


โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ
SMART SOLAR DRYING



ณัฐสิทธิ์ บุญบุญวงศ์
วุฒินันท์ เครืออินทร์
ศุภณัฐ สารีวาท

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม


คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SMART SOLAR DRYING

The seal of King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang is a circular emblem. It features a central sunburst with a crown on top, flanked by two traditional Thai stupas. Below the sunburst is a large, ornate Thai umbrella. The entire emblem is surrounded by a circular border containing the Thai text "สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง".

NUTTASIT BOONYAWONG
WUTTINUN KHRUEAIN
SUPANUT SARIWART

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
SCHOOL OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LARDKRABANG
ACADEMIC YEAR 2023

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2566
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ
Smart Solar Drying
นักศึกษาผู้จัดทำ นายณัฐสิทธิ์ บุญดวงศ์ รหัสนักศึกษา 64015043
นายวุฒินันท์ เครืออินทร์ รหัสนักศึกษา 64015133
นายศุภณัฐ สาริวิาท รหัสนักศึกษา 64015141
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม
ปีการศึกษา 2566

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร. สิริชัย ธรรมารักษ์วัฒน์	

หัวข้อปริญญาานิพนธ์	โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ	
	Smart Solar Drying	
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายณัฐสิทธิ์ บุญดวงศ์	รหัสนักศึกษา 64015043
	นายวุฒินันท์ เครืออินทร์	รหัสนักศึกษา 64015133
	นายศุภณัฐ สาริวิาท	รหัสนักศึกษา 64015141
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. สิริชัย ธรรมารักษ์วัฒนะ	
สาขาวิชา	วิศวกรรมการวัดคุม	
ปีการศึกษา	2566	

บทคัดย่อ

โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์เป็นโรงอบแห้งที่ใช้พลังงานทางเลือกคือพลังงานแสงอาทิตย์ โดยลักษณะโรงอบจะใช้หลักการของพาราโบลาโระโดม ซึ่งนิยมนำมาใช้ในธุรกิจ SME กันอย่างแพร่หลาย เช่น การอบแห้งเพื่อทำปลาตากแห้งเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกรบ่อปลา ดังนั้นปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบ และสร้างโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ รวมทั้งพัฒนาระบบของโรงอบแห้งให้มีความอัจฉริยะโดยแสดงผลและควบคุมผ่านระบบ IoT ทำให้ใช้งานได้สะดวกและช่วยเพิ่มรายได้ให้แก่ธุรกิจ SME ทั้งขนาดเล็ก กลางและใหญ่ ซึ่งจะใช้ออร์ดควบคุม ESP32 เป็นตัวควบคุมและสั่งการภายในระบบในโรงอบแห้ง โรงอบแห้งนี้จะมีระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น โดยมีเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและวัดความชื้นเป็นตัวควบคุมภายในระบบ อีกทั้งยังมีระบบ IoT ที่สามารถดูออนไลน์ผ่าน smart phone ของผู้ใช้งาน

Thesis Title	Smart Solar Drying
Authors	Mr. Nuttasit Boonyawong Mr. Wuttinun Khruelain Mr. Supanut Sariwart
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Sirichai Tammaruckwattana
Year	2023

ABSTRACT

A solar drying plant is a drying plant that uses alternative energy, namely solar energy. The oven's characteristics use the principle of a parabolic dome. Which is widely used in SME businesses, such as drying to make dried fish to increase income for fishpond farmers. Therefore, the purpose of this dissertation is to design and build a solar energy drying plant. Including developing the drying system to be intelligent by displaying and controlling via the IoT system, making it convenient to use and helping increase income for small, medium and large SME businesses, which will use the ESP32 control board as an internal control and command. System in the drying plant the drying plant will have a temperature and humidity control system. There are temperature and humidity sensors as controls within the system. There is also an IoT system that can be viewed online through the user's smart phone.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงด้วยดีเพราะคำแนะนำจากท่านอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.สิริชัย ธรรมารักษ์วัฒน์ และคณาจารย์ทุกท่านของภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมที่ช่วยแนะนำ จัดหาและสั่งสอนใน เนื้อหาวิชาการรวมถึงสิ่งสำคัญอันเป็นประโยชน์ต่อการจัดทำ ปริญญานิพนธ์ในครั้งนี้ อีกทั้งยังเอื้อเพื่อต่อ อนุกรรมที่จำเป็นต่อโครงการมากมายผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

ขอขอบคุณ มานะฟาร์ม ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการจัดทำโครงการนี้ ตลอดจนให้คำปรึกษา สำหรับจัดทำโครงการเสร็จสิ้นไปด้วยดี

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ นักศึกษาวิศวกรรมการวัดคุมที่คอยช่วยเหลือและต่างก็ให้กำลังใจในระหว่างการทำโครงการที่อาจพบเรื่องผิดพลาดและไม่สามารถไขได้ด้วยตนเองด้วยตนเอง อีกทั้งยัง ให้ยืมอุปกรณ์ที่ช่วยในการทำโครงการผ่านพ้นไปด้วยดี

และที่ลืมไม่ได้เสีย ทางคณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ช่วยสนับสนุนและเป็นแรงบันดาลใจในการทำปริญญานิพนธ์ จนประสบผลสำเร็จเช่นนี้ได้ คุณค่าและคุณประโยชน์จากการทำปริญญานิพนธ์ในครั้งนี้ ผู้จัดทำขอขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่านที่มีส่วนช่วยในโครงการชิ้นนี้ประสบผลความสำเร็จ

ณัฐสิทธิ์ บุญญวงค์

วุฒินันท์ เครืออินทร์

ศุภณัฐ สาริวิาท

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญของปริญญาโท.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของปริญญาโท	1
1.3 ขอบเขตของปริญญาโท	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.5 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
1.6 รายละเอียดของปริญญาโท	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ทฤษฎีการอบแห้ง	4
2.1.1 ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่.....	4
2.1.2 ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง.....	5
2.2 ปัจจัยที่มีต่อผลการอบแห้ง.....	5
2.3 การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์.....	6
2.3.1 การอบแห้งระบบแบบรับแสงอาทิตย์โดยตรง(Passive)	6
2.3.2 การอบแห้งระบบแบบทางอ้อม (Active)	7
2.3.3 การอบแห้งระบบแบบผสม (Hybrid).....	7
2.4 หลักการทำงานของระบบอบแห้งแบบเรือนกระจก	8
2.5 หลักการอบแห้ง	8
2.5.1 อากาศแห้ง	11
2.5.2 อากาศชื้น	11
2.6 ความชื้น.....	12

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.7 ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ มีโครงสร้างแบบเรือนกระจก (Greenhouse).....	12
2.8 ภาวะเรือนกระจก.....	13
2.9 โซลาร์เซลล์ (Solar Cell)	13
2.9.1 โซลาร์เซลล์ มีหลักการทำงานอย่างไร.....	13
2.9.2 ลักษณะการใช้งานของโซลาร์เซลล์	13
2.9.3 ประโยชน์ของโซลาร์เซลล์	14
2.9.4 ส่วนประกอบของโซลาร์เซลล์	15
2.9.5 โซลาร์เซลล์ มีกี่ระบบ ใช้งานแตกต่างกันอย่างไร?.....	17
2.10 โซลาร์ชาร์จ คอนโทรลเลอร์ (Solar Charge Controller).....	19
2.11 แบตเตอรี่ (Battery)	20
2.11.1 แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด (Lead Acid Battery).....	20
2.11.2 แบตเตอรี่ Deep cycle	21
2.11.3 SOC (State of charge)	24
2.11.4 Depth of discharge (DOD)	24
2.12 บอร์ดควบคุมESP32	25
2.12.1 การเปรียบเทียบ ESP8266 และ ESP32.....	26
2.13 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ.....	27
2.13.1 การเปรียบเทียบ XY-MD02 และ DHT22.....	28
2.14 Modbus Protocol.....	29
2.15 มอเตอร์ไฟฟ้า	30
2.15.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	31
2.15.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ	32
2.16 โปรแกรม Arduino IDE.....	32
2.17 โปรแกรม Blynk.....	33
2.18 การสอบเทียบเครื่องมือวัด (Calibration).....	33
บทที่ 3 การออกแบบและการทำงาน	38
3.1 การออกแบบโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะและการทำงานของระบบ.....	38
3.1.1 การออกแบบโรงเรือนพลังงานอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์.....	38

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.1.2 การออกแบบระบบควบคุม.....	39
3.1.3 ขั้นตอนการทำงานของระบบควบคุม.....	40
3.2 วิธีดำเนินงาน.....	41
3.3 การสร้างโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ.....	42
3.3.1 การสร้างโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์.....	42
3.3.2 ฐานยึดแผงโซลาร์เซลล์.....	46
3.4 ระบบ Solar Cell.....	50
3.5 ระบบควบคุมโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ.....	52
3.6 การแสดงผลในแอปพลิเคชัน Blynk.....	54
3.7 การสอบเทียบ.....	55
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	59
4.1 กล่าวนำ.....	59
4.2 ผลการจัดทำโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์.....	59
4.3 ผลการจัดทำตู้ระบบควบคุม.....	60
4.4 การแสดงผลในแอปพลิเคชัน Blynk IOT.....	61
4.5 การทดลองอบแห้งปลา.....	62
4.6 การจัดเก็บข้อมูลใน Google Sheet.....	63
4.7 การทดลองการทำงานของโหมดการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น.....	64
4.7.1 การทดลองขณะไม่เปิดทำงานควบคุมค่าอุณหภูมิและความชื้น.....	64
4.7.2 การทดลองขณะเปิดการควบคุมค่าอุณหภูมิและความชื้น.....	65
4.8 ผลการทดลองการตากปลาภายนอกและภายในโรงอบแห้ง.....	66
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	67
5.1 กล่าวนำ.....	67
5.2 ปัญหาที่พบขณะทำการทดลอง.....	67
5.3 วิธีแก้ปัญหา.....	68
5.4 ข้อจำกัดในการใช้งาน.....	68

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
5.5 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม.....	68
บรรณานุกรม.....	69
ภาคผนวก ก คู่มือขั้นตอนการใช้งานตู้ควบคุม Solar Cell และระบบควบคุมอุณหภูมิความชื้นในโรง อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์.....	71
ภาคผนวก ข รายการราคาค่าใช้จ่ายทั้งหมดในโครงการโรงอบแห้งอัจฉริยะ	76
ภาคผนวก ค Datasheet.....	79
ประวัติผู้เขียน.....	130

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่าง Battery Gel กับ Battery LiFePO4.....	24
2.2 คุณสมบัติของบอร์ดESP32 Wrover-IE.....	26
2.3 คุณสมบัติของบอร์ดESP32 Wrover-IE.....	27
2.4 คุณสมบัติของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ XY-MD02	28
2.5 คุณสมบัติของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ DHT22.....	29
3.1 ค่าเฉลี่ยการสอบเทียบเซนเซอร์.....	57
3.2 ค่าความผิดพลาดการสอบเทียบเซนเซอร์.....	57
3.3 ค่าความไม่แน่นอนการสอบเทียบเซนเซอร์.....	58
4.1 น้ำหนักการอบแห้งปลา.....	63
4.2 น้ำหนักที่หายไปหลังการอบแห้งปลา	64



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ระบบอบแห้งแบบรับพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรง	6
2.2 ระบบอบแห้งแบบแบบทางอ้อม	7
2.3 ระบบอบแห้งแบบแบบผสม	7
2.4 ลักษณะของระบบแห้งแบบเรือนกระจก.....	8
2.5 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ความชื้นและเวลาในการอบแห้ง (Drying curve).....	8
2.6 กราฟการอบแห้ง (Drying curve)	9
2.7 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะของอากาศแห้ง อากาศชื้น และอากาศอึมตัว	11
2.8 แผงโซลาร์เซลล์	15
2.9 แผงโซลาร์เซลล์แบบโมโนคริสตัลไลน์ (Monocrystalline Silicon Solar Cells).....	15
2.10 แผงโซลาร์เซลล์แบบโพลีคริสตัลไลน์ (Polycrystalline Silicon Solar Cells)	16
2.11 แผงโซลาร์เซลล์แบบแผงโซลาร์เซลล์ชนิดฟิล์มบาง (Thin Film Solar Cells).....	17
2.12 ระบบออนกริด On Grid.....	18
2.13 ระบบออฟกริด Off-Grid	18
2.14 ระบบไฮบริด Hybrid	19
2.15 รูปและสัญลักษณ์ทางไฟฟ้าเซลล์แบตเตอรี่	20
2.16 Battery GEL 12V 100Ah	22
2.17 Battery AGM 12V 100Ah.....	23
2.18 สถานะชาร์จและเปอร์เซ็นต์ของการคายประจุ	24
2.19 บอร์ด ESP32 Wrover-IE.....	26
2.20 บอร์ด ESP8266	27
2.21 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ XY-MD02.....	28
2.22 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ DHT22	29
2.23 แสดงการสื่อสารระหว่าง Master กับ Slave	30
2.24 โปรแกรม Arduino IDE Version 1.8.19	33
2.25 การเชื่อมต่อของESP32ผ่านคลาวด์ไปยังโทรศัพท์มือถือ	33
2.26 ความสามารถในการสอบเทียบ	34
2.27 เครื่องมือมาตรฐาน (STD) สามารถตั้งค่า และ เครื่องมือภายใต้การสอบเทียบ (UUC).....	34
2.28 เครื่องมือมาตรฐาน (STD) เป็นตัวอ่านค่า และ เครื่องมือภายใต้การสอบเทียบ (UUC).....	35
2.29 เครื่องมือมาตรฐาน (STD)และเครื่องมือภายใต้การสอบเทียบ (UUC).....	35

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.30 การพิจารณาเลือกใช้เครื่องมือวัดมาใช้งาน.....	36
3.1 โครงสร้างด้านหน้า(ออกแบบ).....	38
3.2 โครงสร้างด้านหลัง(ออกแบบ).....	39
3.3 โครงสร้างด้านหลัง(ออกแบบ).....	39
3.4 การออกแบบระบบควบคุม.....	40
3.5 Flow chart แสดงวิธีการทำงานของระบบควบคุม.....	40
3.6 Flow chart แสดงวิธีดำเนินงาน.....	41
3.7 Flow chart แสดงวิธีดำเนินงาน(ต่อ).....	42
3.8 สำรวจพื้นที่.....	42
3.9 เริ่มทำการวัดพื้นที่เพื่อหาจุดติดตั้ง.....	43
3.10 โครงสร้างในการสร้างโรงอบแห้ง.....	43
3.11 ดัดส่วนโค้งของโรงอบแห้ง.....	43
3.12 เริ่มทำการสร้างโครงสร้างโรงอบแห้ง.....	44
3.13 ติดตั้งโพลีคาร์บอเนต.....	44
3.14 หลังติดตั้งโพลีคาร์บอเนต.....	44
3.15 ติดตั้งประตูภายในโรงอบแห้ง.....	45
3.16 เจาะช่องเพื่อติดตั้งพัดลม.....	45
3.17 ติดตั้งท่อเดินสายไฟสำหรับระบบควบคุม.....	45
3.19 ด้านหน้าฐานโซล่าเซลล์.....	46
3.20 ด้านข้างฐานโซล่าเซลล์.....	47
3.21 ตัดเหล็กเพื่อทำฐานโซล่าเซลล์.....	48
3.22 ทำการเชื่อมโครงสร้างฐาน.....	48
3.23 วัดขนาดหามุมติดตั้งโซล่าเซลล์.....	48
3.24 ติดตั้งแผงโซล่าเซลล์กับฐาน.....	49
3.25 ติดตั้งตู้ระบบควบคุม.....	49
3.26 ติดตั้งตู้ระบบกำลังไฟฟ้า.....	49
3.27 ภายในชุดระบบ Solar cell.....	50
3.28 ภายนอกชุดระบบ Solar cell.....	51
3.29 ภายในชุดควบคุมระบบ.....	52

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.30 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงอบแห้ง.....	53
3.31 แอปพลิเคชัน Blynk.....	54
3.32 จุดที่ 1 แลป Control Valve.....	55
3.33 จุดที่ 2 ด้านหน้าภาค.....	56
3.34 จุดที่ 3 ด้านข้างภาค.....	56
3.35 จุดที่ 4 ด้านข้างภาค.....	56
3.36 จุดที่ 5 ห้องปิ้งปอง.....	57
3.37 จุดที่ 6 ดาดฟ้าภาค.....	57
4.1 ด้านหน้าโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์.....	59
4.2 ด้านข้างโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์.....	59
4.3 ด้านหลังโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์.....	60
4.4 ตู้ระบบควบคุมและระบบคอนโทรล.....	60
4.5 กล่องสำหรับเก็บแบตเตอรี่.....	61
4.6 แอปพลิเคชัน Blynk.....	61
4.7 ตารางเก็บข้อมูล google sheet วันที่ 24/10/2023.....	62
4.8 กราฟแสดงอุณหภูมิและความชื้น ดึงค่ามาจากรายข้อมูลจากรูปที่ 4.7.....	62
4.9 การทดลองอบแห้งภายในโรงเรือนอบแห้ง.....	63
4.10 การทดลองอบแห้งภายนอกโรงเรือนอบแห้ง.....	63
4.11 ข้อมูลการจัดเก็บค่าอุณหภูมิภายในและภายนอกโรงอบแห้ง.....	63
4.12 กราฟค่าอุณหภูมิภายในโรงอบแห้งในการทดลองขณะไม่เปิดทำงาน.....	64
4.13 กราฟค่าความชื้นภายในโรงอบแห้งในการทดลองขณะไม่เปิดทำงาน.....	64
4.14 กราฟค่าอุณหภูมิภายในโรงอบแห้งในการทดลองขณะเปิดการควบคุม.....	65
4.15 กราฟค่าความชื้นภายในโรงอบแห้งในการทดลองขณะเปิดการควบคุม.....	65

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์

ในปัจจุบันกระบวนการตากอบแห้งจำเป็นต้องมีการควบคุมค่าอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงอบแห้งอากาศภายใน โรงอบแห้งเพื่อให้อาหารมีประสิทธิภาพที่ดี ในการอบแห้งอาหารเพื่อไม่ให้เสียคุณค่าทางอาหารและควบคุมได้สะดวก โดยในการอบแห้งของโรงเรือนจะมีระบบที่มีการใช้พลังงานจากแสงแดดในการอบและใช้แสงเพื่อเปลี่ยนจากพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้า และสร้างโรงอบแห้งเพื่อใช้สำหรับตากแห้งที่ปกป้องกันฝุ่นละอองเพื่อไม่ให้ปนเปื้อนกับผลิตภัณฑ์อาหาร และมีระบบสำหรับในการดูแล แบบระยะไกลซึ่งช่วยเพิ่มความสะดวกสบายของผู้ใช้งาน

ดังนั้น โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะเป็นโรงที่เอาไว้สำหรับการอบแห้งอาหาร ถนอมอาหาร และสามารถเป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับสร้างผลิตภัณฑ์ที่มาจากพืชและสัตว์ เช่น เนื้อ ปลา ผลไม้ อื่น ๆ โดยในโรงอบแห้งจะมีระบบที่ทำหน้าควบคุมจัดการอุณหภูมิและความชื้นเพื่อไม่ให้เสียคุณค่าทางอาหาร การยืดอายุอาหาร และปลอดภัยจากสารเคมีในกระบวนการตากอบแห้งจากพลังงานแสงอาทิตย์โดยจะไม่ใช้พลังงานจากไฟฟ้าบ้าน จะใช้แค่พลังงานแสงอาทิตย์

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ เพื่อสร้างโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะและศึกษาระบบ Solar cell system สำหรับพลังงานทดแทน ศึกษาและทดลองการตากปลาภายในและภายนอกโรงอบแห้ง และศึกษาพฤติกรรมการระเหยความชื้นของน้ำที่อยู่ในผลิตภัณฑ์ปลาที่นำมาตากแห้ง

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีขอบเขตของโครงการ เพื่อสามารถใช้พลังงานทดแทนจากแสงอาทิตย์เท่านั้นโดยไม่ใช้แหล่งจ่ายไฟจากที่อื่น ในการออกแบบระบบจะต้องสามารถจัดการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ได้ และมีการใช้ระบบ Internet of Things ผ่านสมาร์ตโฟนได้ โดยการทำงานควบคุมต้องทำได้อัตโนมัติ และการสร้างโรงเรือนอบแห้งขนาดอยู่ที่ 6 x 8.2 เมตร

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ หวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะได้รับประโยชน์จาก เรื่องระบบสามารถความ คุมความชื้นและอุณหภูมิในการอบแห้งได้มีประสิทธิภาพ โดยสามารถใช้งานโรงอบแห้งได้โดยใช้ พลังงานที่ได้จากแสงอาทิตย์ทำการแปลงจากพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าหรือเรียกว่าระบบ Solar Cell แทนไฟบ้าน

การสร้างโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จะเป็นรายได้เสริมสำหรับเกษตรกรและประหยัด ค่าใช้จ่ายโดยการลงทุนเพียงครั้งเดียวซึ่งสามารถลดต้นทุนในการผลิตในระยะยาว ซึ่งการมีโรงอบแห้ง สามารถท่นเวลาในการตากแห้งให้น้อยลงเมื่อเทียบกับการตากแห้งตามธรรมชาติ เพราะในโรงอบแห้ง มีความร้อนมากกว่าและมีพัดลมช่วยดูดความชื้นออกจากโรงอบแห้ง โดยผลผลิตที่ได้จะสะอาด ไม่มี ฝุ่น คิว้น แมลงวัน ปลอดภัยจากเชื้อโรคต่าง ๆ เพราะโรงอบแห้งเป็นระบบปิด เมื่อเกิดฝนตกจะไม่ทำ ให้ผลผลิตเสียหาย ไม่ต้องรีบวิ่งเก็บเมื่อฝนตกทำให้ใช้แรงงานคนน้อย และอายุการใช้งานโรงอบแห้งที่ ยาวนานเป็น 10 ปี

1.5 ขั้นตอนการศึกษา

ขั้นตอนการศึกษาปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เริ่มจากศึกษาค้นคว้าวิจัย ข้อมูลเกี่ยวกับการจัดทำ โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ศึกษาค้นคว้าวิจัย ข้อมูลเกี่ยวกับการเขียนโปรแกรมควบคุมระบบ จากนั้นส่งข้อเสนอ/นำเสนอโครงการ เมื่อได้รับการอนุมัติจากที่ปรึกษาโครงการจัดทำโครงการและ สร้างระบบควบคุม สรุปลผลและแก้ไข นำเสนอโครงการ

1.6 รายละเอียดของปริญญาานิพนธ์

ในปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ได้จัดแบ่งเนื้อหาทั้งหมด 5 บท และ ภาคผนวก 2 ภาค โดยจะมี เนื้อหานำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นดังต่อไปนี้

บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึง ความสำคัญของปริญญาานิพนธ์ ความมุ่งหมายและ วัตถุประสงค์ ขอบเขต ประโยชน์ ขั้นตอนการศึกษา และ รายละเอียดของปริญญาานิพนธ์เล่มนี้

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง กล่าวถึง ทฤษฎีการอบแห้ง ปัจจัยการอบแห้ง การ อบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ หลักการทำงานของระบบอบแห้งเรือนกระจก หลักการอบแห้ง อากาศแห้ง อากาศชื้น ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ มีโครงสร้างแบบเรือนกระจก ภาวะเรือน กระจก และข้อมูลเกี่ยวกับอุปกรณ์ที่จำเป็นในการจัดทำโครงการ เช่น โซล่าเซลล์ แบตเตอรี่ บอร์ด ควบคุม เซนเซอร์ การสื่อสาร โปรแกรม ในการเขียนโปรแกรม และ แอปพลิเคชันIoT เทคนิคการสอบ เทียบอุปกรณ์ เป็นต้น

บทที่ 3 การออกแบบและการทำงาน กล่าวถึง การออกแบบโรงเรือนอบแห้งพลังงาน แสงอาทิตย์ การออกแบบระบบควบคุม ขั้นตอนการทำงานของระบบ วิธีดำเนินการ เช่น การสร้าง

โรงเรียน ฐานยึดแผงโซลาร์เซลล์ ระบบควบคุม การแสดงผล ในแอปพลิเคชัน และการสอบเทียบตัวอุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความชื้น เป็นต้น

บทที่ 4 ผลการทดลอง กล่าวถึง การสรุปผลการทดลอง จากบทที่ 3 ในแต่ละเรื่อง ดังนี้ ผลการจัดโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ ผลการจัดทำตู้ระบบควบคุม การแสดงผลในแอปพลิเคชัน การทดลองอบแห้งผลิตภัณฑ์ปลา ผลการทดลอง

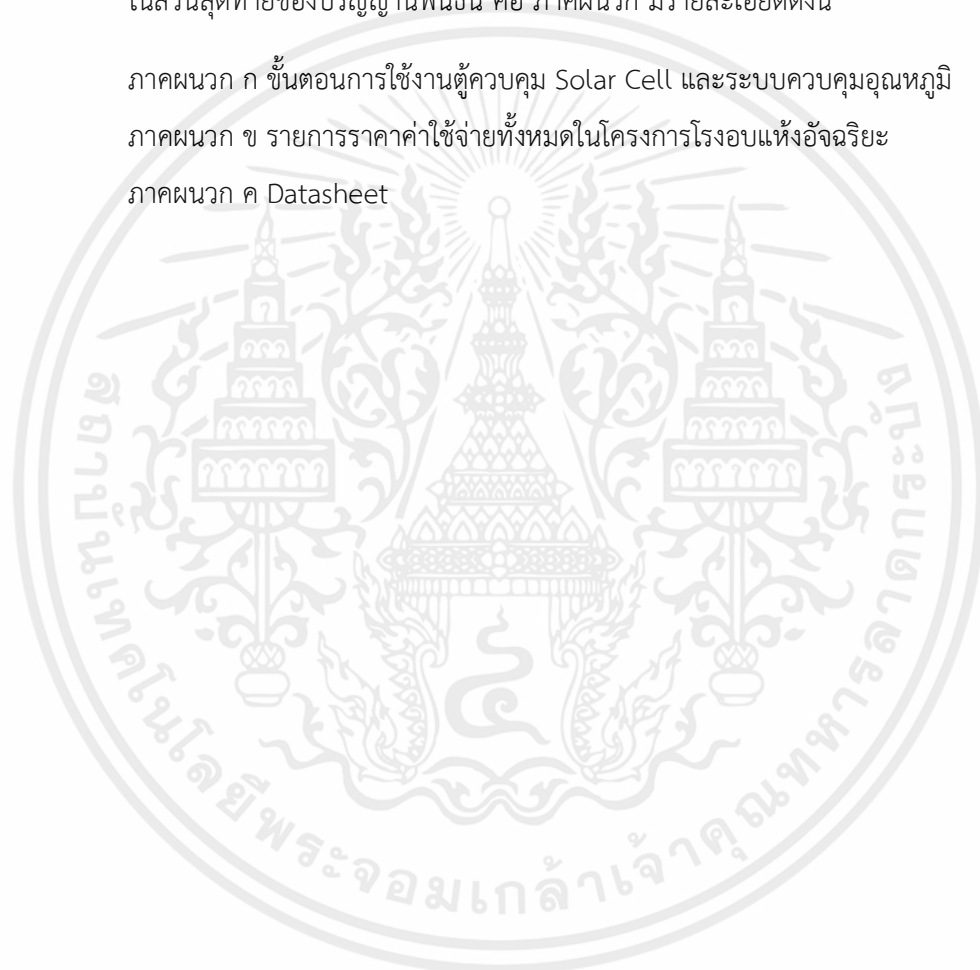
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง กล่าวถึง ผลการทดสอบ ปัญหาที่พบเจอ วิธีแก้ไขปัญหา ข้อจำกัดของโครงการ และ ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมสำหรับผู้ที่ต้องการจะพัฒนาต่อ

ในส่วนสุดท้ายของปฏิญญาพนธ์นี้ คือ ภาคผนวก มีรายละเอียดดังนี้

ภาคผนวก ก ขั้นตอนการใช้งานตู้ควบคุม Solar Cell และระบบควบคุมอุณหภูมิ

ภาคผนวก ข รายการราคาค่าใช้จ่ายทั้งหมดในโครงการโรงอบแห้งอัจฉริยะ

ภาคผนวก ค Datasheet



บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีการอบแห้ง

การอบแห้ง คือ กระบวนการลดความชื้นซึ่งจะมีการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลสารที่เกิดขึ้นพร้อม ๆ กับ ความร้อนที่ทำให้ไอน้ำระเหยออกจากวัสดุส่วนมาก การระเหยจะได้รับมาจาก ความร้อนภายในอากาศ และการถ่ายเทความร้อนจะมีทั้งการนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อนแต่โดยทั่วไปและจะเป็น การถ่ายเทความร้อนและพาความร้อนเป็นหลัก ซึ่งในการอบแห้งอาศัยอากาศร้อนภายในอากาศ อบแห้งความร้อนจะถ่ายเทความชื้นจากอากาศร้อนไปยังวัสดุ ซึ่งความร้อนส่วนใหญ่จะนำไปใช้ในการระเหยน้ำ โดยน้ำหรือของเหลวที่อยู่ในภายในวัสดุ จะเคลื่อนที่ ออกมายังผิวของวัสดุ(Capillary Flow) ซึ่งเป็นผลมาจากแรงตึงผิว(Surface Force) ส่วนไอน้ำในวัสดุ จะเคลื่อนที่ เนื่องจากความแตกต่างความเข้มข้นของความชื้น(Vapor Diffusion) และความดันไอน้ำ (Partial Vapor of Pressure) ที่ความแตกต่างระหว่างไอน้ำในวัสดุกับอากาศร้อนถ้าวัสดุมีน้ำอยู่จำนวนมาก การลดลงของไอน้ำที่คงที่ ส่งผลให้อัตราการอบแห้งคงที่ และเมื่อปริมาณน้ำที่ผิวของวัสดุ ลดลงมาก อุณหภูมิและความเข้มข้นไอน้ำที่ผิวย่อมเปลี่ยนไป

สรุปได้คือ ถ้าอุณหภูมิของวัสดุเพิ่มขึ้น ทำให้ความเข้มข้นของวัสดุของไอน้ำลดลง ส่งผลให้อัตราการอบแห้งลดลงตามไปด้วย ค่าความชื้นที่อยู่ระหว่างอัตราการอบแห้งคงที่และอัตราการอบแห้งที่ลดลงเรียกว่า ความชื้นวิกฤต และอัตราการอบแห้งจะลดลงตลอดเวลาของการอบแห้ง จนถึงค่าความดันไอของของเหลวในวัสดุมีค่าไม่แตกต่างกับความดันไอของอากาศแวดล้อมในการอบแห้ง ความชื้นนี้ เรียกว่าความชื้นสมดุล เป็นจุดที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือการถ่ายเท ความชื้น อัตรานี้ สามารถแบ่งได้ 2 ช่วง ดังนี้

