

ระบบตรวจวัดและติดตามการใช้พลังงาน
กรณีศึกษา เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

ENERGY MONITORING SYSTEM:
A CASE STUDY ON SPLIT TYPE AIR CONDITIONER

นายจิรายุ คำแฝง รหัส 58362094

นายธีรเมธ เทพอินทร์ทร รหัส 58362414

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2563



ใบรับรองปริญญาโท

ชื่อหัวข้อโครงการ ระบบตรวจวัดและติดตามการใช้พลังงาน กรณีศึกษา
เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

ผู้ดำเนินโครงการ นายจิรายุ คำแฝง รหัสสนิสิต 58362094
นายธีรเมธ เทพอินทร์ทร รหัสสนิสิต 58362414

ที่ปรึกษาโครงการ ดร.ปองพันธ์ โอทกานนท์

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

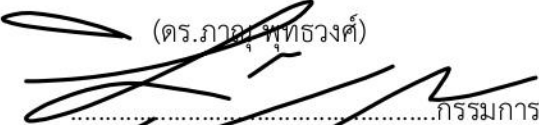
ปีการศึกษา 2563


.....ที่ปรึกษาโครงการ

(ดร.ปองพันธ์ โอทกานนท์)


.....กรรมการ

(ดร.ภาณุ พุทธิวงศ์)


.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศิษย์ภักดิ์ แคนลา)

ชื่อหัวข้อโครงการ ระบบตรวจวัดและติดตามการใช้พลังงาน กรณีศึกษา เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

ผู้ดำเนินโครงการ นายจิรายุ คำแฝง รหัสสนิสิต 58362094
นายธีรเมธ เทพอินทร์ทร รหัสสนิสิต 58362414

ที่ปรึกษาโครงการ ดร.ปองพันธ์ โอทกานนท์

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา 2563

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีจุดประสงค์เพื่อสร้างเครื่องมือวัดและติดตามการทำงานของเครื่องปรับอากาศ เพื่อเก็บข้อมูลอุณหภูมิ ความชื้น การใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศลงการ์ด MicroSD และส่งข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ตไปยัง Blynk server เพื่อแสดงข้อมูลผ่านสมาร์ทโฟน โดยทำการทดลองกับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนขนาด 12,521 BTU ในห้องพักขนาดกว้าง 3.5 เมตร ยาว 4 เมตร สูง 2.7 เมตร ตั้งอยู่ชั้นบนสุดของอาคารซึ่งได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์โดยตรง โดยแบ่งการเก็บข้อมูลออกเป็น 2 ช่วงเวลา คือ 12.00-15.00น. และ 21.00-0.00น. โดยมีระยะห่างในการเก็บข้อมูล 15 วินาที เป็นเวลา 3 วัน ทำให้ได้ข้อมูลทั้งหมด 6 ชุดข้อมูล แล้นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาประสิทธิภาพและการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ

ผลการทดลองพบว่าเครื่องมือวัดและติดตามการทำงานของเครื่องปรับอากาศที่ผู้จัดทำสร้างขึ้นสามารถใช้งานได้ตามจุดประสงค์ และพบว่าอุณหภูมิภายนอกส่งผลต่อประสิทธิภาพดังนี้ เมื่ออุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยสูงขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศมีแนวโน้มลดลงซึ่งสวนทางกับการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อชั่วโมงที่มีค่าเพิ่มขึ้น

Project Title Energy monitoring system: a case study on split type air conditioner

Name Mr.Jirayu Khamfeang code 58362094
Mr.Theeramate Thape-in-thorn code 58362414

Project Advisor Mr.Pongpun Othaganont

Major Mechanical Engineering

Department Mechanical Engineering

Academic Year 2020

Abstract

The purposes of this project is to creating an energy monitoring device for an air conditioner. Temperature, humidity, and power consumption data were recorded to MicroSD and transmitted to a smartphone using Blynk application. A 12,521 BTU cooling capacity, split type air conditioner was tested in a 3.5 meters wide, 4 meters long, and 2.7 meters high room. The room is located on top of the building and absorbed heat from the direct sunlight. The data collection was recorded into 2 periods each day, 12.00-15.00 And 21.00-0.00, on 15 seconds of data interval over three days of the experiment. The obtained data were used for analyzing energy efficiency and consumption.

The results showed that the energy monitoring device could be used for the purpose of the project. And as the average outdoor temperature increased, the efficiency of the air conditioner was likely to decrease. The opposite of which were related to the increased average electricity consumption per hour.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการโปรแกรมวิเคราะห์การใช้พลังงานและประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์ของบุคคลกรหลายท่าน ซึ่งผู้มีพระคุณท่านแรกขอขอบพระคุณท่าน ดร.ปองพันธ์ โอทกานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำการตรวจทานและแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในระหว่างการดำเนินโครงการมาโดยตลอด เพื่อให้การเขียนโครงการโปรแกรมวิเคราะห์การใช้พลังงานและประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศนี้ออกมาสมบูรณ์มากที่สุด

ขอขอบพระคุณกรรมการสอบซึ่งได้แก่ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศิษฐ์ภัณฑิ์ แคนลา และ ดร.ภาณุ พุทรวงศ์ ที่ได้ให้ความรู้คำแนะนำและแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ของรูปเล่มโครงการ

ขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่ได้ให้โอกาสในการศึกษา หาความรู้และการใช้สิ่งต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้กับโครงการด้วยความเอาใจใส่ทุกขั้นตอน

สุดท้ายนี้ผู้ศึกษาขอขอบพระคุณบิดามารดาและครอบครัว ซึ่งเปิดโอกาสให้ได้รับการศึกษาเล่าเรียนตลอดจนช่วยเหลือและให้กำลังใจผู้ศึกษาเสมอมาผู้ศึกษาใคร่ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้ดำเนินโครงการ

จิรายุ คำแฝง

ธีรเมธ เทพอินทร์ทร

สารบัญ

บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตในการดำเนินโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงการ	2
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น	1
2.1 การปรับอากาศและวัฏจักรการทำความเย็น	1
2.1.1 การปรับอากาศ	1
2.1.2 วงจรทำความเย็น	2
2.2 แผนภาพไซโครเมตริก	3
2.3 ความแตกต่างของอนาล็อกกับดิจิตอล	6
2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์และเซ็นเซอร์	7
2.4.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32	7
2.4.2 จอ LCD 16x2 I2C	8
2.4.3 Micro SD Card Module	11
2.4.4 RTC DS1302	12
2.4.5 โมดูลวัดอุณหภูมิและความชื้น รุ่น DHT11	13
2.4.6 เซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า CT sensor SCT-013 50A/1V	15
2.5 ESP NOW	17
2.6 แอปพลิเคชัน BLYNK	17
2.7 ความคลาดเคลื่อน	18
2.8 ความคลาดเคลื่อนเชิงสถิติ	19

2.9 การวิเคราะห์เชิงสถิติ	19
2.10 ค่าความไม่แน่นอนของการวัด.....	21
2.11 ความคลาดเคลื่อนเชิงระบบทั้งหมด.....	22
2.12 วรรณกรรมปริทรรศน์.....	22
บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงการ	25
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	26
3.2 การสร้างอุปกรณ์ในการเก็บข้อมูล.....	27
3.3 การวัดและการติดตั้งอุปกรณ์ในการเก็บข้อมูล	29
3.5 การหาประสิทธิภาพของภาพเครื่องปรับอากาศ	34
3.6 การหาเปอร์เซ็นต์การทำงานของคอมเพรสเซอร์เฉลี่ย	36
3.7 ความน่าเชื่อถือของเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า.....	37
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล.....	41
4.1 ข้อมูลสินค้าที่มีในท้องตลาด.....	42
4.2 ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง	45
4.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	51
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	56
5.1 สรุปผลการทดลอง	56
5.2 ข้อเสนอแนะ	57
บรรณานุกรม.....	59
ภาคผนวก.....	64
ภาคผนวก ก ใ้ค้ดคำสั่ง	65
ภาคผนวก ข รูปภาพที่เกี่ยวข้อง	91
ภาคผนวก ค ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง.....	93



สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 วงจรทำความเย็น ^[6]	2
รูปที่ 2.2 แผนภาพไซโครเมตริก ^[7]	3
รูปที่ 2.3 กระบวนการปรับอากาศ ^[8]	5
รูปที่ 2.4 สัญญาณนาฬิกา ^[9]	6
รูปที่ 2.5 สัญญาณดิจิตอล ^[9]	6
รูปที่ 2.6 วงจรภายในจอ LCD ที่เชื่อมต่อแบบ I2C ^[10]	9
รูปที่ 2.7 การเชื่อมต่อระหว่าง LCD 16x2 Character I2C กับ ESP32	10
รูปที่ 2.8 การทำงานผ่าน LCD	10
รูปที่ 2.9 การเชื่อมต่อโมดูล Micro SD Card กับ ESP32	11
รูปที่ 2.10 การเชื่อมต่อ RTC DS1302 กับ ESP32	12
รูปที่ 2.11 โมดูลวัดอุณหภูมิและความชื้น รุ่น DHT11 ^[15]	13
รูปที่ 2.12 การต่อวงจร DHT11 กับ ESP32	14
รูปที่ 2.13 การต่อวงจร CT sensor กับ ESP32	15
รูปที่ 2.14 ค่าที่ได้จากเซ็นเซอร์ก่อนการ Offset	16
รูปที่ 2.15 ค่าที่ได้จากเซ็นเซอร์หลังการ Offset	16
รูปที่ 2.16 ไอคอนแอปพลิเคชัน Blynk ^[20]	17
รูปที่ 2.17 วิดเจ็ตต่าง ๆ ในการใช้งานจริงของแอปพลิเคชัน Blynk ^[21]	18
รูปที่ 2.18 ความแม่นยำและความเที่ยงตรง ^[22]	19
รูปที่ 2.19 กราฟปริมาณการใช้พลังงานเทียบกับอุณหภูมิภายนอกที่เปลี่ยนแปลง	23
รูปที่ 2.20 ค่าประสิทธิภาพสมรรถนะเทียบกับอุณหภูมิภายนอกที่เปลี่ยนแปลงที่ปริมาณสารทำความเย็น ที่ต่างกัน ^[23]	23

รูปที่ 3.1	ขั้นตอนการดำเนินงาน	26
รูปที่ 3.2	อุปกรณ์ในการเก็บข้อมูล	27
รูปที่ 3.3	การเชื่อมต่อของอุปกรณ์วัดกระแสและบันทึกข้อมูล.....	28
รูปที่ 3.4	การเชื่อมต่ออุปกรณ์วัดอุณหภูมิภายนอก	28
รูปที่ 3.5	การเชื่อมต่ออุปกรณ์วัดอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศ	29
รูปที่ 3.6	การวัดความเร็วลมของเครื่องปรับอากาศ.....	30
รูปที่ 3.7	การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับเก็บค่าอุณหภูมิและความชื้นที่ตำแหน่งลมจ่าย (Supply Air) และตำแหน่งลมกลับ (Return Air).....	30
รูปที่ 3.8	การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับเก็บค่าอุณหภูมิและความชื้นที่ภายนอกห้อง	31
รูปที่ 3.9	การวัดกระแสไฟฟ้าที่เซอร์กิตเบรกเกอร์.....	31
รูปที่ 3.10	ข้อมูลจากการวัดค่ากระแสที่แสดงผ่านจอ LCD	31
รูปที่ 3.11	ข้อมูลที่แสดงค่าในแอปพลิเคชัน Blynk	32
รูปที่ 3.12	แอปพลิเคชัน Blynk ใน Play Store	33
รูปที่ 3.13	วิดเจ็ตที่ใช้งาน	34
รูปที่ 3.14	ค่าเอนทาลปีของอากาศด้านลมจ่าย	35
รูปที่ 3.15	ค่าเอนทาลปีของอากาศด้านลมกลับ	35
รูปที่ 3.16	การทดสอบเซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า.....	37
รูปที่ 3.17	ลักษณะข้อมูลกระแสไฟฟ้าที่เก็บได้โดยการพันสายไฟจำนวน 1 รอบ	38
รูปที่ 3.18	การกระจายตัวของข้อมูลเมื่อมีการพันสายไฟที่เซ็นเซอร์ 1 รอบ	38
รูปที่ 3.19	ลักษณะข้อมูลกระแสไฟฟ้าที่เก็บได้โดยการพันสายไฟจำนวน 6 รอบ	39
รูปที่ 3.20	การกระจายตัวของข้อมูลเมื่อมีการพันสายไฟที่เซ็นเซอร์ 6 รอบ	39
รูปที่ 4.1	ข้อมูลการทำงานของเครื่องปรับอากาศวันที่ 1 ช่วงเวลา 12.00-15.00น.....	45
รูปที่ 4.2	ข้อมูลการทำงานของเครื่องปรับอากาศวันที่ 1 ช่วงเวลา 21.00-0.00น.....	46
รูปที่ 4.3	ข้อมูลการทำงานของเครื่องปรับอากาศวันที่ 2 ช่วงเวลา 12.00-15.00น.....	47

รูปที่ 4.4 ข้อมูลการทำงานของเครื่องปรับอากาศวันที่ 2 ช่วงเวลา 21.00-0.00น.....	48
รูปที่ 4.5 ข้อมูลการทำงานของเครื่องปรับอากาศวันที่ 3 ช่วงเวลา 12.00-15.00น.....	49
รูปที่ 4.6 ข้อมูลการทำงานของเครื่องปรับอากาศวันที่ 3 ช่วงเวลา 21.00-0.00น.....	50
รูปที่ 4.7 ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศช่วงเวลา 12.00 - 15.00น.....	52
รูปที่ 4.8 ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศช่วงเวลา 21.00 - 0.00น.....	53
รูปที่ 4.9 เปอร์เซ็นต์การทำงานของคอมเพรสเซอร์เฉลี่ยช่วงเวลา 12.00 - 15.00น.....	53
รูปที่ 4.10 เปอร์เซ็นต์การทำงานของคอมเพรสเซอร์เฉลี่ยช่วงเวลา 21.00 - 0.00น.....	54
รูปที่ 4.11 อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยเทียบกับค่าไฟฟ้าช่วงเวลา 12.00 - 15.00น.....	55
รูปที่ 4.12 อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยเทียบกับค่าไฟฟ้าช่วงเวลา 21.00 - 00.00น.....	55
รูปที่ 5.1 ลักษณะและระบบการทำงานของเครื่องมือวัดที่สร้าง.....	56
รูปที่ ข. 1 ตัวรับข้อมูล.....	92
รูปที่ ข. 2 ตัวส่งข้อมูล 1.....	92
รูปที่ ข. 3 ตัวส่งข้อมูล 2.....	92
รูปที่ ข. 4 ตัววัดความเร็วลม.....	92
รูปที่ ง. 1 หน้าต่าง Aduino IDE.....	107
รูปที่ ง. 2 หน้าต่าง Library Manager.....	108
รูปที่ ง. 3 เว็บไซต์ github สำหรับดาวน์โหลดไฟล์.....	109
รูปที่ ง. 4 หน้าเริ่มต้นของแอปพลิเคชัน Blynk.....	110
รูปที่ ง. 5 การสร้าง Account ใหม่ในแอปพลิเคชัน Blynk.....	110
รูปที่ ง. 6 การสร้างโปรเจคใหม่ในแอปพลิเคชัน Blynk.....	111
รูปที่ ง. 7 การตั้งค่าการสร้างโปรเจคใหม่ในแอปพลิเคชัน Blynk.....	111

รูปที่ ง. 8 แอปพลิเคชัน Blynk แจ้งเตือนการส่ง Token ไปยัง Email..... 112

รูปที่ ง. 9 ตัวอย่าง widget ในแอปพลิเคชัน Blynk 112



สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลจำเพาะของไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32.....	7
ตารางที่ 2.2 เซ็นเซอร์ต่าง ๆ ในตัว ESP32	8
ตารางที่ 2.3 พอร์ตใช้งานต่าง ๆ ของ ESP32.....	8
ตารางที่ 2.4 ฟังก์ชันเกี่ยวกับความปลอดภัยของ ESP32.....	8
ตารางที่ 2.5 ลักษณะการเชื่อมต่อของขา	9
ตารางที่ 2.6 ขาที่ใช้ในการเชื่อมต่อแบบ Integrate Circuit (IIC) หรือ I2C.....	9
ตารางที่ 2.7 ข้อมูลจำเพาะการใช้งานของโมดูลวัดอุณหภูมิและความชื้น รุ่น DHT11	13
ตารางที่ 3.1 ความคลาดเคลื่อนและความไม่แน่นอนของเซ็นเซอร์วัดกระแส	40
ตารางที่ 4.1 ข้อมูลเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นที่สามารถบันทึกค่าได้ในท้องตลาด.....	42
ตารางที่ 4.2 ข้อมูลเครื่องวัดกระแสไฟฟ้าที่สามารถบันทึกค่าได้ในท้องตลาด	43
ตารางที่ 4.3 ข้อมูลเครื่องมือวัดการใช้พลังงานที่สร้างขึ้น	44
ตารางที่ 4.4 สภาพแวดล้อมในการทำความเย็นวันที่ 1 ช่วงเวลา 12.00-15.00น.....	45
ตารางที่ 4.5 สภาพแวดล้อมในการทำความเย็นวันที่ 1 ช่วงเวลา 21.00-0.00น.....	46
ตารางที่ 4.6 สภาพแวดล้อมในการทำความเย็นวันที่ 2 ช่วงเวลา 12.00-15.00น.....	47
ตารางที่ 4.7 สภาพแวดล้อมในการทำความเย็นวันที่ 2 ช่วงเวลา 21.00-0.00น.....	48
ตารางที่ 4.8 สภาพแวดล้อมในการทำความเย็นวันที่ 3 ช่วงเวลา 12.00-15.00น.....	49
ตารางที่ 4.9 สภาพแวดล้อมในการทำความเย็นวันที่ 3 ช่วงเวลา 21.00-0.00น.....	50
ตารางที่ 4.10 ค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศที่คำนวณได้.....	52
ตารางที่ 4.11 ค่าใช้ไฟฟ้าที่ต้องจ่าย	54

ตารางที่ ก.1	โค้ดคำสั่งที่ใช้กับโมดูล RTC-DS1302	66
ตารางที่ ก.2	โค้ดคำสั่งที่ใช้กับโมดูลวัดอุณหภูมิและความชื้น รุ่น DHT11	69
ตารางที่ ก.3	โค้ดคำสั่งที่ใช้กับเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า CT sensor SCT-013.....	71
ตารางที่ ก.4	โค้ดคำสั่งที่ใช้กับ Micro SD Card Module	72
ตารางที่ ก.5	โค้ดคำสั่งที่ใช้กับจอ LCD 16x2 I2C	74
ตารางที่ ก.6	โค้ดคำสั่งที่ใช้กับ ESP NOW Receiver	75
ตารางที่ ก.7	โค้ดคำสั่งที่ใช้กับ ESP NOW Sender.....	77
ตารางที่ ก.8	โค้ดคำสั่งที่ใช้กับแอปพลิเคชัน Blynk	80
ตารางที่ ก.9	โค้ดคำสั่งที่ใช้กับตัวรับข้อมูล.....	81
ตารางที่ ก.10	โค้ดคำสั่งที่ใช้กับตัวส่งข้อมูล 1	84
ตารางที่ ก.11	โค้ดคำสั่งที่ใช้กับตัวส่งข้อมูล 2	87
ตารางที่ ค.1	ข้อมูลจากการวัดค่าในวันที่ 1 ช่วงเวลา 12.00น. ถึง 15.00น.....	94
ตารางที่ ค.2	ข้อมูลจากการวัดค่าในวันที่ 1 ช่วงเวลา 21.00น. ถึง 0.00น.....	96
ตารางที่ ค.3	ข้อมูลจากการวัดค่าในวันที่ 2 ช่วงเวลา 12.00น. ถึง 15.00น.....	98
ตารางที่ ค.4	ข้อมูลจากการวัดค่าในวันที่ 2 ช่วงเวลา 21.00น. ถึง 00.00น.....	100
ตารางที่ ค.5	ข้อมูลจากการวัดค่าในวันที่ 3 ช่วงเวลา 12.00น. ถึง 15.00น.....	102
ตารางที่ ค.6	ข้อมูลจากการวัดค่าในวันที่ 3 ช่วงเวลา 21.00น. ถึง 00.00น.....	104

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ในช่วง 4 ปีที่ผ่านมา ประเทศไทยมีอุณหภูมิเฉลี่ยที่สูงขึ้นกว่าค่าปกติ^[1] ทำให้ประชากรในประเทศมีการใช้งานเครื่องปรับอากาศกันมากขึ้น^[2] โดยเครื่องปรับอากาศนั้นจะใช้พลังงานไฟฟ้ามากในการทำงาน ซึ่งในปี 2554 กระทรวงพลังงานได้ออกมาตรฐานเบอร์ 5 เพื่อควบคุมอัตราส่วนประสิทธิภาพต่อพลังงานของเครื่องปรับอากาศขึ้นมา (Energy Efficiency Ratio : EER) โดยจะต้องมีอัตราส่วนประสิทธิภาพต่อพลังงานมากกว่า 11.6 จึงจะเป็นไปตามมาตรฐาน^[3] ส่งผลให้เครื่องปรับอากาศในปัจจุบันนี้มีค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพต่อพลังงานมากกว่า 11.6 ตามมาตรฐาน

เมื่อทำการสำรวจเครื่องมือวัดที่มีขายในปัจจุบันพบว่าเครื่องมือมีราคาสูง ไม่สามารถวัดค่าต่างๆ ของเครื่องปรับอากาศได้ครบในเวลาเดียวกันและไม่สามารถอัพเดทคำสั่งของเครื่องมือเพื่อพัฒนาได้ ทางผู้จัดทำจึงได้สร้างอุปกรณ์ในการตรวจวัดการใช้พลังงานและติดตามการทำงานของเครื่องปรับอากาศเพื่อเก็บข้อมูลและวิเคราะห์การทำงานของเครื่องปรับอากาศ ซึ่งอุปกรณ์สามารถนำไปต่อยอดในการควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการใช้พลังงาน และแนวคิดนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้ในการสร้างอุปกรณ์ติดตามการใช้พลังงานกับเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 ศึกษาการใช้พลังงานและประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ
- 1.2.2 ออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดเพื่อเก็บข้อมูลการใช้พลังงานและประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ
- 1.2.3 เปรียบเทียบความสามารถของเครื่องมือวัดที่ออกแบบกับเครื่องมือวัดในท้องตลาด

1.3 ขอบเขตในการดำเนินโครงการ

1. ศึกษาการทำงานของเครื่องปรับอากาศ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลการทำงานของเครื่องปรับอากาศ
2. สร้างอุปกรณ์เก็บข้อมูลการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ขนาด 12,521 BTU
3. เก็บรวบรวมข้อมูล และวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานและประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้รับความรู้การใช้พลังงานและประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ
2. ได้รับความรู้เรื่องการสร้างเครื่องมือการวัด
3. ได้เครื่องมือวัดการใช้พลังงานและประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ และสามารถนำไปพัฒนาต่อได้อีก

1.5 รายละเอียดงบประมาณตลอดโครงการ

- | | |
|--|-----------|
| 1. ค่าอุปกรณ์และเครื่องมือในการตรวจวัด | 3,500 บาท |
| 2. ค่าจัดทำรูปเล่ม | 500 บาท |

รวมทั้งสิ้น 4,000 บาท

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

ในบทที่ 2 นี้ จะเป็นการกล่าวถึงหลักการและทฤษฎีเบื้องต้นในการวิเคราะห์การใช้พลังงานและประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ โดยแบ่งหัวข้อการศึกษาออกเป็น 2 หัวข้อหลัก คือ ทฤษฎีของระบบปรับอากาศและอุปกรณ์ในการเก็บข้อมูลการปรับอากาศ ในส่วนของทฤษฎีการปรับอากาศจะแยกออกเป็น 2 หัวข้อย่อย คือ การปรับอากาศและวงจรทำความเย็น กับแผนภาพไซโครเมตริก (Psychrometric Chart) และในส่วนของอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลการปรับอากาศจะแยกออกเป็น 3 หัวข้อย่อย ได้แก่ ไมโครคอนโทรลเลอร์และเซ็นเซอร์ แอปพลิเคชัน Blynk และ ESP NOW โดยทั้ง 2 หัวข้อหลักที่กล่าวมาจะถูกนำไปวิเคราะห์ร่วมกับการปฏิบัติงานจริงต่อไป

2.1 การปรับอากาศและวัฏจักรการทำความเย็น

ในส่วนการปรับอากาศและวัฏจักรของการทำความเย็นนี้ จะเป็นการกล่าวถึงความหมายของการปรับอากาศและองค์ประกอบของวัฏจักรการทำความเย็น ตามลำดับ

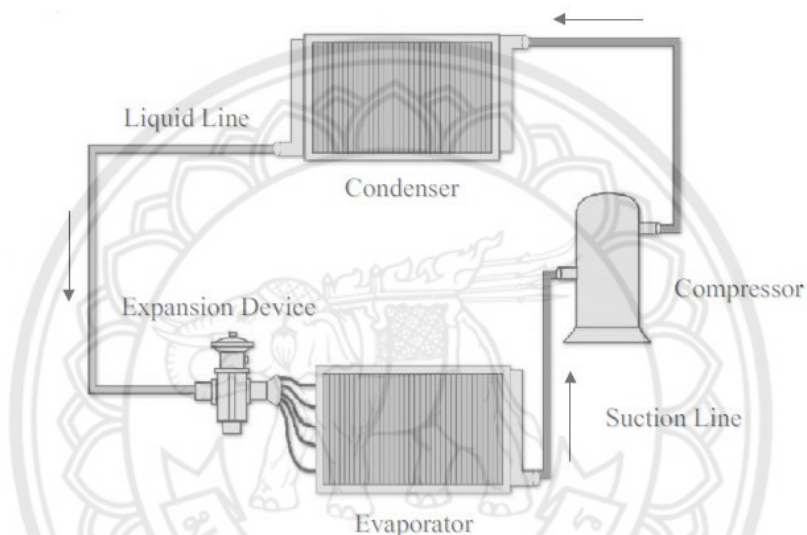
2.1.1 การปรับอากาศ

การปรับอากาศ คือ การปรับสภาวะของอากาศทั้งทางด้านอุณหภูมิ ความชื้น ความสะอาด และทิศทางการไหลของอากาศ เพื่อให้ผู้อยู่อาศัยรู้สึกสบาย โดยการปรับอากาศในประเทศไทยต้องทำการลดอุณหภูมิและความชื้น เนื่องจากประเทศไทยมีสภาวะอากาศแบบร้อนชื้น ซึ่งเป็นเหตุให้รู้สึกไม่สบายตัว

นอกจากนี้การปรับอากาศยังถูกนำไปใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมและทางการแพทย์ โดยจะใช้เพื่อควบคุมสภาวะอากาศให้มีความเหมาะสมต่อความต้องการทำงานในงานนั้น ๆ ^[4]

2.1.2 วงจรทำความเย็น

หลักการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ คือ การนำความร้อนจากที่ที่มีอุณหภูมิต่ำไปยังที่ที่มีอุณหภูมิสูงโดยการป้อนงานให้แก่อุปกรณ์ ตามกฎข้อที่ 2 ทางเทอร์โมไดนามิกส์ ตามคำกล่าวของ Clausius ว่า “เป็นไปได้ที่จะสร้างอุปกรณ์ที่สามารถถ่ายโอนความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงโดยปราศจากการป้อนงานให้แก่อุปกรณ์นั้น” [5] โดยระบบทำความเย็นจะประกอบด้วยอุปกรณ์ทั้งหมด 4 ส่วน ดังรูปที่ 2.1

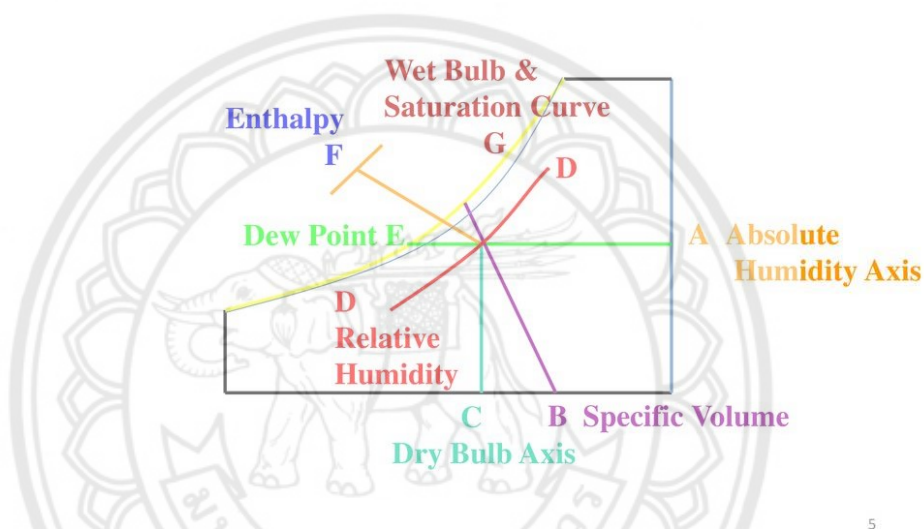


รูปที่ 2.1 วงจรทำความเย็น [6]

- 1) คอมเพรสเซอร์ (Compressors) ทำหน้าที่อัดไอสารทำความเย็นที่มีความดันต่ำและอุณหภูมิต่ำ ให้มีอุณหภูมิสูงและความดันสูง
- 2) เครื่องระเหย (Evaporator) ทำหน้าที่ดูดความร้อนสู่สารทำความเย็นจากพื้นที่ที่ต้องการทำความเย็น และลดความชื้นของอากาศ
- 3) คอนเดนเซอร์ (Condenser) ทำหน้าที่ระบายความร้อนให้กับไอสารทำความเย็นที่มีอุณหภูมิสูงสู่อากาศภายนอกและสารทำความเย็นจะเกิดการควบแน่นเป็นสารทำความเย็นเหลว
- 4) อุปกรณ์ลดความดัน (Expansion Valve) ทำหน้าที่ควบคุมการไหลของสารทำความเย็น ลดความดัน และอุณหภูมิจนเป็นไอสารทำความเย็น

