าคล้ายกัน จะได้ 8.67% 11.26% และ 6.88% แต่หลังจากที่ใช้วิธีผสมของทั้ง 3 วิธีแล้ว ค่าความผิดพลาด คือ 4.18% ทำให้ประมาณค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์แม่นยำขึ้น แสดงให้เห็นว่า การใช้วิธีการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสามารถเพิ่มความแม่นยำในการประมาณค่าได้

ในงานวิจัย [8] นำเสนอวิธีการประมาณโหลดระยะสั้นอย่างแม่นยำ โดยนำมาใช้ประมาณโหลดล่วงหน้าให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไอน้ำ ใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ ในสมการที่ 2.1 เพื่อประมาณภาระไฟฟ้าล่วงหน้า

$$\hat{y} = b_0 - b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_kx_k \quad (2.1)$$

โดยที่	\hat{y}	คือ ภาระไฟฟ้าที่คาดการณ์
	b_0	คือ สัมประสิทธิ์จุดตัดแกน
	x_k	คือ ตัวแปรอิสระที่ k อุณหภูมิ (ขณะปัจจุบัน เฉลี่ยในช่วง และใน 1 วัน)
	b_k	คือ สัมประสิทธิ์ของตัวแปรอิสระที่ไวต่ออุณหภูมิ x_k

ผลจากการประมาณ แสดงได้ดังรูปที่ 2.2 จะเห็นว่า ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณนี้ หากสามารถหาตัวแปรอิสระที่ส่งผลต่อตัวแปรตามที่สนใจได้ จะสามารถประมาณค่าของตัวแปรตามได้ใกล้เคียงกับค่าจริง



รูปที่ 2.2 การประมาณภาระไฟฟ้าใน 1 วัน ในช่วงฤดูร้อน

(ที่มา: Amral, N., Ozveren, C.S. and King, D. 2007. "Short term load forecasting using Multiple Linear Regression" 1192-1198. in 2007 42nd International Universities Power Engineering Conference. Brighton : University of Brighton United Kingdom.)

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังที่ได้กล่าวมา วิทยานิพนธ์นี้จึงได้ทำการออกแบบระบบตรวจติดตามการใช้กำลังไฟฟ้าตามเวลาจริงด้วยที่ประกอบด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของฟิงส์ เพื่อให้สามารถทราบลักษณะการใช้กำลังไฟฟ้าของอาคารโรงพยาบาลได้อย่างมีประสิทธิภาพ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการเรียนการสอน เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ขึ้นต้นการตีพิมพ์ ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนั้นเพื่อให้สามารถวิเคราะห์ประมาณความต้องการไฟฟ้าของอาคารโรงพยาบาล รวมทั้งประเมินความผิดปกติของการใช้กำลังไฟฟ้าสำหรับอาคารโรงพยาบาล ได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ วิทยานิพนธ์นี้จึงใช้วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการบันทึกข้อมูลของระบบตรวจติดตามการใช้กำลังไฟฟ้าสำหรับอาคารโรงพยาบาล ร่วมกับข้อมูลจำนวนผู้ใช้งานอาคาร และอุณหภูมิและความชื้นบริเวณโรงพยาบาล

2.2 ระบบสมองกลฝังตัว

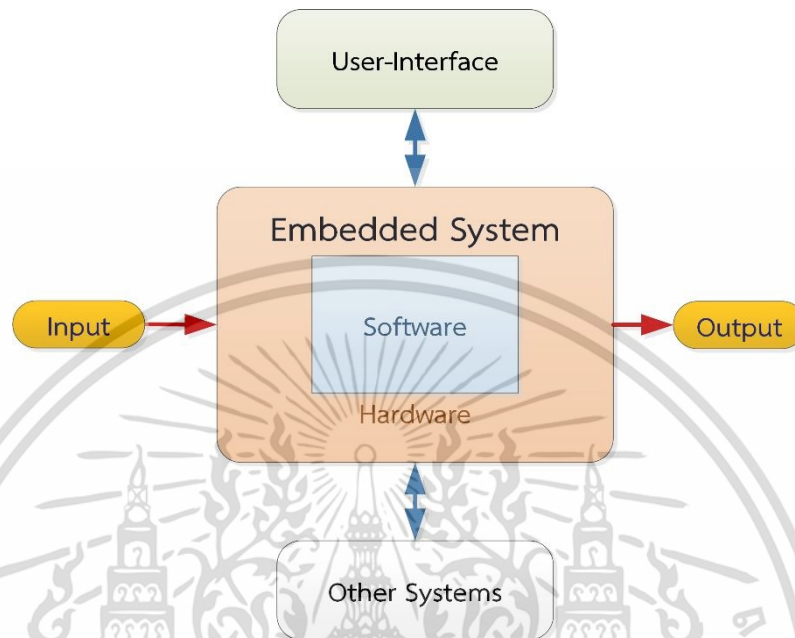
ระบบสมองกลฝังตัว คือ ระบบที่สร้างขึ้นด้วยการใช้ไมโครโปรเซสเซอร์เพื่อควบคุมฟังก์ชันการทำงานต่าง ๆ ที่ไม่ได้ถูกออกแบบมาให้ผู้ใช้งานเขียนระบบเองในลักษณะเดียวกับที่คอมพิวเตอร์เป็น [9] ในส่วนของระบบสมองกลฝังตัวนั้นผู้ใช้งานสามารถที่จะเลือกฟังก์ชันการทำงานที่ถูกเขียนไว้ในระบบสมองกลฝังตัวแล้วได้ แต่ไม่สามารถสร้างหรือลบฟังก์ชันที่มีอยู่ในระบบได้ แต่ในระบบคอมพิวเตอร์นั้นสามารถที่จะเขียนฟังก์ชันใหม่ ๆ ขึ้นมาได้ เช่น หากเขียนให้เชื่อมต่อกับเครื่องถ่ายภาพเอกสารสามารถใช้ถ่ายภาพเอกสารได้ หรือหากเขียนให้เป็นระบบเกมคอมพิวเตอร์สามารถที่จะเป็นเครื่องเล่นเกมก็ได้ กล่าวคือ คอมพิวเตอร์สามารถออกแบบฟังก์ชันการใช้งานต่าง ๆ ตามที่ผู้ใช้งานต้องการได้ แต่ระบบสมองกลฝังตัวนั้นจะถูกออกแบบมาเพื่อทำงานได้งานใดงานหนึ่งเท่านั้น

ระบบสมองกลฝังตัวได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในชีวิตประจำวันตามเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ เช่น รีโมทแอร์ รีโมททีวี ไมโครเวฟ หม้อหุงข้าว รถยนต์ นาฬิกา โทรศัพท์มือถือและเครื่องคิดเลข เป็นต้น ที่ถูกเรียกว่า ระบบสมองกลฝังตัว เนื่องจากคำว่า ฝังตัว มาจากการที่ระบบนี้จะมีชิปในการประมวลผลคล้ายกับคอมพิวเตอร์แต่จะทำการฝังตัวอยู่กับอุปกรณ์อื่น ๆ เพื่อเพิ่มความสามารถให้กับอุปกรณ์ชิ้นนั้น ๆ ตามงานที่ตัวระบบได้ออกแบบมา แสดงองค์ประกอบอย่างง่าย ได้ดังรูปที่ 2.3 จะประกอบไปด้วยส่วนของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ในการทำงานจะมีการรับอินพุตเข้ามาในระบบมีการประมวลผลผ่านหน่วยประมวลผลกลาง (Central Processing Unit: CPU) มีส่วนแสดงผลกับผู้ใช้ งาน มีผลลัพธ์ของระบบและมีการสื่อสารข้อมูลสู่ระบบอื่นต่อไป

ฮาร์ดแวร์ของระบบสมองกลฝังตัวถูกพัฒนามาจากสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) จนมาเป็นอุปกรณ์ที่ชื่อว่า ทรานซิสเตอร์ในปัจจุบัน ที่ได้พัฒนาจนมีขนาดเล็กและใช้พลังงานน้อยลงมาก จนในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีวงจรรวม (Integrated Circuit) ทำให่วงจรโลจิก มีขนาดเล็ก จึงได้มีการนำเอาวงจรมารวมกันสร้างให้เป็นระบบสมองกลฝังตัวอยู่บนชิปเดียวได้นั้นก็คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller Unit: MCU) ซึ่งเป็นหัวใจหลักของระบบสมองกลฝังตัว

ซอฟต์แวร์ของระบบสมองกลฝังตัวสามารถทำได้โดยใช้ภาษาแอสเซมบลี ที่เป็นภาษาระดับต่ำสุดใกล้เคียงกับภาษาเครื่องมากที่สุดในการเขียนโปรแกรมการทำงานจะมีตัวแปลงภาษาเป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบให้กับการเขียนเพื่อทำการแก้ไขเพิ่มเติม เมื่อผู้ดูแลเห็นไปใช้ประโยชน์ในการใช้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาษาเครื่องเพื่อให้สามารถลงในระบบสมองกับฝังตัวได้ ข้อดีคือ เป็นภาษาที่เข้าถึงระบบโครงสร้างของฮาร์ดแวร์มากที่สุดแต่ข้อเสียคือความซับซ้อนของภาษา ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาตัวแปลงภาษาในระดับที่สูงขึ้น เช่น ภาษา C หรือ C++ ทำให้ผู้เขียนโปรแกรมทำงานได้สะดวกขึ้น



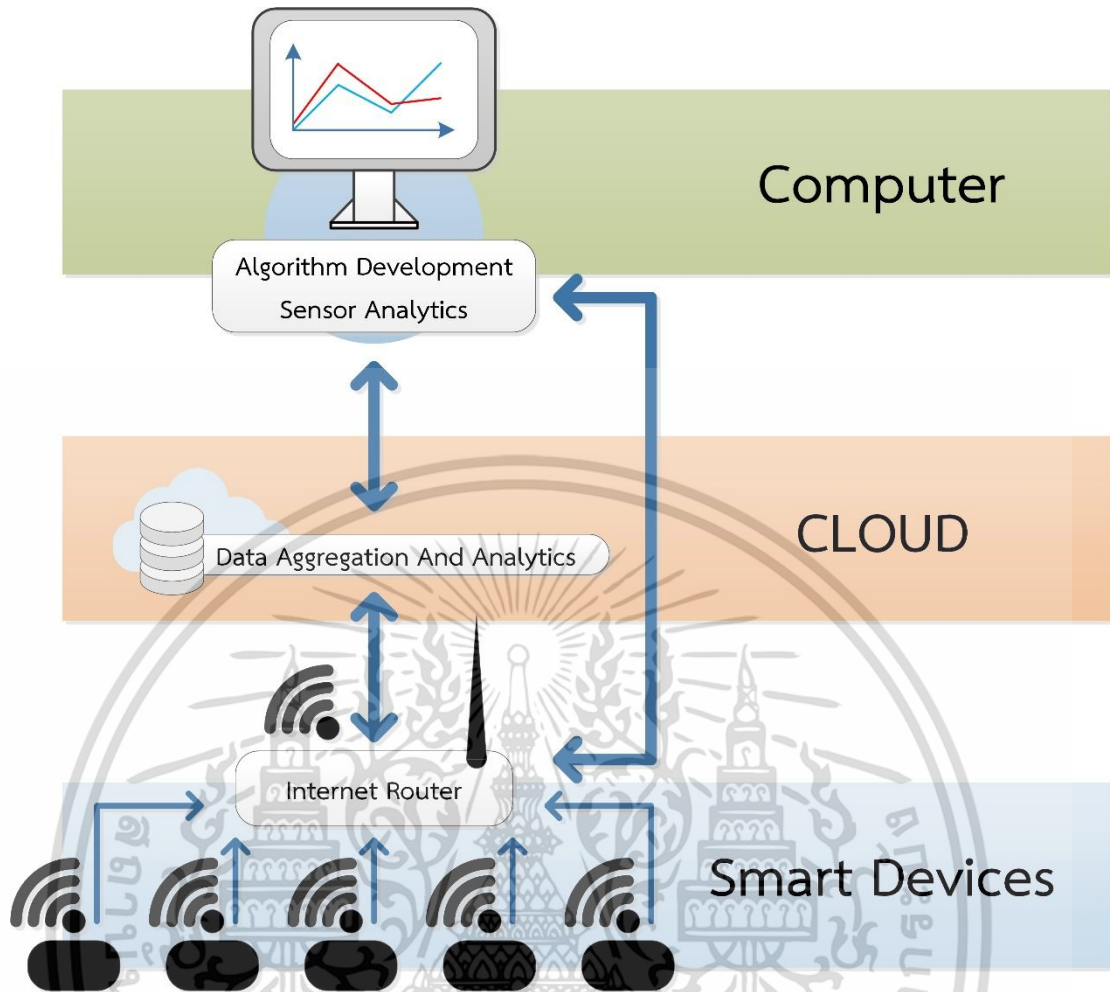
รูปที่ 2.3 องค์ประกอบระบบสมองกลฝังตัว

2.3 เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของเครื่อง

อินเทอร์เน็ตของเครื่อง เป็นระบบที่มีอุปกรณ์มาเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบจำนวนมากผ่านระบบสมองกลฝังตัวเพื่อเพิ่มความสามารถในการสื่อสารกันระหว่างอุปกรณ์ด้วยกันเองหรือระหว่างอุปกรณ์กับผู้ใช้งานโดยผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ทำให้เซ็นเซอร์วัดค่าต่าง ๆ สามารถที่จะส่งข้อมูลเข้าสู่ฐานข้อมูลบนอินเทอร์เน็ต (Cloud Storage) ได้และระบบยังสามารถคำนวณข้อมูลผ่านฐานข้อมูลนี้ได้อีกด้วยทำให้สามารถประมวลผลและวิเคราะห์ผลข้อมูลผ่านทางอินเทอร์เน็ตได้

ระบบอินเทอร์เน็ตของเครื่อง ได้มีการนำมาใช้งานในหลากหลายรูปแบบ เช่น เครื่องแสดงและควบคุมอุณหภูมิ เครื่องตรวจติดตามสุขภาพและอุบัติเหตุของผู้สูงอายุ เครื่องวัดระยะทางการเดินทางของพาหนะ เซ็นเซอร์วัดค่าต่าง ๆ ในโรงงานอุตสาหกรรมและระบบบ้านอัตโนมัติ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 โครงสร้างอินเทอร์เน็ตออฟริงส์

ระบบอินเทอร์เน็ตออฟริงส์ ส่วนใหญ่จะมียังค์ประกอบพื้นฐานดังรูปที่ 2.4 ในส่วนล่างสุด อุปกรณ์ที่ชาญฉลาด (Smart Device) จะเป็นส่วนของอุปกรณ์ที่มีสมองกลฝังตัวเพิ่มความสามารถในการส่งข้อมูลไว้ในระบบอินเทอร์เน็ตออฟริงส์ อุปกรณ์เหล่านี้จะมีหน้าที่ในการเก็บข้อมูลต่าง ๆ เช่น เซ็นเซอร์อุณหภูมิ เซ็นเซอร์การเต้นของหัวใจ เซ็นเซอร์วัดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในเครื่องจักรในภาคอุตสาหกรรมหรือเซ็นเซอร์ความดัน เป็นต้น ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้จะเชื่อมต่อเข้าสู่อุปกรณ์เชื่อมต่อเครือข่ายอินเทอร์เน็ต (Router) จึงสามารถส่งข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ตได้

ในส่วนกลาง “ฐานข้อมูลบนอินเทอร์เน็ต (Cloud)” เป็นฐานข้อมูลบนอินเทอร์เน็ตที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูลจากเซ็นเซอร์ในอุปกรณ์และวิเคราะห์ผลตามเวลาจริงเรียกว่า IoT analytics platform ซึ่งในปัจจุบันมีผู้ที่เปิดให้บริการมากขึ้น ทำให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตออฟริงส์ได้ง่ายยิ่งขึ้น เช่น Google หรือ MathWorks

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

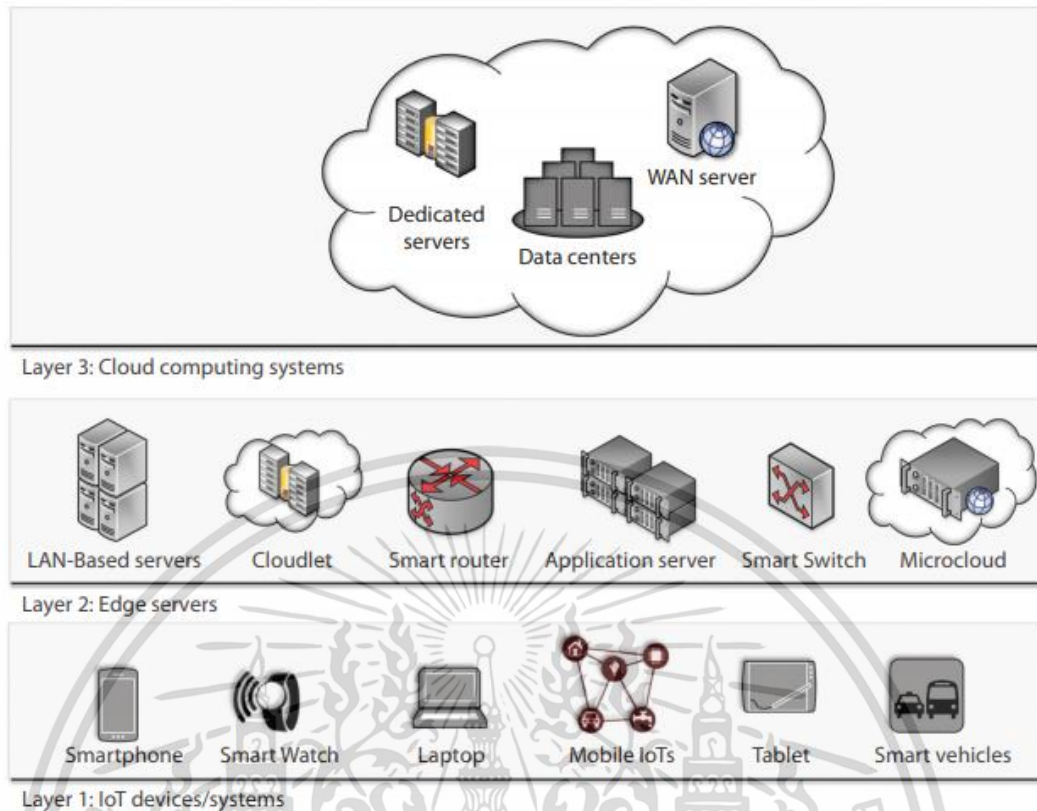
ในส่วนบนสุด “คอมพิวเตอร์” เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เป็นส่วนกลางของระบบการทำงานที่ผู้ออกแบบระบบจะเข้าถึงข้อมูลและสามารถเข้ามาวางโครงสร้างเขียนโปรแกรมการทำงานอย่างที่ต้องการได้ ซึ่งโปรแกรมนั้นอาจสามารถที่จะทำงานบนคลาวด์หรือบนตัวอุปกรณ์สมาร์ตได้ รวมไปถึงส่วนของการแสดงข้อมูลแบบตามเวลาจริงที่ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงข้อมูลได้เช่นกัน

สามส่วนนี้คือองค์ประกอบของเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตเน็ทออฟธิงส์ ในส่วนของอุปกรณ์ที่ชาญฉลาด จะมีอุปกรณ์และเซ็นเซอร์แตกต่างกันตามเนื่องงานที่ผู้ออกแบบต้องการ ส่วนของคลาวด์นั้นในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ใช้ระบบเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตเน็ทออฟธิงส์ของผู้ให้บริการโดยเม็ทเวิร์คที่ชื่อว่าอิงส์สปีค

เมื่อใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตเน็ทออฟธิงส์ แบ่งขั้นตอนการทำงานออกได้เป็น 3 ส่วนด้วยกัน คือ

1. เก็บข้อมูล (Data Collection) เก็บข้อมูลจากเซ็นเซอร์ไว้ในฐานข้อมูลบนอินเทอร์เน็ต
2. วิเคราะห์และแสดงผลข้อมูล (Data Analysis and Visualization) เมื่อเก็บข้อมูลในฐานข้อมูลบนอินเทอร์เน็ต จึงง่ายต่อการเข้าถึงข้อมูล สามารถดึงข้อมูลมาวิเคราะห์ได้ตามเวลาจริง
3. ตอบสนองกลับ (Action) หลังจากที่ได้วิเคราะห์ข้อมูลแล้ว สามารถออกแบบให้อุปกรณ์ตอบสนองต่อผลการวิเคราะห์เพื่อทำงานในรูปแบบที่ต้องการได้ หรือแจ้งให้ผู้ใช้งานทราบถึงสถานะหรือความผิดปกติต่าง ๆ ของอุปกรณ์เพื่อดำเนินการแก้ไขต่อไป

นอกจากการแบ่งโครงสร้างของระบบอินเทอร์เน็ตเน็ทออฟธิงส์ข้างต้นโครงสร้างของระบบอินเทอร์เน็ตเน็ทออฟธิงส์ยังสามารถถูกจัดแบ่งได้ในอีกลักษณะหนึ่ง [10] โดยแบ่งออกเป็น 3 ระดับด้วยกันดังรูปที่ 2.5 ระดับแรก อุปกรณ์อินเทอร์เน็ตเน็ทออฟธิงส์ (Level 1 : IoT Device/System) จะเป็นอุปกรณ์ปลายทางของระบบที่ทำหน้าที่เก็บรวบรวมข้อมูลกับสื่อสารกับผู้ใช้งาน ในส่วนนี้จะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ที่ใช้ระบบสมองกลฝังตัวต่าง ๆ เช่น นาฬิกาสมาร์ทวอทช์ สมาร์ทโฟน สมาร์ทโฮมหรือรถสมาร์ต ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้สามารถเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตได้ ในระดับที่สอง เซิร์ฟเวอร์ เป็นเซิร์ฟเวอร์ที่ใกล้กับอุปกรณ์ในระดับที่ 1 ที่สุด จะทำหน้าที่รวบรวมข้อมูลจากอุปกรณ์ในระดับที่ 1 และทำการประมวลผลเบื้องต้นเพื่อลดขนาดของกระแสข้อมูลที่ได้ ก่อนจะส่งไปยังระดับต่อไป และในระดับที่ 3 ระบบประมวลผลบนคลาวด์ จะรับข้อมูลและประมวลผลข้อมูลที่ระดับนี้ การประมวลผลนี้จะใช้ทรัพยากรของคลาวด์ก่อนจะส่งผลประมวลผลกลับไปยังอุปกรณ์ต่าง ๆ ซึ่งคุณภาพของอินเทอร์เน็ตเน็ทเป็นปัจจัยสำคัญต่อระบบเป็นอย่างมาก



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของระบบอินเทอร์เน็ตออฟธิงส์จากหนังสือ

(ที่มา: Peter Marwedel. 2003. Embedded System Design. Dordrecht : Springer.)

2.4 ทฤษฎีวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

ข้อมูลไฟฟ้าที่ทำการจัดเก็บมาจากระบบไฟฟ้ากระแสสลับ เพื่อให้เกิดความเข้าใจในการออกแบบจึงศึกษาทฤษฎีวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ [11] ดังนี้

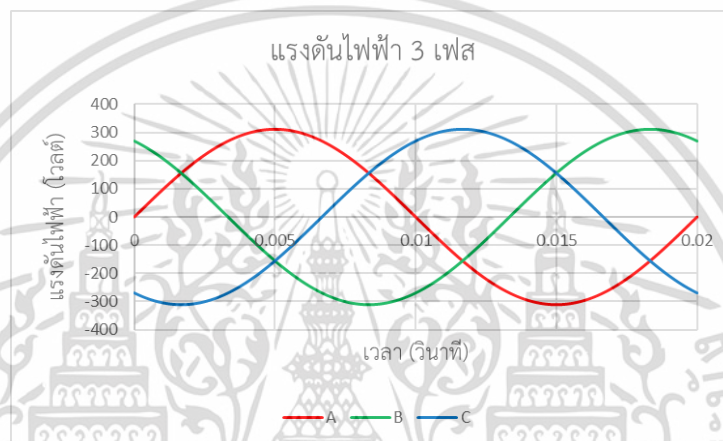
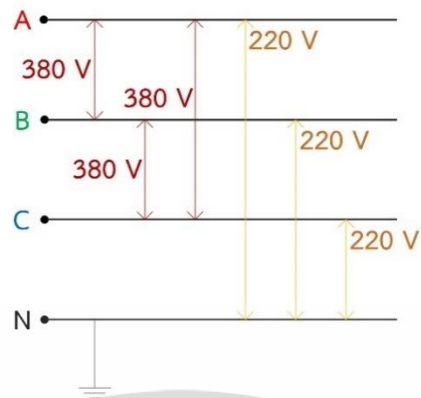
2.4.1 แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

ระบบไฟฟ้าในบ้าน อาคารและโรงงาน ในประเทศไทยเป็นระบบไฟฟ้ากระแสสลับรูปคลื่นไซน์ ที่มีความถี่ 50 Hz โดยถ้าเป็นระบบไฟฟ้า 3 เฟส รูปที่ 2.6 จะมีแรงดันระหว่างสายไลน์ด้านแรงดันต่ำ 380 V หรือมีแรงดันเฟส 220 V เป็นค่าแรงดันไฟฟ้าประสิทธิภาพ (Root Mean Square: RMS) ในกรณีของสัญญาณที่เป็นลูกคลื่นไซน์ ค่าของแรงดันไฟฟ้า RMS หาได้จากสมการที่ 2.2

$$V_{\text{rms}} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \quad (2.2)$$

โดยที่ V_{rms} คือ ค่าเฉลี่ยกำลังสองของแรงดันไฟฟ้า
 V_m คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส

2.4.2 ภาระไฟฟ้า

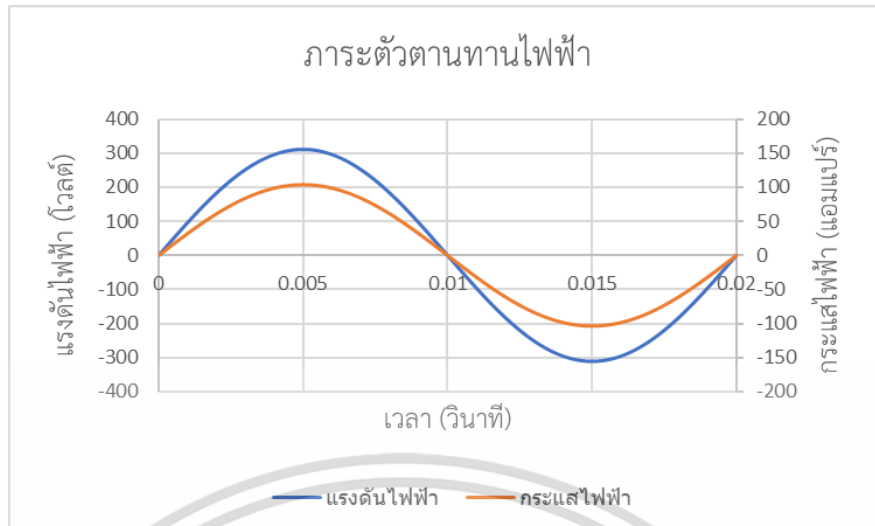
ภาระไฟฟ้าสามารถจำแนกได้ 3 แบบ ตามคุณลักษณะทางไฟฟ้า คือ ตัวต้านทาน (Resistor), ตัวเหนี่ยวนำ (Inductor) และตัวเก็บประจุ (Capacitor) รูปที่ 2.7



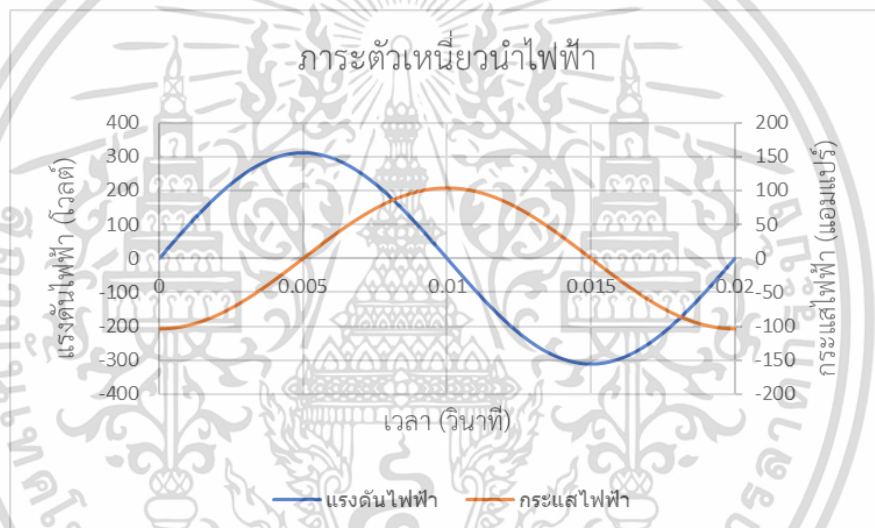
รูปที่ 2.7 ภาระไฟฟ้า ตัวต้านทาน ตัวเหนี่ยวนำ และตัวเก็บประจุ

ภาระไฟฟ้าแต่ละชนิดจะให้คุณลักษณะสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่ต่างกันเมื่อนำมาใช้งานในระบบแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ ภาระไฟฟ้าตัวต้านทานกระแสไฟฟ้าจะมีเฟสตรงกับแรงดันไฟฟ้า ภาระไฟฟ้าตัวเหนี่ยวนำกระแสไฟฟ้าจะมีเฟสตามหลังแรงดันไฟฟ้า 90 องศา และภาระไฟฟ้าตัวเก็บประจุกระแสไฟฟ้าจะมีเฟสนำแรงดันไฟฟ้า 90 องศา ดังรูปที่ 2.8 ถึง 2.10 ซึ่งระบบไฟฟ้าในอาคารจริงคุณลักษณะภาระไฟฟ้าจะไม่ใช่อะไรอย่างใดอย่างหนึ่งแต่จะมีลักษณะหลากหลายผสมกันอยู่

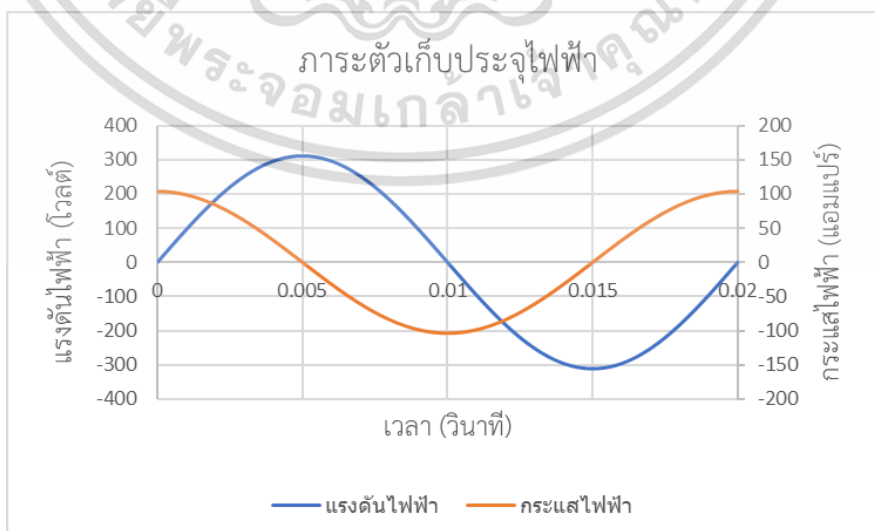
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 ลักษณะภาวะไฟฟ้าตัวต้านทาน



รูปที่ 2.9 ลักษณะภาวะไฟฟ้าตัวเหนี่ยวนำ



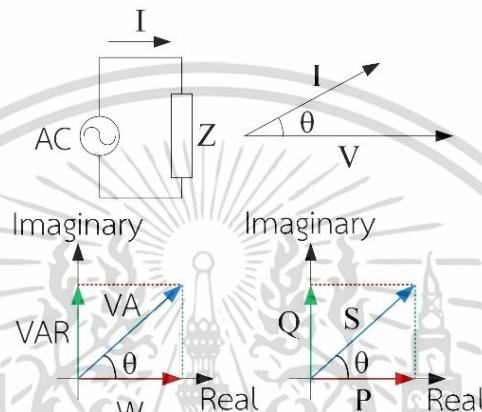
รูปที่ 2.10 ลักษณะภาวะไฟฟ้าตัวเก็บประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 กำลังไฟฟ้าในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ

จากรูปที่ 2.11 ในระบบไฟฟ้ากระแสสลับมีกำลังไฟฟ้าทั้งหมด 3 ชนิดด้วยกัน ดังนี้

- P กำลังไฟฟ้าจริง (Real Power) มีหน่วย Watt คำนวณได้จาก $P = V \times I \times \cos \theta$
- Q กำลังไฟฟ้าเสมือน (Reactive Power) มีหน่วย Var คำนวณได้จาก $Q = V \times I \times \sin \theta$
- S กำลังไฟฟ้าจริง (Apparent Power) มีหน่วย VA คำนวณได้จาก $S = V \times I$
- θ มุมระหว่างกระแสกับแรงดันไฟฟ้าไม่เจาะจงว่ากระแสจะนำหรือตามแรงดัน



รูปที่ 2.11 แผนภาพการไฟฟ้ากระแสสลับและสามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า

2.4.4 การวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์

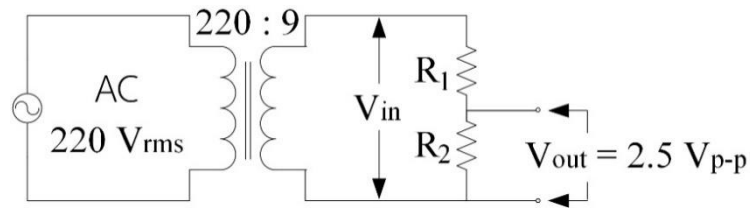
การจะทำให้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำงานด้วยแหล่งจ่ายแรงดันกระแสตรงสามารถวัดสัญญาณจากระบบกระแสสลับได้จะต้องทำการแปลงสัญญาณกระแสสลับให้อยู่ในขอบเขตที่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สามารถที่จะวัดค่าได้ก่อน ไฟฟ้าในประเทศไทยมีระดับแรงดันไฟฟ้าอยู่ที่ 220 โวลต์ (ประสิทธิภาพ) หรือมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 311 โวลต์ (ยอด) เพื่อที่จะให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์ (0 - 5 โวลต์) จำเป็นจะต้องทำให้ระดับแรงดันอยู่ในช่วงนี้ ซึ่งทำได้ด้วย 2 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ลดระดับแรงดันกระแสสลับลง (Stepping Down AC to AC)

แรงดันไฟฟ้าจะต้องมีค่าเท่ากับ 5 โวลต์ (ยอดต่อยอด) หรือ 2.5 โวลต์ (ยอด) โดยใช้หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าลดระดับแรงดันไฟฟ้าลงหรืออาจใช้วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า (Voltage Divider) อีกต่อนึงดังรูปที่ 2.12 โดย v_{out} หาได้จากสมการที่ 2.3 และสัญญาณกระแสไฟฟ้าสามารถวัดได้จากวงจรตามรูปที่ 2.11

$$V_{out} = V_{in} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (2.3)$$

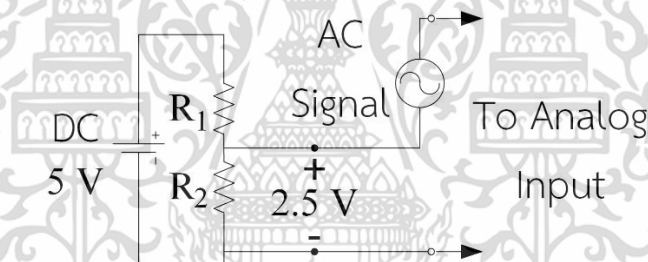
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



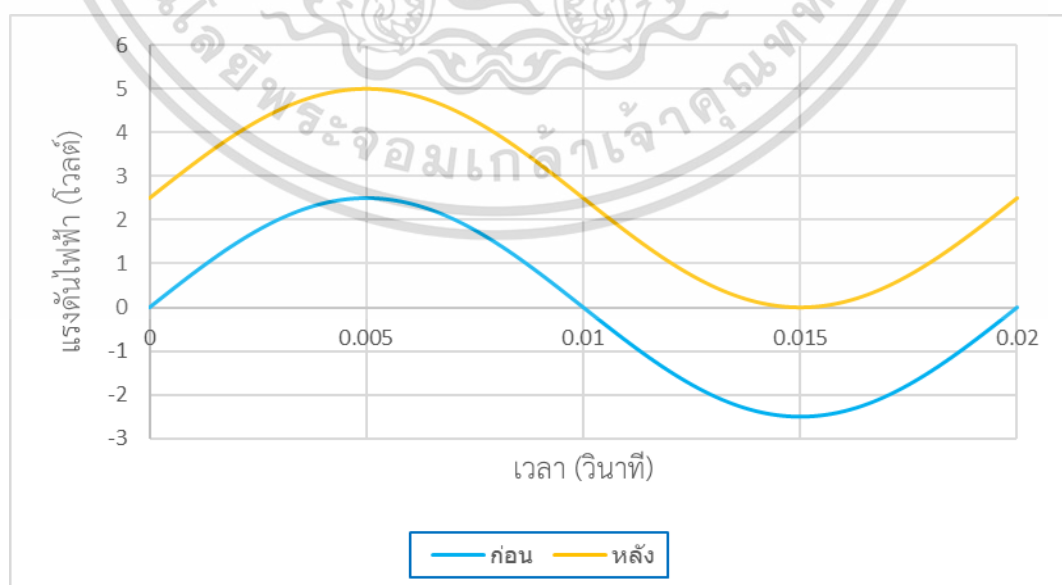
รูปที่ 2.12 วงจรวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ

2. เพิ่มระดับแรงดันกระแสตรง (Increasing DC Offset)

หลังจากที่ระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับลดลงถึงช่วงที่ต้องการแล้ว ต้องเพิ่มระดับแรงดันกระแสตรงเข้าไปในสัญญาณทำให้ไม่มีด้านลบด้วยวงจรดังรูปที่ 2.13 โดยใช้วงจรแบ่งแรงดัน 5 โวลต์ ออกเป็น 2.5 โวลต์ แล้วใช้เป็นจุดอ้างอิงของสัญญาณกระแสสลับที่ได้ จะได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 2.14 ซึ่งจะเห็นได้ว่าแรงดันกระแสสลับที่อ่านได้จะอยู่ในช่วง 0 ถึง 5 โวลต์ ทำให้สามารถใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์อ่านค่าได้



รูปที่ 2.13 วงจรเพิ่มระดับแรงดันกระแสตรง



รูปที่ 2.14 กราฟเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง

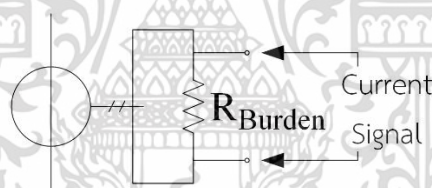
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.5 การวัดสัญญาณกระแสสลับ

การวัดสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับ เริ่มต้นต้องทำการพิจารณาขนาดกระแสสูงสุดที่ต้องการวัด ซึ่งจะทำให้สามารถเลือกหม้อแปลงกระแสไฟฟ้าที่สามารถวัดค่าได้มากกว่าค่ากระแสสูงสุดนี้ เช่น หากกระแสสูงสุดที่ต้องการวัดคือ 90 แอมแปร์ จะทำการเลือกหม้อแปลงกระแสไฟฟ้าที่มีอัตราส่วน 100 แอมแปร์ ต่อ 50 มิลลิแอมแปร์ นำมาใช้ในวงจรดังรูปที่ 2.15 โดยวงจรนี้จะประกอบไปด้วยความต้านทานเบอร์เดิน ในการคำนวณค่าความต้านทานเบอร์เดินที่ต้องใช้สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.4 จะได้ค่าตัวต้านทานที่เหมาะสมทำให้ได้ระดับสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับการบันทึกค่าด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

$$R_{\text{Burden}} = \frac{V_{\text{cc}} \div 2}{I_{\text{max}} \div r_{\text{CT}}} \quad (2.4)$$

โดยที่ R_{Burden} คือ ตัวต้านทานที่นำมาต่อขนานฝั่งทุติยภูมิของหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า
 V_{cc} คือ แรงดันไฟฟ้าที่ใช้ในระบบอิเล็กทรอนิกส์
 I_{max} คือ ค่ายอดของกระแสไฟฟ้าที่ต้องการอ่าน
 r_{CT} คือ อัตราส่วนหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า



รูปที่ 2.15 การใช้หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า

2.5 วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลด้วยวิธีค่าเฉลี่ย

การแบ่งกลุ่มข้อมูล เป็นเทคนิคที่ใช้ในการจัดกลุ่มคน สัตว์ สิ่งของ เป็นต้น ที่เหมือนหรือคล้ายกันไว้ในกลุ่มเดียวกัน โดยมีหลักเกณฑ์ในการแบ่งกลุ่ม โดยให้หน่วยที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันมีลักษณะที่สนใจเหมือนหรือคล้ายกัน แต่หน่วยที่อยู่ต่างกลุ่มกันมีลักษณะที่สนใจต่างกัน โดยวิธีการในการแบ่งกลุ่มประกอบด้วย 2 วิธี คือ

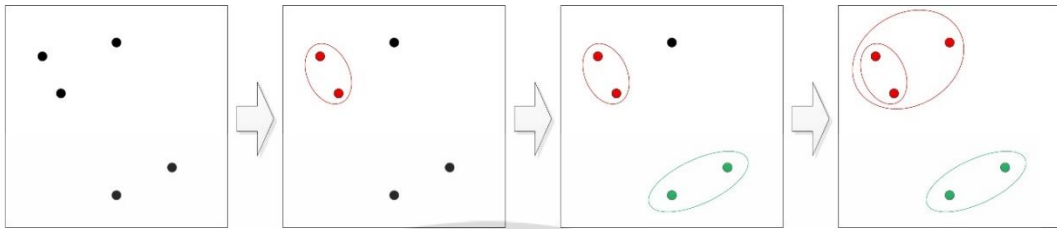
2.5.1 การวิเคราะห์กลุ่มแบบเป็นขั้นตอน

การวิเคราะห์กลุ่มแบบเป็นขั้นตอน (Hierarchical Cluster Analysis) มี 2 ประเภท คือ

1. Agglomerative วิธีนี้เริ่มจากการสมมติว่าข้อมูลทุกจุดคือแต่ละกลุ่มข้อมูลและในแต่ละขั้นจะรวมกลุ่มข้อมูลโดยเริ่มจากข้อมูลที่ใกล้กันที่สุดก่อนไปเรื่อย ๆ ดังรูปที่ 2.16 จนกว่าได้จำนวนกลุ่มที่ต้องการหรือจนเหลือกลุ่มข้อมูลเดียว วิธีการนี้ไม่ซับซ้อน แต่มีข้อเสียคือ ในขั้นต้นจะมีกลุ่มข้อมูลเท่ากับจำนวนข้อมูลและในแต่ละขั้นจะลดจำนวนกลุ่มข้อมูลลงทีละ 1 กลุ่ม หากมีจำนวนข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาก ๆ จะทำให้มีกลุ่มข้อมูลหลายกลุ่ม ทำให้เสียเวลาในการคำนวณมากจึงไม่เหมาะที่จะใช้แบ่งกลุ่มข้อมูลที่มีปริมาณข้อมูลมาก ๆ



รูปที่ 2.16 Agglomerative Hierarchical Clustering

2. Divisive วิธีนี้เริ่มจากการที่สมมติว่าข้อมูลทุกจุดอยู่ในกลุ่มข้อมูลเดียวกัน และจะทำการแบ่งกลุ่มข้อมูลออกเป็นกลุ่มมากขึ้น จนกว่าจะได้จำนวนกลุ่มข้อมูลที่ต้องการหรือจนกว่าข้อมูลทุกจุดจะอยู่กันคนละกลุ่มข้อมูล ดังรูปที่ 2.17 ข้อเสียของวิธีการนี้คือในการแบ่งขั้นแรกจะสามารถแบ่งได้ $2^{n-1}-1$ กลุ่ม ทำให้ยากต่อการคำนวณจึงไม่ได้รับความนิยม



รูปที่ 2.17 Divisive Hierarchical Clustering

2.5.2 การวิเคราะห์กลุ่มแบบไม่เป็นขั้นตอน

การวิเคราะห์กลุ่มแบบไม่เป็นขั้นตอน (Nonhierarchical Cluster Analysis) หรืออาจเรียกอีกอย่างว่า วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลด้วยวิธีค่าเฉลี่ยเค จะแตกต่างจากการแบ่งกลุ่มแบบเป็นขั้นตอนตรงที่ผู้ทำการวิเคราะห์ต้องกำหนดจำนวนกลุ่มที่ต้องการแบ่งเบื้องต้นจำนวน K กลุ่ม ซึ่งมีหลักการวิธีการแบ่งดังรูปที่ 2.18 โดยมีขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

ขั้นที่ 1 กำหนดจุดศูนย์กลางของแต่ละกลุ่ม (Centroid) เป็นจำนวน K จุด สุ่มค่าเริ่มต้นโดยจุดศูนย์กลางไม่จำเป็นต้องเป็นสมาชิกของกลุ่มข้อมูล

ขั้นที่ 2 นำข้อมูลแต่ละจุดเข้าสู่กลุ่มโดยดูจากระยะห่างระหว่างข้อมูลนั้น ๆ กับจุดศูนย์กลางว่าห่างจากจุดศูนย์กลางของกลุ่มใดน้อยที่สุดให้นำเข้าสู่กลุ่มนั้น

ขั้นที่ 3 หาจุดศูนย์กลางใหม่ของแต่ละกลุ่มโดยคำนวณจากค่าเฉลี่ยของแต่ละสมาชิกในกลุ่ม

ขั้นที่ 4 ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 2 ใหม่ นับเป็น 1 รอบ (Iteration)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการหาว่าข้อมูลไหนจะอยู่ในกลุ่มจุดศูนย์กลางไหนสามารถหาได้จากระยะห่างระหว่างข้อมูลกับจุดศูนย์กลางของกลุ่มนั้น ๆ จากสมการที่ 2.5 โดยห่างจากกลุ่มไหนน้อยกว่าจะพิจารณาข้อมูลให้อยู่ในกลุ่มนั้น

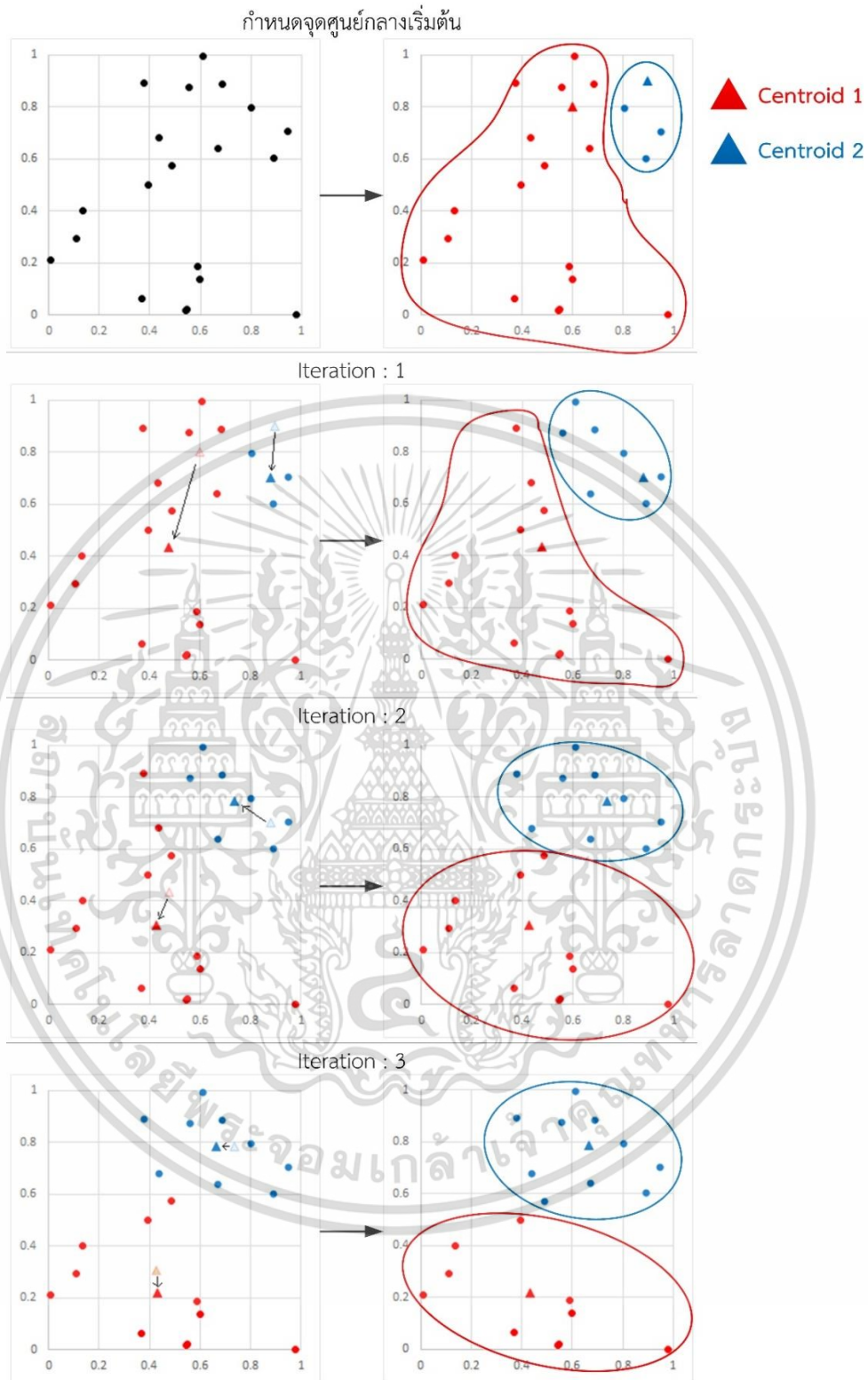
$$d(x,c) = |c_j - x_i^{(j)}| \quad (2.5)$$