2.1.1 ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่

การถ่ายเทความร้อนและมวล จะเกิดขึ้นที่ผิวนอกของวัสดุเท่านั้น น้ำจะ เกาะอยู่ที่ผิวของวัสดุเป็นจำนวนมาก เมื่อเพิ่มความเร็วลมที่ไหลผ่านวัสดุจะทำให้ฟิล์มอากาศนี้มีความหนา ลดลง เป็นผลให้ความต้านทานต่อการไหลของความร้อนและมวลลดลงด้วย เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของอากาศอบแห้ง จะทำให้ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างที่ผิววัสดุและของกระแสอากาศที่ไหลอย่างอิสระมีมากขึ้น เป็นผล ให้การถ่ายเทความร้อนและมวลดีขึ้น

2.1.2 ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง

การถ่ายเทความร้อนและมวลจะไม่จำกัดอยู่เฉพาะที่ผิวนอกของวัสดุ เท่านั้น แต่จะเกิดขึ้นภายในผิวและเนื้อวัสดุด้วย เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของอากาศอบแห้งจะทำให้ความแตกต่างของอุณหภูมิมีมากขึ้น นอกจากนี้ยังมีผลให้สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย เมื่อลดค่าความชื้นสัมพัทธ์ ของอากาศอบแห้งจะเป็นผลให้เกิดความแตกต่างระหว่างอัตราส่วนความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ หรือลดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแล้วเป็นผลให้การถ่ายเทความร้อนและมวลดีขึ้น เมื่อเพิ่มความเร็วจะพบว่า ความหนาของฟิล์มอากาศนี้มีค่าลดลง เป็นผลให้ความต้านทานลดลงเนื่องจากความต้านทานที่ฟิล์มอากาศมี คำน้อยเมื่อเทียบกับความต้านทานตัวอื่น ดังนั้นจึงไม่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนและมวล

2.2 ปัจจัยที่มีต่อผลการอบแห้ง

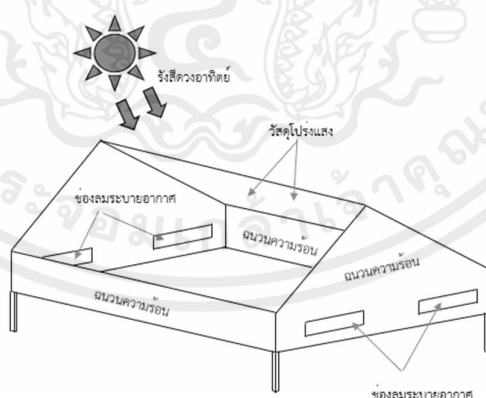
- 1) ธรรมชาติของวัสดุวัสดุเนื้อโปร่งมีการเคลื่อนของน้ำภายในวัสดุแบบผ่านแคบ ซึ่งเร็วกว่าการแพร่ ในวัสดุเนื้อแน่น ดังนั้นอาหารเนื้อโปร่งจึงแห้งเร็วกว่าวัสดุที่มีเนื้อแน่น วัสดุที่มีน้ำตาลสูงจะมีความเหนียวกืดขวาง การเคลื่อนที่ของน้ำจึงแห้งช้า ส่วนวัสดุที่มีการลวกนวดคลึง ทำให้เซลล์แตกจึงแห้งเร็วกว่า
- 2) ขนาดและภาพประกอบร่าง ขนาดและภาพประกอบร่างมีผลต่อพื้นที่ผิวต่อน้ำหนัก เช่น ภาพประกอบร่างเหมือนกันขนาดเล็กจะมีพื้นที่ต่อน้ำหนักมากกว่าขนาดใหญ่จึงแห้งเร็วกว่า แต่ทั้งนี้ต้อง คำนึงถึงพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับอากาศที่เคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปได้ถ้าชิ้นเล็กมากที่บวมกันการระเหยเกิดได้เฉพาะ พื้นที่ผิวที่สัมผัสกับอากาศจึงเกิดได้ช้าทั้ง ๆ ที่พื้นที่ต่อหน่วยน้ำหนักมาก
- 3) ตำแหน่งของอาหารในเตา น้ำในวัสดุที่สัมผัสกับลมร้อนได้ดีกว่า หรือสัมผัสกับลมร้อนที่มีความชื้นต่ำจะระเหยได้ดีกว่า
- 4) ความสามารถในการรับไอน้ำของอากาศร้อน อากาศร้อนที่มีไอน้ำอยู่มากแล้วจะรับไอน้ำได้น้อยมี ผลในช่วงอัตราการทำอบแห้งคงที่
- 5) อุณหภูมิของอากาศร้อน ถ้าอากาศมีความชื้นคงที่การเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มความสามารถในการ รับไอน้ำ จึงมีผลต่ออัตราการทำแห้งคงที่และอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้การแพร่กระจายของน้ำดีขึ้น จึงมีผลต่อช่วง การทำแห้งลดลงด้วย
- 6) ความเร็วของลมร้อน ลมร้อนทำหน้าที่ในการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปด้วย เมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้น จึงเคลื่อนย้ายได้ดีขึ้น

2.3 การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์

การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์เป็นการอบแห้งผลิตภัณฑ์โดยใช้ความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อระเหยน้ำจากผลิตภัณฑ์โดยทั่วไปจะอาศัยการพาความร้อน (Convective heat transfer) การอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบพาความร้อนสามารถแบ่งได้ 2 แบบ คือ แบบการไหลตามธรรมชาติ (Natural convection circulation) ซึ่งอาศัยแรงลอยตัวเนื่องจากการพาความร้อน และการไหลแบบบังคับ อากาศ (Forced convection circulation) ซึ่งอาศัยแรงดันจากพัดลมในการพาความร้อนไปยังผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ยังอาจแบ่งชนิดของการอบแห้งตามวิธีการรับรังสีโดยสามารถแบ่งได้ 3 แบบ ดังนี้

2.3.1 การอบแห้งระบบแบบรับแสงอาทิตย์โดยตรง (Passive)

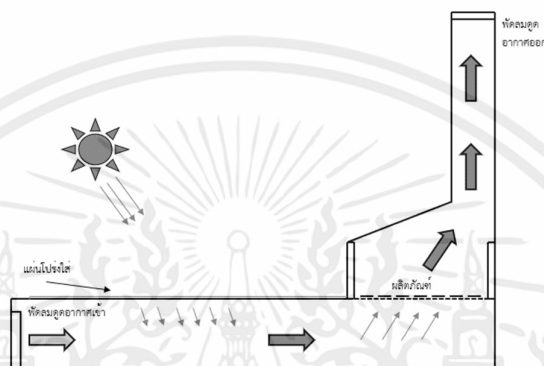
คือ ระบบที่เครื่องอบแห้งทำงานโดยอาศัยพลังงานแสงอาทิตย์และ กระแสลมที่พัดผ่านได้แก่ เครื่องตากแห้งโดยธรรมชาติ เป็นการวางวัสดุไว้ที่กลางแจ้งโดยอาศัยความร้อนที่ได้จากพลังงานแสงอาทิตย์ และกระแสลมในบรรยากาศในการระเหยความชื้นออกจากวัสดุในตู้ อบแห้ง จากแสงอาทิตย์โดยตรงวัสดุที่ใช้อบจะอยู่ในเครื่องอบแห้งที่ประกอบด้วยวัสดุที่โปร่งใส ความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งได้มาจากการดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ และอาศัยหลักการขยายตัวอากาศร้อนภายในเครื่องอบแห้งทำให้เกิดการหมุนเวียนของอากาศเพื่อสะสมความร้อนและเพื่อช่วยถ่ายเทอากาศชื้น ตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสม เครื่องอบแห้งชนิดนี้วัสดุที่อยู่ภายในจะได้รับความร้อน 2 ทางคือทางตรงจากดวงอาทิตย์และทางอ้อมจากแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ทำให้อากาศร้อนก่อนที่จะผ่านวัสดุอบแห้ง



รูปที่ 2.1 ระบบอบแห้งแบบรับพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรง

2.3.2 การอบแห้งระบบแบบทางอ้อม (Active)

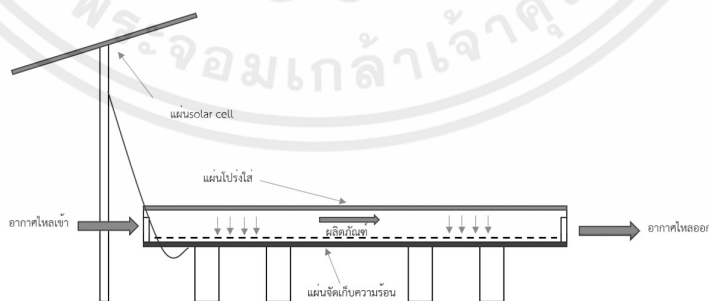
คือ ระบบอบแห้งที่มีเครื่องช่วยให้อากาศไหลเวียนในทิศทางที่ต้องการ เช่น จะมีพัดลมติดตั้งในระบบเพื่อบังคับให้มีการไหลของอากาศผ่านระบบพัดลมจะดูดอากาศจากภายนอกให้ไหลผ่านแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อรับความร้อนจากแผงรับพลังงานแสงอาทิตย์ อากาศร้อนที่ไหลผ่านพัดลม และห้องอบแห้งจะมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าความชื้นของพืชผลจึงพาความชื้นจากพืชผลออกสู่ภายนอกได้เร็ว ทำให้พืชผลที่อบไว้แห้งได้



รูปที่ 2.2 ระบบอบแห้งแบบทางอ้อม

2.3.3 การอบแห้งระบบแบบผสม (Hybrid)

คือ ระบบอบแห้งที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์และยังต้องอาศัยพลังงาน ในรูปแบบอื่นๆ เช่น พลังงานไฟฟ้า ช่วยในเวลาที่ไม่สามารถผลิตพลังงานได้หรือต้องการให้ผลิตผลทางการเกษตรแห้งเร็วขึ้น เช่น ใช้ร่วมกับพลังงานเชื้อเพลิงจากชีวมวล พลังงานไฟฟ้า วัสดุอบแห้งจะได้รับความร้อนจากอากาศร้อน ที่ผ่านเข้าแผงรับรังสีพลังงานแสงอาทิตย์ และการหมุนเวียนของอากาศจะอาศัยพัดลมหรือเครื่องดูดอากาศช่วยเพื่อระบายความชื้นออกไป



รูปที่ 2.3 ระบบอบแห้งแบบผสม

2.4 หลักการทำงานของระบบอบแห้งแบบเรือนกระจก

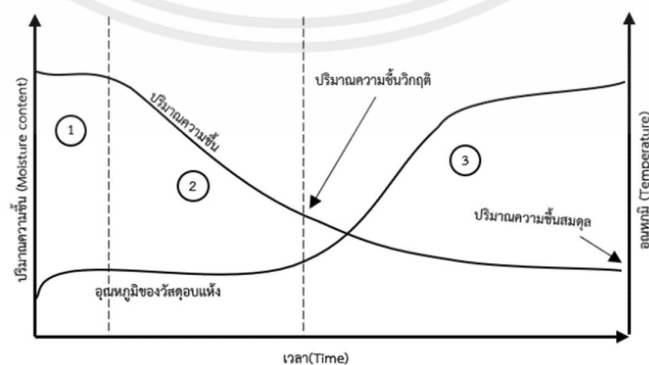
เมื่อมีรังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบบนระบบอบแห้งจะส่งผ่านแผ่นโพลีคาร์บอเนตไปยังผลิตภัณฑ์บางส่วน จะตกกระทบบนพื้นของระบบอบแห้ง ทำภายในห้องมีอุณหภูมิสูงขึ้น และแผ่รังสีอินฟราเรดออกมา เนื่องจากรังสีอินฟราเรดเป็นรังสีคลื่นยาว ซึ่งส่วนมากไม่สามารถผ่านแผ่นโพลีคาร์บอเนตออกไปภายนอกได้จึงเก็บกักอยู่ ภายในโรงอบแห้ง อุณหภูมิภายในของโรงอบแห้งจึงสูงขึ้น และทำให้น้ำในผลิตภัณฑ์ระเหยออกมาและถูกพัดลม ดูดอากาศด้านหลังของระบบอบแห้งดูดออกไปภายนอก อากาศแวดล้อมจะไหลผ่านช่องระบายอากาศทางด้าน หน้าเข้ามา ความชื้นของผลิตภัณฑ์จึงค่อย ๆ ลดลง เนื่องจากผลิตภัณฑ์ได้รับพลังงานทั้งจากรังสีดวงอาทิตย์ตก กระทบบนโดยตรง และจากอากาศภายในห้องอบแห้ง ดังนั้นจึงทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งเร็วกว่าการตากแดดโดยวิธี ธรรมชาตินอกจากนี้ ผลิตภัณฑ์ยังไม่ถูกรบกวนจากพวก นก หนูแมลงต่าง ๆ และการปนเปื้อนจากสิ่งสกปรก ต่าง ๆ



รูปที่ 2.4 ลักษณะของระบบแห้งแบบเรือนกระจก

2.5 หลักการอบแห้ง

การอบแห้งเป็นกระบวนการถ่ายเทความร้อนโดยใช้อากาศเป็นตัวกลางในการอบแห้ง การถ่ายเทปริมาณความร้อนส่วนใหญ่เป็นการพาความร้อนระหว่างอากาศและความชื้นที่ผิวของวัตถุดิบอบแห้ง โดยจะใช้ความร้อน ในการทำให้เกิดระเหยน้ำออกจากผิววัตถุ ซึ่งเมื่อวัดค่าปริมาณความชื้น (Moisture content, M_c) และอุณหภูมิของวัสดุที่อบแห้งกับเวลา จะได้กราฟของกระบวนการอบแห้ง (Drying curve) ที่สามารถแบ่งได้ 3 ช่วง



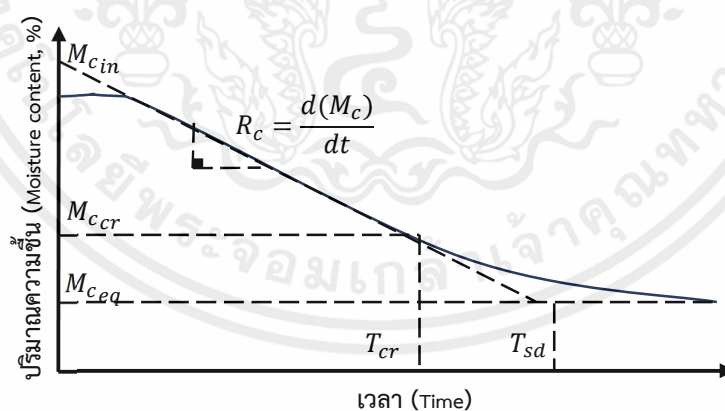
รูปที่ 2.5 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ความชื้นและเวลาในการอบแห้ง (Drying curve)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การอบแห้งในช่วงแรก (1) คือ ช่วงแรกให้ความร้อนเบื้องต้น(Preheat period) เป็นช่วงเริ่มให้ความร้อนแก่วัสดุเปียก เพื่อให้อุณหภูมิวัสดุและน้ำในวัสดุเพิ่มอุณหภูมิขึ้นจนถึงอุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet bulb temperature) ของลมร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง

การอบแห้งในช่วงที่ (2) คือ ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (Constant drying rate period) เป็นช่วงที่ต้องการให้อุณหภูมิภายในวัสดุและผิวของวัสดุคงที่ เท่ากับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของลมร้อนตลอดช่วงการอบแห้ง การถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศกับวัสดุจะเกิดขึ้นที่บริเวณผิววัสดุเท่านั้น และปริมาณความชื้นจะลดลงด้วยอัตราคงที่ เมื่อเทียบกับเวลา ส่งผลให้อัตราการอบแห้งคงที่ตามไปด้วย จนกระทั่งถึงจุดหนึ่งที่อัตราการอบแห้งเปลี่ยนแปลงจากคงที่เป็นลดลง ซึ่ง ณ จุดนี้เรียกว่าค่าปริมาณความชื้นวิกฤติ (Critical moisture content) ซึ่งค่า นี้จะขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพของวัสดุ เช่น ขนาด รูปร่าง และสิ่งแวดล้อมในการอบแห้ง เป็นต้น

การอบแห้งในช่วงที่ (3) คือ ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (Falling drying rate period) ความชื้นของน้ำที่ผิวของวัสดุจะระเหยหมดไป เพราะการถ่ายเทความชื้นของน้ำจากภายในวัสดุเกิดขึ้นไม่ทัน การระเหยของน้ำออกจากผิวของวัสดุ ดังนั้นวัสดุจะอยู่ในสภาพแห้งและอุณหภูมิผิวสูงขึ้น และทำให้อัตราการอบแห้งลดลง เมื่อทำการอบแห้ง วัสดุโดยใช้สภาวะอากาศคงที่ อุณหภูมิของวัสดุจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกของลมร้อน และเท่ากับ อุณหภูมิของลมร้อนที่ใช้ในการอบแห้งในที่สุด ส่วนความชื้นของวัสดุจะลดลงต่ำ จนกระทั่งความชื้นในวัสดุ มีค่าความดันไอเท่ากับ ความดันไอของอากาศที่อยู่รอบ ๆ และเรียกค่าความชื้นดังกล่าวว่า ความชื้นสมดุล (Equivalent moisture content) ระยะเวลาการอบแห้งสามารถหาได้จากข้อมูลการทดสอบกราฟการอบแห้ง (Drying curve)



รูปที่ 2.6 กราฟการอบแห้ง (Drying curve)

จากรูปที่ 2.6 ค่าต่าง ๆ ที่ได้จากรูปการอบแห้งมีดังต่อไปนี้

$$M_c = \frac{M_w}{M_d} \times 100 \quad (2.1)$$

$$R_c = \frac{d(M_c)}{dt} \quad (2.2)$$

$$T_{sd} = \frac{M_{c,in} - M_{c,eq}}{R_c} \quad (2.3)$$

$$T_{cr} = \frac{M_{c,in} - M_{c,cr}}{r_c} \quad (2.4)$$

เมื่อ	M_w	มวลของความชื้นในวัสดุ(กิโลกรัมน้ำ)
	M_d	มวลของวัสดุแห้งที่ความชื้นร้อยละ 0 (กิโลกรัมแห้งวัสดุ)
	R_c	อัตราการอบแห้ง (กิโลกรัมน้ำต่อกิโลกรัมวัสดุแห้ง)
	T_{sd}	เวลาที่ใช้ในการอบแห้งจำเพาะ (นาที)
	T_{cr}	เวลาที่ใช้ในการอบแห้งจนถึงความชื้นวิกฤติ (นาที)
	M_c	ปริมาณความชื้นของวัสดุ (ร้อยละ)
	$M_{c,in}$	ปริมาณความชื้นของวัสดุเริ่มต้นการอบแห้งช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (ร้อยละ)
	$M_{c,eq}$	ปริมาณความชื้นสมดุล (ร้อยละ)
	$M_{c,cr}$	ปริมาณความชื้นวิกฤติ (ร้อยละ)

อนึ่งค่าปริมาณความชื้นข้างต้น สามารถบอกได้โดยค่ามาตรฐานในการอบแห้ง 2 มาตรฐาน คือ ค่าปริมาณความชื้นฐานแห้ง และค่าปริมาณความชื้นฐานเปียก เป็นหลักเกณฑ์ในการวัดการอบแห้ง เพื่อให้สามารถกำหนดมาตรฐานการอบแห้งวัสดุทางเกษตรได้ โดยค่าความชื้นดังกล่าวแสดงดังสมการต่อไปนี้

$$\% \text{dry basis} = \frac{M - M_{f,0}}{M_{f,0}} \times 100 \quad (2.5)$$

$$\% \text{wet basis} = \frac{M - M_{f,0}}{M} \times 100 \quad (2.6)$$

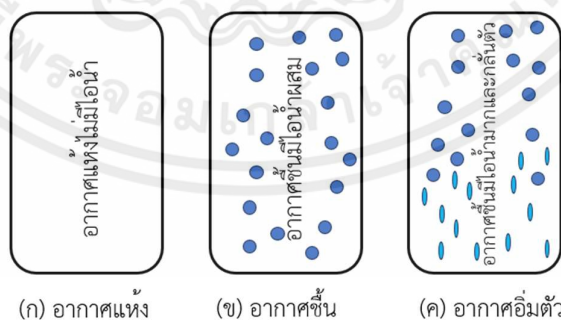
เมื่อ %dry basis	ค่าความชื้นฐานแห้งของวัสดุที่ต้องการหลังการอบแห้ง(ร้อยละ)
%wet basis	ค่าความชื้นฐานเปียกของวัสดุที่ต้องการหลังการอบแห้ง (ร้อยละ)
M	มวลของวัสดุ (กิโลกรัม)
$M_{f,0}$	มวลแห้งความชื้นร้อยละ 0 (กิโลกรัม)

2.5.1 อากาศแห้ง

อากาศแห้ง เป็นชั้นของก๊าซที่ปกคลุมพื้นผิวโลกมีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิตและสมดุลทางธรรมชาติ อากาศแห้ง ประกอบด้วยไนโตรเจนที่ร้อยละ 78.08 ออกซิเจนที่ร้อยละ 20.95 อาร์กอนที่ร้อยละ 0.93 คาร์บอนไดออกไซด์ที่ร้อยละ 0.038 และที่เหลือเป็นก๊าซอื่น ๆ ซึ่งองค์ประกอบของอากาศแห้งจะเปลี่ยนแปลงไปตามตำแหน่งและในระดับความสูง เช่น ในเมืองจะมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากจากกระบวนการเผาไหม้จากเครื่องยนต์ ซึ่งสูงกว่าบริเวณที่ใช้ยานพาหนะน้อย และบริเวณยอดเขาก็มักจะมีปริมาณออกซิเจนต่ำกว่าพื้นราบ เป็นต้น

2.5.2 อากาศชื้น

อากาศที่มีไอน้ำปะปนอยู่หรือบางครั้งเรียกว่า อากาศเปียก ตัวอย่างของอากาศชื้นที่พบมาก เช่น ลมระบายความร้อนที่ออกจากหอดึงระบายความร้อน (Cooling tower) หรืออากาศก่อนฝนจะตกที่ทำให้รู้สึกอึดอัดและร้อนอบอ้าว เพราะปริมาณไอน้ำในอากาศมีมาก จึงส่งผลให้น้ำที่ผิวหนังหรือเสื้อผ้าไม่สามารถระเหยออกสู่อากาศได้ โมเลกุลของน้ำในอากาศมีผลต่อความดันอากาศเหมือนกับโมเลกุลของก๊าซตัวอื่น ๆ ที่อยู่ในอากาศแห้ง ซึ่งในความเป็นจริงแล้วอากาศจึงไม่ใช่ก๊าซอุดมคติ ความสัมพันธ์ระหว่าง อุณหภูมิ ความดัน และปริมาตร จึงไม่เป็นไปตามกฎของก๊าซอุดมคติ แต่ในการคำนวณเกี่ยวกับสมบัติทางอากาศที่ความดันไม่เกิน 3 บาร์สามารถใช้กฎของก๊าซอุดมคติได้



รูปที่ 2.7 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะของอากาศแห้ง อากาศชื้น และอากาศอิ่มตัว

จากรูปที่ 2.7 รูป (ก) คือ สภาวะของอากาศแห้งที่ไม่มีไอน้ำผสมในปริมาตรของอากาศจำนวนดังกล่าว ส่วนรูป (ข) คือ เมื่อทำการปล่อยไอน้ำเข้าสู่ปริมาตรอากาศจำนวนเดิม อากาศที่ได้จะ

กลายเป็นอากาศชื้น และรูป (ค) คือ เมื่ออากาศสามารถรับปริมาณไอน้ำได้เพียงจำนวนหนึ่งเท่านั้น หากปล่อยไอน้ำเข้าสู่อากาศเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จะทำให้เกิดไอน้ำส่วนเกิน และเกิดการกลั่นตัวกลายเป็นหยดน้ำในที่สุด หรือเรียกว่า อากาศอิ่มตัว (Saturated air)

2.6 ความชื้น

โดยทั่วไปแล้วความชื้นในอากาศที่เราเรียกกันสั้น ๆ ว่าความชื้น หรือเรียกว่า ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity หรือ RH) หมายถึง อัตราส่วน ระหว่าง ปริมาณความชื้น (ไอน้ำ) ที่มีอยู่จริงในอากาศ กับปริมาณความชื้น (ไอน้ำ) ที่อากาศขณะนั้นจะรองรับได้เต็มที่ ณ อุณหภูมิ เดียวกัน หากปริมาณความชื้น มีมากกว่าก็จะกลั่นตัว เป็นหยดน้ำ หน่วยของความชื้นสัมพัทธ์ จึงออกมาเป็น เปอร์เซ็นต์(%)

- ปริมาณของไอน้ำในอากาศ
- มีอิทธิพลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศได้อย่างรุนแรง
- เป็นกลไกในการขับเคลื่อนให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ
- ความชื้นของอากาศมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับ ความดัน และอุณหภูมิ

ความชื้นสัมพัทธ์ หมายถึง อัตราส่วนของปริมาณไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศ ต่อ ปริมาณไอน้ำ ที่จะทำให้อากาศอิ่มตัว ณ อุณหภูมิเดียวกัน หรือ อัตราส่วนของความดันไอน้ำที่มีอยู่จริง ต่อ ความดันไอน้ำอิ่มตัว ค่าความชื้นสัมพัทธ์แสดงในรูปของร้อยละ (%)

$$\text{ความชื้นสัมพัทธ์} = \frac{(\text{ปริมาณไอน้ำที่อยู่ในอากาศ})}{(\text{ปริมาณไอน้ำที่ทำให้อากาศอิ่มตัว})} \times 100\% \quad (2.7)$$

หรือ

$$\text{ความชื้นสัมพัทธ์} = \frac{(\text{ความดันไอน้ำที่อยู่ในอากาศ})}{(\text{ความดันไอน้ำที่ทำให้อากาศอิ่มตัว})} \times 100\% \quad (2.8)$$

2.7 ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์มีโครงสร้างแบบเรือนกระจก (Greenhouse)

ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ มีโครงสร้างแบบเรือนกระจก (Greenhouse) เป็นรูป พาราโบลา ปิดคลุมด้วยแผ่นโพลีคาร์บอเนต เพื่อให้เกิดหลักการเรือนกระจก คือ เมื่อรังสีดวงอาทิตย์ ผ่านแผ่นโพลีคาร์บอเนต ไปยังผลิตภัณฑ์ในชั้นวาง บางส่วนจะตกกระทบพื้นของระบบอบแห้ง ทำให้ภายในระบบอบแห้งมีอุณหภูมิสูงขึ้น รังสีอินฟราเรดในแสงแดดถูกเก็บกักไว้ภายในระบบอบแห้ง เนื่องจากไม่สามารถผ่านแผ่นโพลีคาร์บอเนตออกไปได้ อุณหภูมิภายในระบบจึงสูงขึ้น ทำให้น้ำในผลิตภัณฑ์จะระเหยออกมา และถูกพัดลมดูดอากาศด้านหลังของระบบดูดออกไปภายนอก อากาศ

ภายนอกจะไหลเข้ามาแทนที่ จึงทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งเร็วกว่าการตากแดดตามธรรมชาติ ประหยัดเวลา ช่วยป้องกันฝนและแมลงรบกวน

2.8 ภาวะเรือนกระจก

ภาวะเรือนกระจก คือ ภาวะที่ชั้นบรรยากาศของโลกกระทำตัวเสมือนกระจก ที่ยอมให้รังสีคลื่นสั้นผ่านลงมายังผิวโลกได้ แต่จะดูดกลืนรังสีคลื่นยาวช่วงอินฟราเรดที่แผ่ออกจากพื้นผิวโลกเอาไว้ จากนั้นก็จะคายพลังงานความร้อน ให้กระจายอยู่ภายใน ชั้นบรรยากาศและพื้นผิวโลก จึงเปรียบเสมือนกระจกที่ปกคลุมผิวโลกให้มีภาวะสมดุลทางอุณหภูมิ และเหมาะสมต่อสิ่งมีชีวิตบนผิวโลก แต่ในปัจจุบันมีก๊าซบางชนิดสะสมอยู่ในชั้นบรรยากาศมากเกินไปจนสมดุล ซึ่งก๊าซเหล่านี้สามารถดูดกลืนรังสีคลื่นยาวช่วงอินฟราเรดและคายพลังงานความร้อนได้ดีพื้นผิวโลกและชั้นบรรยากาศ จึงมีอุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศของโลก และสิ่งมีชีวิตพื้นผิวโลกอย่างมาก

2.9 โซลาร์เซลล์ (Solar Cell)

โซลาร์เซลล์ (Solar Cell) หรือ เซลล์แสงอาทิตย์ และที่หลาย ๆ คนรู้จักในชื่อ เซลล์โฟโตโวลตาอิก (Photovoltaic cell) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ มีถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำชนิดพิเศษ ที่มีคุณสมบัติในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า (Solar Cell) โดยพลังงานกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโซลาร์เซลล์นั้น เป็นไฟฟ้ากระแสตรง หรือ (DC) ที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทันที

2.9.1 โซลาร์เซลล์ มีหลักการทำงานอย่างไร

การทำงานของโซลาร์เซลล์จะเป็นกระบวนการเปลี่ยนจากพลังงานแสงให้กลายเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง โดยการใช้แสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และมีพลังงานไปกระทบกับสารกึ่งตัวนำ จะทำให้เกิดการถ่ายเทพลังงานระหว่างกัน โดยพลังงานจากแสงจะทำให้เกิดอิเล็กตรอน หรือ การเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้าขึ้นในสารกึ่งตัวนำ จึงทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าดังกล่าวที่สามารถนำไปใช้งานได้

2.9.2 ลักษณะการใช้งานของโซลาร์เซลล์

เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบ กับแผงโซลาร์เซลล์แสงจากดวงอาทิตย์จะทำการถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอน และโฮล ซึ่งจะทำให้เกิดการเคลื่อนไหวขึ้น โดยอิเล็กตรอนจะมีการเคลื่อนไประวมตัวกันที่ Front Electrode และโฮลก็จะเคลื่อนไหวไปรวมตัวกันที่ Back Electrode จากนั้นเมื่อมีการเชื่อมต่อระบบวงจรไฟฟ้าจาก Front Electrode และ Back Electrode เข้าด้วยกันแบบครบวงจร ก็จะเกิดเป็นกระแสไฟฟ้าที่สามารถนำไปใช้งานได้ โดยจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก ๆ ดังนี้