2.2 แผนภาพไซโครเมตริก

แผนภาพไซโครเมตริก (Psychrometric Char) คือ แผนภาพที่สร้างมาจากความสัมพันธ์คุณสมบัติต่าง ๆ ของอากาศ ดังรูปที่ 2.2 โดยใช้สมการทางคณิตศาสตร์ เมื่อทราบค่าคุณสมบัติเพียง 2 ค่า เราจะสามารถหาค่าคุณสมบัติอื่น ๆ ได้ทั้งหมดอย่างรวดเร็ว โดยค่าคุณสมบัติในแผนภาพไซโครเมตริกจะมีทั้งหมด 7 ค่า ดังนี้



รูปที่ 2.2 แผนภาพไซโครเมตริก [7]

- 1) อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry Bulb Temperature, DB) คือ อุณหภูมิที่อ่านจากเทอร์โมมิเตอร์ธรรมดา โดยที่กระเปาะที่ใช้วัดอุณหภูมิในขณะวัดนั้นจะต้องแห้ง จึงจะได้อุณหภูมิกระเปาะแห้งจริง
- 2) อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet Butts Temperature, WB) คือ อุณหภูมิที่อ่านค่าได้จากเทอร์โมมิเตอร์ที่ปลายกระเปาะมีผ้าพันเอาไว้และนำผ้าไปชุบน้ำพอชุ่ม การวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียกจะต้องมีกระแสลมผ่านที่มีความเร็วระหว่าง 5 ถึง 10 เมตรต่อวินาที ที่พัดผ่านกระเปาะ ทำให้น้ำที่ชุบในผ้าเกิดการระเหย โดยดึงความร้อนรอบ ๆ ตัวกระเปาะมาทำให้น้ำเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นไอ จึงทำให้อุณหภูมิกระเปาะเปียกต่ำกว่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งเสมอ

3) อัตราส่วนความชื้น (Humidity Ratio, ω) คือ มวลของไอน้ำต่อมวลของอากาศแห้ง บางครั้งเรียกว่า “ความชื้นจำเพาะ” มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อกิโลกรัมของอากาศแห้ง (kg/kg)

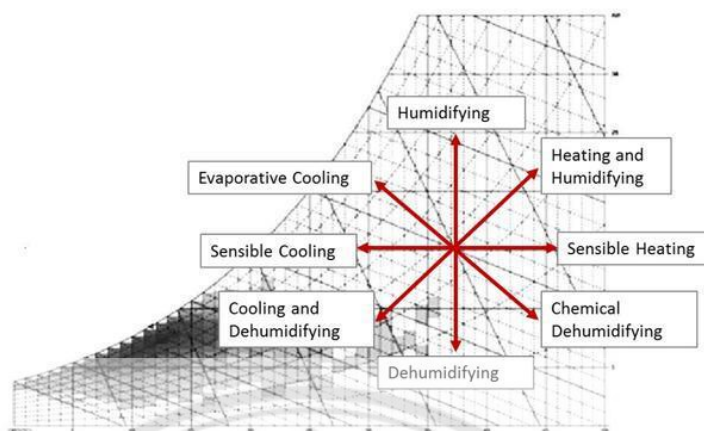
4) ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity, %RH) คือ อัตราส่วนความดันของไอน้ำในอากาศที่มีอยู่ในอากาศขึ้นกับความดันอิ่มตัวของไอน้ำที่อุณหภูมิเดียวกัน

5) ปริมาตรจำเพาะ (Specific Volume, v) คือ ปริมาตรของอากาศกับความชื้นต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของอากาศแห้ง

6) อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew Point Temperature, DP) คือ อุณหภูมิที่ความชื้นในอากาศเริ่มกลั่นตัวเป็นหยดน้ำเมื่ออากาศถูกลดอุณหภูมิที่ความดันคงที่

7) เอนทัลปีจำเพาะ (Specific Enthalpy, h) คือ พลังงานหรือปริมาณความร้อนของอากาศขึ้นต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักอากาศแห้งที่อุณหภูมิอ้างอิง

นอกจากนี้ แผนภาพไซโครเมตริกยังสามารถบอกถึงกระบวนการการปรับอากาศทั้งหมดที่สามารถทำได้ โดยกระบวนการการปรับอากาศในส่วนของแผนภาพไซโครเมตริกจะมีตัวแปรด้วยกันทั้งหมด 2 ตัวแปร คือ อุณหภูมิและความชื้น ซึ่งในชีวิตประจำวันนั้นกระบวนการการปรับจะทำเพื่อให้เรารู้สึกสบายตัว และส่วนใหญ่ของมนุษย์จะมีช่วงอุณหภูมิและความชื้นที่ทำให้รู้สึกสบายตัว (Comfort Zone) อยู่ที่อุณหภูมิระหว่าง 24-27 องศาเซลเซียส และค่าความชื้นสัมพัทธ์ระหว่าง 20-70% แต่ในแต่ละพื้นที่นั้นมีอุณหภูมิและความชื้นที่ต่างกัน ทำให้มีการสร้างเครื่องปรับอากาศขึ้นมาเพื่อแก้ไขปัญหานี้ โดยมีกระบวนการการปรับอากาศที่สามารถทำได้ในแผนภาพไซโครเมตริกมีทั้งหมด 8 กระบวนการ ดังรูปที่ 2.3



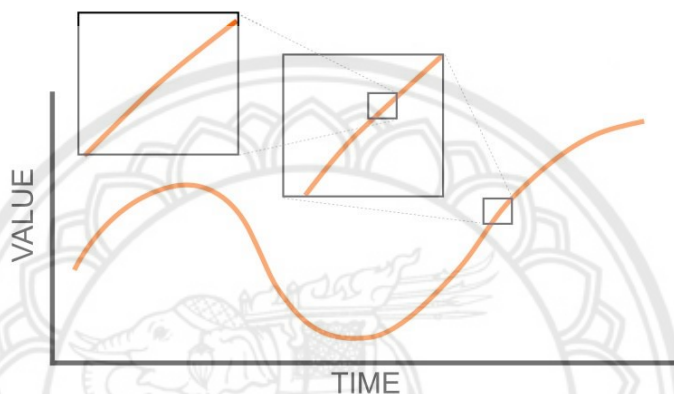
รูปที่ 2.3 กระบวนการปรับอากาศ [8]

- 1) กระบวนการทำความร้อน (Heating Process) เป็นกระบวนการที่ทำให้อุณหภูมิกระเปาะแห้งเพิ่มขึ้นโดยที่อัตราส่วนความชื้นมีค่าคงที่
- 2) กระบวนการทำความเย็น (Cooling Process) เป็นกระบวนการที่ทำให้อุณหภูมิกระเปาะแห้งมีค่าลดลงโดยที่อัตราส่วนความชื้นมีค่าคงที่
- 3) กระบวนการเพิ่มความชื้น (Humidification Process) เป็นกระบวนการที่ทำให้อัตราส่วนความชื้นของอากาศมีค่าเพิ่มขึ้นโดยที่อุณหภูมิกระเปาะแห้งมีค่าคงที่
- 4) กระบวนการลดความชื้น (Dehumidification Process) เป็นกระบวนการที่ทำให้อัตราส่วนความชื้นของอากาศมีค่าลดลงโดยที่อุณหภูมิกระเปาะแห้งมีค่าคงที่
- 5) กระบวนการทำความร้อนและเพิ่มความชื้น (Heating and Humidification Process) เป็นกระบวนการที่ทำให้อุณหภูมิกระเปาะแห้งและอัตราส่วนความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้น
- 6) กระบวนการทำความร้อนและลดความชื้น (Heating and Dehumidification Process) เป็นกระบวนการที่ทำให้อุณหภูมิกระเปาะแห้งมีค่าเพิ่มขึ้นแต่อัตราส่วนความชื้นมีค่าลดลง
- 7) กระบวนการทำความเย็นและเพิ่มความชื้น (Cooling and Humidification Process) เป็นกระบวนการที่ทำให้อุณหภูมิกระเปาะแห้งมีค่าลดลงแต่อัตราส่วนความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้น
- 8) กระบวนการทำความเย็นและลดความชื้น (Cooling and Dehumidification Process) เป็นกระบวนการที่ทำให้อุณหภูมิกระเปาะแห้งและอัตราส่วนความชื้นมีค่าลดลง

2.3 ความแตกต่างของอนาล็อกกับดิจิทัล

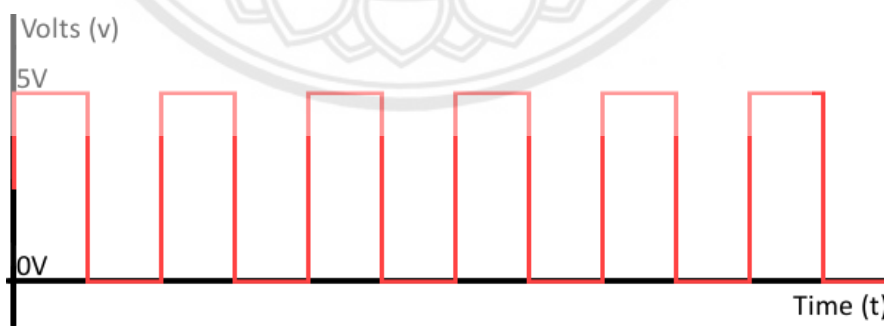
อนาล็อกและดิจิทัล เป็นสัญญาณในทางอิเล็กทรอนิกส์ที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา โดยสัญญาณจะถูกส่งระหว่างอุปกรณ์กับอุปกรณ์เพื่อสื่อสารกัน

สัญญาณอนาล็อก เป็นสัญญาณข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลงแบบต่อเนื่อง มีจุดเด่นด้านความเร็วในการส่งข้อมูลแต่สัญญาณแบบอนาล็อกจะถูกรบกวนได้ง่าย ดังแสดงตามรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 สัญญาณอนาล็อก ^[9]

สัญญาณดิจิทัล เป็นสัญญาณข้อมูลแบบไม่ต่อเนื่อง แต่มีขนาดที่แน่นอน โดยข้อมูลจะสลับระหว่างค่าสองค่า คือ สัญญาณระดับสูงสุดและสัญญาณระดับต่ำสุด ซึ่งทำให้เกิดความผิดพลาดน้อยกว่าสัญญาณอนาล็อก ดังแสดงตามรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 สัญญาณดิจิทัล ^[9]

2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์และเซ็นเซอร์

ในส่วนนี้จะเป็นการกล่าวถึงไมโครคอนโทรลเลอร์และเซ็นเซอร์ที่เกี่ยวข้องกับโครงงาน โดยจะมีบอร์ดและเซ็นเซอร์ทั้งหมด 6 ตัว คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32, จอ LCD 16x2 I2C, Micro SD Card Module, โมดูลวัดอุณหภูมิและความชื้น รุ่น DHT11, เซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า CT sensor SCT-013 50A/1V และ RTC DS1302 ตามลำดับ

2.4.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32

ESP32 เป็นรุ่นพัฒนามาจาก ESP8266 ที่ผลิตโดยบริษัท Espressif จากประเทศจีน ซึ่ง ESP8266 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มี Wi-Fi ในตัว และมีราคาถูก สามารถทำงานได้โดยใช้การสื่อสารผ่านช่องทาง UART (Universal Asynchronous Receiver and Transmitter) เท่านั้น และสั่งงานผ่าน AT Command โดยการเขียนเฟิร์มแวร์จะใช้ภาษา C เพียงอย่างเดียว และใช้ ESP8266 SDK เป็นชุดซอฟต์แวร์พัฒนา แต่ด้วยความยากของการทำงานภาษา C ทำให้ไม่ได้รับความนิยม บริษัท Espressif จึงได้ผลิตไมโครคอนโทรลเลอร์รุ่นใหม่ออกมานั้นคือ ESP32 ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ 32 บิต ที่มี Wifi และบลูทูธเวอร์ชัน 4.2 ในตัว รองรับการเขียนโปรแกรมโดยใช้โปรแกรม Arduino IDE และรองรับไลบรารีส่วนใหญ่ของ Arduino ทำให้สามารถใช้งานได้ง่าย และได้รับความนิยมมากจนถึงปัจจุบัน โดยตัวไอซี ESP32 มีข้อมูลจำเพาะโดยละเอียด ดังนี้

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลจำเพาะของไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32

ข้อมูลจำเพาะของไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32	
<ul style="list-style-type: none"> • มีแรมในตัว 512 KB 	<ul style="list-style-type: none"> • ทำงานได้ที่อุณหภูมิตั้งแต่ -40°C ถึง 125°C
<ul style="list-style-type: none"> • รองรับการเชื่อมต่อรอมภายนอกสูงสุด 16 MB 	<ul style="list-style-type: none"> • มีบลูทูธในตัว รองรับการใช้งานในโหมด 2.0 และโหมด 4.0 BLE
<ul style="list-style-type: none"> • ใช้แรงดันไฟฟ้าในการทำงาน 2.6 V ถึง 3 V 	<ul style="list-style-type: none"> • Wi-Fi มาตรฐาน 802.11b/g/n รองรับการใช้งานทั้งในโหมด Station softAP และ Wi-Fi direct
<ul style="list-style-type: none"> • ซีพียูใช้สถาปัตยกรรม Tensilica LX6 แบบ 2 แกนสมอง สัญญาณนาฬิกา 240MHz 	

ตารางที่ 2.2 เซ็นเซอร์ต่าง ๆ ในตัว ESP32

เซ็นเซอร์ต่าง ๆ ในตัว ESP32	
<ul style="list-style-type: none"> • วงจรกรองสัญญาณรบกวนในวงจรขยายสัญญาณ 	<ul style="list-style-type: none"> • เซ็นเซอร์สัมผัส (Capacitive touch) รองรับ 10 ช่อง
<ul style="list-style-type: none"> • เซ็นเซอร์แม่เหล็ก 	<ul style="list-style-type: none"> • รองรับการเชื่อมต่อคลิสตอล 32.768kHz สำหรับใช้กับส่วนวงจรนับเวลาโดยเฉพาะ

ตารางที่ 2.3 พอร์ตใช้งานต่าง ๆ ของ ESP32

ขาใช้งานต่าง ๆ ของ ESP32	
<ul style="list-style-type: none"> • มี GPIO จำนวน 32 พอร์ต 	<ul style="list-style-type: none"> • รองรับ ADC จำนวน 12 พอร์ต
<ul style="list-style-type: none"> • รองรับ UART จำนวน 3 พอร์ต 	<ul style="list-style-type: none"> • รองรับ DAC จำนวน 2 พอร์ต
<ul style="list-style-type: none"> • รองรับ SPI จำนวน 3 พอร์ต 	<ul style="list-style-type: none"> • รองรับ I2S จำนวน 2 พอร์ต
<ul style="list-style-type: none"> • รองรับ I2C จำนวน 2 พอร์ต 	<ul style="list-style-type: none"> • รองรับ PWM / Timer ทุกพอร์ต
<ul style="list-style-type: none"> • รองรับการเชื่อมต่อกับ SD-Card 	

ตารางที่ 2.4 ฟังก์ชันเกี่ยวกับความปลอดภัยของ ESP32

ฟังก์ชันเกี่ยวกับความปลอดภัยของ ESP32
<ul style="list-style-type: none"> • รองรับการเข้ารหัส Wi-Fi แบบ WEP และ WPA/WPA2 PSK/Enterprise
<ul style="list-style-type: none"> • วงจรเข้ารหัส AES / SHA2 / Elliptical Curve Cryptography / RSA-4096

2.4.2 จอ LCD 16x2 I2C

จอ LCD 16x2 I2C เป็นจอ LCD ที่แสดงผลได้ 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด โดยปกติ จอ LCD มีการเชื่อมต่อขา GPIO ทั้งหมด 6 ขา ในการส่งข้อมูล ส่งผลให้เหลือขา GPIO สำหรับใช้งานอุปกรณ์อื่นได้น้อยลง จึงมีการใช้ไอซี PCF8574 เพื่อเปลี่ยนการเชื่อมต่อเป็นรูปแบบ I2C โดยการเชื่อมต่อแบบ I2C นี้จะใช้ขาในการเชื่อมต่อเพียง 2 ขาดังรูปที่ 2.6 นอกจากการเชื่อมต่อในรูปแบบ I2C นี้แล้ว ยังจำเป็นต้องเชื่อมต่อไฟเลี้ยง 2 ขา ดังนี้

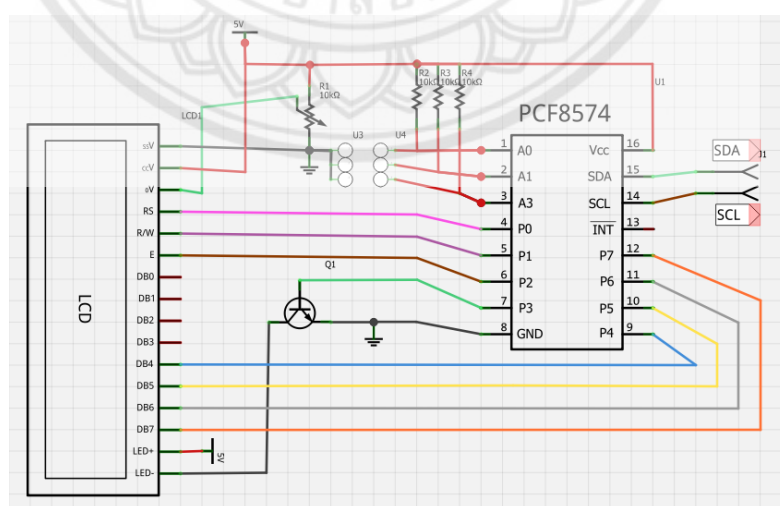
ตารางที่ 2.5 ลักษณะการเชื่อมต่อของขา

ขาที่ใช้ในการเชื่อมต่อเพื่อรับส่งข้อมูล	ขาที่ใช้เชื่อมต่อไฟเลี้ยง ESP32
1) SDA (Serial Data) เป็นขาที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล	1) GND เป็น Ground ของ LCD
2) SCL (Serial Clock) เป็นขาสัญญาณนาฬิกา	2) VCC เป็นไฟเลี้ยงวงจรที่ป้อนให้กับ LCD มีขนาด +5VDC

จอ LCD 16x2 I2C เป็นจอที่ต้องการไฟเลี้ยง 5 โวลต์ และใช้การเชื่อมต่อแบบ Integrate Circuit (IIC) นิยมเรียกว่า I2C ซึ่งการเชื่อมต่อแบบ I2C นี้ เป็นการสื่อสารแบบอนุกรม เพื่อใช้สื่อสารข้อมูลความเร็วต่ำ โดยใช้ขาในการเชื่อมต่อเพียง 2 ขา คือ SCL และ SDA โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 2.6

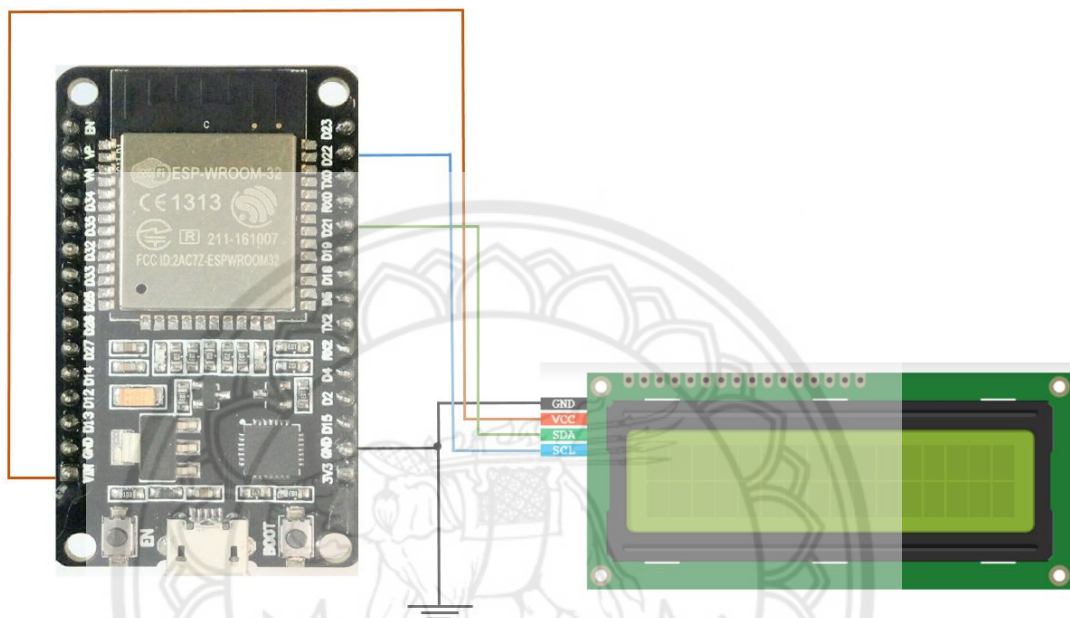
ตารางที่ 2.6 ขาที่ใช้ในการเชื่อมต่อแบบ Integrate Circuit (IIC) หรือ I2C

ขาที่ใช้ในการเชื่อมต่อแบบ Integrate Circuit (IIC) หรือ I2C			
ชื่อย่อ	ชื่อเต็ม	การใช้งาน	ESP32 PIN
SCL	Serial Clock	ใช้สำหรับส่งสัญญาณนาฬิกาจาก Master ไปยัง Slave	D22
SDA	Serial Data	ใช้สำหรับส่งข้อมูลจาก Master ไปยัง Slave	D21



รูปที่ 2.6 วงจรภายในจอ LCD ที่เชื่อมต่อแบบ I2C ^[10]

การใช้งาน LCD 16x2 Character I2C กับ ESP32 มีการเชื่อมต่อดังรูปที่ 2.7 ในส่วนของโปรแกรมต้องมีการใช้ไลบรารีเพิ่มเติม คือ LiquidCrystal_I2C by Frank de Brabander^[11] จากนั้นจึงทำการเขียนโค้ดเพื่อทดสอบการใช้งาน



รูปที่ 2.7 การเชื่อมต่อระหว่าง LCD 16x2 Character I2C กับ ESP32

เมื่อทำการเขียนโค้ดเสร็จจอล CD จะแสดงข้อความดังรูปที่ 2.8 แต่หากจอ LCD แสดงที่ความผิดปกติจากที่เขียนโค้ดเอาไว้ อาจเกิดจากการต่อสายสัญญาณจอ LCD ไม่แน่น

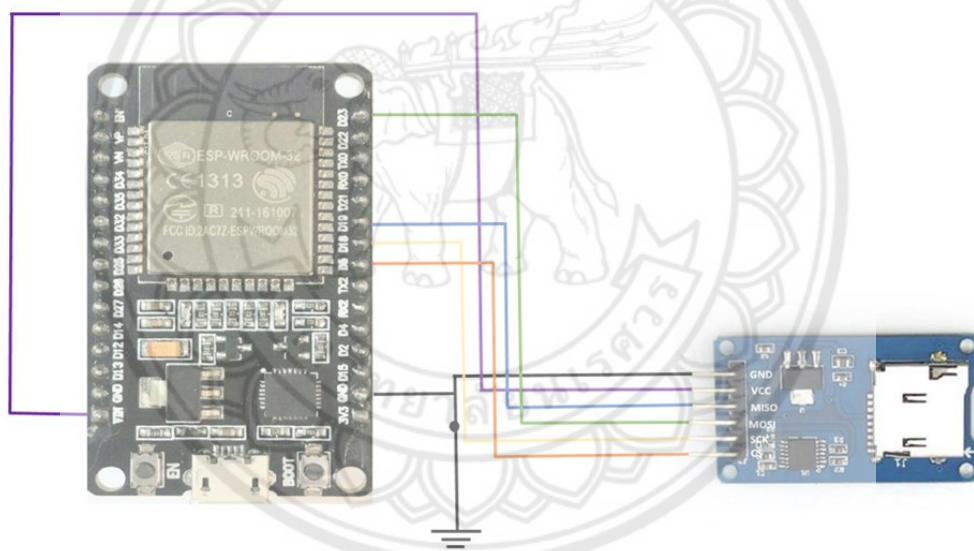


รูปที่ 2.8 การทำงานผ่าน LCD

2.4.3 Micro SD Card Module

โมดูล Micro SD Card เป็นโมดูลสำหรับอ่านและเขียนข้อมูลลงบน Micro SD Card ใช้ไฟเลี้ยง 5 โวลต์ อาศัยการเชื่อมต่อแบบ Serial Peripheral Interface (SPI) โดยอาศัยสัญญาณนาฬิกาเป็นตัวกำหนดการรับส่งข้อมูล โดยในการเชื่อมต่อแบบ SPI นี้จะใช้สายสัญญาณทั้งหมด 4 เส้น คือ SCK, MISO, MOSI, CS โดยการต่อวงจร Micro SD Card เข้ากับบอร์ด ESP32 จะมีการเชื่อมต่อดังรูปที่ 2.9

เนื่องจากโมดูลสามารถอ่านและเขียนข้อมูลใน Micro SD Card ได้เพียงรูปแบบเดียว คือ FAT16/32 จึงต้องทำการ Format Micro SD Card ให้เป็นรูปแบบ FAT16/32 ก่อน หลังจากนั้นจึงทำการสร้างไฟล์เปล่าสำหรับเก็บข้อมูล และในส่วนของโปรแกรมนั้นไม่จำเป็นต้องมีการใช้ไลบรารีเพิ่มเติม เนื่องจากเป็นไลบรารีพื้นฐาน จากนั้นจึงทำการเขียนโค้ดเพื่อทดสอบการใช้งาน

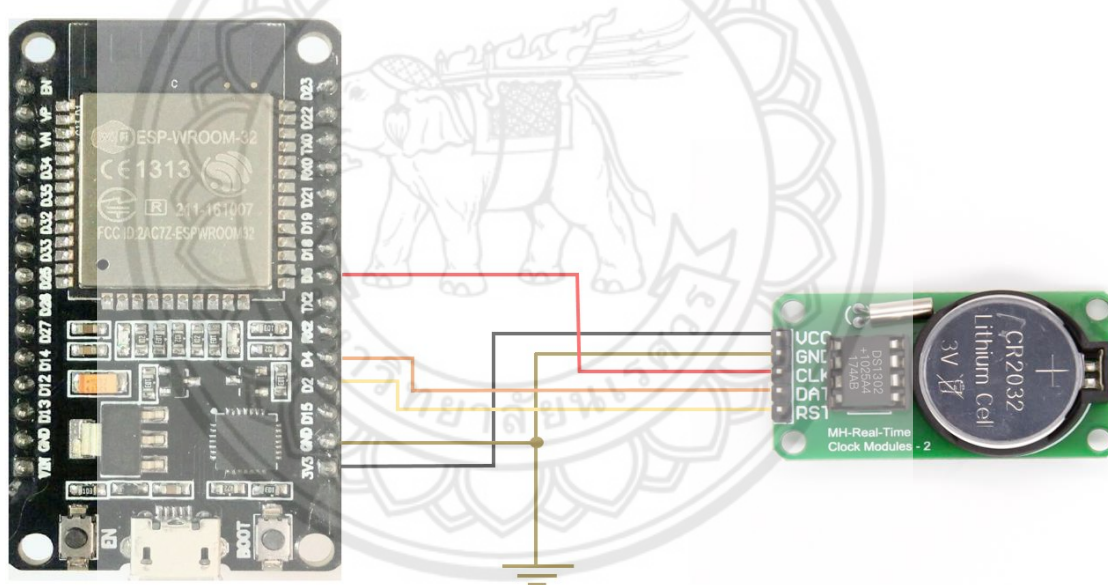


รูปที่ 2.9 การเชื่อมต่อโมดูล Micro SD Card กับ ESP32

2.4.4 RTC DS1302

RTC DS1302 เป็นโมดูลที่ใช้ในการแสดงเวลาและวันที่ โดยจะต้องตั้งค่าเวลาและวันที่เริ่มต้นก่อน จากนั้น IC จะทำการนับเวลาต่อ จึงจำเป็นต้องมีแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงเสมอ

โดยการใช้งานโมดูลจะทำการต่อวงจรกับบอร์ด ESP32 ตามรูปที่ 2.10 สายสีดำ ต่อจากแหล่งจ่ายไฟ 3.3VDC เข้าสู่ขาที่ VCC ของโมดูล สายสีน้ำตาลต่อจากขา GND ของ ESP32 กับขา GND ของโมดูล สายสีแดงต่อจากขา output D5 ของ ESP32 กับขา CLK ของโมดูล สายสีส้มต่อจากขา output D4 ของ ESP32 กับขา DAT ของโมดูล สายสีเหลืองต่อจากขา output D2 ของ ESP32 กับขา RST ของโมดูล ในส่วนของโปรแกรมต้องมีการลง Library เพิ่มเติมคือ Rtc by Makuna^[12] จากนั้นจึงทำการเขียนโค้ดเพื่อทดสอบการใช้งาน



รูปที่ 2.10 การเชื่อมต่อ RTC DS1302 กับ ESP32

2.4.5 โมดูลวัดอุณหภูมิและความชื้น รุ่น DHT11

โมดูลวัดอุณหภูมิและความชื้น รุ่น DHT11 เป็นโมดูลเซนเซอร์ที่สามารถวัดความชื้นและอุณหภูมิได้ในตัวเดียว มีความแม่นยำสูง มีตัวต้านทาน Pull up มาแล้ว สามารถต่อขาทดลองได้เลยไม่ต้องต่ออุปกรณ์เพิ่ม ให้ Output ออกมาเป็นแบบ Digital Output^[13] ดังรูปที่ 2.11 และมีรายละเอียดข้อมูลจำเพาะการใช้งานดังตารางที่ 2.7^[14]



รูปที่ 2.11 โมดูลวัดอุณหภูมิและความชื้น รุ่น DHT11^[15]

ตารางที่ 2.7 ข้อมูลจำเพาะการใช้งานของโมดูลวัดอุณหภูมิและความชื้น รุ่น DHT11

Humidity measurement range	20%-90%RH
Humidity measurement error	±5%RH
Temperature measurement range	0-60 °C
Temperature measurement error	±2 °C
Working voltage	5 V
Size	28x12x8mm