โดยที่ c_j คือ จุดศูนย์กลางของกลุ่ม j
 $x_i^{(j)}$ คือ ข้อมูลตัวที่ i ที่เป็นสมาชิกของกลุ่ม j
 d คือ ระยะห่างระหว่างข้อมูลที่ i ที่ห่างจากจุดศูนย์กลางที่ j

ในการหาจุดศูนย์กลางใหม่สามารถได้จากค่าเฉลี่ยจากสมาชิกในกลุ่มนั้น ๆ ดังสมการที่ 2.6 โดยจะทำให้มั่นใจว่าจะไม่มีการเปลี่ยนสมาชิกในกลุ่มหรือจุดศูนย์กลางใหม่ของทุกกลุ่มไม่มีการเปลี่ยนแปลง

$$C_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^{(j)} \quad (2.6)$$

โดยที่ C_j คือ จุดศูนย์กลางของกลุ่ม j
 $x_i^{(j)}$ คือ ข้อมูลตัวที่ i ที่เป็นสมาชิกของกลุ่ม j
 n คือ จำนวนสมาชิกทั้งหมดในกลุ่ม



รูปที่ 2.18 การแบ่งกลุ่มข้อมูลด้วยวิธีค่าเฉลี่ยเค

ข้อดีของวิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลด้วยวิธีค่าเฉลี่ยเค คือ ใช้ทรัพยากรในวิเคราะห์น้อยกว่าวิธีอื่น ทำให้เหมาะกับการวิเคราะห์ข้อมูลชุดใหญ่ ๆ ได้ดี แต่มีข้อจำกัดคือ ผู้ทำการวิเคราะห์ต้องทราบจำนวนกลุ่มที่ต้องการจะแบ่งก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ ในกรณีที่ผู้ทำการวิเคราะห์ไม่แน่ใจว่าควรเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดค่ากลุ่มเท่าใด จึงควรที่จะลองกำหนดกลุ่มหลายๆ กลุ่ม แล้วพิจารณากลุ่มที่เหมาะสมที่สุดซึ่งอาจทำให้ใช้เวลาในการวิเคราะห์มากขึ้น นอกจากนั้นการสุ่มค่าเริ่มต้นในตำแหน่งที่ต่างกันอาจทำให้ผลลัพธ์ในการแบ่งกลุ่มต่างกัน จึงควรสุ่มตำแหน่งที่หลากหลายเพื่อให้สามารถประเมินผลที่ถูกต้องครบถ้วน

ในงานวิทยานิพนธ์นี้ได้เลือกใช้วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลด้วยวิธีค่าเฉลี่ยเค เนื่องจากข้อมูลบันทึกการใช้ไฟฟ้าในโรงพยาบาลจำนวนหลาย ๆ วงจรเป็นระยะเวลาหลายเดือน ทำให้ข้อมูลที่เก็บไว้มีปริมาณใหญ่มาก วิธีการวิเคราะห์แบ่งข้อมูลด้วยวิธีค่าเฉลี่ยเคเหมาะกับการวิเคราะห์ข้อมูลขนาดใหญ่ จึงเหมาะสมที่สุด

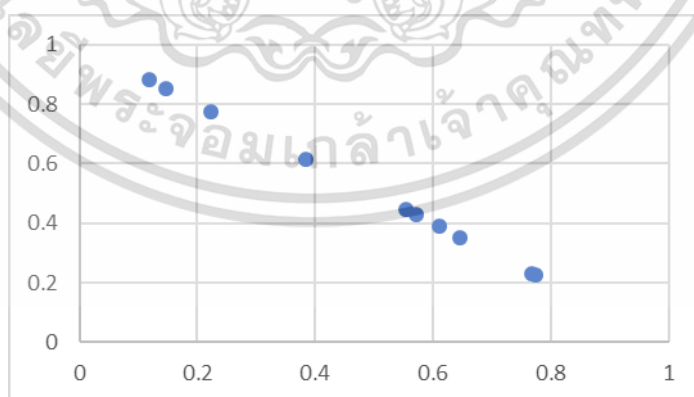
2.6 การวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์

การวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการสหสัมพันธ์เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างสองตัวแปรขึ้นไปว่ามีความสัมพันธ์กันมากน้อยเท่าไร โดยค่าที่จะบอกระดับความสัมพันธ์เรียกว่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) โดยจะมีค่าตั้งแต่ -1.0 ถึง 1.0 เครื่องหมายบวกและลบจะเป็นตัวบอกทิศทางของความสัมพันธ์ระหว่างสองตัวแปรโดยเครื่องหมาย

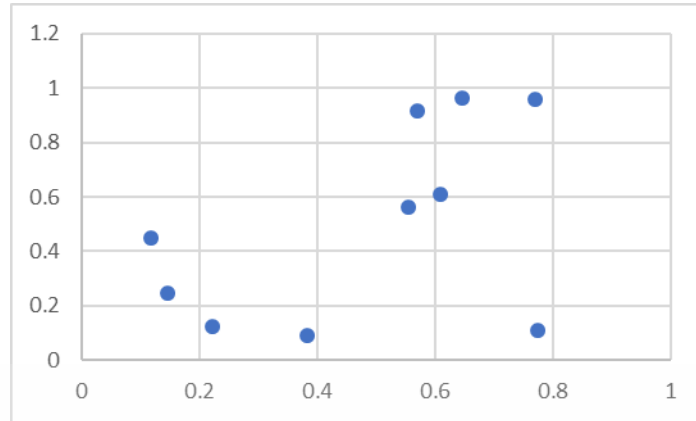
ลบ หมายถึง ตัวแปรสองตัวมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางตรงกันข้ามดังรูปที่ 2.19 ค่าที่เพิ่มขึ้นของตัวแปรหนึ่ง ทำให้ตัวแปรอีกตัวมีค่าลดลง

ศูนย์ หมายถึง ตัวแปรทั้งสองตัวไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกันดังรูปที่ 2.20 การเพิ่มขึ้นหรือลดลงของตัวแปรหนึ่ง ไม่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของอีกตัวแปร

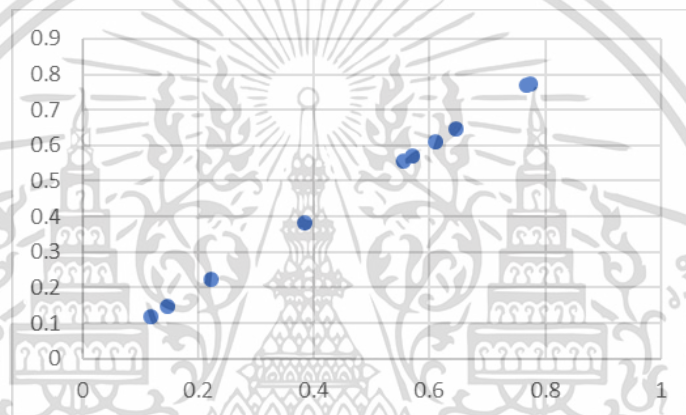
บวก หมายถึง ตัวแปรสองตัวมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันดังรูปที่ 2.21 ค่าที่เพิ่มขึ้นของตัวแปรหนึ่ง ทำให้ตัวอีกตัวมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย



รูปที่ 2.19 ความสัมพันธ์ระหว่างสองตัวแปรไปในทิศทางตรงข้ามกัน



รูปที่ 2.20 ตัวแปรทั้งสองตัวไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกัน



รูปที่ 2.21 ความสัมพันธ์ระหว่างสองตัวแปรไปในทิศทางเดียวกัน

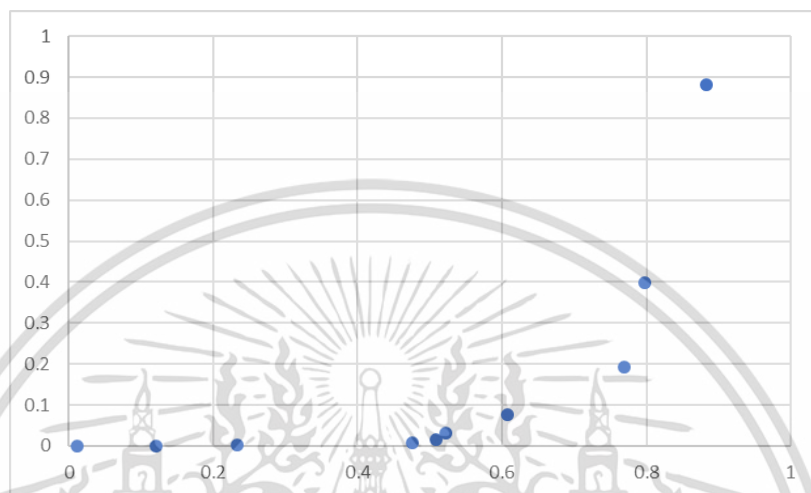
ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างสองตัวแปรสามารถหาได้จากสมการที่ 2.7

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \times 100 \quad (2.7)$$

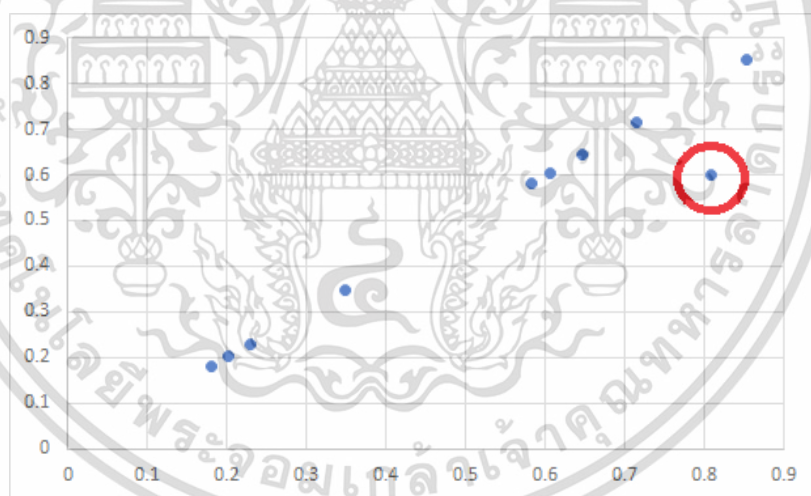
- โดยที่
- r_{xy} คือ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (%)
 - x_i คือ ข้อมูลตัวที่ i ของตัวแปร x
 - \bar{x} คือ ค่าเฉลี่ยของตัวแปร x
 - y_i คือ ข้อมูลตัวที่ i ของตัวแปร y
 - \bar{y} คือ ค่าเฉลี่ยของตัวแปร y
 - n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อจำกัดของการวิเคราะห์โดยวิธีนี้ คือสามารถวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงเส้น (linear relationship) ได้เท่านั้น หากเป็นความสัมพันธ์ในลักษณะอื่นอย่างดังรูปที่ 2.22 จะไม่สามารถทำได้ และหากมีค่าผิดปกติเช่นดังรูปที่ 2.23 อาจทำให้ผลการวิเคราะห์ข้อมูลผิดพลาดได้มาก นอกจากนี้ ข้อมูลต้องมีความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นและไม่มีค่าผิดปกติในข้อมูลก่อนทำการวิเคราะห์



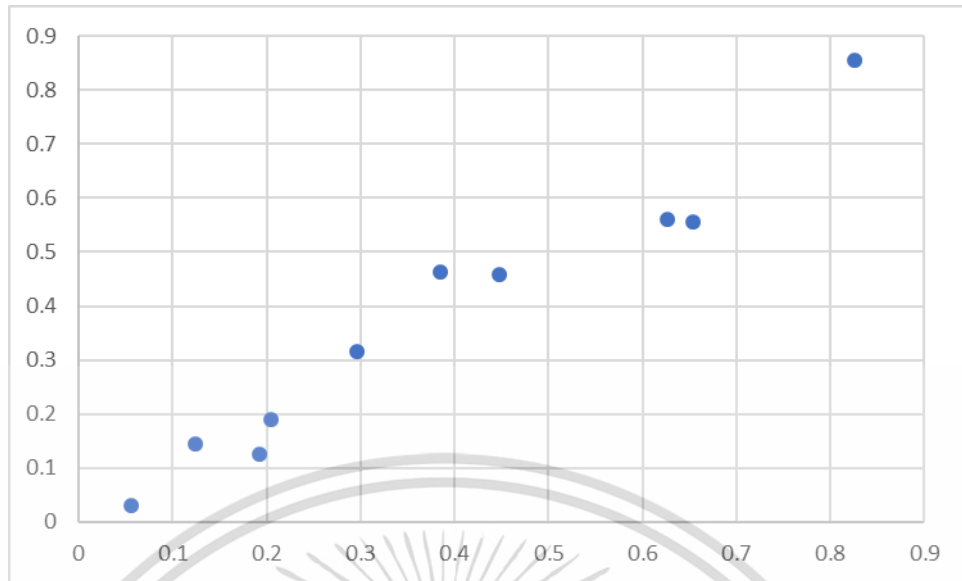
รูปที่ 2.22 ลักษณะที่มีข้อมูลที่มีความสัมพันธ์ไม่เป็นเชิงเส้น



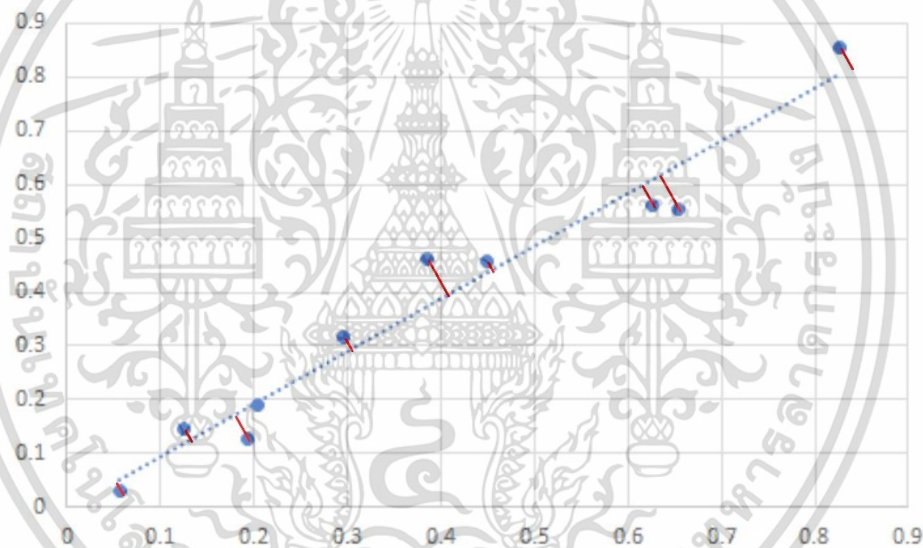
รูปที่ 2.23 ลักษณะที่มีข้อมูลผิดปกติ

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็นตัวบอกคุณภาพของเส้นแนวโน้มเชิงเส้นที่ดีที่สุดของชุดข้อมูล กับค่าจริงของชุดข้อมูลที่ทำกรวิเคราะห์ ตัวอย่างเช่น มีชุดข้อมูลดังรูปที่ 2.24 จะเห็นได้ว่ามีความสัมพันธ์เชิงเส้นกัน รูปที่ 2.25 เมื่อทำการใส่เส้นแนวโน้ม (เส้นประสีฟ้า) ระหว่างข้อมูลจริงกับเส้นแนวโน้มจะมีระยะห่างเป็นเส้นสีแดงอยู่ ระยะห่างยิ่งน้อยคุณภาพของเส้นแนวโน้มยิ่งดี และยังเป็นตัวบอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างสองตัวแปรอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.24 ลักษณะที่มีข้อมูลที่มีความสัมพันธ์เชิงเส้น



รูปที่ 2.25 เส้นแนวโน้มและความคาดเคลื่อน

2.7 สถิติเชิงพรรณนา

สถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) หมายถึง สถิติที่ใช้สรุปลักษณะของกลุ่มข้อมูล [12] เป็นสิ่งสำคัญที่ต้องนำมาใช้สำหรับกลุ่มข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ที่ยากจะแสดงลักษณะจากข้อมูลได้ เช่น เก็บข้อมูลคะแนนสอบนักเรียนทั่วประเทศ จำนวน 1,000 คน หากแสดงลักษณะคะแนนของนักเรียนแต่ละคนจะเป็นการยากที่จะสรุปผลจากข้อมูลที่ได้ จึงต้องนำสถิติเชิงพรรณนามาใช้แสดงถึงลักษณะของกลุ่มข้อมูลนี้ ประกอบไปด้วยค่าสถิติ ดังนี้ ค่าเฉลี่ย (Average) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation : SD) จำนวนร้อยละ (Percent) และค่าพิสัย (Range) เป็นต้น โดยสถิติเชิงพรรณนา แบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สถิติเชิงพรรณนาสำหรับข้อมูลเชิงคุณภาพหรือข้อมูลเชิงกลุ่ม
- สถิติเชิงพรรณนาสำหรับข้อมูลเชิงปริมาณ ค่าที่ใช้สำหรับข้อมูลเชิงปริมาณมี ค่าเฉลี่ย ค่ามัธยฐาน (Median) และค่าฐานนิยม (Mode)

2.7.1 การวัดค่าความแจกแจงด้วยค่าทางสถิติ

- ค่าพิสัย ใช้วัดขอบเขตของข้อมูลหาได้จาก ค่าที่มากที่สุด - ค่าที่น้อยที่สุด
- ค่าแปรปรวน (Variance) ใช้วัดการแจกแจงของข้อมูลสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.8 หรือสมการที่ 2.9

$$\text{ค่าแปรปรวนประชากร } \sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \mu)^2}{n} \quad \text{เมื่อ } i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2.8)$$

$$\text{ค่าแปรปรวนตัวอย่าง } S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1} \quad \text{เมื่อ } i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2.9)$$

โดยที่ σ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานประชากร

X_i คือ แทนค่าที่ i ของ X

μ คือ ค่าเฉลี่ยประชากร

n คือ จำนวนข้อมูลประชากรทั้งหมด

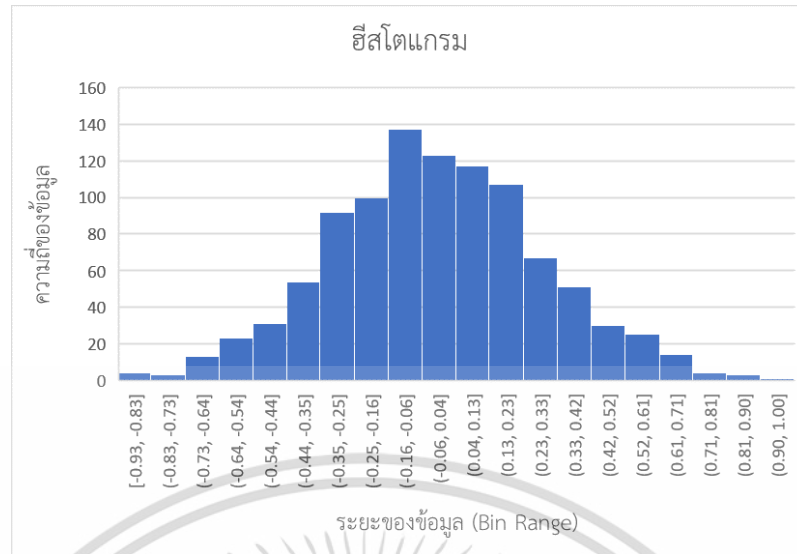
S คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานตัวอย่าง

\bar{X} คือ ค่าเฉลี่ยตัวอย่าง

ความแตกต่างระหว่างการคำนวณความแปรปรวนแบบประชากรและแบบตัวอย่าง คือ แบบประชากรคำนวณจากข้อมูลทั้งหมดแต่แบบตัวอย่างจะคำนวณจากตัวอย่างข้อมูลบางกลุ่ม

2.7.2 การแสดงข้อมูลแบบฮิสโตแกรม

ฮิสโตแกรม (Histogram) ใช้นำเสนอข้อมูลในลักษณะกราฟแท่งที่แต่ละแท่งของข้อมูลจะมีความสูงแตกต่างกันดังรูปที่ 2.26 จะเห็นถึงการแจกแจงตัวของข้อมูลเชิงปริมาณ โดยแกนนอนเป็นช่วงของข้อมูลและแกนตั้งเป็นแท่งกราฟที่มีความสูงแตกต่างกันบ่งบอกถึงปริมาณข้อมูลที่อยู่ในช่วงนั้น

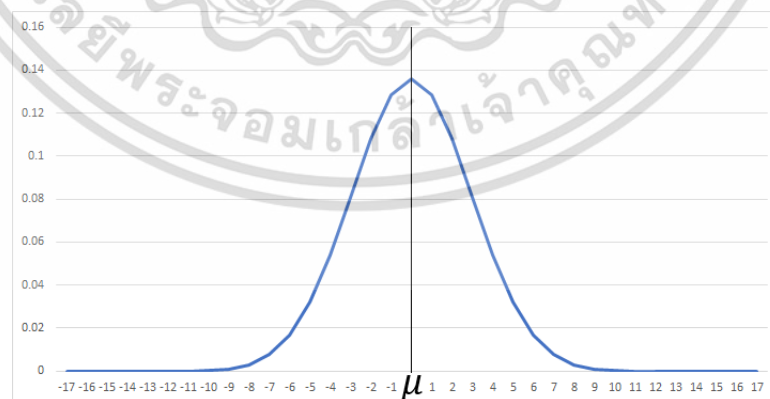


รูปที่ 2.26 กราฟฮีสโตแกรมการแจกแจงปกติ

2.7.3 การแจกแจงปกติ

การแจกแจงปกติ (Normal Distribution) เป็นสิ่งสำคัญทางสถิติเพราะปรากฏการณ์ธรรมชาติหลายอย่างมีลักษณะการแจกแจงข้อมูลในลักษณะนี้ เช่น ลักษณะของกราฟการแจกแจงปกติจะอยู่ในลักษณะรูประฆังคว่ำดังรูปที่ 2.27 โดยคุณสมบัติของเส้นโค้งปกติมีลักษณะ ดังนี้

1. เส้นตรงที่ลากผ่านตรงกลางยอดระฆังคว่ำจะตรงกับค่าเฉลี่ยของข้อมูล
2. เส้นแบ่งตรงกลางจะเป็นแกนสมมาตรแบ่งตรงกลางของจำนวนชุดข้อมูลพอดี
3. เส้นโค้งทั้งสองข้างจะลู่อเข้าแกนนอนแต่ไม่ติดกับแกนนอน
4. พื้นที่ใต้กราฟรวมแทนค่าความหนาแน่นของข้อมูลเป็น 100% ของข้อมูลทั้งหมดเสมอ
5. ลักษณะของเส้นโค้งระฆังคว่ำจะกว้างหรือแคบขึ้นอยู่กับความแจกแจงของข้อมูล



รูปที่ 2.27 ลักษณะกราฟการแจกแจงปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.4 การตรวจสอบว่าชุดข้อมูลเป็นการแจกแจงปกติหรือไม่

การตรวจสอบการแจกแจงปกติของชุดข้อมูลจะใช้การทดสอบ Kolmogorov-Smirnov โดยกำหนดสมมติฐานต่าง ๆ คือ

H_0 : ประชากรมีการแจกแจงแบบปกติ

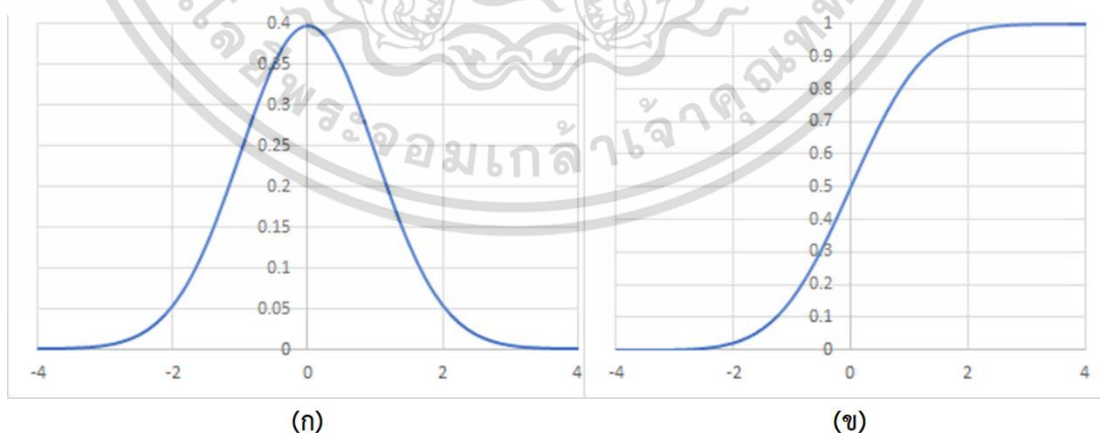
H_1 : ประชากรไม่มีการแจกแจงแบบปกติ

สถิติที่ใช้ในการทดสอบ คือ : Kolmogorov-Smirnov (D)

$$D = \max(|F(x) - S(x)|) \quad (2.10)$$

โดยที่ D คือ ระยะห่างสูงสุดระหว่างข้อมูลที่ต้องการทดสอบและเส้นการแจกแจงปกติ
 x คือ ค่าของประชากร
 $F(x)$ คือ ความน่าจะเป็นสะสมของตัวแปรประชากร เมื่อมีการแจกแจงแบบปกติ
 $S(x)$ คือ ความน่าจะเป็นสะสมของข้อมูลจริงที่ได้จากกลุ่มตัวอย่าง

ความน่าจะเป็นสะสมจากสมการที่ 2.10 คือ พื้นที่ใต้กราฟระฆังคว่ำของข้อมูล เช่น รูปที่ 2.28 (ก) จะเป็นพื้นที่ใต้กราฟของกราฟระฆังคว่ำดังรูปที่ 2.28 (ก) ในสมการที่ 2.10 จะนำค่าของข้อมูลจริงมาเทียบกับค่าที่ควรเป็นเมื่อข้อมูลมีการแจกแจงปกติโดยค่า D คือ ค่าความต่างที่สูงสุด หลังจากนั้นนำค่า D ไปพิจารณาจากตารางค่าวิกฤตของ Kolmogorov-Smirnov ในตารางที่ 2.1 ถ้า D น้อยกว่าค่าวิกฤตที่จะยอมรับสมมติฐาน H_0 ข้อมูลชุดนี้มีการแจกแจงปกติ แต่ถ้า D มากกว่าค่าวิกฤต จะสรุปได้ว่าข้อมูลชุดนี้ไม่มีการแจกแจงแบบปกติ



รูปที่ 2.28 กราฟการแจกแจงปกติ (ก) และ กราฟพื้นที่ใต้กราฟ (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ค่าวิกฤตของ Kolmogorov-Smirnov Test

จำนวนตัวอย่าง	ระดับความสำคัญ (SIGNIFICANCE LEVEL α)				
	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01
1	0.9	0.95	0.975	0.99	0.995
2	0.684	0.776	0.842	0.9	0.929
3	0.565	0.636	0.708	0.785	0.829
4	0.493	0.565	0.624	0.689	0.734
5	0.447	0.509	0.563	0.627	0.669
6	0.41	0.468	0.519	0.577	0.617
7	0.381	0.436	0.483	0.538	0.576
8	0.358	0.41	0.454	0.507	0.532
9	0.339	0.387	0.43	0.48	0.513
10	0.323	0.369	0.409	0.457	0.489
11	0.308	0.352	0.391	0.437	0.468
12	0.296	0.338	0.375	0.419	0.449
13	0.285	0.325	0.361	0.404	0.432
14	0.275	0.314	0.349	0.39	0.418
15	0.266	0.304	0.338	0.377	0.404
16	0.258	0.295	0.327	0.366	0.392
17	0.25	0.286	0.318	0.355	0.381
18	0.244	0.279	0.309	0.346	0.371
19	0.237	0.271	0.301	0.337	0.361
20	0.232	0.265	0.294	0.329	0.352
21	0.226	0.259	0.287	0.321	0.344
22	0.221	0.253	0.281	0.314	0.337
23	0.216	0.247	0.275	0.307	0.33
24	0.212	0.242	0.269	0.301	0.323
25	0.208	0.238	0.264	0.295	0.317
26	0.204	0.233	0.259	0.29	0.311
27	0.2	0.229	0.254	0.284	0.305
28	0.197	0.225	0.25	0.279	0.3
29	0.193	0.221	0.246	0.275	0.295

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 (ต่อ) ค่าวิกฤตของ Kolmogorov-Smirnov Test

จำนวนตัวอย่าง	ระดับความสำคัญ (SIGNIFICANCE LEVEL α)				
	0.2	0.1	0.2	0.02	0.2
30	0.187	0.218	0.242	0.27	0.29
31	0.184	0.214	0.238	0.266	0.285
32	0.182	0.211	0.234	0.262	0.281
33	0.179	0.208	0.231	0.258	0.277
34	0.177	0.205	0.227	0.254	0.273
35	0.174	0.202	0.224	0.251	0.269
36	0.172	0.199	0.221	0.247	0.265
37	0.172	0.196	0.218	0.244	0.262
38	0.17	0.194	0.215	0.241	0.258
39	0.168	0.191	0.213	0.238	0.255
40	0.165	0.189	0.21	0.235	0.252
Over 40	$\frac{1.07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.22}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.36}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.52}{\sqrt{n}}$	$\frac{1.63}{\sqrt{n}}$

(ที่มา: กัลยา วานิชย์บัญชา. 2553. สถิติสำหรับงานวิจัย. กรุงเทพฯ : ภาควิชาสถิติคณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.)

2.8 การสร้างเส้นค่าฐานการใช้ไฟฟ้า

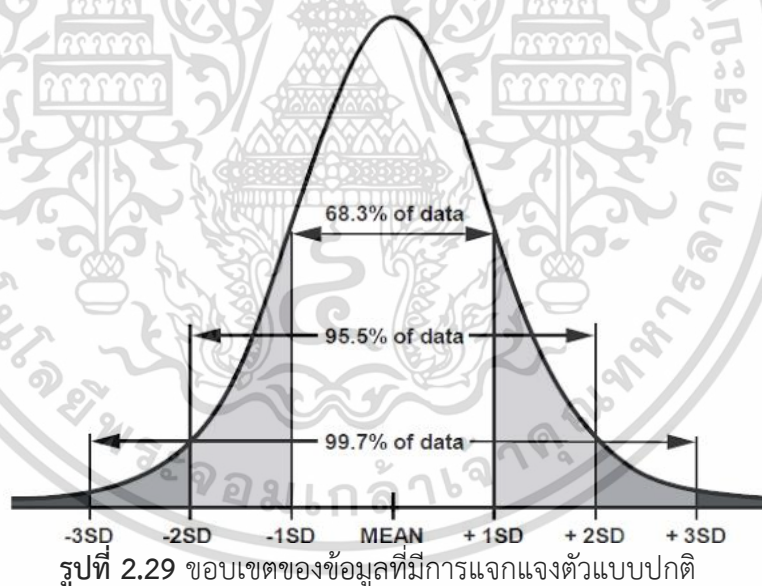
เส้นค่าฐานการใช้ไฟฟ้าสร้างจากค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลการใช้กำลังไฟฟ้าในอดีตโดยสมการที่ 2.11 เช่น หากมีข้อมูลการใช้ไฟฟ้าทั้งหมด 10 วัน ค่าเฉลี่ยการใช้ไฟฟ้า ณ เวลา 00:00:00 น. สร้างจากกลุ่มข้อมูลการใช้ไฟฟ้า ณ เวลา 00:00:00 น. ของทุกวัน แล้วจึงหาค่าเฉลี่ยของทุกวินาทีตลอดวัน จะได้เส้นค่าฐานการใช้ไฟฟ้าแสดงลักษณะการใช้ไฟฟ้า หรืออีกวิธีในการสร้างเส้นค่าฐานการใช้ไฟฟ้าคือ ใช้ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving Average) โดยใช้สมการที่ 2.11 เช่นกัน แต่วิธีการใช้คือ หากต้องการค่าเฉลี่ยการใช้ไฟฟ้า ณ เวลา 00:01:00 น. สร้างจากกลุ่มข้อมูลการใช้ไฟฟ้าตั้งแต่เวลา 00:00:00 น. ถึง 00:01:00 น. ของวันเดียวกัน แล้วจึงหาค่าเฉลี่ยของทุกวินาทีตลอดวันจะได้เส้นค่าฐานการใช้ไฟฟ้าของวันนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (2.11)$$

โดยที่ \bar{X} คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูล
 X_i คือ ค่าของข้อมูลที่ i
 n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

หลังจากที่ได้เส้นค่าฐานการใช้กำลังไฟฟ้า ต่อมาจะทำการหาขอบเขตของข้อมูลหากข้อมูลจากคุณลักษณะการแจกแจงตัวแบบปกติดังรูปที่ 2.29 จะทราบว่าข้อมูลกว่า 99.7% ของข้อมูลทั้งหมดจะอยู่ในช่วง ค่าเฉลี่ย บวก/ลบ ด้วย 3 เท่าของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน จึงสามารถนำค่านี้มาพิจารณาขอบเขตของข้อมูลด้านบวกและลบ ทำให้สามารถตรวจจับข้อมูลส่วนที่เกินออกจากขอบเขตปกติได้เพื่อประเมินความผิดปกติของชุดข้อมูล



(ที่มา: Guang Jin. 2019. Normal Distribution. [Online]. Available : <http://my.ilstu.edu/~gjinn/hsc204-hed/Module-5-Summary-Measure-2/Module-5-Summary-Measure-28.html>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ

การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปรโดยการประมาณค่าตัวแปรหนึ่งด้วยตัวแปรอีกตัวแปรหนึ่ง ซึ่งตัวแปรที่จะประมาณ เรียกว่า ตัวแปรตาม (Dependent Variable) นิยมเขียนแทนด้วย Y โดยอาศัยความสัมพันธ์กับอีกตัวหนึ่ง ที่เรียกว่า ตัวแปรอิสระ (Independent Variable) นิยมเขียนด้วย X โดย สมการที่ใช้คือสมการที่ 2.12

$$Y = \alpha + \beta X \quad (2.12)$$

โดยที่ Y คือ ตัวแปรตาม
 X คือ ตัวแปรอิสระ
 α คือ สัมประสิทธิ์การถดถอยของประชากร α
 β คือ สัมประสิทธิ์การถดถอยของประชากร β

ส่วนการวิเคราะห์การถดถอยเชิงพหุคูณเป็นส่วนเพิ่มของการวิเคราะห์การถดถอยแบบปกติ (Simple Regression Analysis) แตกต่างที่ การประมาณค่าตัวแปรตาม จะประมาณค่าจากความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระมากกว่า 1 ตัวแปรขึ้นไป ทำได้จากสมการที่ 2.13

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_n X_i \quad \text{เมื่อ } i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2.13)$$

โดยที่ Y คือ ตัวแปรตาม
 X_i คือ ตัวแปรอิสระที่ i
 β_0 คือ สัมประสิทธิ์การถดถอยของประชากร (จุดตัดแกน Y)
 β_n คือ สัมประสิทธิ์การถดถอยของประชากรที่ n ที่สัมพันธ์กับตัวแปร X_i
 n คือ จำนวนของตัวแปรอิสระ

ในการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณการเพิ่มจำนวนของตัวแปรอิสระเข้ามาในการวิเคราะห์ อาจไม่ได้ทำให้ผลลัพธ์ดีขึ้นเสมอไป สิ่งที่สำคัญคือการเลือกตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม ในงานวิทยานิพนธ์นี้จะพิจารณาระดับนัยสำคัญที่ยอมรับได้จะอยู่ที่ 0.05 หรือ 5% ทำให้ข้อมูลมีความน่าเชื่อถืออยู่ในระดับ 95% โดยหากระดับนัยสำคัญอยู่ที่ 0.05 ดังนั้นค่า P-value ต้องมีค่าต่ำกว่า 0.05 เพื่อที่จะยอมรับสมมติฐานว่า ตัวแปรนั้นส่งผลต่อการใช้ไฟฟ้า หากค่า P-value สูงกว่า 0.05 จะเป็นการปฏิเสธสมมติฐานว่าตัวแปรนั้นส่งผลต่อการใช้ไฟฟ้า หรือไม่มีนัยสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ภายนอกโดยไม่ผ่านการอนุญาต
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบระบบตรวจติดตามการใช้กำลังไฟฟ้า

ขั้นตอนการออกแบบระบบตรวจติดตามการใช้กำลังไฟฟ้า เพื่อวิเคราะห์ความต้องการไฟฟ้า และประเมินความผิดปกติของการใช้กำลังไฟฟ้าเบื้องต้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.1



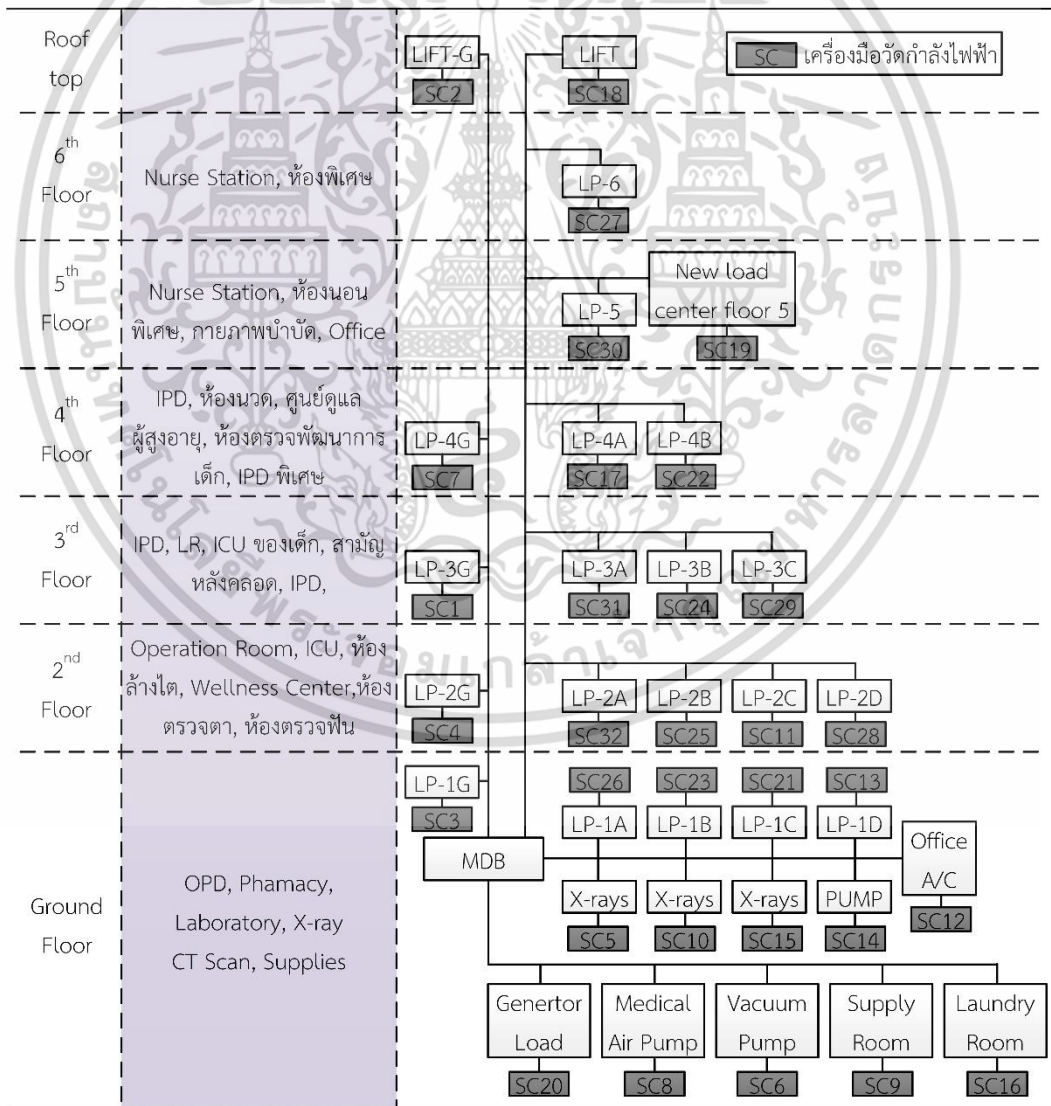
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการออกแบบและจัดทำระบบตรวจติดตามการใช้ไฟฟ้า

รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการออกแบบและจัดทำระบบตรวจติดตามการใช้ไฟฟ้า โดยขั้นตอนที่ 1 คือ การออกแบบระบบ โดยเริ่มจากการสำรวจโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยบูรพาที่เป็นสถานที่ติดตั้งระบบ ต่อมาจะได้เงื่อนไขที่ระบบตรวจติดตามการใช้กำลังไฟฟ้าต้องมีและนำเงื่อนไขมาออกแบบและเลือก อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างระบบ ขั้นตอนที่ 2 คือ การจัดทำฮาร์ดแวร์และพัฒนาซอฟต์แวร์ของแต่ละ วงจรที่เป็นส่วนประกอบของระบบที่ได้ออกแบบ และขั้นตอนที่ 3 คือ การติดตั้งระบบที่ได้จัดทำขึ้น โดยขั้นนี้จะประกอบไปด้วยการติดตั้งกล่องป้องกันอันตรายเพื่อเพิ่มความปลอดภัยให้กับระบบ การ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ติดตั้งวงจรวัดกำลังไฟฟ้า 3 เฟส ที่ต้องต่อหม้อแปลงกระแสไฟฟ้าและหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า การติดตั้งวงจรศูนย์กลางการรับส่งข้อมูลและโมเด็มที่ใช้การเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต และสุดท้าย คือ การติดตั้งวงจรวัดอุณหภูมิและความชื้น

3.1 วงจรย่อยในอาคารโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยบูรพา

อาคารที่ติดตั้งระบบตรวจติดตามไฟฟ้าในโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยบูรพา เป็นอาคาร 6 ชั้น และมีชั้นดาดฟ้า ซึ่งระบบเครื่องมือวัดที่ทำการออกแบบจะทำการติดตั้งการบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าของวงจรหลังจากเซอร์กิตเบรกเกอร์ ภายในตู้ MDB ก่อนที่จะไปยังแผงควบคุมไฟฟ้าย่อย (Load Panel) โดยมีวงจรย่อย 32 วงจร โดยแต่ละวงจรย่อยจะจ่ายไฟฟ้าไปตามชั้น หน่วยงาน แผนก หรือระบบต่าง ๆ ที่มีอยู่ในโรงพยาบาลที่แตกต่างกันดังรูปที่ 3.2 โดยมีชื่อตามชื่อแผงควบคุมไฟฟ้าย่อย (Load Panel) หรือภาระไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ รวมถึงพิกัดกระแสไฟฟ้าของแต่ละวงจรย่อยดังตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.2 วงจรย่อยของโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยบูรพาที่ติดตั้งการใช้อิเล็กทรอนิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 พิกัดกระแสไฟฟ้าของเซอร์กิตเบรกเกอร์แต่ละวงจร

ชื่อวงจรย่อย	พิกัดกระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	
SC1	LP3G	70
SC2	Lift-G	50
SC3	LP1G	100
SC4	LP2G	70
SC5	X-ray	100
SC6	Vacuum pump	30
SC7	LP4G	50
SC8	Medical Air Pump	60
SC9	Supply Room	100
SC10	X-ray	100
SC11	LP2C Air	60
SC12	Office A/C	150
SC13	LP1D AIR	50
SC14	PUMP	50
SC15	X-RAY	100
SC16	Laundry Room	150
SC17	LP4A	100
SC18	LIFT	60
SC19	New load center floor	100
SC20	Generator Load	250
SC21	LP1C	250
SC22	LP4B	250
SC23	LP1B	200
SC24	LP3B	200
SC25	LP2B	175
SC26	LP1A	175
SC27	LP6	150
SC28	LP2DAir	125
SC29	LP3C	200
SC30	LP5	250
SC31	LP3A	250
SC32	LP2A	250

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของกรมการช่างหรือการศึกษานี้ ไม่อนุญาตให้แก้ไขหรือเปลี่ยนแปลงข้อมูลใดๆ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 เงื่อนไขในการออกแบบระบบ

การออกแบบระบบตรวจติดตามการใช้ไฟฟ้าตามเวลาจริง (Real Time Electrical Power Monitoring System) มีเงื่อนไขที่ต้องพิจารณาดังนี้

- สถานที่ติดตั้ง: ห้องไฟฟ้าในอาคาร “โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยบูรพา”
- จำนวนวงจรย่อย: 3 เฟส 32 วงจร
- พารามิเตอร์ที่อ่านได้: กำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าปรากฏ, ค่าประกอบกำลังไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า
- มีอัตราการวัดสูงสุด: 1 ค่าต่อ 1 วินาที
- ฐานข้อมูลบนอินเทอร์เน็ต: อินเทอร์เน็ต
- หน่วยความจำของระบบ: Micro SD Card
- ช่วงเวลาที่เก็บข้อมูล: เก็บข้อมูลตลอด 24 ชั่วโมง ใน 1 วัน
- พารามิเตอร์อื่น ๆ: อุณหภูมิ ความชื้น และจำนวนผู้ใช้งานอาคาร
- ระยะเวลาเก็บข้อมูล: 6 เดือน (มกราคม ถึง มิถุนายน 2562)

3.3 รายละเอียดอุปกรณ์ที่ใช้สร้างระบบตรวจติดตามการใช้กำลังไฟฟ้าตามเวลาจริง

3.3.1 อาร์ดุยโนนาโน (Arduino Nano)

อาร์ดุยโนนาโนดังรูปที่ 3.3 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิดหนึ่งที่สามารถใช้สร้างระบบสมองกลฝังตัวได้ ระบบที่ออกแบบต้องอ่านข้อมูลจากวงจรย่อย 3 เฟส ทั้งหมด 32 วงจร จึงจำเป็นต้องมีวงจรสเลฟจำนวน 32 ตัว การใช้อาร์ดุยโนนาโนที่มีขนาดเล็กทำให้ประหยัดพื้นที่ อีกทั้งยังมี USB JACK Mini Type B ทำให้เชื่อมต่อ แก๊ซ และพัฒนาโปรแกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ง่าย แผนผังของอาร์ดุยโนนาโน แสดงได้ดังรูปที่ 3.4 โดยรายละเอียดข้อมูลทางเทคนิคของอาร์ดุยโนนาโนมี ดังนี้

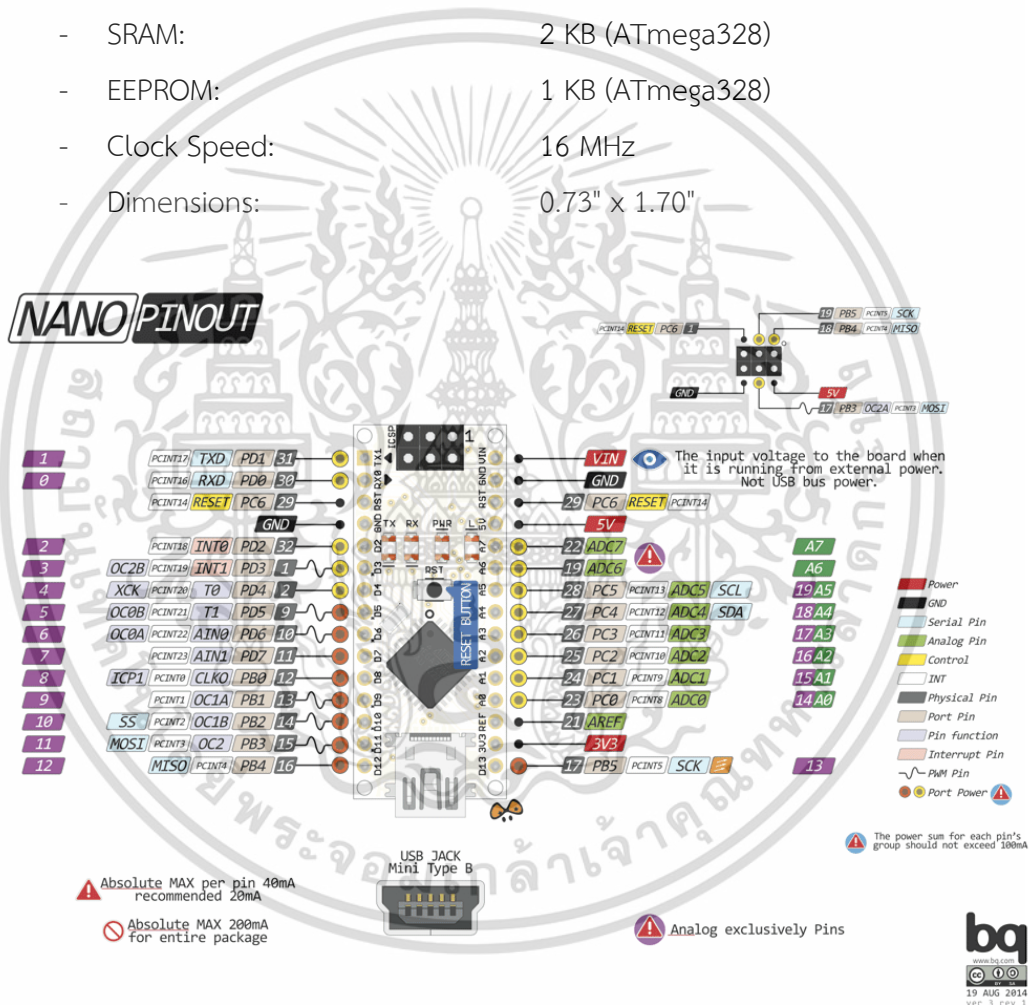


รูปที่ 3.3 อาร์ดุยโนนาโน

(ที่มา: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-nano>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Microcontroller: ATmega328
- Operating Voltage (logic level): 5 V
- Input Voltage (recommended): 7-12 V
- Input Voltage (limits): 6-20 V
- Digital I/O Pins: 14 (โดยมีพินที่สามารถใช้ PWM ได้ 6 พิน)
- Analog Input Pins: 8
- DC Current per I/O Pin: 40 mA
- Flash Memory: 32 KB (ATmega328) 2 KB for .bootloader
- SRAM: 2 KB (ATmega328)
- EEPROM: 1 KB (ATmega328)
- Clock Speed: 16 MHz
- Dimensions: 0.73" x 1.70"



รูปที่ 3.4 แผนผังของอาร์ดูโนนาโน

(ที่มา: <https://components101.com/microcontrollers/arduino-nano>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า (Potential Transformer)

หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าดังรูปที่ 3.5 ใช้สำหรับแปลงแรงดันไฟฟ้า 3 เฟส ที่มีระดับแรงดันไฟฟ้าไลน์ 380 โวลต์ หรือแรงดันไฟฟ้าเฟส 220 โวลต์ ให้เหลือระดับแรงดัน 9 โวลต์ เพื่อให้ส่งสัญญาณแรงดันไฟฟ้าซึ่งเป็นสัญญาณนาฬิกาเข้าสู่วงจรรีเลย์กลิทริกและอาร์คยูโนได้ หลังจากนั้นจะนำไประดับสัญญาณไฟฟ้านี้ไปคำนวณร่วมกับสัญญาณกระแสไฟฟ้าจากหม้อแปลงกระแสไฟฟ้าเพื่อคำนวณพารามิเตอร์ไฟฟ้าต่อไป



รูปที่ 3.5 หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า

3.3.3 หม้อแปลงกระแสไฟฟ้า (Current Transformer)

หม้อแปลงกระแสไฟฟ้าดังรูปที่ 3.6 ใช้ในการแปลงสัญญาณกระแสไฟฟ้าสูงจากวงจรรย่อยของโรงพยาบาลมาเป็นสัญญาณกระแสระดับต่ำ สามารถใช้กับวงจรรีเลย์กลิทริกได้และเนื่องจากระบบที่ได้ออกแบบต้องนำไปติดตั้ง ณ ห้องไฟฟ้าของโรงพยาบาลที่ไม่สามารถแก้ไขวงจรเพื่อทำการติดตั้งได้ จึงจำเป็นต้องใช้หม้อแปลงกระแสไฟฟ้าแบบแกนแยก (Split Core Current Transformer) เนื่องจากภาระไฟฟ้ามีความสำคัญมาก ซึ่งหม้อแปลงกระแสแบบแกนแยกที่ใช้มี 2 แบบ แบบที่หนึ่งดังรูปที่ 3.6 (ก) อยู่ที่ 100 แอมแปร์ ต่อ 50 มิลลิแอมแปร์ ใช้สำหรับวงจรรย่อยที่มีเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่พิกัดกระแสไฟฟ้าไม่เกิน 100 แอมแปร์ และแบบที่สองดังรูปที่ 3.6 (ข) มีอัตราส่วนกระแสอยู่ที่ 150 แอมแปร์ 200 แอมแปร์ และ 250 แอมแปร์ ต่อ 50 มิลลิแอมแปร์ ใช้สำหรับแต่ละเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่พิกัดกระแสไฟฟ้าแตกต่างกันในวงจรรย่อยของอาคารโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยบูรพา



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.6 หม้อแปลงกระแสไฟฟ้าแบบแกนแยก

3.3.4 โมดูลไวไฟโนดเอ็มซียู (NodeMCU WiFi Module)

โมดูลไวไฟที่เลือกใช้คือโนดเอ็มซียู ดังรูปที่ 3.7 ที่มีพอร์ต USB เพื่อเพิ่มความสะดวกสบายให้สามารถเขียนและลงโปรแกรมผ่านคอมพิวเตอร์ได้ โดยโมดูลนี้มีความสามารถในการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตผ่านไวไฟได้ และยังมีขาที่ทำหน้าที่เป็นอินพุตหรือเอาต์พุตในการรับส่งข้อมูลสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวอื่นได้ โดยรูปที่ 3.8 คือแผนผังของโนดเอ็มซียูและรายละเอียดข้อมูลทางเทคนิคของโนดเอ็มซียูมี ดังนี้

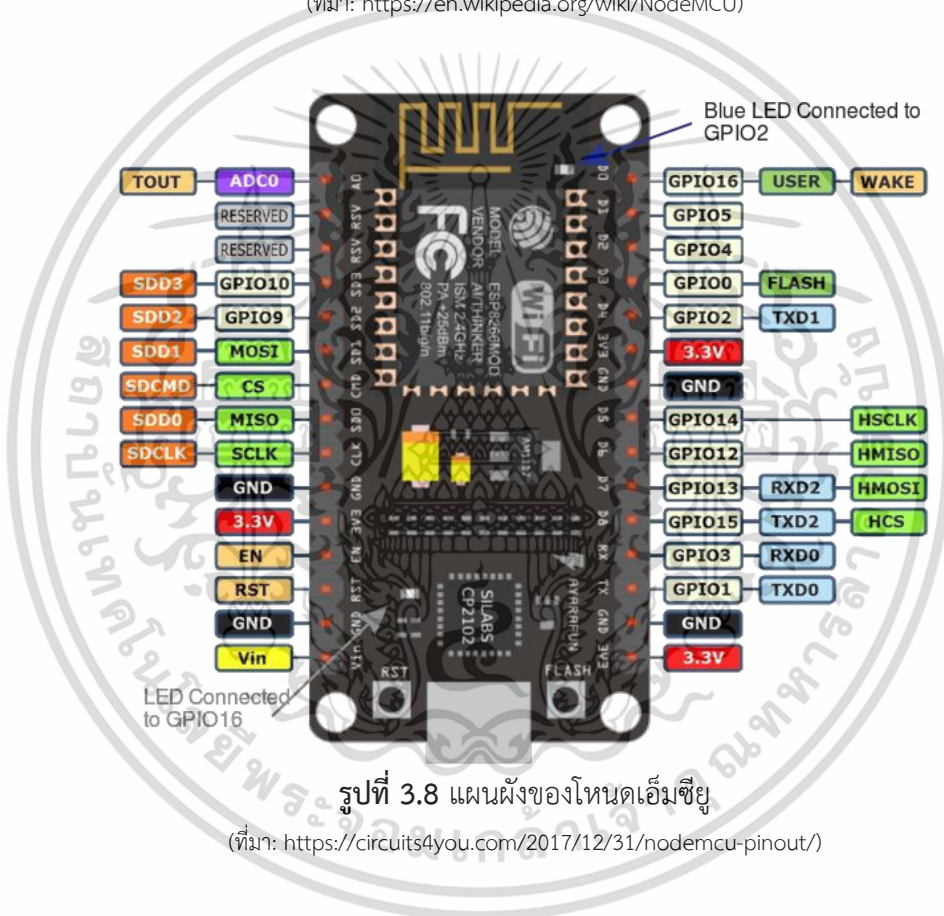
- Microcontroller:	Tensilica 32-bit RISC CPU Xtensa LX106
- Operating Voltage:	3.3 V
- Input Voltage:	7-12 V
- Digital I/O Pins:	16
- Analog Input Pins:	1
- UARTs:	1
- SPIs:	1
- I2Cs:	1
- Flash Memory:	4 MB
- SRAM:	64 KB
- Clock Speed:	80 Mhz
- Wi-Fi:	IEEE 802.11 b/g/n:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 โมดูลไวไฟโนดเอ็มซียู

(ที่มา: <https://en.wikipedia.org/wiki/NodeMCU>)



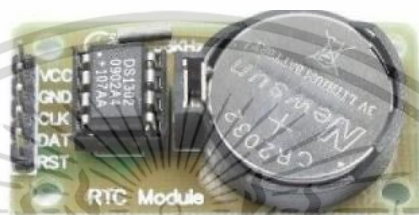
รูปที่ 3.8 แผนผังของโนดเอ็มซียู

(ที่มา: <https://circuits4you.com/2017/12/31/nodemcu-pinout/>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5 โมดูลนาฬิกาเรียลไทม์คล็อก (Real Time Clock Module)

เรียลไทม์คล็อกดังรูปที่ 3.9 เป็นอุปกรณ์จับเวลา ที่ให้ค่าตามเวลาจริงได้ ทำงานโดยการจับสัญญาณนาฬิกาจากคริสตัล โดยผู้ใช้ต้องระบุเวลาและวันเดือนปีก่อนใช้งาน ในโมดูลจะมีแหล่งจ่ายพลังงานเป็นของตัวเอง เนื่องจากข้อมูลเวลานั้นต้องการแหล่งพลังงานตลอดเวลาแม้วงจรอื่น ๆ จะไม่มีแหล่งจ่ายไฟแล้วก็ตาม ภายในโมดูลนาฬิกาจะมีหน่วยความจำ หากต้องการรีเซ็ตระบบตรวจติดตามการใช้กำลังไฟฟ้า สามารถส่งข้อมูลตัวแปรไปเก็บในหน่วยความจำของเรียลไทม์คล็อกก่อนเพื่อป้องกันความเสียหายของข้อมูล

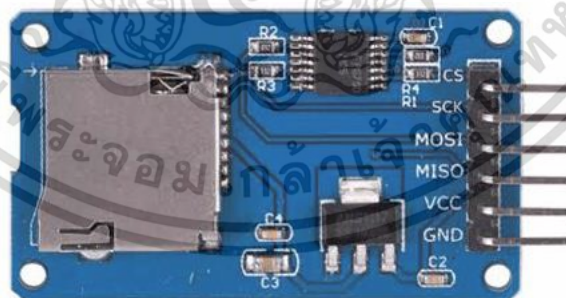


รูปที่ 3.9 เรียลไทม์คล็อก (DS1302)

(ที่มา: <https://www.robotistan.com/ds1302-rtc-modul/>)

3.3.6 ไมโครเอสดีการ์ดโมดูล (Micro SD Card Module)

ไมโครเอสดีการ์ดโมดูล ดังรูปที่ 3.10 เป็นโมดูลที่ช่วยให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถเก็บข้อมูลในตัวแปรที่ต้องการลงในไมโครเอสดีการ์ดได้ โดยรับส่งข้อมูลด้วยวิธี Serial Peripheral Interface (SPI)



รูปที่ 3.10 โมดูลไมโครเอสดีการ์ด

(ที่มา: <https://www.factoryforward.com/product/microsd-card-adapter/>)

3.3.7 ไมโครเอสดีการ์ด (Micro SD Card)

รูปที่ 3.11 เป็นหน่วยความจำเป็นไมโครเอสดีการ์ด มีขนาดเล็ก และสะดวกสำหรับการเก็บข้อมูล เนื่องจากข้อมูลที่ต้องการเก็บในวิทยานิพนธ์นี้มีขนาดใหญ่ จึงทำการเลือกไมโครเอสดีการ์ด

แบบอัลตรา ซึ่งจะมีการรับส่งข้อมูลได้เร็วมากขึ้น ทำให้ส่งข้อมูลเข้าสู่คอมพิวเตอร์ได้รวดเร็วยิ่งขึ้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 ไมโครเอสดีการ์ด

(ที่มา: <https://tsmactive.com/Sandisk-MicroSD-16GB>)

3.3.8 เซนเซอร์อุณหภูมิและความชื้น (Temperature and Humidity Sensor)

วิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น คือ “DHT22” ดังรูปที่ 3.12 ที่มีความแม่นยำของการอ่านอุณหภูมิอยู่ที่ $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ และความแม่นยำการอ่านค่าความชื้นอยู่ที่ 2-5%



รูปที่ 3.12 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น (DHT22)

(ที่มา: http://bdspeedytech.com/index.php?route=product/product&product_id=2175)

3.3.9 เครื่องสำรองไฟฟ้า (Uninterruptible Power Supply: UPS)

เครื่องสำรองไฟฟ้าทำให้ระบบที่ได้จัดทำขึ้น สามารถทำงานเก็บบันทึกข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของโรงพยาบาลได้ในขณะที่ไฟดับ ป้องกันความเสียหายของข้อมูล โดยเครื่องสำรองไฟฟ้าที่เลือกใช้คือ “UPS SYNDOME 800 VA ICON-800 VA (320 WATT)” ดังรูปที่ 3.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 เครื่องสำรองไฟฟ้า

(ที่มา: <https://www.bnn.in.th/catalogsearch/result/?q=syndrome&cat=>)

3.3.10 โมเด็มอินเทอร์เน็ตไร้สาย (4G Pocket WiFi)

ระบบตรวจติดตามการใช้ไฟฟ้าตามเวลาจริงต้องการอินเทอร์เน็ตที่มีความเสถียรตลอดเวลา จึงได้เลือกใช้เครื่องปล่อยสัญญาณอินเทอร์เน็ตจากซิมของโทรศัพท์มือถือดังรูปที่ 3.14 ซึ่งโมเด็มนั้นมีแบตเตอรี่สำรองอยู่ภายใน เพื่อใช้เป็นแหล่งจ่ายพลังงานสำรองให้กับโมเด็มในกรณีที่ไฟฟ้าดับ



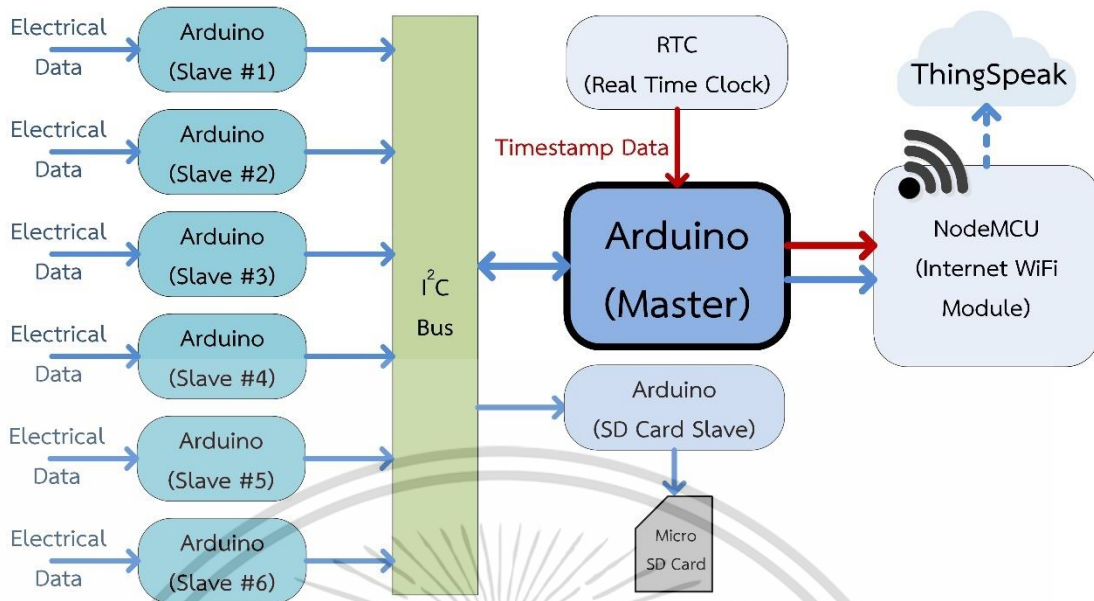
รูปที่ 3.14 โมเด็มอินเทอร์เน็ตไร้สายของ AIS

(ที่มา: <https://store.ais.co.th/th/4g-pocket-wifi-hongkong-boost-m028a.html>)

3.4 โครงสร้างของระบบที่ได้ออกแบบ

ระบบตรวจติดตามการใช้กำลังไฟฟ้าตามเวลาจริง มีวงจรดังรูปที่ 3.15 โดยอุปกรณ์ที่เรียกว่า สเลฟ (Slave) ที่ได้ออกแบบให้สามารถวัดพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า 3 เฟส ของวงจรย่อยของอาคารโรงพยาบาลได้ โดยสร้างจากไมโครคอนโทรลเลอร์อาร์ดุยโนนาโน โดยในแผนภาพนี้มีสเลฟทั้งหมด 6 ตัว จากเลข 1 ถึง 6 หมายถึง สามารถเก็บข้อมูลจากวงจรย่อย 3 เฟส ได้ 6 วงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 วงจรระบบตรวจติดตามการใช้ไฟฟ้าตามเวลาจริง

หลังจากสเลฟเก็บข้อมูลพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าจากแต่ละวงจรรย่อยแล้วจะส่งข้อมูลด้วยวิธีการไอแซคควซี (Inter Integrate Circuit Bus) เข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์หลักของระบบนี้โดยเรียกว่า มาสเตอร์ (Master) ซึ่งเป็นวงจรศูนย์กลางของระบบในการนับเวลาจับจังหวะการทำงานของระบบ และรวบรวมข้อมูลจากสเลฟทั้งหมด และทำการส่งข้อมูลพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าโดยมีข้อมูลเวลาประทับอยู่ที่ไมโครอินเตอร์เน็ตไร้สายโหนดเอ็มซียู ซึ่งเชื่อมต่อกับอินเตอร์เน็ตเพื่อส่งข้อมูลทั้งหมดเข้าสู่ฐานข้อมูลคลาวด์และผู้ใช้งานสามารถดูข้อมูลผ่านอินเตอร์เน็ตได้

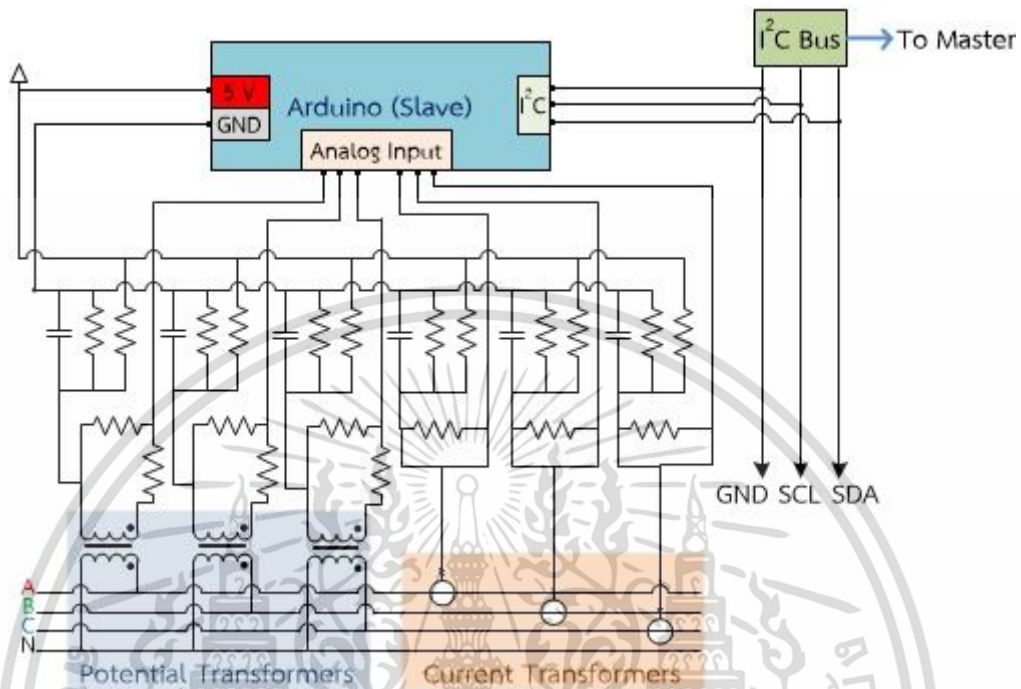
จากกระบวนการดังกล่าว จะเห็นว่าข้อมูลถูกส่งไปเก็บในฐานข้อมูลผ่านอินเตอร์เน็ตทำให้มีโอกาสที่จะเกิดการส่งข้อมูลขัดข้องเนื่องจากความไม่เสถียรของอินเตอร์เน็ตได้ เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือให้กับระบบที่ได้ออกแบบ จึงเก็บข้อมูลส่วนหนึ่งเข้าสู่หน่วยความจำภายในระบบโดยใช้ไมโครเอสดีการ์ดในการเก็บข้อมูล โดยหลังจากที่มาสเตอร์ส่งข้อมูลเข้าสู่โหนดเอ็มซียูแล้วจะส่งข้อมูลมาที่ เอสดีการ์ดสเลฟ (SD Card Slave) เพื่อสำรองข้อมูลไว้

3.4.1 วงจรวัดกำลังไฟฟ้า 3 เฟส (สเลฟ)

- วงจรสเลฟ

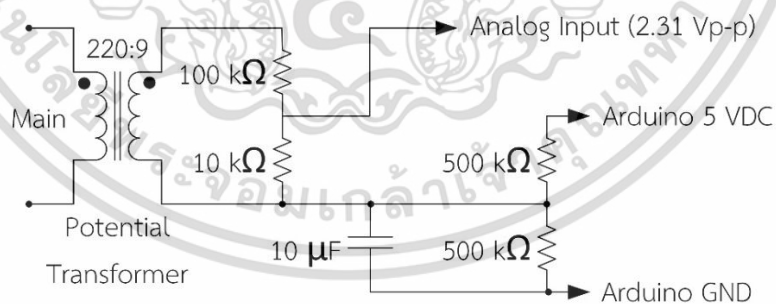
รายละเอียดวงจรสเลฟดังรูปที่ 3.16 ประกอบด้วยเซ็นเซอร์ทั้งหมด 6 ตัว มีหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้า 3 ตัว และหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า 3 ตัว และใช้วงจรวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับดังรูปที่ 2.12 และวงจรเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้กับสัญญาณไฟฟ้ากระแสสลับดังรูปที่ 2.13 เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถอ่านสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าจากวงจรรย่อยกำลัง 3 เฟสได้ เมื่อวัดสัญญาณแรงดันและกระแสไฟฟ้าอนาล็อกเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์

แล้ว ไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ถูกเขียนคำสั่งให้คำนวณหาค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าทั้ง 3 เฟส ก่อนจะส่งข้อมูลผ่านไอแอสควซีบัสไปยังมาสเตอร์ต่อไป



รูปที่ 3.16 วงจรวัดพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า 3 เฟส

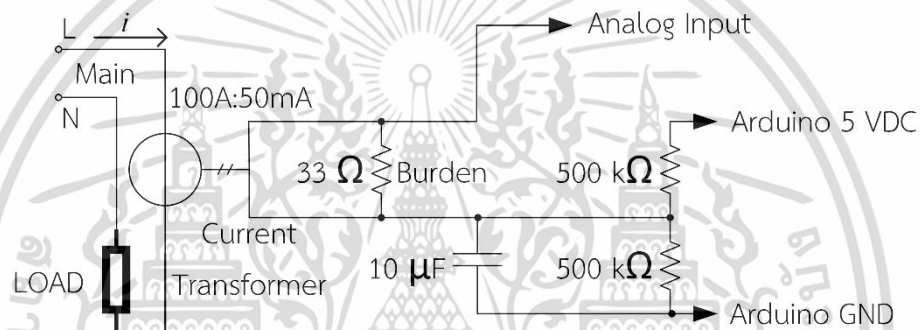
รูปที่ 3.16 จะเห็นว่าวงจรสเกลนั้นมีวงจรอ่านค่าแรงดันไฟฟ้าและวงจรอ่านกระแสไฟฟ้า ซึ่งมีรายละเอียดของวงจรค่าตัวต้านทานและตัวเก็บประจุดังรูปที่ 3.17 และ 3.18



รูปที่ 3.17 วงจรอ่านแรงดันไฟฟ้า

รูปที่ 3.17 วงจรอ่านแรงดันไฟฟ้าประกอบไปด้วย ส่วนแรก คือ หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าใช้สำหรับปรับระดับแรงดันไฟฟ้าจากกริดไฟฟ้าหลักของโรงพยาบาลจาก 220 โวลต์ (ประสิทธิภาพ) เป็น 9 โวลต์ (ประสิทธิภาพ) ต่อมาคือ วงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้า มี 2 ส่วนด้วยกัน ส่วนที่หนึ่งวงจรแบ่งแรงดันที่มีอัตราส่วน 11:1 (110 กิโลโอห์ม ต่อ 10 กิโลโอห์ม) ใช้ปรับระดับสัญญาณแรงดันกระแสสลับจาก 9 โวลต์ (ประสิทธิภาพ) เป็น 0.82 โวลต์ (ประสิทธิภาพ) หรือ 2.31 โวลต์ (ยอดถึงยอด) โดยสัญญาณเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

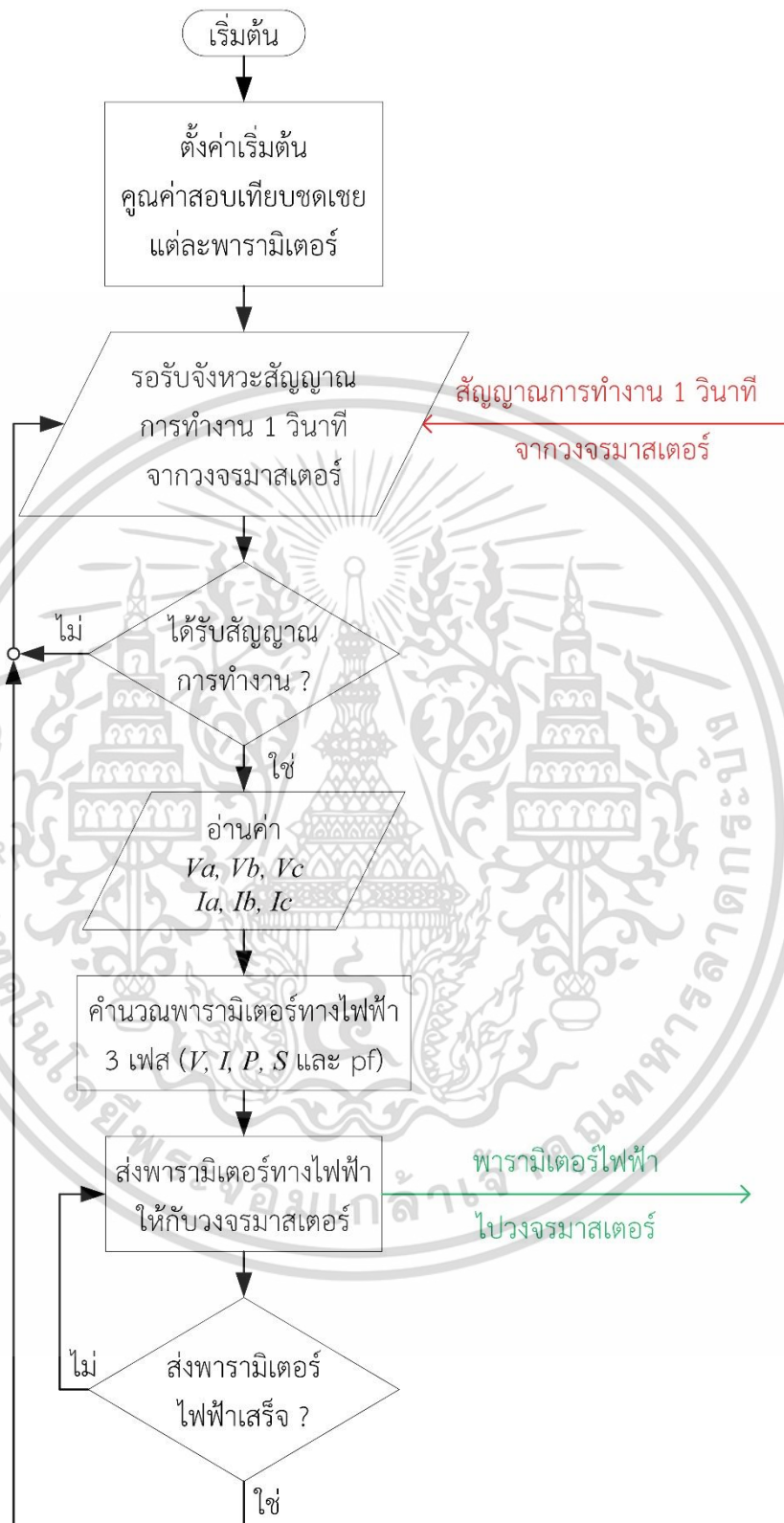
แรงดันไฟฟ้าที่ได้ยังเป็นแรงดันกระแสสลับที่มีแรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วง -2.31 โวลต์ ถึง 2.31 โวลต์ โดยอ้างอิงจากจุดอ้างอิงของไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถอ่านค่าแรงดันกระแสสลับนี้ได้ต้องยกสัญญาณกระแสสลับด้วยแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงออฟเซต สามารถทำได้ด้วยวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าวงจรที่สองที่มีอัตราส่วน 2:1 (1000 กิโลโอห์ม ต่อ 500 กิโลโอห์ม) ซึ่งแบ่งแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง 5 โวลต์ จากไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นแรงดันไฟฟ้าเป็น 2.5 โวลต์ หากต่อจุดอ้างอิงของสัญญาณกระแสสลับ 2.31 โวลต์ (ยอดถึงยอด) ไว้ที่ตรงกลางของวงจรแบ่งแรงดันนี้ จะได้สัญญาณกระแสสลับที่ยกค่าขึ้น 2.5 โวลต์ ทำให้สัญญาณแรงดันไฟฟ้าอยู่ในช่วง 0.19 โวลต์ ถึง 4.81 โวลต์ (บวกด้วย 2.5 โวลต์) ทุกค่าของสัญญาณแรงดันจะมีค่าเป็นบวกและสามารถอ่านค่าด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ได้



รูปที่ 3.18 วงจรอ่านค่ากระแสไฟฟ้า

รูปที่ 3.18 วงจรอ่านค่ากระแสไฟฟ้า ประกอบด้วย หม้อแปลงกระแสไฟฟ้าที่วัดกระแสไฟฟ้ากริดไฟฟ้าของวงจรรย่อยของอาคารโรงพยาบาล และมีการต่อเข้ากับตัวต้านทานเบอร์เด็นซึ่งสามารถคำนวณค่าความต้านทานได้จากสมการที่ 2.4 เช่น ที่ค่าแรงดันไฟฟ้าของอาร์ดูโน 5 โวลต์ กระแสไฟฟ้าสูงสุดที่อ่านได้ที่ 141.41 แอมแปร์ (ยอด) และอัตราส่วนหม้อแปลงที่ 100 ต่อ 0.05 จะได้ค่าความต้านทานเบอร์เด็นที่ 35.36 โอห์ม ค่าความต้านทานที่ใกล้และเลือกใช้ คือ 33 โอห์ม ดังรูปที่ 3.18 จะได้สัญญาณแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับอยู่ที่ $0.05 \times 33 = 1.65$ โวลต์ (อาร์เอ็มเอส) หรือ 4.67 โวลต์ (ยอด ถึง ยอด) โดยจะถูกยกกระดืบโดยวงจรแบ่งแรงดันไฟฟ้าขึ้น 2.5 โวลต์ ทำให้สัญญาณที่ต้องการอ่านมีค่าเป็นบวกทุกค่าและสามารถอ่านได้ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

- การออกแบบโปรแกรมของวงจรสเลฟ



รูปที่ 3.19 แผนผังซอฟต์แวร์การทำงานของวงจรสเลฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากที่ออกแบบฮาร์ดแวร์ของวงจรวัดพารามิเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส ของวงจรสเลฟแล้ว จึงทำการออกแบบโปรแกรมของวงจรสเลฟ โดยมีรายละเอียดแสดงดังรูปที่ 3.19 โดยเริ่มต้นการทำงานของโปรแกรมด้วยการตั้งค่าเริ่มต้นและกำหนดค่าตัวคุณชดเชยของแรงดันและกระแสไฟฟ้าแต่ละเฟส ที่ทำการสอบเทียบไว้ที่ห้องทดลอง ขั้นตอนต่อมา รอสัญญาณจับจังหวะการทำงาน 1 วินาทีจากวงจรมาสเตอร์และดำเนินการตรวจสอบว่ารับสัญญาณหรือไม่ หากยังไม่ได้รับสัญญาณ ให้ดำเนินการกระบวนการทำซ้ำจนกว่าจะได้รับสัญญาณ แล้วทำการอ่านค่าพารามิเตอร์แรงดันและกระแสไฟฟ้าแต่ละเฟสเพื่อนำมาคำนวณหาพารามิเตอร์ไฟฟ้าของแต่ละเฟส หลังจากนั้นส่งพารามิเตอร์ที่ได้ให้กับวงจรมาสเตอร์และดำเนินการตรวจสอบอีกครั้งหนึ่งว่าการส่งข้อมูลสำเร็จหรือไม่ โดยจะทำซ้ำจนกว่าจะสำเร็จ หากสำเร็จระบบจะวนกลับไปขั้นตอนการรอรับสัญญาณอีกครั้งหนึ่ง เพื่อดำเนินการวัดครั้งต่อไป

การออกแบบโปรแกรมของวงจรสเลฟนั้นใช้หลักการอินเตอร์เน็ตออฟอิงส์ เนื่องจากในระบบต้องวัดพารามิเตอร์ไฟฟ้าหลายค่าทำให้ประกอบด้วยสเลฟหลายตัว การออกแบบให้สเลฟทุกตัวและวงจรอื่น ๆ ระบบทำงานได้อย่างสอดคล้องกันมีความจำเป็นอย่างมาก จึงได้ใช้วงจรมาสเตอร์เป็นศูนย์กลางในการสั่งงานให้จังหวะการทำงานกับวงจรแต่ละตัวในระบบ

ในการเขียนโปรแกรมสำหรับสเลฟในการคำนวณพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า เลือกใช้ไลบรารี (library) ของอาร์ดูโนที่ชื่อ “EmonLib.h” ที่ถูกสร้างโดย “Trystan Lea” โดยมีคำสั่งที่สำคัญดังนี้

```
- emonA.voltage(_inPinV, _VCAL, _PHASECAL);
```

ใช้กำหนดค่าเริ่มต้นของการวัดแรงดันไฟฟ้า โดย

- emonA คือ ชื่อที่ใช้ตัวเอง (โดยในที่นี้ตั้งว่า “emonA”)
- _inPinV คือ เลขขาอินพุตอนุาล็อกที่ใช้อ่านแรงดันไฟฟ้า
- _VCAL คือ เลขตัวคูณสอบเทียบของแรงดันไฟฟ้า
- _PHASECAL คือ เลขตัวคูณสอบเทียบของมุมทางไฟฟ้า

```
- emonA.current(_inPinI, _ICAL);
```

ใช้กำหนดค่าเริ่มต้นของการวัดกระแสไฟฟ้า โดย

- _inPinI คือ เลขขาอินพุตอนุาล็อกที่ใช้อ่านกระแสไฟฟ้า
- _ICAL คือ เลขตัวคูณสอบเทียบของกระแสไฟฟ้า

```
- emonA.calcVI(crossings, timeout);
```

ใช้คำนวณพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า โดย

- crossings คือ จำนวนครั้งลูกคลื่นหรือครั้งที่ตัด 0 ที่ใช้ในการคำนวณ
- timeout คือ จำนวนเวลาสูงสุดที่ใช้การคำนวณก่อนยกเลิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามเฟส และส่งข้อมูลผ่านพอร์ตไอส์แคร์ซีจากรูปในส่วนที่ 2 ต่อไปยังวงจรประมวลผลกลาง (มาสเตอร์) ซึ่งจากรูป ในส่วนที่สองนั้นจะมีช่องรับสัญญาณแรงดันไฟฟ้าโดยจะถูกต่อเข้ากับหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าในรูปที่ 3.5 และช่องรับสัญญาณกระแสไฟฟ้าที่ถูกต่อเข้ากับหม้อแปลงกระแสไฟฟ้าในรูปที่ 3.6

3.4.2 วงจรศูนย์กลางในการรับส่งข้อมูลและเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต (มาสเตอร์)

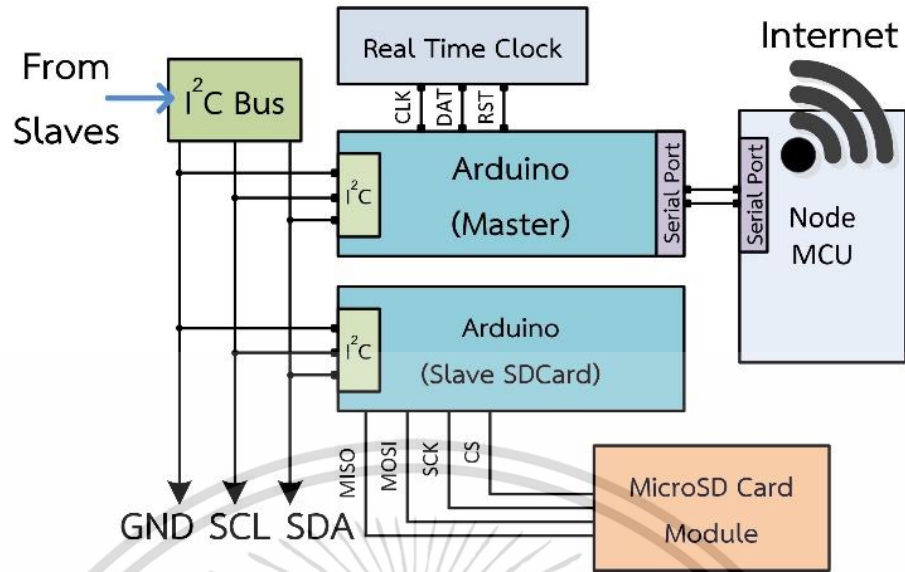
- วงจรมาสเตอร์

วงจรมาสเตอร์ดังรูปที่ 3.21 จะทำการเรียกเก็บข้อมูลจากสเลฟแต่ละตัว โดยวิทยานิพนธ์นี้ได้ ออกแบบให้วงจรมาสเตอร์ 1 วงจร เรียกเก็บข้อมูลจากสเลฟได้ทั้งหมด 6 ตัว เนื่องจากข้อจำกัดด้าน หน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ หลังจากที่วงจรมาสเตอร์ได้ข้อมูลจากสเลฟทั้ง 6 ตัวแล้ว จะส่งข้อมูลไปยังโมดูลอินเทอร์เน็ตที่เชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตผ่านระบบสัญญาณไร้สายเพื่อส่งข้อมูล เข้าสู่ฐานข้อมูลริงส์ปิค โดยผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงข้อมูลผ่านเว็บไซต์ริงส์ปิคได้ โดยอาคาร โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยบูรพา มีจำนวนวงจรร้อยยทั้งหมด 32 วงจร หลังจากออกแบบการทำงานของ วงจรมาสเตอร์เสร็จ ต้องประเมินว่าวงจรมาสเตอร์ 1 วงจร สามารถเก็บข้อมูลจากวงจรสเลฟได้กี่วงจร ทดสอบด้วยวิธีการเพิ่มวงจรสเลฟรอบละ 1 วงจร และดูผลลัพธ์ของการเก็บข้อมูล ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ทดสอบหาจำนวนวงจรสเลฟต่อวงจรมาสเตอร์ 1 วงจร

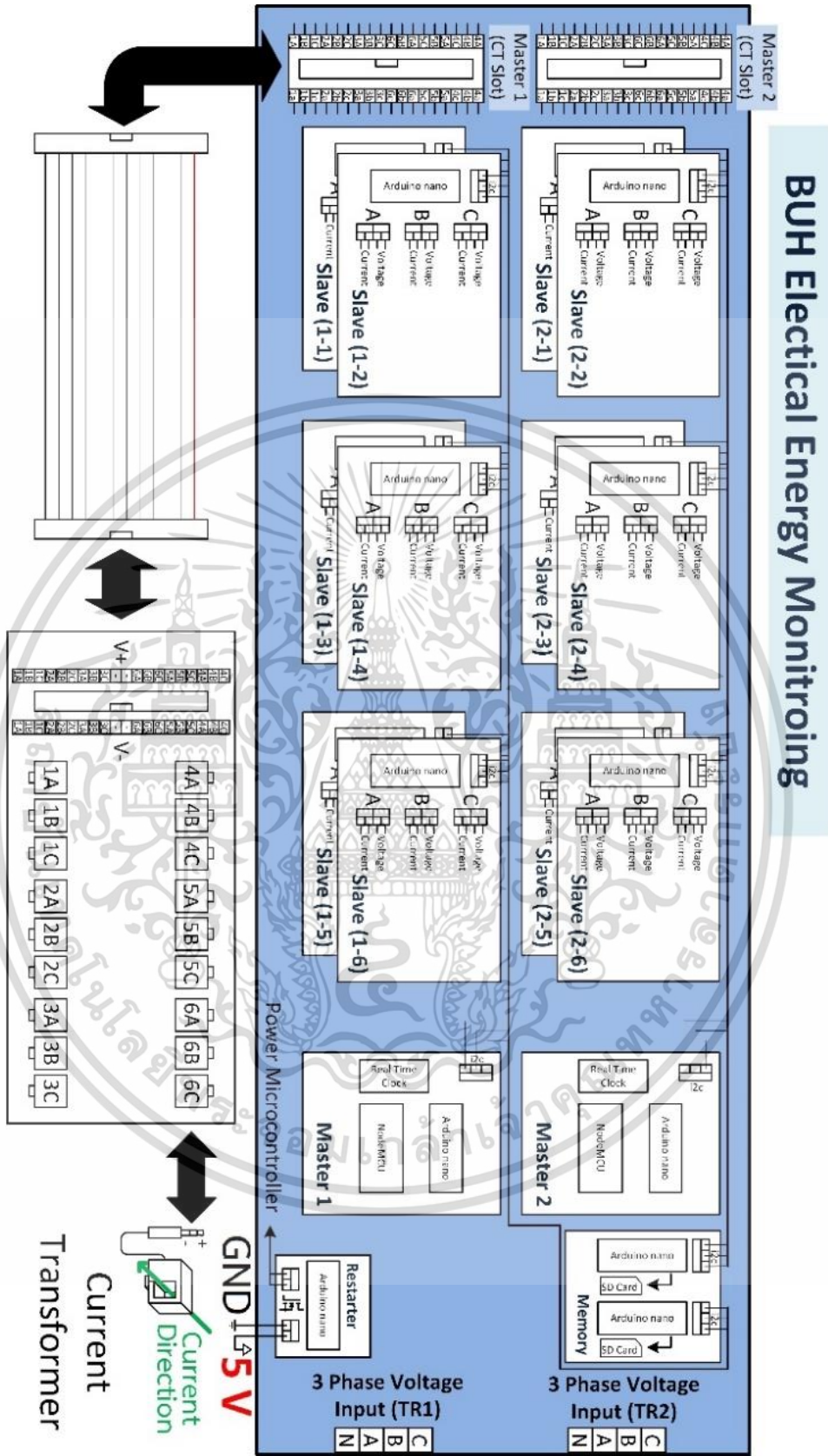
จำนวนวงจรสเลฟ (วงจร)	การบันทึกข้อมูลในไมโครเอสตีการ์ด	การบันทึกข้อมูลในฐานข้อมูลริงส์ปิค
2	บันทึกได้	บันทึกได้
4	บันทึกได้	บันทึกได้
5	บันทึกได้	บันทึกได้
6	บันทึกได้	บันทึกได้
7	บันทึกไม่ได้	บันทึกไม่ได้
8	บันทึกไม่ได้	บันทึกไม่ได้

ตารางที่ 3.2 แสดงผลการทดสอบหาจำนวนวงจรสเลฟต่อวงจรมาสเตอร์ 1 วงจร โดยที่ผลลัพธ์ของการต่อวงจรสเลฟ 7 วงจร ขึ้นไปทำให้ ไม่สามารถบันทึกข้อมูลพารามิเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟสของวงจรสเลฟ 7 วงจร ในไมโครเอสตีการ์ดและในฐานข้อมูลริงส์ปิคได้ทัน จึงเลือกใช้วงจรสเลฟสูงสุด 6 วงจร ต่อวงจรมาสเตอร์ 1 วงจร



รูปที่ 3.21 วงจรศูนย์กลางระบบ

นอกจากนี้เรีลไทม์คล็อกในวงจรมาสเตอร์จากรูปที่ 3.21 มีหน้าที่ในการนับเวลาเพื่อกำหนดจังหวะการทำงานให้กับระบบทั้งหมดและยังใช้เป็นตราประทับเวลาให้กับข้อมูลไฟฟ้าที่อ่านได้ ในการนำระบบเข้าไปติดตั้งที่ห้องไฟฟ้าในอาคารโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยบูรพา ได้ออกแบบให้ติดตั้งอยู่ในกล่อง ซึ่งมีลักษณะการวางตำแหน่งอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 ระบบตรวจติดตามการใช้ไฟฟ้าตามเวลาจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

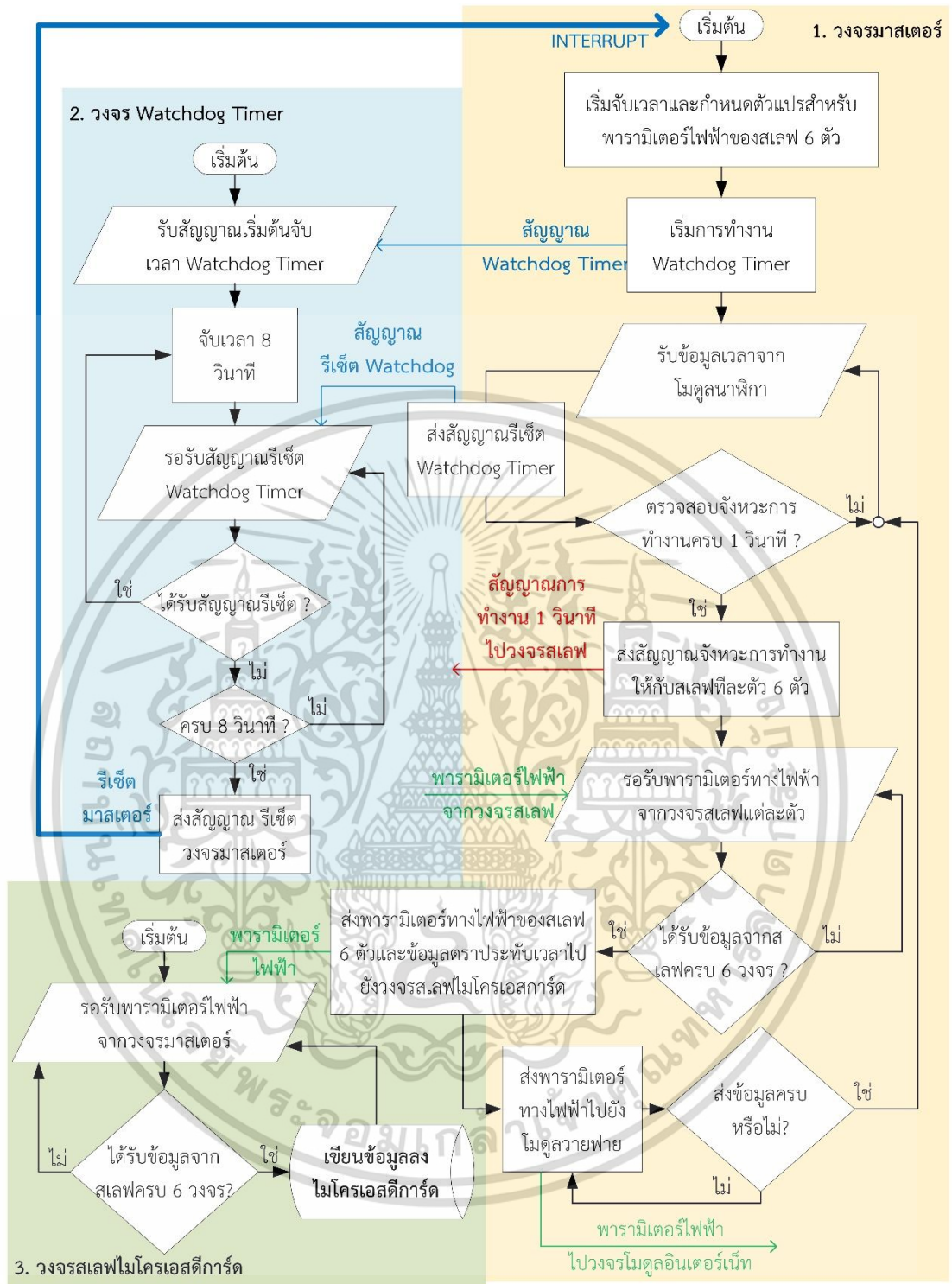
- การออกแบบโปรแกรมของวงจรมาสเตอร์

รูปที่ 3.23 แสดงแผนผังการออกแบบโปรแกรมของวงจรมาสเตอร์ โดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 วงจรมาสเตอร์ เริ่มต้นจากการเริ่มจับเวลาและกำหนดตัวแปรเก็บค่าพารามิเตอร์ไฟฟ้าของวงจรสเลฟ 6 วงจร ทำการส่งสัญญาณเริ่มจับเวลาของวงจรรีเซ็ตค็อกไทม์เมอร์ ต่อมาจะรับเวลามาจากโมดูลนาฬิกาเรียลไทม์คล็อกที่จะเป็นสัญญาณจังหวะการทำงานของระบบทั้งหมด ต่อมาการทำงานจะเข้าสู่วัฏวนการทำงานที่ 1 มีหน้าที่ในการรอเวลา 1 วินาที ซึ่งในวัฏวนนี้จะส่งสัญญาณรีเซ็ตรีเซ็ตค็อกไทม์เมอร์ไปยังวงจรรีเซ็ตค็อกไทม์เมอร์ด้วย หลังจากนั้นทำการตรวจสอบว่าครบ 1 วินาที วงจรมาสเตอร์จะส่งสัญญาณให้จังหวะการทำงานกับสเลฟแต่ละตัว จนครบ 6 ตัว ต่อมาการทำงานจะเข้าสู่วัฏวนที่ 2 รอรับพารามิเตอร์ไฟฟ้าจากวงจรสเลฟแต่ละตัวจนครบ 6 ตัว หากได้ข้อมูลครบแล้วต่อไปจะส่งข้อมูลทั้งหมดไปยังวงจรสเลฟไมโครเอสตีการ์ดและจะเข้าสู่ วัฏวนสุดท้าย คือ วัฏวนในการส่งข้อมูลไปวงจรอินเตอร์เน็ต หากส่งข้อมูลไปที่วงจรอินเตอร์เน็ตจนครบแล้ว การทำงานจะกลับไปสู่วัฏวนที่ 1 รอจับเวลา 1 วินาที ต่อไป การทำงานของวงจรมาสเตอร์ทั้งหมดนี้หากได้รับสัญญาณรีเซ็ตอินเตอร์รัปต์จากวงจรรีเซ็ตค็อกไทม์เมอร์จะสามารถรีเซ็ตวงจรมาสเตอร์ได้ตลอดทุกช่วง