- 1) โซลล่าเซลล์สำหรับบ้านและที่พักอาศัย เป็นการติดตั้งโซลล่าเซลล์บนหลังคาเพื่อใช้สำหรับบ้านพักอาศัยซึ่งมีตั้งแต่ขนาด 1-12 กิโลวัตต์ หรือ 1,000-12,000 วัตต์ ซึ่งก็สามารถเลือกขนาดให้เหมาะแก่การใช้งานได้ เป็นการช่วยลดภาระการใช้ไฟตอนกลางวันได้มาก 30-70% ขึ้นอยู่กับขนาดที่ต้องการติดตั้งให้ตาม Requirement ที่ต้องการของแต่ละคน ซึ่งโซลล่าเซลล์สำหรับบ้านและที่พักอาศัยนิยมติดตั้งด้วยระบบออนกริดที่มีการเชื่อมต่อเข้ากับระบบของการไฟฟ้า เพื่อให้การใช้งานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้หากใช้ไฟเหลือยังสามารถเข้าร่วมโครงการภาคประชาชนขายไฟคืนให้กับการไฟฟ้าได้อีกด้วย
- 2) โซลล่าเซลล์สำหรับโรงงานและธุรกิจอุตสาหกรรม การติดตั้งโซลล่าเซลล์สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมก็สามารถทำได้เช่นกัน โดยผู้ประกอบการและเจ้าของธุรกิจหลาย ๆ คนที่ใส่ใจในสิ่งแวดล้อมต่างให้ความสำคัญในพลังงานสะอาดที่เป็นมิตรกับสภาพแวดล้อมและไม่ทำให้ภาวะโลกร้อน ต่างพากันหันมาติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาโรงงาน เพื่อใช้สำหรับการผลิตและเครื่องจักรต่าง ๆ เพราะนอกจากจะไม่เป็นมลพิษแล้วยังช่วยให้สามารถประหยัดค่าไฟไปได้แบบครึ่งต่อครึ่งเลยทีเดียว

2.9.3 ประโยชน์ของโซลล่าเซลล์

พลังงานไฟฟ้าจากโซลล่าเซลล์ เป็นพลังงานที่ใช้ได้อย่างไม่จำกัดและไม่มีความเสี่ยง ซึ่งหลังการติดตั้งระบบโซลล่าเซลล์เรียบร้อยแล้ว ก็สามารถใช้ได้เหมือนไฟฟ้าแบบปกติทั่วไป เช่น ใช้สำหรับใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ ภายในบ้านได้ทุกชนิด ไม่ว่าจะเป็น ใช้กับเครื่องปรับอากาศ แอร์ ตู้เย็น เครื่องซักผ้า ใช้กับคอมพิวเตอร์ ชาร์จรถยนต์ เครื่องเสียง และ อื่น ๆ อีกมากมาย หรือแม้แต่การเปิดไฟเพื่อความสว่างภายในบ้าน

ข้อดีของระบบโซลล่าเซลล์

- เป็นพลังงานสะอาดเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ไม่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อน
- เป็นพลังงานที่ใช้ได้อย่างไม่จำกัด เพราะแสงจากดวงอาทิตย์ไม่มีวันหมด
- เป็นพลังงานฟรีที่ไม่ต้องเสียเงินซื้อ มา เพียงแค่ติดตั้งระบบให้ได้มาตรฐานก็

สามารถใช้ไปตอนกลางวันได้ฟรี

- หากให้ไฟเหลือสามารถเข้าร่วมโครงการขายไฟคืนให้กับการไฟฟ้าได้อีกด้วย
- ช่วยประหยัดค่าไฟได้ 30-70% ขึ้นอยู่กับขนาดของการติดตั้ง
- มีอายุการใช้งานนาน 20-25 ปี ขึ้นอยู่กับการดูแลรักษา

ข้อเสียของระบบโซลล่าเซลล์

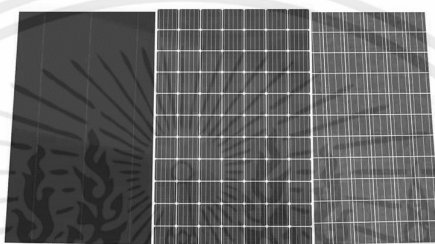
- ต้องทำการติดตั้งโดยทีมช่างผู้ชำนาญ มีประสบการณ์ ภายใต้การควบคุมจากวิศวกร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การผลิตไฟฟ้าในแต่ละวันอาจไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับสภาพอากาศและแสงแดด
- สามารถผลิตไฟฟ้าได้เฉพาะช่วงเวลากลางวัน หรือช่วงที่มีแสงแดดเท่านั้น

2.9.4 ส่วนประกอบของโซลาร์เซลล์

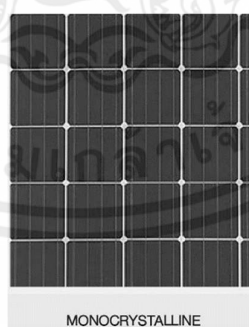
ระบบโซลาร์เซลล์ มีส่วนประกอบสำคัญ หลัก ๆ คือ ตัวแผงโซลาร์เซลล์ ซึ่งจะทำหน้าที่รับแสงอาทิตย์เพื่อใช้ในการสร้างไฟฟ้ากระแสตรง Inverter มีหน้าที่เปลี่ยนแปลงไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อให้ใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าในครัวเรือนได้



รูปที่ 2.8 แผงโซลาร์เซลล์

แผงโซลาร์เซลล์ เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานได้ มีหลายประเภท ซึ่งประเภทที่นิยมกัน คือ แบบใช้สารกึ่งตัวนำซิลิคอน (Silicon Semiconductor) มีหน้าที่เป็นตัวดูดซับพลังงานจากแสงอาทิตย์แล้วเปลี่ยนพลังงานเป็นกระแสไฟฟ้าแบบ DC แบ่งออกเป็นอีก 3 ชนิด คือ

1) โมโนคริสตัลไลน์ (Monocrystalline Silicon Solar Cells)



รูปที่ 2.9 แผงโซลาร์เซลล์แบบโมโนคริสตัลไลน์ (Monocrystalline Silicon Solar Cells)

จากรูปที่ 2.9 แสดงถึงลักษณะแผงโซลาร์เซลล์แบบโมโนคริสตัลไลน์ ผลิตจากผลึกซิลิคอนเดี่ยว หรือเรียกอีกชื่อว่า single crystalline (single-Si) เป็นชนิดที่ทำมาจากซิลิคอนที่มี

ความบริสุทธิ์สูง มีลักษณะเป็นแท่งซิลิคอนแผ่นสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีสีเข้มโดยมีเส้นสีน้ำเงินที่ทำหน้าที่นำกระแสไฟฟ้ามาวางเรียงการ และ ลบมุมทั้งสี่ออกเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการใช้งานสูงสุด

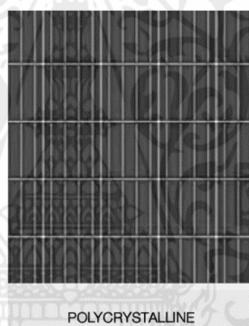
ข้อดีของโซลาร์เซลล์แบบโมโนคริสตัลไลน์

- มีประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าสูงสุด
- สามารถแปลงกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 16-21 % ให้พลังงานที่สูง
- ใช้พื้นที่ในการติดตั้งน้อยกว่าแผงโซลาร์เซลล์ชนิดอื่น
- อายุใช้งานมากกว่า 25 ปี

ข้อเสียของโซลาร์เซลล์แบบโมโนคริสตัลไลน์

- มีราคาสูงกว่าชนิดอื่น
- หากมีสิ่งสกปรกหรือถูกบังแสงอาจจะทำให้การผลิตไฟฟ้าลดลง

2) โพลีคริสตัลไลน์ (Polycrystalline Silicon Solar Cells)



รูปที่ 2.10 แผงโซลาร์เซลล์แบบโพลีคริสตัลไลน์ (Polycrystalline Silicon Solar Cells)

จากรูปที่ 2.10 แสดงถึงลักษณะแผงโซลาร์เซลล์แบบโพลีคริสตัลไลน์ เป็นแผงที่ใช้ซิลิคอนมาหลอมละลายเพื่อเป็นต้นกำเนิดของการผลิตไฟฟ้า แต่มีวิธีการที่ไม่ซับซ้อน และใช้ซิลิคอนน้อยกว่าแบบ โมโนคริสตัลไลน์ จึงทำให้โครงสร้างของผลึกสมบูรณ์น้อยกว่า จึงมีประสิทธิภาพน้อยกว่า

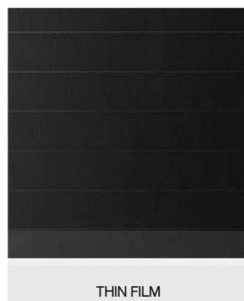
ข้อดีของโซลาร์เซลล์แบบโพลีคริสตัลไลน์

- มีราคาถูกกว่าแผงโซลาร์เซลล์แบบโพลีคริสตัลไลน์
- มีประสิทธิภาพการผลิตกระแสไฟฟ้าที่อุณหภูมิสูง

ข้อเสียของโซลาร์เซลล์แบบโพลีคริสตัลไลน์

- สามารถแปลงกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 15-18 %
- ใช้พื้นที่ในการติดตั้งมากกว่าแผงโซลาร์เซลล์แบบโพลีคริสตัลไลน์

3) แผงโซลาร์เซลล์ชนิด ฟิล์มบาง (Thin Film Solar Cells)



รูปที่ 2.11 แผงโซลาร์เซลล์แบบแผงโซลาร์เซลล์ชนิด ฟิล์มบาง (Thin Film Solar Cells)

จากรูปที่ 2.11 แสดงถึงลักษณะแผงโซลาร์เซลล์ชนิด ฟิล์มบาง หรือเรียกอีกชื่อว่า อะมอร์ฟัสซิลิคอน(Amorphous) เป็นการนำซิลิคอนมาฉาบเป็นฟิล์มบาง ๆ ซ้อนกันหลาย ๆ ชั้น เพื่อให้สามารถรับแสงอาทิตย์ที่มาจากซิลิคอนเพื่อแปลงเป็นกระแสไฟฟ้า แต่แผงโซลาร์เซลล์ชนิดนี้ไม่ค่อยเป็นที่นิยม เนื่องจากมีประสิทธิภาพที่ต่ำ ซึ่งเหมาะสำหรับใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าขนาดเล็ก

ข้อดีของโซลาร์เซลล์แบบชนิด ฟิล์มบาง

- มีราคาถูกกว่าแผงโซลาร์เซลล์แบบอื่น

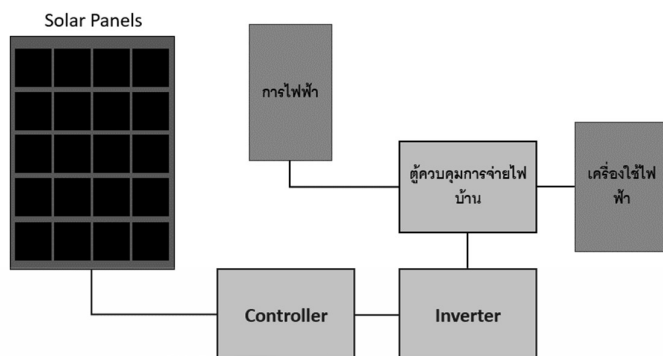
ข้อเสียของโซลาร์เซลล์แบบชนิด ฟิล์มบาง

- สามารถแปลงกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 7-13 % ซึ่งให้ประสิทธิภาพที่ต่ำ
- อายุการใช้งานไม่ยาวนาน

2.9.5 โซลาร์เซลล์ มีกี่ระบบ ใช้งานแตกต่างกันอย่างไร?

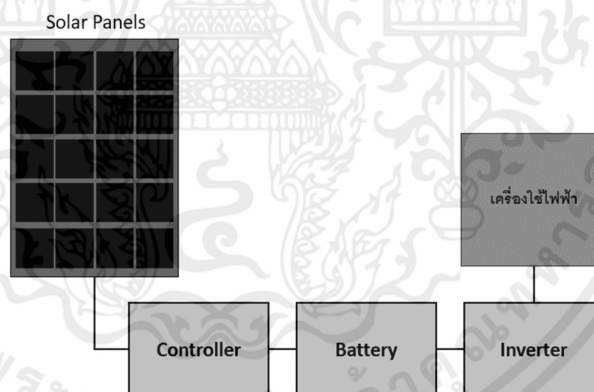
การติดตั้งระบบโซลาร์เซลล์ในปัจจุบันสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระบบหลัก ๆ ด้วยกัน เพื่อให้เหมาะสมกับการรูปแบบของใช้งาน และ เหมาะสมกับพื้นที่การติดตั้ง ดังนี้

- 1) ระบบออนกริด On Grid เป็นระบบโซลาร์เซลล์ที่ใช้ทั้งไฟจากการไฟฟ้า และไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงโซลาร์เซลล์ เหมาะสำหรับบ้านพักอาศัยใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลากลางวัน มาก โดยระบบนี้จะไม่มีแบตเตอรี่ไว้สำรองไฟ ผลิตไฟฟ้าได้แล้วใช้เลย ซึ่งก่อนติดตั้งโซลาร์เซลล์ระบบนี้จะต้องขออนุญาตการไฟฟ้าก่อนในปัจจุบันระบบนี้นิยมใช้งานมากที่สุด



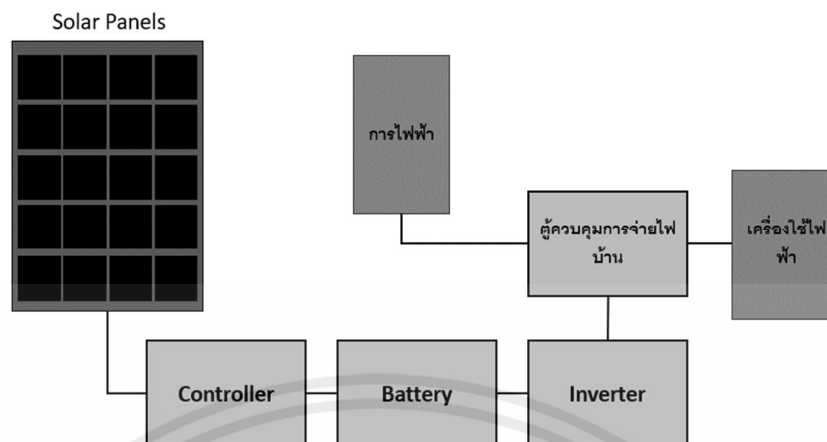
รูปที่ 2.12 ระบบออนกริด On Grid

- 2) ระบบออฟกริด Off-Grid เป็นระบบโซลาร์เซลล์ที่ไม่เชื่อมต่อการไฟฟ้า โดยจะมีผลิตรกระแสไฟฟ้าแล้วใช้ได้เลยทันทีในตอนกลางวัน และที่เหลือจะมีการสำรองไว้ในแบตเตอรี่ไว้ใช้ในตอนกลางคืน (หรือเรียกว่าเป็นระบบ Stand Alone) ไม่ต้องขออนุญาตจากการไฟฟ้า การติดตั้งด้วยระบบนี้เหมาะกับสถานที่ที่ไฟจากการไฟฟ้าไปไม่ถึง เช่น พื้นที่ห่างไกล บนดอยสูง



รูปที่ 2.13 ระบบออฟกริด Off-Grid

- 3) ระบบไฮบริด Hybrid เป็นการผสมระหว่างระบบ Off Grid และ On Grid คือ มีการเชื่อมต่อไฟจากการไฟฟ้า ร่วมกับการใช้ไฟที่ผลิตได้จากแผงโซลาร์เซลล์ และไฟจากแบตเตอรี่ ในกรณีที่แผงโซลาร์ผลิตกระแสไฟฟ้ามากเกินไปกว่าการใช้งาน กระแสไฟฟ้าจะถูกส่งไปเก็บไว้ที่แบตเตอรี่ และสามารถดึงมาใช้ในช่วงเวลากลางคืน แต่ระบบไฮบริดจะไม่สามารถขายกระแสไฟให้กับภาครัฐได้ อีกทั้งยังมีราคาการติดตั้งที่สูงมากจึงทำให้ยังไม่ค่อยได้รับความนิยม



รูปที่ 2.14 ระบบไฮบริด Hybrid

2.10 โซล่าชาร์จ คอนโทรลเลอร์ (Solar Charge Controller)

เป็นอุปกรณ์ส่วนหนึ่งของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ แบบ Off-Grid โดยทำหน้าที่รับพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง (DC) จากแผงโซล่าเซลล์ แล้วควบคุมการชาร์จประจุไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่ เพื่อไม่ให้มีการชาร์จประจุเข้าแบตเตอรี่มากเกินไป (ซึ่งถ้าชาร์จมากเกินไปอาจทำให้แบตเตอรี่เสียหายหรือระเบิดได้) โดยเมื่อแบตเตอรี่ชาร์จประจุเต็มแล้ว ตัวชาร์จ คอนโทรลเลอร์ ก็จะทำการตัดการชาร์จประจุโดยอัตโนมัติ ในปัจจุบันโซล่าชาร์จ คอนโทรลเลอร์ มีใช้งานอยู่ 2 ประเภท คือ

1) Pulse Width Modulation (PWM) ราคาถูก ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจากแผงโซล่าเซลล์ ต่ำ (ได้ประมาณ 80% ของค่าวัตต์: W ที่มาจาก แผง PV) เหมาะกับระบบ Off Grid ขนาดเล็ก ๆ ที่ต้องการประหยัดต้นทุน ซึ่งในปัจจุบัน ชาร์จเจอร์แบบ PWM มีราคาตั้งแต่ประมาณ 300 จนถึงประมาณ 4,000 บาท ขึ้นอยู่กับขนาดกระแสไฟฟ้า ที่chargersรองรับได้ มี PWM Solar Charge Controller ขนาดต่าง ๆ ตามความต้องการใช้งานตามระดับปริมาณกระแสไฟใช้งาน ดังต่อไปนี้ 10A 20A 30A 40A 50A 60A และเลือกตามแรงดัน Input ได้แก่ 12V 24V 48V หรือ 96V

2) Maximum Power Point Tracking (MPPT) ราคาแพงกว่า PWM ประมาณ 3 เท่า ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานจาก แผงโซล่าเซลล์สูง (ได้เกือบ100%ของค่าวัตต์: W ที่มาจากแผง PV) เหมาะสมกับระบบ Off Grid ขนาดใหญ่ หรือต้องการระบบที่มีประสิทธิภาพสูง อีกทั้งแบบ MPPT ยังสามารถช่วยยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่อีกด้วย ซึ่งในปัจจุบัน (ก.ค.59) ชาร์จเจอร์แบบ MPPT มีราคาตั้งแต่ประมาณ 3,000 จนถึงประมาณ 30,000 บาท ขึ้นอยู่กับยี่ห้อและขนาดกระแสไฟฟ้า ที่chargersรองรับได้

2.11 แบตเตอรี่ (Battery)

แบตเตอรี่ คือ อุปกรณ์ที่ประกอบด้วยเซลล์ไฟฟ้าเคมี (Electrochemical cell) ตั้งแต่หนึ่งเซลล์ขึ้นไปโดยแต่ละเซลล์มีการเชื่อมต่อกันทางไฟฟ้า จึงสามารถเปลี่ยนพลังงานเคมีที่มีสะสมเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ แบตเตอรี่นอกจากจะประกอบด้วยเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่มีการก่อกันแล้ว ยังมีตัวแบ่ง (Separator) ที่ทำหน้าที่คั่นระหว่างขั้วไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่นำมาต่อกันเพื่อไม่ให้ทำปฏิกิริยากัน ดังนั้นสรุปองค์ประกอบหลักของแบตเตอรี่มี 4 องค์ประกอบ ได้แก่

- 1) ขั้วลบ หรือ แอโนด (Anode)
- 2) ขั้วบวก หรือ แคโทด (Cathode)
- 3) อิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) เป็นสารที่อาจอยู่ในสถานะใดก็ได้ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารละลายที่ประกอบด้วยอนุภาคที่มีประจุที่พร้อมเคลื่อนที่หรือนำกระแสไฟฟ้า
- 4) ตัวแบ่ง (Separator) เป็นวัสดุที่เป็นฉนวนไฟฟ้าทำหน้าที่แบ่งคั่นระหว่างขั้วสองขั้ว



รูปที่ 2.15 รูปและสัญลักษณ์ทางไฟฟ้าเซลล์แบตเตอรี่

2.11.1 แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด (Lead Acid Battery)

แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด สร้างขึ้นในปี ค.ศ. 1859 โดยนักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศส Gaston Plante แบตเตอรี่ชนิดนี้แบบชาร์จไฟได้ชนิดที่เก่าแก่ที่สุด ซึ่งมีอัตราส่วนพลังงานต่อน้ำหนักที่ต่ำมาก และอัตราส่วนพลังงานต่อปริมาตรที่ต่ำแต่มีอัตราส่วนกำลังงานต่อน้ำหนักค่อนข้างสูง เนื่องจากวัสดุสามารถหาได้ง่าย และมีกระบวนการผลิตไม่ซับซ้อน แบตเตอรี่ประเภทตะกั่ว-กรดมีขั้วลบ ทำจากตะกั่วที่มีลักษณะพรุน (Porous Lead) ส่วนขั้วบวกเป็น ตะกั่วออกไซด์ (PbO_2) ที่มีลักษณะพรุนเช่นเดียวกัน โดยมีกรดกำมะถันหรือกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เข้มข้นเป็นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ และมีปฏิกิริยาเคมีที่เกิดบนขั้วทั้งสองในระหว่างการใช้งานทำให้เป็นที่น่าสนใจสำหรับการใช้งานในเครื่องยนต์ที่ต้องใช้กระแสสูงสำหรับการจุดเครื่องยนต์

- 1) แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด สำหรับติดเครื่องยนต์ Starting Lighting Ignition หรือ SLI Battery เป็นแบตเตอรี่กรด-ตะกั่วที่มีสัดส่วนการใช้งานมากที่สุด โดยถูกใช้สำหรับงานที่ต้องใช้กระแสไฟฟ้าสูงเป็นระยะสั้น เช่น สำหรับติดเครื่องยนต์ในรถยนต์ หรือติดเครื่องยนต์สำหรับเครื่องจักร ทั้งนี้แบตเตอรี่สำหรับติดเครื่องยนต์จะมีอายุการใช้งานสั้น ประมาณ 1-3 ปี

2) แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด แบบ Deep cycle เป็นแบตเตอรี่สำหรับใช้งานจ่ายกระแสอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน โดยมีการใช้งานอยู่หลายประเภท เช่น ใช้งานในรถไฟฟ้า รถกอล์ฟ หรือ สำหรับรถไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานหมุนเวียน เช่น เก็บพลังงานจาก Solar Panel เพื่อนำพลังงานไปใช้งานต่อไป แบตเตอรี่ประเภทนี้สามารถคายประจุได้ถึง 45%-75% ของพลังงานที่เก็บสะสมอยู่ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแต่ละผู้ผลิตแต่ละยี่ห้อ

2.11.2 แบตเตอรี่ Deep cycle

แบตเตอรี่ Deep cycle แบ่งออกเป็น 2 ชนิดหลัก ๆ คือ

- 1) แบตเตอรี่ Deep cycle ชนิด หรือ Flooded type deep cycle battery เป็นแบตเตอรี่ชนิดที่นิยมใช้งานมากที่สุดในระบบ Solar cell และระบบพลังงานทางเลือก เพราะเมื่อเปรียบเทียบกับ Ah แล้ว เป็นแบตเตอรี่ชนิดที่คุ้มค่าต่อการลงทุนที่สุดแต่ก็เป็นชนิดที่ต้องการการบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอ เช่น การเติมน้ำกลั่นหรือการทำความสะอาดขั้วแบตเตอรี่ ส่วนการติดตั้งก็ต้องติดตั้งในพื้นที่ที่มีอากาศถ่ายเท และวางในลักษณะตั้งขึ้นได้เท่านั้น ส่วนแบตเตอรี่ชนิดนี้ที่เป็นแบบ Maintenance free หรือชนิดที่ไม่ต้องการการบำรุงรักษานั้นเป็นเพียงชนิดที่ออกแบบมาให้มีอายุการใช้งานสั้นลง ตามที่ผู้ผลิตรับประกันเท่านั้น
- 2) แบตเตอรี่ Deep cycle ชนิดแห้ง แบตเตอรี่ ชนิดมีวาล์วปรับแรงดันภายในแบตเตอรี่ แบตเตอรี่ชนิดนี้มีโครงสร้างเป็นระบบปิด ไม่ต้องการการบำรุงรักษาควบคุมแรงดันของสารละลายด้วยวาล์วปรับแรงดันอยู่ภายใน
- 3) แบตเตอรี่ Deep cycle ชนิด GEL แบตเตอรี่ Deep cycle ชนิด GEL เป็นแบตเตอรี่ที่มีการนำเอาผงซิลิกาเติมลงไปโดยสารละลายในแบตเตอรี่ ทำให้กลายเป็นเจล เพื่อลดการเกิดก๊าซและลดการระเหยของสารละลายที่อยู่ภายใน การชาร์จไฟให้กับแบตเตอรี่ Deep cycle ชนิดอื่นและเมื่อมีการชาร์จไฟให้กับแบตเตอรี่ที่เร็วเกินไป จะทำให้เกิดฟองก๊าซที่รอบ ๆ แผ่นตะกั่ว ซึ่งจะให้เจลไม่สัมผัสกับแผ่นตะกั่วความสามารถในการเก็บไฟจะลดลงไป จนกระทั่งฟองก๊าซที่เกิดขึ้นได้ลอยขึ้นไปด้านบนจึงทำให้ความสามารถในการเก็บไฟกลับมาเหมือนเดิม



รูปที่ 2.16 Battery GEL 12V 100Ah

ข้อดีของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด แบบ Gel

- แบตเตอรี่เจลไม่ต้องการการบำรุงรักษา
- แบตเตอรี่เจลไม่รั่วไหล
- แบตเตอรี่เจลทนทานต่อการสั้นสะเทือน
- สามารถทนต่ออุณหภูมิสูงได้

ข้อเสียของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด แบบ Gel

- แบตเตอรี่เจลมีราคาแพง
- แบตเตอรี่เจลชาร์จช้า
- มีความไวต่อการชาร์จไฟเกิน

4) แบตเตอรี่ Deep cycle ชนิด AGM หรือ Absorbed Glass Mat หรือ ชนิดตาข่ายไฟเบอร์กลาส เป็นแบตเตอรี่ชนิดที่มีการนำเอาตาข่ายไฟเบอร์กลาสใส่ลงไปในกั้นแต่ละเซลล์เพื่อเพิ่มพื้นที่สำหรับเก็บสารละลายมากขึ้น เพราะตาข่ายไฟเบอร์กลาสมีความสามารถในการดูดซับสารละลายได้ดี ทำให้สารละลายมีปริมาณมากขึ้น ทั้งนี้เพื่อให้อายุการใช้งานของแบตเตอรี่มากขึ้นนั่นเอง แบตเตอรี่ Deep cycle ชนิด AGM เป็นหนึ่งในแบตเตอรี่ชนิดวาล์วปรับแรงดันภายใน VRLA และเป็นระบบปิด หรือ sealed หรือไม่ต้องมีการบำรุงรักษา



รูปที่ 2.17 Battery AGM 12V 100Ah

ข้อดี แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด แบบ AGM

- ป้องกันการรั่วไหลได้ดี
- แอต์พุต มีกำลังสูง
- เวลาชาร์จสั้น
- อายุการใช้งานที่ยาวนาน

ข้อเสีย แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด

- แบตเตอรี่มีราคาแพง
- มีความไวต่อการชาร์จไฟเกิน

ด้วยขนาดที่เท่ากับกับแบตเตอรี่ Deep cycle ชนิดน้ำ แบตเตอรี่ Deep cycle ชนิด AGM มาสามารถที่จะเก็บไฟได้มากกว่าถึง 1.5 เท่า แต่ราคาต่อ Ah ก็แพงกว่าชนิดน้ำเกือบเท่าตัว

- 5) แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน (Lithium-ion Battery) แบตเตอรี่ลิเธียมมีด้วยกันหลายประเภทและมีการใช้งานที่แตกต่างกันดังนั้นควรเลือกรูปแบบของแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อการใช้งาน โดยแบตเตอรี่ลิเธียมนั้นมีด้วยกันหลายประเภท เช่น NCM/NMC , LCO , LMO และ LTO (Anode)

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่าง Battery Gel กับ Battery LiFePO4

Battery Type 12v	Battery Gel	Battery LieFO4
Price	6,500	16,500
Amp Hour Capacity	100AH	100AH
Depth of Discharge (DOD)	50% (600WH)	80% (960WH)
Weight (Kg)	31.5	9
Lifespan Expectancy	8-10 year	>10 year
Max. Charge Current	25 A	20A

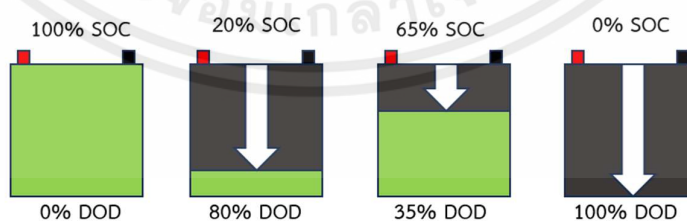
หมายเหตุ : เหตุผลที่เลือก Battery GEL คือสามารถใช้งานในอุณหภูมิที่สูงได้ เพราะสถานที่ติดตั้งแบตเตอรี่เป็นบริเวณที่มีแดด

2.11.3 SOC (State of charge)

สถานะชาร์จ คือการวัดปริมาณพลังงานที่มีอยู่ในแบตเตอรี่ ณ เวลาใดเวลาหนึ่งโดยแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยพื้นฐานแล้ว SOC ทำหน้าที่เหมือนมาตรวัดน้ำมันเชื้อเพลิงในรถยนต์ โดยจะแจ้งให้ผู้ใช้ทราบว่าพวกเขาสามารถใช้งานอุปกรณ์ได้นานแค่ไหนก่อนที่จะหมดและไม่สามารถทำงานได้อีก

2.11.4 Depth of discharge (DOD)

ปริมาณแบตเตอรี่ที่ถูกใช้ไป แสดงถึงเปอร์เซ็นต์ของการคายประจุจากสถานะที่ชาร์จเต็มแล้ว SOC และ DOD มีความสัมพันธ์กันคือ $SOC = 100\% - DOD$ เช่น หาก DOD อยู่ที่ 70% SOC จะเป็น 30%