ในการวัดความชื้นนั้นสามารถใช้การวัดค่าความเปลี่ยนแปลงของอิมพีแดนซ์ของวัสดุวัดความชื้นเมื่อเซ็นเซอร์ดูดซับไอน้ำ ค่าความต้านทานจะเปลี่ยนไปตามความชื้นทำให้เกิดกระแสไฟไหลในวงจร ซึ่งกระแสไฟนี้จะถูกแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อส่งต่อไปยังวงจรต่าง ๆ^[16]

และสำหรับการวัดอุณหภูมิอุปกรณ์ที่ใช้วัดจะเป็นแบบ Resistance Temperature Detector (RTD) โดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของโลหะที่มีผลต่ออุณหภูมิ^[5] ซึ่งเป็นไปตามสมการที่ 2.1

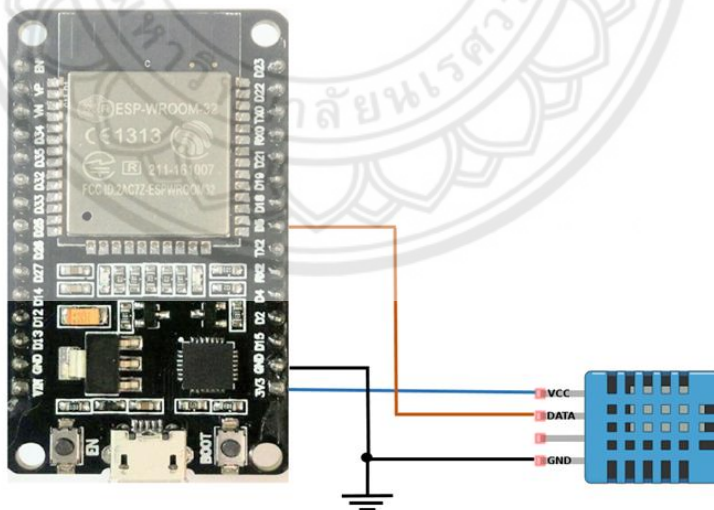
$$R_t = R_0(1 + \alpha t) \quad (2.1)$$

โดยที่ R_t คือ ค่าความต้านทานของลวดที่อุณหภูมิ $t \text{ } ^\circ\text{C}$

R_0 คือ ค่าความต้านทานของลวดโลหะที่อุณหภูมิ $0 \text{ } ^\circ\text{C}$

α คือ สัมประสิทธิ์ของการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานไฟฟ้าต่ออุณหภูมิ $1 \text{ } ^\circ\text{C}$

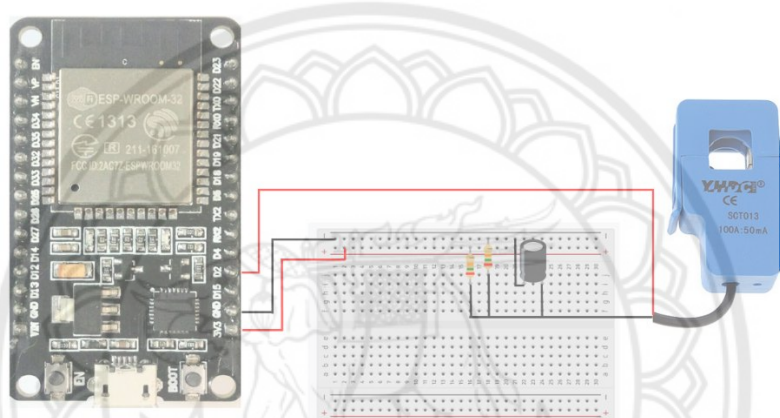
การต่อวงจรกับบอร์ด ESP32 ดังรูปที่ 2.12 สายน้ำเงินต่อจากแหล่งจ่ายไฟ 3.3VDC เข้าสู่ขา VCC ของเซ็นเซอร์ สายสีส้มต่อจากขา Input D5 ของ ESP32 กับขาที่ DATA ของเซ็นเซอร์ สายสีดำต่อกับ GND กับขาที่ GND ของเซ็นเซอร์ ในส่วนของโปรแกรมต้องมีการลงไลบรารีเพิ่มเติม คือ DHT Sensor Library by Adafruit^[17] จากนั้นจึงทำการเขียนโค้ดเพื่อทดสอบการใช้งาน



รูปที่ 2.12 การต่อวงจร DHT11 กับ ESP32

2.4.6 เซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า CT sensor SCT-013 50A/1V

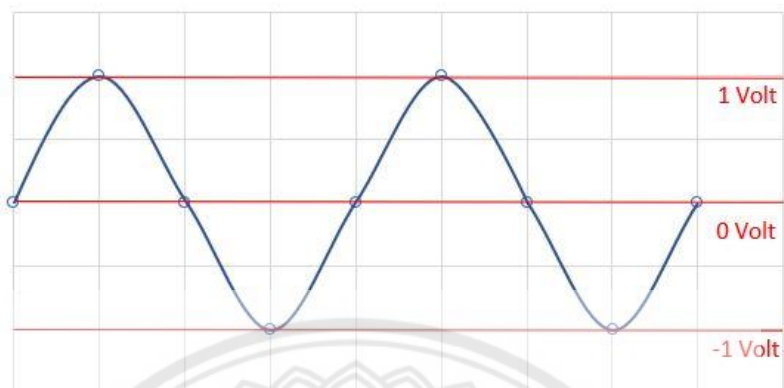
เซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า CT sensor SCT-013 เป็นเซ็นเซอร์ที่สามารถวัดกระแสไฟฟ้าโดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กคล้ายหม้อแปลงไฟฟ้า คือ เมื่อมีกระแสไหลผ่านขดลวดปฐมภูมิจะเกิดขั้วแม่เหล็กขึ้นและเหนี่ยวนำแรงดันไฟฟ้าไปยังขดลวดทุติยภูมิ ขั้วแม่เหล็กจะสลับไปสลับมาตามความถี่ของไฟฟ้า ซึ่งโดยปกติประเทศไทยมีความถี่ของไฟฟ้าที่ 50 Hz โดยเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าจะให้สัญญาณออกมาเป็น Analog Output 0-1 โวลต์



รูปที่ 2.13 การต่อวงจร CT sensor กับ ESP32

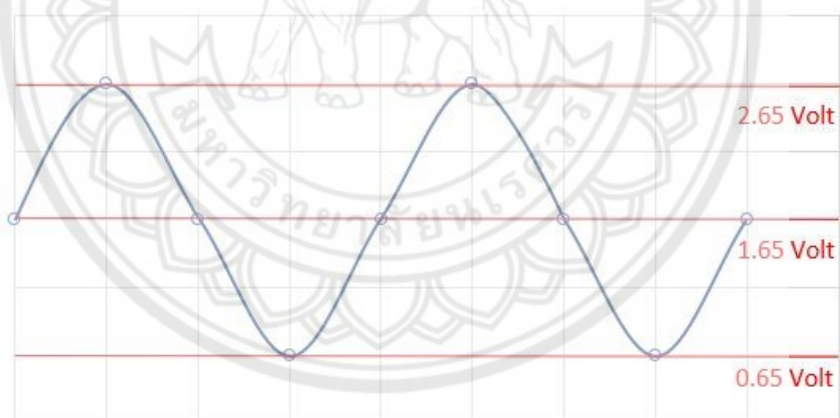
การต่อวงจร CT เข้ากับบอร์ด ESP32 โดยปกติค่าที่ได้จากเซ็นเซอร์จะมีค่าแบบ Sine Wave ± 1 โวลต์ ตามรูปที่ 2.14 แต่บอร์ด ESP-32 ไม่สามารถรับสัญญาณที่ต่ำกว่า 0 ได้ดังรูปที่ 2.14 จึงต้องมีการ Offset สัญญาณขึ้นไป 1.65 โวลต์ โดยมีการต่อวงจรตามรูปที่ 2.13 จะส่งผลให้ได้ Sine Wave ที่มีค่า 0.65 ถึง 2.65 โวลต์ ตามรูปที่ 2.15 ในส่วนของโปรแกรมต้องมีการลงไลบรารีเพิ่มเติม คือ EmonLib^[18] จากนั้นจึงทำการเขียนโค้ดเพื่อทดสอบการใช้งาน

Original



รูปที่ 2.14 ค่าที่ได้จากเซ็นเซอร์ก่อนการ Offset

Offset 1.65 Volt



รูปที่ 2.15 ค่าที่ได้จากเซ็นเซอร์หลังการ Offset

2.5 ESP NOW

ESP NOW เป็น Protocol ที่ถูกพัฒนาโดย Espressif System ใช้สำหรับการรับส่งข้อมูลโดยไม่ผ่าน Router ในการเป็นตัวกลาง ESP NOW อาศัยการเชื่อมต่อแบบ Wi-Fi 2.4GHz โดยการใช้ MAC Address ในการระบุบอร์ด สามารถส่งข้อมูลได้สูงสุดครั้งละ 250 byte ต่อครั้ง และใช้พลังงานต่ำ

การหา MAC Address ของบอร์ดที่ต้องการใช้ในการรับข้อมูล ต้องทำการเขียนโค้ด หลังจากอัปโหลดโค้ดแล้ว ก็ทำการเช็ค MAC Address ได้จาก Serial Monitor

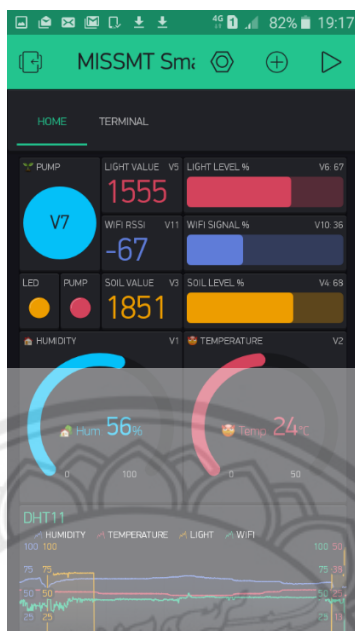
โดยในโครงการนี้ ESP NOW จะถูกนำไปใช้ในการส่งข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นจาก ESP32 ที่ติดตั้งอยู่ในจุดที่ห่างไกลกัน ESP NOW จึงมีบทบาทในการส่งข้อมูลไปยังตัวรับข้อมูลที่ตั้งอยู่อีกตำแหน่ง

2.6 แอปพลิเคชัน Blynk

แอปพลิเคชัน Blynk เป็นแอปพลิเคชันสำเร็จรูปสำหรับสร้างวิดเจ็ตในการรับและส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์ดังรูปที่ 2.16 โดยอาศัยการเชื่อมต่อแอปพลิเคชันกับอุปกรณ์ผ่านอินเทอร์เน็ต โดยมี Blynk server เป็นตัวกลางในการรับส่งข้อมูล โดยในการใช้งานแอปพลิเคชันหน้าจอก็จะแสดงวิดเจ็ตต่าง ๆ ซึ่งสามารถนำมาใช้งานในการแสดงผลข้อมูลต่างๆ ในรูปแบบตัวเลข กราฟเส้น เเปอร์เซ็นต์ สถานะ และยังสามารถส่งข้อมูลกลับไปเพื่อควบคุมอุปกรณ์ได้อีกด้วย ซึ่งผู้ใช้งานสามารถเลือกใช้ได้อย่างอิสระ ดังแสดงรูปที่ 2.17 ในส่วนของโปรแกรมต้องมีการลงไลบรารีเพิ่มเติมคือ Blynk By Volodymyr Shymansky ^[19] จากนั้นจึงทำการเขียนโค้ดในการทดสอบการเชื่อมต่อ



รูปที่ 2.16 ไอคอนแอปพลิเคชัน Blynk ^[20]



รูปที่ 2.17 วิดเจ็ตต่าง ๆ ในการใช้งานจริงของแอปพลิเคชัน Blynk [21]

2.7 ความคลาดเคลื่อน

ความคลาดเคลื่อน (Errors) เป็นส่วนหนึ่งในการวัดค่าต่างๆ เสมอ การวัดค่าที่สมบูรณ์นั้นต้องได้ข้อมูลที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด โดยความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นจาก 2 สาเหตุดังนี้

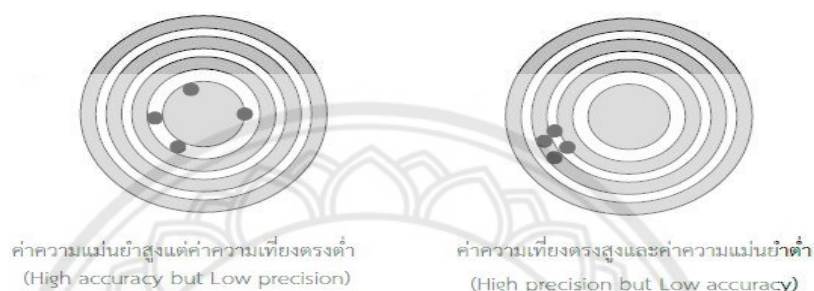
ความคลาดเคลื่อนเชิงบุคคล (Personal Errors) เป็นความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากความผิดพลาดของผู้วัด ซึ่งสามารถลดความคลาดเคลื่อนเชิงบุคคลนี้ได้โดยให้ผู้วัดระมัดระวังในการอ่านข้อมูลจากเครื่องมือวัด พร้อมทั้งระมัดระวังหน่วยของปริมาตรวัด ผู้ทำการวัดต้องมีการบันทึกข้อมูลให้มีระเบียบแบบแผน

ความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ (Systematic Errors) เป็นความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากเครื่องมือที่ใช้ในการวัดข้อมูล ซึ่งสามารถลดความคลาดเคลื่อนเชิงระบบได้โดยการใช้เครื่องมือที่มีคุณภาพ ความคลาดเคลื่อนเชิงระบบเกิดขึ้นเสมอไม่ขึ้นกับผู้ทำการวัดดังรูปที่ 2.18 ผู้ทำการวัดจึงจำเป็นต้องเลือกเครื่องมือวัดให้มีความเหมาะสม โดยมีส่วนที่ต้องพิจารณาดังนี้

ความเที่ยงตรง (Precision) หมายถึงเครื่องมือที่วัดได้ค่าเดิมแม้ว่าจะวัดหลายๆ ครั้ง

ความแม่นยำ (Accuracy) หมายถึงเครื่องมือที่วัดได้ค่าเท่ากับค่ามาตรฐานหรือใกล้เคียงกับค่ามาตรฐาน

ความไว (Sensitivity) หมายถึงเครื่องมือที่สามารถวัดการเปลี่ยนแปลงได้ แม้ว่าสิ่งนั้นจะมีค่าน้อยมาก



รูปที่ 2.18 ความแม่นยำและความเที่ยงตรง [22]

2.8 ความคลาดเคลื่อนเชิงสถิติ

ความคลาดเคลื่อนเชิงสถิติ (Statistical Error) หรือความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม (Random Error) เป็นความคลาดเคลื่อนที่มีลักษณะข้อมูลกระจายออกแบบสุ่มไม่สามารถคาดเดาตัวเลขได้แม้จะพยายามวัดหลายครั้ง แต่ตัวเลขที่วัดได้มีแนวโน้มที่จะเท่าหรือใกล้เคียงค่าๆ หนึ่ง ซึ่งเราสามารถหาได้โดยใช้การวิเคราะห์เชิงสถิติ

2.9 การวิเคราะห์เชิงสถิติ

การวิเคราะห์เชิงสถิติ (Statistical Analysis) เป็นการหาคำตอบตัวเลขที่ดีที่สุดของชุดข้อมูลทั้งหมดที่เกิดจากการวัด และกำหนดความคลาดเคลื่อนเชิงสถิติของคำตอบ โดยตัวเลขคำตอบที่ดีที่สุดคือค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูลทั้งหมด ในส่วนของความคลาดเคลื่อนเชิงสถิติคือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าเฉลี่ยเลขคณิต คือ การหาผลรวมของค่าของตัวอย่างที่ได้จากการเก็บข้อมูล แล้วหารด้วยจำนวนตัวอย่างของข้อมูล สามารถหาค่าเฉลี่ยเลขคณิตได้ดังสมการ 2.2

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} \quad (2.2)$$

โดยที่ \bar{X} คือ ค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูล

X_i คือ ข้อมูลที่ได้จากการวัดครั้งที่ i

N คือ จำนวนครั้งของการวัด

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน คือ การวัดการกระจายของกลุ่มข้อมูล ซึ่งสามารถนำไปใช้กับการแจกแจงความน่าจะเป็นของข้อมูล สามารถหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานได้ดังสมการ 2.3

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N - 1}} \quad (2.3)$$

โดยที่ δ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

\bar{X} คือ ค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูล

X_i คือ ข้อมูลที่ได้จากการวัดครั้งที่ i

N คือ จำนวนครั้งของการวัด

ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (Absolute error) คือ ค่าปริมาณความแตกต่างระหว่างค่าจริงกับค่าที่ได้จากการวัด สามารถหาค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ได้ดังสมการ 2.4

$$\varepsilon_{abs} = |\bar{X} - X_t| \quad (2.4)$$

โดยที่ ε_{abs} คือ ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์

\bar{X} คือ ค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูล

X_t คือ ค่าจริง

ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (relative error) สามารถหาได้ดังสมการ 2.5

$$\varepsilon_{rel} = \left| \frac{\bar{X} - X_t}{X_t} \right| \quad (2.5)$$

โดยที่ ε_{rel} คือ ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์

\bar{X} คือ ค่าเฉลี่ยของชุดข้อมูล

X_t คือ ค่าจริง

2.10 ค่าความไม่แน่นอนของการวัด

ค่าความไม่แน่นอนของการวัด (Uncertainty of measurement) เป็นช่วงของการกระจายตัวทางสถิติของค่าที่จะได้จากการวัด ในการวัดค่าจะเกิดความไม่แน่นอนจึงเป็นเหตุผลที่จะต้องระบุค่าความไม่แน่นอนในการวัดเอาไว้เพื่อให้ค่าที่ได้จากการวัดมีความสมบูรณ์ โดยทั่วไปความไม่แน่นอนของการวัดมัก

แสดงในรูปของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานซึ่งจะบอกช่วงค่าที่สามารถเป็นไปได้จากการวัด โดยสามารถหาค่าความไม่แน่นอนของการวัดได้ดังสมการ 2.6

$$U = \frac{\delta}{\sqrt{N}} \quad (2.6)$$

โดยที่ U คือ ความไม่แน่นอนของการวัด

δ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

N คือ จำนวนครั้งของการวัด

2.11 ความคลาดเคลื่อนเชิงระบบทั้งหมด

ความคลาดเคลื่อนเชิงระบบทั้งหมด คือความคลาดเคลื่อนของอุปกรณ์ต่างๆ เมื่อนำข้อมูลมาใช้ในการคำนวณร่วมกันจะมีความคลาดเคลื่อนสูงขึ้น ในกรณีที่แย่ที่สุดคือมีความคลาดเคลื่อนสูงสุด ซึ่งเป็นผลรวมของความคลาดเคลื่อนของอุปกรณ์ทั้งหมด แต่โดยปกติความคลาดเคลื่อนของแต่ละอุปกรณ์จะไม่คงที่จึงมีการใช้ผลรวมกำลังสองในการหาความคลาดเคลื่อนเชิงระบบทั้งหมด ดังสมการที่ 2.7

$$Error = \sqrt{\sum e_i^2} \quad (2.7)$$

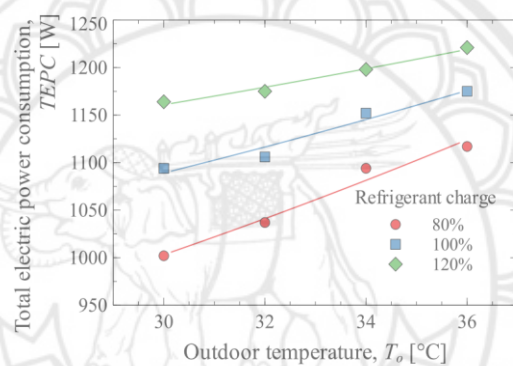
โดยที่ $Error$ คือ ผลรวมความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ

e_i คือ ความคลาดเคลื่อนของอุปกรณ์

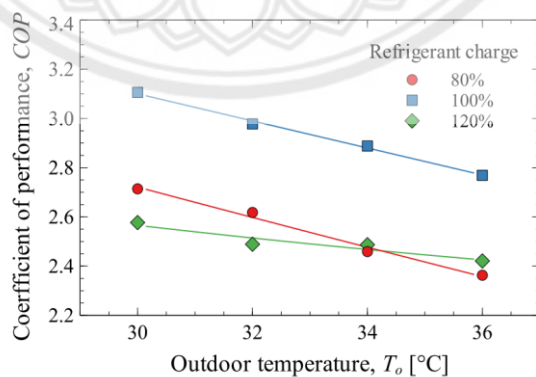
2.12 วรรณกรรมปริทรรศน์

[Yusof M. H. และคณะ] ^[23] การควบคุมอุณหภูมิภายในห้องให้คงที่ในกระบวนการการปรับอากาศจะต้องใช้คอมเพรสเซอร์ช่วยในการระบายความร้อน โดยคอมเพรสเซอร์จะกินไฟมากหรือน้อยนั้น

ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมภายนอก ดังนั้นจึงเป็นที่ต้องเข้าใจถึงประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศ เมื่ออุณหภูมิภายนอกมีการเปลี่ยนแปลง ในงานวิจัยนี้ จะใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type Air Conditioner) ซึ่งใช้สารทำความเย็น R-22 เพื่อใช้ในการศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิภายนอกที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศ และจากการศึกษาพบว่า อุณหภูมิภายนอกต่ำส่งผลทำให้คอมเพรสเซอร์ใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำตามไปด้วย ดังรูปที่ 2.19 นอกจากนี้ขนาดของการทำความเย็นและประสิทธิภาพสมรรถนะ (Coefficient of Performance: COP) จะลดลงเมื่ออุณหภูมิภายนอกเพิ่มสูงขึ้น ดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.19 กราฟปริมาณการใช้พลังงานเทียบกับอุณหภูมิภายนอกที่เปลี่ยนแปลงที่ปริมาณของสารทำความเย็นที่ต่างกัน^[23]



รูปที่ 2.20 ค่าประสิทธิภาพสมรรถนะเทียบกับอุณหภูมิภายนอกที่เปลี่ยนแปลงที่ปริมาณสารทำความเย็นที่ต่างกัน^[23]

[พัชราพรรณ การะเกตุ]^[24] การวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพพลังงานตามฤดูกาล (Cooling Seasonal Performance Factor, CSPF) ของเครื่องปรับอากาศ โดยเปรียบเทียบ 2 กรณี กรณีที่ 1 ใช้ชุดอุณหภูมิ (Outdoor Bin Temperature) จากค่าแนะนำ (Default) และกรณีที่ 2 ใช้ชุดอุณหภูมิตามสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย พบว่า ค่า CSPF ในกรณีที่ 1 มีค่า 4.51 4.12 4.12 และ 4.10 ตามลำดับ และ กรณีที่ 2 มีค่า 4.40 4.03 4.03 และ 4.00 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบทั้ง 2 กรณี พบว่า ค่า CSPF ที่คำนวณโดยใช้ชุดอุณหภูมิของประเทศไทย มีค่าลดลงร้อยละ 2.28 เนื่องจากอุณหภูมิเฉลี่ยของประเทศไทยมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยจากค่าแนะนำ นอกจากนี้ยังได้วิเคราะห์ค่า CSPF โดยใช้ชุดอุณหภูมิกายนอกตามสภาพภูมิอากาศของประเทศไทย เมื่อปรับช่วงอุณหภูมิจาก 20 – 35 องศาเซลเซียส เป็น 20 – 40 องศาเซลเซียส เพื่อสะท้อนช่วงอุณหภูมิที่ใช้งานเครื่องปรับอากาศจริง ส่งผลให้ค่า CSPF มีค่าลดลงร้อยละ 0.59 ดังนั้นการวิเคราะห์ค่า CSPF โดยใช้ชุดอุณหภูมิกายนอกตามสภาพภูมิอากาศของประเทศไทยจึงมีความจำเป็น เพื่อสะท้อนให้เห็นถึงค่าประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศแบบอินเวอร์เตอร์ที่เกิดขึ้นจริง

[สุรศักดิ์ สวัสดิ์รักษกุล และชัยพล ธงชัยสุรชต์กุล]^[25] โปรแกรมตรวจวัดประสิทธิภาพและควบคุมเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน โดยใช้โปรแกรม Visual Basic 6.0 ในการพัฒนาและทดสอบในห้องที่มีเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน จำนวน 2 เครื่อง และตั้งค่าอุณหภูมิที่ 25°C โดยโปรแกรมวัดค่ากำลังไฟฟ้า, ค่าอุณหภูมิและความชื้น, ค่าความเร็วลมแล้วนำมาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ COP และค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน EER เมื่อเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนทำความเย็น ภายในห้องตามอุณหภูมิที่ตั้งไว้โปรแกรมจะทำการเปรียบเทียบและเลือกเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่มีค่า COP สูงสุดให้ทำงานต่อไปตามปกติ ส่วนเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนที่มีค่า COP ต่ำกว่าโปรแกรมจะส่งสัญญาณหยุดการทำงานของคอมเพรสเซอร์และเมื่ออุณหภูมิภายในห้องสูงขึ้น มากกว่าที่ตั้งไว้ โปรแกรมจะส่งสัญญาณให้ทำงานตามปกติ ทำให้ลดการใช้พลังงานและลดการทำงานในส่วนที่ไม่จำเป็นของระบบทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน จากการทดลองพบว่าโปรแกรมตรวจวัดประสิทธิภาพและควบคุมเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ช่วยลดพลังงานได้ 14.70% อีกทั้งโปรแกรมยังสามารถจัดเก็บข้อมูล เพื่อดูค่าตัวแปรต่าง ๆ ย้อนหลังเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศสำหรับวางแผนดำเนินการซ่อมแซมหรือบำรุงรักษาเพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงานแบบยั่งยืนได้ต่อไป

บทที่ 3

วิธีการดำเนินโครงการ

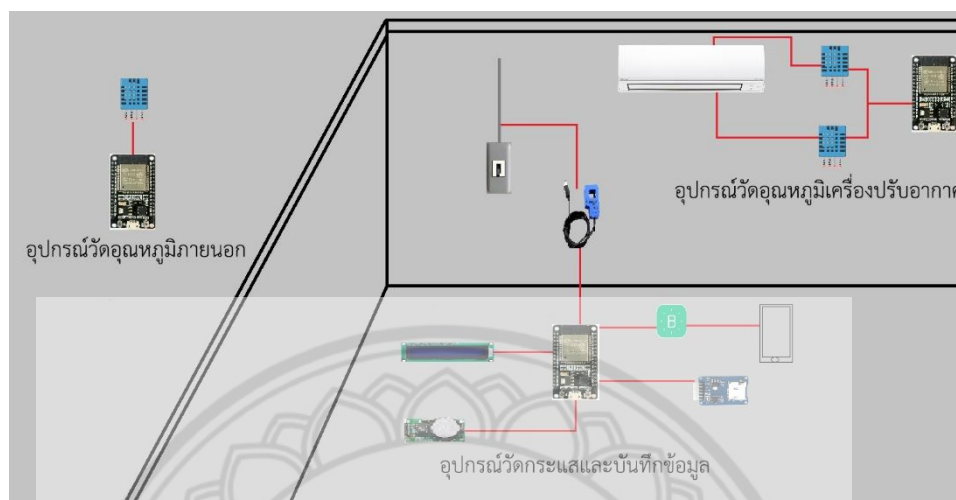
ในส่วนของวิธีดำเนินโครงการนี้ จะเป็นสร้างอุปกรณ์เพื่อนำไปติดตั้งและเก็บข้อมูลการทำงานของเครื่องปรับอากาศที่มีการทำงานแบบแยกส่วน ขนาด 12,521 BTU ตั้งค่าการทำงานของเครื่องปรับอากาศที่ 30 องศาเซลเซียส เนื่องจากผู้จัดทำต้องการให้เห็นพฤติกรรมการทำงานของเครื่องปรับอากาศคือ มีการหยุดการทำงานของคอมเพรสเซอร์ โดยก่อนหน้าผู้จัดทำได้ทำการทดลองเก็บข้อมูลที่ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ใช้กันโดยส่วนใหญ่ ^[26] พบว่าคอมเพรสเซอร์ทำงานตลอดเวลาซึ่งมีผลมาจากความสามารถในการทำความเย็นไม่เพียงพอต่อภาระทำความเย็นในห้อง อันเนื่องมาจากอายุการใช้งานของเครื่องปรับอากาศที่มีอายุการใช้งานประมาณ 7 ปี ล้างเครื่องปรับอากาศล่าสุด 1 ปีที่แล้ว ห้องปรับอากาศเป็นหอพักกว้าง 3.5 เมตร ยาว 4 เมตร สูง 2.7 เมตร ตั้งอยู่ชั้นบนสุดของอาคารซึ่งได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์โดยตรงและมีขนาดใหญ่ ภายในห้องมีเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ใช้งาน 3 ชนิด คือตู้แช่เย็นขนาด 180 ลิตร หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 วัตต์และคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ 1 เครื่อง แต่การทดลองโดยการตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 30 องศา ทำให้ไม่สามารถสะท้อนค่าประสิทธิภาพที่แท้จริงของเครื่องปรับอากาศ ซึ่งโดยทั่วไปทางผู้ผลิตจะทำการวัดค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ โดยตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 27 องศาเซลเซียส

โดยแบ่งการเก็บข้อมูลออกเป็น 2 ช่วงเวลา คือ 12.00-15.00น. และ 21.00-0.00น. มีระยะห่างในการเก็บข้อมูล 15 วินาที เป็นเวลา 3 วัน ทำให้ได้ข้อมูลทั้งหมด 6 ชุดข้อมูล เพื่อนำไปวิเคราะห์หาการใช้พลังงานและประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศของเครื่องปรับอากาศต่อไป