ส่วนที่ 2 วงจรรีเซ็ตค็อกไทม์เมอร์ มีหน้าที่คอยตรวจสอบการทำงานของวงจรมาสเตอร์เพราะการทำงานที่ออกแบบไว้ต้องทำงานตลอด 24 ชั่วโมงใน 1 วัน ดังนั้น หากวงจรมาสเตอร์เกิดทำงานผิดปกติหรือติดตรงไหน วงจรรีเซ็ตค็อกไทม์จะส่งสัญญาณไปรีเซ็ตวงจรมาสเตอร์เพื่อเริ่มทำงานใหม่ หลักการทำงาน เริ่มต้นจากรับสัญญาณเริ่มต้นการทำงานจากวงจรมาสเตอร์ เริ่มจับเวลาโดยออกแบบให้จับนับถอยหลังเวลา 8 วินาที ในลูปแรก จะเป็นลูปปรับสัญญาณรีเซ็ตรีเซ็ตค็อกไทม์จากวงจรมาสเตอร์ หากยังได้รับสัญญาณรีเซ็ตรีเซ็ตค็อกไทม์อยู่นานาฬิกาจะเริ่มจับเวลาถอยหลังใหม่ที่ 8 วินาทีทุกครั้ง ต่อมาเข้าสู่ลูปที่ 2 หากไม่ได้รับสัญญาณรีเซ็ตรีเซ็ตค็อกไทม์จากวงจรมาสเตอร์จนครบ 8 วินาทีแล้ววงจรรีเซ็ตค็อกไทม์จะส่งสัญญาณรีเซ็ตวงจรมาสเตอร์อินเตอร์รัปต์การทำงานของมาสเตอร์และวงจรมาสเตอร์จะรีเซ็ตตัวเองและเริ่มทำงานใหม่ โดยการทำงานครบ 1 รอบของวงจรมาสเตอร์ใช้เวลา 1 วินาที ดังนั้นวงจรรีเซ็ตค็อกไทม์จะได้รับสัญญาณรีเซ็ตรีเซ็ตค็อกไทม์ทุก ๆ 1 วินาที หากผ่านไป 8 วินาทีแล้วยังไม่ได้รับสัญญาณรีเซ็ตรีเซ็ตค็อกไทม์เป็นตัวบ่งชี้ได้ว่าวงจรมาสเตอร์มีการทำงานที่ผิดพลาดจะต้องดำเนินการรีเซ็ตระบบ

ส่วนที่ 3 วงจรสเลฟไมโครเอสตีการ์ด ออกแบบมาเพื่อเขียนข้อมูลพารามิเตอร์ไฟฟ้าของสเลฟ 6 ตัว ลงไมโครเอสตีการ์ด จากรูปที่ 3.23 เริ่มการทำงานจากการรอรับพารามิเตอร์ไฟฟ้าจากวงจรมาสเตอร์ พอครบแล้วจึงนำไปเขียนลงในไมโครเอสตีการ์ดและกลับมารอรับพารามิเตอร์ครั้งต่อไป

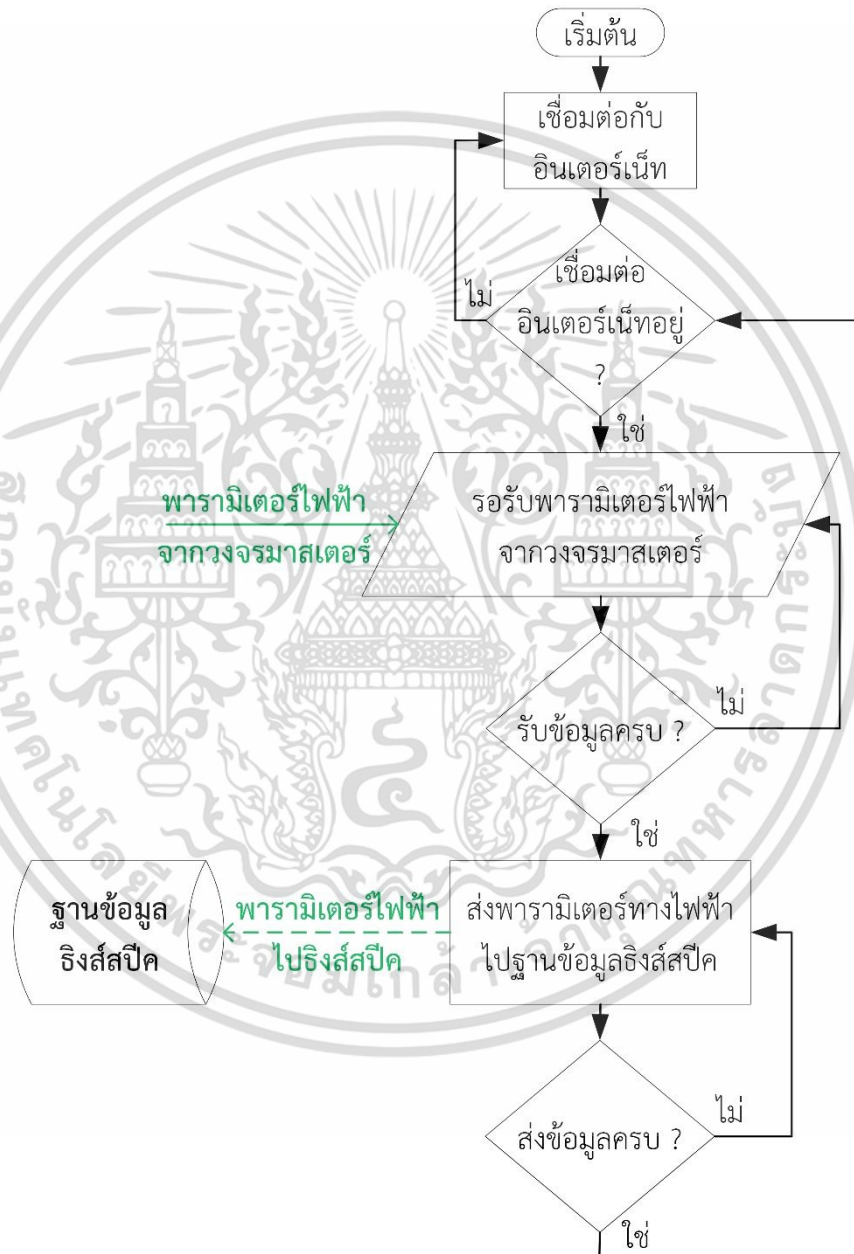


รูปที่ 3.23 แผนผังซอฟต์แวร์การทำงานของวงจรมาสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โมดูลอินเทอร์เน็ต

การทำงานของโมดูลอินเทอร์เน็ตเป็นดังรูปที่ 3.24 เริ่มต้นจากวงวนการทำงานที่ 1 มีหน้าที่ในการเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตและวนซ้ำเช็คสถานะการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตจนกว่าจะเชื่อมต่อสำเร็จ ต่อมาเข้าสู่วงวนการทำงานที่ 2 มีหน้าที่รอรับพารามิเตอร์ไฟฟ้าของ 6 สเลฟ จากวงจรมาสเตอร์ จนกว่าจะครบ พอครบแล้วเข้าสู่วงวนการทำงานสุดท้ายมีหน้าที่ในการส่งข้อมูลเข้าสู่ฐานข้อมูลบนอินเทอร์เน็ตถึงสปีคจนครบและการทำงานจะวนกลับไปเช็คการเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตอีกครั้ง



รูปที่ 3.24 แผนผังซอฟต์แวร์การทำงานของโมดูลอินเทอร์เน็ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ลักษณะข้อมูลที่บันทึก

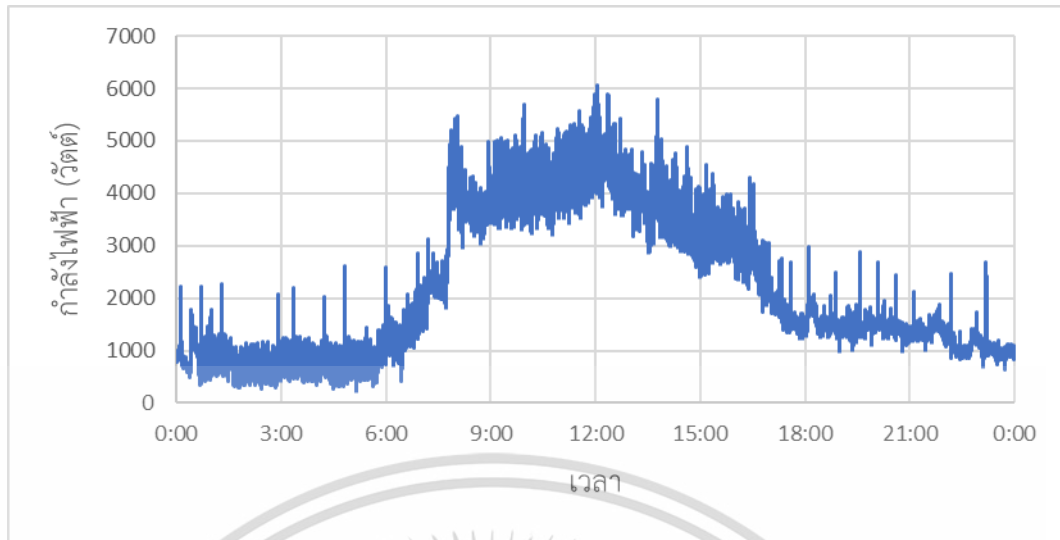
ลักษณะตัวอย่างข้อมูลพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าที่เก็บอยู่ในไมโครเอสทีการ์ดแสดงในรูปที่ 3.25 แบ่งออกเป็น 3 ส่วนด้วยกัน ส่วนที่หนึ่งเป็นส่วนของเลขกำกับรายการ (Entry ID) แสดงถึงลำดับข้อมูลที่บันทึกลงในฐานข้อมูล ส่วนที่สอง คือ ส่วนของการประทับเวลา (Timestamp) เป็นการบันทึกเวลาของข้อมูลชุดนั้น ๆ และส่วนสุดท้าย ส่วนที่สาม คือ ข้อมูลพารามิเตอร์ไฟฟ้า 3 เฟส ที่ได้จากวงจรสเลฟ มีการเรียงข้อมูล ดังนี้ คือ กำลังไฟฟ้าจริงเฟส A กำลังไฟฟ้าปรากฏเฟส A พาวเวอร์แฟคเตอร์เฟส A แรงดันไฟฟ้าเฟส A กระแสไฟฟ้าเฟส A กำลังไฟฟ้าจริงเฟส B กำลังไฟฟ้าปรากฏเฟส B พาวเวอร์แฟคเตอร์เฟส B แรงดันไฟฟ้าเฟส B กระแสไฟฟ้าเฟส B กำลังไฟฟ้าจริงเฟส C กำลังไฟฟ้าปรากฏเฟส C พาวเวอร์แฟคเตอร์เฟส C แรงดันไฟฟ้าเฟส C และกระแสไฟฟ้าเฟส C โดยแต่พารามิเตอร์นั้นถูกคั่นด้วยเครื่องหมายคอมมาหรือ “,” ทำให้สามารถแบ่งข้อมูลแต่ละข้อมูลออกจากกันได้

*05-01CB1.TXT - Notepad
File Edit Format View Help

1	2	3	"5120";	2019-05-01 00:00:00";	958.04";	1037.52";	0.92";	225.31";	4.60";	954.36";	983.82";	0.97";	224.47";	4.38";	1095.82";	1134.01";	0.97";	226.84";	5.00"
			"5121";	2019-05-01 00:00:01";	958.04";	1037.52";	0.92";	225.31";	4.60";	954.36";	983.82";	0.97";	224.47";	4.38";	1130.35";	1161.08";	0.97";	228.27";	5.09"
			"5122";	2019-05-01 00:00:02";	916.59";	986.28";	0.93";	223.41";	4.41";	1014.42";	1048.76";	0.97";	222.70";	4.71";	1052.81";	1083.98";	0.97";	224.84";	4.82"
			"5123";	2019-05-01 00:00:03";	1185.03";	1237.91";	0.96";	223.97";	5.53";	980.89";	1011.68";	0.97";	224.28";	4.51";	1082.47";	1143.83";	0.95";	227.09";	5.04"
			"5124";	2019-05-01 00:00:04";	856.10";	917.85";	0.93";	222.81";	4.12";	1004.66";	1041.80";	0.96";	224.89";	4.63";	1062.87";	1095.99";	0.97";	225.80";	4.85"
			"5125";	2019-05-01 00:00:05";	1250.62";	1313.24";	0.95";	225.32";	5.83";	957.43";	989.64";	0.97";	223.00";	4.44";	1120.52";	1150.15";	0.97";	226.62";	5.08"
			"5126";	2019-05-01 00:00:06";	1126.23";	1162.59";	0.97";	223.77";	5.20";	1013.85";	1057.28";	0.96";	225.76";	4.68";	1069.65";	1112.28";	0.96";	225.80";	4.93"
			"5127";	2019-05-01 00:00:07";	1020.79";	1078.72";	0.95";	223.88";	4.82";	1059.99";	1089.82";	0.97";	223.55";	4.87";	1119.25";	1146.29";	0.98";	226.62";	5.06"
			"5128";	2019-05-01 00:00:08";	909.02";	981.34";	0.93";	222.90";	4.40";	951.90";	985.79";	0.97";	224.27";	4.40";	1492.47";	1530.11";	0.98";	228.68";	6.69"
			"5129";	2019-05-01 00:00:09";	1133.96";	1176.44";	0.96";	223.25";	5.27";	923.12";	954.81";	0.97";	221.23";	4.32";	1205.27";	1265.38";	0.95";	229.31";	5.52"
			"5130";	2019-05-01 00:00:10";	1166.31";	1210.58";	0.96";	224.57";	5.39";	939.81";	971.40";	0.97";	224.06";	4.34";	1439.73";	1491.46";	0.97";	227.86";	6.55"
			"5131";	2019-05-01 00:00:11";	1166.15";	1220.61";	0.96";	224.26";	5.44";	940.07";	975.61";	0.96";	223.54";	4.36";	1072.10";	1121.31";	0.96";	224.95";	4.98"
			"5132";	2019-05-01 00:00:12";	869.44";	924.14";	0.94";	223.37";	4.14";	1043.06";	1077.99";	0.97";	223.48";	4.82";	1339.92";	1377.14";	0.97";	224.97";	6.12"
			"5133";	2019-05-01 00:00:13";	1113.98";	1160.07";	0.96";	222.90";	5.20";	942.73";	986.97";	0.96";	223.78";	4.41";	1150.81";	1189.49";	0.97";	227.48";	5.23"
			"5134";	2019-05-01 00:00:14";	1073.90";	1133.79";	0.95";	223.80";	5.07";	924.30";	971.21";	0.95";	224.23";	4.33";	1332.70";	1368.47";	0.97";	225.48";	6.07"
			"5134";	2019-05-01 00:00:15";	898.42";	947.73";	0.95";	224.35";	4.22";	864.32";	901.09";	0.96";	223.66";	4.51";	1126.79";	1161.66";	0.97";	226.78";	5.12"
			"5136";	2019-05-01 00:00:16";	1138.65";	1178.98";	0.97";	222.62";	5.30";	915.30";	962.47";	0.95";	222.82";	4.32";	1368.04";	1390.86";	0.98";	225.25";	6.17"
			"5137";	2019-05-01 00:00:17";	1070.51";	1116.97";	0.96";	223.26";	5.00";	1050.68";	1080.33";	0.97";	223.57";	4.83";	1080.68";	1104.98";	0.98";	225.21";	4.91"
			"5138";	2019-05-01 00:00:18";	871.47";	967.04";	0.90";	223.14";	4.33";	1021.77";	1052.58";	0.97";	225.20";	4.67";	1402.28";	1435.76";	0.98";	226.10";	6.33"

รูปที่ 3.25 ตัวอย่างไฟล์ข้อมูลพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า 3 เฟส ในไมโครเอสทีการ์ด

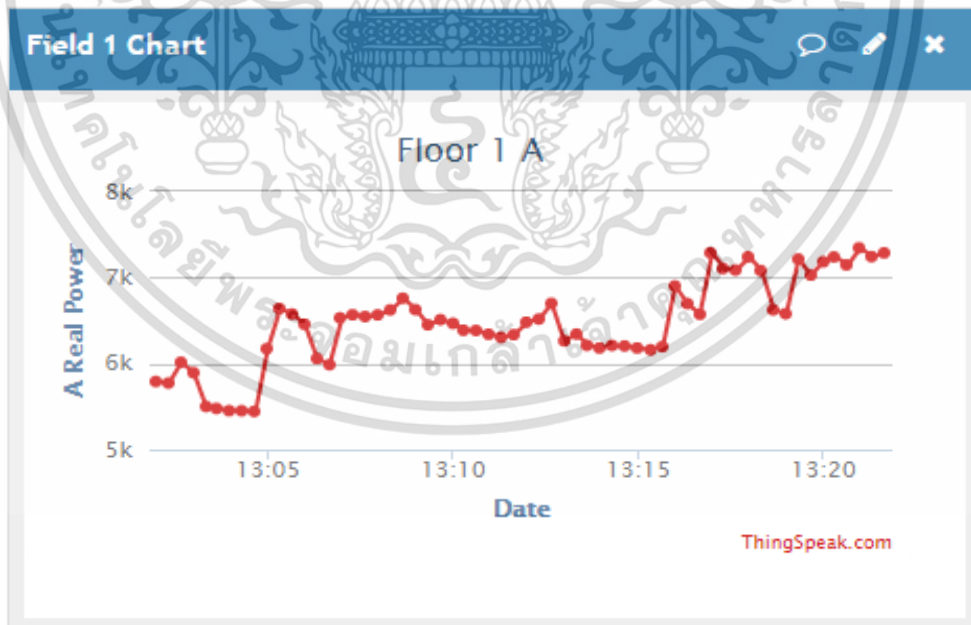
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.26 ตัวอย่างกราฟกำลังไฟฟ้า ภายใน 1 วัน

รูปที่ 3.26 แสดงถึงลักษณะกราฟข้อมูลกำลังไฟฟ้าในเวลา 1 วันจากข้อมูลในไมโครเอสทีการ์ด โดยแกนตั้งเป็นข้อมูลกำลังไฟฟ้าหน่วยเป็น วัตต์ (watt) และแกนนอนเป็นข้อมูลประทับตราเวลา จากรูปที่ 3.26 จะเห็นว่าระบบที่ได้ออกแบบสามารถติดตามการใช้กำลังไฟฟ้าที่มีการใช้มากขึ้นหรือน้อยลงได้ตามช่วงเวลาต่าง ๆ ได้

- การแสดงผลข้อมูลบนฐานข้อมูลริงส์สปีค



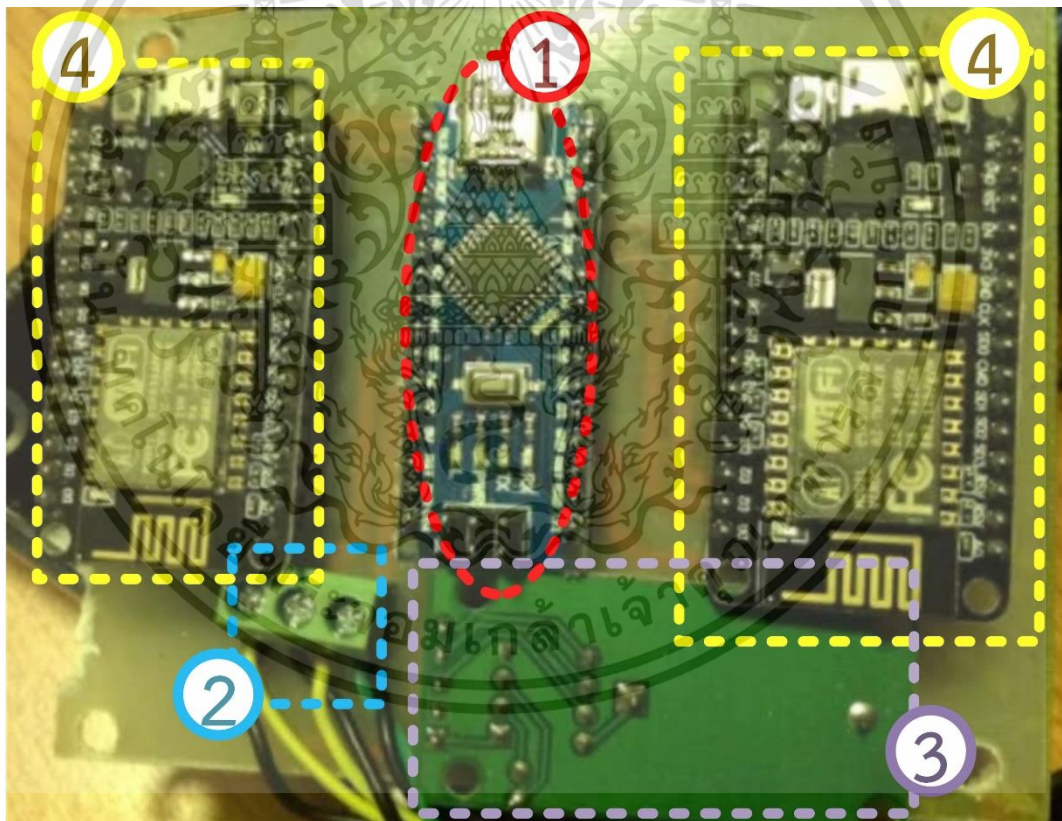
รูปที่ 3.27 ข้อมูลจากฐานข้อมูลริงส์สปีค

รูปที่ 3.27 ตัวอย่างการแสดงผลข้อมูลกำลังไฟฟ้าจริงของโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยบูรพาที่แสดงจากฐานข้อมูลริงส์สปีค ซึ่งเข้าถึงได้ผ่านอินเทอร์เน็ตโดยไม่ต้องเข้าไปดู ณ สถานที่ตั้งอุปกรณ์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากข้อมูลกำลังไฟฟ้าจริงแล้วยังมีข้อมูลของแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ค่าประกอบกำลังและกำลังไฟฟ้าปรากฏ ทำให้เกิดความสะดวกรสบายในการเข้าถึงข้อมูลของผู้ใช้งานที่สามารถรับรู้พารามิเตอร์การใช้งานไฟฟ้าของอาคารได้ทุกเวลาที่ต้องการผ่านอินเทอร์เน็ต

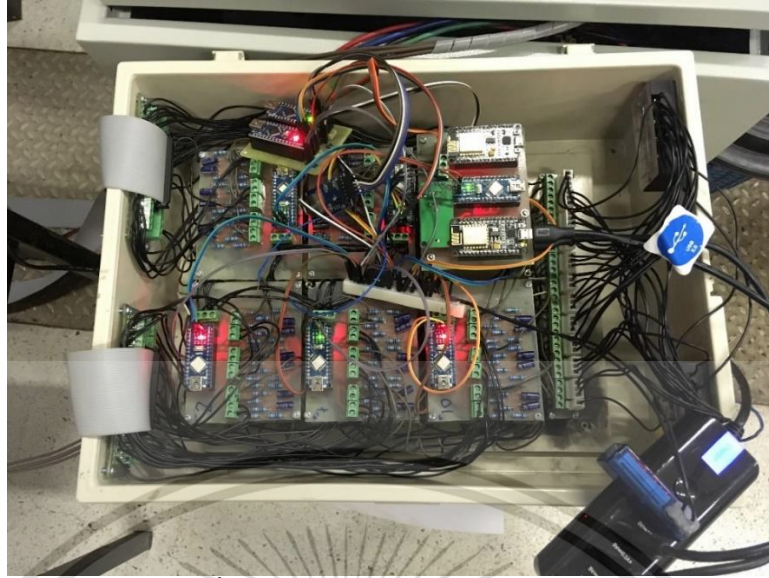
- วงจรมาสเตอร์ที่จัดสร้างจริง

วงจรมาสเตอร์ศูนย์กลางของระบบที่ได้จัดทำขึ้นดังรูปที่ 3.28 ประกอบไปด้วยส่วนที่สำคัญ 4 ส่วนด้วยกัน คือ ส่วนที่ 1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ที่เป็นศูนย์กลางการส่งงานอุปกรณ์แต่ละตัวในระบบ ผ่านช่องทางสื่อสาร ส่วนที่ 2 คือ บัสไอส์แควร์ซี ที่เชื่อมต่อกับสเลฟทั้ง 6 ตัว และเชื่อมต่อกับวงจรสเลฟไมโครเอสตีการ์ดที่ทำหน้าในการเก็บค่าพารามิเตอร์ไฟฟ้าที่อ่านได้ลงในไมโครเอสตีการ์ดเช่นกัน โดยจังหวะการทำงานในระบบทั้งหมดจะถูกควบคุมด้วยเวลาจากส่วนที่ 3 คือ เรียลไทม์คล็อกที่จับจังหวะการทำงาน ส่วนที่ 4 คือ โหนดเอ็มซียูใช้เชื่อมต่อเข้ากับอินเทอร์เน็ต

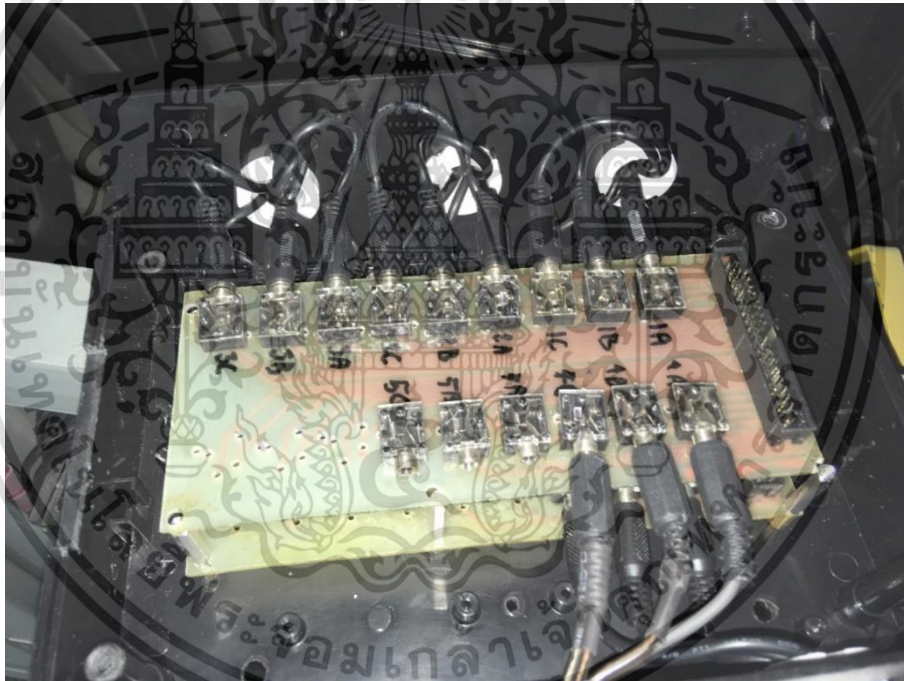


รูปที่ 3.28 วงจรศูนย์กลางระบบ ของจริง

เมื่อนำวงจรมาสเตอร์และสเลฟเข้ามาติดตั้งลงกล่องแล้วจะได้ในรูปที่ 3.29 จะมีการเชื่อมต่อกับวงจรภายนอกด้วยสายแพร์ 2 จุด คือ จุดที่ 1 เชื่อมต่อเข้ากับวงจรจุดแยกหม้อแปลงกระแสไฟฟ้าในรูปที่ 3.30 เพื่อจะต่อเข้ากับหม้อแปลงกระแสไฟฟ้าแต่ละวงจรดังรูปที่ 3.31 ส่วนจุดที่ 2 จะมีการเชื่อมต่อกับหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าเพื่ออ่านค่าแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสจากระบบไฟฟ้าในอาคาร เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

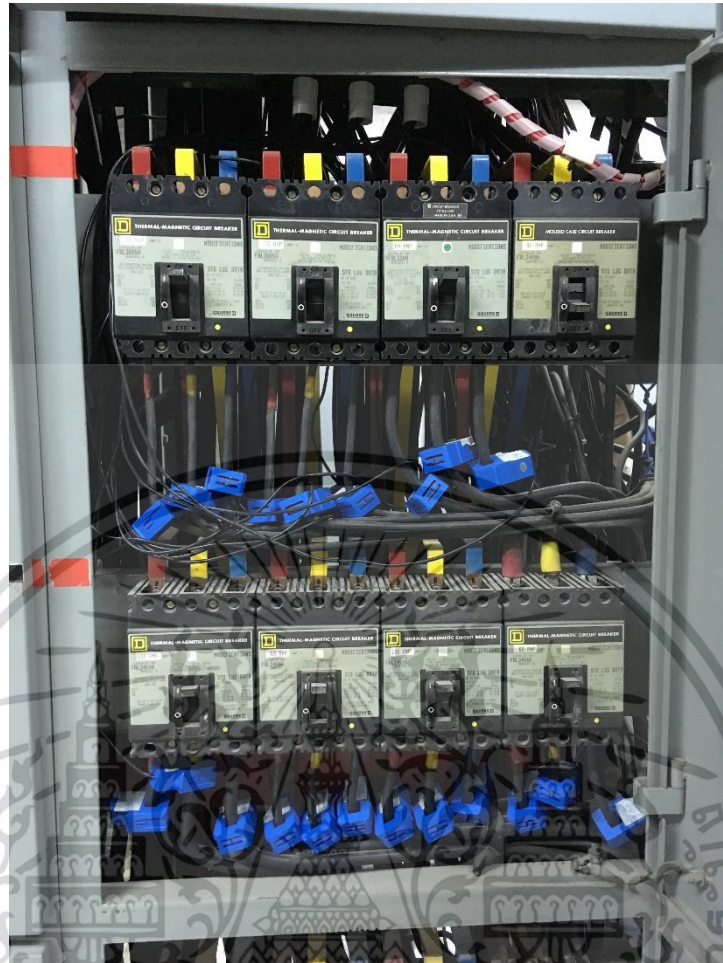


รูปที่ 3.29 กล่องที่ติดตั้งระบบตรวจติดตามการใช้ไฟฟ้าตามเวลาจริง ของจริง



รูปที่ 3.30 วงจรจุดแยกหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

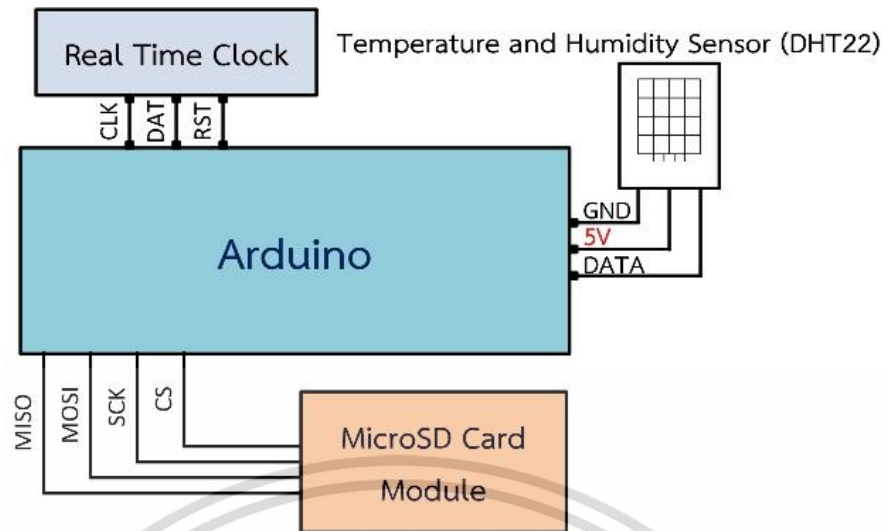


รูปที่ 3.31 หม้อแปลงไฟฟ้าที่ถูกต่อเข้ากับวงจรรย่อยแต่ละตัว

3.4.3 วงจรบันทึกค่าพารามิเตอร์อุณหภูมิและความชื้น

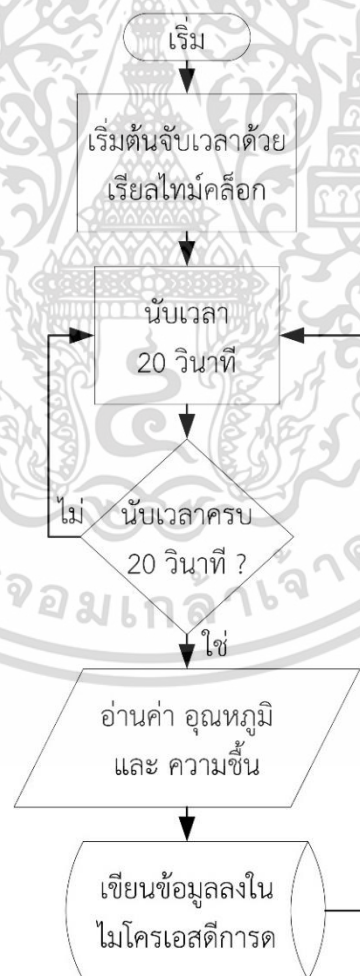
- วงจรวัดอุณหภูมิและความชื้น

ในระบบที่ได้ออกแบบนั้นยังมีส่วนประกอบอื่น ๆ เช่น วงจรอ่านค่าพารามิเตอร์อุณหภูมิและความชื้นในบริเวณโรงพยาบาล เพื่อนำข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นมาวิเคราะห์ร่วมกับพารามิเตอร์ไฟฟ้า เพื่อหาความเกี่ยวข้องและความผิดปกติของการใช้ไฟฟ้าเทียบกับอุณหภูมิและความชื้นได้ ลักษณะวงจรแสดงไว้ดังรูปที่ 3.32 ซึ่งจะวัดค่าอุณหภูมิและความชื้นของอากาศ ณ ขณะนั้น และบันทึกลงไปหน่วยความจำไมโครเอสตีการ์ต



รูปที่ 3.32 วงจรบันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้น

- การออกแบบโปรแกรมของวงจรวัดอุณหภูมิและความชื้น



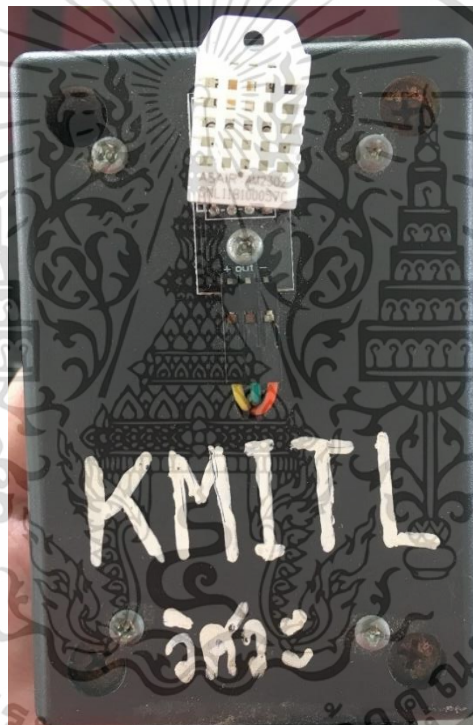
รูปที่ 3.33 แผนผังซอฟต์แวร์การทำงานของวงจรบันทึกค่าพารามิเตอร์อุณหภูมิและความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของวงจรบันทึกพารามิเตอร์สภาพอากาศ แสดงไว้ในแผนผังในรูปที่ 3.33 เริ่มต้นจากการเริ่มนับเวลาด้วยรีเลย์ไทม์คล็อก ต่อมาเข้าสู่วงจรถ่ายงานที่มีหน้าที่รอเวลาจนครบ 20 วินาที พอครบแล้วจึงทำการอ่านค่าพารามิเตอร์สภาพอากาศและทำการบันทึกลงในไมโครเอสดีการ์ด หลังจากเสร็จการทำงานจึงกลับเข้าสู่วงจรถ่ายงานรอจนกว่าจะครบ 20 วินาที ทำซ้ำในรอบต่อไป

- วงจรวัดอุณหภูมิและความชื้นที่จัดสร้างจริง

รูปที่ 3.34 เป็นเครื่องมือวัดสภาพอากาศที่ได้จัดทำขึ้น โดยด้านหน้าติดตั้งเซนเซอร์ อุณหภูมิและความชื้น DHT22 ไว้ และในรูปที่ 3.35 คือ ช่องเสียบไมโครเอสดีการ์ดสำหรับเก็บข้อมูล รูปที่ 3.36 เป็นวงจรภายในซึ่งประกอบด้วยรีเลย์ไทม์คล็อกกับไมโครคอนโทรลเลอร์ และรูปที่ 3.37 คือ ไมโครเอสดีการ์ดโมดูลที่ใช้บันทึกค่าที่อ่านได้จากเซนเซอร์

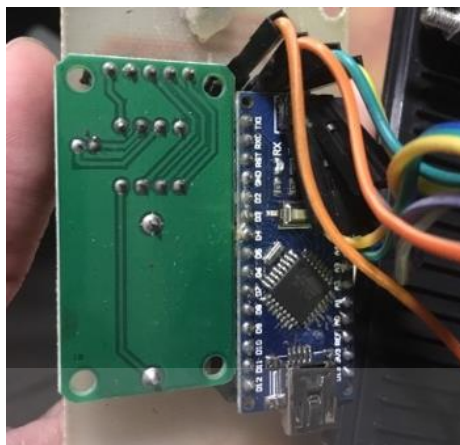


รูปที่ 3.34 เครื่องมือวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้น ของจริง



รูปที่ 3.35 ช่องใส่ไมโครเอสดีการ์ดของเครื่องบันทึกอุณหภูมิและความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.36 วงจรบันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นที่จัดทำขึ้น



รูปที่ 3.37 ไมโครเอสดีการ์ดโมดูลที่ใช้เก็บข้อมูล

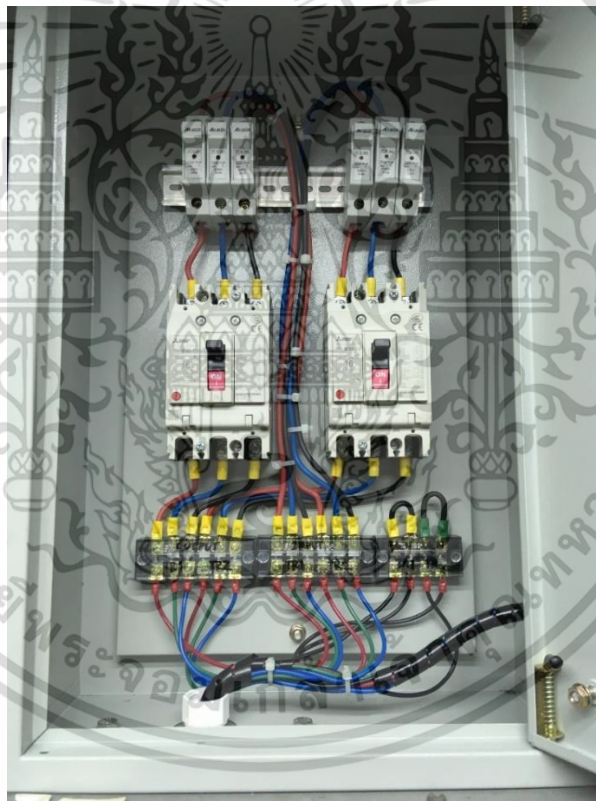
3.5 ติดตั้งระบบตรวจติดตามการใช้ไฟฟ้าตามเวลาจริง

จากโครงสร้างของระบบที่ได้กล่าวถึงในข้อ 3.4 ชุดวัดค่าไฟฟ้าตามเวลาจริงประกอบด้วยสามส่วนหลัก ๆ คือ วงจรวัดกำลังไฟฟ้า 3 เฟส (วงจรสเลฟ) วงจรศูนย์กลางในการรับส่งข้อมูลและเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต (มาสเตอร์) และวงจรบันทึกค่าพารามิเตอร์อุณหภูมิและความชื้นโดยมีรายละเอียดการดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังนี้

ระบบตรวจติดตามการใช้ไฟฟ้านั้นจะทำการติดตั้งที่ห้องไฟฟ้าของอาคาร เนื่องจากเป็นจุดรวมวงจรย่อยทั้งหมดของอาคารทำให้ง่ายต่อการติดตั้งไม่จำเป็นต้องมีสายเชื่อมต่อที่ยาวสำหรับอุปกรณ์การวัดแต่ละวงจรย่อย โดยรูปที่ 3.38 ก่อนทำการติดตั้งระบบตรวจติดตามการใช้ไฟฟ้า ได้ติดตั้งกล่องป้องกันอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้นจากระบบที่ได้ออกแบบ จากรูปที่ 3.39 ในกล่องจะประกอบด้วยฟิวส์และเซอร์กิตเบรกเกอร์เพื่อตัดวงจรหากมีสิ่งผิดปกติเกิดขึ้น



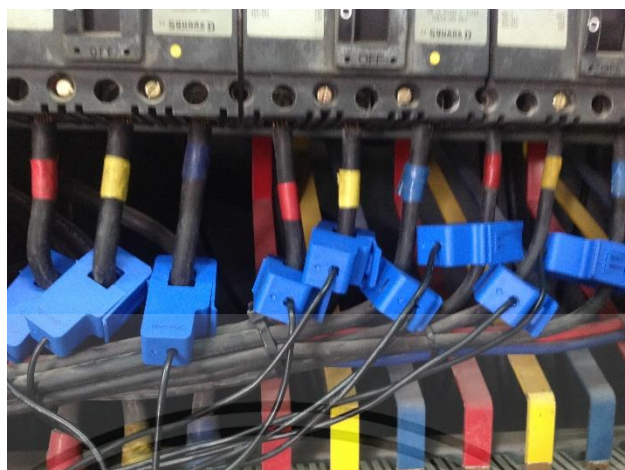
รูปที่ 3.38 การติดตั้งกล่อง Safety



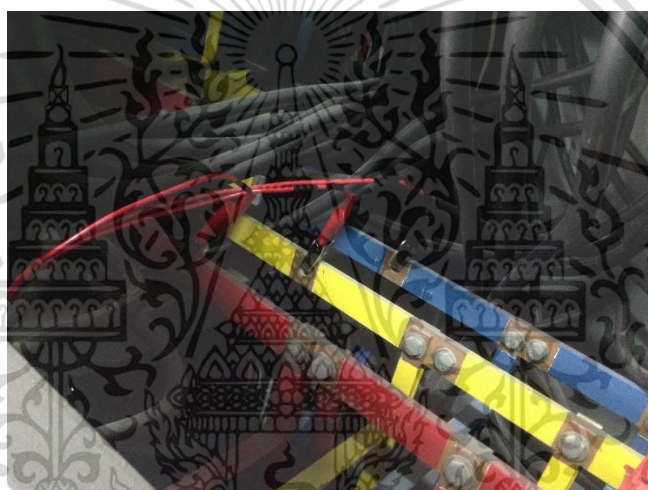
รูปที่ 3.39 กล่องป้องกันอันตราย

ส่วนที่ 1 คือ การติดตั้งวงจรวัดกำลังไฟฟ้า เริ่มจากการติดตั้งหม้อแปลงกระแสไฟฟ้าแต่ละตัว เข้ากับวงจรย่อยแต่ละวงจรของโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยบูรพาหลังจากติดตั้งแล้วจะมีหม้อแปลง กระแสในแต่ละวงจร ดังรูปที่ 3.40 เนื่องจากหม้อแปลงกระแสไฟฟ้าที่เลือกใช้เป็นแบบแกนแยก ทำให้ติดตั้งได้โดยไม่ต้องถอดสายไฟของวงจรย่อยของโรงพยาบาล และรูปที่ 3.41 เป็นการติดตั้ง สายวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้า 3 เฟส โดยที่สัญญาณแรงดันไฟฟ้าจะเชื่อมไปยังกล่องป้องกันอันตราย ดังรูปที่ 3.39 และเชื่อมไปยังหม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าในวงจรวัดกำลังไฟฟ้าต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.40 ติดตั้งหม้อแปลงกระแสไฟฟ้า



รูปที่ 3.41 ติดตั้งสายวัดแรงดันไฟฟ้า

ส่วนที่ 2 คือ วงจรศูนย์กลางในการรับส่งข้อมูลและเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต วงจรถูกติดตั้งไว้ในกล่องดังรูปที่ 3.42 ในห้องไฟฟ้าของโรงพยาบาล โดยได้รับสัญญาอนุญาตอินเทอร์เน็ตได้โมเด็มอินเทอร์เน็ตที่ติดตั้งไว้ดังรูปที่ 3.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.42 ระบบตรวจติดตามไฟฟ้าที่ติดตั้ง



รูปที่ 3.43 ติดตั้งโมเด็มอินเทอร์เน็ตไร้สายของ AIS

ส่วนที่ 3 คือ วงจรวัดอุณหภูมิและความชื้น หลังจากติดตั้งแล้วมีลักษณะดังรูปที่ 3.44 โดยติดตั้งไว้บริเวณโถงกลางโรงพยาบาลดังรูป 3.45 เพื่อให้ได้อุณหภูมิโดยรอบของอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.44 ติดตั้งวงจรวัดอุณหภูมิและความชื้น

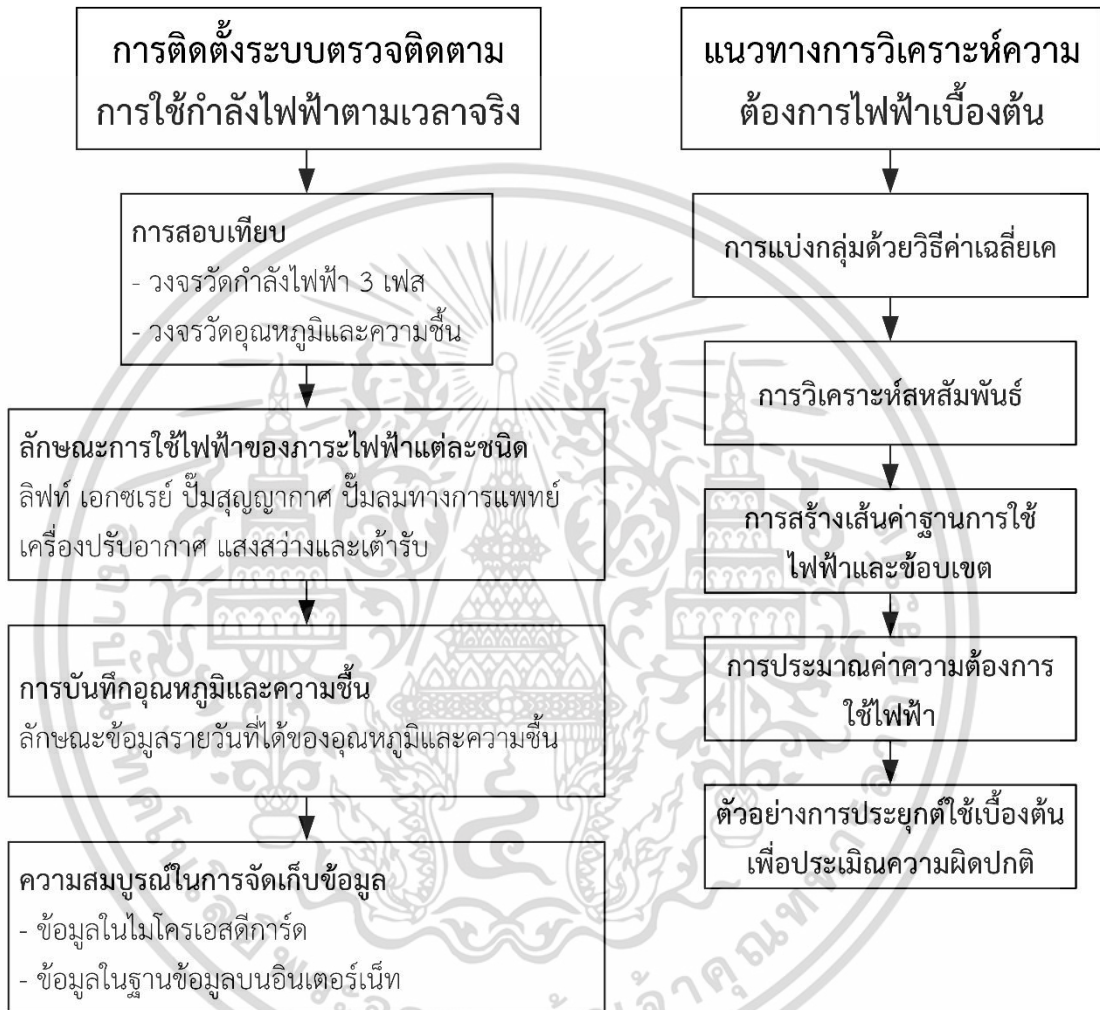


รูปที่ 3.45 โถงกลางอาคารที่ติดตั้งวงจรวัดอุณหภูมิและความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการติดตั้งระบบตรวจติดตามการใช้กำลังไฟฟ้าตามเวลาจริง และแนวทางการวิเคราะห์ความต้องการใช้ไฟฟ้าเบื้องต้น



รูปที่ 4.1 ผลของการติดตั้งระบบและการวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น

จากรูปที่ 4.1 หลังจากติดตั้งอุปกรณ์ติดตามการใช้ไฟฟ้าและเครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้น ที่กล่าวมาในบทที่ 3 เป็นระยะเวลา 6 เดือน ในบทนี้จะได้นำเสนอข้อมูลที่ได้จากการติดตั้งระบบ ประกอบด้วย การสอบเทียบอุปกรณ์ ลักษณะข้อมูลการใช้กำลังไฟฟ้า ลักษณะข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นที่บันทึกได้ พร้อมทั้งนำเสนอความสมบูรณ์ในการจัดเก็บข้อมูลที่ได้ นอกจากนั้น จะได้นำเสนอแนวทางการนำข้อมูลที่บันทึกได้มาวิเคราะห์ความต้องการใช้ไฟฟ้า โดยการแบ่งกลุ่มด้วยวิธีค่าเฉลี่ยเค การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ การสร้างเส้นค่าฐานการใช้ไฟฟ้าและขอบเขต และการประมาณค่าความต้องการไฟฟ้าด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการประเมิน

ความผิดปกติของการใช้กำลังไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 ผลของการติดตั้งระบบตรวจติดตามการใช้กำลังไฟฟ้าตามเวลาจริง

4.1.1 ผลการสอบเทียบอุปกรณ์ที่สร้าง

เมื่อทำการติดตั้งระบบเสร็จ จะทำการการสอบเทียบเครื่องมือวัดที่ติดตั้งกับเครื่องมือวัดมาตรฐานเพื่อให้มีการบันทึกค่าที่ถูกต้องแม่นยำ โดยสามารถคำนวณค่าความผิดพลาดได้จากสมการที่ 4.1 โดยมีผลการสอบเทียบดังต่อไปนี้

$$\text{Percent Error} = \frac{|X_{\text{actual}} - X_{\text{measured}}|}{X_{\text{actual}}} \times 100 \quad (4.1)$$