รูปที่ 2.18 สถานะชาร์จและเปอร์เซ็นต์ของการคายประจุ

2.12 บอร์ดควบคุมESP32

ESP32 เป็นชื่อของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีการรองรับการเชื่อมต่อ Wi-fi และ Bluetooth 4.2 BLE ในตัว ผลิตโดยบริษัท Espressif จากประเทศจีน โดยตัวไอซีนี้ ESP32 มีสเปคโดยละเอียดดังนี้

- CPU ใช้สถาปัตยกรรม Tensilica LX6 แบบ 2 แกนสมอง สัญญาณนาฬิกา 240MHz
- มีRAMในตัว 512 KB
- รองรับการเชื่อมต่อROMภายนอกสูงสุด 16 MB
- Wi-fi มาตรฐาน 802.11 b/g/n รองรับการใช้งานทั้งหมด Station softAP และ Wi-fi direct
- Bluetooth รองรับการใช้งานในโหมด 2.0 และโหมด 4.0 BLE
- ใช้แรงดันไฟฟ้าในการทำงานตั้งแต่ 2.6V ถึง 3.3V
- ทำงานได้ที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส ถึง 125 องศาเซลเซียสESP32 มีเซนเซอร์ต่าง ๆ มาด้วยในตัวESP32
- วงจรรองรับสัญญาณรบกวนในวงจรขยายสัญญาณ
- เซนเซอร์แม่เหล็ก
- เซนเซอร์สัมผัส รองรับ 10 ช่อง
- รองรับการเชื่อมต่อคิสตอล 32.768kHz สำหรับใช้กับส่วนวงจรนับเวลาโดยเฉพาะการใช้งานต่าง ๆ ของ ESP32 รองรับการเชื่อมต่อบัสต่าง ๆ ดังนี้
- GPIO จำนวน 36 ช่อง
- รองรับ UART จำนวน 3 ช่อง
- รองรับ SPI จำนวน 3 ช่อง
- รองรับ I²C จำนวน 2 ช่อง
- รองรับ ADC จำนวน 12 ช่อง
- รองรับ DAC จำนวน 2 ช่อง
- รองรับ I²S จำนวน 2 ช่อง
- รองรับ PWM / Timer ทุกช่อง
- รองรับการเชื่อมต่อกับ SD-Card

นอกจากนี้ ESP32 ยังรองรับฟังก์ชันเกี่ยวกับความปลอดภัยต่าง ๆ ดังนี้

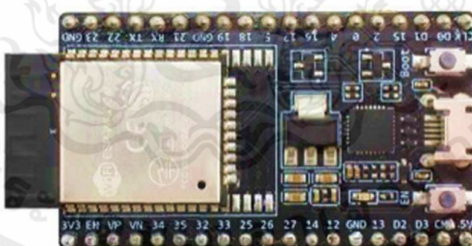
- รองรับการเข้ารหัส Wi-fi แบบ WEP และ WPA/WPA2 PSK/Enterprise
- มีวงจรเข้ารหัส AES/SHA2/Elliptical Curve Cryptography/RSA-4096 ในตัวในด้านประสิทธิภาพการใช้งาน ESP32 เมารถทำงานได้ดี โดย

- รับส่งข้อมูล ได้ความเร็วสูงสุดที่ 150 Mbps เมื่อเชื่อมต่อแบบ 11n HT40 ได้ความเร็วสูงสุด 72 Mbps เมื่อเชื่อมต่อแบบ 11n HT20 ได้ความเร็วสูงสุด 54 Mbps เมื่อเชื่อมต่อแบบ 11g และได้ ความเร็วสูงสุดที่ 11Mbps เมื่อเชื่อมต่อแบบ 11b
- เมื่อใช้การเชื่อมต่อผ่านโปรโตคอล UDP จะสามารถรับส่งข้อมูลที่ ความเร็ว 135 Mbps ในโหมด Sleep จะใช้การแสดเพียง 2.5 μ A

2.12.1 การเปรียบเทียบ ESP8266 และ ESP32

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของบอร์ดESP32 Wrover-IE

คุณสมบัติ บอร์ดESP32 Wrover-IE	
จำนวนหน่วยประมวลผล	2 (Dual core)
Wi-fi	2.4 GHz ความเร็วสูงสุด 150 Mb/s
Bluetooth	รับรอง Bluetooth
สถาปัตยกรรม	32 บิต
ความถี่นาฬิกา	ความเร็วสูงสุด 240 MHz
หน่วยความ	512 KB
ขาควบคุม	34 ขา
อุปกรณ์ต่อพ่วง	เซนเซอร์ตรวจจับมือ, แปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล, I ² C, UART, CAN 2.0, SPI, I ² S, RMII, PWM



รูปที่ 2.19 บอร์ด ESP32 Wrover-IE

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติของบอร์ดESP32 Wrover-IE

คุณสมบัติ บอร์ดESP8266	
จำนวนหน่วยประมวลผล	2
Wi-fi	2.4 GHz ความเร็วสูงสุด 80 Mb/s
Bluetooth	ไม่รับรอง Bluetooth
สถาปัตยกรรม	32 บิต
ความถี่นาฬิกา	ความเร็วสูงสุด 160 MHz
หน่วยความ	64 KB
ขาควบคุม	17 ขา
อุปกรณ์ต่อพ่วง	แปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล, I ² C, UART, SPI, I ² S, PWM



รูปที่ 2.20 บอร์ด ESP8266

สรุปได้ว่า บอร์ดESP32 Wrover-IE มีคุณสมบัติที่ดีกว่าESP8266ในทุกๆด้าน ทั้งด้านความเร็วจำนวนขาที่เพียงพอต่อการใช้งาน

2.13 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ

เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ คือ อุปกรณ์หรือเซนเซอร์ที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิของสิ่งของหรือสภาพแวดล้อม โดยแบบค่าอุณหภูมิให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถสื่อสารกับบอร์ดควบคุมที่เป็นอิเล็กทรอนิกส์หรือคอมพิวเตอร์ อุณหภูมิมักถูกใช้งานในหลากหลายงาน เช่น งานอุตสาหกรรม เกษตร ทางการแพทย์ และสำหรับโรงเรือนอบแห้ง

หลักการวัดอุณหภูมิมีหลายวิธีในการวัดอุณหภูมิ ดังนี้

- เซนเซอร์ต้านทานอุณหภูมิ (RTD - Resistance Temperature Detector): ใช้ค่าความเปลี่ยนแปลงของความต้านทานของวัสดุเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลงในการวัด
- เซนเซอร์เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple): ใช้แบบหลายสารนำที่มีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เซนเซอร์เทอร์มิสเตอร์ (Thermistor): ใช้ค่าความต้านทานของอุณหภูมิเทอร์มิสเตอร์ในการวัด.
- เซนเซอร์อินฟราเรด (Infrared Sensor): ใช้การรังสีอินฟราเรดที่ส่งกลับมาจากวัตถุเพื่อประมาณอุณหภูมิ

เซนเซอร์ XY-MD02 เป็นเซนเซอร์ที่มีคุณสมบัติวัดอุณหภูมิและความชื้นที่แม่นยำ ใช้งานในระดับอุตสาหกรรม RS485 คุณสมบัติมีดังนี้

- เซนเซอร์รองรับโปรโตคอล Modbus RTU
- เซนเซอร์รองรับการสื่อสารแบบระยะไกล RS485 สามารถส่งได้ถึง 1,000 เมตร
- การทำงานได้ค่าความแม่นยำสูง
- ตัววัดค่าอุณหภูมิและความชื้น เป็น เซนเซอร์ รุ่น SHT20
- สามารถวัดอุณหภูมิตั้งแต่ -40 ถึง 125 องศาเซลเซียส ความละเอียดในการวัด ที่ 0.1 องศาเซลเซียส ค่าความแม่นยำอุณหภูมิ ± 0.3 องศาเซลเซียส
- สามารถวัดความชื้น ตั้งแต่ 0 ถึง 100 %RH ความละเอียด 0.1 องศาเซลเซียส ค่าความแม่นยำความชื้น ± 3 %RH
- ใช้แหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 5-30 V

2.13.1 การเปรียบเทียบ XY-MD02 และ DHT22

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ XY-MD02

คุณสมบัติ เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ XY-MD02	
ความสามารถในการวัด	สามารถวัดอุณหภูมิและความชื้น วัดอุณหภูมิได้ -40 ถึง 125 องศาเซลเซียส ความละเอียด ± 0.1 องศาเซลเซียส วัดความชื้นได้ถึง 0 ถึง 100 %RH ความละเอียด ± 0.1 %RH
การส่งข้อมูล	สื่อสารผ่าน RS485/Modbus RTU
ระยะการส่งสัญญาณ	สื่อสารได้ไกล 1,000 เมตร
ใช้แรงดันไฟฟ้า	5 ถึง 30 V



รูปที่ 2.21 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ XY-MD02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิ DHT22

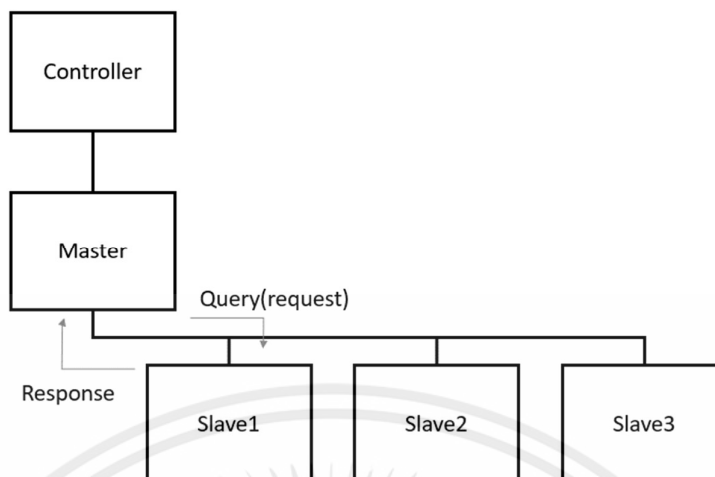
คุณสมบัติ เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ DHT22	
ความสามารถในการวัด	สามารถวัดอุณหภูมิและความชื้น วัดอุณหภูมิได้ -40 ถึง 80 องศาเซลเซียส ความละเอียด ± 0.5 องศาเซลเซียส วัดความชื้นได้ถึง 0 ถึง 100 %RH ความละเอียด 2 ถึง ± 5 %RH
การส่งข้อมูล	สื่อสารผ่าน สัญญาดิจิตอล
ระยะการส่งสัญญาณ	สื่อสารได้ 10 เมตร
ใช้แรงดันไฟฟ้า	3.3 ถึง 5 V

รูปที่ 2.22 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ DHT22

2.14 Modbus Protocol

การสื่อสารผ่าน Modbus Protocol คือ โพรโตคอล สื่อสารที่พัฒนาขึ้น เป็นรูปแบบการส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ เรียกว่าการสื่อสารแบบ Master และ Slave โดย Master จะทำหน้าที่รับข้อมูล ส่วน Slave จะทำหน้าที่ส่งข้อมูลให้ Master ซึ่งสามารถมี Slave ได้มากถึง 247 ตัว โดยแต่ละตัวจะมี ID ระบุ และ Master สามารถเขียนข้อมูลไปยัง Slave ได้

- 1) Modbus เป็น Open Protocol สามารถพัฒนาอุปกรณ์ให้ใช้การสื่อสาร แบบ Modbus โดยใช้งานรับส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ควบคุม หรือระบบประมวลผลข้อมูลต่าง ๆ
- 2) Slave เป็นอุปกรณ์ต่อพ่วง เช่น Input/Output ทรานสดีวเซอร์, วาล์วควบคุม, อินเวอร์เตอร์, อุปกรณ์บันทึกข้อมูล หรือ เครื่องมือวัดอื่น ๆ ดังรูป



รูปที่ 2.23 แสดงการสื่อสารระหว่าง Master กับ Slave

Modbus แบ่งออกเป็น Modbus Serial: ASCII/RTU (เป็นพอร์ตการสื่อสารแบบอนุกรม RS232, RS485, RS422) และ Modbus TCP/IP (LAN) เพื่อให้สอดคล้องกับแนวโน้มของการพัฒนาสื่อสารในปัจจุบันและทุกอย่างที่สามารถเชื่อมต่อกับเครือข่าย Ethernet หรือ Internet เพื่อสื่อสารส่งข้อมูล

- Modbus Serial เป็นการสื่อสารโดยการส่งข้อมูลไปตามสายส่งสัญญาณ Serial ระหว่างตัวอุปกรณ์โดยวิธีการสื่อสารที่ง่ายที่สุดคือการต่อสายสัญญาณ Serial ระหว่าง Master กับ Slave ซึ่งจะเป็นการสื่อสารผ่านพอร์ต RS232 หรือ RS422 หรือการต่อ Master หนึ่งตัวกับ Slave หลายตัว ซึ่งเป็นการสื่อสารผ่านพอร์ต RS485 การรับส่งข้อมูลสามารถเลือกได้ 2 โหมด คือ โหมด ASCII และ โหมด RTU
- Modbus TCP/IP ถูกพัฒนาขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อนำการสื่อสารแบบ Ethernet มาใช้งานกับอุปกรณ์จำพวก Ethernet Device ระยะในการใช้งานสำหรับการเดินสาย (สาย LAN) คือ 100 เมตร โดยสามารถขยายระยะในการสื่อสารได้โดยการใช้อุปกรณ์ Repeater หรือในระบบ LAN จะเรียกอุปกรณ์นี้ว่า Hub หรือ Switch ก็จะสามารถลากสายได้อีก 100 เมตร และยังสามารถต่อ Repeater ขยายระยะทางได้โดยไม่จำกัด ในการสื่อสารโดยทั่วไปมีความเร็ว 100,000,000 บิต ต่อวินาที (100 Mbps) และเชื่อมต่ออุปกรณ์ได้ไม่จำกัดจำนวน

2.15 มอเตอร์ไฟฟ้า

มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลหรือการเคลื่อนที่ของวัตถุ โดยใช้กระแสไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานหลัก ประกอบด้วยขดลวดที่พันรอบแกนโลหะที่วางอยู่ระหว่างขั้วแม่เหล็ก โดยเมื่อผ่านกระแสไฟฟ้า เข้าไปยังขดลวดที่อยู่ระหว่างขั้วแม่เหล็กจะทำให้ขดลวดหมุนไปรอบ ๆ แกน และเมื่อสลับขั้วไฟฟ้าการหมุนของขดลวดจะหมุนกลับทิศทาง

มอเตอร์ไฟฟ้าทำหน้าที่ขับเคลื่อนชิ้นส่วนต่าง ๆ ให้เคลื่อนไหว ซึ่งมอเตอร์จะถูกพบในการใช้งานตั้งแต่ นาฬิกาไฟฟ้า ไปจนถึงมอเตอร์ไฟฟ้าขนาดใหญ่ ที่ใช้สำหรับการใช้งานลากจูงเรือ มอเตอร์สามารถแบ่งออกได้ 2 ชนิด คือ 1) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 2) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

2.15.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่มีโครงสร้างภายในที่แตกต่างจาก มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ ประกอบไปด้วย 2 ส่วนใหญ่ ดังนี้

- 1) สเตเตอร์หรือตัวอยู่กับที่ ประกอบด้วยโครงของมอเตอร์ แกนเหล็กสเตเตอร์ และขดลวด
- 2) โรเตอร์หรือส่วนที่เคลื่อนที่ ประกอบด้วย ขดลวดอาร์เมเจอร์ และแปรงถ่าน

ซึ่งหลักการทำงานพื้นฐาน 2 ส่วนนี้ ทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็กถาวร ซึ่งแหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสตรงมานั้นมาจากแหล่งเดียวกันกับ ขดลวดอาร์เมเจอร์ แต่ในบางครั้งสำหรับมอเตอร์เล็ก ๆ นั้นใช้แม่เหล็กถาวร และขดลวดขุดที่สองอยู่ในส่วนของโรเตอร์ ซึ่งจะจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสตรงเข้าขดลวดนั้นจะทำให้ เกิด แรงในการหมุนของโรเตอร์ ที่เกิดมาจากการกระทำระหว่างขั้วแม่เหล็กของขดลวดใน สเตเตอร์ และ โรเตอร์ ที่ต่างขั้วผลักกันทำให้เกิดการหมุนขึ้นในที่สุด

ประเภทของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงมีดังนี้

- 1) แบบShunt DC Motor เป็นการต่อขดลวด และขดลวดอาร์เมเจอร์ ขนานกัน ดังนั้นกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน ขดลวดสนามและ ขดลวดอาร์เมเจอร์จะไม่เท่ากัน คุณสมบัติการต่อขดลวดแบบนี้คือ มีแรงบิดปานกลาง และความเร็วรอบคงที่ เหมาะสำหรับไปใช้งานกับเครื่องกลึงเจาะ เป็นต้น
- 2) แบบSerie DC Motor เป็นการต่อขดลวดสนาม และขดลวดอาร์เมเจอร์ เป็นแบบอนุกรมกัน ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดทั้ง 2 นั้นจะมีค่าเท่ากัน ซึ่งกระแสจะขึ้นอยู่กับภาระโหลดหรือภาระแกนมอเตอร์ โดยความเร็วมอเตอร์จะลดเมื่อมีโหลดที่เพิ่มขึ้น คุณสมบัติของการต่อขดลวดแบบนี้ คือ แรงบิดสูงมาก และความเร็วจะลดลงเมื่อภาระโหลดเพิ่มขึ้น นิยมใช้งานกับมอเตอร์สตาร์ทเครื่องยนต์ มอเตอร์รถไฟฟ้า เป็นต้น
- 3) แบบCompound Motor เป็นขดลวดสนาม 2 ชุด โดยชุดที่ 1 จะต่ออนุกรมกับ ขดลวดอาร์เมเจอร์ จากนั้นต่อขนานกับขดลวดสนาม คุณสมบัติมอเตอร์ชนิดนี้คือ มีแรงบิดมากกว่าShut Motor แต่น้อยกว่า Serie DC Motor และมีความคงที่มากกว่า Serie DC Motor แต่ไม่เท่า Shunt Motor

2.15.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ เป็นมอเตอร์ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ ประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ๆ ดังนี้

- 1) สเตเตอร์หรือตัวอยู่กับที่ ประกอบด้วยโครงของมอเตอร์ แกนเหล็กสเตเตอร์ และขดลวด
- 2) โรเตอร์หรือส่วนที่เคลื่อนที่ ประกอบด้วย ขดลวดอาร์เมเจอร์ และแปรงถ่าน

ซึ่งหลักการทำงาน ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับคือผ่านแม่เหล็กของกระแสหรือกระแสที่สร้างสนามแม่เหล็ก และสนามแม่เหล็กจะถูกสร้างขึ้นตามกฎมือซ้ายของเฟลมมิง โดยนิ้วโป้งแสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของตัวนำ นิ้วชี้แสดงทิศทางการของสนามแม่เหล็ก และนิ้วกลางแสดงทิศทางการไหลของกระแส เมื่อตัวนำได้รับพลังงานสนามแม่เหล็กใหม่ถูกสร้างขึ้นรอบ ๆ ตัวนำ และสนามแม่เหล็กนี้จะดันสนามแม่เหล็กเดิมเพื่อสร้างแรง ในการเคลื่อนที่

ชนิดมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ แบ่งออกเป็น 2 ชนิด หลัก ๆ

- 1) มอเตอร์ซิงโครนัส เหมาะสำหรับกับงานที่ต้องการความเร็วรอบในการหมุนคงที่และความเร็วรอบย้อนกลับได้
- 2) มอเตอร์อินดักชัน หรือมอเตอร์เหนี่ยวนำ เป็นที่นิยมใช้งานอย่างมาก ในงานอุตสาหกรรมและที่พักอาศัย ซึ่งแบ่งย่อยออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่ ตัวหมุนกรงกระรอก, ตัวหมุนพันด้วยขดลวด, ตัวหมุนแบบเหล็กตัน

2.16 โปรแกรม Arduino IDE

Arduino เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ออกแบบให้สำหรับใช้งานได้ง่าย โดยมีซอฟต์แวร์ Arduino IDE ที่ใช้ภาษาในการเขียนโปรแกรมแกรมคือ ภาษาซี(C/C++) สำหรับการพัฒนา โปรแกรมโปรเจค ให้ใช้ร่วมกับอุปกรณ์ต่าง ๆ เช่น เซนเซอร์, สวิตช์ เป็นต้น ซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้บอร์ดจาก Arduino โดยสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับบอร์ดรุ่นอื่นได้เช่น NodeMCU ESP8266 หรือ NodeMCU ESP32 และสามารถใช้งานร่วมกับ platform อื่น ๆ ได้ ดังนี้ เช่น NETPIE, Anto.io, IoTweet, Blynk, Thinkspeak, Cloudmqtt, thinger.io



รูปที่ 2.24 โปรแกรม Arduino IDE Version 1.8.19

2.17 โปรแกรม Blynk

โปรแกรม Blynk เป็นแพลตฟอร์ม IoT platform สำหรับผู้ที่ริเริ่มหรือผู้ที่ต้องการจะพัฒนาชิ้นงานโครงการ ที่เกี่ยวข้องกับ Internet of Things: IoT ซึ่งสามารถควบคุมหรือสื่อสารส่งและรับข้อมูลไปมาจาก ตัวควบคุมและเซนเซอร์ ผ่านระบบอินเทอร์เน็ต โดยไม่จำเป็นต้องเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต ที่เครือข่ายเดียวกัน

Blynk เป็นแพลตฟอร์มที่เป็นแอปพลิเคชันที่รองรับ ระบบปฏิบัติการ iOS และ Android เพื่อควบคุม กับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ผ่านระบบอินเทอร์เน็ต Blynk ไม่ได้ผูกติดกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ แต่จะเป็นฮาร์ดแวร์ที่สนับสนุนนักพัฒนา จะเชื่อมโยงระหว่างกับอินเทอร์เน็ตผ่านสัญญาณอินเทอร์เน็ตไร้สาย (Wi-fi) หรือแบบมีสาย จะช่วยให้สามารถใช้งานกับอุปกรณ์ของนักพัฒนาให้พร้อมสำหรับ Internet of Things: IoT



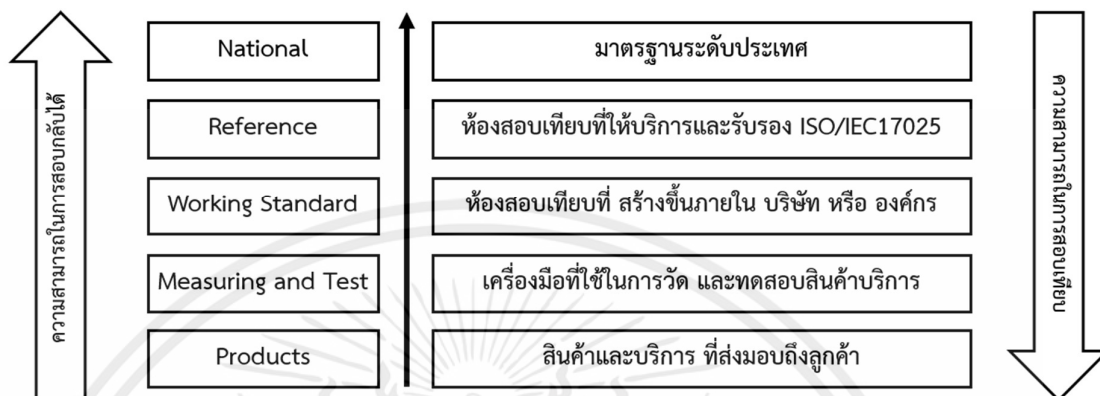
รูปที่ 2.25 การเชื่อมต่อของ ESP32 ผ่านคลาวด์ไปยังโทรศัพท์มือถือ

2.18 การสอบเทียบเครื่องมือวัด (Calibration)

การสอบเทียบเครื่องมือวัด (Calibration) คือ การนำเครื่องมือวัดที่เราต้องการ ใช้งาน ตรวจสอบเพื่อการผลิต หรือทดสอบเพื่อการควบคุมคุณภาพ ในการปฏิบัติงาน, สินค้า หรือ บริการ มาทำการสอบเทียบ กับเครื่องมือมาตรฐาน ที่มีความแม่นยำสูงกว่า เพื่อบ่งชี้ว่า เครื่องมือที่เราใช้งานอยู่นั้น ยังมีความถูกต้องในระดับที่ยอมรับได้อยู่หรือไม่ หรือเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด โดยทั่วไปการสอบเทียบนั้นจะต้องสามารถสอบกลับไปถึงระดับ ประเทศได้ โดยในประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

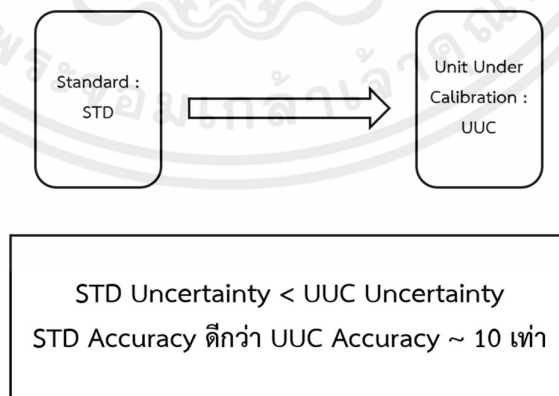
สามารถสอบกลับไป ที่ สถาบัน มาตรฐานแห่งชาติ (www.nimt.or.th) ได้ และสามารถอธิบาย ความสัมพันธ์ได้ดัง รูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 ความสามารถในการสอบเทียบ

ในการสอบเทียบนั้นจะต้องมี เครื่องมือมาตรฐาน (Standard: STD) และเครื่องมือภายใต้การสอบเทียบ (Unit Under Calibrate: UUC) ซึ่งจะอ่านค่าของเครื่องมือทั้งสอง แล้วนำมาหาค่า ความคลาดเคลื่อน Error และประเมินค่า ความไม่แน่นอนจากการวัด และการสอบเทียบ จะมีกระบวนการหลัก ๆ อยู่ 3 แบบ ดังนี้

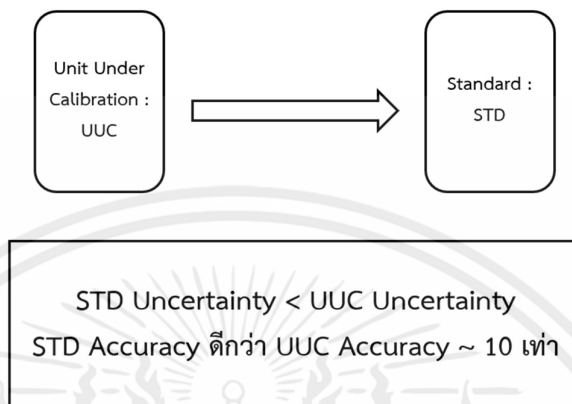
1) เครื่องมือมาตรฐาน (STD) สามารถตั้งค่า และ เครื่องมือภายใต้การสอบเทียบ (UUC) เป็นตัวอ่านค่า เช่น การสอบเทียบ Multimeter โดยใช้ Multi-calibrator (STD) เป็นตัวจ่ายค่ามาตรฐาน และอ่านค่าที่ Multimeter (UUC)



รูปที่ 2.27 เครื่องมือมาตรฐาน (STD) สามารถตั้งค่า และ เครื่องมือภายใต้การสอบเทียบ (UUC)

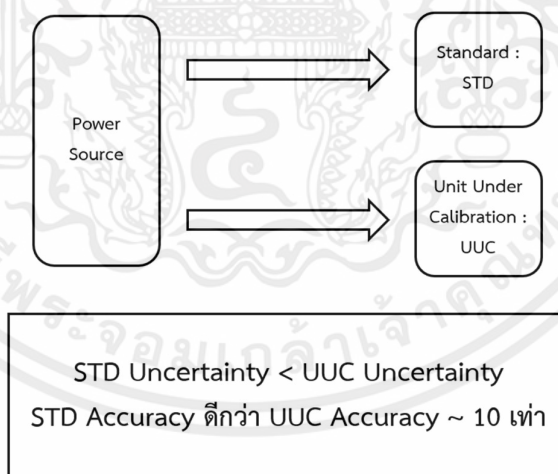
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) เครื่องมือมาตรฐาน (STD) เป็นตัวอ่านค่า และ เครื่องมือภายใต้การสอบเทียบ (UUC) เป็นตัวจ่ายค่า เช่น การสอบเทียบ Multi-calibrator โดยจะใช้ Multi-calibrator เป็นตัวจ่ายค่า แล้วใช้ Meter ที่มีค่า Accuracy ดีกว่า (เช่น Meter-10 หลัก เป็นต้น)

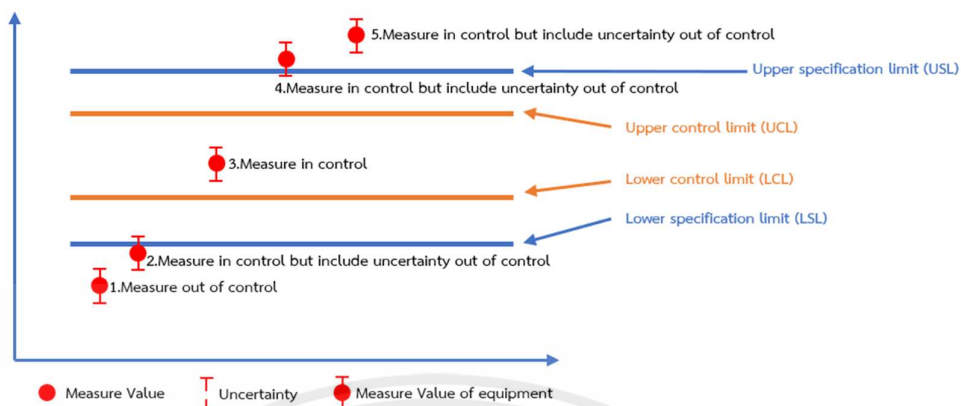


รูปที่ 2.28 เครื่องมือมาตรฐาน (STD) เป็นตัวอ่านค่า และ เครื่องมือภายใต้การสอบเทียบ (UUC)

3) เครื่องมือมาตรฐาน (STD) และ เครื่องมือภายใต้การสอบเทียบ (UUC) เป็นตัวอ่านค่า แล้วใช้ แหล่งจ่ายค่าอื่นเป็นตัวจ่ายค่า และอ่านค่าการวัด ณ เวลาเดียวกัน เช่น การสอบเทียบ High Voltage Capacitive divider



รูปที่ 2.29 เครื่องมือมาตรฐาน (STD)และเครื่องมือภายใต้การสอบเทียบ (UUC)