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน



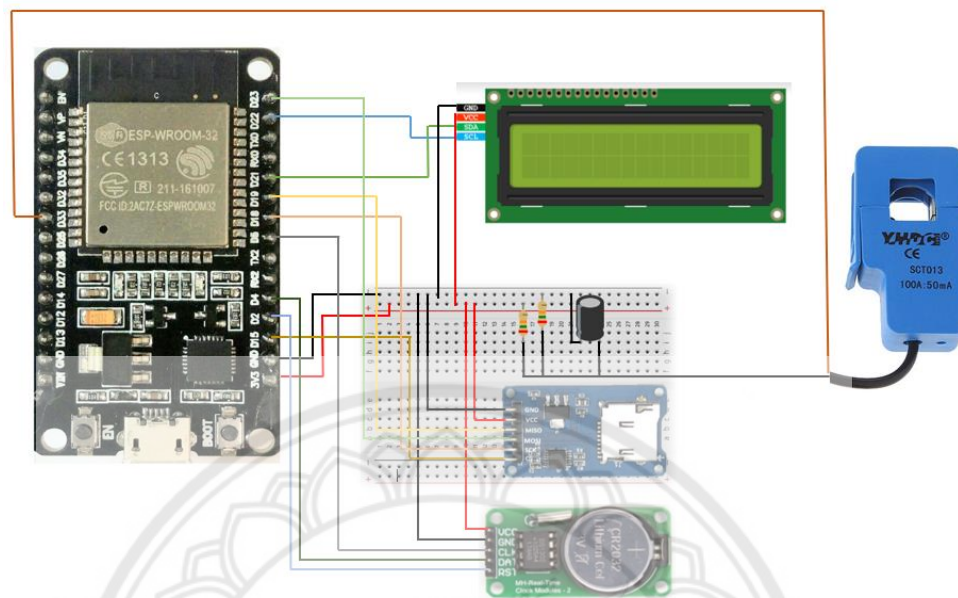
3.2 การสร้างอุปกรณ์ในการเก็บข้อมูล



รูปที่ 3.2 อุปกรณ์ในการเก็บข้อมูล

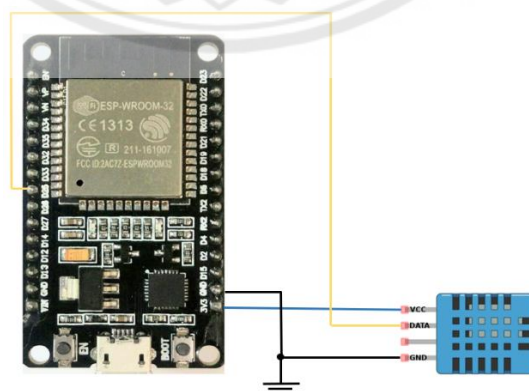
การสร้างอุปกรณ์ในการเก็บข้อมูลดังรูปที่ 3.2 จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ อุปกรณ์วัดกระแสและบันทึกข้อมูล อุปกรณ์วัดอุณหภูมิภายนอกและอุปกรณ์วัดอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

อุปกรณ์วัดกระแสและบันทึกข้อมูล เป็นอุปกรณ์ที่ใช้รับข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์จากอุปกรณ์วัดอุณหภูมิภายนอก และอุปกรณ์วัดอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศ ผ่านเครือข่าย Wifi นอกจากนี้ยังทำหน้าที่แสดงผลผ่านจอ LCD บันทึกข้อมูลลง Micro SD card ส่งข้อมูลไปยัง Blynk Server และวัดค่ากระแสไฟฟ้าขณะใช้งานของเครื่องปรับอากาศ โดยมีการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ดังรูปที่ 3.3



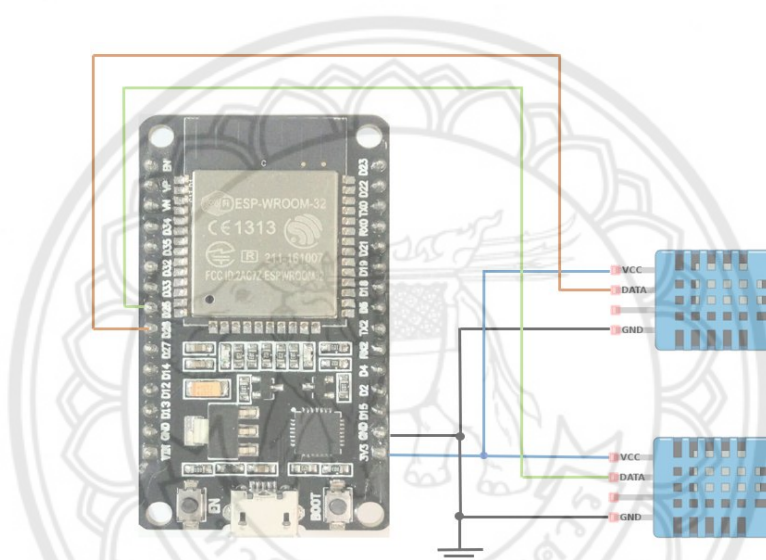
รูปที่ 3.3 การเชื่อมต่อของอุปกรณ์วัดกระแสและบันทึกข้อมูล

อุปกรณ์วัดอุณหภูมิภายนอก เป็นอุปกรณ์ที่ทำการส่งข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นของอากาศภายนอกห้องให้กับอุปกรณ์วัดกระแสและบันทึกข้อมูลผ่านสัญญาณ Wifi โดยใช้เซ็นเซอร์ DHT11 จำนวน 1 ตัวในการวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอกห้อง โดยมีการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 การเชื่อมต่ออุปกรณ์วัดอุณหภูมิภายนอก

อุปกรณ์วัดอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศ เป็นอุปกรณ์ที่ทำการส่งข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศด้านลมจ่ายและอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศด้านลมกลับให้กับอุปกรณ์วิเคราะห์และบันทึกข้อมูลผ่านสัญญาณ Wi-Fi โดยใช้เซ็นเซอร์ DHT11 จำนวน 2 ตัวในการวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศด้านลมจ่ายและอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศด้านลมกลับ โดยมีการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ดังรูปที่ 3.5



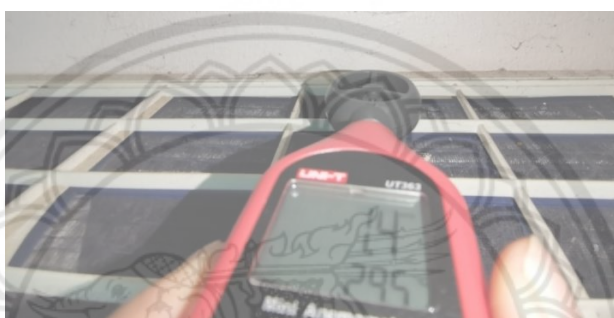
รูปที่ 3.5 การเชื่อมต่ออุปกรณ์วัดอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศ

3.3 การวัดและการติดตั้งอุปกรณ์ในการเก็บข้อมูล

การวัดและการติดตั้งอุปกรณ์ในการเก็บข้อมูล จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ส่วนที่ข้อมูลไม่มีการเปลี่ยนแปลงระหว่างเก็บข้อมูล คือ ขนาดช่องอากาศกลับของเครื่องปรับอากาศและความเร็วลม เนื่องจากระหว่างทำการเก็บข้อมูลจะไม่มี การเปลี่ยนแปลงความเร็วลมเนื่องจากมีระยะเวลาในการเก็บข้อมูลระยะสั้นจึงให้ความเร็วลมเป็นอุดมคติมีค่าคงที่เสมอ แต่เมื่อเครื่องปรับอากาศถูกใช้งานเป็นระยะเวลา นานจนฝุ่นไปจับจะส่งผลให้ความเร็วลมลดลงได้ และส่วนที่ข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา คือ อุณหภูมิ ความชื้นและกระแสไฟฟ้า ซึ่งในส่วนนี้จะใช้บอร์ด ESP32 ในการเก็บข้อมูลทุก 15 วินาที

การวัดความเร็วลมของเครื่องปรับอากาศจะทำการวัดตั้งฉากที่ตำแหน่งอากาศกลับเนื่องจากมีการไหลแบบราบเรียบ ดังรูปที่ 3.6 ซึ่งทำการวัดทั้งหมด 6 จุด ได้ค่าความเร็วลมเฉลี่ย 1.783 เมตรต่อวินาที

การวัดขนาดของช่องลมกลับจะวัดขนาดโดยใช้ตลับเมตรวัดความกว้างและความยาวเพื่อหาพื้นที่หน้าตัดของช่องลมกลับ โดยได้ขนาดช่องลมกลับยาว 0.62 เมตร กว้าง 0.11 เมตร คิดเป็นพื้นที่หน้าตัด 0.0682 ตารางเมตร



รูปที่ 3.6 การวัดความเร็วลมของเครื่องปรับอากาศ

การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับเก็บค่าอุณหภูมิและความชื้นจะใช้อุปกรณ์สำหรับวัดทั้งหมด 2 เครื่อง แบ่งเป็นเครื่องที่วัดตำแหน่งลมจ่าย (Supply Air) และตำแหน่งลมกลับ (Return Air) และเครื่องที่วัดภายนอกห้อง รวมทั้งหมด 3 ตำแหน่ง และทำการส่งข้อมูลไปยังเครื่องรับ ดังรูปที่ 3.7 และ 3.8



รูปที่ 3.7 การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับเก็บค่าอุณหภูมิและความชื้นที่ตำแหน่งลมจ่าย (Supply Air) และตำแหน่งลมกลับ (Return Air)

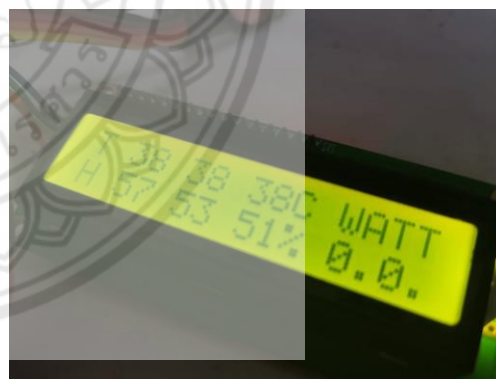


รูปที่ 3.8 การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับเก็บค่าอุณหภูมิและความชื้นที่ภายนอกห้อง

การวัดกระแสไฟฟ้าจะทำการวัดที่เซอร์กิตเบรกเกอร์ เนื่องจากสามารถมองเห็นและติดตั้งอุปกรณ์ได้ง่าย ดังรูปที่ 3.9 โดยเครื่องที่ทำการวัดกระแสไฟฟ้าจะทำหน้าที่เป็นตัวรับข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นจากเครื่องอื่นผ่านสัญญาณ Wi-Fi และยังทำหน้าที่จัดเก็บข้อมูลลง Micro SD Card โดยแสดงข้อมูลผ่านจอ LCD และส่งข้อมูลเข้า Blynk Server ดังรูปที่ 3.10 และ 3.11 ตามลำดับ



รูปที่ 3.9 การวัดกระแสไฟฟ้าที่เซอร์กิตเบรกเกอร์



รูปที่ 3.10 ข้อมูลจากการวัดค่ากระแสที่แสดงผ่านจอ LCD



รูปที่ 3.11 ข้อมูลที่แสดงค่าในแอปพลิเคชัน Blynk

3.4 การติดตั้ง Blynk Library สำหรับ Arduino IDE และการติดตั้งแอปพลิเคชัน Blynk

ในการสื่อสารระหว่างบอร์ดกับ Blynk server จำเป็นจะต้องมี Blynk Library^[19] เพื่อเป็นสื่อกลางในการสื่อสาร เพื่อให้ Blynk server สามารถเข้าใจ code หรือคำสั่งได้ โดยในการติดตั้ง Blynk Library มี 3 วิธี ดังนี้

1. การใช้ตัวจัดการ Library ในตัวของ Arduino IDE
2. ติดตั้ง Blynk Library เป็นไฟล์ ZIP ใน Arduino IDE
3. ติดตั้ง Blynk Library ด้วยตนเอง

3.4.1 การติดตั้งแอปพลิเคชัน Blynk

ในการติดตามการทำงานของเครื่องปรับอากาศจากระยะไกล จำเป็นจะต้องใช้งานแอปพลิเคชัน Blynk สามารถติดตั้งได้ด้วยการค้นหา Blynk ใน Play Store (สำหรับระบบ android) และ App Store (สำหรับระบบ IOS)



รูปที่ 3.12 แอปพลิเคชัน Blynk ใน Play Store

ทำการติดตั้ง เมื่อติดตั้งเสร็จสิ้นแล้ว เข้าไปในแอปพลิเคชันเพื่อสร้าง Account จึงจะสามารถใช้งานแอปพลิเคชัน Blynk ได้

การใช้งานแอปพลิเคชัน Blynk สำหรับติดตามการทำงานของเครื่องปรับอากาศระยะไกล สามารถแสดงข้อมูลแบบเรียลไทม์ แต่จำเป็นต้องมีสัญญาณอินเทอร์เน็ตเพื่อเชื่อมต่อกับ Blynk Server โดยจะทำการส่งข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นด้านลมจ่าย อุณหภูมิและความชื้นด้านลมกลับ อุณหภูมิและความชื้นภายนอก กระแสไฟฟ้า และข้อความ ดังรูปที่ 3.13 ในการใช้งานจริงจะสร้างวิดเจ็ต 3 แบบ คือ

- 1) ค่าตัวเลข เพื่อดูข้อมูลการทำงานของเครื่องปรับอากาศขณะนั้น
- 2) กราฟเส้น เพื่อดูลักษณะการทำงาน และแนวโน้มของเครื่องปรับอากาศ
- 3) ข้อความ เพื่อตรวจสอบการทำงานการเก็บข้อมูลของ ESP32 ลง Micro SD Card

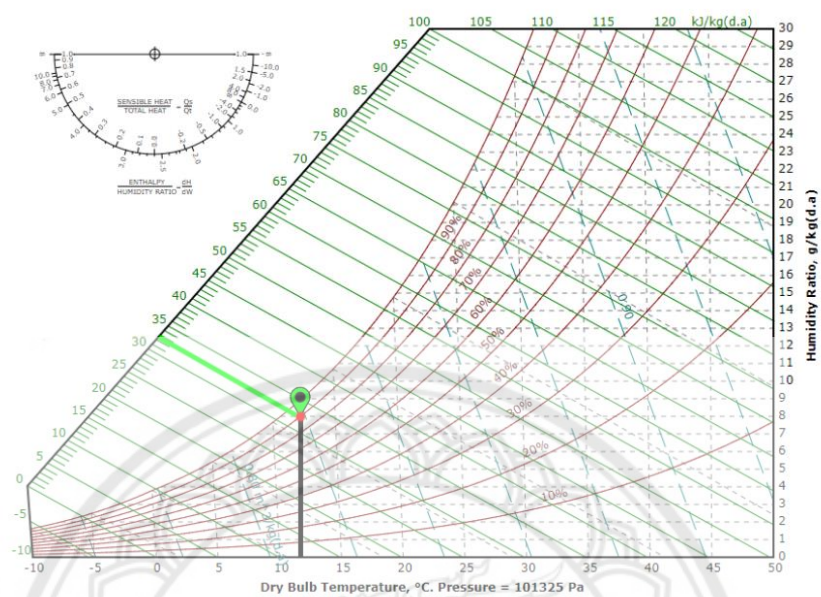


รูปที่ 3.13 วิตเจ็ตที่ใช้งาน

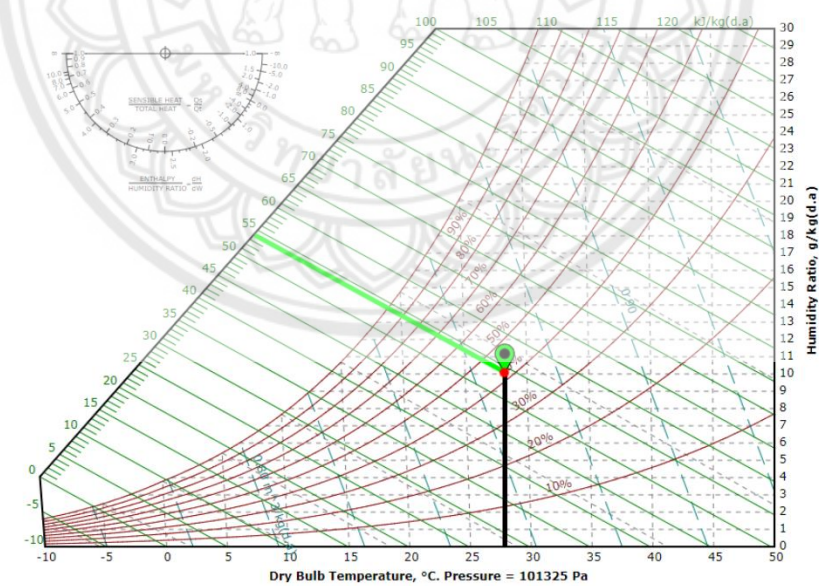
3.5 การหาประสิทธิภาพของภาพเครื่องปรับอากาศ

การหาประสิทธิภาพของภาพเครื่องปรับอากาศจำเป็นต้องทราบค่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ของด้านลมจ่ายและลมกลับ ขนาดพื้นที่หน้าตัดของช่องลมกลับ ความเร็วลมเฉลี่ยของช่องลมกลับและกำลังไฟฟ้าขณะคอมเพรสเซอร์ทำงาน แล้วจึงนำค่าทั้งหมดมาคำนวณตามขั้นตอนต่อไปนี้

1) หาค่าเอนทาลปีของอากาศด้านลมจ่าย (H_s) จากอุณหภูมิด้านลมจ่าย 12.2 องศาเซลเซียส ความชื้น 90 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้แผนภาพไซโครเมตริกในการหาจะได้ค่าเอนทาลปีด้านลมกลับประมาณ 32.5 kJ/kg ดังรูปที่ 33 จากนั้นหาค่าเอนทาลปีของอากาศด้านลมกลับ (H_r) จากอุณหภูมิด้านลมกลับ 28.2 องศาเซลเซียส ความชื้น 42 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้แผนภาพไซโครเมตริกในการหาจะได้ค่าเอนทาลปีด้านลมจ่ายประมาณ 54 kJ/kg ดังรูปที่ 34



รูปที่ 3.14 ค่าเอนทาลปีของอากาศด้านลมจ่าย



รูปที่ 3.15 ค่าเอนทาลปีของอากาศด้านลมกลับ

2) คำนวณหาปริมาณลมหมุนเวียนผ่านเครื่องปรับอากาศ (CMM) จากความเร็วลมด้านลมกลับ 1.783 m/s และพื้นที่หน้าตัดช่องลมกลับ 0.0682 m² โดยใช้สมการ

$$\begin{aligned} \text{CMM} &= 60 \times V \times A \text{ (m}^3\text{/min)} \\ \text{CMM} &= 60 \times 1.783 \times 0.0682 \\ \text{CMM} &= 7.296 \text{ m}^3\text{/min} \end{aligned} \quad (3.1)$$

3) คำนวณหาความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ (TR) จากเอนทาลปีของอากาศด้านลมจ่าย 32.5 kJ/kg เอนทาลปีด้านลมกลับ 54 kJ/kg และปริมาณลมหมุนเวียนผ่านเครื่องปรับอากาศ 7.296 m³/min โดยใช้สมการ

$$\begin{aligned} \text{TR} &= 5.707 \times 10^{-3} \times \text{CMM} \times (\text{Hr} - \text{Hs}) \\ \text{TR} &= 5.707 \times 10^{-3} \times 7.296 \times (54 - 32.5) \\ \text{TR} &= 0.895 \end{aligned} \quad (3.2)$$

4) คำนวณหาประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศจากความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ 0.895 กระแสไฟฟ้าขณะคอมเพรสเซอร์ทำงาน 5 แอมป์ แรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์ โดยใช้สมการ

$$\begin{aligned} \text{EER} &= \frac{Q}{W} = \frac{12000 \times \text{TR}}{I \times V} \\ \text{EER} &= \frac{12000 \times 0.895}{5 \times 220} = \frac{10740}{1100} \\ \text{EER} &= 9.76 \end{aligned} \quad (3.3)$$

3.6 การหาเปอร์เซ็นต์การทำงานของคอมเพรสเซอร์เฉลี่ย

การหาเปอร์เซ็นต์การทำงานของคอมเพรสเซอร์เราจะทำการหาหลังจากคอมเพรสเซอร์หยุดการทำงานครั้งแรกแล้ว โดยจะทำการเก็บข้อมูลทุก ๆ 15 วินาที กำหนดให้ขณะคอมเพรสเซอร์ทำงานจะมีค่าเท่ากับ 100% และถ้าคอมเพรสเซอร์ไม่ทำงานจะมีค่าเท่ากับ 0% จากนั้นจึงทำการหาค่าเฉลี่ยข้อมูลทั้งหมดดังสมการ 3.4 จึงจะได้เปอร์เซ็นต์การทำงานของคอมเพรสเซอร์

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} \quad (3.4)$$

โดยที่ \bar{X} คือ เปอร์เซ็นต์การทำงานของคอมเพรสเซอร์เฉลี่ย

X_i คือ เปอร์เซ็นต์การทำงานของคอมเพรสเซอร์จากการวัดครั้งที่ i

N คือ จำนวนครั้งของการวัด

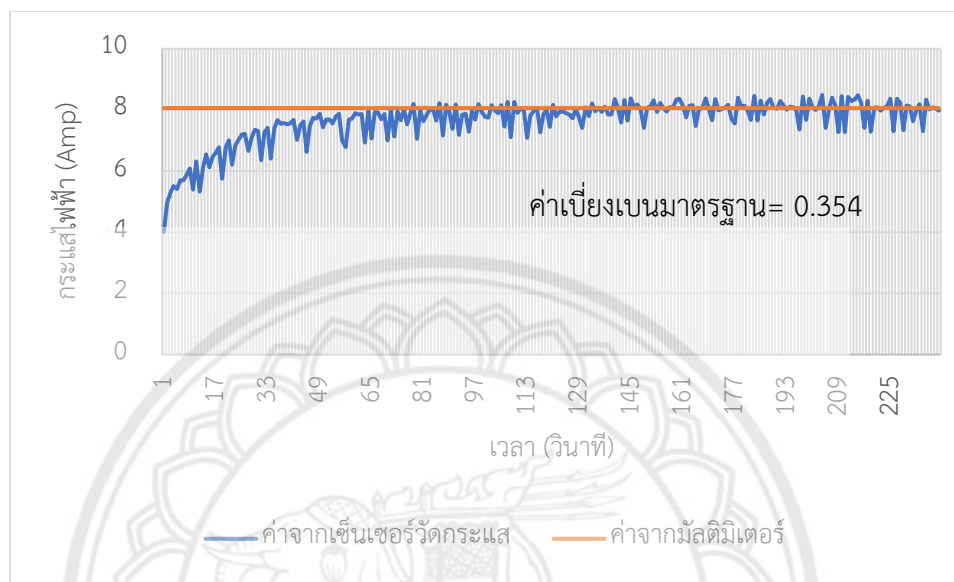
3.7 ความน่าเชื่อถือของเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า

เนื่องจากเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้ามีความคลาดเคลื่อนโดยที่ผู้ผลิตไม่ได้ระบุไว้จึงไม่สามารถใช้ในการอ้างอิงได้ ผู้จัดทำจึงมีการทดสอบเก็บข้อมูลเพื่อวิเคราะห์หาความแม่นยำและความเที่ยงตรงของอุปกรณ์วัดกระแสไฟฟ้า โดยใช้กาดัมน้ำขนาด 1700 วัตต์ เป็นโหลดทางไฟฟ้าและใช้มัลติมิเตอร์วัดกระแสในการอ้างอิง โดยแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 แบบ คือ 1.การพันสายไฟจำนวน 1 รอบที่เซ็นเซอร์วัดกระแส และ 2.การพันสายไฟจำนวน 6 รอบที่เซ็นเซอร์วัดกระแส ทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 1 วินาที รวม 4 นาที โดยมีลักษณะการต่ออุปกรณ์ดังรูปที่ 3.16 เนื่องจากกระแสไฟที่ทำกรวัดมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับช่วงการวัดของเซ็นเซอร์ ซึ่งเมื่อเราทำการพันสายไฟรอบเซ็นเซอร์เพิ่ม ส่งผลให้เกิดการเหนี่ยวนำมากขึ้น และมีค่า Turn ratio ลดลง แต่ค่ากระแสที่วัดได้ต้องมีการนำมารหารจำนวนรอบสายไฟที่พันเซ็นเซอร์ โดยเหตุผลที่เลือกการพันสายไฟจำนวน 6 รอบนั้น เนื่องจากมีข้อจำกัดที่ขนาดของเซ็นเซอร์ที่สามารถพันสายไฟได้สูงสุดเพียง 6 รอบเท่านั้น

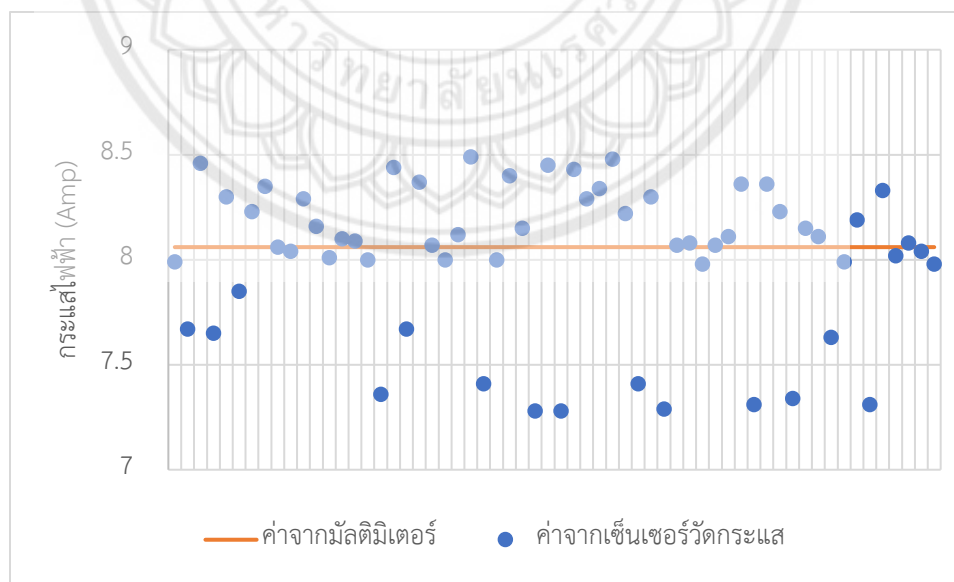


รูปที่ 3.16 การทดสอบเซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า

การทดสอบแบบพันสายไฟจำนวน 1 รอบ มีข้อมูลดังรูปที่ 3.17 และมีการกระจายตัวของข้อมูล ดังรูปที่ 3.18

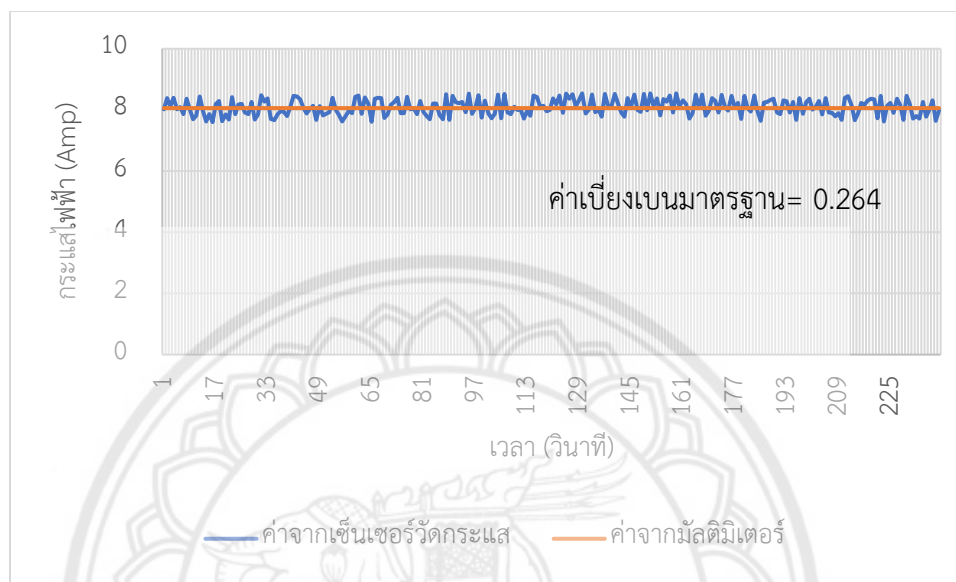


รูปที่ 3.17 ลักษณะข้อมูลกระแสไฟฟ้าที่เก็บได้โดยการพันสายไฟจำนวน 1 รอบ

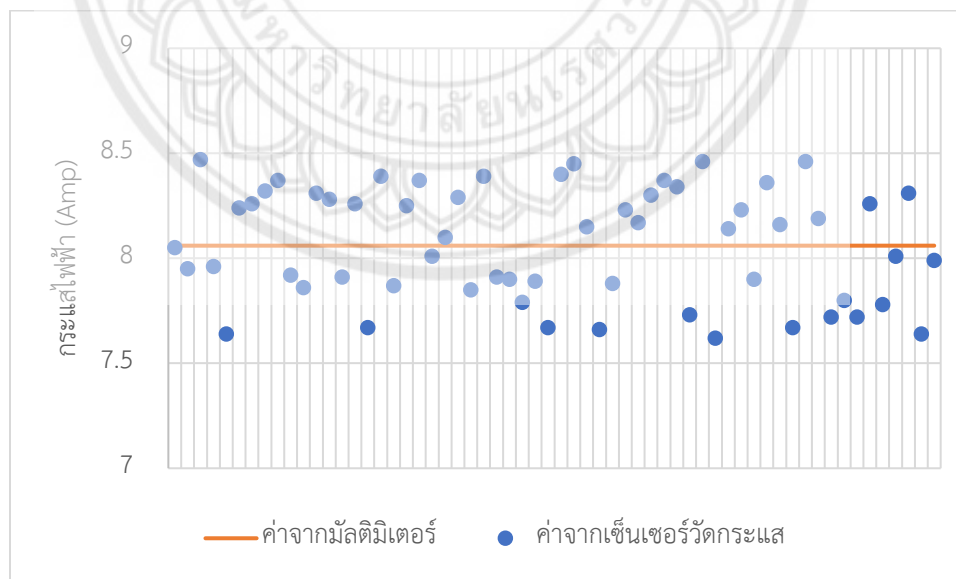


รูปที่ 3.18 การกระจายตัวของข้อมูลเมื่อมีการพันสายไฟที่เซ็นเซอร์ 1 รอบ

การทดสอบแบบพันสายไฟจำนวน 6 รอบ มีข้อมูลดังรูปที่ 3.19 และมีการกระจายตัวของข้อมูลดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.19 ลักษณะข้อมูลกระแสไฟฟ้าที่เก็บได้โดยการพันสายไฟจำนวน 6 รอบ