โดยที่ X_{actual} คือ ค่าที่วัดได้จริงจากเครื่องมือวัดมาตรฐาน
 X_{measured} คือ ค่าที่วัดได้จากวงจรที่สร้าง

- วงจรวัดกำลังไฟฟ้า 3 เฟส

การสอบเทียบเครื่องมือวัดพารามิเตอร์ไฟฟ้าที่จัดทำขึ้น โดยเทียบกับเครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้ามาตรฐานที่ชื่อว่า “Power Meter Yokogawa CW240” ดังรูปที่ 4.2 เพื่อทดสอบความคลาดเคลื่อนของเครื่องวัดที่สร้างขึ้น ได้ผลตามตารางที่ 4.1 ค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องวัดไฟฟ้าที่สร้างขึ้นมีความคลาดเคลื่อนจากเครื่องวัดมาตรฐาน เฉลี่ย 0.71% และมีค่าสูงสุด 1.75% วงจรที่ออกแบบจึงสามารถวัดค่าพารามิเตอร์ไฟฟ้าของอาคารได้



รูปที่ 4.2 Power Meter YOKOGAWA CW240

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 การสอบเทียบเครื่องมือวัดพารามิเตอร์ไฟฟ้าที่สร้างขึ้น

	เครื่องมือวัดมาตรฐาน			เครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น			ความผิดพลาด (%)		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
แรงดันไฟฟ้า (V)	229.2	228.4	230	231.93	228.2	229.27	1.19	0.09	0.32
	230.2	230.1	231.3	232.14	229.48	229.13	0.84	0.27	0.94
	229.5	229.1	230.3	232.55	230.15	227.6	1.33	0.46	1.17
	229.7	229.2	230.7	232.31	229.42	228.74	1.14	0.1	0.85
	230.8	230.5	231.6	231.01	230.95	229.52	0.09	0.2	0.9
กระแสไฟฟ้า (A)	8.2	10.9	16.2	8.13	10.89	16.16	0.85	0.09	0.25
	5.4	8.2	48.1	5.41	8.15	48.4	0.19	0.61	0.62
	9.5	12.5	23.7	9.51	12.71	23.96	0.11	1.68	1.1
	5.9	17.7	23.9	5.96	17.71	23.91	1.02	0.06	0.04
	14.1	2.3	25.9	14.1	2.33	26	0	1.3	0.39
กำลังไฟฟ้าจริง (W)	1900	2200	3500	1875.36	2173.79	3559.15	1.30	1.19	1.69
	1200	1800	10100	1195.46	1789.67	10108.08	0.38	0.57	0.08
	2100	2600	5200	2123.95	2645.52	5132.75	1.14	1.75	1.29
	1400	3700	5200	1380.32	3691.84	5217.63	1.41	0.22	0.34
	2700	500	5800	2692.70	504.19	5845.09	0.27	0.84	0.78
กำลังไฟฟ้าปรากฏ (VI)	1900	2500	3800	1899.83	2485.94	3781.27	0.01	0.56	0.49
	1200	1900	11100	1215.71	1868.52	11090.57	1.31	1.66	0.08
	2200	2900	5500	2211.36	2925.10	5452.55	0.52	0.87	0.86
	1400	4100	5500	1385.73	4062.12	5466.99	1.02	0.92	0.60
	3300	600	6000	3261.08	597.43	6069.30	1.18	0.43	1.16
ค่าประกอบกำลังไฟฟ้า	1.00	0.87	0.94	0.99	0.87	0.94	0.50	0.58	0.43
	1.00	0.95	0.91	0.99	0.95	0.91	1.00	0.31	0.33
	0.98	0.90	0.95	0.97	0.90	0.94	0.61	0.22	1.05
	1.00	0.91	0.95	0.99	0.91	0.95	1.00	0.44	0.00
	0.83	0.98	0.97	0.84	0.97	0.95	0.96	1.42	1.55

- วงจรวัดพารามิเตอร์อุณหภูมิและความชื้น

การสอบเทียบเครื่องมือวัดอุณหภูมิและความชื้นที่สร้างขึ้น ทำโดยสอบเทียบกับอุปกรณ์วัด

Thermo-Hygrometer ดังรูปที่ 4.3 ได้ผลดังในตารางที่ 4.2 และตารางที่ 4.3 คือ อุณหภูมิมีค่าความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผิดพลาดเฉลี่ย 0.84% และค่าความผิดพลาดสูงสุด 3.19% ความชื้นมีค่าความผิดพลาดเฉลี่ย 3.14% และค่าความผิดพลาดสูงสุด 7.05%



รูปที่ 4.3 เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น (Thermo-Hygrometer) รุ่น Testo 625

(ที่มา: <https://www.rapidonline.com/testo-0563-6251-625-thermo-hygrometer-57-4413>)

ตารางที่ 4.2 การสอบเทียบเครื่องมือวัดอุณหภูมิที่สร้างขึ้น

อุณหภูมิ (°C) เครื่องมือวัดมาตรฐาน	อุณหภูมิ (°C) เครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น	ความผิดพลาด (%)
-9.40	-9.38	0.21
26.90	26.93	0.11
31.30	31.31	0.03
34.50	35.60	3.19
38.50	38.76	0.67

ตารางที่ 4.3 การสอบเทียบเครื่องมือวัดความชื้นที่สร้างขึ้น

ความชื้น (%) เครื่องมือวัดมาตรฐาน	ความชื้น (%) เครื่องมือวัดที่สร้างขึ้น	ความผิดพลาด (%)
19.40	18.70	3.61
29.50	31.58	7.05
44.40	46.75	5.29
50.80	51.26	0.90
66.20	66.05	0.23
91.20	89.57	1.79

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ลักษณะข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของภาระแต่ละประเภทในอาคารโรงพยาบาล

สำหรับวงจรย่อยทั้ง 32 วงจรในอาคารโรงพยาบาลจะมีลักษณะภาระไฟฟ้าที่หลากหลาย ซึ่งจะถูกควบคุมโดยแผงควบคุมไฟฟ้าย่อยต่าง ๆ ดังตารางที่ 4.4 ตัวเลขในแผงไฟฟ้าย่อยเช่น LP1A จะเป็นการระบุชั้นที่แผงควบคุมไฟฟ้าย่อยควบคุมวงจรไฟฟ้าอยู่ ซึ่งในแต่ละชั้นของอาคารก็จะมีแผนกให้บริการที่แตกต่างกันดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.4 ชนิดของภาระไฟฟ้าในแต่ละวงจรย่อย

ชื่อวงจรย่อย	ภาระไฟฟ้า	
SC1	LP3G	เต้ารับ, แสงสว่าง, Alarm pipeline
SC2	Lift-G	ลิฟต์
SC3	LP1G	เต้ารับ, แสงสว่าง, พัดลม, ตู้เย็น
SC4	LP2G	เต้ารับ, แสงสว่าง
SC5	X-ray	เอกซเรย์
SC6	Vacuum pump	ปั๊ม
SC7	LP4G	เต้ารับ, แสงสว่าง
SC8	Medical Air Pump	ปั๊ม
SC9	Supply Room	เต้ารับ, ตู้เย็น
SC10	X-ray	เอกซเรย์
SC11	LP2C Air	เครื่องปรับอากาศควบคุมน้ำ RO ห้อง ICU
SC12	Office A/C	เครื่องปรับอากาศ
SC13	LP1D AIR	เครื่องปรับอากาศ
SC14	PUMP	ปั๊ม
SC15	X-RAY	เอกซเรย์
SC16	Laundry Room	โรงซักฟอก
SC17	LP4A	แสงสว่าง
SC18	LIFT	ลิฟต์
SC19	New load center floor 5	เต้ารับ, แสงสว่าง, เครื่องปรับอากาศ, เครื่องทำน้ำอุ่น,
SC20	Generator Load	กลุ่มวงจรย่อยที่สำรองไฟฟ้าด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
SC21	LP1C	เครื่องปรับอากาศ
SC22	LP4B	เต้ารับ, พัดลม, เครื่องปรับอากาศ
SC23	LP1B	เต้ารับ, พัดลม, เครื่องปรับอากาศ
SC24	LP3B	พัดลม, เครื่องปรับอากาศ, เครื่องล้างหมอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 (ต่อ) ชนิดของภาระไฟฟ้าในแต่ละวงจรรย่อย

ชื่อวงจรรย่อย		ภาระไฟฟ้า
SC25	LP2B	พัดลม, เครื่องปรับอากาศ
SC26	LP1A	แสงสว่าง
SC27	LP6	เต้ารับ, แสงสว่าง, พัดลม, เครื่องปรับอากาศ
SC28	LP2DAir	เครื่องอัดอากาศควบคุมอากาศในห้องผ่าตัดชั้นสูง
SC29	LP3C	เต้ารับ, พัดลม, เครื่องปรับอากาศ
SC30	LP5	เต้ารับ, แสงสว่าง, พัดลม, เครื่องปรับอากาศ, เครื่องต้ม น้ำร้อน
SC31	LP3A	เต้ารับ, แสงสว่าง,
SC32	LP2A	เต้ารับ, แสงสว่าง, พัดลม, เครื่องปรับอากาศ อุปกรณ์ทำ ฟัน

ตารางที่ 4.5 แผนกของโรงพยาบาลในแต่ละชั้น

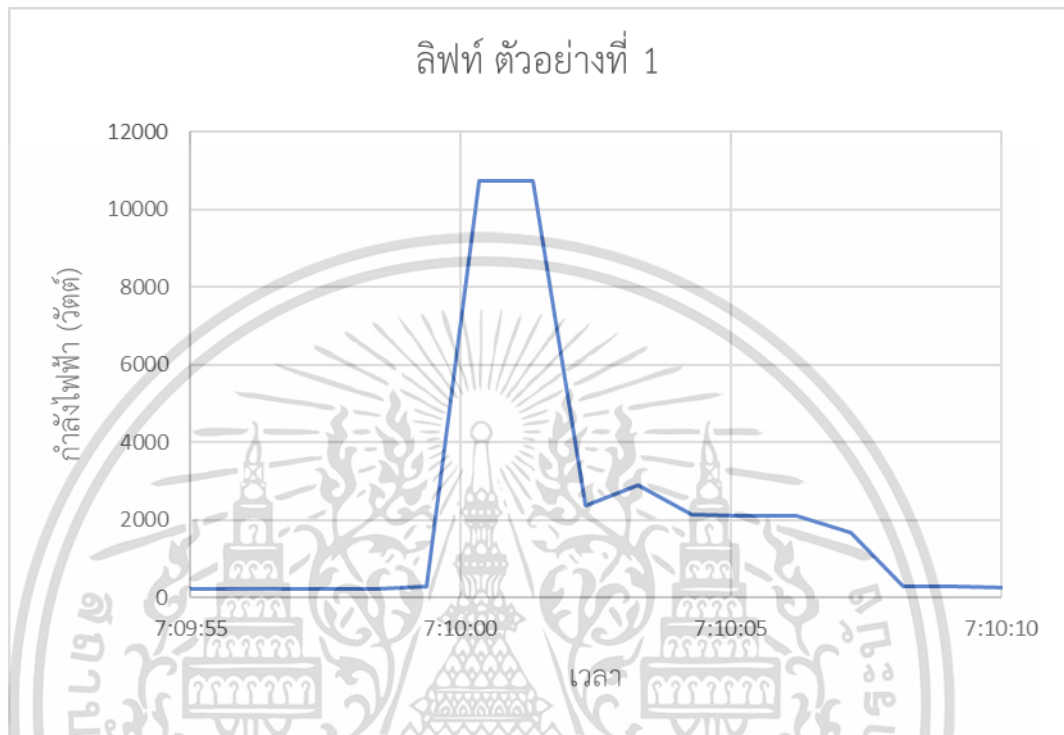
ชั้น	แผนก
Rooftop	ห้องลิฟต์
6 th Floor	สถานีพยาบาล, ห้องนอนพิเศษ
5 th Floor	สถานีพยาบาล, ห้องนอนพิเศษ, กายภาพบำบัด, Office
4 th Floor	IPD, ห้องนวด, ศูนย์ดูแลผู้สูงอายุ, ห้องตรวจพัฒนาการเด็ก, IPD พิเศษ
3 rd Floor	IPD, ห้องคลอด, ICU ของเด็ก, สามัญหลังคลอด
2 nd Floor	Operation Room, ICU, ห้องล้างไต, Wellness Center, ห้องตรวจตา, ห้อง ตรวจฟัน
Ground Floor	OPD, Pharmacy, Laboratory, X-Ray, CT-Scan, Supplies

- ลิฟท์ (Lift)

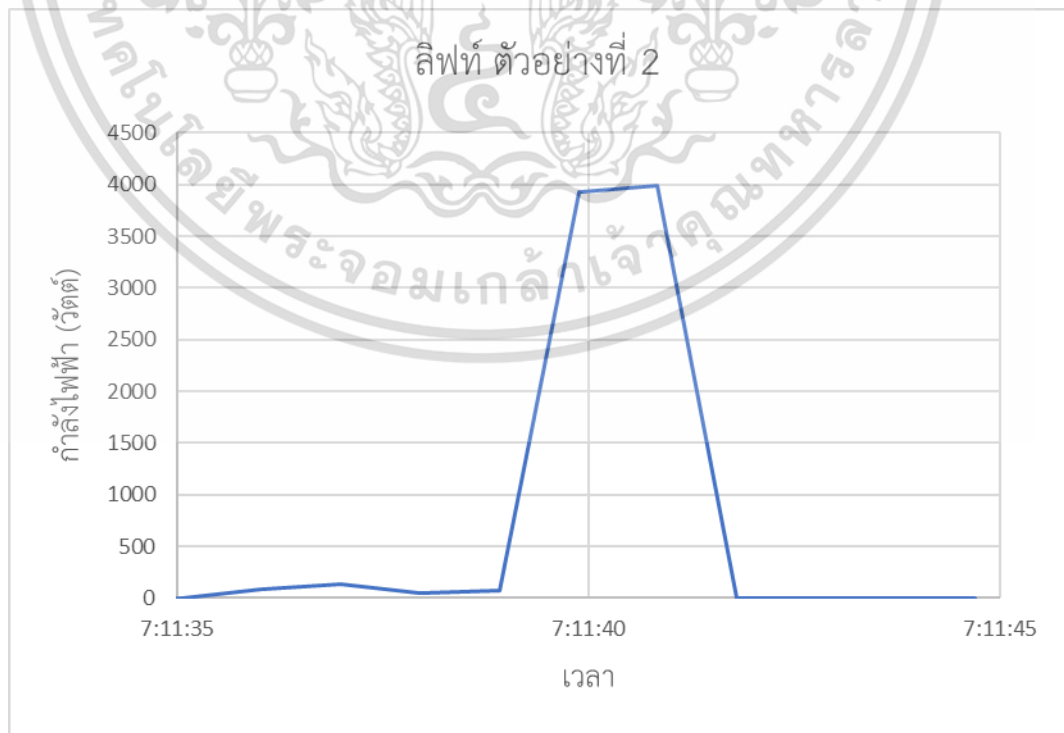
ภาระไฟฟ้าชนิด ลิฟท์ ทำการบันทึกค่าที่เครื่องมือวัด SC18 มีลักษณะการใช้ไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ ในรูปที่ 4.4 และ รูปที่ 4.5 ขึ้นอยู่กับการขึ้นหรือลงของลิฟท์และน้ำหนักของผู้โดยสารลิฟท์ ในกรณีที่น้ำหนักของผู้โดยสารลิฟท์มากกว่าน้ำหนักถ่วง (Counterweight) ของลิฟท์ หากเคลื่อนลิฟท์ขึ้นจะใช้กำลังไฟฟ้าในการเคลื่อนลิฟท์ทำให้มีลักษณะการใช้กำลังไฟฟ้างดรูปที่ 4.4 แต่ถ้าหากเคลื่อนลิฟท์ลงจะใช้น้ำหนักของห้องโดยสารในการเคลื่อนลิฟท์ทำให้มีลักษณะการใช้กำลังไฟฟ้างดรูปที่ 4.5 และในกรณีที่น้ำหนักของผู้โดยสารน้อยกว่าน้ำหนักถ่วงของลิฟท์ หากเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลิฟต์ลงจะใช้กำลังไฟฟ้าในการเคลื่อนลิฟต์ทำให้มีลักษณะการใช้กำลังไฟฟ้าดังรูปที่ 4.4 แต่ถ้าหากเคลื่อนลิฟต์ขึ้นจะใช้น้ำหนักถ่วงในการเคลื่อนลิฟต์ทำให้มีลักษณะการใช้กำลังไฟฟ้าดังรูปที่ 4.5 และทุกกรณีต้องใช้กำลังไฟฟ้าในการเริ่มเคลื่อนลิฟต์สูงขึ้น



รูปที่ 4.4 ลักษณะของภาระไฟฟ้าลิฟต์ 1



รูปที่ 4.5 ลักษณะของภาระไฟฟ้าลิฟต์ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การขับเคลื่อนลิฟท์จะมีลักษณะกำลังไฟฟ้าดังรูปที่ 4.6 การใช้กำลังไฟฟ้ามากหรือน้อยจะขึ้นกับจำนวนผู้ใช้บริการที่ใช้งานลิฟท์แต่ละครั้ง

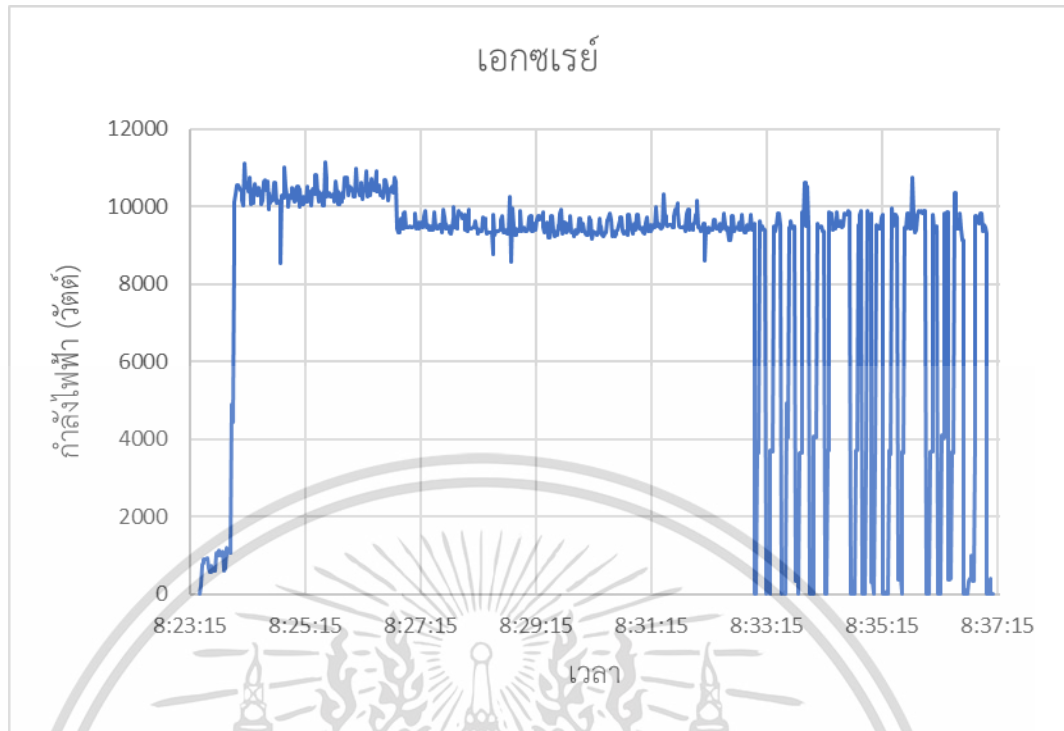


รูปที่ 4.6 ลักษณะของภาระไฟฟ้าลิฟท์ 3

- เอกซเรย์ (X-Ray)

ลักษณะกำลังไฟฟ้าของภาระไฟฟ้าเครื่องเอกซเรย์ที่บันทึกค่าจากวงจรย่อยที่ SC10 มีลักษณะดังรูปที่ 4.7 ซึ่งจากการสอบถามผู้ใช้งานอาคารโรงพยาบาลทำให้ทราบว่า ลักษณะพฤติกรรมการใช้เครื่องเอกซเรย์ จะต้องทำการเปิดเครื่องเอกซเรย์เพื่ออุ่นเครื่องไว้ก่อนการใช้งานเครื่องเอกซเรย์จริง ซึ่งจะเห็นได้ว่าจะมีการใช้กำลังไฟฟ้าประมาณ 10 kW ตลอดเวลาในช่วงการอุ่นเครื่องเอกซเรย์ และในช่วงที่มีการใช้งานเครื่องเอกซเรย์จริง จะมีการใช้กำลังไฟฟ้าเป็นช่วงเวลา ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะการใช้งานที่มีการใช้งานเครื่องเป็นช่วงเวลา และมีการพักเครื่องเพื่อรอการใช้งานในครั้งต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ลักษณะของภาระไฟฟ้าเครื่องเอกซเรย์

- ปัมสุญญากาศ (Vacuum Pump)

รูปที่ 4.8 เป็นลักษณะกำลังไฟฟ้าของปัมสุญญากาศซึ่งบันทึกค่าจากวงจรย่อย SC6 จะเห็นได้ว่าปัมสุญญากาศมีการใช้กำลังไฟฟ้ามากในช่วงเริ่มการทำงาน ซึ่งเป็นคุณลักษณะการใช้กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เริ่มการทำงานแบบต่อตรง (Direct Online Start) หลังจากเริ่มเดินเครื่องแล้วมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะใช้กำลังไฟฟ้าต่อเนื่องที่ระดับหนึ่งจนหยุดการใช้งาน

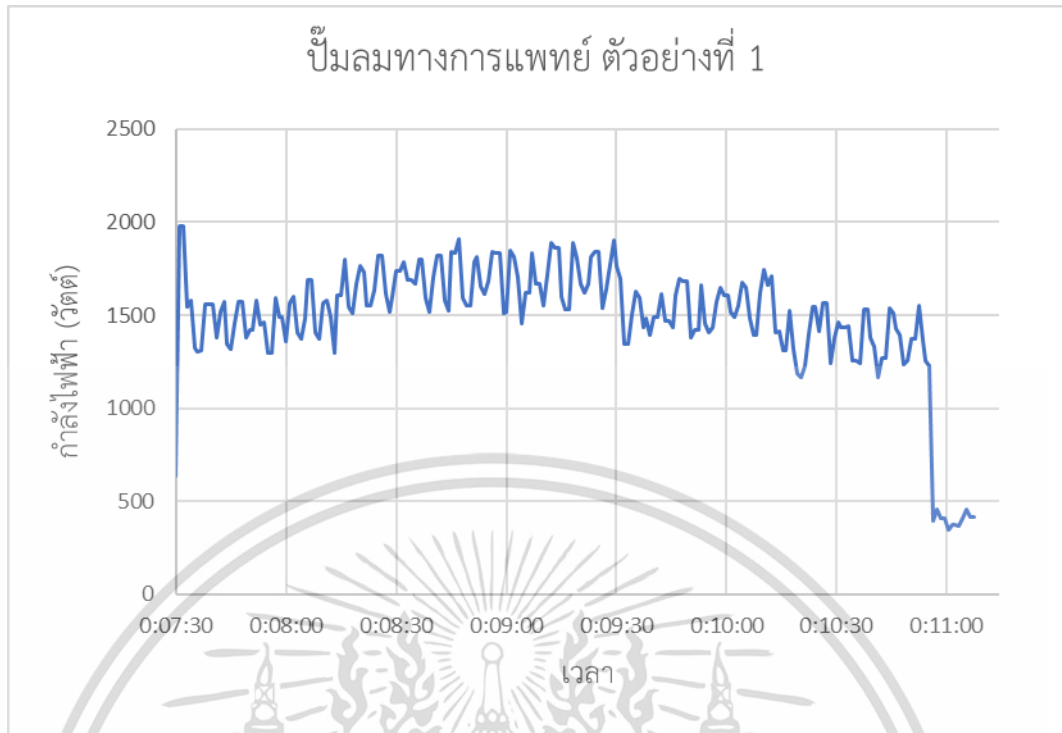
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



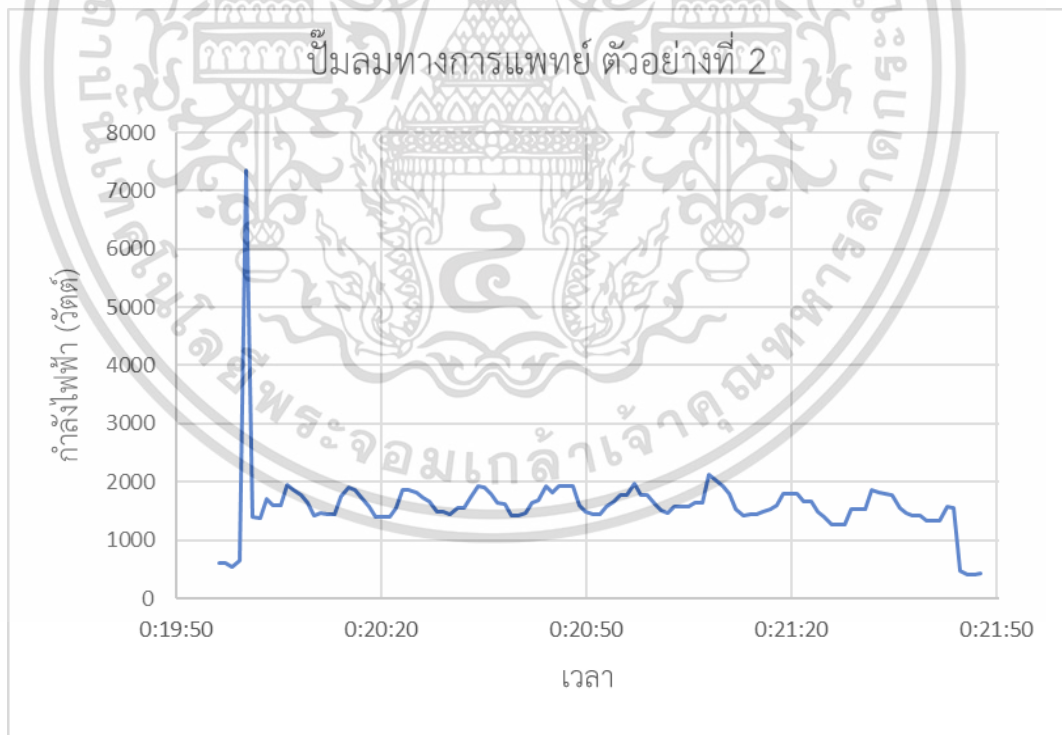
รูปที่ 4.8 ลักษณะของภาระไฟฟ้าปั๊มสูญญากาศ

- ปั๊มลมทางการแพทย์ (Medical Air Pump)

รูปที่ 4.9 รูปที่ 4.10 เป็นลักษณะกำลังไฟฟ้าของปั๊มลมทางการแพทย์เป็นปั๊มที่ใช้ในห้องทันตกรรม ซึ่งบันทึกค่าจากวงจรรย่อย SC8 จะเห็นได้ว่าปั๊มลมทางการแพทย์มีการใช้กำลังไฟฟ้ามากในช่วงเริ่มการทำงาน ซึ่งเป็นคุณลักษณะการใช้กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เริ่มการทำงานแบบต่อตรง และหลังจากเริ่มเดินเครื่องแล้วมอเตอร์ไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะใช้กำลังไฟฟ้าต่อเนื่องที่ระดับหนึ่งจนหยุดการใช้งาน เช่นเดียวกับกับปั๊มสูญญากาศ แตกต่างกันที่การใช้กำลังไฟฟ้าต่อเนื่องของปั๊มลมมีการกระเพื่อมของกำลังไฟฟ้ามากกว่าปั๊มสูญญากาศ



รูปที่ 4.9 ลักษณะของภาระไฟฟ้าบีมลมทางการแพทย์ 1



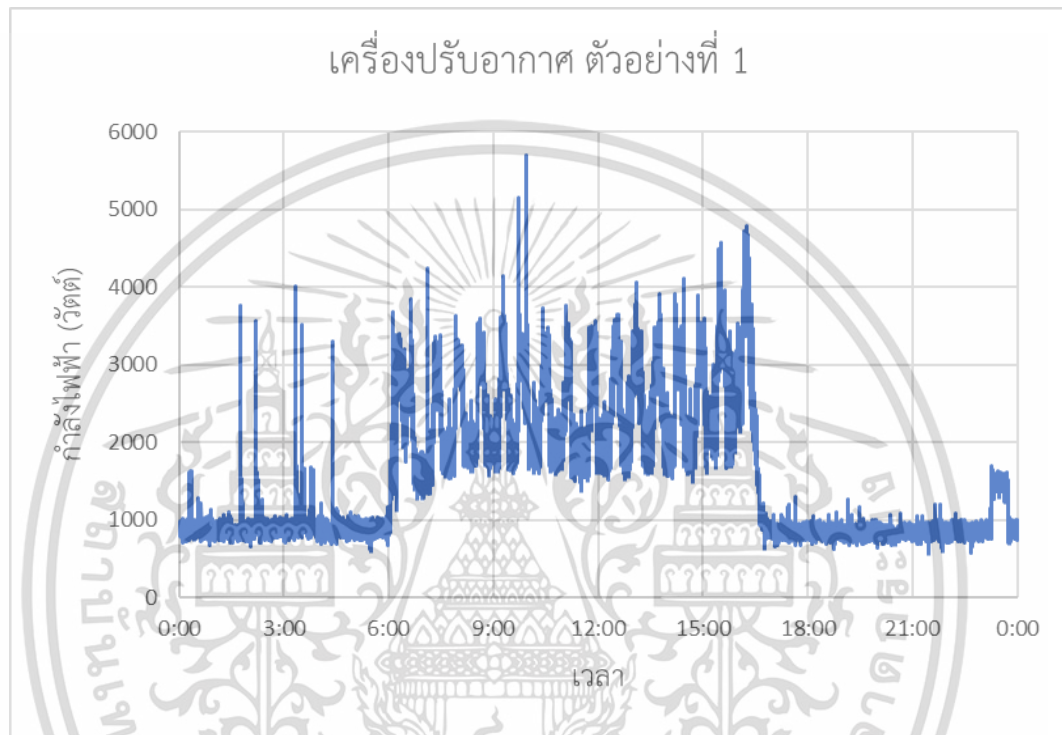
รูปที่ 4.10 ลักษณะของภาระไฟฟ้าบีมลมทางการแพทย์ 2

- เครื่องปรับอากาศ (Air Conditioner)

ลักษณะกำลังไฟฟ้าของภาระไฟฟ้าเครื่องปรับอากาศที่บันทึกค่าจากวงจรย่อยที่ SC11 มี

ลักษณะดังรูปที่ 4.11 ลักษณะการใช้กำลังไฟฟ้ามียุขสูงและต่ำสลับกัน ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะการ
เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ยู่ได้เห็นไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำงานของเครื่องปรับอากาศ โดยรูปที่ 4.12 แสดงลักษณะการใช้กำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศใน 2 รอบการทำงาน โดยใน 1 รอบการทำงานในขณะที่คอมเพรสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศทำงานจะใช้กำลังไฟฟ้าสูงขึ้นเพื่อปรับอุณหภูมิในห้องลงมายังค่าที่ผู้ใช้งานตั้งไว้ เมื่อได้อุณหภูมิที่ตั้งไว้แล้ว คอมเพรสเซอร์จะหยุดทำงานทำให้ใช้ไฟฟ้าน้อยลงและอุณหภูมิห้องจะค่อย ๆ สูงขึ้น จนถึงรอบการทำงานของคอมเพรสเซอร์รอบต่อไป



รูปที่ 4.11 ลักษณะของภาระไฟฟ้าเครื่องปรับอากาศ 1

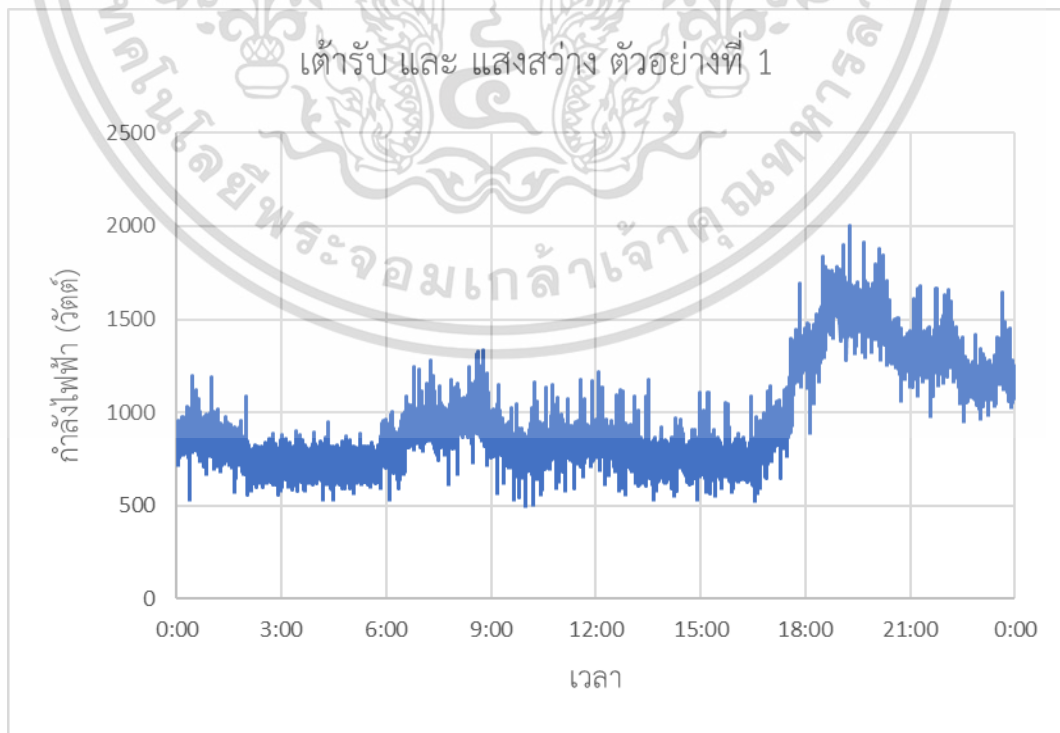
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 ลักษณะของภาระไฟฟ้าเครื่องปรับอากาศ 2

- แสงสว่างและเต้ารับ (Lighting and Receptacle)

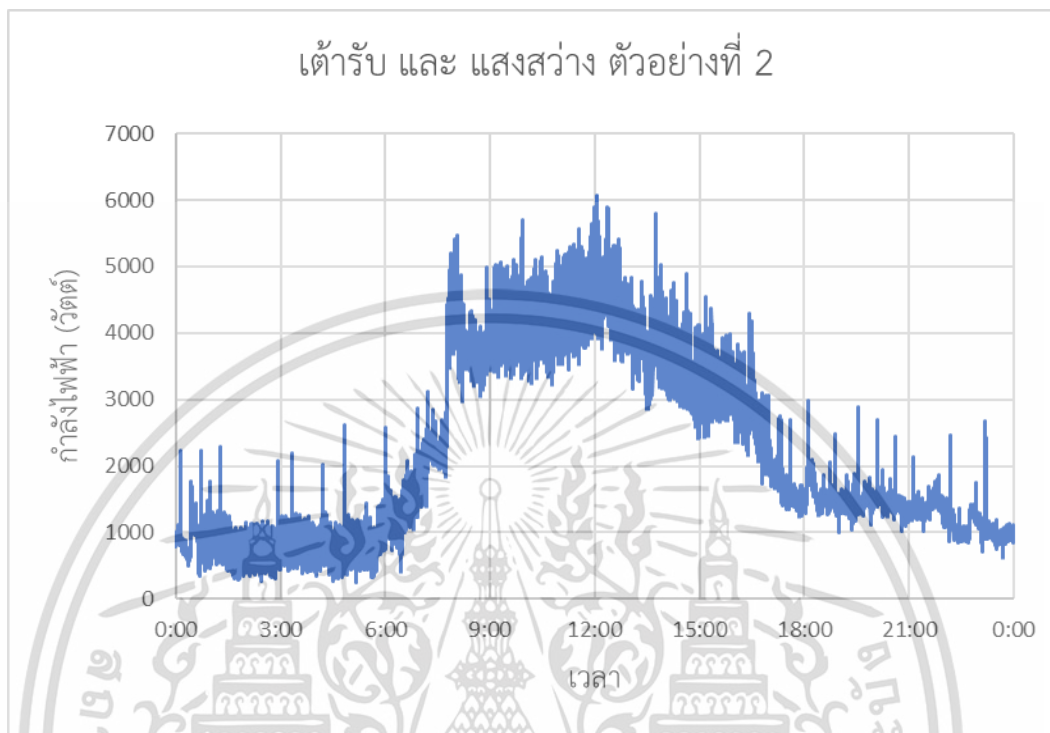
ภาระไฟฟ้าแสงสว่างและเต้ารับนั้นจะมีการใช้กำลังไฟฟ้ามากน้อยตามการใช้งานของผู้ใช้งาน อาคาร กรณีของโรงพยาบาลสามารถแบ่งลักษณะการใช้ไฟฟ้าได้ 2 แบบ ดังนี้



รูปที่ 4.13 ลักษณะของภาระไฟฟ้าแสงสว่างและเต้ารับ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบที่ 1 ดังรูปที่ 4.13 แบบที่เปิดไฟตลอดเวลาซึ่งบันทึกค่าจากวงจรย่อย SC1 เป็นภาระไฟฟ้าแสงสว่างและเตารับบริเวณโถงทางเดินชั้น 3 เนื่องจากชั้นที่ 3 เป็นเวิร์ดคนไข้ที่มีการใช้งานไฟฟ้าตลอดเวลา



รูปที่ 4.14 ลักษณะของภาระไฟฟ้าแสงสว่างและเตารับ 2

แบบที่ 2 ดังรูปที่ 4.14 เป็นแบบที่มีการเปิดไฟจำนวนมากในช่วงเวลาทำงานและน้อยลงในช่วงเวลาปิดทำการซึ่งบันทึกค่าจากวงจรย่อย SC3 สามารถพบลักษณะการใช้ไฟฟ้าแบบนี้ได้บริเวณโถงทางเดินชั้น 1 ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสำนักงานของโรงพยาบาล ในช่วงเช้าที่มีคนมาทำงานทำให้มีการเปิดไฟและใช้กำลังไฟฟ้าจากเตารับมากกว่าช่วงกลางคืนที่ไม่มีคนมาทำงาน

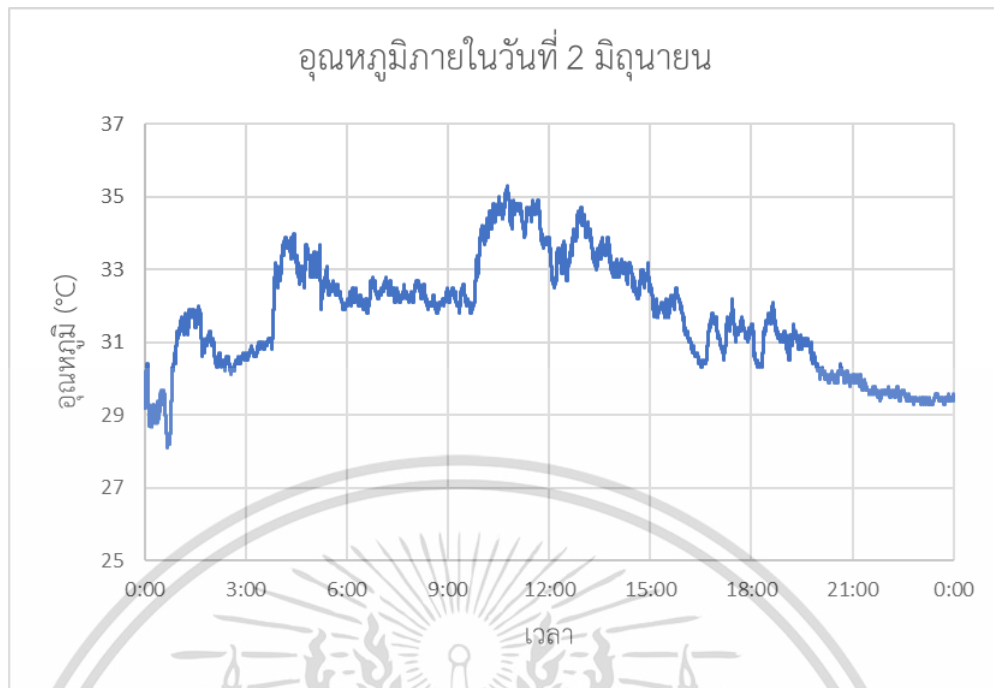
4.1.3 ผลของการบันทึกอุณหภูมิและความชื้น

หลังจากติดตั้งเครื่องบันทึกพารามิเตอร์อุณหภูมิและความชื้นแล้ว จะได้ลักษณะของอุณหภูมิและความชื้นที่เปลี่ยนแปลงภายในวัน โดยยกตัวอย่างกรณีที่เป็นวันธรรมดาและวันที่ฝนตกดังนี้

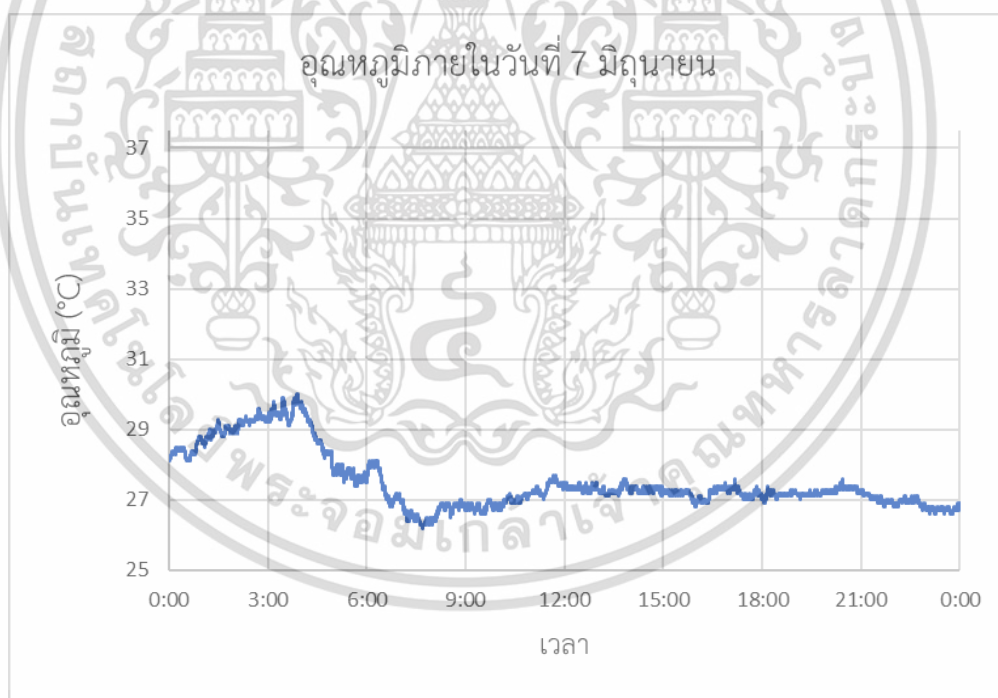
- อุณหภูมิ

รูปที่ 4.15 ในวันธรรมดาที่ฝนไม่ตก อุณหภูมิจะสูงขึ้นในช่วงกลางวันและลดลงในช่วงเวลากลางคืน และหากดูจากรูปที่ 4.16 ในวันที่ฝนตกนั้น ก่อนเข้าช่วงเช้าอุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนถึง 4:00 น. อุณหภูมิเริ่มลดลงและอยู่ในระดับต่ำตลอดทั้งวันเนื่องจากฝนตกตลอดวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 อุณหภูมิภายในวันที่ 2 มิถุนายน

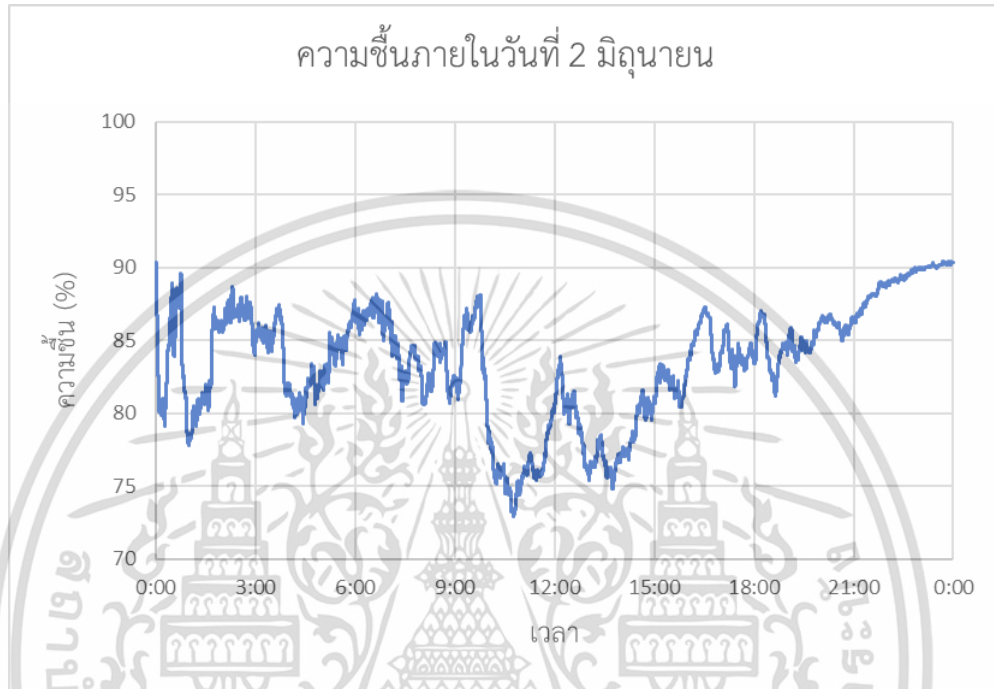


รูปที่ 4.16 อุณหภูมิภายในวันที่ 7 มิถุนายน

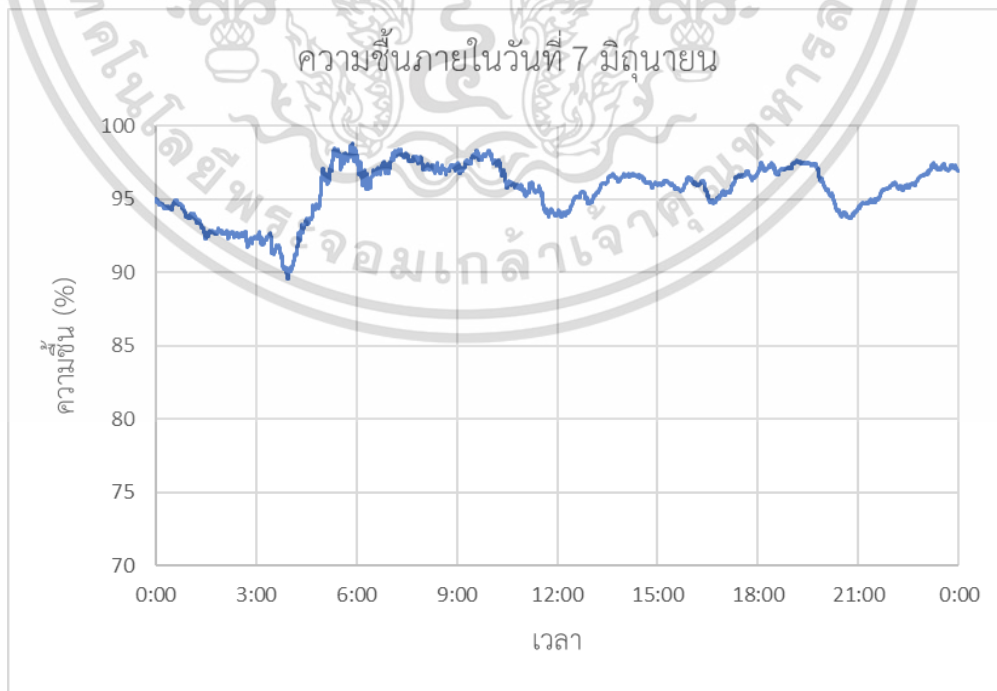
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความชื้น

รูปที่ 4.17 ในวันธรรมดาที่ฝนไม่ตก ความชื้นจะลดลงในช่วงกลางวันและสูงขึ้นในช่วงเวลา กลางคืน แต่หากดูจากรูปที่ 4.18 ในวันที่ฝนตกนั้น ก่อนเข้าช่วงเช้าความชื้นจะลดลงเรื่อย ๆ จนถึง 4:00 น. ความชื้นมีค่าสูงขึ้นมากอยู่ในระดับสูงตลอดทั้งวันแสดงถึงการที่ฝนตกตลอดวัน



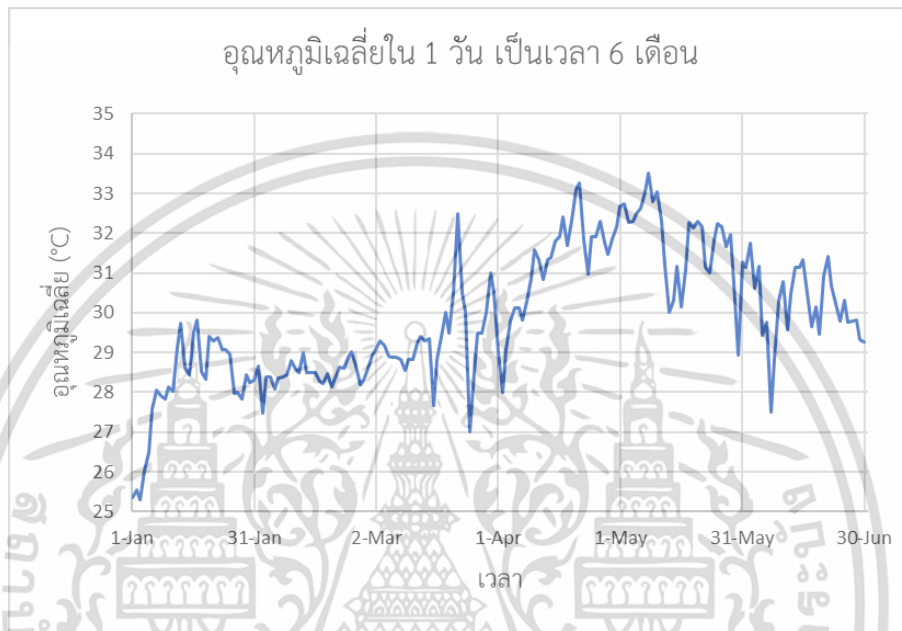
รูปที่ 4.17 ความชื้นภายในวันที่ 2 มิถุนายน