รูปที่ 2.30 การพิจารณาเลือกใช้เครื่องมือวัดมาใช้งาน

อีกเรื่องที่สำคัญ ในการพิจารณาเลือกใช้เครื่องมือวัดมาใช้งาน จะต้องคำนึงถึงค่า ความไม่แน่นอนจากการวัด (Uncertainty) ในการอ่านค่าที่ได้จากเครื่องมือวัดค่า นั้นเราต้องคำนึงถึง ค่าความไม่แน่นอนของการวัด (Uncertainty) ด้วย จาก รูปที่ 2 สามารถอธิบาย ดังนี้

หมายเลข 1, 5 คือ การวัดค่าเมื่อรวมค่า ความไม่แน่นอนของเครื่องมือวัดแล้วเราจะพบว่า ค่าที่ได้จากเครื่องมือนี้ อยู่นอก Specification ($5 > USL$, $1 < LSL$) ที่ต้องการ ดังนั้น **ใช้งานไม่ได้**

หมายเลข 3 คือ การวัดค่าเมื่อรวมค่า ความไม่แน่นอนของเครื่องมือวัดแล้วเราจะพบว่า ค่าที่ได้จากเครื่องมือนี้ อยู่ใน Specification ($USL > 3 > LSL$) ที่ต้องการ ดังนั้น **ใช้งานได้**

หมายเลข 2 คือ การวัดค่าเมื่ออ่านค่าแล้วอยู่นอก Specification แต่เมื่อรวมค่า ความไม่แน่นอนของเครื่องมือวัด แล้วเราพบว่า ค่าที่อ่านได้นั้นอาจอยู่ใน Specification ในทางมาตรวิทยา ดังนั้น **ใช้งานไม่ได้**

หมายเลข 4 คือ การวัดค่าเมื่ออ่านค่าแล้วอยู่ใน Specification แต่เมื่อรวมค่า ความไม่แน่นอนของเครื่องมือวัด แล้วเราพบว่า ค่าที่อ่านได้นั้นอาจอยู่นอก Specification ในทางมาตรวิทยา ดังนั้น **ใช้งานไม่ได้**

เพื่อแก้ไขปัญหานี้ เราจึงต้องทำการกำหนดค่า Upper control limit (UCL: จุดควบคุมด้านบน) และ Lower control limit (LCL: จุดควบคุมด้านล่าง) โดยสามารถคำนวณได้จาก

$$UCL = USL - \text{Uncertainty} \quad (2.9)$$

$$LCL = LSL + \text{Uncertainty} \quad (2.10)$$

อย่างไรก็ตาม การรายงานค่า Uncertainty จะรายงานที่ค่าความเชื่อมั่น 95% (K=2) ซึ่งหมายความว่าในการวัดค่าเดิมซ้ำ ๆ จำนวน 100 ครั้ง จะมีความน่าจะเป็นที่มีค่าถูกต้อง 95 ครั้ง ดังนั้นถ้าเรา ไม่สามารถรับค่าที่ความเชื่อมั่นนี้ได้ก็สามารถขยับไปที่ 99.7% (K=3) โดย

$$UCL = USL + \left(\frac{\text{Uncertainty} \times 3}{2} \right) \quad (2.11)$$

$$LCL = LSL + \left(\frac{\text{Uncertainty} \times 3}{2} \right) \quad (2.12)$$

ข้อควรระวังเมื่อเรากำหนด LCL และ UCL ที่ที่ค่าแคบมาก ๆ ก็อาจจะส่งผลต่อ ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจากการผลิตได้ ในการเลือก วิธีการสอบเทียบ หรือผู้ให้บริการจึงควรคำนึงถึงเรื่องนี้ด้วย ควรเลือกให้เหมาะสมกับ กระบวนการและต้นทุนจากตัวอย่างข้างต้น เราจะพบว่าค่า Uncertainty นั้นมีความสำคัญต่อการวัด

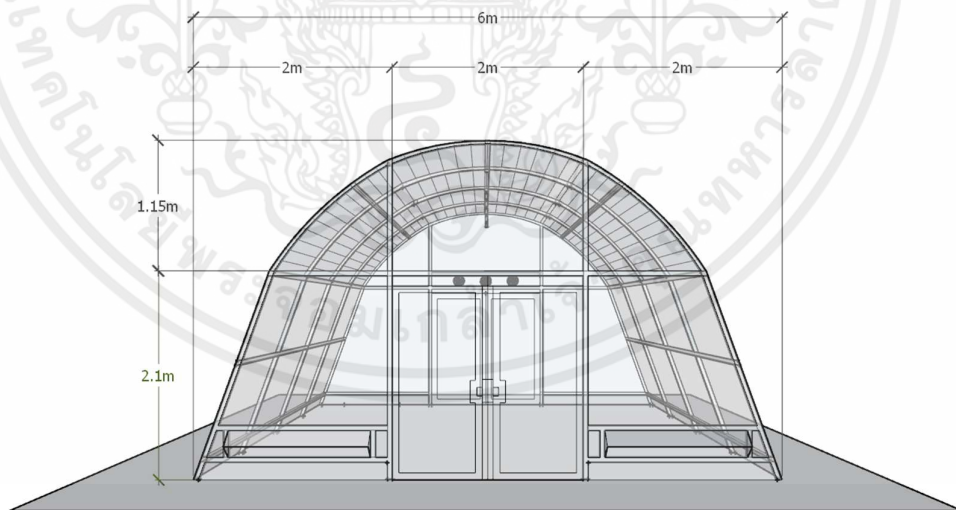
บทที่ 3

การออกแบบและการทำงาน

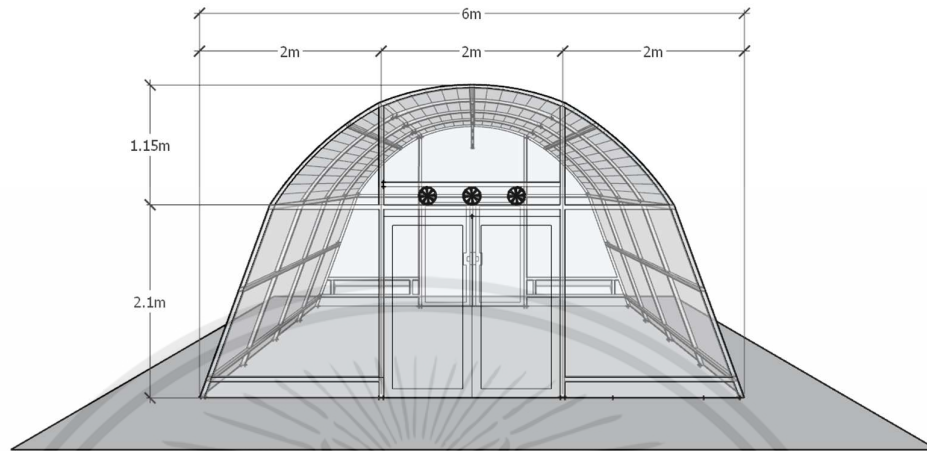
3.1 การออกแบบโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะและการทำงานของระบบ

3.1.1 การออกแบบโรงเรือนพลังงานอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

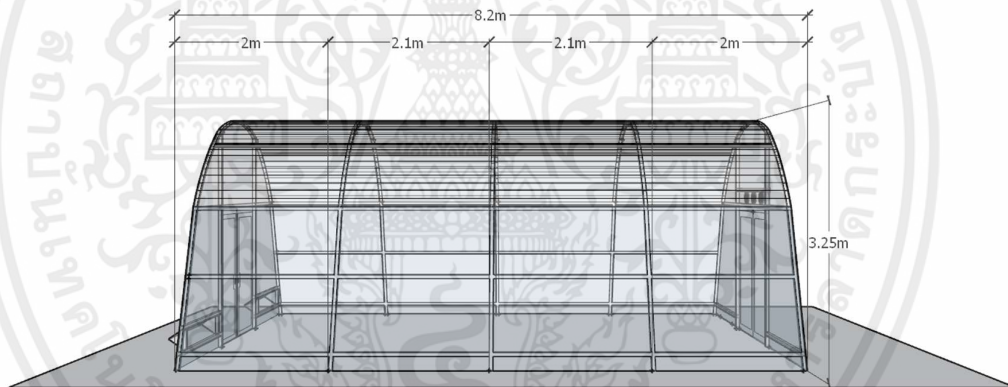
การออกแบบโรงเรือนพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะจะมีโครงสร้างแบบเรือนกระจก (Greenhouse) เป็นรูปพาราโบลา มีขนาดกว้าง 6 เมตร ยาว 8.20 เมตร สูง 3.25 เมตร ปิดคลุมด้วยแผ่นโพลีคาร์บอเนต เพื่อให้เกิดหลักการเรือนกระจก คือ เมื่อรังสีดวงอาทิตย์ผ่านแผ่นโพลีคาร์บอเนต ไปยังผลิตภัณฑ์บางส่วนจะตกกระทบพื้นของระบบอบแห้ง ทำให้ภายในระบบของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ มีอุณหภูมิสูงขึ้น รังสีอินฟราเรดในแสงแดดถูกเก็บกักไว้ภายในของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เนื่องจากไม่สามารถผ่านแผ่นโพลีคาร์บอเนตออกไปได้ อุณหภูมิภายในระบบจึงสูงขึ้น น้ำในผลิตภัณฑ์จะระเหยออกมา และถูกพัดลมดูดอากาศด้านหลังของระบบดูดออกไปภายนอก อากาศภายนอกจะไหลเข้ามาแทนที่ จึงทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งเร็วกว่าการตากแดดตามธรรมชาติ ประหยัดเวลา ช่วยป้องกันฝนและแมลงรบกวน



รูปที่ 3.1 โครงสร้างด้านหน้า(ออกแบบ)



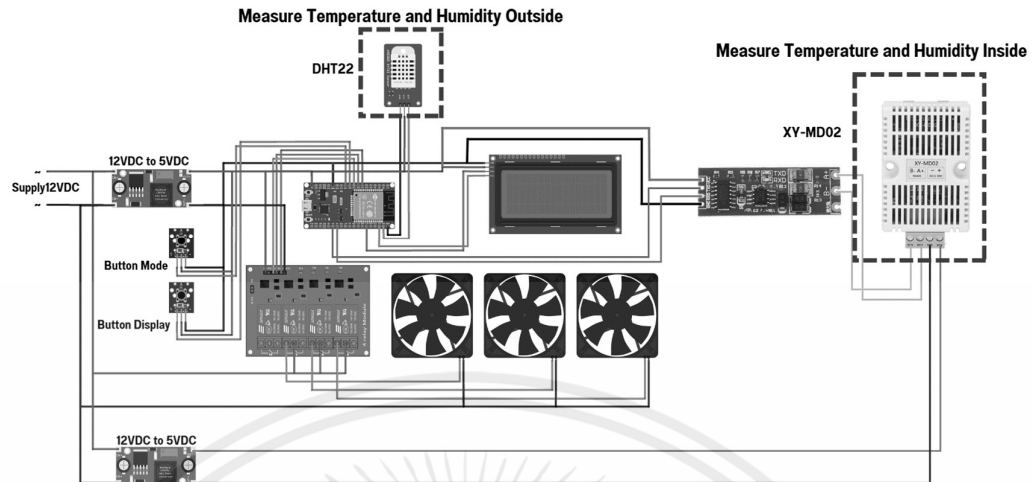
รูปที่ 3.2 โครงสร้างด้านหลัง(ออกแบบ)



รูปที่ 3.3 โครงสร้างด้านหลัง(ออกแบบ)

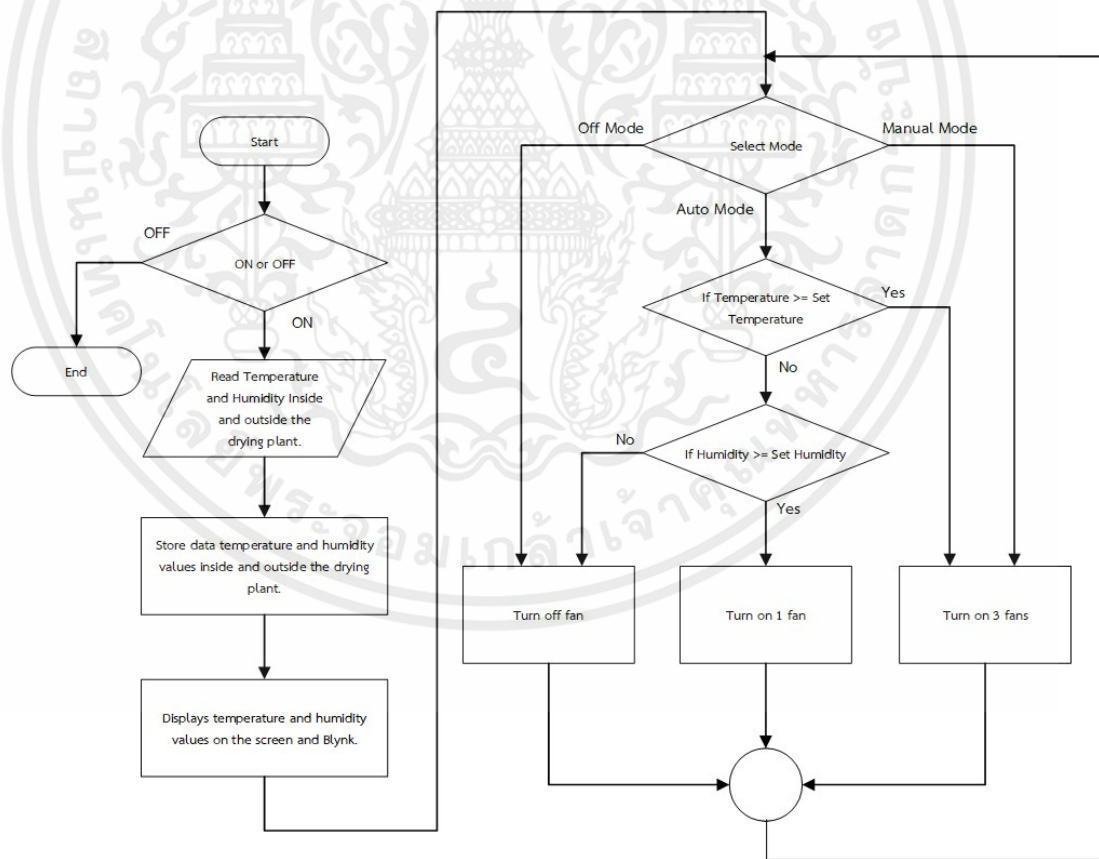
3.1.2 การออกแบบระบบควบคุม

พัดลมจะถูกควบคุมผ่านระบบ IoT โดยเมื่อมีอุณหภูมิสูงเกินตามที่ตั้งค่าไว้รับค่าจากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น XY-MD02 ส่งค่ามาเป็น RS485 ไปยัง Microcontroller ESP32 จะสั่งการให้พัดลมดูดอากาศด้านหลังของระบบดูดออกไปภายนอก อากาศภายนอกจะไหลเข้ามาแทนที่ เพื่อลดความชื้นและอุณหภูมิให้อยู่ในค่าที่ต้องการ จะช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการอบแห้งสามารถอบแห้งได้เร็วมาก



รูปที่ 3.4 การออกแบบระบบควบคุม

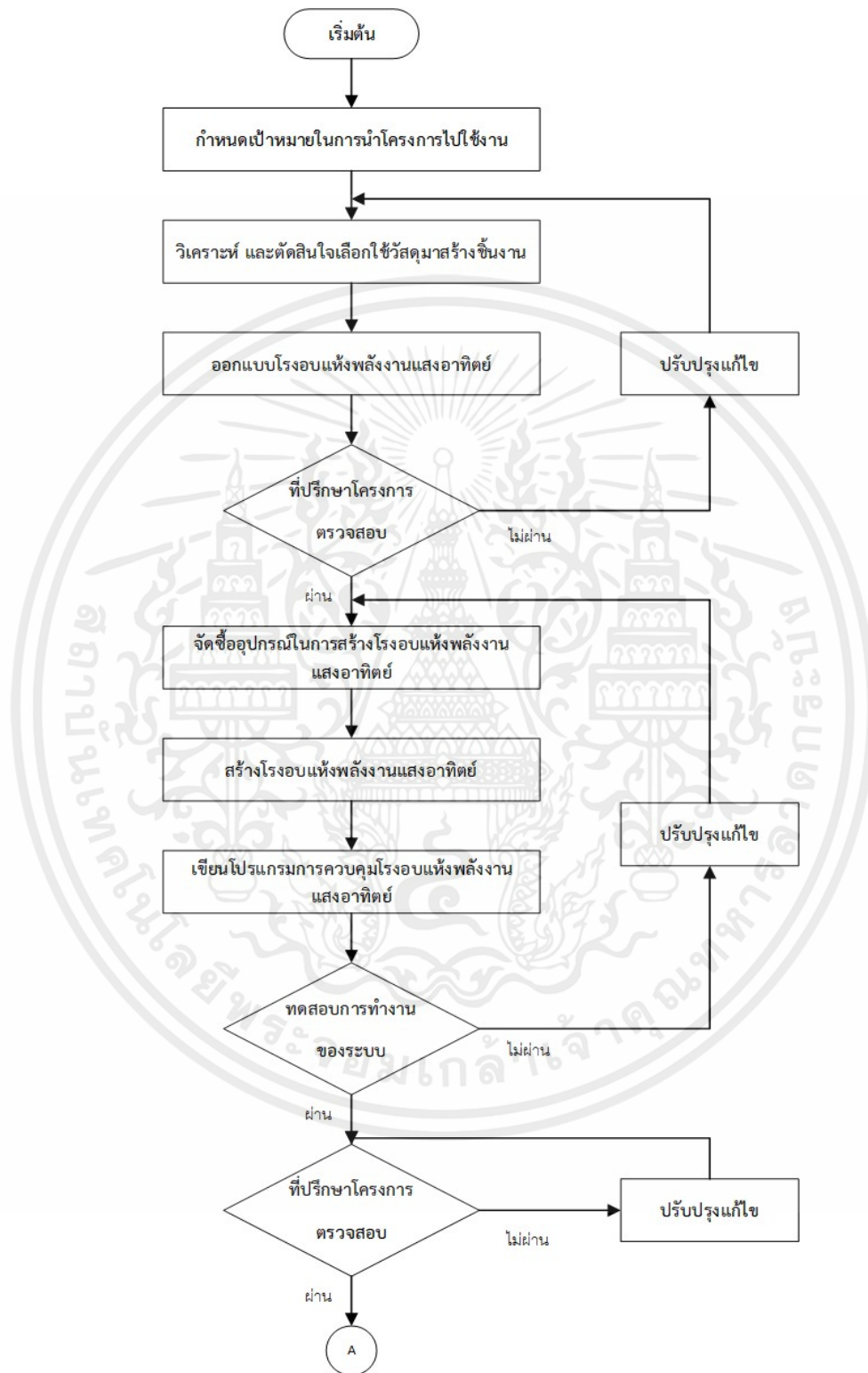
3.1.3 ขั้นตอนการทำงานของระบบควบคุม



รูปที่ 3.5 Flow chart แสดงวิธีการทำงานของระบบควบคุม

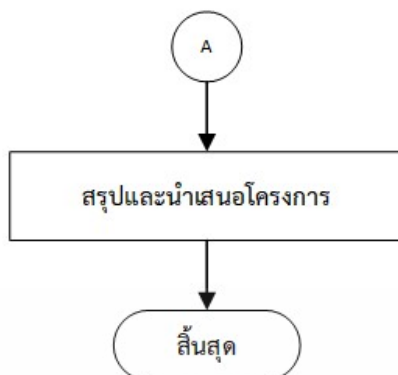
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วิธีดำเนินงาน



รูปที่ 3.6 Flow chart แสดงวิธีดำเนินงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 Flow chart แสดงวิธีดำเนินงาน(ต่อ)

3.3 การสร้างโรงเรือนอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ

3.3.1 การสร้างโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

ขนาดโรงอบแห้งจะมีขนาดกว้าง 6 เมตร ยาว 8.20 เมตร สูง 3.25 เมตร เลือกการสร้างแบบพาราโบลาโดม โดมลักษณะนี้จะมีความสะดวกเป็นที่นิยมใช้งานในการตากหรืออบแห้งต่าง ๆ ติดตั้งได้ง่าย และช่วยลดการสะท้อนของรังสีความร้อนภายใน ทำให้รื้อไหลออกได้อย่าง การสร้างโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ จะแบ่งออกเป็นสองส่วนหลัก ๆ คือ การสร้างโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ และฐานยึดแผงโซล่าเซลล์ การสร้างโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์จะต้องทำการสำรวจพื้นที่ก่อนอันดับแรก เนื่องจากพื้นที่หน้างานได้มีพื้นคอนกรีตที่มีขนาดกว้าง 6 เมตร ยาว 8.20 เมตรมาให้ จึงสามารถทำให้ลดระยะเวลาการทำงานไปมากขึ้น เมื่อทำการสำรวจเสร็จก็จะเริ่มปฏิบัติลงมือสร้างโรงอบแห้งได้



รูปที่ 3.8 สำรวจพื้นที่



รูปที่ 3.9 เริ่มทำการวัดพื้นที่เพื่อหาจุดติดตั้ง



รูปที่ 3.10 โครงสร้างในการสร้างโรงอบแห้ง



รูปที่ 3.11 ตัดส่วนโค้งของโรงอบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 เริ่มทำการสร้างโครงสร้างโรงอบแห้ง



รูปที่ 3.13 ติดตั้งโพลีคาร์บอนเนต



รูปที่ 3.14 หลังติดตั้งโพลีคาร์บอนเนต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 ติดตั้งประตูภายในโรงอบแห้ง



รูปที่ 3.16 เจาะช่องเพื่อติดตั้งพัดลม



รูปที่ 3.17 ติดตั้งท่อเดินสายไฟสำหรับระบบควบคุม

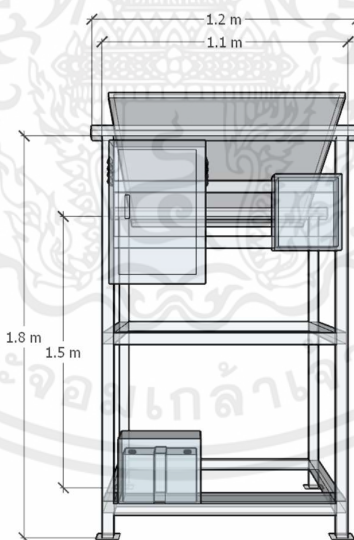
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



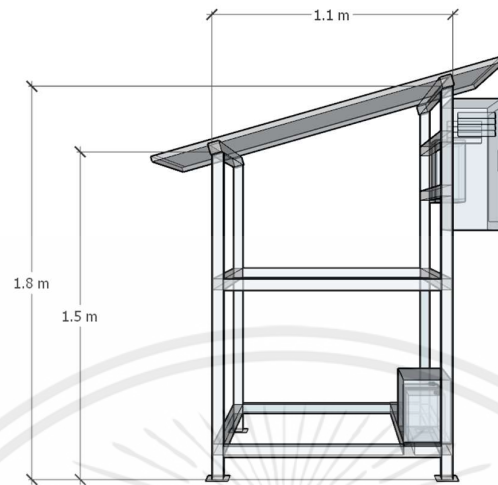
รูปที่ 3.18 ติดตั้งพัดลมระบายอากาศ

3.3.2 ฐานยึดแผงโซล่าเซลล์

ในส่วนนี้จะเป็นการสร้างฐานยึดแผงโซล่าเซลล์ เนื่องจากโซล่าเซลล์ต้องรับแสงให้เต็มที่ถึงจะสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงต้องทำการวัดมุมการวางโซล่าเซลล์ให้อยู่ในมุมตามค่ามาตรฐานโดยมุมในการติดตั้งโซล่าเซลล์ควรติดตั้งให้หันไปทางทิศใต้เนื่องจากจะได้รับแสงได้ทั้งวันและการทำมุมที่ดีคือ ประมาณ 10 ถึง 15 องศา จะมีขนาดดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.19 ด้านหน้าฐานโซล่าเซลล์



รูปที่ 3.20 ด้านข้างฐานโซล่าเซลล์

โดยการหามุมจะใช้สูตรตรีโกณมิติโดยมีสมการดังนี้

$$\tan^{-1} = \left(\frac{a}{b} \right)$$

(3.1)

โดย **a** คือ ด้านมุมข้ามฉาก

b คือ ด้านมุมชิดฉาก

เมื่อทราบค่าสมการแล้วก็ทำการแทนค่าลงไปในสมการ 3.1 ดังนี้

$$\begin{aligned} \tan^{-1} &= \left(\frac{30}{110} \right) \\ &= 15.225^\circ \end{aligned}$$

จากสูตรคำนวณก็ได้มุมอยู่ที่ 15.225 องศา ซึ่งเป็นค่าที่สามารถยอมรับได้ว่าสามารถทำให้แผงสามารถได้รับแสงอาทิตย์ได้เต็มที่ และมีขั้นตอนการสร้างดังรูป



รูปที่ 3.21 ตัดเหล็กเพื่อทำฐานโซล่าเซลล์



รูปที่ 3.22 ทำการเชื่อมโครงสร้างฐาน



รูปที่ 3.23 วัดขนาดหามุมติดตั้งโซล่าเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.24 ติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์กับฐาน



รูปที่ 3.25 ติดตั้งตู้ระบบควบคุม

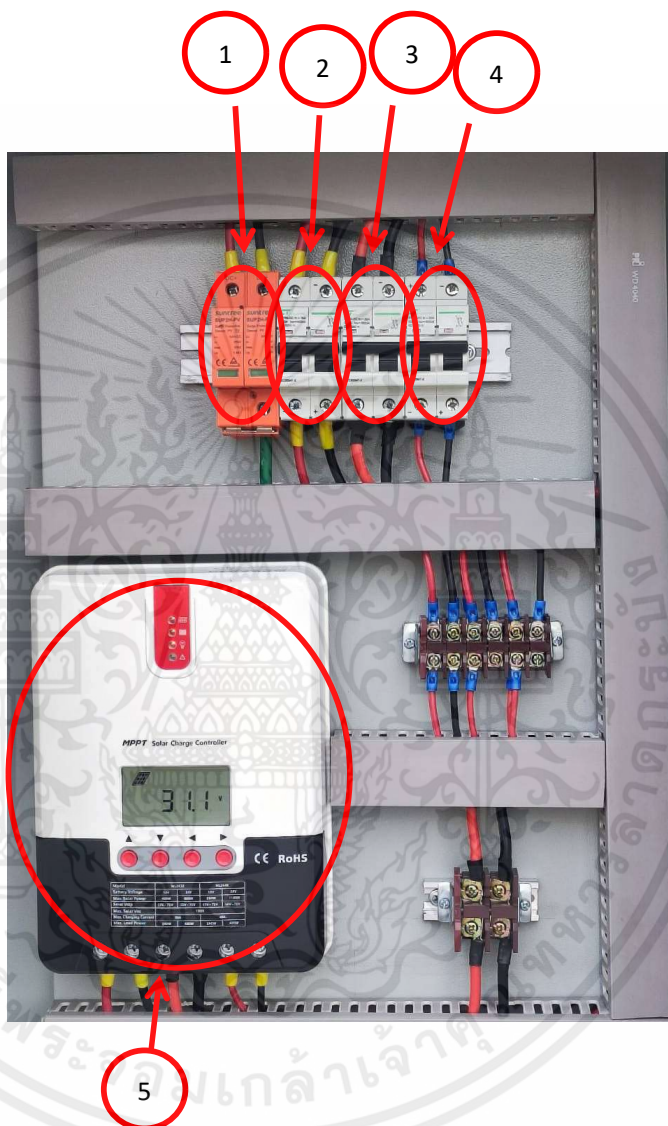


รูปที่ 3.26 ติดตั้งตู้ระบบกำลังไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ระบบ Solar Cell

ในการทำระบบกำลังไฟฟ้าหรือระบบ Solar Cell ของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ อัจฉริยะจะมีการวางตำแหน่งอุปกรณ์ดังนี้



รูปที่ 3.27 ภายในชุดระบบ Solar cell

ระบบในส่วนนี้จะเป็นส่วนระบบให้พลังงานแก่วจรควบคุมทั้งหมด โดยจะรับพลังงานจาก แสงอาทิตย์มาเป็นพลังงานไฟฟ้าผ่านโซลาร์เซลล์แบบโมโนขนาด 380W เข้ามายังเซอร์กิตเบรกเกอร์ผ่านไปยังชุดโซลาร์ชาร์จเจอร์แบบ MPPT 30A เพื่อเป็นตัวชาร์จไฟให้แก่แบตเตอรี่ไฮโดรเจลขนาด 12V 100A โรงอบแห้งนี้จะใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นหลักจะไม่ไปยุ่งเกี่ยวกับไฟฟ้าจากครัวเรือนจึงสามารถลดค่าใช้จ่ายตรงนี้ได้ อีกทั้งสามารถใช้งานระบบควบคุมตอนที่ไม่มีแสงแดดได้เพื่อควบคุมอุณหภูมิความชื้นได้ตามที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเลข 1 คือ ตัวป้องกันฟ้าผ่าไฟฟ้ากระแสตรง (DC Surge Protection) มีหน้าที่สำหรับการป้องกันการเสียหายของอุปกรณ์จากการฟ้าผ่า เนื่องจากสถานที่ตั้งแผงโซลาร์เซลล์จะอยู่ข้างนอกกลางแจ้งจึงจำเป็นต้องมีตัวป้องกันการฟ้าผ่า

หมายเลข 2 คือ เซอร์กิตเบรกเกอร์แผงโซลาร์เซลล์ (Circuit Breaker for Solar cell) มีหน้าที่สำหรับการป้องกันกระแสเกินจากแผงโซลาร์เซลล์หรือป้องกันการลัดวงจรจากไฟฟ้าที่มาจากแผง

หมายเลข 3 คือ เซอร์กิตเบรกเกอร์แบตเตอรี่ (Circuit Breaker for Battery) มีหน้าที่สำหรับการป้องกันกระแสเกินจากแบตเตอรี่หรือป้องกันการลัดวงจรจากไฟฟ้าที่มาจากแบตเตอรี่

หมายเลข 4 คือ เซอร์กิตเบรกเกอร์โหลด (Circuit Breaker for Load) มีหน้าที่สำหรับการป้องกันกระแสเกินจากการใช้งานของโหลดหรือป้องกันการลัดวงจรจากไฟฟ้าที่มาจากแผงโซลาร์เซลล์