รูปที่ 3.20 การกระจายตัวของข้อมูลเมื่อมีการพันสายไฟที่เซ็นเซอร์ 6 รอบ

จากกราฟข้อมูลที่ได้จะเห็นว่า การพันสายไฟที่เซ็นเซอร์จำนวน 1 รอบ มีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงข้อมูลต่ำกว่าแบบพันสายไฟ 6 รอบ และข้อมูลมีค่าเบี่ยงเบนมากกว่าการพันสายไฟ 6 รอบ เมื่อนำข้อมูลข้อมูลจำนวน 60 ข้อมูล ที่ได้จากการเก็บข้อมูลทั้งสองแบบมาคำนวณเพื่อหาค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ และค่าความไม่แน่นอนของการวัดได้ข้อมูลดังตารางที่ 3.1 พบว่าการพันสายไฟ 6 รอบ มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.264 ต่ำกว่าการพันสายไฟ 1 รอบที่มีค่าเบี่ยงเบน 0.354 ซึ่งกล่าวได้ว่าการพันสายไฟ 6 รอบมีความเที่ยงตรงมากกว่าการพันสายไฟ 1 รอบ

ตารางที่ 3.1 ความคลาดเคลื่อนและความไม่แน่นอนของเซ็นเซอร์วัดกระแส

รูปแบบการทดลอง	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์	ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์	ค่าความไม่แน่นอนของการวัด
พันสาย 1 รอบ	8.027	0.354	0.033	0.0041	0.0456
พันสาย 6 รอบ	8.071	0.264	0.011	0.0014	0.0341

ในส่วนของความแม่นยำหรือความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์และความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์จะเห็นว่า การพันสายไฟ 6 รอบมีความแม่นยำมากกว่าการพันสายไฟ 1 รอบ แต่ในส่วนนี้สามารถทำให้ความคลาดเคลื่อนน้อยลงได้โดยการปรับค่าสอบเทียบในโปรแกรม Arduino IDE แต่ในส่วน of ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานไม่สามารถทำให้น้อยลงได้โดยการปรับค่าสอบเทียบ ซึ่งค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานยังสามารถนำมาประมาณค่าที่ได้จากการวัดว่ามีค่าอยู่ในช่วงใด เช่นในการพันสาย 1 รอบมีค่าเฉลี่ย 8.027 แอมป์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.354 แอมป์ จะได้ว่ากระแสที่ได้จากการวัดมีค่าเท่ากับ 8.027 ± 0.354 แอมป์ หรือมีค่าระหว่าง 7.673 ถึง 8.381 แอมป์

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล

ในบทที่ 4 นี้ จะเป็นส่วนของผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูลการทำงานของเครื่องปรับอากาศที่มีการทำงานแบบแยกส่วน ขนาด 12521.02 BTU โดยนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์หาการใช้พลังงานและค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ

ในการเก็บข้อมูลหลายๆข้อมูลต่อเนื่องกัน เพื่อนำไปหาการใช้พลังงานและประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศจำเป็นจะต้องใช้เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นและเครื่องวัดกระแสไฟฟ้าที่สามารถบันทึกค่าได้ จากการสำรวจตลาดและค้นหาข้อมูลของเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น และเครื่องวัดกระแสไฟฟ้า ดังตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2 เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลของเครื่องมือวัดการใช้พลังงานที่สร้างขึ้น ดังตารางที่ 4.3 พบว่าเครื่องที่มีในท้องตลาดสามารถหาซื้อได้ง่ายและสะดวกต่อการใช้งาน แต่ค่อนข้างมีราคาสูง ไม่สามารถวัดค่าต่างๆ ของเครื่องปรับอากาศได้ครบในเวลาเดียวกันและไม่สามารถอัปเดตคำสั่งใหม่เพื่อพัฒนาอุปกรณ์ในอนาคตได้ แต่เครื่องมือวัดที่ผู้จัดทำสร้างขึ้นสามารถวัดอุณหภูมิ ความชื้น และกระแสไฟฟ้าได้พร้อมกัน อีกทั้งมีราคาถูกกว่าเครื่องที่มีจำหน่ายในท้องตลาด โดยการทดลองนี้ทางผู้จัดทำได้เพิ่มการส่งข้อมูลที่วัดได้ผ่าน Wi-Fi เพื่อให้ง่ายต่อการนำข้อมูลไปใช้และยังสามารถแสดงข้อมูลในแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนเพื่อดูข้อมูลได้อีกด้วย แต่ว่าการสร้างเครื่องมือจำเป็นต้องพื้นฐานในเรื่องการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์และโมดูล ซึ่งทำให้ไม่สะดวกต่อการใช้งาน




4.1 ข้อมูลสินค้าที่มีในท้องตลาด

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลเครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นที่สามารถบันทึกค่าได้ในท้องตลาด

ชื่อ	CEM DT-172	HUATO HE173	Elitech GSP-6	Elitech RC-4HC	CEM DT-191A
รูป					
ราคา (บาท)	4590	3900	2490	1350	2000
ช่วงอุณหภูมิ (°C)	-40 ถึง 70	-30 ถึง 85	-40 ถึง 85	-30 ถึง 60	-30 ถึง 60
ช่วงความชื้น (%RH)	0 ถึง 100	0 ถึง 100	0 ถึง 100	0 ถึง 99	0 ถึง 100
ความแม่นยำอุณหภูมิ (°C)	±0.5	±0.5	±0.5	±0.6	±1
ความแม่นยำความชื้น (%RH)	±2	±3	±3	±3	±3.5
หน่วยความจำ(ข้อมูล)	32000	43000	32000	16000	40020
ความถี่ในการบันทึกข้อมูล	1 วินาที ถึง 2 ชั่วโมง	2 วินาที ถึง 24 ชั่วโมง	10 วินาที ถึง 24 ชั่วโมง	10 วินาที ถึง 24 ชั่วโมง	1 นาที ถึง 24 ชั่วโมง
อายุการใช้งานแบตเตอรี่	3 ปี	1 ปี	2 ปี	1 ปี	1 ปี
การส่งออกข้อมูล	USB	USB	USB	USB	USB

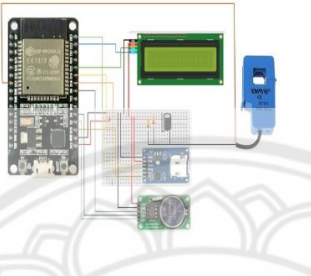
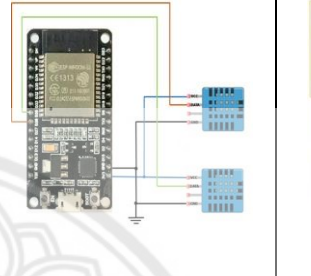
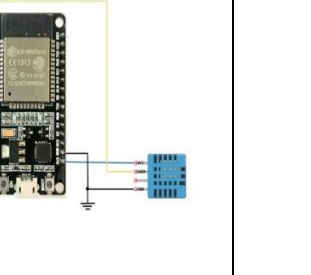
ที่มา : <https://www.ponpe.com/data-logger.html> และ <https://www.eastern-energy.net/>

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลเครื่องวัดกระแสไฟฟ้าที่สามารถบันทึกค่าได้ในห้องตลาด

ชื่อ	Lascar EL-USB-4	Bside BDA01	Monarch Track-It 5396-0515
รูป			
ราคา (บาท)	2150	4350	38xx
ช่วงกระแสไฟฟ้า(mA)	4 ถึง 20	4 ถึง 20	0 ถึง 20
ความแม่นยำ (%)	±1	±1	±0.5
ความถี่ในการบันทึก ข้อมูล	1 วินาที ถึง 12 ชั่วโมง	1 วินาที ถึง 12 ชั่วโมง	2 วินาที ถึง 24 ชั่วโมง
อายุการใช้งานแบตเตอรี่	2 ปี	3 ปี	1 ปี
หน่วยความจำ	32510 ข้อมูล	64 KBytes	64000 ข้อมูล
การส่งออกข้อมูล	USB	USB	USB

ที่มา : <https://www.ponpe.com/data-logger.html> และ <https://microdaq.com/monarch-instrument-track-it-current-data-logger.php>

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลเครื่องมือวัดการใช้พลังงานที่สร้างขึ้น

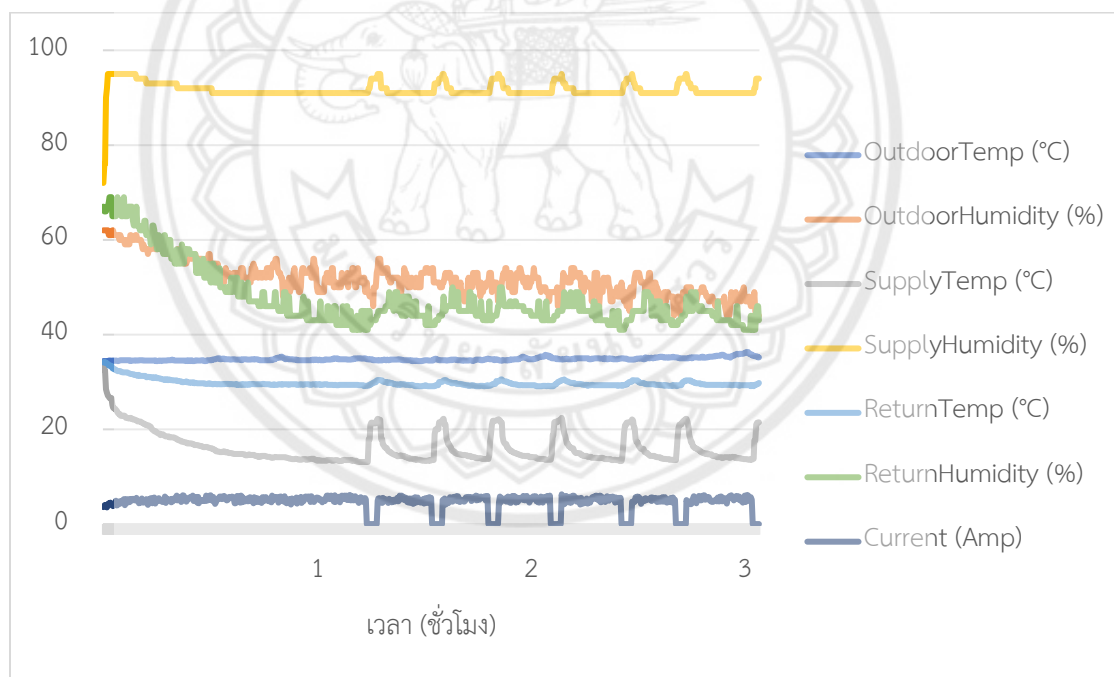
ชื่อ	อุปกรณ์วัดกระแสและบันทึกข้อมูล	อุปกรณ์วัดอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศ	อุปกรณ์วัดอุณหภูมิภายนอก
รูป			
ราคา (บาท)	635	370	295
ช่วงอุณหภูมิ (°C)	-	0 ถึง 50	0 ถึง 50
ช่วงความชื้น (%RH)	-	20 ถึง 90	20 ถึง 90
ความแม่นยำอุณหภูมิ (°C)	-	±2	±2
ความแม่นยำความชื้น (%RH)	-	±5	±5
ความถี่ในการบันทึกข้อมูล	1 วินาที	1 วินาที	1 วินาที
ช่วงกระแสไฟฟ้า (A)	0 ถึง 50	-	-
ความแม่นยำกระแสไฟฟ้า (A)	± 0.264	-	-
ช่วงความถี่ (Hz)	50 ถึง 1000	-	-
หน่วยความจำ (ข้อมูล)	330000	-	-
การส่งออกข้อมูล	USB/Blynk	ESP-NOW	ESP-NOW

4.2 ข้อมูลที่ได้จากการทดลอง

เมื่อทำการเก็บข้อมูลการทำงานของเครื่องปรับอากาศในวันที่ 1 ช่วงเวลา 12.00-15.00น. ซึ่งมี อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยอยู่ที่ 34.84 องศาเซลเซียส ค่าความชื้นสัมพัทธ์ 51.63 เปอร์เซ็นต์ และ อุณหภูมิห้องเริ่มต้นที่ 34.1 องศาเซลเซียส ดังตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.4 สภาพแวดล้อมในการทำความเย็นวันที่ 1 ช่วงเวลา 12.00-15.00น.

วันที่และเวลา	อุณหภูมิภายนอก	ความชื้นภายนอก	อุณหภูมิห้องเริ่มต้น
วันที่ 1 (12.00-15.00 น.)	34.84°C	51.63%	34.1°C

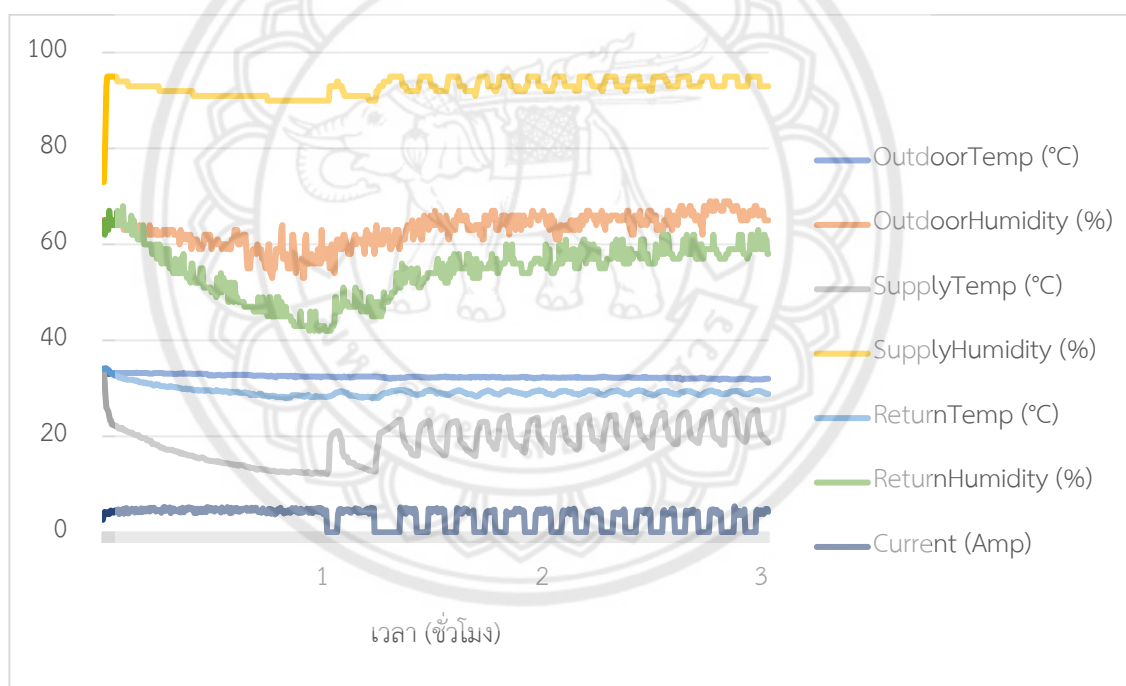


รูปที่ 4.1 ข้อมูลการทำงานของเครื่องปรับอากาศวันที่ 1 ช่วงเวลา 12.00-15.00น.

เมื่อทำการเก็บข้อมูลการทำงานของเครื่องปรับอากาศในวันที่ 1 ช่วงเวลา 21.00-0.00น. ซึ่งมีอุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยอยู่ที่ 32.44 องศาเซลเซียส ค่าความชื้นสัมพัทธ์ 63 เปอร์เซ็นต์ และอุณหภูมิห้องเริ่มต้นที่ 34.2 องศาเซลเซียส ดังตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.5 สภาพแวดล้อมในการทำความเย็นวันที่ 1 ช่วงเวลา 21.00-0.00น.

วันที่และเวลา	อุณหภูมิภายนอก	ความชื้นภายนอก	อุณหภูมิห้องเริ่มต้น
วันที่ 1 (21.00-0.00 น.)	32.44°C	63%	34.2°C

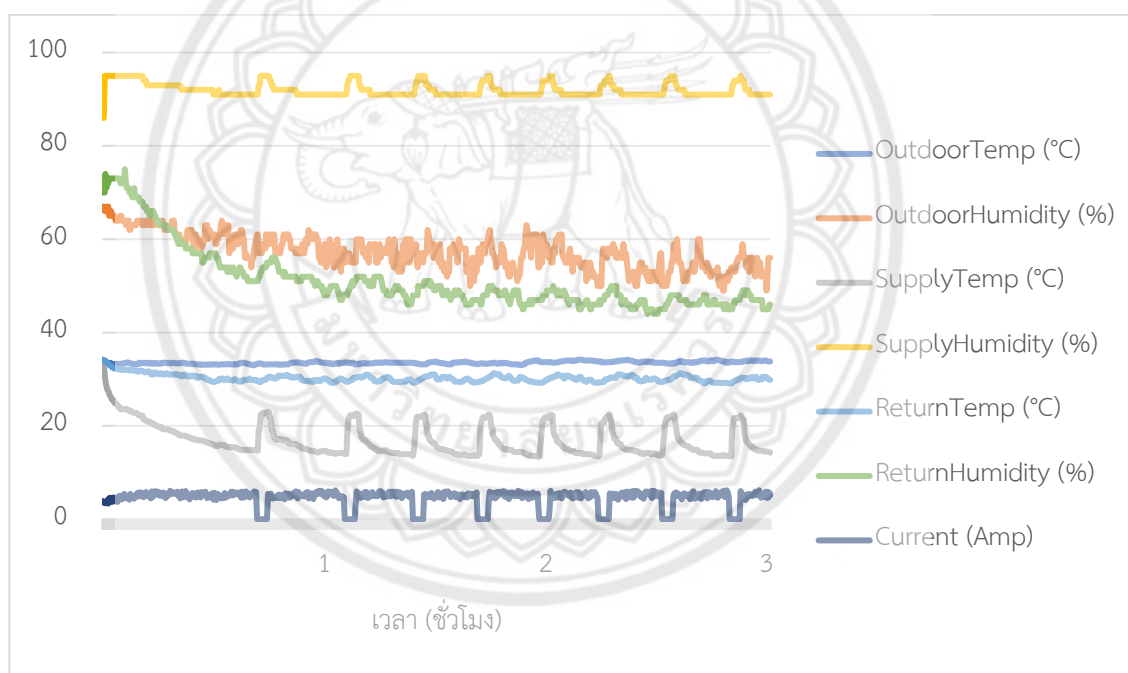


รูปที่ 4.2 ข้อมูลการทำงานของเครื่องปรับอากาศวันที่ 1 ช่วงเวลา 21.00-0.00น.

เมื่อทำการเก็บข้อมูลการทำงานของเครื่องปรับอากาศในวันที่ 2 ช่วงเวลา 12.00-15.00น. ซึ่งมี อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยอยู่ที่ 33.55 องศาเซลเซียส ค่าความชื้นสัมพัทธ์ 56.78 เปอร์เซ็นต์ และ อุณหภูมิห้องเริ่มต้นที่ 34.2 องศาเซลเซียส ดังตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.3

ตารางที่ 4.6 สภาพแวดล้อมในการทำความเย็นวันที่ 2 ช่วงเวลา 12.00-15.00น.

วันที่และเวลา	อุณหภูมิภายนอก	ความชื้นภายนอก	อุณหภูมิห้องเริ่มต้น
วันที่ 2 (12.00-15.00 น.)	33.55°C	56.78%	34.2°C

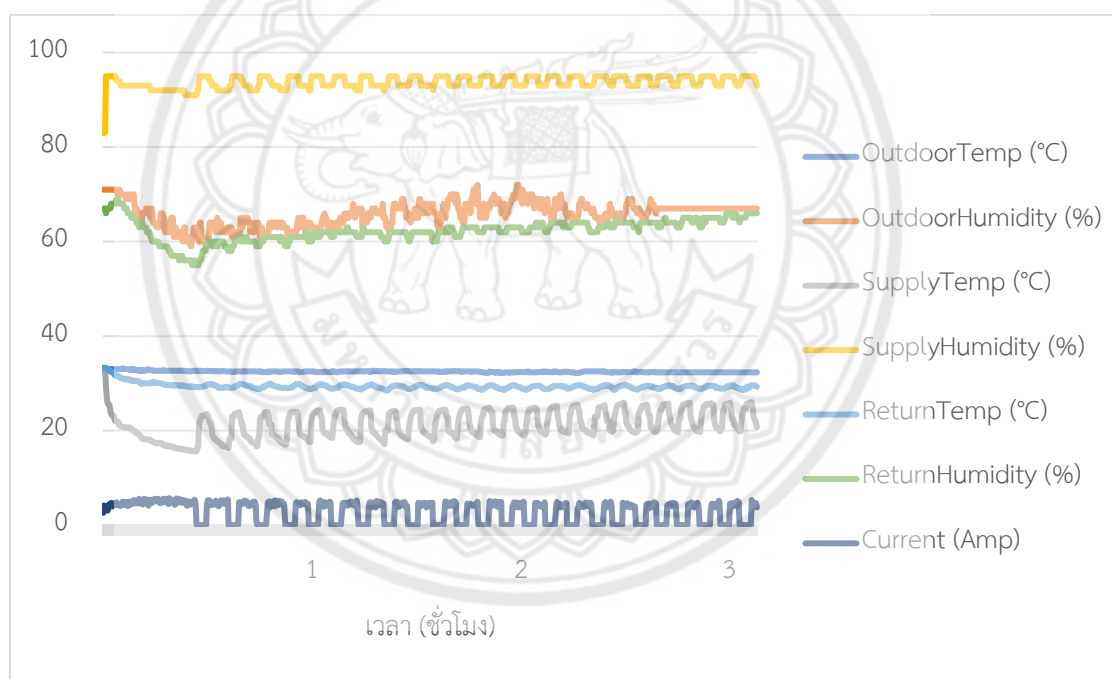


รูปที่ 4.3 ข้อมูลการทำงานของเครื่องปรับอากาศวันที่ 2 ช่วงเวลา 12.00-15.00น.

เมื่อทำการเก็บข้อมูลการทำงานของเครื่องปรับอากาศในวันที่ 2 ช่วงเวลา 21.00-0.00น. ซึ่งมี อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยอยู่ที่ 32.46 องศาเซลเซียส ค่าความชื้นสัมพัทธ์ 65.64 เปอร์เซ็นต์ และ อุณหภูมิห้องเริ่มต้นที่ 33.2 องศาเซลเซียส ดังตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.4

ตารางที่ 4.7 สภาพแวดล้อมในการทำความเย็นวันที่ 2 ช่วงเวลา 21.00-0.00น.

วันที่และเวลา	อุณหภูมิภายนอก	ความชื้นภายนอก	อุณหภูมิห้องเริ่มต้น
วันที่ 2 (21.00-0.00 น.)	32.46°C	65.64%	33.2°C

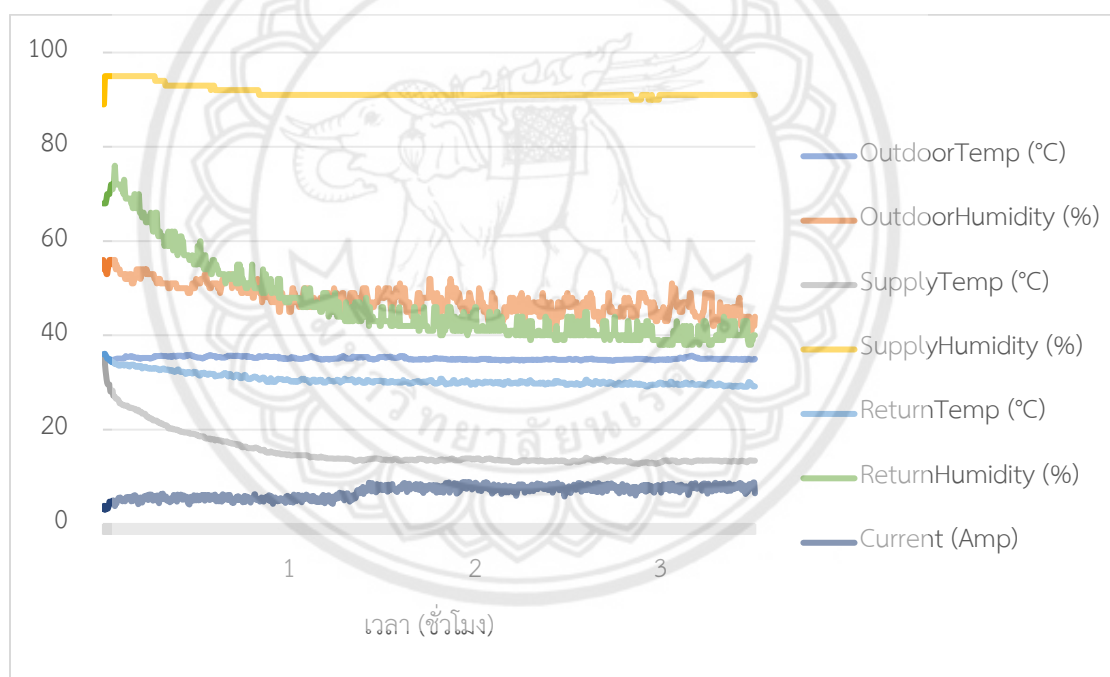


รูปที่ 4.4 ข้อมูลการทำงานของเครื่องปรับอากาศวันที่ 2 ช่วงเวลา 21.00-0.00น.

เมื่อทำการเก็บข้อมูลการทำงานของเครื่องปรับอากาศในวันที่ 3 ช่วงเวลา 12.00-15.00น. ซึ่งมี อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยอยู่ที่ 35.13 องศาเซลเซียส ค่าความชื้นสัมพัทธ์ 47.95 เปอร์เซ็นต์ และ อุณหภูมิห้องเริ่มต้นที่ 36.3 องศาเซลเซียส ดังตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.5

ตารางที่ 4.8 สภาพแวดล้อมในการทำความเย็นวันที่ 3 ช่วงเวลา 12.00-15.00น.

วันที่และเวลา	อุณหภูมิภายนอก	ความชื้นภายนอก	อุณหภูมิห้องเริ่มต้น
วันที่ 3 (12.00-15.00 น.)	35.13°C	47.95%	36.3°C

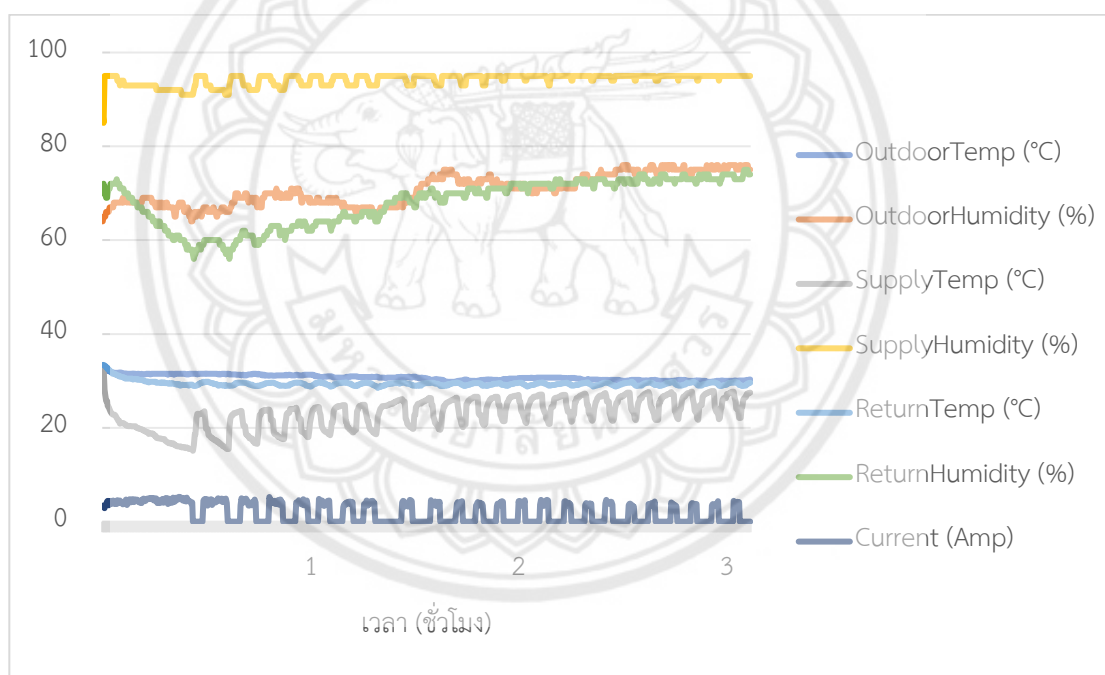


รูปที่ 4.5 ข้อมูลการทำงานของเครื่องปรับอากาศวันที่ 3 ช่วงเวลา 12.00-15.00น.

เมื่อทำการเก็บข้อมูลการทำงานของเครื่องปรับอากาศในวันที่ 3 ช่วงเวลา 21.00-0.00น. ซึ่งมี อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยอยู่ที่ 30.65 องศาเซลเซียส ค่าความชื้นสัมพัทธ์ 71.18 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิห้อง เริ่มต้นที่ 33.3 องศาเซลเซียส ดังตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.6

ตารางที่ 4.9 สภาพแวดล้อมในการทำควมเย็นวันที่ 3 ช่วงเวลา 21.00-0.00น.

วันที่และเวลา	อุณหภูมิภายนอก	ความชื้นภายนอก	อุณหภูมิห้องเริ่มต้น
วันที่ 3 (21.00-0.00 น.)	30.65°C	71.18%	33.3°C



รูปที่ 4.6 ข้อมูลการทำงานของเครื่องปรับอากาศวันที่ 3 ช่วงเวลา 21.00-0.00น.