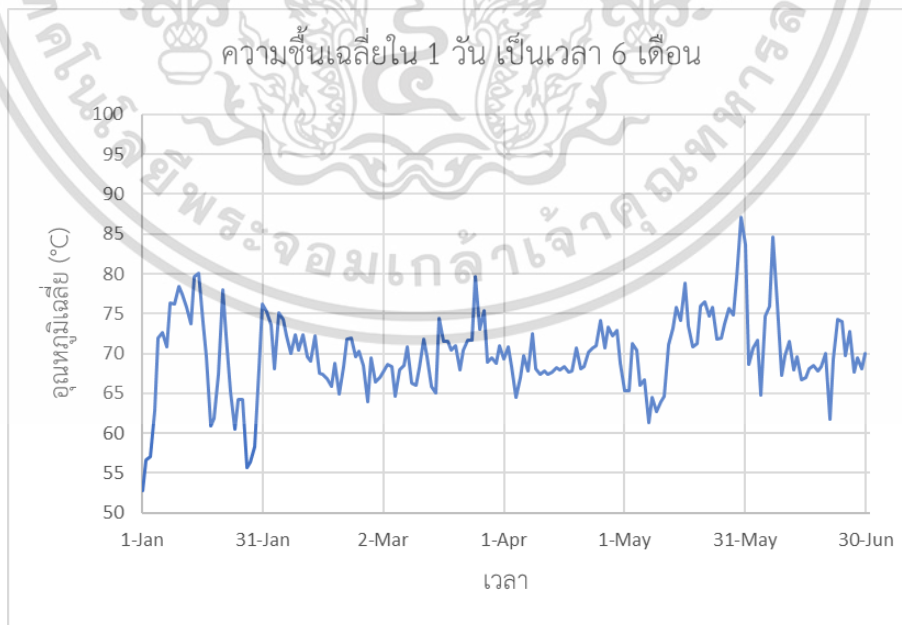
รูปที่ 4.18 ความชื้นในวันที่ 7 มิถุนายน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตัวอย่างผลลัพธ์ ดังรูปที่ 4.15 - 4.17 แสดงถึงความสามารถในการติดตามพารามิเตอร์ อุณหภูมิและความชื้นและยังแสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงแบบตามเวลาภายใน 1 วันได้และหาก เก็บเป็นระยะเวลา 6 เดือนแล้วสามารถหาค่าอุณหภูมิและความชื้นเฉลี่ยในแต่ละวัน เพื่อให้เห็น แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้นในระยะเวลาเป็นเดือนได้ดังรูปที่ 4.19 และ 4.20 โดย หากดูจากรูปที่ 4.19 จะเห็นว่าในช่วงฤดูร้อนมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิที่สูงขึ้น



รูปที่ 4.19 อุณหภูมิเฉลี่ยใน 1 วัน เป็นเวลา 6 เดือน



รูปที่ 4.20 อุณหภูมิเฉลี่ยใน 1 วัน เป็นเวลา 6 เดือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 ความสมบูรณ์ในการจัดเก็บข้อมูล

- ข้อมูลในไมโครเอสดีการ์ด

จากตารางที่ 4.6 ความน่าเชื่อถือของระบบที่สร้างพิจารณาจากสัดส่วนของวันที่สามารถบันทึกค่าได้ต่อวันทั้งหมดที่ควรอ่านได้ โดยข้อมูลวงจรร้อยยทั้งหมด 32 วงจร ใช้เวลาเก็บข้อมูล 6 เดือน หรือ 181 วัน จึงควรมีข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของทุกวงจรรวมกัน ทั้งหมด 5,792 วัน ในขณะที่วงจรที่ออกแบบ สามารถเก็บข้อมูลได้สมบูรณ์ทั้งวันรวมของทุกวงจรร้อยยที่ 5,037 วัน คิดเป็นสัดส่วน 86.96% ของข้อมูลทั้งหมด

ตารางที่ 4.6 ความสมบูรณ์ในการจัดเก็บข้อมูลของไมโครเอสดีการ์ด

ชื่อวงจรร้อยย	จำนวนวันที่อ่านได้ (จากทั้งหมด 181 วัน)	คิดเป็นสัดส่วน (%)	
SC1	LP3G	175	96.69
SC2	Lift-G	171	94.48
SC3	LP1G	171	94.48
SC4	LP2G	173	95.58
SC5	X-ray	173	95.58
SC6	Vacuum pump	170	93.92
SC7	LP4G	169	93.37
SC8	Medical Air Pump	169	93.37
SC9	Supply Room	169	93.37
SC10	X-ray	169	93.37
SC11	LP2C Air	169	93.37
SC12	Office A/C	169	93.37
SC13	LP1D AIR	174	96.13
SC14	PUMP	173	95.58
SC15	X-RAY	173	95.58
SC16	Laundry Room	173	95.58
SC17	LP4A	155	85.64
SC18	LIFT	153	84.53
SC19	New load center floor 5	155	85.64
SC20	Generator Load	154	85.08
SC21	LP1C	145	80.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SC22	LP4B	112	61.88
SC23	LP1B	119	65.75
SC24	LP3B	150	82.87
SC25	LP2B	151	83.43
SC26	LP1A	141	77.90
SC27	LP6	135	74.59
SC28	LP2DAir	146	80.66
SC29	LP3C	147	81.22
SC30	LP5	145	80.11
SC31	LP3A	143	79.01
SC32	LP2A	146	80.66
สรุป	รวมเป็น (วัน)	5,037	86.96
	จากทั้งหมด (วัน)	5,792	

- ข้อมูลในฐานข้อมูลอินเทอร์เน็ต

เนื่องจากพื้นที่เก็บข้อมูลบนฐานข้อมูลอินเทอร์เน็ตของชิงสปีคมีเนื้อที่จำกัดและบริษัท MathWorks มีการเปลี่ยนเงื่อนไขในการให้บริการทำให้ราคาฐานข้อมูลสูงขึ้น โดยขั้นตอนของการวิเคราะห์ข้อมูลใช้ข้อมูลของไมโครเอสดีการ์ดเป็นหลัก ในช่วงพัฒนาระบบเพื่อเป็นการประหยัดต้นทุน วิทยาลัยฯ เล่มนี้จึงใช้ฐานข้อมูลชิงสปีคได้ 70 วัน ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม ถึง วันที่ 11 มีนาคม ฐานข้อมูลบนอินเทอร์เน็ตเต็ม โดยที่ชุดข้อมูลต่อ 1 วงจรย่อย เท่ากับ 907,200 ชุด ใน 70 วัน จากตารางที่ 4.7 จะแสดงจำนวนชุดข้อมูลที่สามารถอ่านได้ในแต่ละวงจรย่อยและคิดเป็นสัดส่วน โดยคิดเป็นสัดส่วนความสมบูรณ์ของข้อมูลในฐานข้อมูลอินเทอร์เน็ต เท่ากับ 59.40%

ตารางที่ 4.7 ความสมบูรณ์ในการจัดเก็บข้อมูลในฐานข้อมูลอินเทอร์เน็ต

ชื่อวงจรย่อย		จำนวนชุดข้อมูลที่สามารถอ่านได้ (จากทั้งหมด 907,200 ชุด)	คิดเป็นสัดส่วน (%)
SC1	LP3G	597,084	65.82
SC2	Lift-G	593,985	65.47
SC3	LP1G	597,450	65.86
SC4	LP2G	600,036	66.14
SC5	X-ray	602,106	66.37
SC6	Vacuum pump	603,762	66.55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SC7	LP4G	642,342	70.80
SC8	Medical Air Pump	633,195	69.80
SC9	Supply Room	636,636	70.18
SC10	X-ray	639,876	70.53
SC11	LP2C Air	642,195	70.79
SC12	Office A/C	642,909	70.87
SC13	LP1D AIR	455,730	50.23
SC14	PUMP	464,705	51.22
SC15	X-RAY	464,415	51.19
SC16	Laundry Room	458,115	50.50
SC17	LP4A	501,070	55.23
SC18	LIFT	500,995	55.22
SC19	New load center floor 5	499,450	55.05
SC20	Generator Load	500,240	55.14
SC21	LP1C	479,355	52.84
SC22	LP4B	475,292	52.39
SC23	LP1B	482,800	53.22
SC24	LP3B	482,918	53.23
SC25	LP2B	480,874	53.01
SC26	LP1A	480,296	52.94
SC27	LP6	513,027	56.55
SC28	LP2DAir	513,276	56.58
SC29	LP3C	514,592	56.72
SC30	LP5	515,435	56.82
SC31	LP3A	515,055	56.77
SC32	LP2A	513,929	56.65
สรุป	รวมเป็น (ชุด)	17,243,144	59.40
	จากทั้งหมด (ชุด)	29,030,400	

จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่าระบบตรวจติดตามการใช้กำลังไฟฟ้าที่ได้ติดตั้งที่โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยบูรพาสามารถติดตามลักษณะการใช้ไฟฟ้า อุณหภูมิและความชื้นภายในวันของอาคารได้ โดยมีความสมบูรณ์ในการจัดเก็บข้อมูลอยู่ที่ 86.96% โดยความสมบูรณ์ของการจัดเก็บข้อมูลของไมเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งวันไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ผ่านการอนุมัติใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครอสติการ์ตขึ้นอยู่กับความเสถียรของอุปกรณ์ที่ใช้ การจัดทำวงจร การเดินสายไฟและการกรองสัญญาณรบกวน และมีความสมบูรณ์ของข้อมูลบนอินเทอร์เน็ตอยู่ที่ 59.40% โดยความสมบูรณ์ของฐานข้อมูลบนอินเทอร์เน็ตนั้นขึ้นอยู่กับความเสถียรของการเชื่อมต่อสัญญาณอินเทอร์เน็ตระหว่างโหนดเอเอ็มซียูและโมเด็มอินเทอร์เน็ตและความเสถียรของอินเทอร์เน็ตจากผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ตด้วย

4.2 แนวทางการวิเคราะห์ความต้องการไฟฟ้าเบื้องต้น

ในส่วนนี้จะนำเสนอวิธีการวิเคราะห์ความต้องการไฟฟ้าเบื้องต้น จากข้อมูลการใช้กำลังไฟฟ้าที่บันทึกค่าไว้ 6 เดือน เพื่อเป็นแนวทางในการประเมินความผิดปกติของการใช้กำลังไฟฟ้าของอาคารโรงพยาบาล โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 แผนผังแสดงการวิเคราะห์การใช้กำลังไฟฟ้าเบื้องต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.21 การวิเคราะห์การใช้กำลังไฟฟ้าเบื้องต้นเพื่อเป็นแนวทางในการประเมินความผิดปกติของการใช้กำลังไฟฟ้าของอาคารโรงพยาบาล เริ่มต้นจากการวิเคราะห์ด้วยการจัดกลุ่มวงจรย่อยของอาคารโรงพยาบาลโดยแบ่งตามลักษณะการใช้ไฟฟ้าออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรก คือ กลุ่มที่มีลักษณะการใช้ไฟฟ้าแตกต่างกันในวันหยุดและวันทำงาน กลุ่มที่ 2 คือ กลุ่มที่มีลักษณะการใช้ไฟฟ้าไม่แตกต่างกันในวันหยุดและวันทำงาน ต่อมาทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการใช้ไฟฟ้าของแต่ละวงจรร่วมกับจำนวนผู้ใช้งานอาคาร อุณหภูมิและความชื้น ภายในอาคารทำให้สามารถระบุวงจรย่อยที่มีลักษณะการใช้ไฟฟ้าสัมพันธ์กับตัวแปรที่สนใจได้ และทำการประเมินวงจรย่อยที่มีความสำคัญเพื่อนำมาเป็นตัวอย่งในการสร้างเส้นค่าฐานการใช้กำลังไฟฟ้าของวงจรย่อย ขึ้นต่อมา เป็นการทดสอบการแจกแจงปกติของข้อมูลจริงว่ามีกระจายตัวจากเส้นค่าฐานการใช้ไฟฟ้าเป็นแบบการแจกแจงตัวปกติหรือไม่ สุดท้ายจะดำเนินการประมาณความต้องการไฟฟ้าจากตัวแปรที่เกี่ยวข้องโดยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ และทำการสร้างขอบเขตความต้องการไฟฟ้าจากค่า 3 เท่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เมื่อได้ความต้องการไฟฟ้าและขอบเขตนี้แล้วจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการประเมินการใช้กำลังไฟฟ้าที่ผิดปกติต่อไป โดยมีรายละเอียดต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

4.2.1 วิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลด้วยวิธีค่าเฉลี่ยเค

การวิเคราะห์ลักษณะการใช้ไฟฟ้าในอาคารโรงพยาบาลจำนวน 32 วงจรในระยะเวลา 6 เดือนโดยเก็บข้อมูลทุก ๆ 1 วินาที ข้อมูลที่ได้จะมีปริมาณมาก ซึ่งวิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลด้วยวิธีค่าเฉลี่ยเค ใช้ทรัพยากรในการวิเคราะห์น้อยจึงเหมาะสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีปริมาณมาก โดยมีหลักในการแบ่งกลุ่มดังนี้

การประเมินลักษณะการใช้ไฟฟ้าของแต่ละวงจรร่วมกันแบ่งตามลักษณะการใช้กำลังไฟฟ้าได้ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 วงจรย่อยที่มีลักษณะการใช้ไฟฟ้าในวันทำงานและวันหยุดแตกต่างกัน เช่น วงจรย่อยในแผนกที่เป็นสำนักงานนั้น วันทำงานจะมีการใช้ไฟฟ้าสูงกว่าวันหยุด และกลุ่มที่ 2 วงจรย่อยที่มีลักษณะการใช้ไฟฟ้าในวันหยุดและวันทำงานไม่แตกต่างกัน เช่น วอร์ดคนไข้ที่วันหยุดและวันทำงานจะมีการใช้ไฟฟ้าเพื่อดูแลคนไข้ตลอดเวลา

กรณีของกลุ่มที่ 1 กลุ่มวงจรร่วมกันที่มีลักษณะการใช้ไฟฟ้าในวันทำงานและวันหยุดแตกต่างกัน แสดงตัวอย่างในตารางที่ 4.9 การประเมินการแบ่งกลุ่มของวงจรร่วมกันที่ SC32 “LP2A” ของเดือนเมษายน ผลการแบ่งกลุ่มลักษณะการใช้ไฟฟ้าในแต่ละวันด้วยวิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลด้วยวิธีค่าเฉลี่ยเค จะแบ่งลักษณะวันออกเป็น 2 แบบ คือ แบบที่ 1 กลุ่มวันที่มีการใช้กำลังไฟฟ้าน้อยแสดงด้วยเลข 1 สีแดงในตาราง แบบที่ 2 กลุ่มวันที่มีการใช้กำลังไฟฟ้ามากแสดงด้วยเลข 2 สีดำ เมื่อนำผลการแบ่งกลุ่มมาเทียบกับตารางที่ 4.8 ที่เป็นตารางวันหยุด วันทำงานของเดือนเมษายนโดยที่สีแดงเป็นกลุ่มวันหยุด และสีดำเป็นกลุ่มวันทำงาน จะเห็นได้ว่าการแบ่งกลุ่มในตารางที่ 4.9 กลุ่มวันที่มีการใช้ไฟฟ้าน้อย เลข 1 สีแดง จะตรงกับวันหยุดในตารางที่ 4.8 และกลุ่มวันที่มีการใช้ไฟฟ้ามาก เลข 2 สีดำ จะตรงกับวัน

ทำงานในตารางที่ 4.8 ทำให้ประเมินได้ว่า วงจรร่วมกันที่ SC32 นั้น มีการใช้ไฟฟ้าสัมพันธ์กับวันหยุด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในอาคารเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเห็นใบสรุปประเมินค่าค่า ไม่ว่าการณ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และวันทำงานของโรงพยาบาล โดยสามารถคิดสัดส่วนความตรงกันของการแบ่งกลุ่มจากสมการที่ 4.2 ซึ่งในกรณีวงจรร้อยที่ SC32 มีค่า 96.66% โดยสัดส่วนความตรงกันของการแบ่งกลุ่มจะใช้ในการประเมินว่าวงจรร้อยใดที่ต้องแบ่งพิจารณาระหว่างวันหยุดและวันทำงานและวงจรร้อยใดไม่ต้องแบ่งพิจารณา

$$\text{สัดส่วนความตรงกันของการแบ่งกลุ่ม} = \frac{\text{จำนวนวันที่การจัดกลุ่มตรงกับวันหยุดวันทำงาน}}{\text{จำนวนวันทั้งหมดในชุดข้อมูล}} \quad (4.2)$$

ตารางที่ 4.8 วันหยุดเดือนเมษายน

เมษายน							
สัปดาห์ที่	อาทิตย์	จันทร์	อังคาร	พุธ	พฤหัสบดี	ศุกร์	เสาร์
1		1	2	3	4	5	6
2	7	8	9	10	11	12	13
3	14	15	16	17	18	19	20
4	21	22	23	24	25	26	27
5	28	29	30				

ตารางที่ 4.9 ผลการแบ่งกลุ่มข้อมูลด้วยวิธีค่าเฉลี่ยเคของวงจรร้อย SC32 “LP2A”

เมษายน							
สัปดาห์ที่	อาทิตย์	จันทร์	อังคาร	พุธ	พฤหัสบดี	ศุกร์	เสาร์
1		2	2	2	2	2	1
2	1	1	2	2	2	1	1
3	1	1	1	2	2	2	2
4	1	2	2	2	1	2	1
5	1	2	2				

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีของกลุ่มที่ 2 กลุ่มวงจรรย่อยที่มีลักษณะการใช้ไฟฟ้าในวันทำงานและวันหยุดไม่แตกต่างกัน แสดงตัวอย่างในตารางที่ 4.10 วงจรรย่อยที่ SC10 “X-Ray” จะเห็นว่าการจัดกลุ่มเมื่อเทียบวันหยุด วันทำงานในตารางที่ 4.8 แล้ว ไม่ตรงกับตารางวันหยุดวันทำงานในเดือนเมษายน ดังนั้น วงจรรย่อยที่ SC10 “X-Ray” มีการใช้งานไฟฟ้าไม่ขึ้นกับวันหยุดวันทำงาน โดยมีสัดส่วนความตรงกันของการแบ่งกลุ่มอยู่ที่ 56.66% ในการสร้างเส้นค่าฐานการใช้ไฟฟ้าจึงไม่แบ่งวันหยุดวันทำงาน

ตารางที่ 4.10 ผลการแบ่งกลุ่มข้อมูลด้วยวิธีค่าเฉลี่ยเคของวงจรรย่อย SC10 “X-Ray”

เมษายน							
สัปดาห์ที่	อาทิตย์	จันทร์	อังคาร	พุธ	พฤหัสบดี	ศุกร์	เสาร์
1		1	1	2	2	1	1
2	2	1	1	2	1	1	1
3	1	1	1	1	2	1	1
4	1	2	1	1	1	1	1
5	1	1	1				

ตารางที่ 4.11 แสดงสัดส่วนความตรงกันของการแบ่งกลุ่มของแต่ละวงจรรย่อย และผลการพิจารณาการแบ่งกลุ่มตามวันหยุดและวันทำงาน โดยในวิทยานิพนธ์นี้ ประเมินจากสัดส่วนความตรงกันของการแบ่งกลุ่มที่มากกว่า 80% จะจัดอยู่ในกลุ่มที่ 1 คือการใช้กำลังไฟฟ้าวันทำงานและวันหยุดมีลักษณะต่างกัน แต่ถ้าน้อยกว่า 80% จะจัดอยู่ในกลุ่มที่ 2 คือการใช้กำลังไฟฟ้าวันทำงานและวันหยุดมีลักษณะไม่ต่างกัน

ตารางที่ 4.11 ผลการจัดกลุ่มของทุกวงจรรย่อย

ชื่อวงจรรย่อย		สัดส่วนความตรงกันของการแบ่งกลุ่ม (%)	การพิจารณาการแบ่งกลุ่มวันหยุดวันทำงาน	สัดส่วนภาระไฟฟ้า (%)
SC1	LP3G	60.69	ไม่แบ่ง	1.70
SC2	Lift-G	59.57	ไม่แบ่ง	0.56
SC3	LP1G	92.20	แบ่ง	6.04
SC4	LP2G	93.01	แบ่ง	2.81
SC5	X-ray	65.03	ไม่แบ่ง	0.42
SC6	Vacuum pump	62.14	ไม่แบ่ง	0.23

ตารางที่ 4.11 (ต่อ) ผลการจัดกลุ่มของทุกวงจรรย่อย

ชื่อวงจรรย่อย	สัดส่วนความตรงกัน ของการแบ่งกลุ่ม (%)	การพิจารณาการ แบ่งกลุ่มวันหยุด วันทำงาน	สัดส่วนภาระ ไฟฟ้า (%)	
SC7	LP4G	91.37	แบ่ง	1.53
SC8	Medical Air Pump	69.78	ไม่แบ่ง	0.63
SC9	Supply Room	61.15	ไม่แบ่ง	3.43
SC10	X-ray	55.39	ไม่แบ่ง	0.51
SC11	LP2C Air	81.29	แบ่ง	2.13
SC12	Office A/C	93.52	แบ่ง	1.41
SC13	LP1D AIR	93.8	แบ่ง	1.57
SC14	PUMP	94.41	แบ่ง	1.48
SC15	X-RAY	85.31	แบ่ง	2.07
SC16	Laundry Room	58.04	ไม่แบ่ง	3.60
SC17	LP4A	53.38	ไม่แบ่ง	2.56
SC18	LIFT	38.17	ไม่แบ่ง	0.67
SC19	New load center floor 5	65.08	ไม่แบ่ง	11.75
SC20	Generator Load	73.01	ไม่แบ่ง	14.34
SC21	LP1C	95.65	แบ่ง	5.84
SC22	LP4B	64.65	ไม่แบ่ง	3.58
SC23	LP1B	95.50	แบ่ง	4.75
SC24	LP3B	50.00	ไม่แบ่ง	0.41
SC25	LP2B	94.21	แบ่ง	3.83
SC26	LP1A	94.59	แบ่ง	2.55
SC27	LP6	89.52	แบ่ง	3.37
SC28	LP2DAir	87.93	แบ่ง	0.38
SC29	LP3C	72.65	ไม่แบ่ง	2.51
SC30	LP5	93.04	แบ่ง	5.96
SC31	LP3A	79.65	ไม่แบ่ง	2.53
SC32	LP2A	95.69	แบ่ง	4.86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนั้นสัดส่วนภาระไฟฟ้าดังตารางที่ 4.11 สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 4.3 เพื่อแสดงถึงระดับการใช้กำลังไฟฟ้าของแต่ละวงจรรย่อย ใช้ประกอบการประเมินความสำคัญของแต่ละวงจรรย่อยอยู่ในอาคารโรงพยาบาล

$$\text{สัดส่วนภาระไฟฟ้า} = \frac{\bar{P}_i}{\sum_{j=1}^n \bar{P}_j} \quad (4.3)$$

โดยที่ \bar{P}_i คือ กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของวงจรรย่อยที่ i
 i คือ วงจรรย่อยที่ต้องการหาสัดส่วนภาระไฟฟ้า
 j คือ วงจรรย่อย
 n คือ จำนวนวงจรรย่อยทั้งหมด

จากตารางที่ 4.11 วงจรรย่อยที่มีสัดส่วนภาระไฟฟ้าสูงที่สุดคือ SC20 “Generator Load” แต่วงจรรย่อยนี้มีภาระไฟฟ้า คือ วงจรรย่อยที่อยู่ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง วงจรรย่อยนี้จึงเชื่อมไปยังวงจรรย่อยต่าง ๆ ที่มีเครื่องมือวัดอยู่แล้ว ดังนั้นวงจรรย่อยที่มีสัดส่วนภาระไฟฟ้าสูงที่สุดคือ SC19 “New load center floor 5” คิดเป็น 11.75% ของกำลังไฟฟ้าทั้งหมด ซึ่งเป็นวงจรรย่อยที่มีภาระไฟฟ้าอยู่ในบริเวณชั้นที่ 5 สำหรับจ่ายไฟฟ้าให้กับห้องนอนผู้ป่วยพิเศษของอาคารโรงพยาบาล

4.2.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการใช้กำลังไฟฟ้าของแต่ละวงจรรย่อยกับตัวแปร 3 ตัวแปร ได้แก่ จำนวนผู้คนที่เข้ามาใช้งานอาคาร อุณหภูมิ และความชื้น ภายในอาคาร โดยใช้สมการที่ 2.7 ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างการใช้ไฟฟ้ากับอุณหภูมิจะแบ่งหาความสัมพันธ์ 3 แบบ คือ หาความสัมพันธ์จากจำนวนวันทั้งหมด หาความสัมพันธ์จากวันทำงาน และหาความสัมพันธ์จากวันหยุดเนื่องจากเหตุผล ดังนี้

ข้อที่ 1 ในกรณีของความสัมพันธ์กับจำนวนผู้ใช้งานอาคาร จะไม่แบ่งวันหยุดวันทำงาน เนื่องจากการวิเคราะห์รวมทุกวัน ตัวแปรจำนวนผู้ใช้งานอาคารจะมีความเปลี่ยนแปลงมากและทำให้เห็นความเปลี่ยนแปลงของการกำลังใช้ไฟฟ้าที่เกิดจากเพิ่มลดของจำนวนผู้ใช้งานอาคารได้อย่างชัดเจน

ข้อที่ 2 ในกรณีของอุณหภูมิที่แบ่งหาความสัมพันธ์ 3 แบบ เพราะภาระไฟฟ้าชนิดเดียวกันแต่หากพฤติกรรมการใช้ของผู้ใช้งานอาคารไม่เหมือนกัน จะส่งผลถึงระดับความสัมพันธ์ระหว่างการใช้ออกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟฟ้ากับอุณหภูมิด้วย ยกตัวอย่าง ภาระไฟฟ้าชนิดเครื่องปรับอากาศ หากพฤติกรรมการใช้ของผู้ใช้งานอาคาร เป็นลักษณะเปิดเครื่องปรับอากาศในวันทำงานและปิดเครื่องปรับอากาศในวันหยุด หากหาความสัมพันธ์ในกลุ่มวันทำงานด้วยกันที่มีการเปิดใช้งานเหมือนกัน จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างการใช้กำลังไฟฟ้ากับอุณหภูมิที่สูงขึ้น แต่รวมวันหยุดที่ไม่มีการเปิดใช้เครื่องปรับอากาศจะทำให้ค่าความสัมพันธ์มีค่าต่ำลง ดังนั้นจึงแบ่งหาความสัมพันธ์ในวันหยุดและวันทำงานที่มีพฤติกรรมการใช้กำลังไฟฟ้าแตกต่างกันด้วย

ตารางที่ 4.12 แสดงถึงค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของการใช้กำลังไฟฟ้า กับตัวแปรทั้ง 3 ที่กล่าวมาข้างต้นของวงจรร้อยทั้ง 32 วงจรของอาคารโรงพยาบาล

ตารางที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ชื่อวงจรร้อย		ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (%)				ความ ขึ้น
		จำนวน ผู้ใช้ บริการ	อุณหภูมิ			
			ทุกวัน	วัน ทำงาน	วันหยุด	
SC1	LP3G	29.23	14.96	6.01	21.57	1.0
SC2	Lift-G	34.01	6.95	5.32	16.35	28.0
SC3	LP1G	77.78	1.45	15.64	10.87	16.0
SC4	LP2G	77.04	11.98	6.23	4.35	16.0
SC5	X-ray	27.27	16.57	15.37	10.18	5.0
SC6	Vacuum pump	11.29	4.32	16.41	8.36	12.0
SC7	LP4G	77.62	30.76	20.96	53.87	1.0
SC8	Medical Air Pump	35.30	42.17	40.89	39.36	7.0
SC9	Supply Room	24.21	48.69	41.16	57.28	16.0
SC10	X-ray	33.61	7.13	16.54	1.12	1.0
SC11	LP2C Air	62.85	7.49	1.55	7.55	3.0
SC12	Office A/C	79.48	0.41	18.73	19.25	5.0
SC13	LP1D AIR	71.19	10.37	0.36	5.11	1.0
SC14	PUMP	64.87	0.15	12.96	20.75	19.0
SC15	X-RAY	46.84	12.36	9.93	8.91	5.0
SC16	Laundry Room	38.14	37.18	39.02	22.97	3.0
SC17	LP4A	25.43	54.68	54.65	71.97	3.0
SC18	LIFT	31.29	2.88	4.27	13.52	13.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.12 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

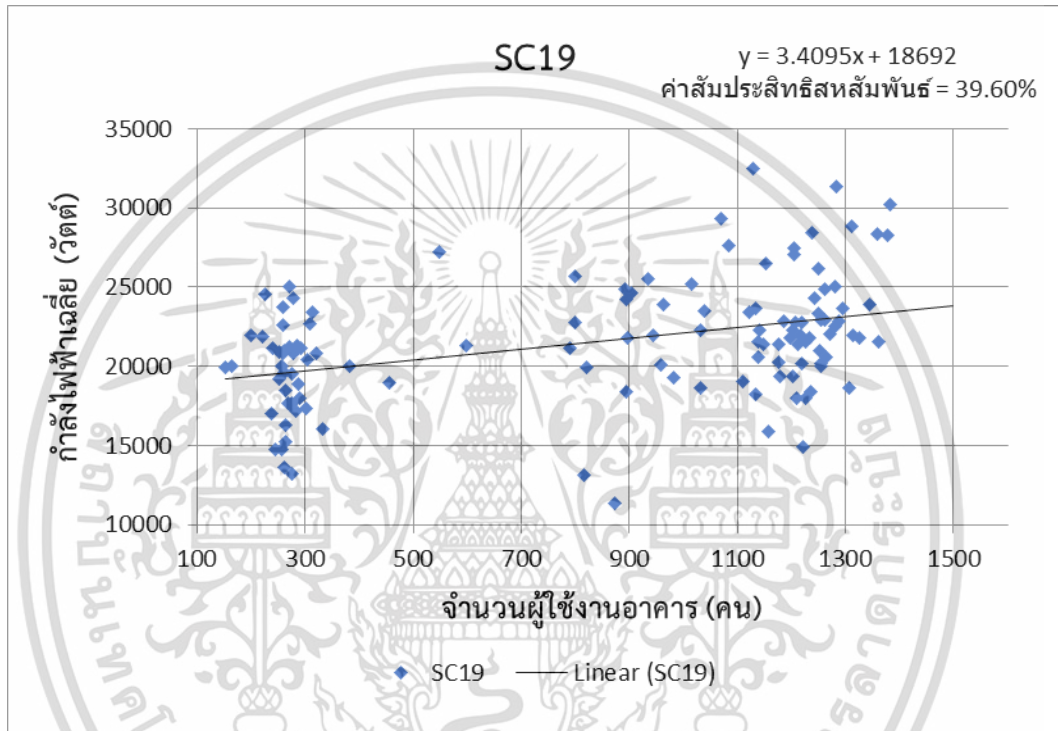
ชื่อวงจรรย่อ		ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (%)				
		จำนวน ผู้ใช้ บริการ	อุณหภูมิ			ความ ชื้น
			ทุกวัน	วัน ทำงาน	วันหยุด	
SC19	New load center floor 5	39.60	59.97	73.69	71.88	14.0
SC20	Generator Load	35.56	21.92	38.80	17.67	19.0
SC21	LP1C	81.61	2.30	19.38	28.47	7.0
SC22	LP4B	48.85	22.31	15.63	45.80	21.0
SC23	LP1B	88.23	7.06	49.03	16.28	15.0
SC24	LP3B	11.64	37.63	24.37	60.52	16.0
SC25	LP2B	86.84	3.21	37.76	3.16	10.0
SC26	LP1A	81.96	21.08	49.24	1.39	15.0
SC27	LP6	76.84	7.36	38.95	10.12	15.0
SC28	LP2DAir	73.35	3.24	6.65	15.99	14.0
SC29	LP3C	50.60	45.88	68.46	38.16	19.0
SC30	LP5	81.61	10.44	58.01	9.75	11.0
SC31	LP3A	67.23	35.93	26.70	52.81	21.0
SC32	LP2A	80.50	25.68	67.98	74.17	22.0

จากตารางที่ 4.12 จะเห็นความสัมพันธ์ของการใช้กำลังไฟฟ้ากับผู้ใช้บริการและอุณหภูมิที่หลากหลาย แต่ในกรณีของความชื้นนั้นจะมีความสัมพันธ์ในระดับที่ต่ำ แสดงให้เห็นว่าการใช้ไฟฟ้าของวงจรรย่อในโรงพยาบาลที่สนใจนั้นมีลักษณะการใช้ไฟฟ้าที่ไม่ขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงของความชื้น จึงไม่นำข้อมูลความชื้นมาพิจารณา สำหรับการวิเคราะห์ขั้นต่อไปของวิทยานิพนธ์นี้

ข้อสังเกตคือ ในบางวงจรรย่อเช่น SC32 “LP2A” นั้นหากวิเคราะห์สหสัมพันธ์ของอุณหภูมิโดยไม่แบ่งวันหยุดวันทำงานจะได้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์น้อย 25.68% แต่หากแบ่งวิเคราะห์ระหว่างวันหยุดและวันทำงานแล้วจะได้ค่าสูงขึ้นทั้งวันหยุดและวันทำงาน เนื่องจากลักษณะของภาระไฟฟ้าทั้งวันหยุดและวันทำงานนั้นเป็นภาระไฟฟ้าที่ขึ้นกับอุณหภูมิทั้งคู่แต่ต่างกันที่ปริมาณที่ใช้เพราะจำนวนผู้ใช้ที่เข้ามาใช้งานแตกต่างกัน เมื่อนำมาวิเคราะห์รวมกันความแตกต่างของจำนวนผู้ใช้งานทำให้ค่าความสัมพันธ์ระหว่างการใช้ไฟฟ้ากับอุณหภูมिन้อยลงไปด้วย แต่หากแบ่งวิเคราะห์วันทำงานหรือวันหยุดแล้วจะทำให้ความแตกต่างของผู้ใช้งานอาคารน้อยลงและผลของอุณหภูมิจะสูงขึ้น

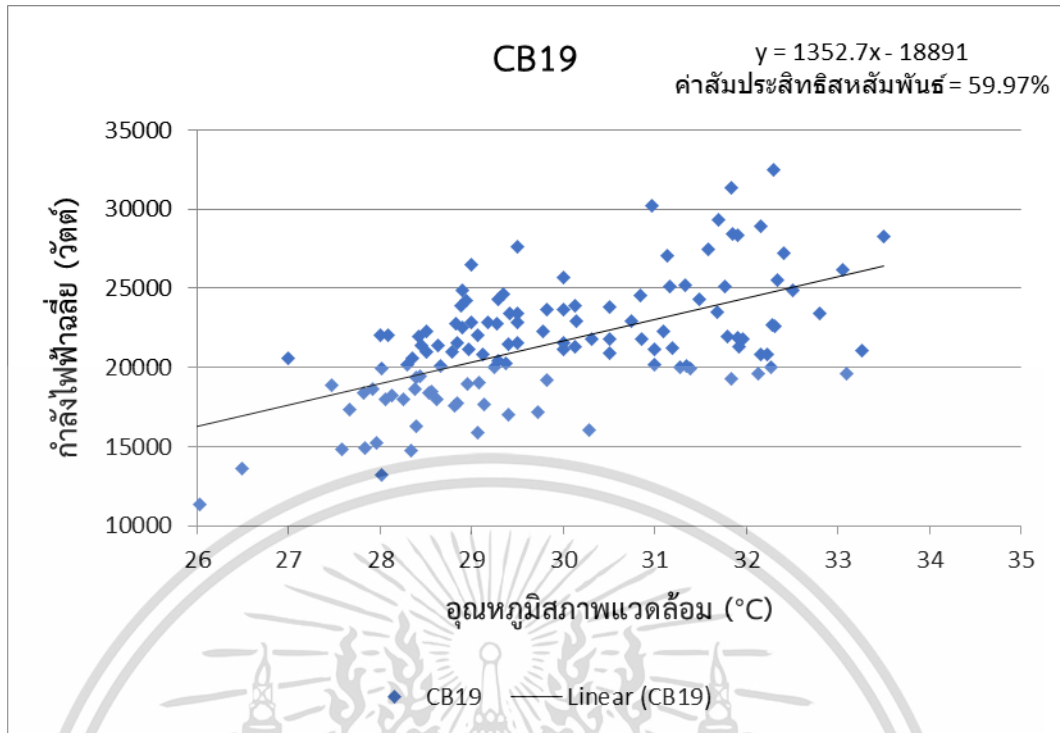
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลข้างต้น วิทยานิพนธ์นี้จะทำการเลือกวงจรรย่อย SC19 และ SC32 เพื่อนำเสนอแนวทางการวิเคราะห์และประมาณความต้องการไฟฟ้าพร้อมทั้งขอบเขตเบื้องต้น เนื่องจากเป็นวงจรที่มีสัดส่วนภาระไฟฟ้าค่อนข้างสูง และมีความสัมพันธ์กับจำนวนผู้ใช้บริการและอุณหภูมิ ดังรูปที่ 4.22-4.26 โดย SC19 จะไม่มีการแบ่งกลุ่มลักษณะการใช้กำลังไฟฟ้าตามวันหยุดวันทำงาน และ SC32 จะมีการแบ่งกลุ่มลักษณะการใช้กำลังไฟฟ้าตามวันหยุดวันทำงาน

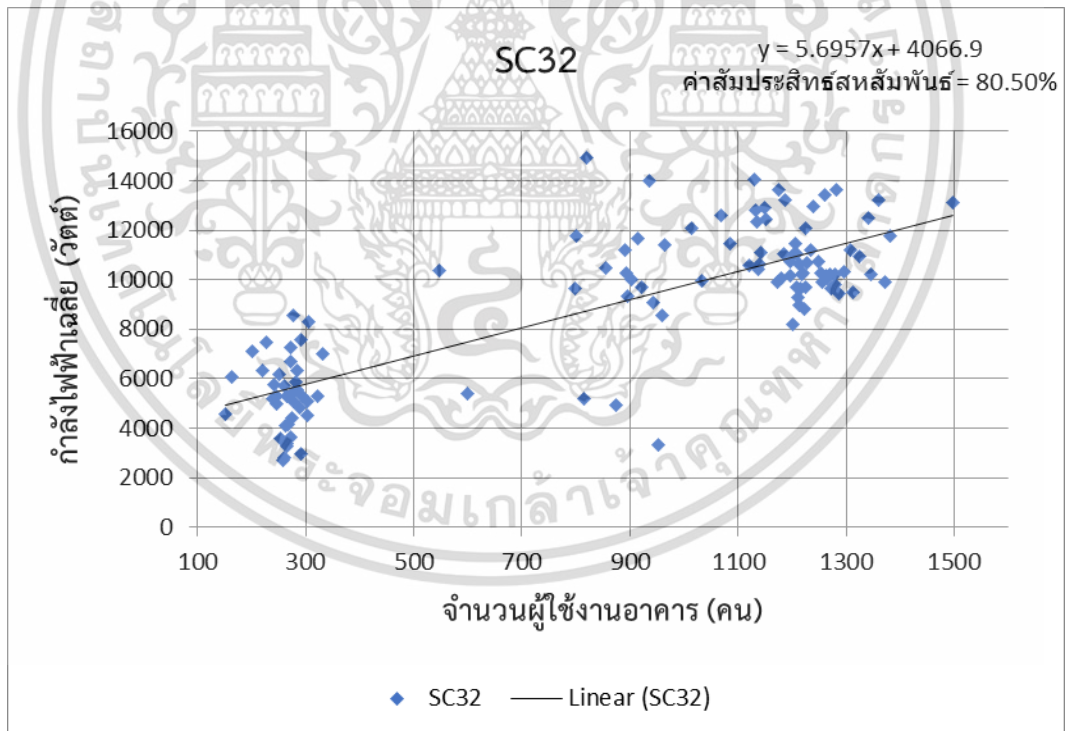


รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังไฟฟ้าของวงจรรย่อย SC19 และจำนวนผู้ใช้งานอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

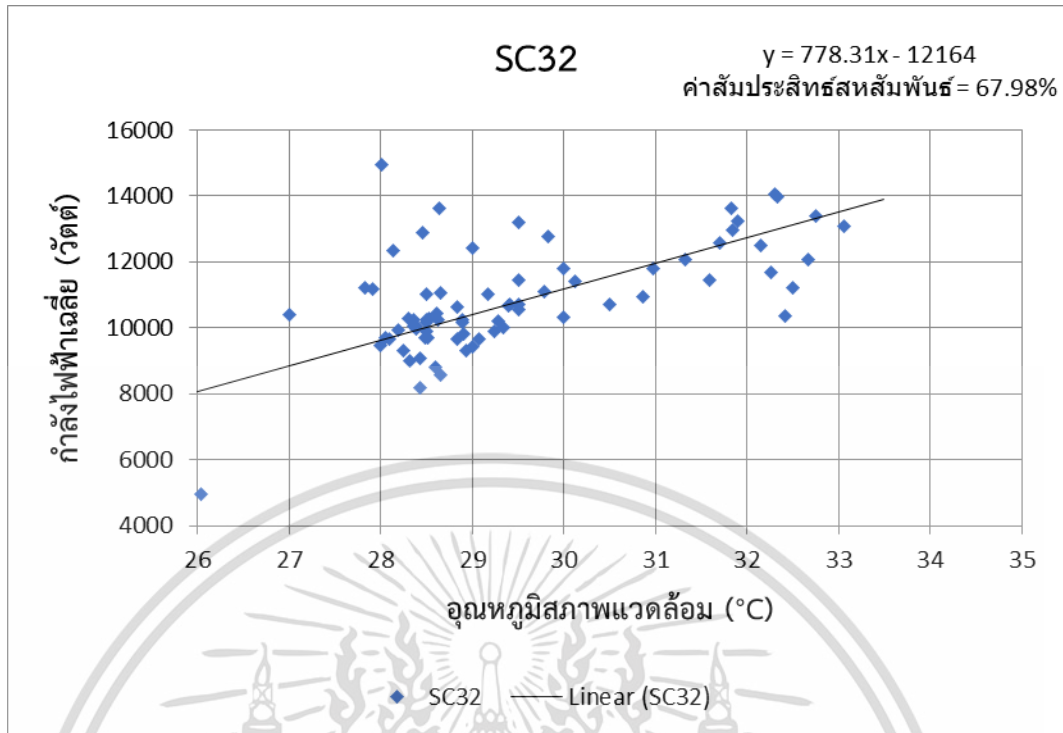


รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังไฟฟ้าของวงจรรย่อย SC19 และอุณหภูมิสภาพอากาศ

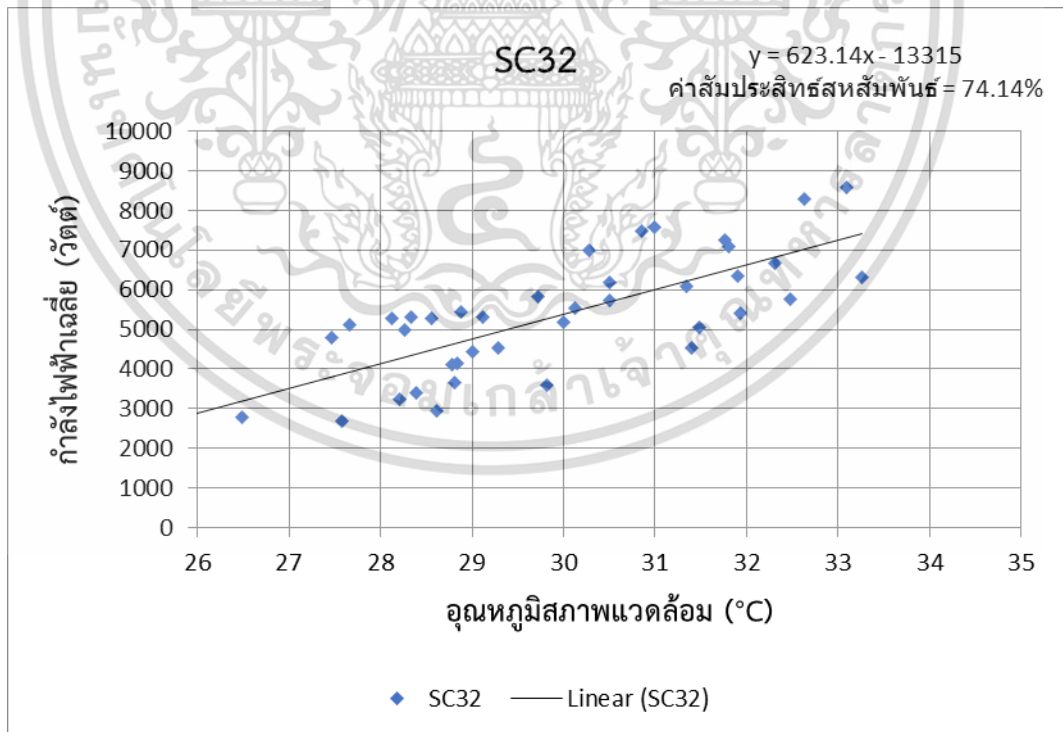


รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังไฟฟ้าของวงจรรย่อย SC32 และจำนวนผู้ใช้งานอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังไฟฟ้าของวงจรย่อย SC32 และอุณหภูมิสภาพอากาศ (วันทำงาน)



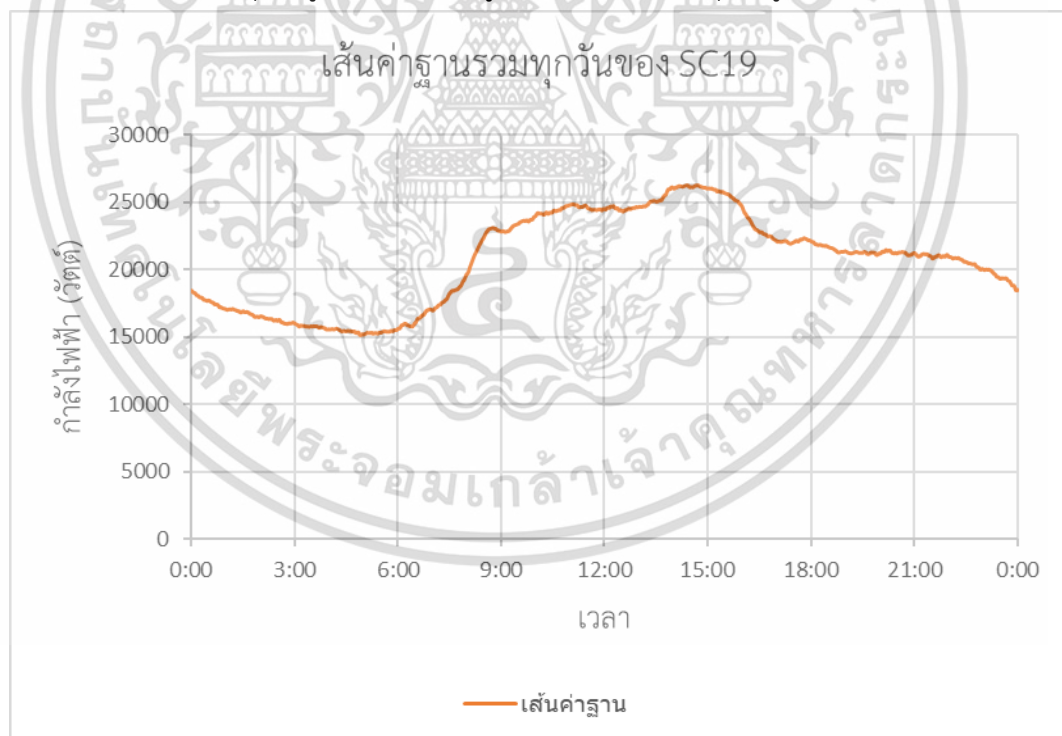
รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังไฟฟ้าของวงจรย่อย SC32 และอุณหภูมิสภาพอากาศ (วันหยุด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 การสร้างเส้นค่าฐานการใช้กำลังไฟฟ้าและขอบเขต

หลังจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของไฟฟ้ากับจำนวนผู้ใช้งานอาคารและอุณหภูมิแล้ว ขั้นต่อไป คือ การสร้างเส้นค่าฐานการใช้ไฟฟ้าเพื่อดูลักษณะการใช้กำลังไฟฟ้าของแต่ละวงจรรย่อย ในงานวิทยานิพนธ์นี้มีข้อมูลบันทึกการใช้ไฟฟ้าทั้งหมด 6 เดือน จาก มกราคม ถึง มิถุนายน จึงได้ใช้ข้อมูลตั้งแต่เดือนที่ 1 ถึง 5 ในการสร้างเส้นค่าฐานการใช้ไฟฟ้าแล้วนำมาประมาณการใช้ไฟฟ้าในเดือนที่ 6 เพื่อศึกษาการประมาณลักษณะความต้องการไฟฟ้าที่ควรเป็นเบื้องต้น

รูปที่ 4.23 เป็นตัวอย่างการวิเคราะห์หาลักษณะค่าฐานการใช้ไฟฟ้าและขอบเขตของ SC19 โดยสร้างจากค่าเฉลี่ยของข้อมูลตั้งแต่เดือนที่ 1 (มกราคม) ถึงเดือนที่ 5 (พฤษภาคม) จากตารางที่ 4.11 จะพบว่า วงจรรย่อยนี้มีลักษณะการใช้กำลังไฟฟ้าโดยไม่แบ่งวันหยุดวันทำงาน และจากตารางที่ 4.5 แผนกในชั้น 5 ของอาคาร คือ หอผู้ป่วยพิเศษที่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าแบบเปิดเครื่องปรับอากาศตลอดเวลาเนื่องจากหอผู้ป่วยพิเศษบริเวณชั้น 5 มีความต้องการใช้งานห้องพักสูงและมีผู้ป่วยใช้งานตลอดเวลา ดังนั้นจากรูปที่ 4.23 เส้นค่าฐานการใช้ไฟฟ้าที่ได้จึงมีการใช้ไฟฟ้าสูงอยู่ตลอดวัน โดยที่ช่วงเช้าจะมีการใช้กำลังไฟฟ้ามากกว่าช่วงกลางคืน เนื่องจากเครื่องปรับอากาศจะทำงานหนักในช่วงเช้าที่อุณหภูมิสภาพอากาศสูงกว่าช่วงกลางคืนที่อุณหภูมิสภาพอากาศต่ำกว่า