หมายเลข 5 คือ โซลาร์ชาร์จเจอร์แบบ MPPT 30A (MPPT Solar Charger 30A) มีหน้าที่สำหรับ ควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ไปสู่แบตเตอรี่ และจ่ายเข้าสู่โหลด โดยที่โซลาร์ชาร์จเจอร์แบบ MPPT (Maximum Power Point Tracking) จะมีตัวควบคุมชาร์จเจอร์ที่มีระบบตรวจจับสัญญาณเพื่อทำหน้าที่ควบคุมดูแลสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์



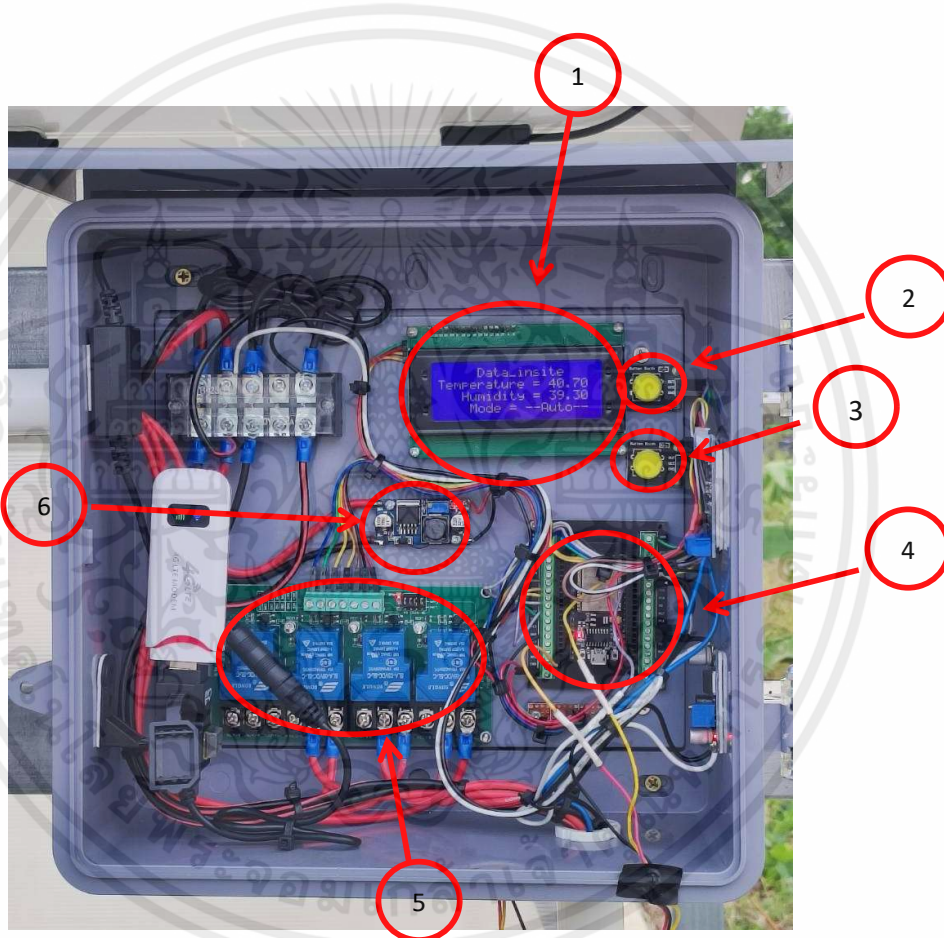
รูปที่ 3.28 ภายนอกชุดระบบ Solar cell

หมายเลข 6 คือ โซลาร์เซลล์ขนาด 380 Watt MPPT (Solar cell 380 Watt) มีหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแสงอาทิตย์ให้แก่โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะทั้งหมด มีขนาด 380W ซึ่งเพียงพอต่อการจ่ายไฟในช่วงเวลากลางวันให้แก่โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ

หมายเลข 5 คือ แบตเตอรี่ขนาด 12 V 100 Ah (Battery 12V 100Ah) มีหน้าที่เป็นอุปกรณ์เก็บประจุไฟฟ้าให้แก่โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะทั้งหมด มีขนาด 12V 100Ah ซึ่งเพียงพอต่อการใช้งานในการอบแห้งทั้งวันหากไม่ใช้งานแผงโซลาร์เซลล์

3.5 ระบบควบคุมโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ

ในการทำระบบควบคุมโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะจะมีการวางตำแหน่งอุปกรณ์ดังนี้



รูปที่ 3.29 ภายในชุดควบคุมระบบ

ระบบส่วนนี้เป็นการควบคุมระบบภายในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยมีหัวใจหลักสำคัญ คือ Microcontroller ESP32 NodeMCU เป็นบอร์ดควบคุมแบบระบบ Wi-Fi สามารถควบคุมหรือสั่งการการทำงานระยะไกลได้ จะรับอินพุตจากเซนเซอร์อุณหภูมิความชื้นจาก XY-MD02 ส่งสัญญาณมายัง TTL to RS485 เพื่อแปลงค่าเป็น TTL ส่งค่าไปยังบอร์ด ESP32 เมื่อถึงค่าที่กำหนดจะส่งสัญญาณไปยัง Relay เพื่อสั่งให้ทำงานพัดลมระบายความชื้นและอากาศ อีกทั้งยังสามารถ

ควบคุมผ่านแอปพลิเคชัน Blynk สามารถแสดงผลการทำงานผ่านแอปได้ และควบคุมการทำงานผ่านระยะไกลได้

หมายเลข 1 คือ จอ LCD I2C ขนาด 20x4 (LCD I2C 20x4) มีหน้าที่สำหรับแสดงผลอุณหภูมิความชื้นในการทำงานของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ โดยจะแสดงผลอุณหภูมิความชื้นทั้งข้างในและข้างนอกโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

หมายเลข 2 คือ ปุ่มกด (Push Button) ใช้สำหรับเปลี่ยนการแสดงผลของจอ LCD แก้ไขการทำงานของพัดลมภายในโรงอบแห้ง

หมายเลข 3 คือ โมดูลแปลงสัญญาณ TTL to Rs485 (Module convert TTL to Rs485) มีหน้าที่แปลงสัญญาณจาก TTL เป็น Rs485 เพื่อขยายระยะสัญญาณการส่งข้อมูลให้สามารถส่งและรับได้ไกลมากขึ้น เนื่องจากเซนเซอร์ที่ใช้ต้องการระยะส่งสัญญาณที่ไกล

หมายเลข 4 คือ บอร์ดควบคุม ESP32 (Microcontroller ESP32) เป็นหัวใจหลักของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ เนื่องจากเป็นตัวควบคุมทุกอย่างทั้งอุณหภูมิและความชื้นจะนำค่านี้มาเพื่อควบคุมพัดลมระบายอากาศเพื่อให้อากาศถ่ายเทได้ไและลดความชื้นทำให้การอบแห้งเกิดขึ้นได้ไว

หมายเลข 5 คือ รีเลย์ขนาด 12V (Relay Switch 12V) มีหน้าที่ควบคุมการทำงานของพัดลม 12V เพื่อระบายอากาศโดยจะรับอินพุตมาจากบอร์ดควบคุม ESP32

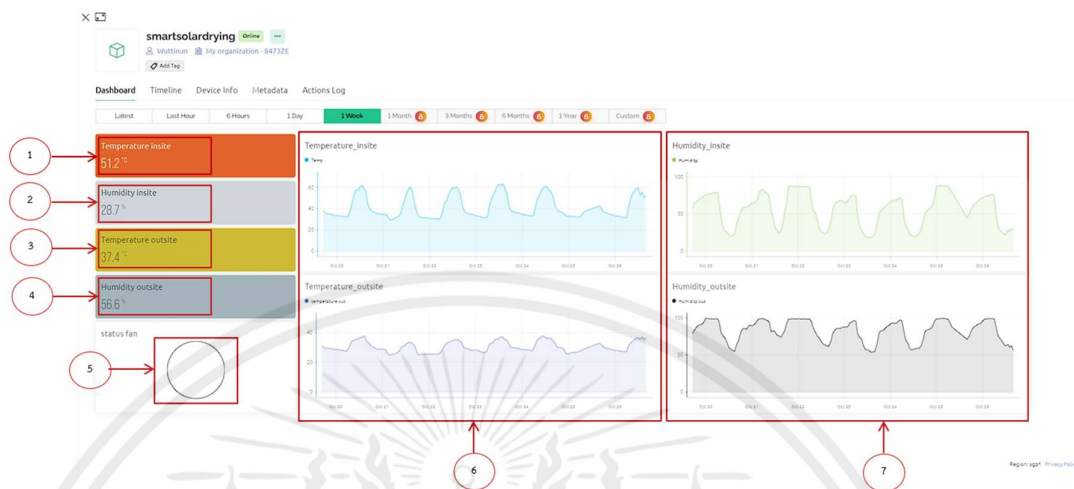
หมายเลข 6 โมดูลลดแรงดัน (DC-DC Step down Converter) ทำการลดแรงดันที่มาจากชุดกำลังไฟฟ้าจาก 12V ให้เหลือ 5V เพื่อนำมาใช้งานกับชุดระบบควบคุมทั้งหมด



รูปที่ 3.30 เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงอบแห้ง

หมายเลข 7 คือ เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น XM-YD02 (Sensor Temperature and Humidity XM-YD02) ทำหน้าที่วัดอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ และส่งค่าไปยังบอร์ดควบคุมเพื่อทำการแสดงผลค่าต่าง ๆ และนำค่าต่าง ๆ มาควบคุมพัดลมเพื่อระบายความชื้นออก

3.6 การแสดงผลในแอปพลิเคชัน Blynk



รูปที่ 3.31 แอปพลิเคชัน Blynk

ในหน้าต่างของแอปพลิเคชันนี้จะแสดงข้อมูลสถานะต่าง ๆ ภายในโรงอบแห้งจะบอกอุณหภูมิภายในโรงอบแห้งและภายนอกโรงอบแห้ง สามารถเลือกดูอุณหภูมิตามช่วงเวลาได้ มีสถานะการทำงานของพัดลมให้ดูได้ อีกทั้งสามารถเก็บค่าอุณหภูมิความชื้นเพื่อติดตามผลย้อนหลังได้

หมายเลข 1 คือ อุณหภูมิภายในโรงอบแห้ง (Temperature Inside) เป็นค่าอุณหภูมิที่ใช้ดูภายในโรงอบแห้งโดยจะมีค่าอยู่ที่ 40°C ถึง 50°C ช่วงที่แดดจัด

หมายเลข 2 คือ ความชื้นภายในโรงอบแห้ง (Humidity Inside) เป็นค่าความชื้นที่ใช้ดูภายในโรงอบแห้ง หากได้มีการอบแห้งจะมีความชื้นสูงและค่อยลดลงเหลือ 20% หรือต่ำกว่าภายในโรงอบแห้ง

หมายเลข 3 คือ อุณหภูมิภายนอกโรงอบแห้ง (Temperature Outside) เป็นค่าอุณหภูมิที่ใช้ภายนอกโรงอบแห้งเพื่อนำมาเทียบกับอุณหภูมิภายในโรงอบแห้ง

หมายเลข 4 คือ ความชื้นภายนอกโรงอบแห้ง (Humidity Outside) เป็นค่าความชื้นที่ใช้ดูภายนอกโรงอบแห้งเพื่อนำมาเทียบกับความชื้นภายในโรงอบแห้ง

หมายเลข 5 คือ สถานะการทำงานของพัดลม (Fan Status) จะบอกสถานะการทำงานของพัดลมภายในโรงอบแห้ง

หมายเลข 6 คือ กราฟแสดงผลอุณหภูมิ (Graph Temperature) จะแสดงค่าอุณหภูมิในรูปแบบกราฟ

หมายเลข 7 คือ กราฟแสดงผลความชื้น (Graph Humidity) จะแสดงค่าความชื้นในรูปแบบกราฟ

3.7 การสอบเทียบ

การสอบเทียบเซนเซอร์จะสอบเทียบกับตัวมีค่ามาตรฐาน (Standard) คือ VAISALA HM40 โดยจะเทียบการวัดในแต่ละจุดรอบ ๆ ภาควิชาวิศวกรรมกรรมการวัดคุมทั้งหมด 6 จุดทดสอบ โดยมีจุดทดสอบดังนี้

จุดที่ 1. แลป Control Valve

จุดที่ 2. หน้าภาค

จุดที่ 3. ด้านข้างภาค

จุดที่ 4. หลังภาค

จุดที่ 5. ห้องปิงปอง

จุดที่ 6. คาดฟ้า

จะทำการวัดจุดละ 3 รอบ เก็บค่าทุก ๆ 10 นาที และนำค่าทั้งหมดมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อมาหาความแตกต่างระหว่าง Standard กับเซนเซอร์ที่เชื่อว่ามีความห่างกันเท่าไร และต้องแก้ไขยังไง



รูปที่ 3.32 จุดที่ 1 แลป Control Valve



รูปที่ 3.33 จุดที่ 2 ด้านหน้าภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.34 จุดที่ 3 ด้านข้างภาค



รูปที่ 3.35 จุดที่ 4 ด้านข้างภาค



รูปที่ 3.36 จุดที่ 5 ห้องปิงปอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.37 จุดที่ 6 ดาดฟ้าภาค

โดยเมื่อทำการวัดแต่ละจุดทดสอบแล้ว จะเก็บข้อมูล และหาค่าเฉลี่ยเพื่อทำข้อสรุปดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1 ค่าเฉลี่ยการสอบเทียบเซนเซอร์

สถานที่	Standard	XY-MD02	DHT22
แลป Control Valve	25.86°C / 48.53	26.93°C / 52.3	26.6°C / 59.46
หน้าภาค	29.93°C / 63.7	28.96°C / 70.6	29.6°C / 77.86
ด้านข้างภาค	32.36°C / 57.56	32.26°C / 66	32.4°C / 70.5
หลังภาค	32.7°C / 57.933	33.77°C / 58.2	33.46°C / 67.66
ห้องปิ้งปอง	25.5°C / 36.46	27.133°C / 37.6	26.3°C / 49.96
ดาดฟ้า	35°C / 48.8	34.82°C / 61.9	35.46°C / 60.56

ตารางที่ 3.2 ค่าความผิดพลาดการสอบเทียบเซนเซอร์

สถานที่	Standard	XY-MD02	DHT22
แลป Control Valve	25.86°C / 48.53	-1.07°C / -3.77	-0.74°C / -10.93
หน้าภาค	29.93°C / 63.7	0.97°C / -6.9	0.33°C / -14.16
ด้านข้างภาค	32.36°C / 57.56	0.1°C / -8.44	-0.04°C / -12.94
หลังภาค	32.7°C / 57.933	-1°C / -0.267	-0.76°C / -9.727
ห้องปิ้งปอง	25.5°C / 36.46	-1.633°C / -1.14	-0.8°C / -13.5
ดาดฟ้า	35°C / 48.8	0.18°C / -13.1	-0.46°C / -11.76

ตารางที่ 3.3 ค่าความไม่แน่นอนการสอบเทียบเซนเซอร์

สถานที่	Standard	XY-MD02	DHT22
แลป Control Valve	25.86°C / 48.53	0.1 / 2	0.081 / 0.936
หน้าภาค	29.93°C / 63.7	0.32 / 0	0.321 / 0.833
ด้านข้างภาค	32.36°C / 57.56	0.145 / 0	0.1527 / 0.5859
หลังภาค	32.7°C / 57.933	0 / 0	0.033 / 0.088
ห้องปิ้งปอง	25.5°C / 36.46	0.033 / 0	0 / 0.088
ดาตฟ้า	35°C / 48.8	0.176 / 0	0.088 / 0.266

จากตารางการสอบเทียบเมื่อเทียบกับตัว Standard เซนเซอร์ที่เราใช้ในโรงคือ XY-MD02 มีค่า Error อยู่ที่ $\pm 1^{\circ}\text{C}$ อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และค่าความชื้นจะมี Error ที่ต่างกันบางที่ ขึ้นอยู่กับจุดวัดแต่ละจุด โดยเมื่อได้ทราบค่าเฉลี่ยแต่ละตัวที่ทำการสอบเทียบ ต่อไปเราก็จะทำการชดเชยให้ค่าอยู่ในเกณฑ์เดียวกับ Standard ที่เราใช้ทำการสอบเทียบ โดยไปแก้ไขในโค้ดของคอนโทรลเลอร์

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะเป็นการบอกผลการดำเนินการจากบทที่ 3 ประกอบไปด้วยการจัดทำโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์, การจัดทำตู้ระบบควบคุมระบบคอนโทรล และการทดลองตากแห้งปลาในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ และได้ทำการทดลองการอบแห้งปลา

4.2 ผลการจัดทำโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

หลังจากดำเนินการจัดทำโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ตามทีออกแบบไว้ในบทที่ 3 ดังนี้



รูปที่ 4.1 ด้านหน้าโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 4.2 ด้านข้างโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 4.3 ด้านหลังโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

จากรูป ด้านหน้าโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ด้านหน้าจะมีช่องลมสำหรับไว้ให้ลมเข้าโดยจะเป็นอากาศแห้งเข้าไปแทนที่ อากาศที่ขึ้นภายในโรงอบแห้ง และถูกระบายออกด้วยพัดลมดูดอากาศเพื่อให้ผลิตภัณฑ์ระเหยน้ำออกสู่อากาศ และถูกพัดลมดูดความชื้นออกภายนอกโรง ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่แห้งเรียบร้อย

4.3 ผลการจัดทำตู้ระบบควบคุม

หลังจากดำเนินการจัดทำตู้ระบบควบคุม



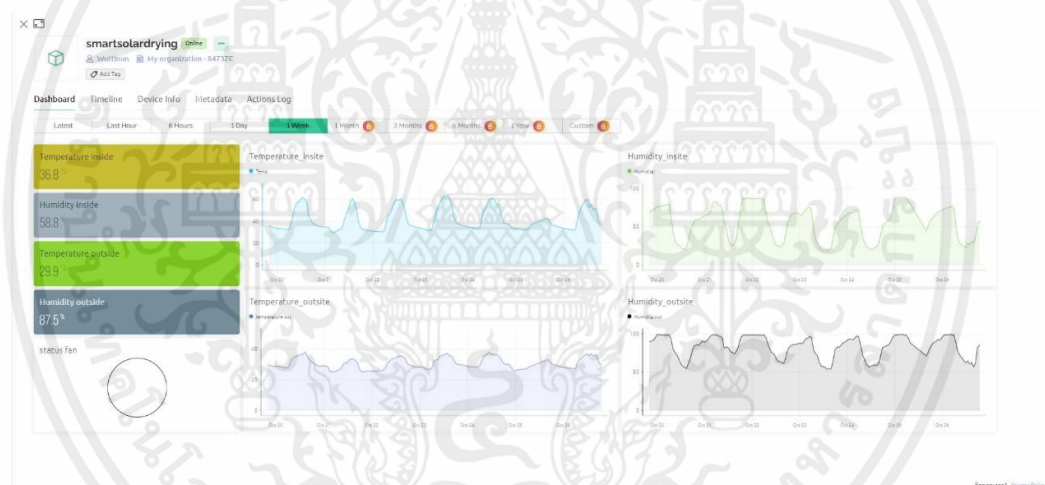
รูปที่ 4.4 ตู้ระบบควบคุมและระบบคอนโทรล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 กล่องสำหรับเก็บแบตเตอรี่

4.4 การแสดงผลในแอปพลิเคชัน Blynk IOT

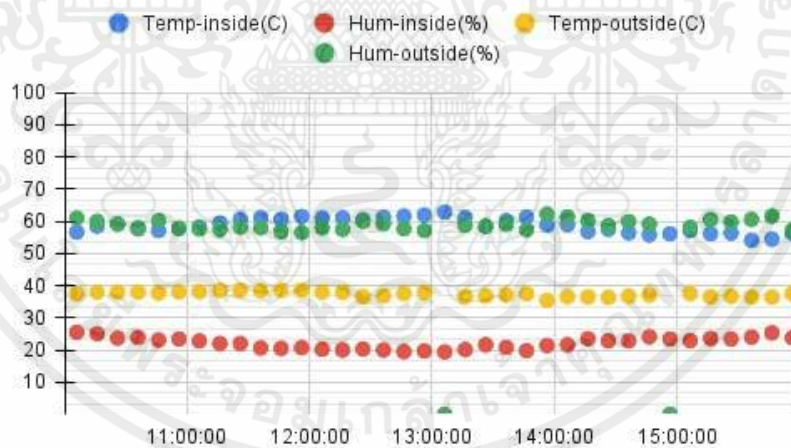


รูปที่ 4.6 แอปพลิเคชัน Blynk

จากรูปที่ 4.6 ในหน้าต่างของแอปพลิเคชันนี้จะแสดงข้อมูลสถานะต่าง ๆ ภายในโรงอบแห้ง จะบอกอุณหภูมิภายในโรงอบแห้งและภายนอกโรงอบแห้ง สามารถเลือกดูอุณหภูมิตามช่วงเวลาได้ มีสถานะการทำงานของพัดลมให้ดูได้ อีกทั้งสามารถเก็บค่าอุณหภูมิความชื้นเพื่อติดตามผลย้อนหลังได้

Date	Time	Temperature insite(C)	Humidity insite(%)	Temperature outside(C)	Humidity outside(%)
24/10/2023	10:06:08	56.6	25.5	37.5	61
24/10/2023	10:16:09	58.5	25.1	38	60
24/10/2023	10:26:09	59.1	23.7	38	59.2
24/10/2023	10:36:11	57.6	23.9	38	58
24/10/2023	10:46:11	57.1	23.1	37.7	60.2
24/10/2023	10:56:12	57.7	23.4	38.1	57.9
24/10/2023	11:06:12	58.3	22.8	38.2	57.6
24/10/2023	11:16:15	59.4	22	38.6	57.4
24/10/2023	11:26:13	60.6	22	38.6	58.1
24/10/2023	11:36:13	61.1	20.6	38.4	58
24/10/2023	11:46:13	60.6	20.5	38.6	56.8
24/10/2023	11:56:15	61.5	20.7	38.5	56.5
24/10/2023	12:06:16	61	20.2	38	58
24/10/2023	12:16:16	61.1	20	37.9	57.5
24/10/2023	12:26:16	60.5	20.3	36.6	60
24/10/2023	12:36:19	61.3	20	36.8	59.2
24/10/2023	12:46:17	61.6	19.5	37.6	57.7
24/10/2023	12:56:19	62	19.7	37.8	57.1

รูปที่ 4.7 ตารางเก็บข้อมูล google sheet วันที่ 24/10/2023

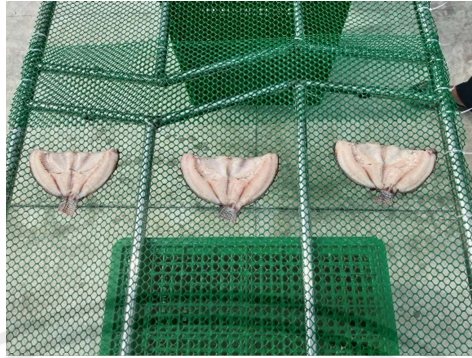


รูปที่ 4.8 กราฟแสดงอุณหภูมิและความชื้น ดึงค่ามาจากรายข้อมูลจากรูปที่ 4.7

4.5 การทดลองอบแห้งปลา

การทดลองอบแห้งปลาจะทำการทดลองกับปลานิลจำนวน 6 ตัว โดยจะแบ่งข้างในโรงอบแห้งจำนวน 3 ตัว และข้างนอกโรงอบแห้งจำนวน 3 ตัว โดยทั้งหมดมีน้ำหนักที่ใกล้เคียงกัน

ทดลองในวันที่มีแดดจัด สามารถส่องเข้าไปยังโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ได้ ทำการชั่งน้ำหนักทุกชั่วโมง



รูปที่ 4.9 การทดลองอบแห้งภายในโรงเรือนอบแห้ง



รูปที่ 4.10 การทดลองอบแห้งภายนอกโรงเรือนอบแห้ง

4.6 การจัดเก็บข้อมูลใน Google Sheet

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
	Date	Time	Temperature Inside	Humidity Inside	Temperature Outside	Humidity Outside						
5202	13/11/2023	4:48:10	31.6	73.6	27.2	98.9						
5203	13/11/2023	4:58:10	31.6	73.3	27.1	98.9						
5204	13/11/2023	5:08:11	31.5	73.3	27.1	99.8						
5205	13/11/2023	5:18:11	31.4	73.7	27.1	99.9						
5206	13/11/2023	5:28:11	31.3	74.1	27.1	99.9						
5207	13/11/2023	5:38:11	31.3	74.3	27.1	99.9						
5208	13/11/2023	5:48:11	31.2	74.5	26.9	99.9						
5209	13/11/2023	5:58:11	31.1	75	26.8	99.9						
5210	13/11/2023	6:08:12	31.1	75.3	26.8	99.9						
5211	13/11/2023	6:18:11	31.2	75.4	26.9	99.9						
5212	13/11/2023	6:28:12	31.3	75.2	27.1	99.9						
5213	13/11/2023	6:38:15	31.7	74.8	27.2	99.9						
5214	13/11/2023	6:48:15	32	74.1	27.4	99.9						
5215	13/11/2023	6:58:15	32.6	72.9	27.6	99						
5216	13/11/2023	7:08:15	32.8	71.4	27.8	98.5						
5217	13/11/2023	7:18:15	33.1	70.4	27.8	97.4						
5218	13/11/2023	7:28:16	33.2	69.4	27.8	97.7						
5219	13/11/2023	7:38:16	33.5	67.8	28	97.2						
5220	13/11/2023	7:48:16	34	66.4	28.2	97.7						
5221	13/11/2023	7:58:16	34.9	65.7	28.3	96						
5222	13/11/2023	8:08:16	35.4	63.2	28.5	95.3						
5223	13/11/2023	8:18:16	35.9	61.4	28.6	95.2						

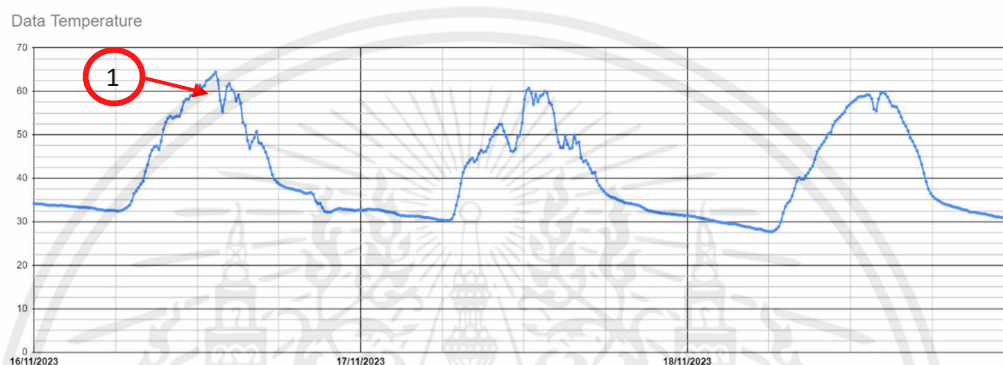
รูปที่ 4.11 ข้อมูลการจัดเก็บค่าอุณหภูมิภายในและภายนอกโรงอบแห้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

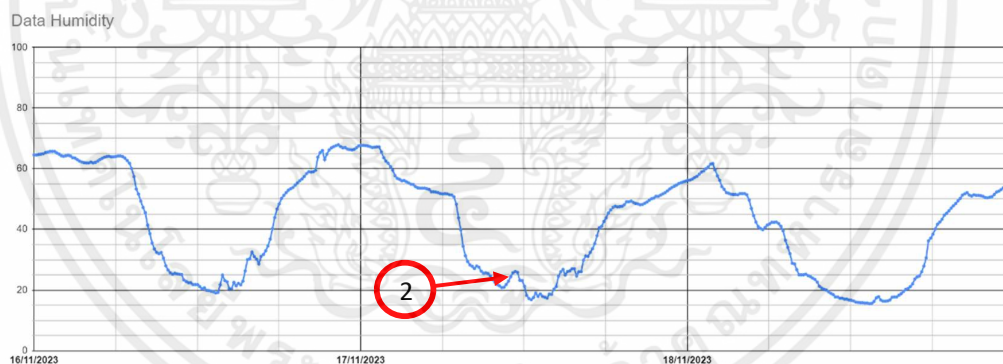
จากรูปที่ 4.11 เป็นการจัดเก็บข้อมูลของระบบของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับการเก็บข้อมูลค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นภายในและนอกโรงอบแห้ง เพื่อให้สามารถนำค่ามาใช้งานหรือดูค่าในช่วงเวลาที่ใช้งานโรงอบแห้ง

4.7 การทดลองการทำงานของโหมดการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

4.7.1 การทดลองขณะไม่เปิดทำงานควบคุมค่าอุณหภูมิและความชื้น



รูปที่ 4.12 กราฟค่าอุณหภูมิภายในโรงอบแห้งในการทดลองขณะไม่เปิดทำงาน



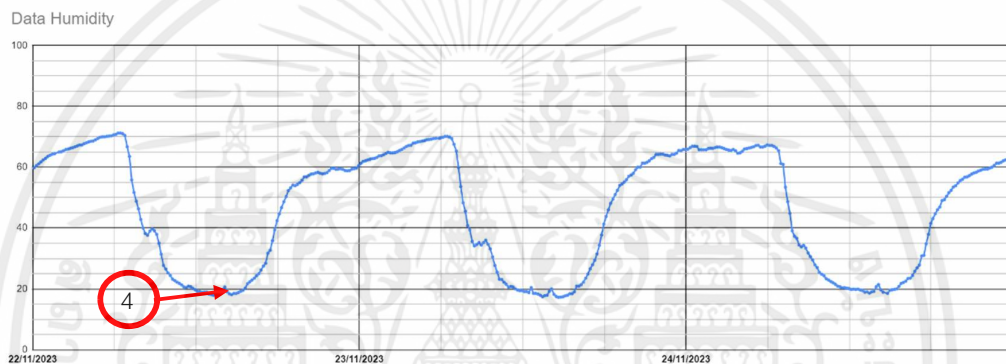
รูปที่ 4.13 กราฟค่าความชื้นภายในโรงอบแห้งในการทดลองขณะไม่เปิดทำงาน

จากรูปที่ 4.14 และ 4.15 เป็นกราฟแสดงผลการทดลองขณะไม่เปิดทำงาน พบว่าการไม่เปิดการใช้งานระบบควบคุมค่าอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงอบแห้ง ซึ่งค่าอุณหภูมิและค่าความชื้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณแสงของดวงอาทิตย์ที่ส่องลงมาในแต่ละวันซึ่งจะไม่สามารถควบคุมค่าอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงอบแห้ง ตามวงกลมสีแดง หมายเลขที่ 1 และ 2