4.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

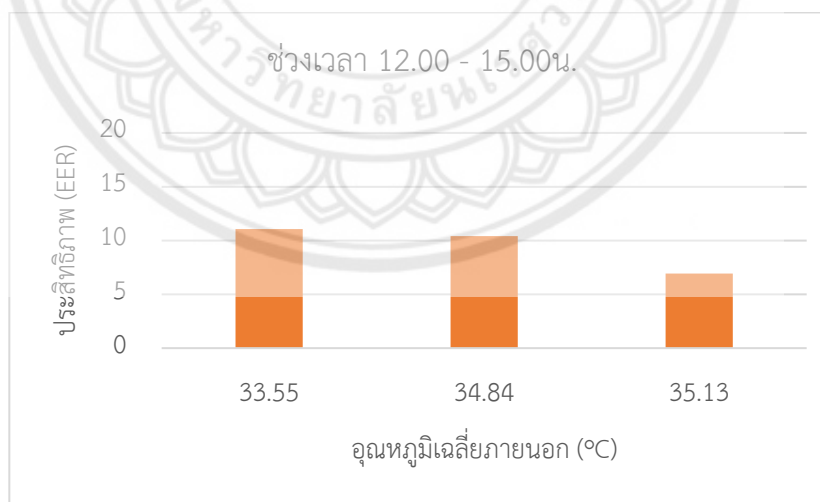
เมื่อนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศและเปอร์เซ็นต์การทำงานของคอมเพรสเซอร์เฉลี่ย จะได้ค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศและเปอร์เซ็นต์การทำงานของคอมเพรสเซอร์เฉลี่ย ดังต่อไปนี้ โดยในวันที่ 1 ช่วงเวลา 12.00น. ถึง 15.00น. มีค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศอยู่ที่ 10.41 และมีเปอร์เซ็นต์การทำงานของคอมเพรสเซอร์เฉลี่ย 81.81% ในช่วงเวลา 21.00น. ถึง 0.00น. มีค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศอยู่ที่ 10.98 และมีเปอร์เซ็นต์การทำงานของคอมเพรสเซอร์เฉลี่ย 63% ในวันที่ 2 ช่วงเวลา 12.00น. ถึง 15.00น. มีค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศอยู่ที่ 11.07 และมีเปอร์เซ็นต์การทำงานของคอมเพรสเซอร์เฉลี่ย 83.2% ในช่วงเวลา 21.00น. ถึง 0.00น. มีค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศอยู่ที่ 12.1 และมีเปอร์เซ็นต์การทำงานของคอมเพรสเซอร์เฉลี่ย 54.57% ในวันที่ 3 ช่วงเวลา 12.00น. ถึง 15.00น. มีค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศอยู่ที่ 6.92 และมีเปอร์เซ็นต์การทำงานของคอมเพรสเซอร์เฉลี่ย 100% และในช่วงเวลา 21.00น. ถึง 0.00น. มีค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศอยู่ที่ 14.54 และมีเปอร์เซ็นต์การทำงานของคอมเพรสเซอร์เฉลี่ย 37.9% ดังแสดงในตารางที่ 4.9

ซึ่งเมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการคำนวณหาประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศและเปอร์เซ็นต์การทำงานของคอมเพรสเซอร์เฉลี่ยไปเปรียบเทียบกับอุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยพบว่า ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.7 และ รูปที่ 4.8 แต่เปอร์เซ็นต์การทำงานของคอมเพรสเซอร์เฉลี่ยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.9 และ รูปที่ 4.10

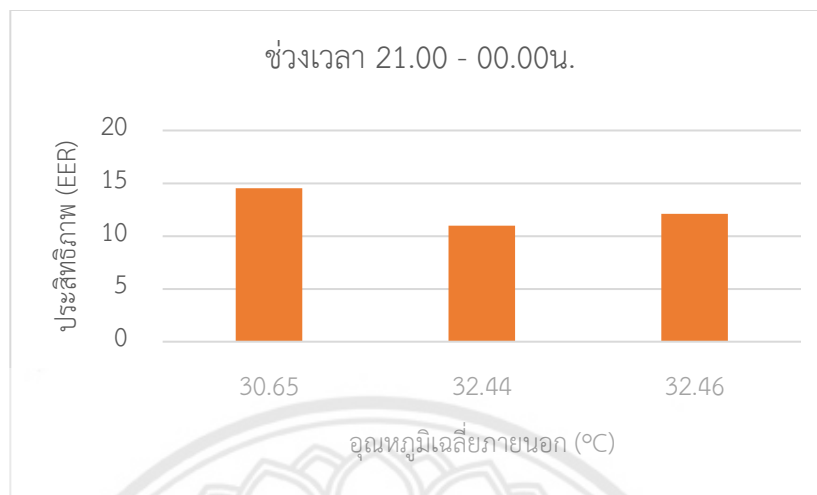
ในการทดลองเก็บข้อมูลของเครื่องปรับอากาศที่ผู้จัดทำได้ทำการเก็บข้อมูล 3 วัน 2 ช่วงเวลานั้นพบว่าข้อมูลที่ได้มีน้อยไป ควรมีการเพิ่มจำนวนวันที่เก็บข้อมูล เพื่อให้ข้อมูลที่ได้มีความแม่นยำขึ้น และสะท้อนการทำงานของเครื่องปรับอากาศมากขึ้น

ตารางที่ 4.10 ค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศที่คำนวณได้

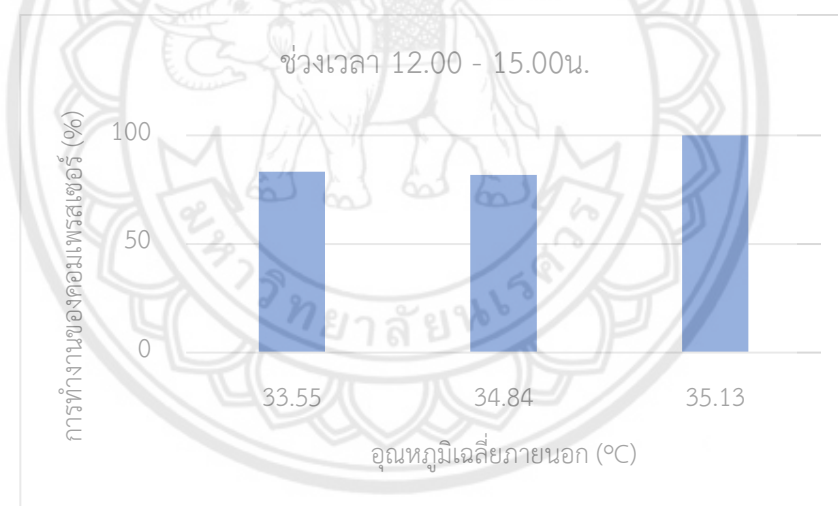
ช่วงเวลา	12.00 - 15.00น.			21.00 - 00.00น.		
	1	2	3	1	2	3
วันที่เก็บข้อมูล						
อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ย (°C)	34.84	33.55	35.13	32.44	32.46	30.65
ขีดความสามารถทำความเย็นรวม (BTU/hr.)	10504	10849	10325	7565	7260	6267
พิกัดกำลังไฟฟ้า (kW)	1.009	0.980	1.492	0.689	0.600	0.431
ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศ	10.41	11.07	6.92	10.98	12.1	14.54
การทำงานของคอมเพรสเซอร์เฉลี่ย (%)	81.81	83.2	100	63	54.57	37.9



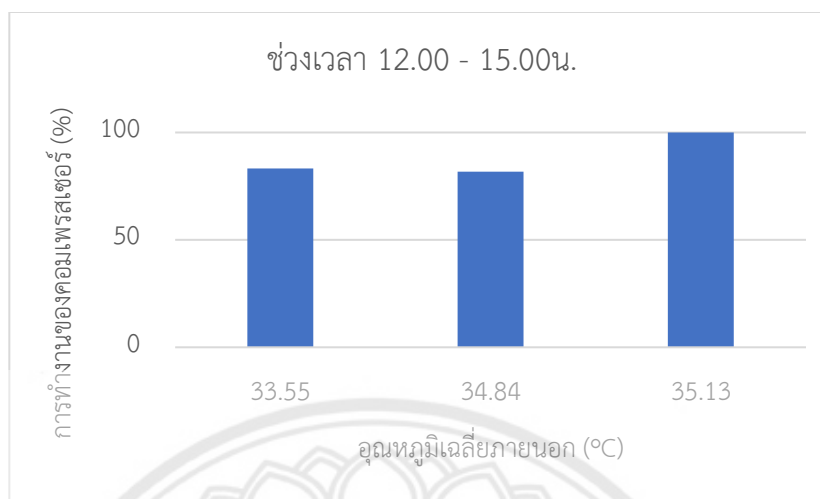
รูปที่ 4.7 ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศช่วงเวลา 12.00 - 15.00น.



รูปที่ 4.8 ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศช่วงเวลา 21.00 - 0.00น.



รูปที่ 4.9 เปอร์เซ็นต์การทำงานของคอมเพรสเซอร์เฉลี่ยช่วงเวลา 12.00 - 15.00น.



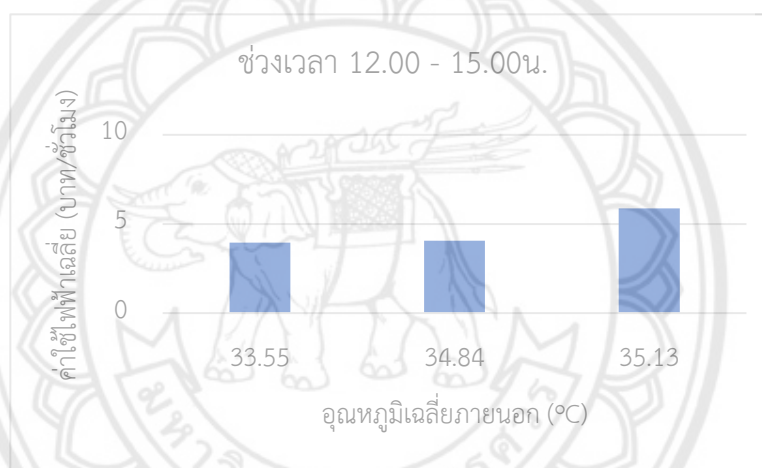
รูปที่ 4.10 เปอร์เซนต์การทำงานของคอมเพรสเซอร์เฉลี่ยช่วงเวลา 21.00 - 0.00น.

และเมื่อนำข้อมูลการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศมาคำนวณเป็นค่าใช้ไฟฟ้าที่ต้องจ่ายโดยคิดที่อัตราหน่วยละ 4 บาท จะมีค่าใช้ไฟฟ้างดังต่อไปนี้ โดยในวันที่ 1 ช่วงเวลา 12.00น. ถึง 15.00น. และในช่วงเวลา 21.00น. ถึง 0.00น. มีค่าใช้ไฟฟ้าที่ต้องจ่ายอยู่ที่ 12.18 บาท และ 7.06 บาท ในวันที่ 2 ช่วงเวลา 12.00น. ถึง 15.00น. และในช่วงเวลา 21.00น. ถึง 0.00น. มีค่าใช้ไฟฟ้าที่ต้องจ่ายอยู่ที่ 11.84 บาท และ 8.27 บาท และในวันที่ 3 ช่วงเวลา 12.00น. ถึง 15.00น. และในช่วงเวลา 21.00น. ถึง 0.00น. มีค่าใช้ไฟฟ้าที่ต้องจ่ายที่ 17.65 บาท และ 4.77 บาท ตามลำดับ ดังแสดงตามตารางที่ 4.10

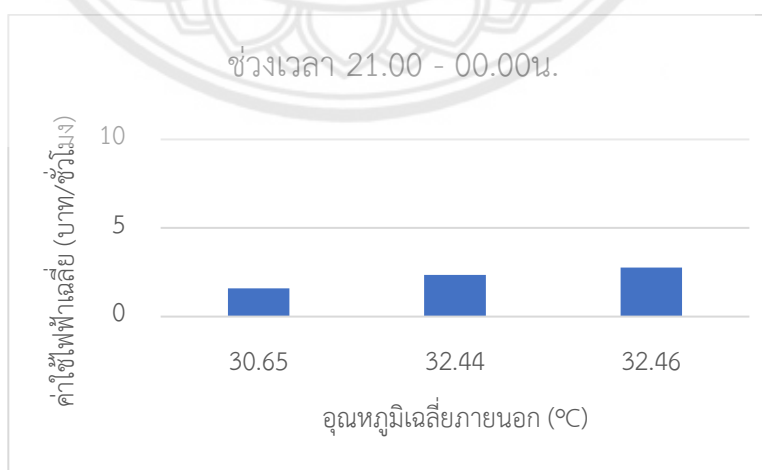
ตารางที่ 4.11 ค่าใช้ไฟฟ้าที่ต้องจ่าย

ช่วงเวลา	12.00 - 15.00น.			21.00 - 00.00น.		
	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3	วันที่ 1	วันที่ 2	วันที่ 3
อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ย (°C)	34.84	33.55	35.13	32.44	32.46	30.65
ค่าใช้ไฟฟ้าที่ต้องจ่าย (บาท)	12.18	11.84	17.65	7.06	8.27	4.77
ค่าใช้ไฟฟ้าเฉลี่ย (บาท/ชั่วโมง)	4.06	3.95	5.88	2.35	2.76	1.59

เมื่อนำค่าใช้ไฟฟ้าที่ต้องจ่ายมาเปรียบเทียบกับอุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยพบว่า ค่าใช้ไฟฟ้ามีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยสูงขึ้นดังรูปที่ 4.9 และรูปที่ 4.10 จะเห็นมีส่วนต่างสูงสุดของค่าใช้ไฟฟ้าสูงถึง 4.29 บาท/ชั่วโมง ที่อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยต่างกัน 4.48°C และเมื่อนำค่าใช้ไฟฟ้าของวันที่ 1 ช่วงเวลา 12.00 – 15.00 น. มาเปรียบเทียบกับวันที่ 3 ช่วงเวลา 12.00 – 15.00 น. ซึ่งมีอุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยต่างกันเพียง 0.29°C แต่ในวันที่ 3 เครื่องปรับอากาศไม่สามารถทำความเย็นได้ถึงจุดที่กำหนดส่งผลให้เครื่องปรับอากาศมีการทำความเย็นตลอดเวลาจึงมีการใช้ไฟฟ้าสูงถึง 5.88 บาท/ชั่วโมง มากกว่าวันที่ 1 ที่มีการใช้ไฟฟ้าเพียง 4.06 บาท/ชั่วโมง คิดเป็นส่วนต่าง 1.82 บาท/ชั่วโมง หรือ 44.91%



รูปที่ 4.11 อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยเทียบกับค่าไฟฟ้าช่วงเวลา 12.00 - 15.00 น.



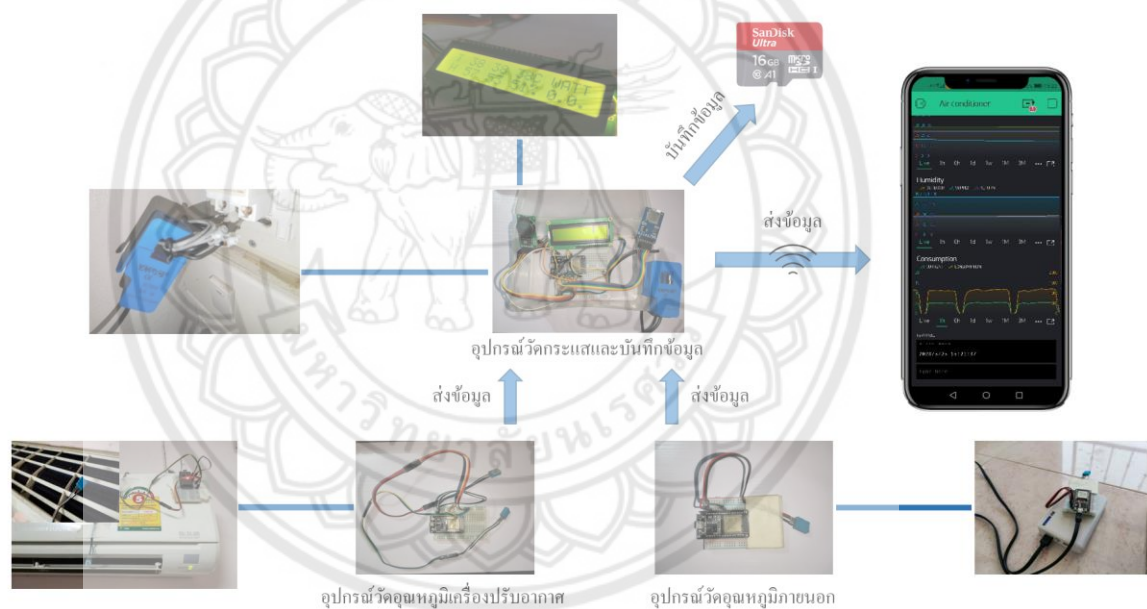
รูปที่ 4.12 อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยเทียบกับค่าไฟฟ้าช่วงเวลา 21.00 - 00.00 น.

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในการออกแบบเครื่องมือวัด มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานและประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ โดยเครื่องมือวัดที่สร้างขึ้นสามารถเก็บข้อมูลเป็นจำนวนมากอย่างต่อเนื่องได้เอง สามารถติดตามการทำงานได้ผ่านสมาร์ทโฟน ไม่จำเป็นต้องเฝ้าติดตามที่จุดทดสอบ โดยลักษณะและระบบการทำงานของเครื่องมือวัดที่สร้างมีดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 ลักษณะและระบบการทำงานของเครื่องมือวัดที่สร้าง

ในส่วนของความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัดจะอ้างอิงจากคุณสมบัติสินค้าของผู้ผลิต ยกเว้นในส่วนของการวัดกระแสไฟฟ้าจะเป็นการเก็บข้อมูลจริงเพื่อนำมาวิเคราะห์หาความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัด ซึ่งพบว่า การพันสายไฟฟ้า 6 รอบมีค่าความคลาดเคลื่อนและค่าความไม่แน่นอนของการวัดต่ำกว่าและมีการตอบสนองการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าที่รวดเร็วกว่าการพันสายไฟฟ้าเพียง 1 รอบ

ในการทดลองเก็บข้อมูลการทำงานของเครื่องปรับอากาศจึงใช้รูปแบบการพันสายไฟแบบ 6 รอบเพื่อลดความคลาดเคลื่อนของข้อมูล

จากการเก็บข้อมูลด้วยเครื่องมือวัดพบว่า ข้อมูลสามารถนำไปใช้วิเคราะห์การใช้พลังงานและประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศได้ โดยมีอุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยเป็นตัวแปรต้น การใช้พลังงานและประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศเป็นตัวแปรตามที่เกิดขึ้น สาเหตุที่ทำให้อุณหภูมิภายนอกเป็นตัวแปรต้น เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิภายนอกสูงขึ้น คอนเดนเซอร์ซึ่งเป็นส่วนในการระบายความร้อนจะไม่สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงทำให้สูญเสียพลังงานในการทำงานของคอมเพรสเซอร์มากขึ้น ผลการวิเคราะห์พบว่าอุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยที่สูงขึ้นส่งผลให้การใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศมีแนวโน้มสูงขึ้น แต่ในทางกลับกันประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยสูงขึ้น ซึ่งจะเห็นว่าค่าที่วิเคราะห์มาได้เป็นเพียงแนวโน้มเนื่องจากห้องที่ใช้ในการทดสอบยังมีตัวแปรอื่นที่ยังไม่ได้นำมาวิเคราะห์ร่วมด้วยเช่น กิจกรรมภายในห้อง การใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าที่เกิดความร้อน การสะสมความร้อนของผนังห้อง เป็นต้น

ความแตกต่างของการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศที่มีอุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยต่างกัน 4.48°C มีค่าใช้ไฟฟ้าเฉลี่ย 4.29 บาท/ชั่วโมง และที่อุณหภูมิภายนอกเฉลี่ยต่างกันเพียง 0.29°C แต่ต่างกันที่การทำงานของเครื่องปรับอากาศไม่สามารถทำความเย็นได้ถึงจุดที่กำหนดมีค่าใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่างกันถึง 1.82 บาท/ชั่วโมง หรือคิดเป็น 44.91% ของค่าใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยที่เครื่องปรับอากาศมีการทำงานตัดต่อแบบปกติ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1) อุปกรณ์ในการเก็บข้อมูลและแสดงผลการทำงานของเครื่องปรับอากาศสามารถนำมาพัฒนาให้มีการคำนวณการใช้พลังงานและประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศได้โดยไม่ต้องนำข้อมูลมาคำนวณแยกภายหลังโดยสร้างสมการคำนวณในขั้นตอนการเขียนโค้ด และในการวัดความเร็วลมสามารถสร้างอุปกรณ์ให้สามารถเก็บข้อมูลตลอดเวลาได้

2) ห้องที่ใช้ในการเก็บข้อมูลควรมีการควบคุมตัวแปรที่แน่นอนและตำแหน่งเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการตรวจวัดควรมีมากขึ้นเพื่อผลการวิเคราะห์ที่แม่นยำขึ้น

3) ในการเก็บข้อมูลเพื่อหาค่าประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศควรมีการตั้งอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศไว้ที่ 27°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ทางผู้ผลิตใช้ทดสอบ เพื่อที่จะได้ค่าประสิทธิภาพที่ถูกต้อง

4) อุปกรณ์สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดในการควบคุมการทำงานของเครื่องปรับอากาศผ่านอินเทอร์เน็ตเพื่ออำนวยความสะดวกต่อผู้ใช้ได้ และควบคุมการทำงานเพื่อลดค่าใช้จ่ายได้

5) ในขั้นตอนของการเก็บข้อมูลในวันที่ 3 ช่วงเวลา 12.00-15.00น. มีข้อสังเกตว่าการทำงานของเครื่องปรับอากาศในส่วนของคอมเพรสเซอร์มีการทำงานอยู่ตลอดเวลาในช่วงเวลา 3 ชั่วโมง อาจส่งผลต่ออายุการใช้งานของคอมเพรสเซอร์ได้ โดยการทำงานตลอดเวลาเกิดมาจากเครื่องปรับอากาศไม่สามารถทำความเย็นได้ถึงอุณหภูมิที่ตั้งค่าการทำงานไว้ จึงควรมีการเพิ่มขนาดทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศให้สูงขึ้นให้เพียงพอต่อการใช้งาน และเมื่อใช้งานไปเป็นระยะเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง 20 นาที พบว่าเครื่องปรับอากาศมีการใช้กระแสไฟฟ้าสูงขึ้นซึ่งในส่วนนี้ควรมีการศึกษาเพิ่มเติม



บรรณานุกรม

- [1] “กรมอุตุฯ อนุมัติมหาวิทยาลัย,” [ออนไลน์]. Available: <https://www.tmd.go.th/climate/climate.php?FileID=5>. [%1 ที่เข้าถึง 30 พฤศจิกายน 2561].
- [2] ท. TCJ. [ออนไลน์]. Available: <https://www.tcjthai.com/news/2018/06/scoop/7963>. [%1 ที่เข้าถึง 20 ตุลาคม 2563].
- [3] “โครงการฉลากประหยัดไฟฟ้าเบอร์ 5,” [ออนไลน์]. Available: http://labelno5.egat.co.th/new58/?page_id=974. [%1 ที่เข้าถึง 30 พฤศจิกายน 2561].
- [4] “Ienergyguru,” [ออนไลน์]. Available: <https://ienergyguru.com/2015/09/air-conditioning/>. [%1 ที่เข้าถึง 2 ธันวาคม 2561].
- [5] “Factomart,” [ออนไลน์]. Available: <https://www.factomart.com/th/factomartblog/principle-of-temperature-rtd/>. [%1 ที่เข้าถึง 12 2561].
- [6] Aemarine. [ออนไลน์]. Available: <http://refrigerations.blogspot.com/2012/01/vapor-compression-system.html>. [%1 ที่เข้าถึง 20 ตุลาคม 2563].
- [7] M. Wright. [ออนไลน์]. Available: <https://slideplayer.com/slide/13850953/>. [%1 ที่เข้าถึง 20 ตุลาคม 2563].

- [8] AUTODESK. [ออนไลน์]. Available: <https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/getting-started/caas/simplecontent/content/psychrometric-charts-part-1.html>. [%1 ที่เข้าถึง 20 ตุลาคม 2563].
- [9] T. Kamol. [ออนไลน์]. Available: <https://medium.com/icreativesystems/analog-vs-digital-c932477b0b63>. [%1 ที่เข้าถึง 20 ตุลาคม 2563].
- [10] S. THAIEASYELEC. [ออนไลน์]. Available: <https://blog.thaieasyelec.com/how-to-use-character-lcd-display-arduino-ch2-i2c/>. [%1 ที่เข้าถึง 20 ตุลาคม 2563].
- [11] F. d. Brabander, “Arduino Library List,” [ออนไลน์]. Available: <https://www.arduinelibraries.info/authors/marcoschwartz>. [%1 ที่เข้าถึง 13 เมษายน 2564].
- [12] M. C. Miller, “Arduino Library List,” [ออนไลน์]. Available: <https://www.arduinelibraries.info/libraries/rtc-by-makuna>. [%1 ที่เข้าถึง 13 เมษายน 2564].
- [13] “arduitronics,” [ออนไลน์]. Available: <https://www.arduitronics.com/article/13/%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B9%83%E0%B8%8A%E0%B9%89%E0%B8%87%E0%B8%B2%E0%B8%99-dht11-humitdity-and-temperature-sensor-%E0%B8%81%E0%B8%B1%E0%B8%9A%E0%B8%9A%E0%B8%AD%E0%B8%A3%E0%B9%8C%E0%B8%94-arduino>. [%1 ที่เข้าถึง 30 พฤศจิกายน 2561].

- [14] core electronics. [ออนไลน์]. Available: <https://core-electronics.com.au/dht11-temperature-and-relative-humidity-sensor-module.html>. [%1 ที่เข้าถึง30 พฤศจิกายน 2561].
- [15] Electronicscomp.. [ออนไลน์]. Available: <https://www.electronicscomp.com/dht11-temperature-humidity-sensor-module-india>. [%1 ที่เข้าถึง20 ตุลาคม 2563].
- [16] “Factomart,” [ออนไลน์]. Available: <https://www.factomart.com/th/factomartblog/principle-of-humidity-sensor/>. [%1 ที่เข้าถึง1 ธันวาคม 2561].
- [17] Adafruit, “Arduino Library List,” [ออนไลน์]. Available: <https://www.arduino-libraries.info/libraries/dht-sensor-library>. [%1 ที่เข้าถึง13 เมษายน 2564].
- [18] OpenEnergyMonitor, “Arduino Library List,” [ออนไลน์]. Available: <https://www.arduino-libraries.info/libraries/emon-lib>. [%1 ที่เข้าถึง13 เมษายน 2564].
- [19] V. Shymansky, “Arduino Library List,” [ออนไลน์]. Available: <https://www.arduino-libraries.info/libraries/blynk>. [%1 ที่เข้าถึง13 เมษายน 2564].
- [20] B. Inc.. [ออนไลน์]. Available: <https://play.google.com/store/apps/details?id=cc.blynk&hl=th>. [%1 ที่เข้าถึง20 ตุลาคม 2563].
- [21] ว. เวียงนาค. [ออนไลน์]. Available: <https://medium.com/@visitwnk/%E0%B9%83%E0%B8%AA%E0%B9%88%E0%B9%83%E0%B8%88-7->

%E0%B9%80%E0%B8%95%E0%B8%A3%E0%B8%B5%E0%B8%A2%E0%B8%A1%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B8%9E%E0%B8%A3%E0%B9%89%E0%B8%AD%E0%B8%A1%E0%B8%81%E0%B9%88%E0%B8%AD%E0%B8%99%E0%B8%. [%1 ที่เข้าถึง 20 ตุลาคม 2563].

- [22] ผ. ห. ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, “Food Network Solution,” [ออนไลน์]. Available: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/4290/precision-%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B9%80%E0%B8%97%E0%B8%B5%E0%B9%88%E0%B8%A2%E0%B8%87%E0%B8%95%E0%B8%A3%E0%B8%87>. [%1 ที่เข้าถึง 10 มกราคม 2564].
- [23] M. H. Yusof. [ออนไลน์]. Available: https://www.researchgate.net/publication/328742804_The_Effect_of_Outdoor_Temperature_on_the_Performance_of_a_Split-Unit_Type_Air_Conditioner_Using_R22_Refrigerant?fbclid=IwAR1cWL0Cue5-ZAtKoET8sOHWhHLUeh9o8Dp7hy_hzct0EpES6OOvgs7KCCM. [%1 ที่เข้าถึง 10 มกราคม 2563].
- [24] พ. การะเกด. [ออนไลน์]. Available: https://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/60286?fbclid=IwAR3tTJhUKGGN8p7IwY4yrqUop9Ba4nZCHBOBkq-HN_7ZpWqjVOW5fmYVv5Q. [%1 ที่เข้าถึง 5 ตุลาคม 2563].
- [25] ส. ส. แ. ธงชัยสุรชัยกุล, “โปรแกรมตรวจวัดประสิทธิภาพและควบคุมเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนสำหรับการอนุรักษ์พลังงาน,” 2558.

- [26] ด. แจ่มกระจ่าง. [ออนไลน์]. Available: <https://so02.tci-thaijo.org/index.php/edubuu/article/view/18689>. [%1 ที่เข้าถึง 20 ตุลาคม 2563].
- [27] vshymansky, “github,” [ออนไลน์]. Available: <https://github.com/blynkkk/blynk-library/releases/tag/v0.6.1>. [%1 ที่เข้าถึง 25 11 2020].
- [28] พ. วัฒนศรี. [ออนไลน์]. Available: <https://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/33532>. [%1 ที่เข้าถึง 5 ตุลาคม 2563].
- [29] ธ. ทองล้วน. [ออนไลน์]. Available: <https://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/1580>. [%1 ที่เข้าถึง 5 ตุลาคม 2563].