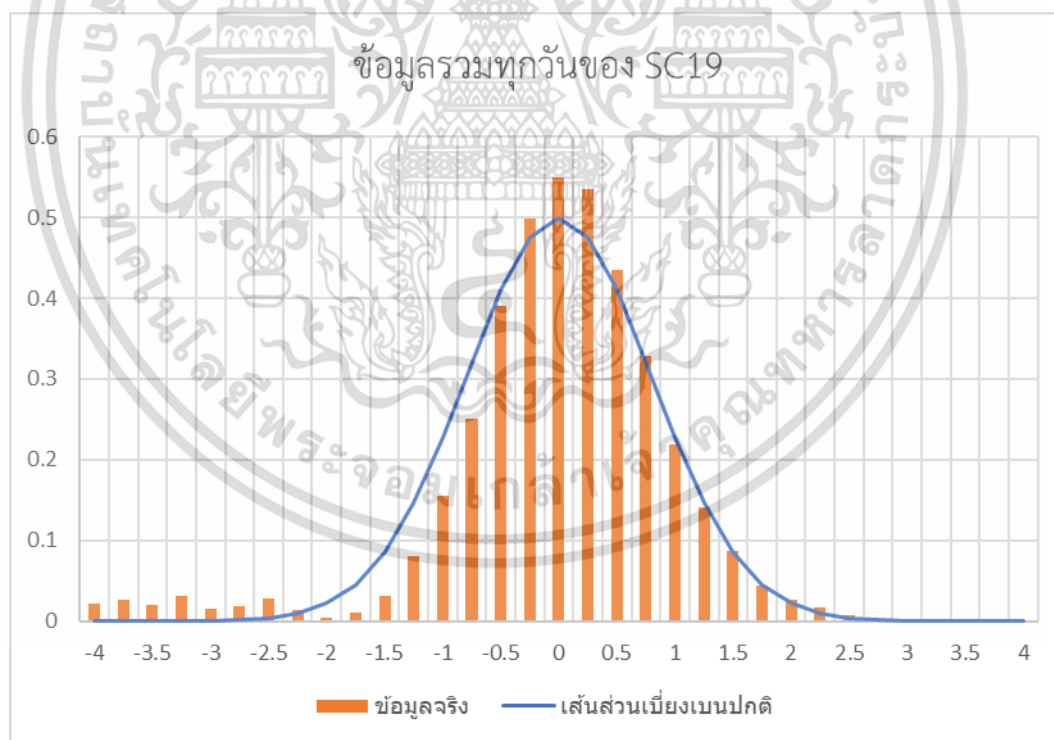
รูปที่ 4.27 เส้นค่าฐานการใช้ไฟฟ้าของ SC19 “New load center floor 5”

หลังจากที่ได้เส้นค่าฐานการใช้ไฟฟ้าแล้วต้องตรวจสอบการแจกแจงตัวของข้อมูลที่แจกแจงออกจากเส้นค่าฐานการใช้ไฟฟ้าที่สร้างขึ้นว่าเป็นการแจกแจงตัวแบบปกติหรือไม่ เบื้องต้นรูปที่ 4.28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

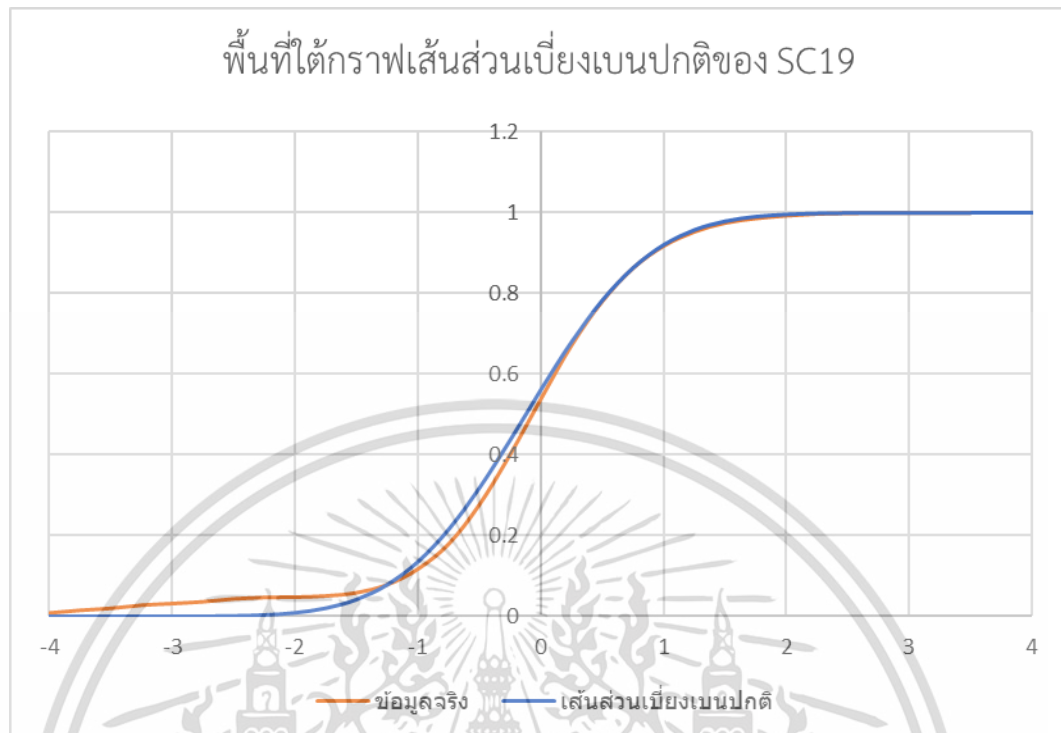
เป็นกราฟที่แสดงการแจกแจงตัวของข้อมูลการใช้กำลังไฟฟ้าของ SC19 โดยฮีสโตแกรมสีส้ม คือ ข้อมูลจริงที่ได้จากการสำรวจและเส้นสีฟ้าคือเส้นของเส้นการแจกแจงปกติ หากข้อมูลมีการแจกแจงปกติกราฟฮีสโตแกรมสีส้มจะตรงกับเส้นการแจกแจงปกติสีฟ้า โดยฮีสโตแกรมได้แบ่งช่วงของข้อมูลจริงออกเป็น 34 ช่วง หรือก็คือมีแท่งสีส้ม 34 แท่ง ทำให้ระดับของคามอิสระของข้อมูล (Degree of Freedom) มีค่าเท่ากับ 34

วิธีการตรวจสอบการแจกแจงตัวแบบปกติโดยวิธี Kolmogorov-Smirnov จะประเมินจากกราฟ ในรูปที่ 4.29 เป็นกราฟพื้นที่ใต้กราฟของการในรูปที่ 4.28 ต่อมาหาค่าความแตกต่างสูงสุดระหว่างกราฟสีส้มในรูปที่ 4.29 ที่ได้จากข้อมูลจริงกับกราฟสีน้ำเงินในรูปที่ 4.29 ที่เป็นกราฟพื้นที่ใต้กราฟของการแจกแจงปกติ หากข้อมูลมีการแจกแจงปกติ จากตารางที่ 2.1 เมื่อระดับของคามอิสระของข้อมูลมีค่าเท่ากับ 33 ทำให้มีค่าขนาดของตัวอย่างเท่ากับ 32 และระดับนัยสำคัญ 0.05 จะได้ค่าวิกฤต 0.234 หากค่าความแตกต่างของกราฟทั้ง 2 เกินค่าวิกฤตนี้จะแปลว่าเส้นค่าฐานการใช้ไฟฟ้าที่สร้างขึ้นนั้นไม่มีการแจกแจงตัวของข้อมูลแบบปกติ ซึ่ง SC19 มีค่า D 0.0421 น้อยกว่าค่าวิกฤต 0.234 ทำให้ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของ SC19 มีการแจกแจงตัวออกจากเส้นค่าฐานการใช้ไฟฟ้าที่สร้างขึ้นแบบปกติและสามารถใช้แทนข้อมูลชุดนี้ได้



รูปที่ 4.28 ฮีสโตแกรมของ SC19 (สีส้ม) เทียบกับเส้นส่วนเบี่ยงเบนปกติ (สีน้ำเงิน)

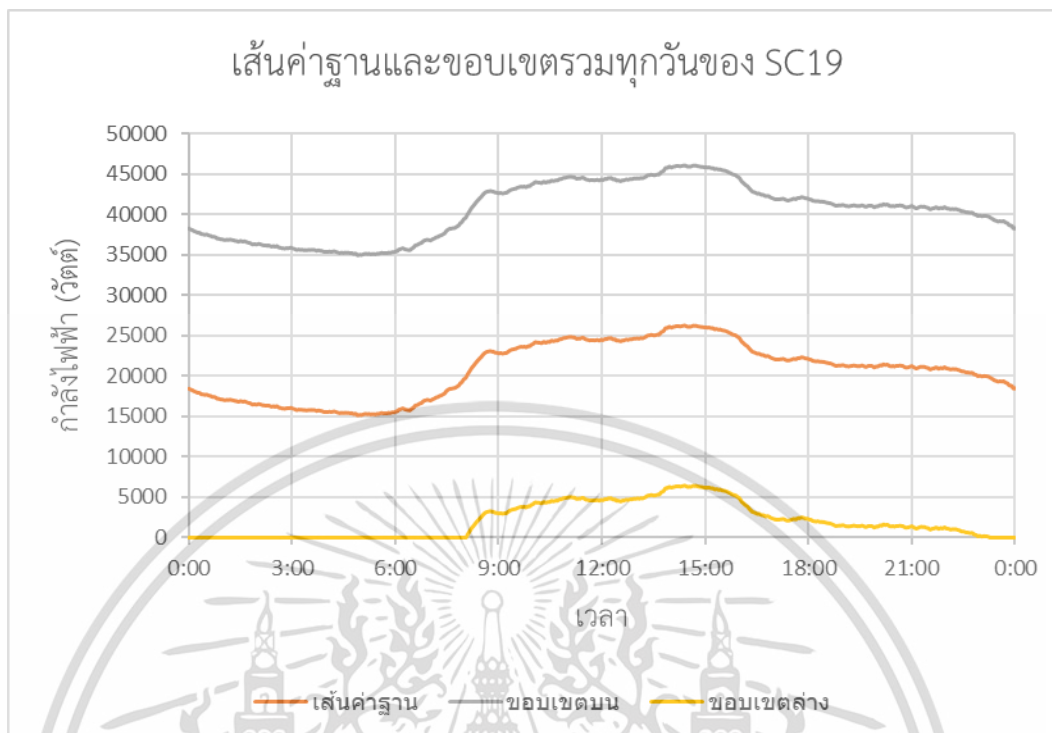
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.29 พื้นที่ใต้กราฟของเส้นแจกแจงของ SC19 และเส้นส่วนเบี่ยงเบนปกติ

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ SC19 มีค่าเท่ากับ 6604.06 เมื่อนำ 3 เท่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน มา บวก/ลบ กับ เส้นค่าเฉลี่ยเส้นค่าฐานการใช้ไฟฟ้างรูปที่ 4.25 จะได้เป็นเส้นค่าฐานการใช้ไฟฟ้าและขอบเขตของข้อมูลดังรูปที่ 4.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



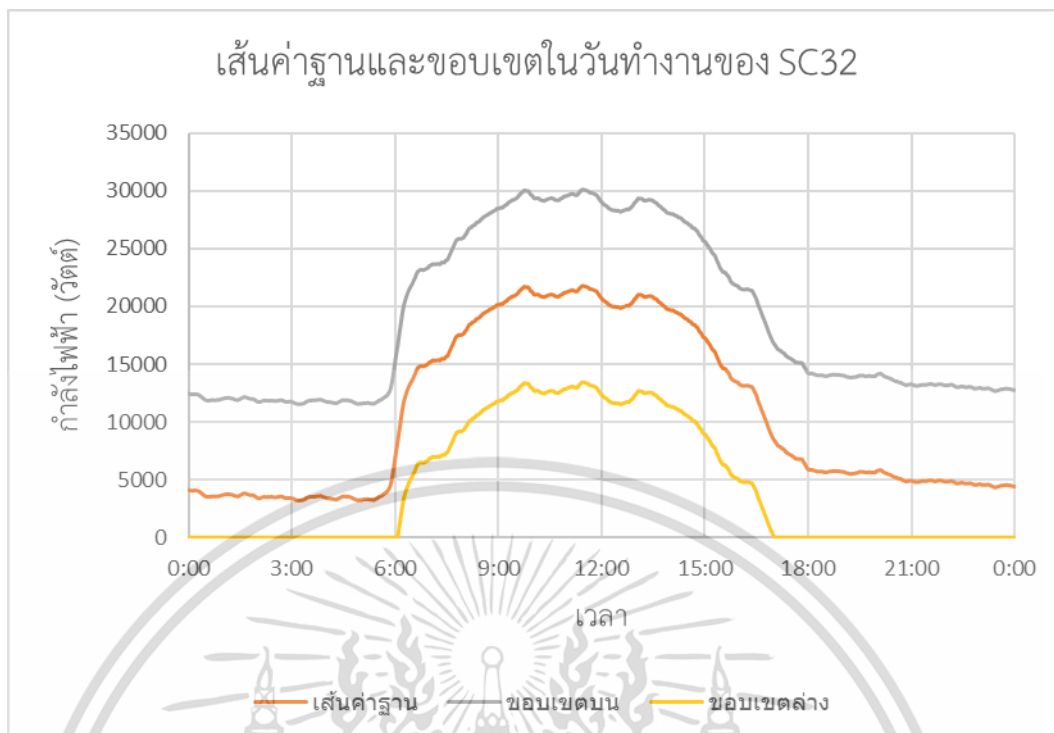
รูปที่ 4.30 เส้นค่าฐานการใช้ไฟฟ้าและขอบเขตของ SC19 “New load center floor 5”

สำหรับ วงจรย่อย SC32 ที่นำมาพิจารณาจะสามารถหาค่าฐานการใช้กำลังไฟฟ้าและขอบเขต นี้จะมีการพิจารณาแบ่งวันทำงานและวันหยุด โดยมีผลการทดสอบการแจกแจงปกติและค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานดังตารางที่ 4.13

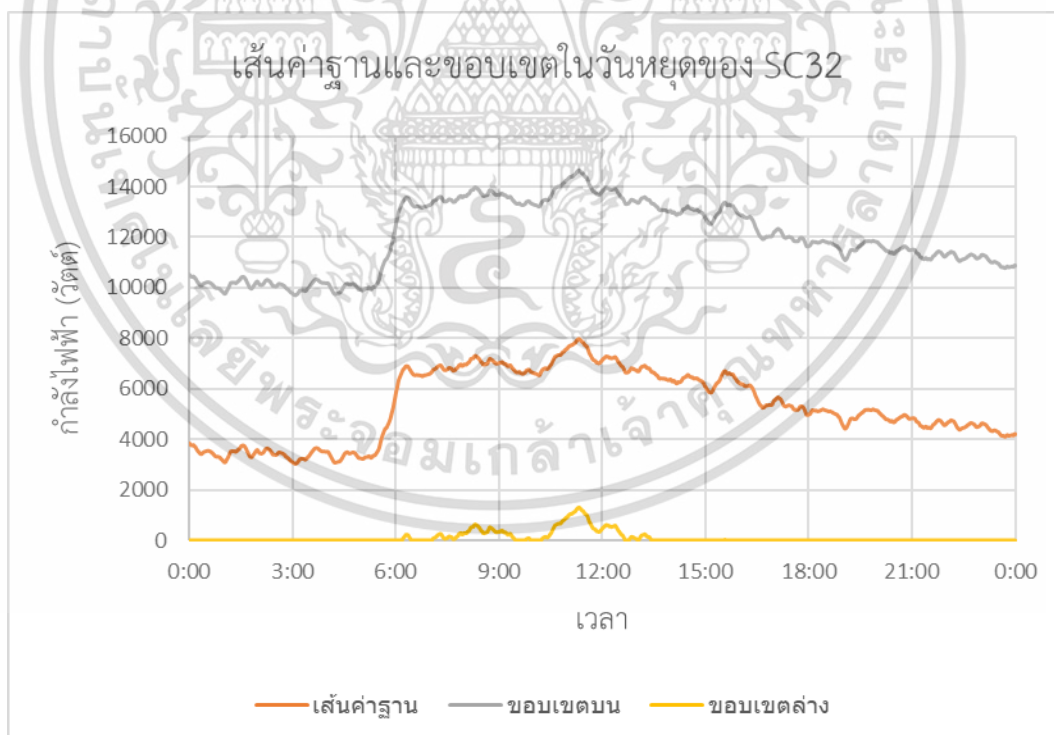
ตารางที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์ Kolmogorov-Smirnov

	ชื่อวงจรย่อย	D	เป็นการแจกแจงปกติ ($D < 0.234$)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน (วัตต์)
SC19	New load center floor 5	0.0421	เป็น	6604.06
SC32	LP2A	วันทำงาน	0.0850	เป็น
		วันหยุด	0.0413	เป็น

หลังจากการวิเคราะห์การแจกแจงตัวแบบปกติแล้ว ทำการหาค่าขอบเขตของข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของแต่ละวงจรย่อย โดยกำหนดให้ขอบเขตบนและขอบเขตล่างเป็น 3 เท่าของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน แสดงไว้ในรูปที่ 4.31 - 4.32



รูปที่ 4.31 เส้นค่าฐานการใช้ไฟฟ้าและขอบเขตของ SC32 “LP2A” (วันทำงาน)



รูปที่ 4.32 เส้นค่าฐานการใช้ไฟฟ้าและขอบเขตของ SC32 “LP2A” (วันหยุด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 การประมาณค่าความต้องการไฟฟ้า

หลังจากใช้ข้อมูลในเดือนที่ 1 ถึง 5 สร้างเส้นค่าฐานการใช้ไฟฟ้าและขอบเขตตั้งที่กล่าวมาในข้อที่ 4.2.3 แล้ว ขั้นตอนต่อไปเป็นการประมาณค่าความต้องการไฟฟ้ารายวันในเดือนที่ 6 ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณซึ่งจะพิจารณาจากสองตัวแปรที่เกี่ยวข้องจากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์นั้นคือ จำนวนผู้ใช้บริการและอุณหภูมิสภาพแวดล้อม และเมื่อได้ค่าประมาณความต้องการไฟฟ้าแล้วจะพิจารณาความผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percentage Error: MAPE) จากการประมาณค่าโดยสมการที่ 4.4

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|O_i - E_i|}{E_i} \times 100 \quad (4.4)$$

โดยที่ MAPE คือ ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยสัมบูรณ์

n คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมดที่มี

O_i คือ ค่าจากข้อมูลจริง

E_i คือ ค่าที่คาดว่าจะเป็น

- ประมาณค่าความต้องการไฟฟ้า SC19 “New load center floor 5”

การประมาณค่าความต้องการไฟฟ้าจะเริ่มต้นจากการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณของวงจรรย่อย SC19 ดังตารางที่ 4.14 เมื่อพิจารณา P-value จะเห็นว่า P-value ของทั้งตัวแปรจำนวนผู้ใช้บริการและตัวแปรอุณหภูมิสภาพแวดล้อม มีค่าต่ำกว่า ค่าวิกฤติ 0.05 ทุกค่า หมายถึง ทั้งสองตัวแปรมีความสำคัญต่อการประมาณค่าความต้องการไฟฟ้าสำหรับวงจรรย่อย SC19

ตารางที่ 4.14 การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณของ SC19 “New load center floor 5”

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value
จุดตัดแกน	-26967.67	4010.61	-6.72	6.04E-10
จำนวนผู้ใช้บริการ (X_1)	4.21	0.50	8.39	9.98E-14
อุณหภูมิ (X_2)	1506.00	131.39	11.46	4.31E-21

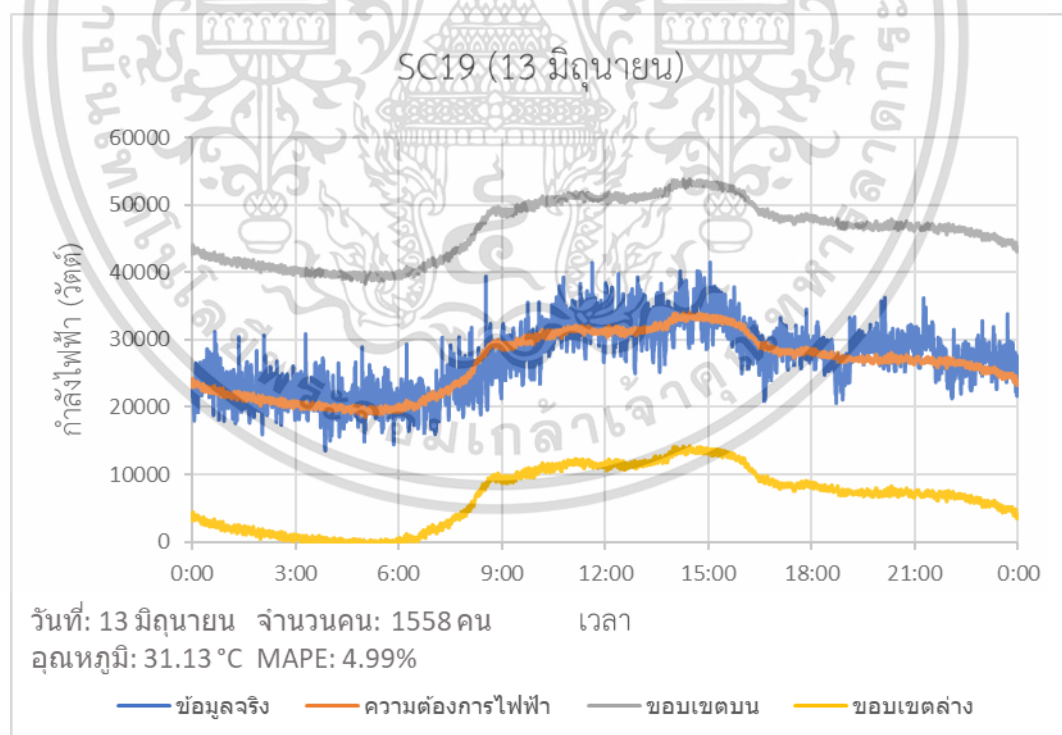
จากการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณดังตารางที่ 4.14 จะสามารถหาสมการความสัมพันธ์เพื่อประมาณค่าความต้องการไฟฟ้าจากสมการที่ 2.13 ดังสมการที่ 4.5

$$Y = -26967.67 + 4.21X_1 + 1506.00X_2 \quad (4.5)$$

โดยที่ Y คือ ความต้องการไฟฟ้าเฉลี่ยใน 1 วัน
 X_1 คือ จำนวนผู้ใช้อาคาร
 X_2 คือ อุณหภูมิสภาพอากาศ

เมื่อ $\beta_0 = -26967.67$, $\beta_1 = 4.21$ $\beta_2 = 1506.00$

ในการประมาณค่าความต้องการไฟฟ้า จะนำจำนวนผู้ใช้บริการและอุณหภูมิในวันที่ต้องการประมาณค่า มาคำนวณค่าความต้องการไฟฟ้าเฉลี่ย Y จากสมการ 4.5 ข้างต้น ในกรณีของวันที่ 13 มิถุนายน ซึ่งมีจำนวนผู้ใช้บริการ 1,558 คน และอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 31.13 องศาเซลเซียส จะสามารถคำนวณค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยที่ 26,466.09 วัตต์ หลังจากนั้นเปรียบเทียบกับค่าความต้องการไฟฟ้าเฉลี่ยของเส้นค่าฐานการใช้ไฟฟ้าที่ 20,732.10 วัตต์ จะได้อัตราส่วนเท่ากับ 1.2766 แล้วนำอัตราส่วนนี้ไปคูณปรับระดับให้เส้นค่าฐานการใช้ไฟฟ้าของวงจรร้อย SC19 ดังรูปที่ 4.30 จะได้เส้นประมาณค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าในวันที่ 13 มิถุนายนของวงจรร้อย SC19 พร้อมทั้งขอบเขตดังรูปที่ 4.33



รูปที่ 4.33 การประมาณความต้องการไฟฟ้ารายวัน ณ วันที่ 13 มิถุนายน 2562 ของวงจรร้อย SC19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.33 จะเห็นได้ว่าค่าความต้องการไฟฟ้าจากการประมาณการมีลักษณะที่ใกล้เคียงกับการใช้กำลังไฟฟ้าจริง และมีความผิดพลาดสัมบูรณ์ที่ 4.99 % และไม่มีการใช้กำลังไฟฟ้าเกินค่าประมาณการขอบเขตความต้องการไฟฟ้าที่ได้คำนวณตามวิธีที่นำเสนอข้างต้น

- ประมาณค่าความต้องการไฟฟ้า SC32 “LP2A”

ตารางที่ 4.15 เป็นผลการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณของวงจรรย่อย SC32 ซึ่งจะเห็นได้ว่าจำนวนผู้ใช้บริการและอุณหภูมิจะมีความสำคัญต่อปริมาณความต้องการไฟฟ้าในวันทำงาน แต่สำหรับวันหยุดแล้วความต้องการไฟฟ้าจะมีผลจากอุณหภูมิเพียงอย่างเดียวเท่านั้น

ตารางที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณของแต่ละวงจรรย่อย

ชื่อวงจรรย่อย		สัมประสิทธิ์			
		β_0 (จุดตัดแกน)	β_1 (จำนวนผู้ใช้บริการ)	β_2 (อุณหภูมิ)	
SC32	LP2A	วันทำงาน	-13392.91	1.4557	763.59
		วันหยุด	-13314.84	0	623.14

จากการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณดังตารางที่ 4.15 จะสามารถหาสมการความสัมพันธ์เพื่อประมาณค่าความต้องการไฟฟ้าจากสมการที่ 2.13 สำหรับวันทำงานได้ดังสมการที่ 4.6

$$Y = -13392.91 + 1.45X_1 + 763.59X_2 \quad (4.6)$$

โดยที่ Y คือ ความต้องการไฟฟ้าเฉลี่ยใน 1 วัน

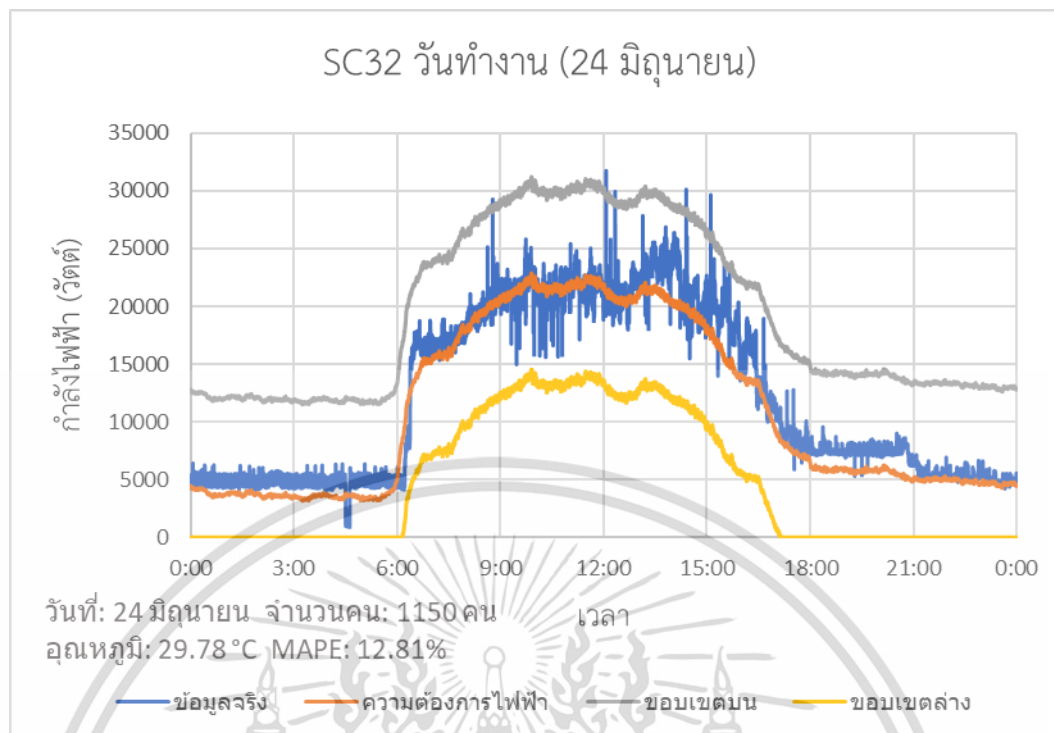
X_1 คือ จำนวนผู้ใช้อาคาร

X_2 คือ อุณหภูมิสภาพอากาศ

เมื่อ $\beta_0 = -13392.91$, $\beta_1 = 1.45$, $\beta_2 = 763.59$

ในการประมาณค่าความต้องการไฟฟ้าของวงจรรย่อย SC32 ในวันทำงาน ที่มีจำนวนผู้ใช้บริการ 1,150 คน และอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 29.78 องศาเซลเซียส จะสามารถใช้สมการที่ 4.6 คำนวณความต้องการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยได้ 11,014.30 วัตต์ หลังจากนั้นเปรียบเทียบกับค่าความต้องการไฟฟ้าเฉลี่ยของเส้นค่าฐานการใช้ไฟฟ้าในวันทำงานของวงจรรย่อย SC32 ที่ 10,707.60 วัตต์ จะได้อัตราส่วนเท่ากับ 1.0269 แล้วนำอัตราส่วนนี้ไปคูณปรับระดับให้เส้นค่าฐานการใช้ไฟฟ้าของวงจรรย่อยในวันทำงาน SC32 ดังรูปที่ 4.31 จะได้เส้นประมาณค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าในวันที่ 24 มิถุนายนของวงจรรย่อย SC32 พร้อมทั้งขอบเขตดังรูปที่ 4.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.34 การประมาณความต้องการไฟฟ้ารายวัน ณ วันที่ 24 มิถุนายน 2562 ของวงจรรย่อย SC32

จากรูปที่ 4.34 จะเห็นได้ว่าค่าความต้องการไฟฟ้าจากการประมาณการมีลักษณะที่ใกล้เคียงกับการใช้กำลังไฟฟ้าจริง และมีความผิดพลาดสัมบูรณ์ที่ 12.81 % และมีการใช้กำลังไฟฟ้าเกินค่าประมาณการขอบเขตความต้องการไฟฟ้าที่ได้คำนวณตามวิธีที่นำเสนอข้างต้นไม่กี่ค่าในช่วงกลางวันทำให้ตรวจสอบเวลาและวงจรรย่อยที่มีการใช้ไฟฟ้าเกินขอบเขตได้

และจากการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณดังตารางที่ 4.15 จะสามารถหาสมการความสัมพันธ์เพื่อประมาณค่าความต้องการไฟฟ้าจากสมการที่ 2.13 สำหรับวันหยุดได้ดังสมการที่ 4.7

$$Y = -13314.84 + 623.14X_2 \quad (4.7)$$

โดยที่ Y คือ ความต้องการไฟฟ้าเฉลี่ยใน 1 วัน

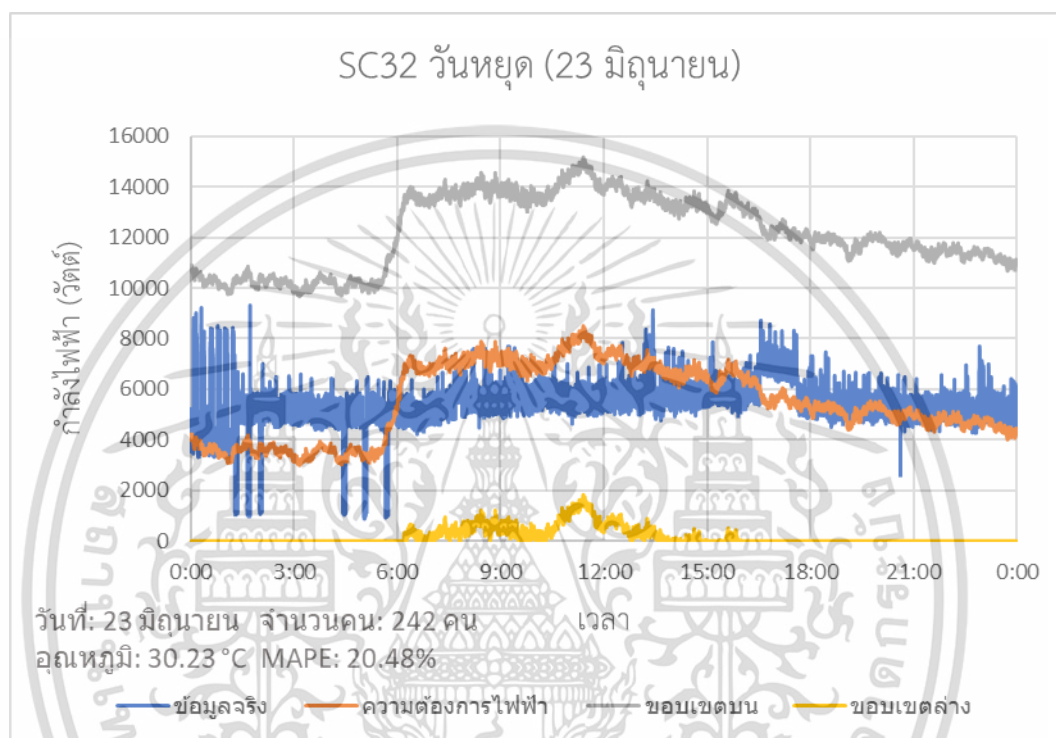
X_2 คือ อุณหภูมิสภาพอากาศ

เมื่อ $\beta_0 = -13314.84$, $\beta_1 = 0$, $\beta_2 = 623.14$

ในการประมาณค่าความต้องการไฟฟ้าของวงจรรย่อย SC32 ในวันหยุด ที่มีจำนวนผู้ใช้บริการ 242 คน และอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 30.23 องศาเซลเซียส จะสามารถใช้สมการที่ 4.7 จะเห็นว่าไม่ใช้จำนวนผู้ใช้งานและใช้อุณหภูมิในการประมาณค่าความต้องการไฟฟ้า ซึ่งคำนวณความต้องการใช้ไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฉลี่ยได้ 5,522.68 วัตต์ หลังจากนั้นเปรียบเทียบกับค่าความต้องการไฟฟ้าเฉลี่ยของเส้นค่าฐานการใช้ไฟฟ้าในวันหยุดของวงจรรย่อย SC32 ที่ 5,351.91 วัตต์ จะได้อัตราส่วนเท่ากับ 1.0319 แล้วนำอัตราส่วนนี้ไปคูณปรับระดับให้เส้นค่าฐานการใช้ไฟฟ้าของวงจรรย่อยในวันหยุด SC32 ดังรูปที่ 4.32 จะได้เส้นประมาณค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าในวันที่ 23 มิถุนายนของวงจรรย่อย SC32 พร้อมทั้งขอบเขตดังรูปที่ 4.35



รูปที่ 4.35 การประมาณค่าความต้องการไฟฟ้ารายวัน ณ วันที่ 23 มิถุนายน 2562 ของวงจรรย่อย SC32

รูปที่ 4.35 จะเห็นว่าเส้นประมาณค่าความต้องการใช้ไฟฟ้าสามารถประมาณค่าการใช้ไฟฟ้าจริงในวันที่ 23 มิถุนายน ของ SC32 “LP2A” ในวันหยุดได้และไม่มีค่าเกินขอบเขตโดยมีค่าความผิดพลาดอยู่ที่ 20.48% โดยข้อสังเกตของวงจรรย่อยนี้ในวันหยุด คือ มีการใช้ไฟฟ้าขั้นต่ำประมาณ 5,000 วัตต์ตลอดเวลา เกิดจากภาระไฟฟ้าชนิดตู้เย็นและตู้แช่เช่นเดียวกับ SC30 “LP5” และเมื่อสังเกตจากเส้นค่าฐานการใช้ไฟฟ้าสีส้มจะเห็นว่าแม้เป็นวันหยุดยังมีการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาทำงานเช่นกัน เนื่องจากแผนก ICU ห้องล้างไตมีการใช้งานทุกวัน ไม่ว่าจะวันหยุดหรือวันทำงานและห้องผ่าตัดจะมีการเปิดใช้งานบางครั้งที่มีผู้ป่วยใช้บริการ

เมื่อทำการประมาณค่าความต้องการไฟฟ้าของวงจรรย่อย SC19 และ SC32 ตลอดเดือน มิถุนายน 2562 แล้วนำมาคำนวณความผิดพลาดสัมบูรณ์และสัดส่วนจำนวนข้อมูลที่เกินขอบเขตได้ดังตารางที่ 4.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.16 ค่าความผิดพลาดจากการประมาณค่าของแต่ละวงจรรย่อย

ชื่อวงจรรย่อย		ค่าความผิดพลาดเฉลี่ย (%)	สัดส่วนข้อมูลที่เกินขอบเขต (%)
SC19	New load center floor 5	13.37	0.00
SC32	LP2A	วันทำงาน	3.87
		วันหยุด	4.01

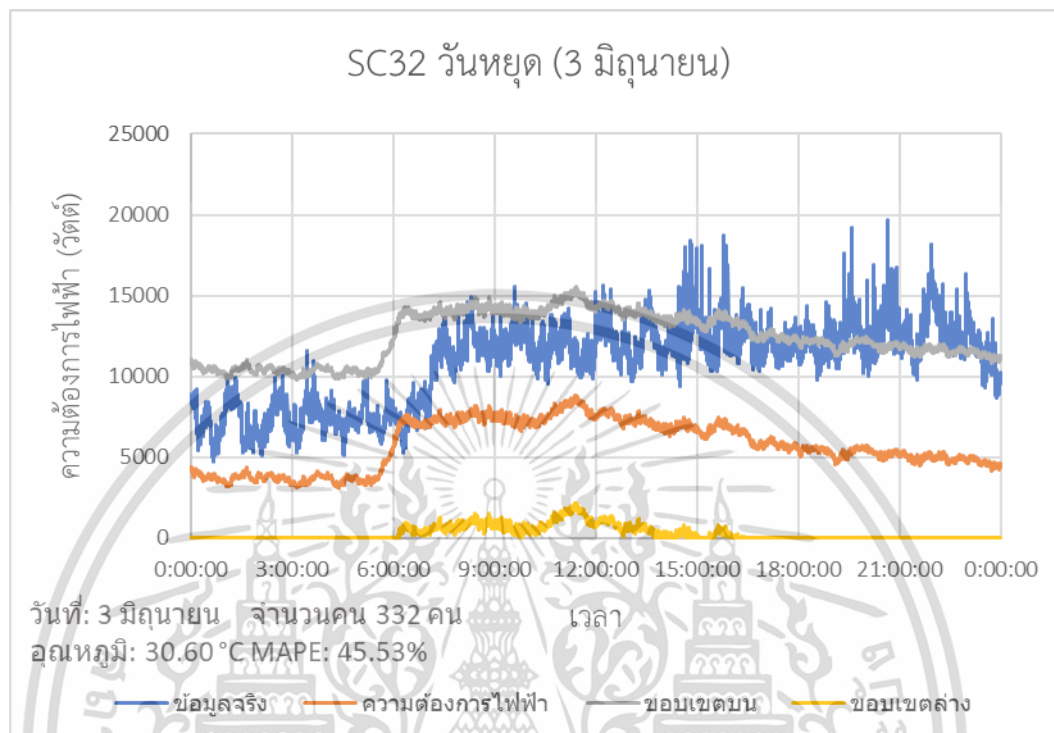
จากตารางที่ 4.16 ค่าความผิดพลาดในการประมาณค่าความต้องการไฟฟ้าในแต่ละวงจรรย่อย จะมีความมากหรือน้อยแตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้กำลังไฟฟ้าของวงจรรย่อยนั้น ๆ หากเป็นวงจรรย่อยที่มีลักษณะการใช้กำลังไฟฟ้าคงตัว เช่น เครื่องปรับอากาศ ตู้เย็นและตู้แช่จะทำให้ง่ายต่อการประมาณค่าความต้องการ แต่หากเป็นวงจรรย่อยที่มีลักษณะการใช้กำลังไฟฟ้าขึ้น ๆ ลงตามพฤติกรรมของผู้ใช้ไฟฟ้า เช่น เครื่องมือทางการแพทย์หรืออุปกรณ์ที่ใช้เป็นบางครั้ง จะทำให้มีค่าความผิดพลาดที่สูงขึ้น สำหรับสัดส่วนของข้อมูลที่เกินขอบเขตแสดงถึงสัดส่วนของพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าในเดือนมิถุนายนที่ผิดไปจากการใช้กำลังไฟฟ้าระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนพฤษภาคม ทำให้การใช้กำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจริงเกินขอบเขตความต้องการไฟฟ้าที่ประมาณการไว้ ซึ่งวงจรรย่อย SC19 จะไม่มีการใช้กำลังไฟฟ้าที่เกินขอบเขตที่ประมาณการไว้ แต่สำหรับวงจรรย่อย SC32 ทั้งในวันหยุดและวันทำงานจะมีสัดส่วนจำนวนการใช้กำลังไฟฟ้าที่เกินการประมาณการขอบเขตความต้องการไฟฟ้าในวันทำงานและในวันหยุดที่ 3.87% และ 4.01% ตามลำดับ

4.2.5 การประเมินความผิดปกติของการใช้กำลังไฟฟ้าตามเวลาจริง

การประมาณค่าความต้องการไฟฟ้าที่ได้นำเสนอข้างต้น จะต้องทำการประมาณ 1 วันล่วงหน้าเพื่อนำมาประเมินความผิดปกติจากการใช้กำลังไฟฟ้าตามเวลาจริง เนื่องจากข้อมูลจำนวนผู้ใช้บริการซึ่งมีผลต่อการประมาณความต้องการไฟฟ้าจะไม่สามารถทราบได้ตามเวลาจริง ทำให้ยากต่อการประมาณที่ถูกต้องแม่นยำได้ ณ ขณะนั้น สำหรับแนวทางการประเมินความผิดปกติของการใช้กำลัง ณ เวลาจริง มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

จากการประมาณค่าความต้องการไฟฟ้าและขอบเขตของแต่ละวงจรรย่อย ทำให้สามารถประเมินความผิดปกติที่เกิดขึ้นจากการใช้ไฟฟ้าได้ เช่น กรณีของวงจรรย่อย SC32 วันที่ 3 มิถุนายน 2562 ค่าความต้องการไฟฟ้าและขอบเขตจะถูกประมาณล่วงหน้า 1 วันดังรูปที่ 4.36 และ ณ เวลาจริงระบบตรวจติดตามกำลังไฟฟ้าที่นำเสนอจะสามารถบันทึกค่าการใช้กำลังไฟฟ้าได้ตามเวลาจริง จะเห็นว่าในช่วงเวลาเย็นจนถึงเที่ยงคืนมีการใช้กำลังไฟฟ้าสูงมากกว่าขอบเขตบนแล้วยังมีการใช้กำลังไฟฟ้าที่สูงขึ้นอย่างมากเป็นครั้งคราว ซึ่งเมื่อเกิดเหตุการณ์นี้ ณ เวลาจริงวิศวกรผู้ดูแลอาคารจะสามารถเห็นความผิดปกตินี้และต้องทำการตรวจสอบกับผู้ใช้ไฟฟ้าของวงจรรย่อย SC32 ว่ามีการใช้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟฟ้าที่ผิดปกติหรือไม่ หากไม่มีวิศวกรผู้ดูแลอาคารก็จะต้องตรวจสอบความผิดปกติของการใช้กำลังไฟฟ้าเนื่องมาจากอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ต่อไป



รูปที่ 4.36 การประมาณความต้องการไฟฟ้ารายวัน ณ วันที่ 3 มิถุนายน 2562 ของวงจรรย่อย SC32

จะเห็นว่าระบบที่ได้ออกแบบจัดทำขึ้นนั้นสามารถที่จะระบุตำแหน่งและช่วงเวลาที่เกิดพฤติกรรมการใช้กำลังไฟฟ้าที่ผิดปกติได้ หากนำข้อมูลนี้ไปประกอบการพิจารณาตัดสินใจการบริหารโรงพยาบาล จะช่วยให้ผู้บริหารทราบถึงสาเหตุของความผิดปกติ ทวนสอบปัญหาที่เกิดขึ้นและสามารถแก้ไขได้อย่างทันท่วงที ทำให้มีระบบการบริหารจัดการการใช้ไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลวิทยานิพนธ์

5.1 การออกแบบและจัดทำระบบตรวจติดตามการใช้ไฟฟ้าตามเวลาจริง

5.1.1 ความสามารถของระบบตรวจติดตามการใช้กำลังไฟฟ้า

วิทยานิพนธ์นี้มีจุดประสงค์ในการศึกษาออกแบบและสร้างเครื่องติดตามการใช้กำลังไฟฟ้าที่สามารถบันทึกค่าพารามิเตอร์การใช้ไฟฟ้าของอาคารโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยบูรพา ซึ่งสามารถบันทึกค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า ค่าประกอบกำลังไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าปรากฏได้ ซึ่งระบบตรวจติดตามการใช้กำลังไฟฟ้าที่ออกแบบสามารถบันทึกค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของวงจรย่อยได้ทั้งหมด 32 วงจร โดยบันทึกค่าทุก ๆ 1 วินาที มีค่าความผิดพลาดไม่เกิน 2% และมีความสมบูรณ์ในการจัดเก็บข้อมูลอยู่ที่ 86.96% ทำให้สามารถตรวจวัดการใช้กำลังไฟฟ้าได้ในทุกลักษณะภาระไฟฟ้าของอาคารโรงพยาบาล นอกจากนี้ระบบที่ออกแบบสามารถส่งข้อมูลส่วนหนึ่งเข้าสู่ฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ ทำให้สามารถเข้าถึงข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของอาคารโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยได้ทุกที่ตลอดเวลาผ่านอินเทอร์เน็ตโดยมีความสมบูรณ์ของข้อมูลในฐานข้อมูลบนอินเทอร์เน็ตอยู่ที่ 59.40% และมีวงจรที่ใช้ในการบันทึกค่าพารามิเตอร์สภาพแวดล้อมที่บันทึกค่าอุณหภูมิและความชื้นของอาคารไว้ทำให้สามารถติดตามพารามิเตอร์อุณหภูมิและความชื้นและยังแสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงแบบตามเวลาภายใน 1 วันได้

5.1.2 ประเมินกิจกรรมรณรงค์จากข้อมูลของโรงพยาบาล

ด้วยการติดตั้งบันทึกค่าการใช้ไฟฟ้าแต่ละวงจรย่อยในห้องไฟฟ้า ทำให้สามารถศึกษาและวิเคราะห์การใช้ไฟฟ้าแยกแต่ละชั้นของอาคารและแยกแต่ละแผนกได้ จากการสอบถามผู้ใช้งานอาคารทราบว่าปัญหาของการรณรงค์เรื่องการประหยัดไฟฟ้านั้นเกิดจากการที่ไม่สามารถระบุการใช้ปริมาณไฟฟ้าในแต่ละจุดแต่ละแผนกและไม่มีตัวชี้วัดของกิจกรรมที่จัดขึ้นแล้วส่งผลต่อการลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอาคารมากนักน้อยเพียงใด เช่น การรณรงค์ให้คนเดินขึ้นลงบันไดเพื่อลดการใช้ลิฟต์ส่งผลต่อการใช้ไฟฟ้าของอาคารรวมหรือไม่ โดยพิจารณาจากตารางที่ 4.7 จะเห็นว่าวงจรย่อยที่มีภาระไฟฟ้าเป็นลิฟต์มีอยู่ด้วยกัน 2 วงจร นั่นคือ SC2 “Lift-G” และ SC18 “LIFT” พบว่า สัดส่วนภาระไฟฟ้า SC2 “Lift-G” คิดเป็น 0.58% และ SC18 “LIFT” คิดเป็น 0.68% ของการใช้ไฟฟ้ารวมทั้งอาคารโรงพยาบาล ส่งผลให้กิจกรรมที่รณรงค์ลดการใช้งานลิฟต์อาจสามารถลดการใช้ไฟฟ้าของอาคารลงได้บ้างแต่ส่งผลกับภาพรวมการใช้ไฟฟ้าของอาคารทั้งหมดน้อยมาก อีกปัญหาคือไม่สามารถระบุได้อย่างชัดเจนว่าชั้นไหนหรือแผนกใดที่มีการใช้ไฟฟ้าสูงและมีการใช้ไฟฟ้าสูงในช่วงเวลาใด ด้วยระบบตรวจติดตามไฟฟ้าที่ได้ออกแบบนี้สามารถระบุได้ว่าวงจรย่อยที่อยู่ในบริเวณชั้น 5

ประกอบไปด้วย 2 วงจร คือ SC19 “New load center floor 5” และ SC30 “LP5” ซึ่งจากทั้ง 2 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบให้กับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อข้อมูลใดเห็นเป็นประโยชน์ในการศึกษาไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรตามตารางที่ 4.7 จะเห็นว่ามีส่วนภาระไฟฟ้าอยู่ที่ 11.75% และ 5.96% เมื่อเทียบกับวงจรย่อยที่มีการใช้กำลังไฟฟ้ารองลงมาคือ SC3 “LP1G” มีส่วนภาระไฟฟ้าอยู่ที่ 6.17% แสดงให้เห็นว่า SC19 มีการใช้กำลังไฟฟ้ามากกว่าเป็นเท่าตัว และจากการวิเคราะห์เส้นค่าฐานการใช้ไฟฟ้าของ SC30 จะเห็นว่าการปิดเครื่องปรับอากาศในช่วงพักกลางวันทำให้การใช้ไฟฟ้าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ภาระไฟฟ้าชนิดเครื่องปรับอากาศเป็นชนิดที่มีการใช้ไฟฟ้าสูงสุดในอาคารหากต้องการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลง กิจกรรมที่เริ่มจากเครื่องปรับอากาศจะส่งผลกระทบต่อภาพรวมการใช้ไฟฟ้าของอาคารมากที่สุด