4.7.2 การทดลองขณะเปิดการควบคุมค่าอุณหภูมิและความชื้น



รูปที่ 4.14 กราฟค่าอุณหภูมิภายในโรงอบแห้งในการทดลองขณะเปิดการควบคุม



รูปที่ 4.15 กราฟค่าความชื้นภายในโรงอบแห้งในการทดลองขณะเปิดการควบคุม

จากรูปที่ 4.16 และ 4.17 เป็นกราฟแสดงผลการทดลองควบคุมค่าอุณหภูมิและค่าความชื้น ตามเงื่อนไขที่ออกแบบในการควบคุมค่าอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงอบแห้ง โดยจากรูปจะกำหนดค่าอุณหภูมิอยู่ที่ 55 องศาเซลเซียส และค่าความชื้นที่ 20% จากการทดลองพบว่าค่าอุณหภูมิจะอยู่ประมาณ 55-60 องศาเซลเซียส และค่าความชื้นอยู่ประมาณ 20 % ตามวงกลมสีแดงหมายเลขที่ 3 และ 4

4.8 ผลการทดลองการตากปลาภายนอกและภายในโรงอบแห้ง

ตารางที่ 4.1 น้ำหนักการอบแห้งปลา

เวลา	ในโรงอบแห้ง	นอกโรงอบแห้ง
10:30	0.790	0.704
11:30	0.730	0.628
12:30	0.676	0.584
13:30	0.616	0.532
14:30	0.582	0.520
15:30	0.580	0.518

*หน่วยกิโลกรัม

ตารางที่ 4.2 น้ำหนักที่หายไปหลังการอบแห้งปลา

เวลา	ในโรงอบแห้ง	นอกโรงอบแห้ง
10:30	0.000	0.000
11:30	0.060	0.076
12:30	0.114	0.120
13:30	0.174	0.172
14:30	0.208	0.184
15:30	0.210	0.186

*หน่วยกิโลกรัม

จากการทดลองสรุปได้ว่าน้ำหนักปลาจากเดิมในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ 740 กรัม เฉลี่ยตัวละ 247 กรัม และนอกโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ 704 กรัม เฉลี่ยตัวละ 235 กรัม ใช้เวลาอบแห้งทั้งหมด 5 ชั่วโมงตั้งแต่เวลา 10:30 ถึงเวลา 15:30 ในชั่วโมงแรกน้ำหนักปลาในโรงอบแห้งจะลดลงน้อยกว่านอกโรงอบแห้ง เนื่องจากภายในโรงมีอุณหภูมิสูงและทำการคลายความชื้นออกมาได้ดี และพัดลมระบายความชื้นได้ไม่ทันทำให้ยังมีความชื้นสะสมอุณหภูมิภายในโรงอบแห้งจึงลดลง ในชั่วโมงที่ 4 และ 5 พบว่าน้ำหนักของปลาในโรงอบแห้งได้ลดลงเยอะกว่าปลาที่อยู่นอกโรงอบแห้ง ดังนั้นสรุปได้ว่าประสิทธิภาพนั้นสามารถทำได้ดี แต่การระบายความชื้นภายในโรงอบแห้งอาจทำได้ช้า แต่การทำงานสามารถทำได้ปกติ

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 กล่าวนำ

โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ จะมีหลักการต่าง ๆ เข้ามาเกี่ยวข้องเพื่อทำการอบแห้งภายในให้สามารถอบแห้งได้เร็วกว่าการอบแห้งแบบตากแดดปกติ โดยหลักการสำคัญคือหลักการเรือนกระจก เมื่อรังสีดวงอาทิตย์ผ่านแผ่นโพลีคาร์บอเนตไปยังผลิตภัณฑ์บางส่วนจะตกกระทบพื้นของระบบอบแห้ง ทำให้ภายในระบบของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ มีอุณหภูมิสูงขึ้น จึงสามารถทำให้ผลิตภัณฑ์นั้นสามารถอบแห้งได้เร็วมากขึ้น เนื่องจากเกิดการคลายความชื้นที่มากขึ้นของตัวผลิตภัณฑ์ และหัวใจหลักอีกอย่างคือไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32 เป็นตัวที่รับค่าและส่งค่าผ่านเซนเซอร์ XY-MD02 และควบคุมระบบภายในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ สามารถดูค่าผ่านระบบ IoT โดยแอปพลิเคชัน Blynk เป็นตัวดูค่าสถานะต่าง ๆ ตามเงื่อนไขที่ได้ตั้งไว้

การจัดทำโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ พบว่าโรงอบแห้งขนาดกว้าง 6 เมตร ยาว 8.20 เมตร สูง 3.25 เมตร สามารถรับแสงแดดได้เต็มที่ประสิทธิภาพ และโซล่าเซลล์สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าให้เพียงพอกับชุดระบบควบคุมของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะได้ สามารถเก็บพลังงานไว้ใช้ได้เมื่อไม่มีแสงแดดเพียงพอต่อการใช้โซล่าเซลล์ได้

การทดลองโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ พบว่าถ้าเกิดวันก่อนที่ต้องการอบแห้งผลิตภัณฑ์เกิดฝนตกทำให้น้ำไหลเข้าไปข้างในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อาจก่อให้เกิดความชื้นสูงภายในโรงอบแห้งได้เนื่องจากการก่อสร้างพื้นปูนคอนกรีตไม่เรียบ และอาจไปสู่อากาศที่ความต้องการความรวดเร็วเกิดความล่าช้าได้ ดังนั้นต้องทำการตรวจสอบการพยากรณ์อากาศก่อนทำการอบแห้งอีกทั้งต้องการทำความสะอาดโรงอบแห้งภายในระยะเวลา 1 เดือนตลอด เพื่อป้องกันการเกิดตะไคร่น้ำนำไปสู่ความชื้นที่ไม่สามารถกำจัดได้ในอนาคต และความสะอาดให้ถูกอนามัย

5.2 ปัญหาที่พบขณะทำการทดลอง

- 1) สภาพอากาศมีการเปลี่ยนแปลงทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ไม่เต็มที่
- 2) แหล่งสร้างความร้อนมาจากดวงอาทิตย์เท่านั้น

5.3 วิธีแก้ปัญหา

- 1) ตรวจเช็คการพยากรณ์อากาศ
- 2) เพิ่มแหล่งให้พลังงานความร้อน

5.4 ข้อจำกัดในการใช้งาน

- 1) ไม่สามารถใช้งานได้ในวันที่ฝนตกหรือมีเมฆมากทำให้ไม่มีรังสีจากดวงอาทิตย์เข้ามาช่วยในการสร้างความร้อนในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์
- 2) แอปพลิเคชัน Blynk IOT ยังมีข้อจำกัดในการใช้งานเรื่องการจัดเก็บข้อมูลค่าอุณหภูมิที่มีเวลามากกว่า 1 อาทิตย์
- 3) ในการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น จำเป็นต้องใช้เวลาในการควบคุมเพื่อให้ได้ค่าตามที่กำหนดไว้

5.5 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

หากต้องการนำไปพัฒนาอนาคต โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์นี้สามารถนำไปพัฒนาให้สามารถหาแหล่งให้ความร้อนภายนอก นอกจากดวงอาทิตย์ และสามารถควบคุมการเปิดปิดของช่องลมหน้าโรงอบแห้งเพื่อให้จัดเก็บอุณหภูมิและความชื้นได้ดียิ่งขึ้นและแอปพลิเคชันที่มีความสามารถฟังก์ชันมากกว่า

บรรณานุกรม

- [1] มารู้อัจฉิก พาราโบล่าโดม เพิ่มมูลค่าผลผลิตเกษตรกร ผลงานวิจัย ม.ศิลปากร โดยการสนับสนุน วช., 2564 [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : <https://mgronline.com/smes/detail/9640000072431> (24 สิงหาคม 2566)
- [2] โซลาร์เซลล์ (Solar Cell) คืออะไร รวบรวมทุกข้อมูลที่ควรศึกษาก่อนใช้จริง, 2565 [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : <https://www.nksolargroup.com/solar-cell/> (8 ตุลาคม 2566)
- [3] อุปกรณ์สำหรับโซลาร์เซลล์, 2558 [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : <https://www.solarhub.co.th/solar-information/solar-component/302-charge-controller> (8 ตุลาคม 2566)
- [4] การผลิตความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ การถ่ายเท และเผยแพร่การใช้พลังงานอาทิตย์, 2562 [ออนไลน์] แหล่งที่มา : <https://webkc.dede.go.th/testmax/> (8 ตุลาคม 2566)
- [5] เครื่องมือวัด ตอนที่ 2 , 2563 [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : <https://eqathaitraining.com/archives/1101> (8 ตุลาคม 2566)
- [6] Arduinoผู้นำด้านฮาร์ดแวร์และระบบนิเวศซอฟต์แวร์แบบเปิดระดับโลก, 2562 [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : <https://www.scimath.org/article-technology/item/9815-arduino> (8 ตุลาคม 2566)
- [7] Blynk : IoT Platform สนับสนุนจินตนาการสำหรับนวัตกรรม, 2562 [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : <https://www.scimath.org/article-technology/item/9820-blynk-iot-platform> (23 ตุลาคม 2566)
- [8] มอเตอร์ คืออะไร ทำหน้าที่, 2566 [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : <https://northpower.co.th/pages/มอเตอร์-คืออะไร-และ-ทำหน้าที่อะไร> (23 ตุลาคม 2566)
- [9] Electric Motor [EP: 2] – มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor), 2564 [ระบบออนไลน์] แหล่งที่มา : <https://naichangmashare.com/2021/05/28/electric-motor-ep-1/> (23 ตุลาคม 2566)




ภาคผนวก

ภาคผนวก ก คู่มือขั้นตอนการใช้งานตู้ควบคุม Solar Cell และระบบควบคุมอุณหภูมิ
ความชื้นในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

ภาคผนวก ข รายการราคาค่าใช้จ่ายทั้งหมดในโครงการโรงอบแห้งอัจฉริยะ

ภาคผนวก ค Datasheet

The seal of Rajabhat Buriram University is a circular emblem. It features a central five-tiered umbrella (parasol) with a sunburst above it. The emblem is flanked by two traditional Thai lamps (Lampang) on stands. The entire design is set against a background of stylized floral and geometric patterns. The Thai text around the inner border of the seal reads "มหาวิทยาลัยราชภัฏบรจรม" (Mahavithayalai Rajabhat Buriram) at the top and "พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง" (Phra Chomklao Chao Khan Thara Ladkrabang) at the bottom.

ภาคผนวก ก ขั้นตอนการใช้งานตู้ควบคุม Solar Cell
และระบบควบคุมอุณหภูมิความชื้นในโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1) ขั้นตอนการเปิดใช้งานตู้ควบคุม Solar Cell

ก่อนการเปิดใช้งานควรทำตามขั้นตอนดังนี้ เพื่อป้องกันความเสียหายกับอุปกรณ์

- 1) เปิด Circuit breaker Battery
- 2) เปิด Circuit breaker Solar cell Panel
- 3) กด ► ที่ Solar Charger 1 ครั้ง เพื่อ ON Load
- 4) เปิด Circuit breaker Load

ขั้นตอนการปิดใช้งานตู้ควบคุม Solar Cell

ทำย้อนขั้นตอน 4-1

ขั้นตอนการบำรุงรักษา โรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

การบำรุงรักษาระบบ Solar Cell เพื่อให้ Solar Panel มีประสิทธิภาพสูงสุดอยู่เสมออยู่เสมอ

1) การบำรุงรักษา Solar Panel

1.1) Off Circuit breaker ทุกตัวในตู้ควบคุม Solar Cell โดยเริ่มจาก

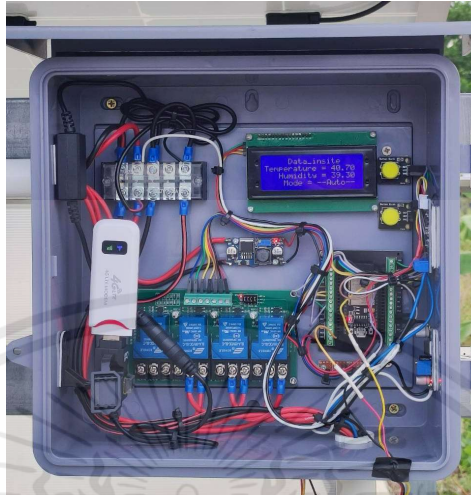
- 1.1.1) Off Circuit breaker ตัวตรงกลาง(Battery)
- 1.1.2) Off Circuit breaker (Solar Panel)
- 1.1.3) Off Circuit breaker ตัวขวาสุด (Load)

1.2) ใช้น้ำสะอาดล้าง Solar Cell Panel **ห้ามใช้แปรงที่มีขนเป็นโลหะทำความสะอาดผิวของแผงพลังงานแสงอาทิตย์ นอกจากนี้ผงซักฟอกก็ไม่ควรใช้ในการทำความสะอาดเพราะอุปกรณ์และน้ำยาทำความสะอาดดังกล่าวจะทำให้เกิดรอยที่ผิวแผงพลังงานแสงอาทิตย์ได้**

2) การบำรุงรักษาระบบสายไฟและระบบเชื่อมต่อต่าง ๆ (Wiring and Connections)

2.1) ตรวจสอบจุดต่อสายไฟต่าง ๆ ว่าชำรุดหรือไม่ เช่น รอยร้าว รอยแตก ความเสื่อมสภาพของฉนวนและท่อ รอยไหม้ สภาพของสายดิน เป็นต้น

(2) คู่มือการใช้งานตู้ระบบควบคุมโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ



เมื่อทำการเปิด Circuit breaker Load แล้ว ในตู้ระบบควบคุมโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ก็จะมีไฟฟ้าเข้ามา ขั้นตอนการตรวจสอบดังนี้

- 1) เช็การเชื่อมต่อ Wi-Fi กับตัวบอร์ด ESP32 โดยจะแจ้งสถานะการเชื่อมต่อผ่านจอ LCD หากไม่เชื่อมต่อต้องทำการตรวจสอบขั้วผิดพลาดและ Reset บอร์ดควบคุม
- 2) เมื่อทำการเชื่อมต่อแล้วให้ทำการกดปุ่ม Push Button ด้านบน เพื่อตรวจสอบสถานะการทำงานของเซนเซอร์ กดหนึ่งครั้งจะเปลี่ยนการแสดงผลอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงอบแห้ง และกดอีกหนึ่งครั้งเพื่อเปลี่ยนการแสดงผลอุณหภูมิและความชื้นภายนอกโรงอบแห้ง
- 3) ปุ่ม Push Button ด้านล่างจะเป็นการควบคุมการเปิดปิดพัดลมระบายอากาศ จะมี 3 โหมดคือ Auto, Manual, Off

โหมด Auto คือ การทำงานของพัดลมจะทำงานต่อเมื่อมีอุณหภูมิและความชื้นสูงถึงค่าที่ได้ตั้งไว้และเมื่อค่าอุณหภูมิและความชื้นลดลงต่ำกว่าค่าที่ได้ตั้งไว้ พัดลมก็หยุดทำงานทันที

โหมด Manual คือ การเปิดการทำงานของพัดลมให้พัดลมระบายอากาศได้ในทันทีไม่ต้องสนใจอุณหภูมิที่ได้ตั้งค่าไว้

โหมด Off คือ การปิดการทำงานของพัดลม

คู่มือการใช้งานในแอปพลิเคชัน Blynk



การใช้งานในแอปพลิเคชัน Blynk มีขั้นตอนดังนี้

- 1) เช็การเชื่อมต่อ Wi-Fi กับตัวบอร์ด ESP32 โดยจะแจ้งสถานะการเชื่อมต่อผ่านกราฟแสดงผล หากไม่เชื่อมต่อต้องทำการตรวจสอบข้อผิดพลาดและ Reset บอร์ดควบคุม
- 2) ปุ่ม Mode ด้านล่างจะเป็นการควบคุมการเปิดปิดพัดลมระบายอากาศ จะมี 3 โหมดคือ Auto, Manual, Off

โหมด Auto คือ การทำงานของพัดลมจะทำงานต่อเมื่อมีอุณหภูมิและความชื้นสูงถึงค่าที่ได้ตั้งไว้และเมื่อค่าอุณหภูมิและความชื้นลดลงต่ำกว่าค่าที่ได้ตั้งไว้ พัดลมก็หยุดทำงานทันที โดยสามารถตั้งได้ในแท็บบาร์ด้านล่างตามค่าที่เราต้องการตั้งค่าได้ทันที

โหมด Manual คือ การเปิดการทำงานของพัดลมให้พัดลมระบายอากาศได้ในทันทีไม่ต้องสนใจอุณหภูมิที่ได้ตั้งค่าไว้

โหมด Off คือ การปิดการทำงานของพัดลม

กด ► ที่ Solar Charger 1 ครั้ง เพื่อ OFF Load และทำการปิด Circuit breaker load

ขั้นตอนการบำรุงรักษาระบบควบคุมโรงอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์อัจฉริยะ

การบำรุงรักษาระบบควบคุมทำเพื่อให้การทำงานของระบบควบคุมหรือวิธีการระบายอากาศ มีประสิทธิภาพสูงสุดอยู่เสมออยู่เสมอ

การบำรุงรักษาตู้ระบบควบคุมโรงอบแห้ง

1. ทำการตรวจสอบจุดที่การต่อสายว่ามีการชำรุดหรือไม่ หากเกิดการชำรุดให้ทำการแก้ไขในทันที
2. ป้องกันการเกิดความร้อนสูงภายในระบบ เนื่องจากตู้ระบบควบคุมตั้งอยู่ในกลางแจ้งจึงจำเป็นต้องมีการระบายอากาศภายในตู้ให้ดีที่สุด
3. หากมีการเสียของอุปกรณ์ใดตัวหนึ่งในตู้ระบบควบคุม ต้องทำการเปลี่ยนโดยทันทีเพื่อประสิทธิภาพที่ดีที่สุดต่อการทำงานของระบบควบคุม
4. การเชื่อมต่อ Wi-Fi คือสิ่งที่สำคัญของระบบควบคุมโดยใช้ IoT ดังนั้นต้องตรวจเช็คการทำงานของระบบ Wi-Fi อยู่เสมอ
5. ระวังไม่ให้น้ำรั่วไหลเข้าไปในตู้ระบบควบคุม

The seal of Rajabhat Buriram University is a circular emblem. It features a central five-tiered umbrella (parasol) with a sunburst above it. The emblem is flanked by two smaller, similar structures. The entire design is set against a background of stylized floral and geometric patterns. The Thai text "มหาวิทยาลัยราชภัฏบรือรัมย์" is written around the perimeter of the seal.

ภาคผนวก ข รายการราคาค่าใช้จ่ายทั้งหมดในโครงการโรงอบแห้งอัจฉริยะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการราคาค่าใช้จ่ายทั้งหมดในโครงการโรงอบแห้งอัจฉริยะ

แบบแสดงรายการปริมาณงานราคาต่อหน่วย สำหรับ โครงการติดตั้งงานระบบอัตโนมัติ
ประมวลผลข้าว ฝักรับโรงอบแห้งระบบอัตโนมัติ

ลำดับที่	รายการ	ปีงบประมาณ		ค่าวัสดุ		รวมราคาต่อรายการ(บาท)	หมายเหตุ
		จำนวน	หน่วย	ราคาต่อหน่วย	จำนวน(บาท)		
1	งานติดตั้งโรงอบแห้งระบบอัตโนมัติ						
1.1	งานติดตั้งโรงอบแห้งระบบอัตโนมัติ	20	เส้น	501.00 บาท	10,020.00 บาท		
	เหล็กเป็นแบบทราไวด์ ขนาด 2*15 นิ้ว ทน 2.3mm.	9	เส้น	573.00 บาท	5,157.00 บาท		
	เหล็กเป็นแบบทราไวด์ ขนาด 2*15 นิ้ว ทน 2mm.	1	เส้น	563.00 บาท	563.00 บาท		
	สกรูเหล็ก	1	เส้น	203.00 บาท	203.00 บาท		
	เหล็กทาสีสีเทาขนาด 6mm. เจริญ 1.2 ซม. ขนาด 4*6 นิ้ว	14	แผ่น	26.00 บาท	364.00 บาท		
	รวมรายการที่ 1.1				16,307.00		
1.2	งานติดตั้งโรงอบแห้งระบบอัตโนมัติ						
	แผ่นโพลีคาร์บอเนต สีเทา ขนาด 2.1*6m. ทน 6mm.	12	แผ่น	3,525.00 บาท	42,300.00 บาท		
	รางอลูมิเนียมขนาด 6m.	24	เส้น	200.00 บาท	4,800.00 บาท		
	ฝาปิดรางอลูมิเนียมขนาด 6m.	12	เส้น	105.00 บาท	1,260.00 บาท		
	สายเคเบิล ยาว 15m.	16	ม้วน	170.00 บาท	2,720.00 บาท		
	ฝาปิดอลูมิเนียม	22	ชิ้น	20.00 บาท	440.00 บาท		
	ซีดีกันน้ำ	10	ชิ้น	200.00 บาท	2,000.00 บาท		
	วัสดุติดตั้งผนัง(ซีเมนต์,ทราย)	1	ชุด	500.00 บาท	500.00 บาท		
	รวมรายการที่ 1.2				54,020.00		
1.3	งานประกอบ						
	ชุดประกอบอลูมิเนียม	2	ชุด	9,000.00 บาท	18,000.00 บาท		
1.4	ค่าแรง						
	ค่าแรงช่าง	1	หน่วย	25,000.00 บาท	25,000.00 บาท		
	รวมรายการที่ 1.4				25,000.00		
2	งานติดตั้งเครื่องใช้ของและอุปกรณ์						
2.1	งานติดตั้งฐานโถแห้ง						
	เหล็กเป็นแบบทราไวด์ ขนาด 2*25 นิ้ว ทน 1.2mm.	5	เส้น	243.00 บาท	1,215.00 บาท		
	เหล็กทาสีสีเทาขนาด 6mm. เจริญ 1.2 ซม. ขนาด 4*6 นิ้ว	4	แผ่น	27.00 บาท	108.00 บาท		
	รางอลูมิเนียมติดตั้งโถแห้ง 2m.	1	เส้น	388.00 บาท	388.00 บาท		
	ชุดควบคุม M14 ยาว 90mm.	1	ชุด	210.00 บาท	210.00 บาท		
	รวมรายการที่ 2.1				1,921.00		
2.2	งานประกอบโถแห้ง						
	แอมป์ โทวีต 12V 100A	1	ชุด	6,700.00 บาท	6,700.00 บาท		
	แผ่นโถแห้ง Monocrystalline 38V 360W	1	แผง	5,000.00 บาท	5,000.00 บาท		
	ชุด MPPT 30A	1	ชุด	2,600.00 บาท	2,600.00 บาท		
	สายไฟโถแห้ง	2	เส้น	1,000.00 บาท	2,000.00 บาท		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับที่	รายการ	ปริมาณงาน		ค่าวัสดุ		รวมราคาของรายการ(บาท)	หมายเหตุ
		จำนวน	หน่วย	ราคาต่อหน่วย	จำนวนเงิน(บาท)		
	หัวต่อรีเลย์ไฟฟ้า	4	ชุด	100.00 บาท	400.00 บาท		
	เบรกเกอร์ CT ELECTRIC รุ่น DC 2P 16A 500V	1	ตัว	298.00 บาท	298.00 บาท		
	เบรกเกอร์ CT ELECTRIC รุ่น DC 2P 20A 500V	1	ตัว	298.00 บาท	298.00 บาท		
	เบรกเกอร์ CT ELECTRIC รุ่น DC 2P 32A 500V	1	ตัว	298.00 บาท	298.00 บาท		
	อุปกรณ์ติดตั้งตู้ SUNTREE รุ่น DC SUP2-PV (2P) 500V	1	ตัว	890.00 บาท	890.00 บาท		
	สายไฟเบอร์	2	ชุด	250.00 บาท	500.00 บาท		
					18,984.00		
2.3	งานระบบควบคุม						
	ESP32 Wrover E	1	ตัว	300.00 บาท	300.00 บาท		
	Relay Module โมดูลรีเลย์ 12V 4ขา 30A	1	ตัว	500.00 บาท	500.00 บาท		
	Step Down LM2596 Module (3A)	2	ตัว	50.00 บาท	100.00 บาท		
	หม้อแปลงอากาศ	3	ตัว	600.00 บาท	1,800.00 บาท		
	โมดูล RS485 Mutual Conversion TTL Serial Port	1	ตัว	150.00 บาท	150.00 บาท		
	เซนเซอร์อุณหภูมิ X1-M002	1	ตัว	350.00 บาท	350.00 บาท		
	เสิร์จป้องกัน	3	ตัว	20.00 บาท	60.00 บาท		
	ตู้ไฟฟ้า ขนาด40x610x230 มม.	1	ตู้	950.00 บาท	950.00 บาท		
	ตู้กันไฟ102W 305x301x140 มม.	1	ตู้	300.00 บาท	300.00 บาท		
	สายไฟ 18AWG 30เมตร	3	ม้วน	255.00 บาท	765.00 บาท		
	สายไฟ 2x1.5 คราม	50	เมตร	15.00 บาท	750.00 บาท		
					6,025.00		
2.4	งานระบบติดตั้งสถานีโทรเลข						
	พัดลมซีพียู 25 มม.	6	เส้น	70.00 บาท	420.00 บาท		
	พัดลมซีพียู 20 มม.	2	เส้น	40.00 บาท	80.00 บาท		
	กล่องกันน้ำ 4x4 นิ้ว	1	กล่อง	40.00 บาท	40.00 บาท		
	กล่องกันน้ำ 3x4 นิ้ว	1	กล่อง	20.00 บาท	20.00 บาท		
	คัตสวิตช์ 25 มม. แฉก 20 ชิ้น	1	แพ็คเกจ	68.00 บาท	68.00 บาท		
	คัตสวิตช์ 20 มม. แฉก 10 ชิ้น	1	แพ็คเกจ	33.00 บาท	33.00 บาท		
	ชุดต่อสาย 25 มม. 4ชิ้น	2	แพ็คเกจ	25.00 บาท	50.00 บาท		
	ชุดต่อสาย 25 มม. 4ชิ้น	2	แพ็คเกจ	33.00 บาท	66.00 บาท		
	ชุดต่อสาย 25 มม. 4ชิ้น	2	แพ็คเกจ	33.00 บาท	66.00 บาท		
	ชุดต่อสาย 20 มม. 4ชิ้น	2	แพ็คเกจ	30.00 บาท	60.00 บาท		
	ชุดต่อสาย 25 มม. 4ชิ้น	3	แพ็คเกจ	30.00 บาท	90.00 บาท		
	ชุดต่อสาย 20 มม. 4ชิ้น	3	แพ็คเกจ	30.00 บาท	90.00 บาท		
	พัดลมระบาย 20 มม.	2	เส้น	20.00 บาท	40.00 บาท		
	พัดลมระบาย 25 มม.	4	เส้น	30.00 บาท	120.00 บาท		
					1,243.00		
	ค่าเบ็ดเสร็จ	1	-	8,500.00 บาท	8,500.00 บาท		ค่าวัสดุสำหรับจัดทำโครงการ (เบ็ดเสร็จ, อุปกรณ์จัดทำโครงการอื่น, ค่าขนส่ง)
รวม					150,000.00 บาท		

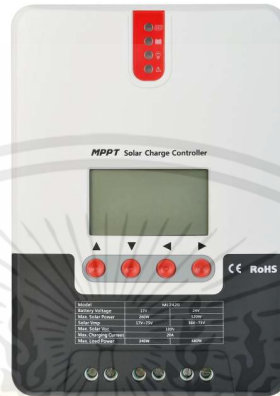
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ML Maximum Power Point Tracking (MPPT) Series ML2420-ML2430-ML2440 Solar Charge and Discharge Controller



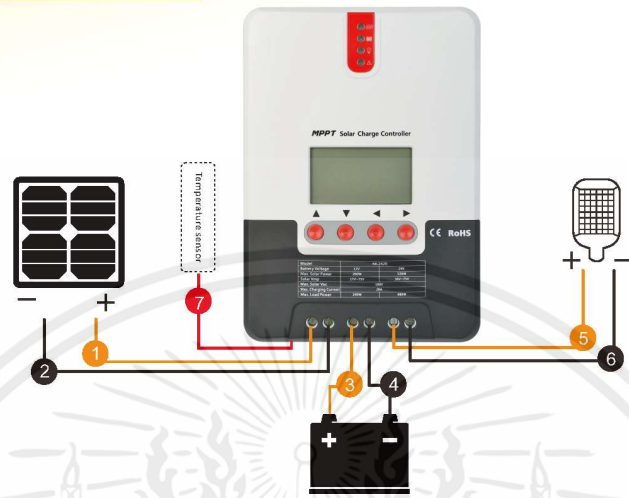
Product Features

- With the advanced dual-peak or multi-peak tracking technology, when the solar panel is shadowed or part of the panel fails resulting in multiple peaks on the I-V curve, the controller is still able to accurately track the maximum power point.
- A built-in maximum power point tracking algorithm can significantly improve the energy utilization efficiency of photovoltaic systems, and raise the charging efficiency by 15% to 20% compared with the conventional PWM method.
- A combination of multiple tracking algorithms enables accurate tracking of the optimum working point on the I-V curve in an extremely short time.
- The product boasts an optimum MPPT tracking efficiency of up to 99.9%.
- Advanced digital power supply technologies raise the circuit's energy conversion efficiency to as high as 98%.
- Charging program options are available for different types of batteries including gel batteries, sealed batteries, open batteries, lithium batteries, etc.
- The controller features a limited current charging mode. When the solar panel power exceeds a certain level and the charging current is larger than the rated current, the controller will automatically lower the charging power and bring the charging current to the rated level.
- Instantaneous large current startup of capacitive loads is supported.
- Automatic recognition of battery voltage is supported.
- LED fault indicators and an LCD screen which can display abnormality information help users to quickly identify system faults.
- Historical data storage function is available, and data can be stored for up to a year.
- The controller is equipped with an LCD screen with which users can not only check device operating data and statuses, but also modify controller parameters.
- The controller supports standard Modbus protocol, fulfilling the communication needs of various occasions.
- The controller employs a built-in over-temperature protection mechanism. When temperature surpasses the set value, the charging current will decline in linear proportion to the temperature so as to curb the temperature rise of the controller, effectively keeping the controller from being damaged by overheat.
- Featuring a temperature compensation function, the controller can automatically adjust charging and discharging parameters in order to extend the battery's service life.
- TVS lighting protection.