ก.1 RTC-DS1302 Module

ตารางที่ ก.1 โค้ดคำสั่งที่ใช้กับโมดูล RTC-DS1302

RTC-DS1302 Code
<pre>#include <ThreeWire.h> #include <RtcDS1302.h> ThreeWire myWire(4,5,2); // IO, SCLK, CE RtcDS1302<ThreeWire> Rtc(myWire); void setup () { Serial.begin(115200); Serial.print("compiled: "); Serial.print(__DATE__); Serial.println(__TIME__); Rtc.Begin(); RtcDateTime compiled = RtcDateTime(__DATE__, __TIME__); printDateTime(compiled); Serial.println(); if (!Rtc.IsDateTimeValid()) {</pre>

RTC-DS1302 Code

```
Serial.println("RTC lost confidence in the DateTime!");  
Rtc.SetDateTime(compiled);  
}  
  
if (Rtc.GetIsWriteProtected())  
{  
    Serial.println("RTC was write protected, enabling writing now");  
    Rtc.SetIsWriteProtected(false);  
}  
  
if (!Rtc.GetIsRunning())  
{  
    Serial.println("RTC was not actively running, starting now");  
    Rtc.SetIsRunning(true);  
}  
  
RtcDateTime now = Rtc.GetDateTime();  
if (now < compiled)  
{  
    Serial.println("RTC is older than compile time! (Updating DateTime)");  
    Rtc.SetDateTime(compiled);  
}  
else if (now > compiled)  
{
```

RTC-DS1302 Code

```
Serial.println("RTC is newer than compile time. (this is expected)");
}
else if (now == compiled)
{
    Serial.println("RTC is the same as compile time! (not expected but all is fine)");
}
}

void loop ()
{
    RtcDateTime now = Rtc.GetDateTime();

    printDateTime(now);
    Serial.println();

    if (!now.IsValid())
    {
        Serial.println("RTC lost confidence in the DateTime!");
    }

    delay(10000); //หน่วงเวลา 10 วินาที
}

#define countof(a) (sizeof(a) / sizeof(a[0]))
```

RTC-DS1302 Code
<pre> void printDateTime(const RtcDateTime& dt) { char datestring[20]; snprintf_P(datestring, sizeof(datestring), PSTR("%02u/%02u/%04u %02u:%02u:%02u"), dt.Day(), dt.Month(), dt.Year(), dt.Hour(), dt.Minute(), dt.Second()); Serial.print(datestring); //แสดงเวลา } </pre>

ก.2 โมดูลวัดอุณหภูมิและความชื้น รุ่น DHT11 (Temperature and Humidity Sensor)

ตารางที่ ก.2 โค้ดคำสั่งที่ใช้กับโมดูลวัดอุณหภูมิและความชื้น รุ่น DHT11

Temperature and Humidity Sensor DHT11 Serie Code
<pre> #include "DHT.h" #define DHTPIN 5 //ขาสัญญาณที่เชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์ </pre>

Temperature and Humidity Sensor DHT11 Serie Code

```

#define DHTTYPE DHT11 //ประเภทของเซ็นเซอร์
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  Serial.println("DHTxx test!");

  dht.begin();
}

void loop() {
  float h = dht.readHumidity(); //รับค่าความชื้นมาเก็บไว้ที่ตัวแปร h
  float t = dht.readTemperature(); //รับค่าอุณหภูมิมาเก็บไว้ที่ตัวแปร t

  if (isnan(t) || isnan(h)) {
    Serial.println("Failed to read from DHT"); //เมื่อบอร์ดไม่สามารถรับข้อมูลได้จะแสดงข้อความ
Failed to read from DHT
  } else {
    Serial.print("Humidity: ");
    Serial.print(h); //แสดงความชื้นที่วัดได้ไปที่ Serial Monitor
    Serial.print(" %\t");

    Serial.print("Temperature: ");
    Serial.print(t); //แสดงอุณหภูมิที่วัดได้ไปที่ Serial Monitor
    Serial.println(" *C");
  }
}

```

Temperature and Humidity Sensor DHT11 Serie Code
<pre> delay (1000); } } </pre>

ก.3 เซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า CT sensor SCT-013

ตารางที่ ก.3 โค้ดคำสั่งที่ใช้กับเซนเซอร์วัดกระแสไฟฟ้า CT sensor SCT-013

CT sensor SCT-013 Code
<pre> #include "EmonLib.h" EnergyMonitor emon1; void setup() { Serial.begin(115200); emon1.current(2, 55.6); //ขา input ของสัญญาณ, ค่าสอบเทียบ } void loop() { double Irms = emon1.calcIrms(1480); Serial.print(Irms*220.0); Serial.println("\W"); //แสดงกำลังไฟฟ้าผ่าน serial monitor Serial.print(Irms); Serial.println("\A"); //แสดงกระแสไฟฟ้าผ่าน serial monitor </pre>

CT sensor SCT-013 Code
<pre> delay (1000); } </pre>

ก.4 Micro SD Card Module

ตารางที่ ก.4 โค้ดคำสั่งที่ใช้กับ Micro SD Card Module

Micro SD Card Module Code
<pre> #include "SD.h" #include "SPI.h" File myFile; void setup() { Serial.begin(115200); Serial.print("Initializing SD card..."); if (ISD.begin(5)) { // กำหนดขา CS ของโมดูล SD Card Serial.println("initialization failed!"); return; } Serial.println("initialization done."); } </pre>

Micro SD Card Module Code

```

myFile = SD.open("/test.txt", FILE_WRITE); // เปิดไฟล์ที่ชื่อ test.txt เพื่อเขียนข้อมูล โหมด
FILE_WRITE
if (myFile) { // ถ้าเปิดไฟล์สำเร็จ ให้เขียนข้อมูลเพิ่มลงไป
  Serial.print("Writing to test.txt...");
  myFile.println("ทดสอบ"); // สั่งให้เขียนข้อมูลลงในไฟล์
  myFile.close(); // ปิดไฟล์
  Serial.println("done.");
} else { // ถ้าเปิดไฟล์ไม่สำเร็จ ให้แสดง error
  Serial.println("error opening file.");
}

// เปิดไฟล์เพื่ออ่าน
File myFile = SD.open("/test.txt"); // สั่งให้เปิดไฟล์ชื่อ test.txt เพื่ออ่านข้อมูล
if (myFile) {
  Serial.println("test.txt:"); // อ่านข้อมูลในไฟล์
  while (myFile.available()) {
    Serial.write(myFile.read());
  }
  myFile.close(); // เมื่ออ่านเสร็จ ปิดไฟล์
} else { // ถ้าอ่านไฟล์ไม่สำเร็จ ให้แสดง error
  Serial.println("error opening file.");
}
}

void loop()

```

Micro SD Card Module Code
{ }

ก.5 จอ LCD 16x2 I2C

ตารางที่ ก.5 โค้ดคำสั่งที่ใช้กับจอ LCD 16x2 I2C

LCD 16x2 I2C Code
<pre>#include <Wire.h> #include <LiquidCrystal_I2C.h> LiquidCrystal_I2C lcd(0x3F, 16, 2); //ขนาดจอ LCD void setup() { lcd.init(); //เชื่อมต่อ LCD lcd.backlight(); //เปิดไฟแบล็กไลท์ lcd.print("Hello"); //แสดงข้อความ lcd.setCursor(9,0); //เริ่มเขียนที่ตำแหน่ง 9,0 lcd.print("ESP32"); //แสดงข้อความ lcd.setCursor(0,1); //เริ่มเขียนที่ตำแหน่ง 0,1 lcd.print("Test!!!"); //แสดงข้อความ lcd.setCursor(9,1); //เริ่มเขียนที่ตำแหน่ง 9,1 lcd.print("LCD"); //แสดงข้อความ</pre>

LCD 16x2 I2C Code

```

}

void loop()
{
}

```

ก.6 ESP NOW Receiver

ตารางที่ ก.6 โค้ดคำสั่งที่ใช้กับ ESP NOW Receiver

ESP NOW Receiver Code

```

#include <esp_now.h>
#include <WiFi.h>

//ตั้งค่าชุดตัวแปรที่จะใช้เหมือนกับตัวส่งข้อมูล
typedef struct struct_message {
    char a[32];
    float tout;
    float hout;
} struct_message;

// เรียกชุดข้อมูลว่า myData
struct_message myData;

//รับและแสดงข้อมูลผ่าน Serial Monitor

```

ESP NOW Receiver Code

```
void onDataRecv(const uint8_t * mac, const uint8_t *incomingData, int len) {  
    memcpy(&myData, incomingData, sizeof(myData));  
    Serial.print("OutdoorTemp: ");  
    Serial.print(myData.tout);  
    Serial.println(" *C");  
    Serial.print("OutdoorHumidity: ");  
    Serial.print(myData.hout);  
    Serial.println(" %\t");  
    Serial.println();  
}  
  
void setup() {  
    Serial.begin(115200);  
  
    //ตั้งค่าโหมดWifi  
    WiFi.mode(WIFI_STA);  
  
    if (esp_now_init() != ESP_OK) {  
        Serial.println("Error initializing ESP-NOW");  
        return;  
    }  
  
    esp_now_register_recv_cb(OnDataRecv);  
}
```

ESP NOW Receiver Code
<pre>void loop() { }</pre>

ก.7 ESP NOW Sender

ตารางที่ ก.7 โค้ดคำสั่งที่ใช้กับ ESP NOW Sender

ESP NOW Sender Code
<pre>#include <esp_now.h> #include <WiFi.h> #include "DHT.h" #define DHTPIN 25 //ขาสัญญาณที่เชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์ #define DHTTYPE DHT11 //ประเภทของเซ็นเซอร์ DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE); // ตั้งค่า MAC Address ของเครื่องที่จะรับข้อมูล uint8_t broadcastAddress[] = {0xCC, 0x50, 0xE3, 0xAB, 0xCF, 0x80}; //สร้างชุดตัวแปรที่จะส่งข้อมูล typedef struct struct_message { char a[32]; float tout; float hout;</pre>

ESP NOW Sender Code

```

} struct_message;

// ตั้งชื่อชุดตัวแปรว่า myData
struct_message myData;

//สถานะการส่งข้อมูล สำเร็จ/ไม่สำเร็จ
void OnDataSent(const uint8_t *mac_addr, esp_now_send_status_t status) {
    Serial.print("\r\nLast Packet Send Status:\t");
    Serial.println(status == ESP_NOW_SEND_SUCCESS ? "Delivery Success" : "Delivery
Fail");
}

void setup() {
    Serial.begin(115200);
    dht.begin();

    //ตั้งค่าโหมดของWifi
    WiFi.mode(WIFI_STA);

    if (esp_now_init() != ESP_OK) {
        Serial.println("Error initializing ESP-NOW");
        return;
    }
}

```

ESP NOW Sender Code

```
esp_now_register_send_cb(OnDataSent);

esp_now_peer_info_t peerInfo;
memcpy(peerInfo.peer_addr, broadcastAddress, 6);
peerInfo.channel = 0;
peerInfo.encrypt = false;

if (esp_now_add_peer(&peerInfo) != ESP_OK){
    Serial.println("Failed to add peer");
    return;
}

void loop() {
    float h = dht.readHumidity(); //รับค่าความชื้นมาเก็บไว้ที่ตัวแปร h
    float t = dht.readTemperature(); //รับค่าอุณหภูมิมาเก็บไว้ที่ตัวแปร t

    strcpy(myData.a, "THIS IS A CHAR");
    myData.tout = t;
    myData.hout = h;

    // ส่งค่าข้อมูลตัวแปร
    esp_err_t result = esp_now_send(broadcastAddress, (uint8_t *) &myData,
    sizeof(myData));
```

ESP NOW Sender Code

```
//สถานะการส่งข้อมูล สำเร็จ/ไม่สำเร็จ
if (result == ESP_OK) {
  Serial.println("Sent with success");
}
else {
  Serial.println("Error sending the data");
}
delay(1000);
}
```

ก.8 Blynk

ตารางที่ ก.8 โค้ดคำสั่งที่ใช้กับแอปพลิเคชัน Blynk

Blynk Code

```
#define BLYNK_PRINT Serial

#include <WiFi.h>
#include <WiFiClient.h>
#include <BlynkSimpleEsp32.h>

char auth[] = "YourAuthToken";
char ssid[] = "YourNetworkName";
```


Blynk Code
<pre> char pass[] = "YourPassword"; void setup() { Serial.begin(9600); Blynk.begin(auth, ssid, pass); } void loop() { Blynk.run(); } </pre>

ก.9 ตัวรับข้อมูล

ตารางที่ ก.9 โค้ดคำสั่งที่ใช้กับตัวรับข้อมูล

โค้ดคำสั่งที่ใช้กับตัวรับข้อมูล
<pre> #include "SD.h" #include "SPI.h" #include <ThreeWire.h> #include <RtcDS1302.h> #include "EmonLib.h" EnergyMonitor emon1; </pre>

โค้ดคำสั่งที่ใช้กับตัวรับข้อมูล

```

#include <esp_now.h>
#include <WiFi.h>
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <WiFiClient.h>
#include <BlynkSimpleEsp32.h>
#define BLYNK_PRINT Serial

LiquidCrystal_I2C lcd(0x3F, 16, 2);

File myFile;

ThreeWire myWire(4,5,2); // IO, SCLK, CE
RtcDS1302<ThreeWire> Rtc(myWire);

char auth[] = "PeylBnMeLau1MOPIh0EkaAXr7IQN5HN0"; //ใส่ Token ที่ได้มาจากการสร้าง
Project ในแอปพลิเคชัน Blynk
char ssid[] = "Diamond place_4"; //ใส่ชื่อWifiที่จะเชื่อมต่อ
char pass[] = "99998888"; //ใส่รหัสWifiที่จะเชื่อมต่อ

BlynkTimer timer;

WidgetTerminal terminal(V0);

unsigned long last_time = 0;
unsigned long last_time2 = 0;

```

โค้ดคำสั่งที่ใช้กับตัวรับข้อมูล

```
//ตั้งค่าชุดตัวแปรที่จะใช้เหมือนกับตัวส่งข้อมูล
```

```
typedef struct struct_message {
```

```
    int id;
```

```
    float t1;
```

```
    float h1;
```

```
    float t2;
```

```
    float h2;
```

```
    float t3;
```

```
    float h3;
```

```
} struct_message;
```

```
// เรียกชุดข้อมูลว่า myData
```

```
struct_message myData;
```

```
float Temp1;
```

```
float Humi1;
```

```
float Temp2;
```

```
float Humi2;
```

```
float Temp3;
```

```
float Humi3;
```

ก.10 ตัวส่งข้อมูล 1

ตารางที่ ก.10 โค้ดคำสั่งที่ใช้กับตัวส่งข้อมูล 1

โค้ดคำสั่งที่ใช้กับตัวส่งข้อมูล 1
<pre> #include <esp_now.h> #include <WiFi.h> #include "DHT.h" #define DHTPIN 25 //ขาสัญญาณที่เชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์ #define DHTTYPE DHT11 //ประเภทของเซ็นเซอร์ DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE); // ตั้งค่า MAC Address ของเครื่องที่จะรับข้อมูล uint8_t broadcastAddress[] = {0xCC, 0x50, 0xE3, 0xAB, 0xCF, 0x80}; //สร้างชุดตัวแปรที่จะส่งข้อมูล typedef struct struct_message { int id; float t1; float h1; float t2; float h2; float t3; float h3; } struct_message; </pre>

โค้ดคำสั่งที่ใช้กับตัวส่งข้อมูล 1

```
// ตั้งชื่อชุดตัวแปรว่า myData
struct_message myData;

//สถานะการส่งข้อมูล สำเร็จ/ไม่สำเร็จ
void OnDataSent(const uint8_t *mac_addr, esp_now_send_status_t status) {
    Serial.print("\nLast Packet Send Status:\t");
    Serial.println(status == ESP_NOW_SEND_SUCCESS ? "Delivery Success" : "Delivery
Fail");
}

void setup() {
    Serial.begin(115200);
    dht.begin();

    //ตั้งค่าโหมดของ WiFi
    WiFi.mode(WIFI_STA);

    if (esp_now_init() != ESP_OK) {
        Serial.println("Error initializing ESP-NOW");
        return;
    }

    esp_now_register_send_cb(OnDataSent);
```

โค้ดคำสั่งที่ใช้กับตัวส่งข้อมูล 1

```
esp_now_peer_info_t peerInfo;
memcpy(peerInfo.peer_addr, broadcastAddress, 6);
peerInfo.channel = 0;
peerInfo.encrypt = false;

if (esp_now_add_peer(&peerInfo) != ESP_OK){
    Serial.println("Failed to add peer");
    return;
}

void loop() {
    float Temp = dht.readTemperature();
    float Humidity = dht.readHumidity();
    myData.id = 1;
    myData.h1 = Humidity;
    myData.t1 = Temp;

    // ส่งค่าข้อมูลตัวแปร
    esp_err_t result = esp_now_send(broadcastAddress, (uint8_t *) &myData,
sizeof(myData));

    //สถานะการส่งข้อมูล สำเร็จ/ไม่สำเร็จ
    if (result == ESP_OK) {
        Serial.println("Sent with success");
    }
}
```

โค้ดคำสั่งที่ใช้กับตัวส่งข้อมูล 1

```

}
else {
  Serial.println("Error sending the data");
}
delay(10000);
}

```

ก.11 ตัวส่งข้อมูล 2

ตารางที่ ก.11 โค้ดคำสั่งที่ใช้กับตัวส่งข้อมูล 2

โค้ดคำสั่งที่ใช้กับตัวส่งข้อมูล 2

```

#include <esp_now.h>
#include <WiFi.h>
#include "DHT.h"
#define DHTPIN 25 //ขาสัญญาณที่เชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์
#define DHT2PIN 26
#define DHTTYPE DHT11 //ประเภทของเซ็นเซอร์
#define DHT2TYPE DHT11
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
DHT dht2(DHT2PIN, DHT2TYPE);

// ตั้งค่า MAC Address ของเครื่องที่จะรับข้อมูล

```

โค้ดคำสั่งที่ใช้กับตัวส่งข้อมูล 2

```
uint8_t broadcastAddress[] = {0xCC, 0x50, 0xE3, 0xAB, 0xCF, 0x80};

//สร้างชุดตัวแปรที่จะส่งข้อมูล
typedef struct struct_message {
    int id;
    float t1;
    float h1;
    float t2;
    float h2;
    float t3;
    float h3;
} struct_message;

// ตั้งชื่อชุดตัวแปรว่า myData
struct_message myData;

//สถานะการส่งข้อมูล สำเร็จ/ไม่สำเร็จ
void OnDataSent(const uint8_t *mac_addr, esp_now_send_status_t status) {
    Serial.print("\n\nLast Packet Send Status:\t");
    Serial.println(status == ESP_NOW_SEND_SUCCESS ? "Delivery Success" : "Delivery
Fail");
}

void setup() {
```


โค้ดคำสั่งที่ใช้กับตัวส่งข้อมูล 2

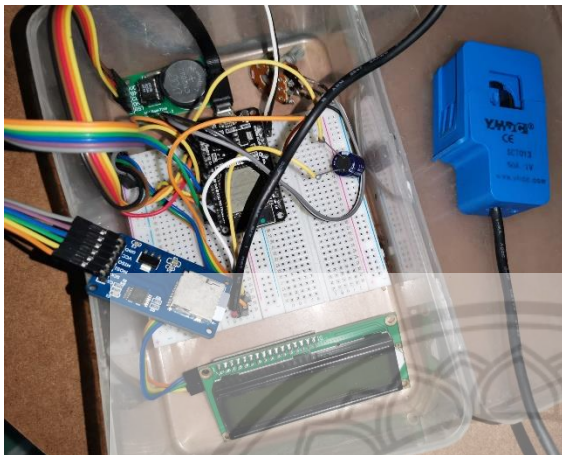
```
Serial.begin(115200);  
  
dht.begin();  
  
dht2.begin();  
  
//ตั้งค่าโหมดของWifi  
WiFi.mode(WIFI_STA);  
  
if (esp_now_init() != ESP_OK) {  
    Serial.println("Error initializing ESP-NOW");  
    return;  
}  
esp_now_register_send_cb(OnDataSent);  
  
esp_now_peer_info_t peerInfo;  
memcpy(peerInfo.peer_addr, broadcastAddress, 6);  
peerInfo.channel = 0;  
peerInfo.encrypt = false;  
  
if (esp_now_add_peer(&peerInfo) != ESP_OK){  
    Serial.println("Failed to add peer");  
    return;  
}  
}
```

โค้ดคำสั่งที่ใช้กับตัวส่งข้อมูล 2

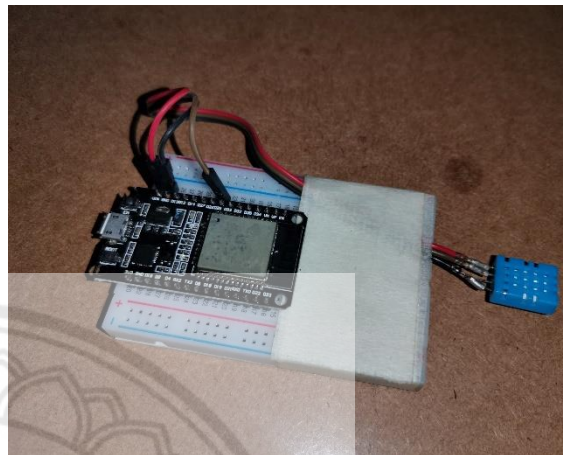
```
void loop() {  
    float Temp = dht.readTemperature();  
    float Humidity = dht.readHumidity();  
    float Temp2 = dht2.readTemperature();  
    float Humidity2 = dht2.readHumidity();  
    myData.id = 2;  
    myData.t2 = Temp;  
    myData.h2 = Humidity;  
    myData.t3 = Temp2;  
    myData.h3 = Humidity2;  
  
    // ส่งค่าข้อมูลตัวแปร  
    esp_err_t result = esp_now_send(broadcastAddress, (uint8_t *) &myData,  
sizeof(myData));  
    //สถานะการส่งข้อมูล สำเร็จ/ไม่สำเร็จ  
    if (result == ESP_OK) {  
        Serial.println("Sent with success");  
    }  
    else {  
        Serial.println("Error sending the data");  
    }  
    delay(10000);  
}
```



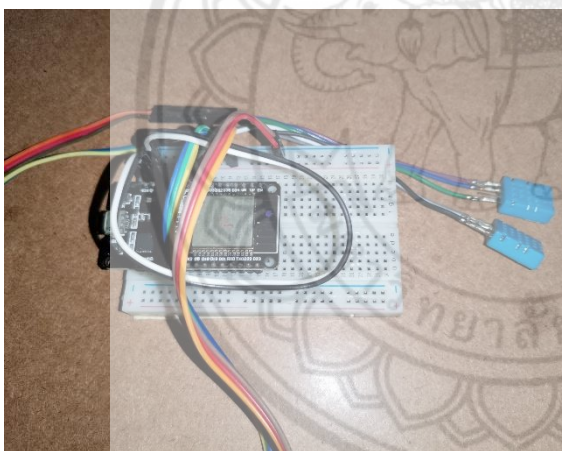
ภาคผนวก ข
รูปภาพที่เกี่ยวข้อง



รูปที่ ข. 1 ตัวรับข้อมูล



รูปที่ ข. 2 ตัวส่งข้อมูล 1



รูปที่ ข. 3 ตัวส่งข้อมูล 2



รูปที่ ข. 4 ตัววัดความเร็วลม



ค.1 ข้อมูลที่ได้จากการเก็บค่าการวัดในวันที่ 1 ช่วงเวลา 12.00น. ถึง 15.00น.

ตารางที่ ค.1 ข้อมูลจากการวัดค่าในวันที่ 1 ช่วงเวลา 12.00น. ถึง 15.00น.

Time	Outdoor Temp	Outdoor Humidity	Supply Temp	Supply Humidity	Return Temp	Return Humidity	Current	WATT
11:56:00	34.4	62	34.1	72	34.1	67	3.61	793.97
11:56:15	34.4	62	32.4	76	34.2	66	3.89	856.84
11:56:30	34.4	62	32.4	76	34.2	66	4.04	887.95
11:56:45	34.4	62	28.4	90	34	66	3.99	878.78
11:57:00	34.4	62	27.7	92	34	67	3.49	766.75
11:57:15	34.4	62	27.1	95	33.8	67	4.24	932.92
11:57:30	34.5	61	26.9	95	33.4	68	4.39	964.99
11:57:45	34.5	61	26.6	95	33.4	69	4.18	919.42
11:58:00	34.5	61	26.6	95	33.4	69	4.55	1000.93
11:58:15	34.4	61	26.6	95	33.4	69	4.03	887.08
11:58:30	34.5	62	25.1	95	32.9	65	3.93	863.83
11:58:45	34.4	62	24.6	95	32.8	65	3.81	837.71
11:59:00	34.5	61	24.4	95	32.7	65	4.22	927.34
11:59:15	34.5	61	24.4	95	32.7	65	4.05	891.97
11:59:30	34.5	61	24.1	95	32.5	65	4.94	1085.84
11:59:45	34.5	61	23.9	95	32.4	66	3.89	855.76
12:00:00	34.4	61	23.6	95	32.3	69	3.97	873.43
12:00:15	34.4	61	23.3	95	32.3	66	4.3	946.79
12:00:30	34.5	60	23.3	95	32.3	66	4.81	1059.07
12:00:45	34.6	61	22.9	95	32.3	68	4.35	955.98
12:01:00	34.6	60	22.8	95	32.1	65	4.56	1002.85
12:01:15	34.6	60	22.8	95	32.1	65	4.95	1088.35
12:01:31	34.6	60	22.9	95	32	65	4.72	1037.96

Time	Outdoor Temp	Outdoor Humidity	Supply Temp	Supply Humidity	Return Temp	Return Humidity	Current	WATT
15:09:51	36	47	14.3	91	29.3	43	5.74	1263
15:10:06	36.3	46	14.3	91	29.2	43	5.73	1261.23
15:10:21	36.3	46	14.3	91	29.2	43	5.13	1129.4
15:10:36	36.2	45	14.3	91	29.3	43	5.61	1233.42
15:10:51	36.1	45	14.3	91	29.4	43	6.21	1366.03
15:11:06	36.1	45	14.4	91	29.4	43	5.29	1164.84
15:11:21	36.1	45	14.4	91	29.4	43	5.78	1271.5
15:11:36	36	44	14.4	91	29.4	43	5.24	1152.79
15:11:51	36	44	14.4	91	29.4	43	5.35	1177.3
15:12:06	36	47	14.2	91	29.4	42	5.53	1217.08
15:12:21	36	47	14.1	91	29.3	42	5.15	1132.21
15:12:36	36	47	14.1	91	29.3	45	4.73	1040.52
15:12:51	36	47	14.1	91	29.3	45	5.97	1313.69
15:13:06	35.9	48	14.2	91	29.3	42	4.54	998.07
15:13:21	35.9	47	14.1	91	29.3	42	5.7	1254.19
15:13:36	35.9	47	14.1	91	29.3	42	5.19	1141.92
15:13:51	35.8	45	14.1	91	29.3	42	4.82	1060.99
15:14:06	35.8	47	14	91	29.3	42	5.15	1134.08
15:14:21	35.8	47	14	91	29.3	42	6.25	1374.99
15:14:36	35.7	45	14	91	29.3	45	5.09	1119.84
15:14:51	35.7	47	14	91	29.3	45	5.46	1200.49
15:15:06	35.6	47	14	91	29.3	42	5.12	1127.01
15:15:21	35.6	47	14	91	29.3	42	5.09	1118.81
15:15:36	35.6	47	14	91	29.4	41	5.39	1186.05
15:15:52	35.7	47	14	91	29.4	41	5.71	1256.09

ค.2 ข้อมูลที่ได้จากการเก็บค่าการวัดในวันที่ 1 ช่วงเวลา 21.00น. ถึง 0.00น.

ตารางที่ ค.2 ข้อมูลจากการวัดค่าในวันที่ 1 ช่วงเวลา 21.00น. ถึง 0.00น.

Time	Outdoor Temp	Outdoor Humidity	Supply Temp	Supply Humidity	Return Temp	Return Humidity	Current	WATT
20:58:09	0	0	34.2	73	34.2	63	0	0
20:58:24	0	0	34.2	73	34.2	63	0	0
20:58:39	33	65	34.1	73	34.1	63	2.58	568.44
20:58:54	33	65	34.1	73	34.1	63	3.68	808.9
20:59:09	33	64	31	78	34.2	62	4.25	934.82
20:59:24	33	65	28.6	83	34.2	65	4.01	881.61
20:59:39	33	64	26	93	34.2	63	3.79	832.91
20:59:54	33	64	25.6	95	34	63	4.1	902.42
21:00:09	33	64	25.2	95	33.9	63	3.9	858.7
21:00:24	33	65	24.2	95	33.7	67	3.78	831.65
21:00:39	33.1	64	23.3	95	33.3	65	4.49	987.56
21:00:54	33.1	64	23.3	95	33.3	65	4.54	998.17
21:01:09	33.1	64	22.5	95	33.1	65	4.39	965.31
21:01:24	33.1	64	22.5	95	33.1	65	4.13	908.55
21:01:39	33.1	65	22.4	95	32.8	64	4.24	931.75
21:01:54	33.1	65	22.2	95	32.7	65	4.1	902
21:02:09	33.2	64	22.2	95	32.7	65	4.58	1007.22
21:02:24	33.2	65	22.2	95	32.7	65	4.45	978.96
21:02:39	33.2	64	21.9	94	32.5	67	4.72	1038.9
21:02:54	33.2	64	21.7	94	32.5	64	4.83	1063.05
21:03:09	33.2	65	21.6	94	32.3	64	3.82	840.88
21:03:24	33.2	64	21.7	94	32.3	64	4.41	970.81
21:03:39	33.2	64	21.6	94	32.2	64	4.28	940.66

Time	Outdoor Temp	Outdoor Humidity	Supply Temp	Supply Humidity	Return Temp	Return Humidity	Current	WATT
00:06:04	31.8	66	21.1	94	29.5	60	3.73	820.59
00:06:19	31.8	66	19.8	93	29.2	60	3.95	868.46
00:06:34	31.9	66	19.7	93	29	63	4.08	897.01
00:06:49	31.8	67	19.5	93	29	60	4.08	898.58
00:07:04	32	66	19.3	93	29	60	4.04	889.06
00:07:19	32	65	19.3	93	29	60	0	0
00:07:34	32	65	21.2	94	28.8	59	0	0
00:07:49	32	64	21.2	94	28.8	59	0	0
00:08:04	32	64	23.6	95	28.9	59	0	0
00:08:19	32	65	24	95	28.8	59	0	0
00:08:35	32	65	24.7	95	29	60	0	0
00:08:50	31.8	64	24.9	95	29.1	60	0	0
00:09:05	31.8	64	24.9	95	29.1	60	0	0
00:09:20	31.9	66	24.9	95	29.1	60	0	0
00:09:35	31.9	66	25.4	95	29.3	60	0	0
00:09:50	31.9	66	25.5	95	29.4	60	0	0
00:10:05	31.9	66	25.7	95	29.5	60	0	0
00:10:20	31.8	66	25.7	95	29.5	64	4.34	955.5
00:10:35	31.8	66	25.7	95	29.5	64	4.4	968.67
00:10:50	31.8	65	25.7	95	29.5	64	3.93	863.58
00:11:05	31.8	65	21.9	94	29.5	60	4.36	959.88
00:11:20	31.8	65	21.9	94	29.5	60	4.36	959.14
00:11:35	31.8	65	20.9	93	29.4	60	4.36	958.21
00:11:50	31.8	65	20.9	93	29.4	60	4.55	1001.89

ค.3 ข้อมูลที่ได้จากการเก็บค่าการวัดในวันที่ 2 ช่วงเวลา 12.00น. ถึง 15.00น.