5.1.3 เปรียบเทียบราคา

ระบบที่ได้ออกแบบนั้นสามารถที่จะทำงานได้ตรงตามได้ออกแบบไว้และมีต้นทุนต่ำเมื่อเทียบกับอุปกรณ์วัดทั่วไปในลักษณะการใช้งานที่เหมือนกัน ทำให้ระบบมีราคาที่เหมาะสมกว่าและมีความน่าเชื่อถือสามารถทำงานได้ตามงานที่ได้ออกแบบไว้และยังสามารถเข้าถึงข้อมูลผ่านทางฐานข้อมูลบนอินเทอร์เน็ตได้ จากตารางที่ 5.1 ราคาของระบบตรวจติดตามไฟฟ้าตามท้องตลาดมีค่าใช้จ่ายรวมจำนวน 336,771 บาท โดยยังไม่รวมราคาติดตั้ง เมื่อเทียบกับระบบติดตามไฟฟ้าที่ได้จัดทำขึ้นในตารางที่ 5.2 มีค่าใช้จ่ายรวม 84,000 บาท ซึ่งมีราคาถูกกว่าระบบในท้องตลาดถึง 252,771 บาท จากการสอบถามผู้บริหารโรงพยาบาลที่มีบริษัทมาเสนอราคากระบบตรวจวัดไฟฟ้าของอาคารโรงพยาบาลได้รับการเสนอราคาที่สูงถึง 10,000,000 บาท จะเห็นได้ว่าระบบที่ออกแบบนี้มีค่าใช้จ่ายต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญและยังสามารถออกแบบระบบให้เหมาะสมกับสภาพงานของแต่ละพื้นที่ได้

ตารางที่ 5.1 ราคาของระบบตรวจติดตามไฟฟ้าในท้องตลาด

รายชื่อของ	จำนวนที่ ต้องการ	ราคาต่อหน่วย (บาท)	ราคารวมต่อรายการ (บาท)
Data Logger & IoTs (PC)	1	20,000	20,000
Energy Meter (YTL D516006)	32	3,000	96,000
CT (TP-58 250/5A SALZER)	66	1,963.5	129,591
CT (DP-23 100/5 ANA)	30	2,550	76,500
Consumer Box	11	1,000	11,000
Ethernet to RS485 Converter	1	3,680	3680
ราคารวมทั้งหมด			336,771 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 ราคาของระบบตรวจติดตามไฟฟ้าที่สร้างขึ้น

รายชื่อของ	จำนวนที่ ต้องการ	ราคาต่อหน่วย (บาท)	ราคารวมต่อรายการ (บาท)
Data Logger & IoTs (วงจรมาสเตอร์)	6	700	4,200
Energy Meter (วงจรสเลฟ)	32	500	16,000
CT (สั่งทำ)	66	800	52,800
CT (YHDC SCT-013 100A/50mA)	30	260	7,800
ตู้พลาสติก (NANO-103W)	11	400	1,200
สายไฟและวัสดุอื่น ๆ	1	2,000	2,000
ราคารวมทั้งหมด			84,000 บาท

ตารางที่ 5.3 เียบฟังค์ชันการทำงาน

ฟังก์ชันการทำงาน	ระบบที่สร้างขึ้น	ระบบท้องตลาด
เครื่องบันทึกข้อมูล	มี	มี
อินเทอร์เน็ตทอพอริงส์	มี	มี
เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า	มี	มี
ค่าการกระพริบตัวอินดิเคเตอร์ (imp/kWh)	3600	800
ความแม่นยำการวัด	Class 2	Class 1
กระแสปีกัด (แอมแปร์)	250	200

5.2 การวิเคราะห์การใช้กำลังไฟฟ้าด้วยวิธีทางสถิติ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้เสนอการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีทางสถิติ ดังต่อไปนี้

5.2.1 การแบ่งกลุ่มข้อมูลด้วยวิธีค่าเฉลี่ยเค

ผลลัพธ์ที่ได้ คือ สามารถแบ่งกลุ่มวงจรรย่อยของโรงพยาบาลตามพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าได้เป็น 2 กลุ่ม กลุ่มที่ 1 กลุ่มที่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าแตกต่างกันในวันหยุดและวันทำงาน กลุ่มที่ 2 คือกลุ่มที่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าไม่แตกต่างกันในวันหยุดและวันทำงาน ทำให้วิเคราะห์สร้างเส้นฐานการใช้ไฟฟ้าของแต่ละวงจรได้อย่างเหมาะสม

5.2.2 การหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร

ตัวแปรที่สนใจในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ คือ จำนวนผู้ใช้อาคาร และ อุณหภูมิสภาพอากาศ ซึ่งแต่ละตัวแปรมีความสัมพันธ์กับความต้องการใช้ไฟฟ้าของแต่ละวงจรรย่อยแตกต่างกัน การวิเคราะห์

หาระดับความสัมพันธ์ ทำให้ทราบว่าตัวแปรไหนที่ส่งผลกระทบต่อความต้องการใช้ไฟฟ้าของแต่ละวงจรร้อยบ้างและส่งผลมากน้อยเพียงใด

5.2.3 การสร้างเส้นค่าฐานการใช้ไฟฟ้า

ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าทุกวันเป็นเวลา 5 เดือน หากพิจารณาข้อมูลแยกในแต่ละวันเป็นเรื่องยากต่อการบ่งบอกลักษณะการใช้ไฟฟ้าของวงจรร้อยนี้ เนื่องจากการใช้ไฟฟ้าในแต่ละวันมีลักษณะที่แตกต่างกัน การสร้างเส้นค่าฐานการใช้ไฟฟ้าที่สร้างจากค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแต่ละวัน เส้นค่าฐานที่ได้นี้จะป็นเส้นแทนข้อมูลในทุก ๆ วัน ทำให้สามารถเห็นลักษณะการใช้ไฟฟ้าที่ของแต่ละวงจรร้อยได้

5.2.4 การประมาณค่าความต้องการไฟฟ้าด้วยวิธีวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ

หากต้องการระบบที่สามารถแจ้งเตือนถึงความผิดปกติที่เกิดขึ้นได้ตามเวลาจริง จำเป็นต้องมีข้อมูลประมาณความต้องการไฟฟ้าล่วงหน้า หากการใช้ไฟฟ้าที่ตรวจวัดตามเวลาจริงมีค่าเกินขอบเขตที่ทำนายไว้ออกไป ทำให้สามารถตรวจสอบความผิดปกติได้ตามเวลาจริง ในวิทยานิพนธ์นี้เสนอวิธีการทำนายเบื้องต้นด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณที่ใช้ตัวแปร จำนวนผู้ใช้บริการ และ อุณหภูมิสภาพแวดล้อม ในการทำนายค่าเฉลี่ยความต้องการใช้ไฟฟ้าในอนาคตซึ่งทำให้สามารถตรวจสอบแผนกและช่วงเวลาที่มีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่ผิดปกติไปจากเดิมได้

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 การพัฒนาความสมบูรณ์ในการเก็บข้อมูล

ความสมบูรณ์ของการจัดเก็บข้อมูลของไมโครเอสตีการ์ดขึ้นอยู่กับความเสถียรของอุปกรณ์ที่ใช้ การจัดท่างจร การเดินสายไฟและการกรองสัญญาณรบกวน หากต้องการความเสถียรของระบบที่สูงยิ่งขึ้น สามารถทำได้โดยการเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีความเสถียรยิ่งขึ้น การจัดท่างจรต้องคำนวณวงจรกรองสัญญาณรบกวน การเดินสายไฟอาจลดการใช้ช่องเสียบสายไฟที่ใช้ในการเชื่อมต่อและต่อสายไฟด้วยวิธีที่ดีกว่า เช่น ชันน็อต เป็นต้น หรือออกแบบให้อยู่ในสายวงจรเดียวกันมากขึ้น และสุดท้ายการกรองสัญญาณ กล้องที่ใช้เก็บระบบเป็นกล่องพลาสติกอาจมีสัญญาณรบกวนจากภายนอกได้ สามารถเพิ่มความเสถียรได้ด้วยการออกแบบกล่องให้กันสัญญาณรบกวนได้ดียิ่งขึ้น เช่น การใช้ กล่องเหล็กต่อสายดิน เป็นต้น

5.3.2 ระบบการบริหารจัดการการใช้ไฟฟ้าในอาคารโรงพยาบาล

ระบบที่ได้ออกแบบในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ออกแบบให้สามารถรับส่งข้อมูลผ่านฐานข้อมูลบนอินเทอร์เน็ตได้ แต่ยังไม่สามารถใช้ความสามารถนี้ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ โครงสร้างที่ครบของระบบอินเทอร์เน็ตทอพอโลยี ประกอบไปด้วย รวบรวมข้อมูล วิเคราะห์ข้อมูล และตอบสนองกลับตามผลการวิเคราะห์ งานวิทยานิพนธ์นี้ เสนอวิธีการรวบรวมข้อมูลแบบอัตโนมัติโดยใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมโครคอนโทรลเลอร์ แต่ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลและตอบสนองกลับยังใช้คนดำเนินการในส่วนนี้ อยู่ หากพัฒนาต่อให้ระบบสามารถวิเคราะห์ผลและตอบสนองกลับได้โดยอัตโนมัติเช่นในรูปที่ 5.1 คือ ระบบที่เริ่มต้นจากการรวบรวมพารามิเตอร์อัตโนมัติแล้วส่งข้อมูลไปเก็บไว้บนฐานข้อมูลบน อินเทอร์เน็ตและแสดงผลผ่านเว็บเบราว์เซอร์ได้ หากข้อมูลที่เก็บมาตรวจพบพฤติกรรมการใช้ กำลังไฟฟ้าที่ผิดปกติตามวิธีการที่ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ ผู้ใช้งานสามารถที่จะสั่งจัดการได้จาก เว็บเบราว์เซอร์ โดยอาจประยุกต์ได้หลายรูปแบบ เช่น ใช้ในระบบแจ้งเตือนการซ่อมบำรุงของ เครื่องใช้ไฟฟ้า หรือ ใช้ในระบบเฝ้าระวังค่ายอดความต้องการใช้ไฟฟ้าของอาคารโรงพยาบาล เป็นต้น



รูปที่ 5.1 ระบบตรวจติดตามแบบครบวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3.3 วิธีการวิเคราะห์ที่ดียิ่งขึ้น

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการออกแบบและสร้างเครื่องมือระบบตรวจติดตามการใช้กำลังไฟฟ้า สำหรับวิธีการวิเคราะห์ความต้องการไฟฟ้าเป็นเพียงแนวทางเบื้องต้นเพื่อแสดงถึงความเป็นไปได้ ในอนาคตที่จะนำไปพัฒนา โดยสิ่งที่สามารถพัฒนาได้ คือ วิธีการวิเคราะห์ที่ดียิ่งขึ้น ในวิทยานิพนธ์นี้ ยังใช้อุณหภูมิสภาพอากาศโดยรวมแค่จุดเดียวของอาคารเป็นตัวแทนของอุณหภูมิทั้งหมดและจำนวน ผู้ใช้บริการเป็นจำนวนภาพรวมผู้ให้บริการทั้งอาคาร ในขณะที่เครื่องปรับอากาศหรือเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่น ๆ กระจายตัวอยู่ในส่วนต่าง ๆ ของอาคาร หากเพิ่มจำนวนจุดวัดอุณหภูมิให้เหมาะสมกับตำแหน่งของ เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิสูงหรือเพิ่มระบบตรวจติดตามผู้ใช้งานอาคารให้สามารถ แยกแต่ละแผนกและระบุช่วงเวลาที่มีผู้ให้บริการมากน้อยได้ จะเพิ่มความแม่นยำในการหา ความสัมพันธ์และการทำนายการใช้ไฟฟ้าได้มากยิ่งขึ้น

อีกทั้งวิธีการประมาณความต้องการไฟฟ้าในวิทยานิพนธ์นี้ใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอย พหุคูณโดยตัวแปรที่ใช้คือ จำนวนผู้ให้บริการอาคารและอุณหภูมิสภาพแวดล้อมจริง กรณีนี้สามารถ พัฒนาได้ด้วยการใช้วิธีการประมาณความต้องการไฟฟ้าอื่น ๆ เช่น Neural Network หรือ Support Vector Machine หรืออาจเพิ่มตัวแปรอื่น ๆ ที่สนใจและคาดว่าจะส่งผลกระทบต่อการใช้กำลังไฟฟ้า ของเครื่องใช้ไฟฟ้า เช่น การโดนรังสีดวงอาทิตย์ตามแนวผนังอาคาร หรือการระบายอากาศในอาคาร เป็นต้น จะทำให้เพิ่มความแม่นยำในการประมาณความต้องการไฟฟ้าในอนาคตได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] กระทรวงพลังงาน. ม.ป.ป. **โครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมและอาคารต่าง ๆ (SEC) (อาคารประเภทโรงพยาบาล)**. กรุงเทพฯ : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน.
- [2] Prasad S. Bhase, Gajanan M. Kolmare and A.S. Deshpande. 2016. “Design & Development of Energy Monitoring Solution” 1222-1227. in **International Conference on Computing, Communication and Automation (ICCCA2016)**. Greater Noida : Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- [3] Hao Luan and Jianwei Leng. 2016. “Design of Energy Monitoring System based on IOT” 6785-6788. in **2016 28th Chinese Control and Decision Conference (CCDC)**. Yinchuan : The Northeastern University of China.
- [4] Zhong bocheng. 2012. “Design of Building Energy Monitoring and Management System” 645-648. in **2012 Second International Conference on Business Computing and Global Informatization**. Shanghai : Shanghai University China.
- [5] Siritwat Wasoontarajoen. 2017. “Development of an IoT Device for Monitoring Electrical Energy Comsumption” 1-4. in **9th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE)**. Phuket : King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang.
- [6] Piampoom Sarikprueck, Chodchanok Attaphong, Pichit Lumyong and Bandit Ngamwatthanasilpa. 2017. “Analyzing Technique for Electrical Energy Monitoring System in Thailand Hospital” **2017 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2017 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe**. Milan : IEEE IC/IE&CPS Europe.
- [7] Yang Xiyun and Chen Song. 2014. “A Combination Method in Photovoltaic Power Forecasting Based on the Correlation Coefficient” 706-709. in **2014 IEEE 5th International Conference on Software Engineering and Service Science**. Beijing : IEEE.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [8] Amral, N., Ozveren, C.S. and King, D. 2007. "Short term load forecasting using Multiple Linear Regression" 1192-1198. in **2007 42nd International Universities Power Engineering Conference**. Brighton : University of Brighton United Kingdom.
- [9] Steve Heath. 2002. **Embedded Systems Design**. 2nd ed. Oxford : Newnes.
- [10] Peter Marwedel. 2003. **Embedded System Design**. Dordrecht : Springer.
- [11] กระทรวงพลังงาน. 2553. **คู่มือผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน(อาคาร) พ.ศ. 2553**. กรุงเทพฯ : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน.
- [12] กัลยา วาณิชย์บัญชา. 2553. **สถิติสำหรับงานวิจัย**. กรุงเทพฯ : ภาควิชาสถิติคณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาคารโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยบูรพาที่ทำการติดตั้งระบบ



ชั้น 1



ชั้น 1 ประกอบด้วย โถงกลาง ห้องเวชระเบียน เอ็กซเรย์ CT Scan

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ชั้น 1 (ต่อ) ประกอบด้วยห้องตรวจผู้ป่วยนอก ห้องจ่ายยา ห้องปฏิบัติการทางการแพทย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ชั้น 1 (ต่อ) ประกอบด้วย ซักฟอก ห้องไฟฟ้า หน่วยจ่ายกลาง ห้องอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้น 2



ชั้น 2 ประกอบด้วย Wellness Center ห้องล้างไต ห้องผ่าตัด ห้องไตเทียม และ ทันตกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้น 3



ชั้นที่ 3 ประกอบด้วย ICUเด็กแรกเกิด ห้องผู้ป่วยทารกแรกเกิด อายุรกรรมหญิง สูติกรรมห้องคลอด ICUเด็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้น 4



ชั้นที่ 4 ประกอบด้วย ศัลยกรรมชาย อายุรกรรมชาย จิตเวชเด็ก ห้องพักแพทย์ นวดแผนไทยและ
ศูนย์ดูแลผู้สูงอายุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

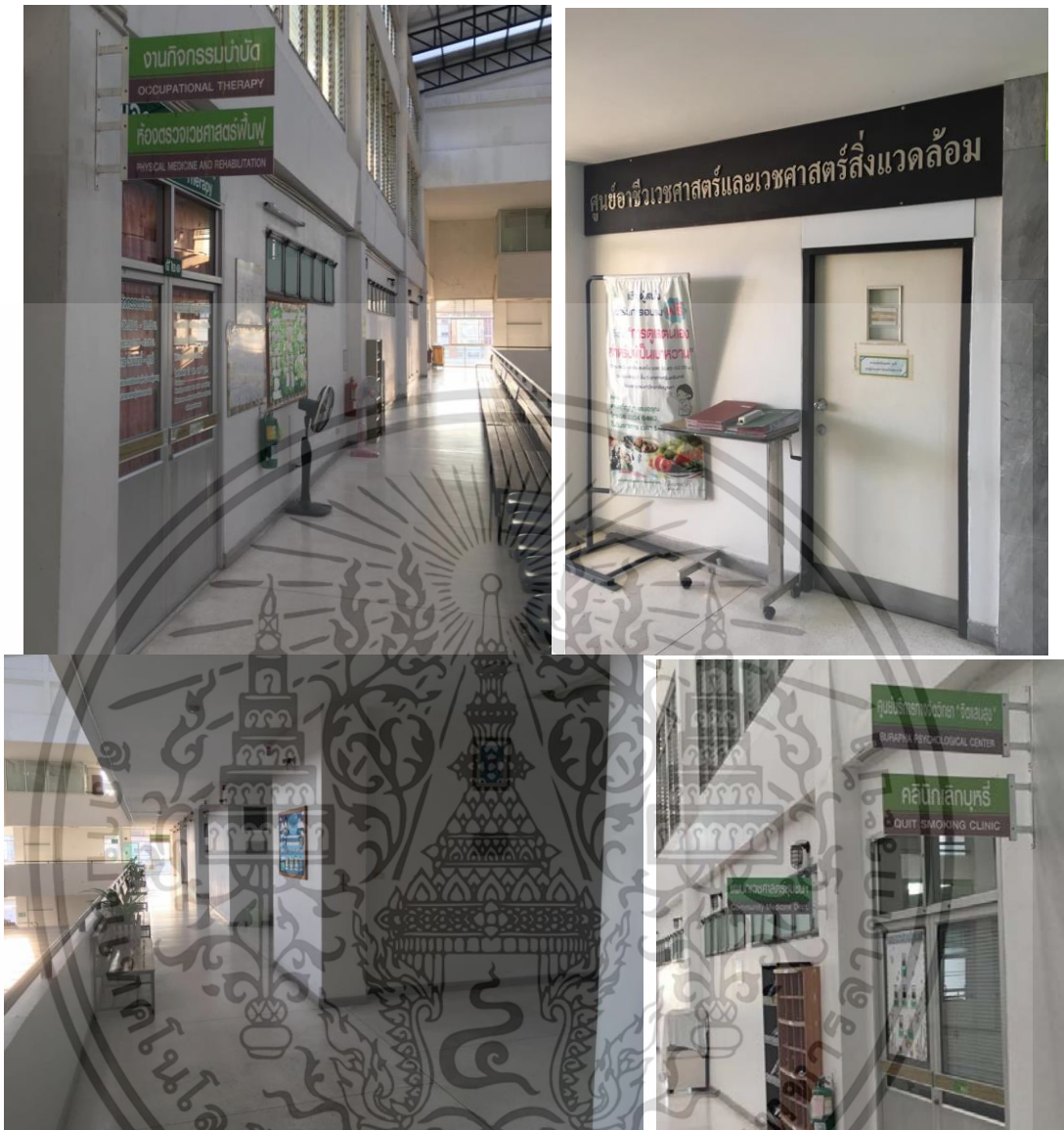
ชั้น 5



ชั้นที่ 5 ประกอบด้วย สำนักงาน ศูนย์ข้อมูล และ ห้องพักผู้ป่วยพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้น 6



ชั้นที่ 6 ประกอบด้วย กิจกรรมบำบัด เวชศาสตร์ฟื้นฟู อาชีวเวชศาสตร์ และ คลินิกเลิกบุหรี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภายในห้องพิเศษ ชั้น 5 และ 6



ลิฟท์ 2 ตัว เปิด 24 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ป้ายกิจกรรมรณรงค์ประหยัดพลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข
หนังสือขอความอนุเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ง
ข้อมูลอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Split core current transformer



Model: SCT013-100

Characteristic:

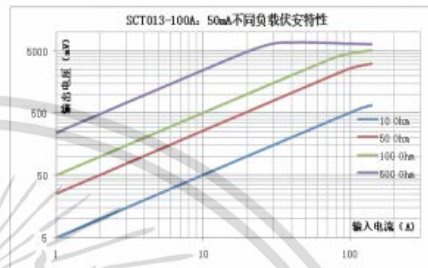
Opening size 13mmx13mm, Compatible to foreign products, leading wire 1 metre, standardΦ3.5 three core plug output, current & voltage two types of output. (Patent No. ZL 2015 3 0060067.X)



Technical indicators:

Hanging installation, leading wire output
 Fire resistance property: UL94-V0
 Standard: GB1208-2006
 Work temperature: -25°C ~ +70°C
 Storage temperature: -30°C ~ +90°C
 Work voltage: 660V
 Frequency range: 50Hz-1KHz
 Dielectric strength: 3.5KV 50Hz 1min

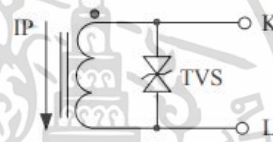
Characteristic curve in different load volt-ampere:



Electric parameter:

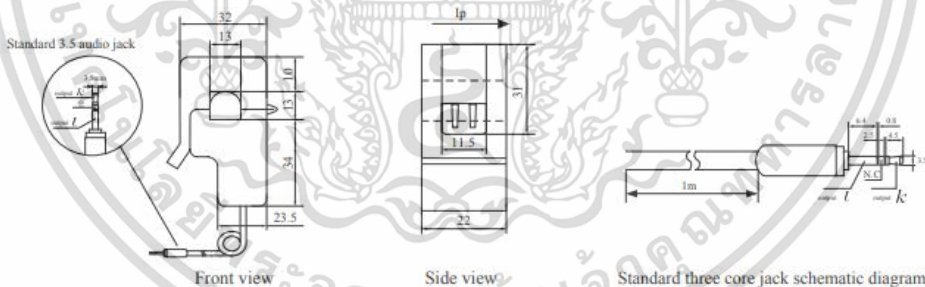
Rated input(rms)	100	A
Max Input	120	A
Rated output	50	mA
Turns ratio	1:2000	
Accuracy	±1	%
Linearity	≤0.2	%
Phase error		
max Sampling resistance	10	Ω
Weight	50	g

Wiring diagram:



Built-in two-way protection diode current output type

Outline size diagram(in mm):



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Split core current transformer



Model: SCT016TS

Characteristic:

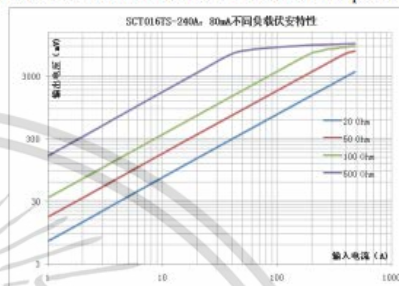
Hanging installation, Crimping terminal output.

Technical indicators:

- Hanging installation, Crimping terminal output
- Material of core: Silicon steel sheet
- Fire resistance property: UL94-V0
- Work voltage: 660V
- Work temperature: -25°C ~ +60°C
- Storage temperature: -30°C ~ +90°C
- Frequency range: 50Hz ~ 60Hz
- Dielectric strength: 3.5KV 50Hz 1min



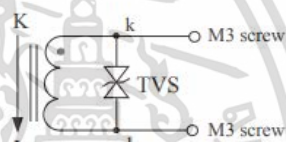
Characteristic curve in different load volt-ampere:



Electric parameter:

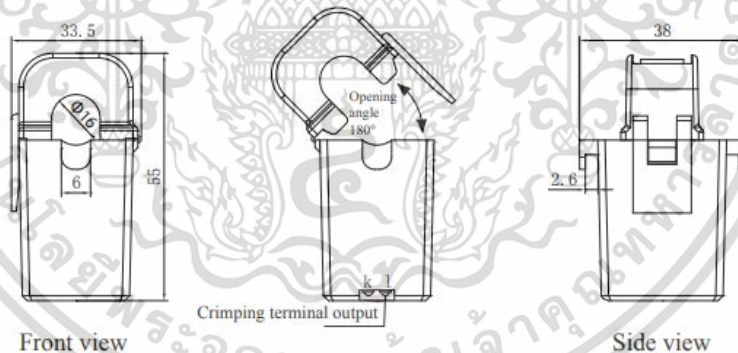
Rated input(rms)	150	A
Max. Input	200	A
Rated output	50	mA
Turns ratio	1: 3000	
Accuracy	0.5/1	%
Linearity	≤ 0.2	%
Phase error	+1 ± 1	°
max.Sampling resistance	10	Ω
Weight	85	g

Wiring diagram:



TVS: Transient voltage suppressor, Current output type

Outline size diagram(in mm):



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Split core current transformer



Model: SCT024TS

Characteristic:

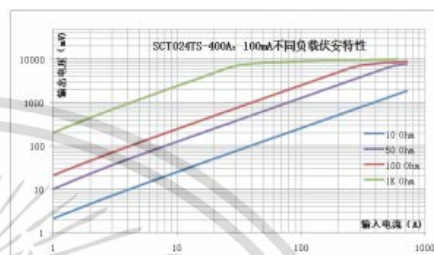
Hanging installation, Crimping terminal output, mechanical strength:
Open and closed time not less than 1000(test when 25°C).



Technical indicators:

Hanging installation, Crimping terminal output
Material of core: Silicon steel sheet
Fire resistance property: UL94-V0
Work voltage: 660V
Work temperature: -25°C ~ +60°C
Storage temperature: -30°C ~ +90°C
Frequency range: 50Hz ~ 60Hz
Dielectric strength: 3.5KV 50Hz 1min

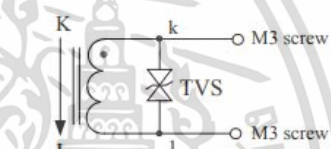
Characteristic curve in different load volt-ampere:



Electric parameter:

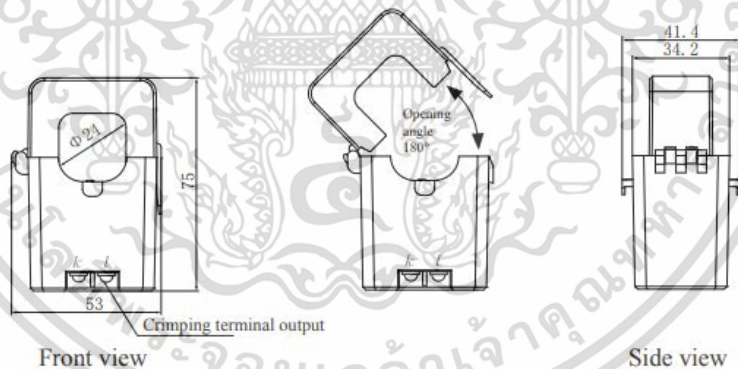
Rated input(rms)	400	A
Max. Input	480	A
Rated output	0.1	A
Turns ratio	1: 4000	
Accuracy	0.5/1	%
Linearity	≤0.2	%
Phase error	+0.5 ± 0.5°	
max.Sampling resistance	8	Ω
Weight	204	g

Wiring diagram:



TVS: Transient voltage suppressor, Current output type

Outline size diagram (in mm):



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบตรวจติดตามการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารโรงพยาบาลโดยอินเทอร์เน็ตออฟธิงส์

Electrical Energy Monitoring System for Hospital Building by Internet of Things

พชร กลิ่นวิจิตร, ชาญุพรรณ ณ นิโรจน์, เปี่ยมภูมิ สฤกษ์ฤกษ์ และ พิชิต ล้ายอง

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 59601169@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอระบบตรวจติดตามการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารโรงพยาบาลเพื่อเพิ่ม ความปลอดภัย ความน่าเชื่อถือ และมีการใช้ประสิทธิภาพพลังงานไฟฟ้าที่ดี โดยระบบที่ได้ออกแบบและจัดทำขึ้นประกอบด้วยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตออฟธิงส์ ทำให้ได้เครื่องมือวัดพลังงานไฟฟ้า 3 เฟส ที่สามารถบันทึกข้อมูลลงฐานข้อมูลออนไลน์ได้ ทำให้ติดตามการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงพยาบาลได้อย่างสะดวกในระยะไกลผ่านระบบอินเทอร์เน็ต ใช้ขงประมาณน้อย และเป็นระบบที่มีความน่าเชื่อถืออีกด้วย โดยมีสถานที่เก็บข้อมูลคือโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยบูรพา ผลที่ได้จะเห็นลักษณะการใช้พลังงานที่แตกต่างกันในแต่ละชั้นของอาคารและสามารถสังเกตเห็นความผิดปกติของการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นได้

คำสำคัญ: ระบบติดตามพลังงานไฟฟ้า, อินเทอร์เน็ตออฟธิงส์, อาคารโรงพยาบาล

Abstract

This paper proposes the electrical energy monitoring system in hospital for improving electrical operating system security, reliability, and efficiency. The design of this monitoring system is combined with the Internet of Things technology which can record 3-phase electrical system data to online database. This system is very convenient for remote monitoring, cheap, and high reliable. An invented prototype of electrical monitoring system is installed at Burapha University Hospital for the case study. The results show that electrical load profiles in each floor are distinctive and this system can monitor the abnormality electrical uses in this building.

Keyword: Electrical Energy Monitoring System, Internet of Things, Hospital Building

1. บทนำ

ในองค์กรที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างอาคารประเภทโรงพยาบาล เป็นอาคารที่มีการใช้พลังงานที่สูงเนื่องจากการใช้งานตัวอาคารอยู่ตลอดเวลา ทางโรงพยาบาลจึงเห็นถึงความสำคัญและ

สนับสนุนให้เกิดกิจกรรมเพื่อการอนุรักษ์พลังงานอย่างจริงจังเพื่อให้ใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและยังเป็นการลดต้นทุน [1] กิจกรรมต่างๆที่มีการจัดทำขึ้นเพื่อรณรงค์ให้สมาชิกในองค์กรลดการใช้พลังงานส่วนเกินหรือการเปลี่ยนบริบทไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นเพื่อลดค่าใช้จ่ายในส่วนของการพลังงานไฟฟ้า ซึ่งเดิมทีในการประเมินผลลัพธ์จากกิจกรรมดังกล่าวสามารถดูได้จากข้อมูลค่าไฟภายในเดือนต่างๆเทียบเป็นรอบปี ซึ่งข้อมูลดังกล่าวนี้เป็นภาพรวมการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดขององค์กรและเป็นยอดรวมของทั้งเดือนนั้น ซึ่งไม่สามารถระบุการใช้พลังงานของแต่ละหน่วยงานภายในองค์กรและการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆภายในเดือนได้อย่างชัดเจน จึงเป็นการยากสำหรับองค์กรที่จะระบุถึงสาเหตุที่มาและช่วงเวลาของการใช้พลังงานที่ผิดปกติและยากที่จะระบุว่ากิจกรรมที่จัดขึ้นนั้นสามารถแก้ปัญหาได้ตรงจุดหรือไม่

ระบบอินเทอร์เน็ตออฟธิงส์ (Internet of Things: IoTs) เป็นเครือข่ายที่ไม่เพียงแต่สามารถเชื่อมโยงอุปกรณ์เข้าด้วยกันได้อย่างเดียว แต่ยังสามารถทำระบบให้เป็นอัตโนมัติได้อย่างเต็มรูปแบบสามารถที่จะเก็บข้อมูล ส่งและประมวลผลข้อมูลอย่างชาญฉลาดได้ และยังสามารถที่จะจัดการกับระบบได้ไม่ว่าจะอยู่ที่ใดและเมื่อไหร่ก็ตามได้ด้วย [2]

เพื่อการสังเกตความผิดปกติของการใช้พลังงาน และมีการควบคุมการใช้พลังงาน จำเป็นต้องทราบว่าพลังงานถูกใช้ไปเท่าไรและถูกใช้ไปอย่างไร ระบบติดตามการใช้พลังงานนั้นจะทำให้สามารถที่จะติดตามพารามิเตอร์กำลังไฟฟ้า เช่น แรงดันและกระแสไฟฟ้าได้ตามเวลาจริงและยังสามารถแยกตามแต่ละส่วนของอาคารได้อีกด้วย [3]

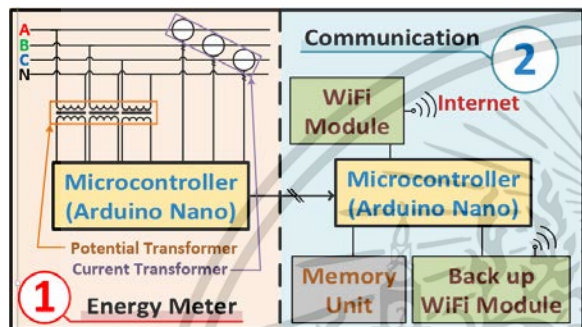
ในงานวิจัยนี้จึงได้ออกแบบและสร้างระบบตรวจติดตามการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในโรงพยาบาลร่วมกับระบบ IoTs ที่สามารถบันทึกประวัติข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าตามเวลาจริงและดูข้อมูลย้อนหลังได้ โดยระบบนี้จะช่วยอำนวยความสะดวกในการตรวจติดตามการใช้พลังงานไฟฟ้าระยะไกล (Remote Monitoring) เนื่องจากข้อมูลจะถูกบันทึกในฐานข้อมูลออนไลน์ “ThingSpeak” และยังสามารถส่งข้อมูลลงไมโครเอสดีการ์ด (Micro SD card) อีกด้วย ซึ่งทำให้ระบบนี้มีราคาถูกและมีความน่าเชื่อถือ โดยการติดตั้งระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจติดตามการใช้พลังงานไฟฟ้านี้จะทำให้เพิ่มความปลอดภัย ความน่าเชื่อถือให้กับระบบไฟฟ้า อีกทั้งยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพทางการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารโรงพยาบาลได้อีกด้วย

2. โครงสร้างของชุดวัดค่าพลังงานไฟฟ้า

โครงสร้างของชุดวัดค่าพลังงานไฟฟ้าแบบออนไลน์ที่ได้ ออกแบบมีลักษณะดังรูปที่ 1 ประกอบไปด้วยส่วนที่ 1 คือ ส่วนของ วงจรวัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า และส่วนที่ 2 คือส่วนของวงจรที่ใช้ ในการติดต่อสื่อสาร



รูปที่ 1 ระบบวัดพลังงานไฟฟ้าออนไลน์

ส่วนประกอบสำคัญของวงจรวัดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าจะ ประกอบไปด้วยหม้อแปลงแรงดัน (Potential Transformer) หม้อ แปลงกระแส (Current Transformer) ที่ใช้สำหรับการตรวจวัดแรงดัน และกระแสไฟฟ้า 3 เฟส และในส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ใน การประมวลผลข้อมูลทางไฟฟ้า

สำหรับส่วนที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารได้ใช้เทคโนโลยี IoTs โดยได้ออกแบบให้มีการบันทึกข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า 2 แหล่ง คือ ฐานข้อมูลออนไลน์ที่ชื่อ “ThingSpeak” ด้วยโมดูลสายพายที่ชื่อ “NodeMCU” ผ่านอินเทอร์เน็ต และมีชุดสำรองอีกหนึ่งชุดเพื่อ เพิ่มความน่าเชื่อถือให้กับเครื่องมือวัดนี้ ส่วนการบันทึกข้อมูลอีก หนึ่งแหล่งคือ Micro SD card เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือให้มากยิ่งขึ้น

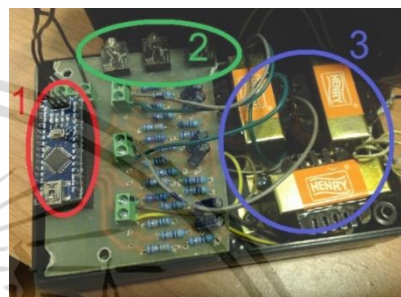
3. การออกแบบและสร้างชุดวัดค่าพลังงานไฟฟ้า

จากโครงสร้างของระบบที่ได้กล่าวถึง ชุดวัดค่าพลังงานไฟฟ้า ประกอบด้วย สองส่วนที่สำคัญ คือวงจรวัดข้อมูลพลังงานไฟฟ้าและ วงจรสำหรับการติดต่อสื่อสาร

3.1 วงจรวัดข้อมูลพลังงานไฟฟ้า

วงจรที่ใช้ในการวัดพลังงานไฟฟ้า จะประกอบไปด้วย วงจรที่ใช้ในการอ่านค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า 3 เฟส ภายในมีลักษณะ แบบในรูปที่ 2 มี Arduino Nano เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มี

ประสิทธิภาพเหมือนตัวใหญ่ ใช้งานง่ายผ่านสาย USB แต่ถูกทำให้มี ขนาดเล็กลงเหมาะกับงานที่ต้องการพื้นที่จำกัด ในรูปที่ 2 ส่วนที่ 1 ที่ ใช้ในการประมวลผลพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าต่างๆจากข้อมูล กระแสไฟฟ้าที่วัดได้จาก Current Transformer ที่ต่อมายังพอร์ตวัด กระแส 3 เฟสในรูปที่ 2 ส่วนที่ 2 และข้อมูลแรงดันไฟฟ้าจากหม้อ แปลงแรงดันไฟฟ้าที่ใช้เป็น Potential Transformer ในรูปที่ 2 ส่วนที่ 3 โดยส่งข้อมูลต่อไปยังวงจรสำหรับการติดต่อสื่อสาร



รูปที่ 2 ภายในวงจรวัดข้อมูลพลังงานไฟฟ้า

3.2 วงจรสำหรับการติดต่อสื่อสาร

จากรูปที่ 3 วงจรสำหรับการติดต่อสื่อสาร มีหน้าที่ในการรับ ข้อมูลจากวงจรวัดพลังงานไฟฟ้าและบันทึกข้อมูลไว้สองแหล่งคือ ฐานข้อมูลออนไลน์ผ่านโมดูลสายพายที่ชื่อ “NodeMCU” เป็น โมดูลที่มีราคาถูกแต่สามารถเพิ่มความสามารถในการเชื่อมต่อสาย พายให้กับวงจรที่เราออกแบบได้อย่างมีประสิทธิภาพและเชื่อถือได้ ในรูปที่ 4 และบันทึกลงไมโครเอสดีการ์ด และในรูปที่ 5 คือ โมดูล นาฬิกา (Real Time Clock) เป็นข้อมูลเวลาที่ให้กับระบบที่ได้ออกแบบ



รูปที่ 3 ภายในวงจรติดต่อสื่อสาร



รูปที่ 4 NodeMCU



รูปที่ 5 Real Time Clock

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

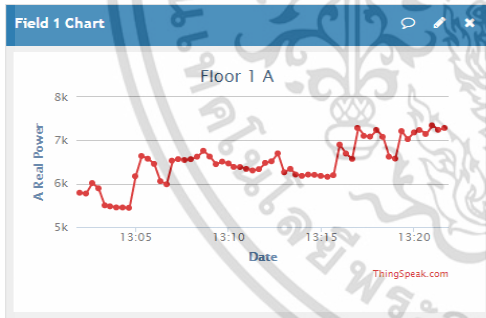
4. ผลการทดสอบวงจร

รูปที่ 6 แสดงการติดตั้งระบบตรวจติดตามนี้ ณ อาคารโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยบูรพาเพื่อบันทึกข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าในเมืองต้นจะนำเสนอข้อมูลเป็นเวลา 2 สัปดาห์

รูปที่ 7 เป็นตัวอย่างการแสดงผลข้อมูลกำลังไฟฟ้าจริงของโรงพยาบาลมหาวิทยาลัยบูรพาที่แสดงจากฐานข้อมูลออนไลน์ที่ชื่อ “ThingSpeak” ซึ่งเข้าถึงได้ผ่านอินเทอร์เน็ตโดยไม่ต้องเข้าไปดูที่สถานที่ที่ติดตั้งอุปกรณ์ นอกจากข้อมูลกำลังไฟฟ้าจริงแล้วยังมีข้อมูลของแรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า, ค่าประกอบกำลังและกำลังไฟฟ้าปรากฏอีกด้วยทำให้เกิดความสะดวกสบายในการเข้าถึงข้อมูล

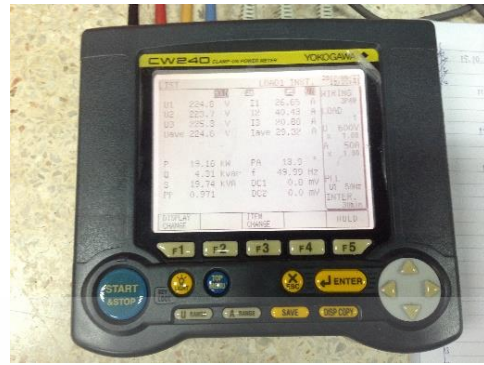


รูปที่ 6 ติดตั้งวงจรที่โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยบูรพา



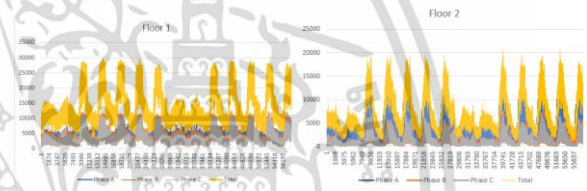
รูปที่ 7 ข้อมูลออนไลน์จาก “ThingSpeak”

หลังจากนั้นได้มีการเทียบผลที่วัดได้จากระบบตรวจติดตามการใช้พลังงานไฟฟ้านี้กับเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้ามาตรฐานคือ “Power Meter Yokogawa CW240” ในรูปที่ 8 เพื่อทดสอบความคลาดเคลื่อนของเครื่องวัดซึ่งได้ผลตามตารางที่ 1 และตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าที่ได้สร้างขึ้นมามีความคลาดเคลื่อนจากเครื่องวัดที่สอบเทียบไม่เกิน 5 % จึงแสดงให้เห็นว่าวงจรที่ออกแบบสามารถติดตามการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารได้ และยังมีค่าใช้จ่ายในการสร้างระบบติดตามพลังงานไฟฟ้าในปริมาณที่น้อยกว่าเครื่องวัดทั่วไปอีกด้วย

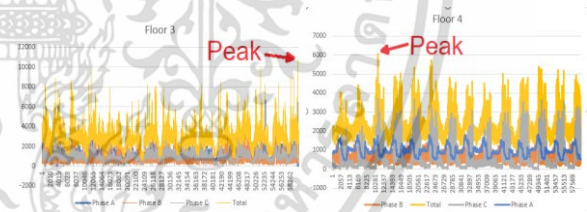


รูปที่ 8 Power Meter YOKOGAWA CW240

ผลการเก็บข้อมูลเบื้องต้นแสดงในรูปที่ 9 ถึง 12 เป็นข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของชั้น 1 ถึง 4 เป็นเวลา 2 สัปดาห์ โดยแกนตั้งเป็นข้อมูลกำลังไฟฟ้าจริง (Real Power : Watt) จะมิกราฟลี น้ำเงิน, ส้ม และเทา อ้างอิงถึงกำลังไฟฟ้าจริงของเฟส A, B และ C แต่ละขอเน้นที่กราฟสีเหลืองซึ่งเป็นกราฟกำลังไฟฟ้าจริงรวมของทั้ง 3 เฟส



รูปที่ 9 พลังงานไฟฟ้า ชั้นที่ 1 รูปที่ 10 พลังงานไฟฟ้า ชั้นที่ 2



รูปที่ 11 พลังงานไฟฟ้า ชั้นที่ 3 รูปที่ 12 พลังงานไฟฟ้า ชั้นที่ 4

จากรูปที่ 9 ถึง 12 จะเห็นได้ว่าข้อมูลการใช้พลังงานของชั้นที่ 1 และ 2 สามารถแยกช่วงวันเวลางานกับช่วงวันหยุดได้อย่างชัดเจน ในขณะที่การใช้พลังงานไฟฟ้าของชั้น 3 และ 4 นั้น มีลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงกลางสัปดาห์และสุดสัปดาห์ไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้ในรูปที่ 11 และ 12 จะเห็นได้ว่าการใช้พลังงานของชั้นที่ 3 และ 4 มีการใช้พลังงานที่มากเกินกว่าปกติในวันที่ 23/6/2560 และ 10/6/2560 ซึ่งทำให้ผู้ดูแลระบบไฟฟ้าสามารถเข้าไปตรวจสอบความผิดปกติที่เกิดขึ้นอย่างทันท่วงที อีกทั้งหากสามารถลดการใช้พลังงานที่ผิดปกติและเกินความจำเป็นในส่วนนี้ได้ จะทำให้สามารถประหยัดการใช้พลังงาน ลดค่าไฟฟ้าจาก peak demand ได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 การเทียบข้อมูลพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องวัด Yokogawa CW240และระบบติดตามที่ออกแบบ (แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า)

Data	Yokogawa			เครื่องมือวัดที่สร้าง			Error (%)		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Vrms (V)	225	224.2	226	223.6	223.6	224.1	0.62	0.25	0.85
	224.8	223.7	225.3	223.4	223.2	223.5	0.62	0.22	0.76
	226.4	225.7	227.5	223.7	224.9	222.5	1.17	0.34	2.17
	226.8	225.7	227.4	224.6	224.3	225.4	0.98	0.62	0.87
	226.9	226.3	228.0	225.0	225.5	226.1	0.82	0.32	0.85
Irms (A)	30.28	41.99	17.58	30.25	42.28	16.94	0.10	0.69	3.64
	26.65	40.43	20.88	26.38	38.62	20.20	1.01	4.48	3.26
	31.21	32.49	17.44	31.11	32.74	16.59	0.32	0.77	4.87
	26.63	32.24	19.38	26.61	32.49	20.06	0.08	0.78	3.51
	29.06	39.00	16.59	28.46	40.08	15.97	2.06	2.77	3.74

ตารางที่ 2 การเทียบข้อมูลพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องวัด Yokogawa CW240และระบบติดตามที่ออกแบบ (กำลังไฟฟ้าจริงรวม กำลังไฟฟ้าปรากฏรวม ตัวประกอบกำลังรวม)

	Yokogawa	เครื่องมือวัดที่สร้าง	Error (%)
P (W)	19540.00	19145.33	2.02
	19180.00	18308.64	4.54
	18120.00	17457.79	3.65
	17240.00	17239.10	0.01
	18740.00	18501.62	1.27
S (VA)	20200.00	20013.10	0.93
	19710.00	19017.88	3.51
	18590.00	18013.91	3.10
	17720.00	17783.00	0.36
	19200.00	19052.16	0.77
Power Factor	0.97	0.96	0.38
	0.97	0.97	0.00
	0.98	0.97	0.51
	0.97	0.97	0.03
	0.98	0.98	0.07

5. สรุป

ระบบตรวจติดตามการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ได้ออกแบบนั้น สามารถบันทึกข้อมูลการใช้งานพลังงานไฟฟ้าที่ได้ถูกต้อง แม่นยำ และสามารถที่จะเข้าถึงข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงพยาบาลผ่านอินเทอร์เน็ตได้อย่างสะดวก ในราคาที่ประหยัด อีกทั้งยังมีความน่าเชื่อถือของระบบการเก็บข้อมูลสำรองอีกด้วย

โดยลักษณะการใช้พลังงานของโรงพยาบาลจะมีความแตกต่างกัน ตามลักษณะการใช้พลังงานในแต่ละชั้น และระบบตรวจติดตามนี้ยังสามารถชี้ให้เห็นถึงความคิดปกคของการใช้พลังงานไฟฟ้าได้อีกด้วย ถึงแม้ว่าข้อมูลที่น่าเสนอนี้เป็นข้อมูลเพียงเบื้องต้น แต่หากคิดตั้งทั้งอาคารจะสามารถวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า และความคิดปกคของการใช้พลังงานไฟฟ้าของแต่ละหน่วยงานได้เป็นอย่างดี อันจะส่งผลให้ระบบไฟฟ้าในอาคาร โรงพยาบาลมีความปลอดภัย น่าเชื่อถือ และมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่ดีอีกด้วย

นอกจากนี้การศึกษาผลของฤดูกาล สำหรับข้อมูลในระยะยาว บัณฑิตสาขาวิศวกรรมไฟฟ้าที่เกี่ยวข้อง และหากเก็บข้อมูลจำนวนมากขึ้น ข้อมูลก็จะมีคามซับซ้อนยากแก่การวิเคราะห์ ก็จำเป็นต้องนำเทคนิคการจัดกลุ่มข้อมูล (Data Clustering Technique) มาช่วยในการวิเคราะห์ ซึ่งก็จะเป็นหัวข้องานวิจัยที่จะทำการศึกษาต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.), “โครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมและอาคารต่างๆ (SEC) (อาคารประเภทโรงพยาบาล)”
- [2] Hao Luan and Jianwei Leng, “Design of Energy Monitoring System based on IOT” in Control and Decision Conference(CCDC) 2016 Chinese
- [3] Mrs. A.S. Deshpande, Gajanan M. Kolmare and Prasad S. Bhave “Design & Development of Energy Monitoring Solution” Computing, Communication and Automation (ICCCA), 2016 International Conference on

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายพชร กลิ่นวิจิต
 วัน เดือน ปีเกิด 13 กรกฎาคม 2536 ที่จังหวัดชลบุรี
 ที่อยู่ 150/376 ต.ห้วยกะปิ อ.เมือง จ.ชลบุรี ถ.เลียบหนองมน 20130

ประวัติการศึกษา 2559 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้