ตารางที่ ค.3 ข้อมูลจากการวัดค่าในวันที่ 2 ช่วงเวลา 12.00น. ถึง 15.00น.

Time	Outdoor Temp	Outdoor Humidity	Supply Temp	Supply Humidity	Return Temp	Return Humidity	Current	WATT
11:58:30	33.5	67	33.9	86	34.2	70	0	0
11:58:45	33.4	67	33.9	86	34.2	70	0	0
11:59:00	33.4	67	33.9	86	34.2	70	3.91	861.22
11:59:15	33.5	67	32.7	86	34.1	70	3.57	785.16
11:59:30	33.4	66	31.1	95	34	70	3.45	758.7
11:59:45	33.4	66	29.7	95	34	74	3.66	806.2
12:00:00	33.4	66	28.6	95	33.7	71	3.42	751.53
12:00:15	33.5	67	27.8	95	33.5	72	4.03	886.49
12:00:30	33.5	67	27.5	95	33.3	72	3.38	743.95
12:00:45	33.4	65	26.8	95	33.1	73	4.51	992.9
12:01:00	33.5	66	26.4	95	32.9	73	4.63	1017.81
12:01:15	33.3	66	26	95	32.8	73	3.74	823.78
12:01:30	33.3	65	25.6	95	32.6	73	3.8	835.07
12:01:45	33.2	65	25.5	95	32.5	73	3.81	838.07
12:02:00	33.2	65	25.5	95	32.5	73	4.7	1033.07
12:02:15	33.2	65	24.9	95	32.3	73	4.42	972.08
12:02:30	33.2	64	24.9	95	32.3	73	4.48	984.52
12:02:45	33.3	64	24.7	95	32.3	73	3.81	837.76
12:03:00	33.2	64	24.5	95	32.3	73	3.72	818.44
12:03:15	33.2	64	24	95	32.1	73	4.87	1072.31
12:03:30	33.2	64	24	95	32.1	73	5.04	1108.95
12:03:45	33.2	65	23.6	95	32.1	72	4.51	992.68
12:04:00	33.3	65	23.7	95	32.2	72	5.03	1106.75

Time	Outdoor Temp	Outdoor Humidity	Supply Temp	Supply Humidity	Return Temp	Return Humidity	Current	WATT
15:14:11	33.9	54	15.1	91	30.7	45	5.47	1204.27
15:14:26	34	52	14.9	91	30.3	45	5.45	1198.24
15:14:41	34	52	14.9	91	30.4	45	5.76	1268.18
15:14:56	34	52	14.9	91	30.4	45	5.21	1146.74
15:15:11	33.8	51	14.9	91	30.4	45	4.89	1075.83
15:15:26	33.7	51	14.6	91	29.9	46	5.62	1236.62
15:15:41	33.7	54	14.5	91	29.8	46	4.88	1073.08
15:15:56	33.7	49	14.4	91	29.7	47	5.55	1220.6
15:16:11	33.7	53	14.4	91	29.7	47	5.81	1277.67
15:16:26	33.7	53	14.4	91	29.7	47	5.64	1239.99
15:16:41	33.7	50	14.4	91	30.1	45	5.38	1184.22
15:16:56	33.6	50	14.4	91	30.1	45	6.04	1329.04
15:17:11	33.6	50	14.5	91	30.2	45	6.14	1350.52
15:18:56	33.3	52	14.4	91	29.8	45	5.01	1103.15
15:19:11	33.4	56	14.4	91	29.9	45	5.27	1159.22
15:19:26	33.5	57	14.3	91	30	45	5.17	1138.01
15:19:42	33.5	52	14.3	91	30	45	5.57	1225.19
15:19:57	33.5	52	14	91	29.7	44	5.11	1124.39
15:20:12	33.5	52	14	91	29.7	45	5.81	1278.82
15:20:27	33.6	52	13.9	91	29.6	45	5.29	1164.85
15:20:42	33.5	49	14	91	29.6	45	5.89	1295.98
15:20:57	33.4	52	14	91	29.6	45	4.48	984.71
15:21:12	33.5	53	14	91	29.5	45	5.98	1315.24
15:21:27	33.5	53	13.9	91	29.4	45	4.86	1069.88
15:21:42	33.5	53	13.9	91	29.4	45	0	0

ค.4 ข้อมูลที่ได้จากการเก็บค่าการวัดในวันที่ 2 ช่วงเวลา 21.00น. ถึง 00.00น.

ตารางที่ ค.4 ข้อมูลจากการวัดค่าในวันที่ 2 ช่วงเวลา 21.00น. ถึง 00.00น.

Time	Outdoor Temp	Outdoor Humidity	Supply Temp	Supply Humidity	Return Temp	Return Humidity	Current	WATT
20:51:33	33.1	70	33.2	82	33.2	66	0	0
20:51:48	33	71	33.2	83	33.3	67	2.59	569.47
20:52:03	33	71	33.2	83	33.3	67	4.16	915.22
20:52:18	33	71	33.2	83	33.3	67	3.27	718.74
20:52:33	33	71	29.3	95	33.3	66	3.99	877.36
20:52:48	33.1	71	26.5	95	33.2	67	4.06	893.63
20:53:03	33	71	25.9	95	33	67	3.07	675.91
20:53:18	33	71	25.4	95	32.8	67	4.03	886.75
20:53:33	33	71	25.4	95	32.8	67	4.42	972.4
20:53:48	33	71	23.9	95	32.5	67	4	879.28
20:54:03	33	71	23.6	95	32.4	68	4.69	1032.79
20:54:18	33	71	23.2	95	32.3	68	3.98	876.62
20:54:33	33	71	23.2	95	32.3	68	3.99	876.72
20:54:48	33	71	23.2	95	32.3	68	4.57	1005.34
20:55:03	33	71	22.3	95	31.8	68	4.26	936.4
20:55:18	33	71	22	95	31.6	68	4.72	1037.92
20:55:33	33	71	21.9	94	31.6	69	4.85	1066.91
20:55:48	33	70	21.9	94	31.6	69	4.22	928.24
20:56:03	33	70	21.9	94	31.6	69	4.26	938.01
20:56:18	33	71	21.2	94	31.3	68	4.17	917.78
20:56:33	33	71	21.1	94	31.3	68	4.48	984.94
20:56:48	33	70	20.9	93	31.1	68	4.09	900.46
20:57:03	33	70	20.9	93	31.1	68	4.15	912.47

Time	Outdoor Temp	Outdoor Humidity	Supply Temp	Supply Humidity	Return Temp	Return Humidity	Current	WATT
00:11:27	32.3	67	26.4	95	29.6	66	2.26	496.75
00:11:42	32.3	67	26.6	95	29.6	67	4.49	987.46
00:11:57	32.3	67	26	95	29.5	67	4.59	1009.09
00:12:12	32.3	67	24.1	95	29.7	66	4.09	898.71
00:12:27	32.3	67	23.4	95	29.6	66	3.99	877.68
00:12:42	32.3	67	22.1	95	29.6	66	4.8	1056.26
00:12:57	32.3	67	21.4	94	29.3	66	3.99	876.93
00:13:12	32.3	67	21.2	94	29.1	66	4.6	1010.96
00:13:27	32.3	67	21	94	29.1	66	3.81	838.87
00:13:42	32.3	67	20.8	93	29.2	66	3.84	843.98
00:13:57	32.3	67	20.5	93	29	66	5.24	1153.12
00:14:12	32.3	67	20.5	93	29	66	5.11	1124.69
00:14:27	32.3	67	19.9	93	28.8	65	3.87	850.83
00:14:42	32.3	67	19.9	93	28.7	65	0	0
00:14:57	32.3	67	21.5	94	28.7	65	0	0
00:15:12	32.3	67	21.5	94	28.7	65	0	0
00:15:27	32.3	67	24.2	95	28.8	65	0	0
00:15:42	32.3	67	24.6	95	28.7	66	0	0.02
00:15:57	32.3	67	24.6	95	28.7	66	0	0
00:16:12	32.3	67	25.5	95	29	67	0	0
00:16:27	32.3	67	25.6	95	29.1	67	0	0
00:16:42	32.3	67	25.6	95	29.1	66	0	0
00:16:57	32.3	67	25.6	95	29.3	67	0	0

ค.5 ข้อมูลที่ได้จากการเก็บค่าการวัดในวันที่ 3 ช่วงเวลา 12.00น. ถึง 15.00น.

ตารางที่ ค.5 ข้อมูลจากการวัดค่าในวันที่ 3 ช่วงเวลา 12.00น. ถึง 15.00น.

Time	Outdoor Temp	Outdoor Humidity	Supply Temp	Supply Humidity	Return Temp	Return Humidity	Current	WATT
11:56:56	34.9	56	35.7	89	36.3	68	0	0
11:57:12	34.9	56	35.7	89	36	68	3.2	704.69
11:57:27	34.8	54	35.7	89	36	68	3.85	846.62
11:57:42	34.8	54	33.9	95	36.1	68	2.98	656.28
11:57:57	34.8	54	32.4	95	35.8	68	3.47	762.76
11:58:12	34.8	53	30.7	95	35.5	69	3.7	814.98
11:58:27	34.8	53	29.9	95	35.1	70	3.79	833.58
11:58:42	34.8	54	29.6	95	35	70	3.24	712.86
11:58:57	34.8	55	29.6	95	35	70	3.87	850.36
11:59:12	34.8	56	29.6	95	35	70	4.71	1037.05
11:59:27	34.8	56	28.1	95	34.5	71	4.55	1000.27
11:59:42	34.8	56	28.1	95	34.4	72	4.5	989.91
11:59:57	34.8	56	28.3	95	34.4	71	4.82	1059.33
12:00:12	34.8	56	28.3	95	34.4	71	4.95	1089.03
12:00:27	34.8	55	27.2	95	34.2	72	5.01	1102.03
12:00:42	34.9	56	27.1	95	34.1	72	4.43	974.11
12:00:57	34.9	56	26.9	95	33.9	76	3.78	831.19
12:01:12	35	54	26.6	95	33.9	72	4.86	1069.14
12:01:27	35	55	26.6	95	33.9	72	4.33	952.05
12:01:42	35.1	54	26.5	95	33.8	72	4.88	1074.56
12:01:57	35.1	54	26.4	95	33.7	72	5.37	1180.71
12:02:12	35.1	54	26.1	95	33.6	72	5.52	1214.68
12:02:27	35.1	54	25.6	95	33.6	72	5.14	1131.65

Time	Outdoor Temp	Outdoor Humidity	Supply Temp	Supply Humidity	Return Temp	Return Humidity	Current	WATT
15:21:37	35	46	13.3	91	29.3	40	7.8	1717.09
15:21:52	35	45	13.3	91	29.2	40	7.77	1710.2
15:22:08	35	45	13.3	91	29.2	40	8.36	1840.16
15:22:23	34.9	46	13.2	91	29.1	40	7.65	1683.47
15:22:38	34.9	47	13.2	91	29.1	40	8.47	1862.43
15:22:53	34.9	48	13.3	91	29.3	40	8.69	1910.76
15:23:08	34.9	45	13.3	91	29.3	40	8.47	1862.39
15:23:23	35	42	13.4	91	29.4	40	8.61	1893.59
15:23:38	35	42	13.4	91	29.3	40	7.22	1589.07
15:23:53	34.8	43	13.4	91	29.2	40	7.16	1574.37
15:24:08	34.8	43	13.3	91	29.1	43	7.11	1563.52
15:24:23	35	44	13.3	91	29.1	43	8.2	1805.04
15:24:38	35	42	13.3	91	29.1	43	6.83	1502.07
15:24:53	35	41	13.2	91	29.1	40	6.39	1405.75
15:25:08	34.8	43	13.1	91	29.1	43	7.77	1709.32
15:25:23	35	44	13.1	91	29.1	43	7.63	1677.65
15:25:38	35	44	13.3	91	29.7	39	6.81	1499.2
15:25:53	35	44	13.4	91	30.1	38	8.3	1825.99
15:26:08	35	44	13.5	91	30	38	8.48	1865.44
15:26:24	34.9	41	13.5	91	30	38	8.06	1774.25
15:26:39	34.9	41	13.5	91	29.7	38	7.52	1653.65
15:27:39	34.9	42	13.4	91	29.2	40	8.77	1930.48
15:27:54	35	44	13.4	91	29.2	40	6.52	1434.55

ค.6 ข้อมูลที่ได้จากการเก็บค่าการวัดในวันที่ 3 ช่วงเวลา 21.00น. ถึง 00.00น.

ตารางที่ ค.6 ข้อมูลจากการวัดค่าในวันที่ 3 ช่วงเวลา 21.00น. ถึง 00.00น.

Time	Outdoor Temp	Outdoor Humidity	Supply Temp	Supply Humidity	Return Temp	Return Humidity	Current	WATT
20:52:24	33.5	64	33.1	87	33.3	69	0	0
20:52:39	33.4	64	33.2	87	33.3	69	0	0
20:52:54	33.2	64	33.1	87	33.4	70	0	0
20:53:09	33.2	64	33.1	87	33.4	70	3.42	751.81
20:53:24	32.7	65	33	85	33.4	72	3.16	695.99
20:53:39	32.7	65	28.1	95	33.3	70	2.88	633.96
20:53:54	32.5	65	27.1	95	33.2	70	3.49	768.88
20:54:09	32.4	66	25.7	95	32.9	69	3.78	832.22
20:54:24	32.2	66	25.7	95	32.9	69	4.3	947.08
20:54:39	32.2	66	24.6	95	32.5	70	4.44	976.54
20:54:54	32.1	66	24.4	95	32.5	71	3.5	770.6
20:55:09	32	67	23.9	95	32.2	71	3.68	809.66
20:55:24	32	67	23.4	95	32	72	4.45	979.75
20:55:39	31.9	67	23.2	95	32	72	3.78	832.25
20:55:54	31.8	67	22.9	95	31.6	72	4.28	941.36
20:56:09	31.8	67	22.8	95	31.5	72	4.51	992.64
20:56:24	31.7	68	22.8	95	31.5	72	4.06	894.25
20:56:39	31.7	68	22.8	95	31.5	72	3.76	826.45
20:56:54	31.7	68	22.5	95	31.3	72	4.04	888.51
20:57:09	31.7	68	22.1	95	31.3	73	3.77	829.77
20:57:24	31.7	68	21.9	94	31.2	72	4.59	1009.54
20:57:39	31.7	68	21.5	94	31.1	72	4.23	930.05
20:57:54	31.8	68	21.5	94	31.1	72	3.95	870.09

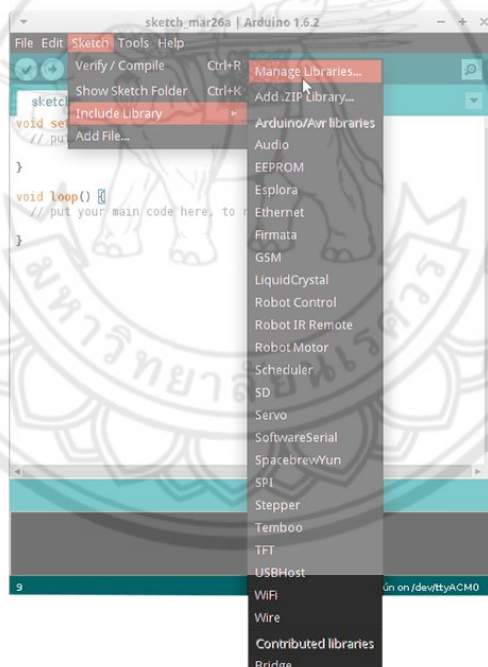
Time	Outdoor Temp	Outdoor Humidity	Supply Temp	Supply Humidity	Return Temp	Return Humidity	Current	WATT
00:12:24	30.5	75	27.3	95	29.4	75	0	0
00:12:39	30.5	75	27.4	95	29.5	75	0	0
00:12:54	30.4	75	27.4	95	29.5	75	0	0
00:13:09	30.4	75	27.6	95	29.5	74	0	0
00:13:24	30.4	76	27.6	95	29.5	74	0	0
00:13:39	30.3	76	27.8	95	29.6	74	0	0
00:13:54	30.5	75	27.9	95	29.6	74	0	0
00:14:09	30.4	75	27.8	95	29.6	74	0	0
00:14:24	30.4	75	28	95	29.6	74	0	0
00:14:39	30.4	75	28	95	29.6	74	0	0
00:14:54	30.4	75	28.1	95	29.7	74	4.05	892.05
00:15:09	30.4	75	26.6	95	29.7	74	3.58	787.24
00:15:24	30.5	75	25.9	95	29.7	74	3.6	792.82
00:15:39	30.5	75	24.4	95	29.6	74	4.19	920.93
00:15:54	30.5	75	24.4	95	29.6	74	3.58	787.57
00:16:09	30.5	75	23.9	95	29.3	74	4.36	958.7
00:16:24	30.5	75	23.9	95	29.3	74	3.42	752.32
00:16:39	30.5	74	22	95	29	75	0	0
00:16:54	30.5	75	22.7	95	28.9	74	0	0
00:17:09	30.5	75	24.7	95	28.8	74	0	0
00:17:24	30.5	75	24.7	95	28.8	74	0	0
00:17:39	30.5	75	26.3	95	29.1	75	0	0
00:17:54	30.5	74	26.3	95	29.1	75	0	0
00:18:09	30.5	74	26.3	95	29.1	75	0	0



การติดตั้ง Blynk library มีทั้งหมด 3 วิธี มีดังนี้

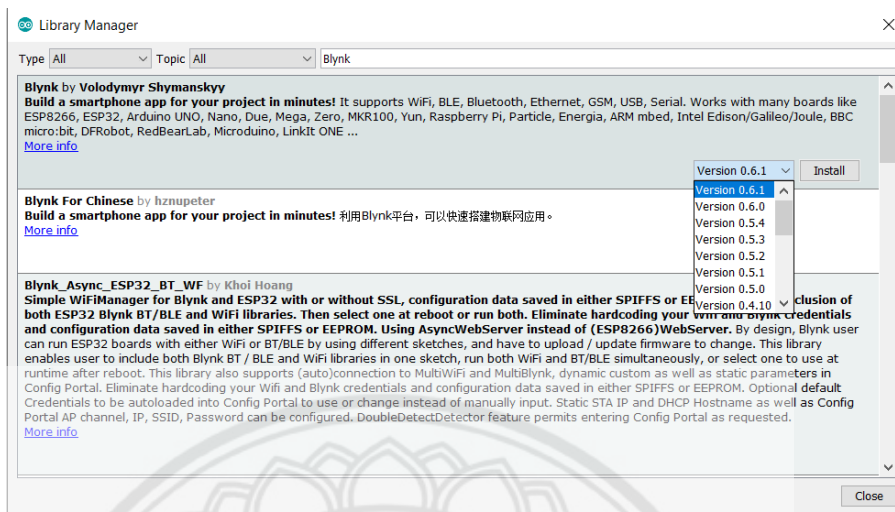
4. การใช้ตัวจัดการ Library ในตัวของ Arduino IDE
 5. ติดตั้ง Blynk Library เป็นไฟล์ ZIP ใน Arduino IDE
 6. ติดตั้ง Blynk Library ด้วยตนเอง
1. การใช้ตัวจัดการ Library ในตัวของ Arduino IDE

ในการติดตั้งจะใช้ Library ใหม่ใน Arduino IDE จะใช้ Library Manager (Arduino IDE ต้องเวอร์ชัน 1.6.2 ขึ้นไป) เริ่มจากเปิด Arduino IDE เลือก Sketch ไปที่ Include Library แล้วเลือก Manage Libraries แสดงดังรูป ง. 1



รูปที่ ง. 1 หน้าต่าง Arduino IDE

จากนั้น Library Manager จะเปิดขึ้นและแสดง Library ที่ติดตั้งแล้วหรือพร้อมสำหรับการติดตั้ง ค้นหา Blynk เลือกเวอร์ชันล่าสุดแล้วกดติดตั้ง ดังแสดงในรูป ง. 2

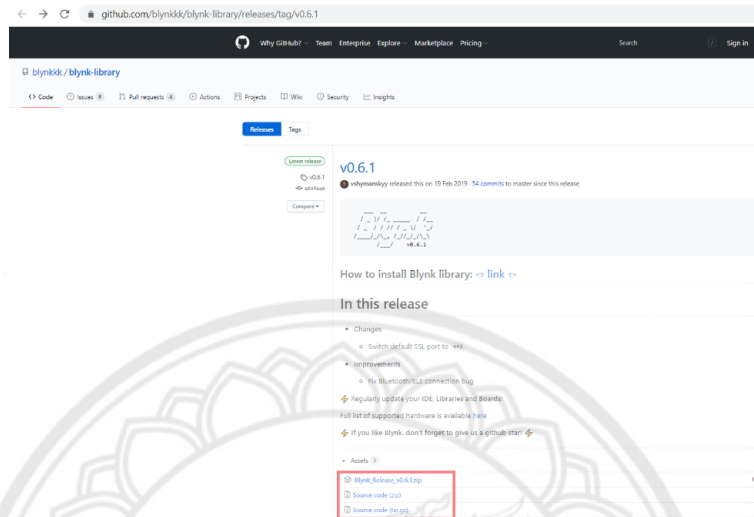


รูปที่ ง. 2 หน้าต่าง Library Manager

รอให้ Arduino IDE ติดตั้ง Library ใหม่ เวลาในการดาวน์โหลดขึ้นอยู่กับความเร็วในการเชื่อมต่อเมื่อเสร็จแล้วแท็กที่ติดตั้งจะปรากฏใน Library ถัดจาก Bridge

2. ติดตั้ง Blynk Library เป็นไฟล์ ZIP ใน Arduino IDE

Blynk Library สามารถดาวน์โหลดได้ในรูปแบบไฟล์ ZIP ได้จากเว็บไซต์ github [27] แสดงดังรูป ง. 3 (Arduino IDE จะต้องมีเวอร์ชัน 1.0.5 ขึ้นไป)



รูปที่ ง. 3 เว็บไซต์ github สำหรับดาวน์โหลดไฟล์

หลังจากดาวน์โหลดเสร็จสิ้นห้ามทำการแตกไฟล์ในส่วนการติดตั้งเริ่มที่ เปิด Arduino IDE เลือก Sketch ไปที่ Include Library เลือก Add .ZIP Library เลือกไฟล์ ZIP ที่ดาวน์โหลดมา หลังจากเสร็จสิ้น ทำการเลือก Sketch ไปที่ Include Library จะพบ Blynk Library ปรากฏอยู่

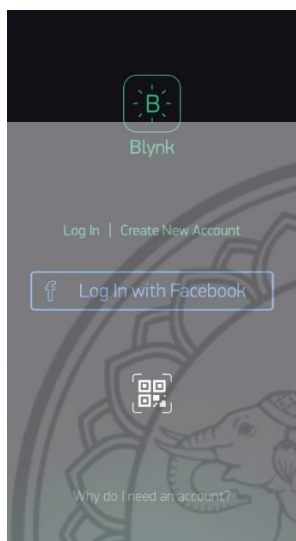
3. ติดตั้ง Blynk Library ด้วยตนเอง

ดาวน์โหลดไฟล์ Blynk_Release_vXX.zip จากเว็บไซต์ github จากนั้นแตกไฟล์ Blynk_Release_vXX.zip คัดลอกไฟล์ทั้งหมดไปไว้ที่โฟลเดอร์ของ Arduino IDE

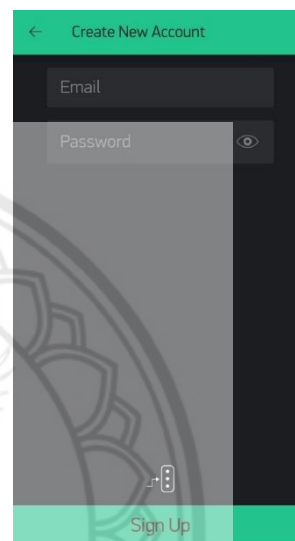
**หมายเหตุ libraries ควรนำไปไว้ที่ libraries และ tools ควรนำไปไว้ที่ tools หากไม่มีโฟลเดอร์ libraries หรือ tools สามารถสร้างขึ้นใหม่ได้

การสร้าง Account ในแอปพลิเคชัน Blynk

เลือก Create New Account ดังรูปที่ ง. 4 แล้วกรอก E-mail และ Password จากนั้นเลือก Sign up ดังรูปที่ ง. 5

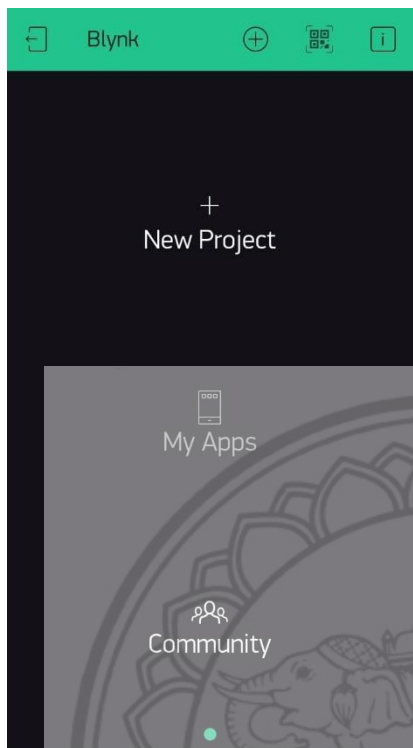


รูปที่ ง. 4 หน้าเริ่มต้นของแอปพลิเคชัน Blynk

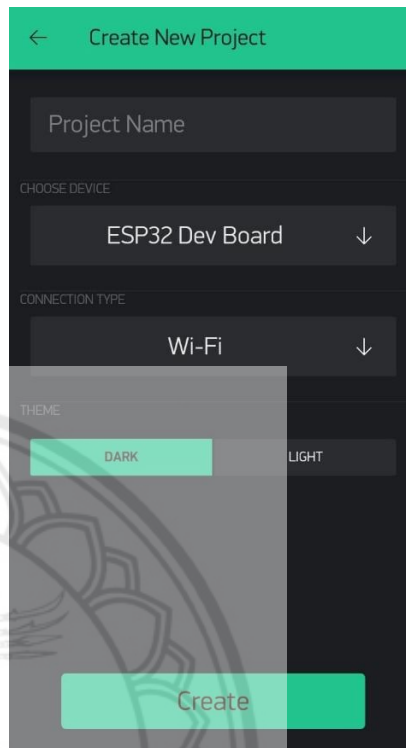


รูปที่ ง. 5 การสร้าง Account ใหม่ในแอปพลิเคชัน Blynk

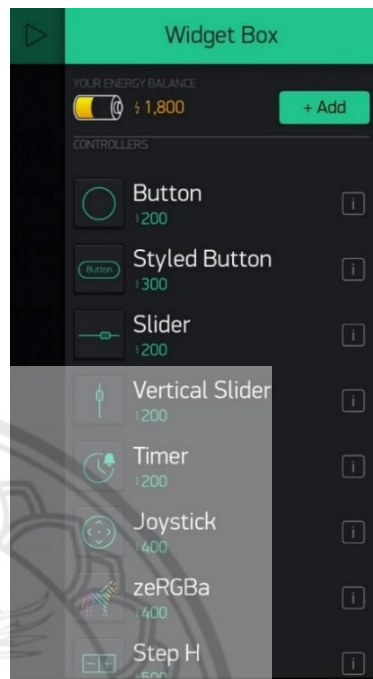
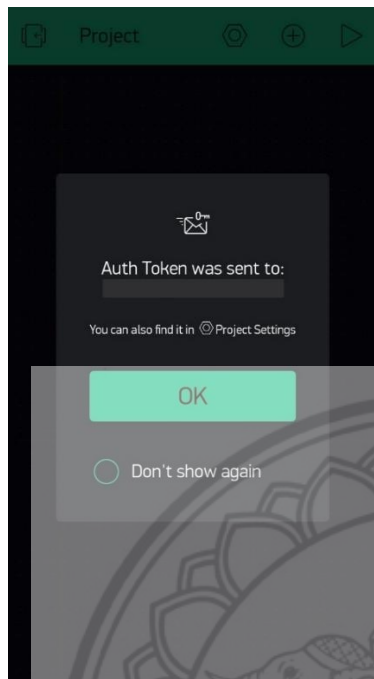
เมื่อเสร็จสิ้นการสมัคร Account แล้วขั้นตอนต่อไปจะเป็นการสร้าง Project เลือกที่ New Project ทำการใส่ชื่อโปรเจค เลือกบอร์ดที่ใช้ จากนั้นเลือกเส้นทางการเชื่อมต่อ ใน Blynk สามารถเลือก Theme ของแอปฯ ได้ 2 แบบ คือ Dark และ Light เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการข้างต้นเลือก Create จากนั้นแอปฯ จะส่ง Token ไปที่ E-mail ดังรูป ง. 8



รูปที่ ง. 6 การสร้างโปรเจคใหม่ใหม่ใน
แอปพลิเคชัน Blynk



รูปที่ ง. 7 การตั้งค่าการสร้างโปรเจคใหม่ใน
แอปพลิเคชัน Blynk



รูปที่ ง. 8 แอปพลิเคชัน Blynk แจ้งเตือนการส่ง Token ไปยัง Email

รูปที่ ง. 9 ตัวอย่าง widget ในแอปพลิเคชัน Blynk