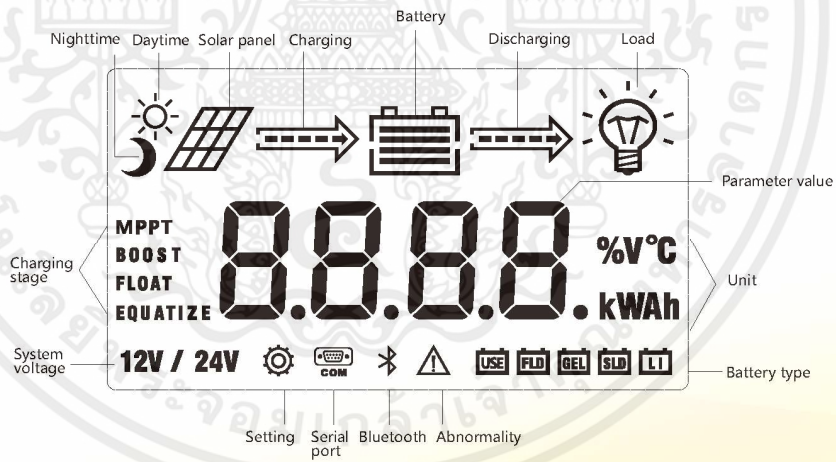
www.srnesolar.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Wiring diagram is as below



LCD Startup and Main Interface



www.snesolar.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Product Operation and Display

LED Indicators

	PV array indicator	Indicating the controller's current charging mode.
	BAT indicator	Indicating the battery's current state.
	LOAD indicator	Indicating the loads' On/ Off and state.
	ERROR indicator	Indicating whether the controller is functioning normally.

➤ PV array indicator:

No.	Graph	Indicator state	Charging state
①	BULK	Steady on	MPPT charging
②	ACCEPTANCE	Slow flashing (a cycle of 2s with on and off each lasting for 1s)	Boost charging
③	FLOAT	Single flashing (a cycle of 2s with on and off lasting respectively for 0.5s and 1.5s)	Floating charging
④	EQUALIZE	Quick flashing (a cycle of 0.2s with on and off each lasting for 0.1s)	Equalizing charging
⑤	CURRENT-LIMITED	Double flashing (a cycle of 2s with on for 0.2s, off for 0.1s, on again for 0.2s, and off again for 0.7s)	Current limited charging
⑥		Off	No charging

➤ BAT indicator:

Indicator state	Battery state
Steady on	Normal battery voltage
Slow flashing (a cycle of 2s with on and off each lasting for 1s)	Battery over-discharged
Quick flashing (a cycle of 0.2s with on and off each lasting for 0.1s)	Battery over-voltage

➤ LOAD indicator:

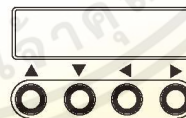
Indicator state	Battery state
Off	Load turned off
Quick flashing (a cycle of 0.2s with on and off each lasting for 0.1s)	Load overloaded/ short-circuited
Steady on	Load functioning normally

➤ ERROR indicator:

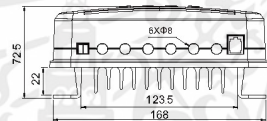
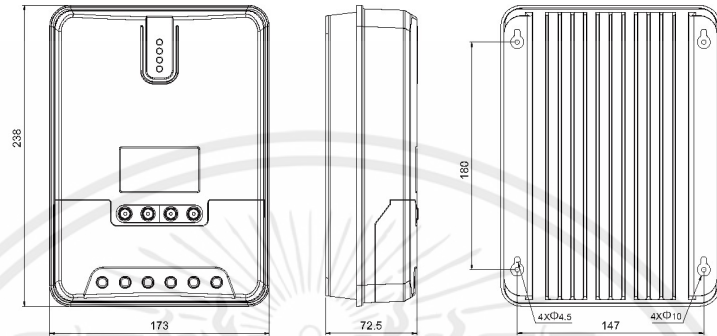
Indicator state	Battery state
Off	System operating normally
Steady on	System malfunctioning

Key Operations

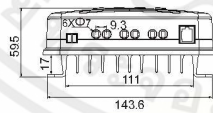
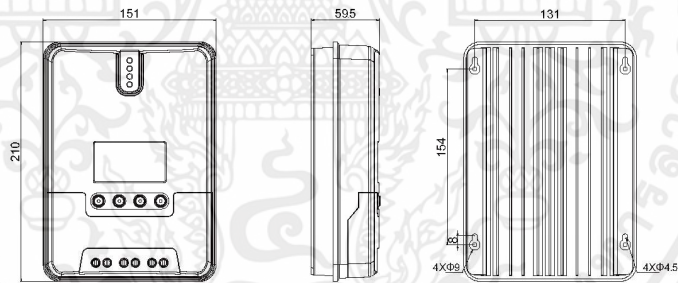
	Up	Page up; increase the parameter value in setting
	Down	Page down; decrease the parameter value in setting
	Return	Return to previous menu (exit without saving)
	Set	Enter into sub-menu; set/ save Turn on/ off loads (in manual mode)



Product Dimensions



ML2430/ML2440
Product dimensions : 238*173*72.5mm
Hole positions : 180*147mm
Hole diameter : Φ3mm
Applicable wire: max. 8 AWG



ML2420
Product dimensions : 210*151*59.5mm
Hole positions : 154*131mm
Hole diameter : Φ3mm
Applicable wire: max. 8 AWG

www.srnesolar.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Product Specification Parameters

1. Electric Parameters

Parameter	Value		
Model	ML2420	ML2430	ML2440
System voltage	12V/24VAuto		
No-load loss	0.7 W to 1.2W		
Battery voltage	9V to 35V		
Max. solar input voltage	100V (25°C) 90V (-25°C)		
Max. power point voltage range	Battery Voltage+2V to 75V		
Rated charging current	20A	30A	40A
Rated load current	20A		
Max. capacitive load capacity	10000uF		
Max. photovoltaic system input power	260W/12V 520W/24V	400W/12V 800W/24V	520W/12V 1040W/24V
Conversion efficiency	≤98%		
MPPT tracking efficiency	>99%		
Temperature compensation factor	-3mv/°C/2V (default)		
Operating temperature	-35°C to +45°C		
Protection degree	IP32		
Weight	1.4Kg	2Kg	2Kg
Communication method	RS232		
Altitude	≤ 3000m		
Product dimensions	210*151*59.5mm	238*173*72.5mm	238*173*72.5mm

2. Battery Type Default

Parameters (parameters set in monitor software)

Parameters cross-reference table for different types of batteries

Battery type	Scaled lead-acid battery	Gel lead-acid battery	Open lead-acid battery	User (self-customized)
Over-voltage cut-off voltage	16.0V	16.0V	16.0V	9~17V
Equalizing voltage	14.6V	—	14.8V	9~17V
Boost voltage	14.4V	14.2V	14.6V	9~17V
Floating charging voltage	13.8V	13.8V	13.8V	9~17V
Boost return voltage	13.2V	13.2V	13.2V	9~17V
Low-voltage cut-off return voltage	12.6V	12.6V	12.6V	9~17V
Under-voltage warning return voltage	12.2V	12.2V	12.2V	9~17V
Under-voltage warning voltage	12.0V	12.0V	12.0V	9~17V
Low-voltage cut-off voltage	11.1V	11.1V	11.1V	9~17V
Discharging limit voltage	10.6V	10.6V	10.6V	9~17V
Over-discharge time delay	5s	5s	5s	1~30s
Equalizing charging duration	120minutes	—	120minutes	0~600minutes
Equalizing charging interval	30days	0days	30days	0~250D (0 means the equalizing charging function is disabled)
Boost charging duration	120minutes	120minutes	120minutes	10~600minutes

When selecting User, the battery type is to be self-customized, and in this case, the default system voltage parameters are consistent with those of the scaled lead-acid battery. When modifying battery charging and discharging parameters, the following rule must be followed:
 • Over-voltage cut-off voltage > Charging limit voltage > Equalizing voltage > Boost voltage > Floating charging voltage > Boost return voltage;
 • Over-voltage cut-off voltage > Over-voltage cut-off return voltage;
 • Low-voltage cut-off return voltage > Low-voltage cut-off voltage > Discharging limit voltage;
 • Under-voltage warning return voltage > Under-voltage warning voltage > Discharging limit voltage;
 • Boost return voltage > Low-voltage cut-off return voltage.

www.snesolar.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

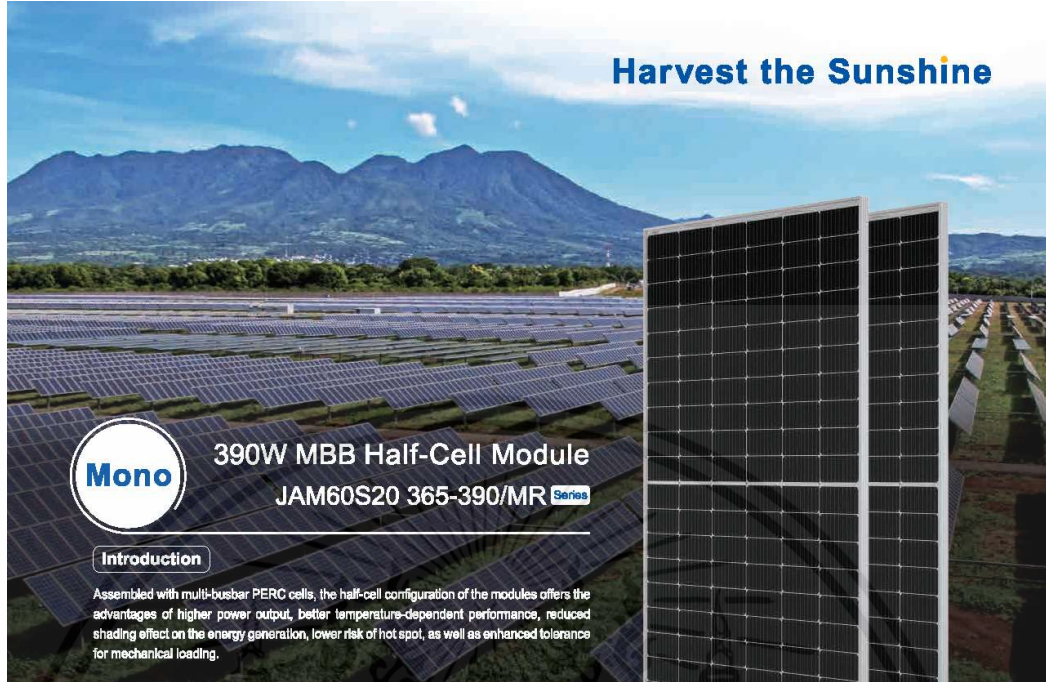
Product Details



www.srnesolar.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Harvest the Sunshine



Mono

390W MBB Half-Cell Module
JAM60S20 365-390/MR Series

Introduction

Assembled with multi-busbar PERC cells, the half-cell configuration of the modules offers the advantages of higher power output, better temperature-dependent performance, reduced shading effect on the energy generation, lower risk of hot spot, as well as enhanced tolerance for mechanical loading.



Higher output power



Lower LCOE



Less shading and lower resistive loss

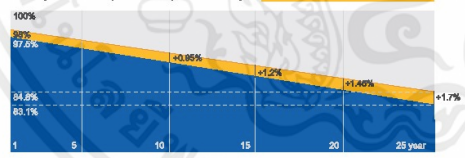


Better mechanical loading tolerance

Superior Warranty

- 12-year product warranty
- 25-year linear power output warranty

0.55% Annual Degradation Over 25 years



■ New linear power warranty ■ Standard module linear power warranty

Comprehensive Certificates

- IEC 61215, IEC 61730, UL 61215, UL 61730
- ISO 9001: 2015 Quality management systems
- ISO 14001: 2015 Environmental management systems
- ISO 45001: 2018 Occupational health and safety management systems
- IEC TS 62941: 2016 Terrestrial photovoltaic (PV) modules – Guidelines for increased confidence in PV module design qualification and type approval



JASOLAR

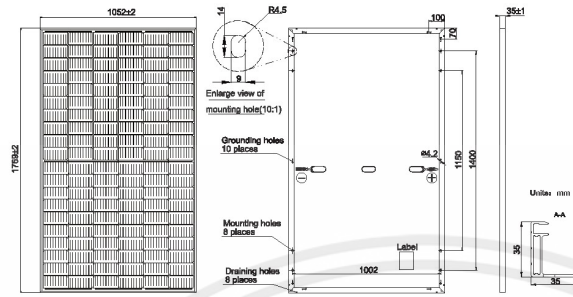
www.jasolar.com

Specifications subject to technical changes and tests. JA Solar reserves the right of final interpretation.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MECHANICAL DIAGRAMS



Remark: customized frame color and cable length available upon request

SPECIFICATIONS

Cell	Mono
Weight	20.5kg±3%
Dimensions	1769±2mm×1052±2mm×35±1mm
Cable Cross Section Size	4mm ² (IEC) ,12 AWG(UL)
No. of cells	120(6×20)
Junction Box	IP68, 3 diodes
Connector	QC 4.10(1000V) QC 4.10-35(1500V)
Cable Length (Including Connector)	Portrait:300mm(+)/400mm(-); Landscape:1000mm(+)/1000mm(-)
Packaging Configuration	31pcs/Pallet 806pcs/40ft Container

ELECTRICAL PARAMETERS AT STC

TYPE	JAM60S20 -365/MR	JAM60S20 -370/MR	JAM60S20 -375/MR	JAM60S20 -380/MR	JAM60S20 -385/MR	JAM60S20 -390/MR
Rated Maximum Power(P _{max}) [W]	365	370	375	380	385	390
Open Circuit Voltage(V _{oc}) [V]	41.13	41.30	41.45	41.62	41.78	41.94
Maximum Power Voltage(V _{mp}) [V]	33.96	34.23	34.50	34.77	35.04	35.33
Short Circuit Current(I _{sc}) [A]	11.30	11.35	11.41	11.47	11.53	11.58
Maximum Power Current(I _{mp}) [A]	10.75	10.81	10.87	10.93	10.99	11.04
Module Efficiency [%]	19.6	19.9	20.2	20.4	20.7	21.0
Power Tolerance	0~+5W					
Temperature Coefficient of I _{sc} (α _{Isc})	+0.044%/°C					
Temperature Coefficient of V _{oc} (β _{Voc})	-0.272%/°C					
Temperature Coefficient of P _{max} (γ _{Pmp})	-0.350%/°C					
STC	Irradiance 1000W/m ² , cell temperature 25°C, AM1.5G					

Remark: Electrical data in this catalog do not refer to a single module and they are not part of the offer.They only serve for comparison among different module types.

ELECTRICAL PARAMETERS AT NOCT

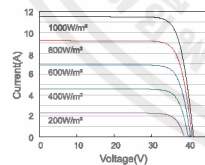
TYPE	JAM60S20 -365/MR	JAM60S20 -370/MR	JAM60S20 -375/MR	JAM60S20 -380/MR	JAM60S20 -385/MR	JAM60S20 -390/MR
Rated Max Power(P _{max}) [W]	276	280	284	287	291	295
Open Circuit Voltage(V _{oc}) [V]	38.41	38.65	38.89	39.14	39.38	39.63
Max Power Voltage(V _{mp}) [V]	32.05	32.30	32.55	32.72	32.96	33.20
Short Circuit Current(I _{sc}) [A]	9.15	9.20	9.25	9.30	9.35	9.40
Max Power Current(I _{mp}) [A]	8.61	8.66	8.71	8.78	8.83	8.88
NOCT	Irradiance 800W/m ² , ambient temperature 20°C, wind speed 1m/s, AM1.5G					

OPERATING CONDITIONS

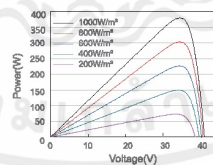
Maximum System Voltage	1000V/1500V DC
Operating Temperature	-40°C~+85°C
Maximum Series Fuse Rating	20A
Maximum Static Load,Front	5400Pa (112 lb/ft ²)
Maximum Static Load,Back	2400Pa (50 lb/ft ²)
NOCT	45±2°C
Safety Class	Class II
Fire Performance	UL Type 1

CHARACTERISTICS

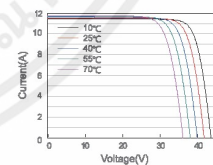
Current-Voltage Curve JAM60S20-380/MR



Power-Voltage Curve JAM60S20-380/MR



Current-Voltage Curve JAM60S20-380/MR



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TGEL SERIES VRLA HYBRID GEL DEEP CYCLE BATTERY

The TGEL series is designed for frequent cyclic charge and discharge applications under extreme environments. By combining the newly developed Nano Gel electrolyte with high density paste, the Solar range offers high recharge efficiency at very low charge current. The acid stratification is highly reduced by adding Nano Gel.

This series is suited for energy storage for renewable energies such as PV, wind turbine power systems and CATV.



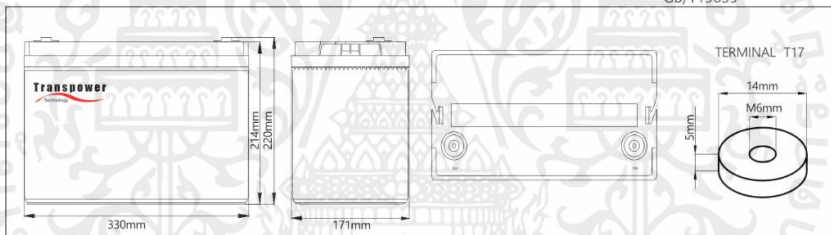
TECHNICAL SPECIFICATIONS

Nominal Voltage (V)	12 (6 cells per unit)
Designed Floating Life (20°C)	12 Years
Nominal Capacity (20°C)	100 Ah @ 10HR-rate (to 1.80Vpc)
Dimension (mm)	L330mm x W171mm x H220mm
Approx. Weight	31.5 kg (69.5 lbs)
Terminal Type	Female Copper Insert M6 (torque6~7N.m)
Internal Resistance	Approx. 0.005 Ohm (fully charged @ 20°C)
Max. Charge Current	25A
Max. Discharge Current (5S)	800 A
Short Circuit Current	2600 A
Self Discharge	Approx. 3% per month @ 20°C
Ambient Temperature	Discharge: -25~65°C Charge: -25~60°C Storage: -25~45°C
Float Charge Voltage (20~25°C)	13.6-13.8V (-3mV/ cell/ °C)
Equalize and cycle Use Charge Voltage (20~25°C)	14.4-14.8V (-5mV/ cell / °C)
Container Material	ABS (UL94-V0 optional)



Complied standards
IEC 60896-21/22
IEC 61427
UL1989
JIS C8704
GB/T19639

BATTERY DIMENSIONS



BATTERY DISCHARGE TABLE

Constant Current Discharge Characteristics: Amps (25°C)										
F.V/Time	30min	1h	2h	3h	4h	5h	8h	10h	20h	
1.70V	104	64.3	38.1	27.7	22.1	18.4	12.5	10.3	5.45	
1.75V	100	63.0	37.4	27.2	21.8	18.2	12.4	10.2	5.35	
1.80V	95.6	60.9	36.6	26.7	21.3	17.7	12.1	10.0	5.25	
1.85V	90.2	58.3	35.2	25.8	20.7	17.3	11.8	9.74	5.13	

PARAMETERS FOR TGEL & WIND APPLICATIONS

Long time discharge capacity for Solar & Wind applications

Capacity	C ₅ (Ah)	C ₁₀ (Ah)	C ₂₀ (Ah)	C ₃₀ (Ah)	C ₁₀₀ (Ah)
TGEL12-100	107	113	116	121	125
Final Voltage	1.85V				

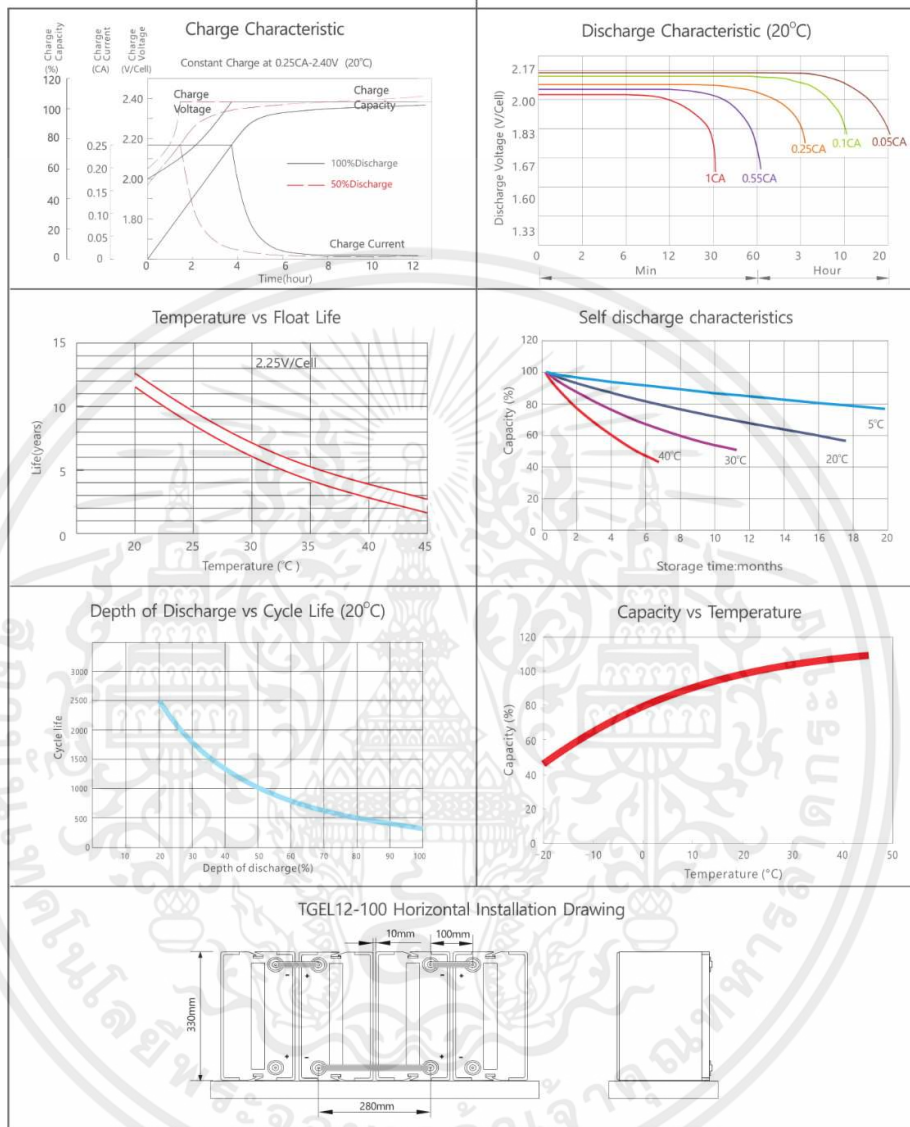
Constant Power Discharge Characteristics: W/cell (25°C)										
F.V/Time	30min	1h	2h	3h	4h	5h	8h	10h	20h	
1.70V	194	121	72.5	52.9	42.4	35.5	24.4	20.2	10.7	
1.75V	189	120	71.8	52.6	42.3	35.4	24.3	20.1	10.6	
1.80V	182	117	70.9	52.0	41.7	34.8	23.9	19.9	10.5	
1.85V	174	113	68.8	50.7	40.8	34.3	23.5	19.5	10.3	

TGEL & Wind applications parameters settings

Over voltage disconnect:	2.45±0.01V/cell @ 20 25°C
Regulation/equalize voltage:	2.40±0.01V/cell @ 20 25°C
Array reconnection voltage:	2.25±0.005V/cell @ 20 25°C
Float voltage setting:	2.27±0.005V/cell @ 20 25°C
Low voltage alarm voltage:	1.95±0.005V/cell @ 20 25°C
Low voltage disconnect:	1.90±0.005V/cell @ 20 25°C
Load reconnect voltage:	2.09±0.01V/cell @ 20 25°C
Temp. compensate coefficient:	-5mV/cell/°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CHARACTERISTICS



FINAL VOLTAGE SETTINGS RECOMMENDED ACCORDING TO THE DISCHARGE CURRENT

Dis charge Current I (A)	$I \leq 0.08C$	$0.08C \leq I < 0.2C$	$0.2C \leq I < 0.6C$	$0.6C \leq I < 1.0C$	$I \geq 1.0C$
Final of Voltage	$\geq 1.85V_{pc}$	$\geq 1.80V_{pc}$	$\geq 1.75V_{pc}$	$\geq 1.70V_{pc}$	$\geq 1.60V_{pc}$

Headquarter

Y Transpower Technology Co.,Ltd (HQ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Max. 930 m³/h
S-Force

DC axial fans
Ø 172 x 51 mm



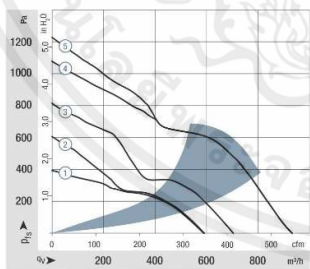
- **Material:** Housing: Die-cast aluminum
Impeller: GRP¹⁾ (PA)
 - **Direction of air flow:** Exhaust over struts
 - **Direction of rotation:** Counterclockwise, looking towards rotor
 - **Connection:** Via single wires AWG 18, 20 or AWG 22, TR 64, speed signal and control input AWG 22
 - **Highlights:** Highly efficient and smoothly operating 3-phase fan drive
Housing with grounding lug for screw M4 x 8 (Torx)
 - **Weight:** 910 g
- **Possible special versions:** (See chapter DC fans - specials)
 - Speed signal
 - Go / NoGo alarm
 - Alarm with speed limit
 - External temperature sensor
 - Internal temperature sensor
 - PWM control input (standard)
 - Analog control input
 - Multi-option control input
 - Moisture protection
 - Salt spray protection
 - Degree of protection: IP 54

1) Fiberglass-reinforced plastic

Series 6300 TD															
Nominal data	Air flow		Nominal voltage	Voltage range	Sound pressure level	Sound power level	Sine sleeve bearings	Ball bearings	Power consumption*	Nominal speed	Temperature range	Service life L ₁₀ (40 °C) ebm-papst standard	Service life L ₁₀ (T _{amb}) ebm-papst standard	Life expectancy L ₁₀ (MPC (40 °C) see page 17)	Curve
	m ³ /h	cfm													
6312/2 TDHP	600	353	12	8...16	60	7.3	■	40	5 500	-20...+70	75 000 / 37 500	127 500	②		
6314/2 TDHP-298	600	353	24	16...30	60	7.3	■	42	5 500	-20...+65	75 000 / 42 500	127 500	①		
6314/2 TDHP	600	353	24	16...36	60	7.3	■	40	5 500	-20...+75	75 000 / 30 000	127 500	②		
6314/2 TDHHP	710	418	24	16...36	69	7.9	■	67	7 000	-20...+75	62 500 / 25 000	105 000	③		
6314/2 TDH4P	930	545	24	16...36	75	8.4	■	150	9 200	-20...+75	52 500 / 20 000	87 500	⑤		
6318/2 TDHP-299	600	353	48	36...60	60	7.3	■	42	5 500	-20...+65	75 000 / 42 500	127 500	①		
6318/2 TDHP	600	353	48	36...72	60	7.3	■	40	5 500	-20...+75	75 000 / 30 000	127 500	②		
6318/2 TDHHP	710	418	48	36...72	69	7.9	■	67	7 000	-20...+75	62 500 / 25 000	105 000	③		
6318/2 TDH4P	930	545	48	36...72	75	8.4	■	150	9 200	-20...+75	52 500 / 20 000	87 500	④		

Subject to change

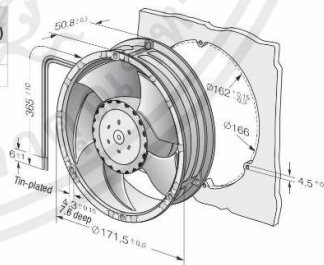
Speed control range from 1000 rpm⁻¹ up to maximum nominal speed.
Standstill at 0% PWM, maximum speed if control cable is interrupted.
* Power consumption at free air flow. These values can be significantly higher in the operating point.



*** Power consumption – in operation**

Fan type	optimum operating range (W)
6318/2 TDHHP	115
6318/2 TDH4P	270

Air performance measured according to: ISO 5801, Installation category A, without contact protection.
Noise: Total sound power level L_{WA} ISO 110642 measured on a hemisphere with a radius of 2 m.
Sound pressure level L_{pA} measured at 1 m distance from fan axis.
The values given are applicable only under the specified measuring conditions and may differ depending on the installation conditions.
In the event of deviation from the standard configuration, the parameters must be checked after installation!
For detailed information see <http://www.ebmpapst.com/general-conditions>



ebmpapst

Finger guards from p. 242

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mouser Electronics

Authorized Distributor

Click to View Pricing, Inventory, Delivery & Lifecycle Information:

[ebm-papst:](#)

[6312/2TDHP](#) [6314/2TDHHP](#) [6314/2TDHP](#) [6318/2TDH4P](#) [6318/2TDHHP](#) [6318/2TDHP](#) [6314/2TDHHP-015](#)
[6312/2MP-204](#) [6318/2TDH4PU](#)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ESP32-WROVER-E & ESP32-WROVER-IE

Datasheet



Version 1.8
Espressif Systems
Copyright © 2023

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

List of Tables

1	ESP32-WROVER-E Series Comparison	1
2	ESP32-WROVER-IE Series Comparison	1
3	ESP32-WROVER-E & ESP32-WROVER-IE Specifications	2
4	Pin Definitions	6
5	Strapping Pins	7
6	Parameter Descriptions of Setup and Hold Times for the Strapping Pins	8
7	Absolute Maximum Ratings	12
8	Recommended Operating Conditions	12
9	DC Characteristics (3.3 V, 25 °C)	12
10	Wi-Fi Radio Characteristics	13
11	Receiver Characteristics – Bluetooth LE	14
12	Transmitter Characteristics – Bluetooth LE	14



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

List of Figures

1	ESP32-WROVER-E Block Diagram (with ESP32-D0WD-V3 embedded)	3
2	ESP32-WROVER-E Block Diagram (with ESP32-D0WDR2-V3 embedded)	3
3	ESP32-WROVER-IE Block Diagram (with ESP32-D0WD-V3 embedded)	4
4	ESP32-WROVER-IE Block Diagram (with ESP32-D0WDR2-V3 embedded)	4
5	Pin Layout (Top View)	5
6	Setup and Hold Times for the Strapping Pins	8
7	Schematics of ESP32-WROVER-E	15
8	Schematics of ESP32-WROVER-IE	16
9	Peripheral Schematics	17
10	ESP32-WROVER-E Dimensions	18
11	ESP32-WROVER-IE Dimensions	18
12	Recommended PCB Land Pattern	19
13	Dimensions of External Antenna Connector	20
14	Reflow Profile	21



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 Overview

ESP32-WROVER-E and ESP32-WROVER-IE are two powerful, generic Wi-Fi + Bluetooth + Bluetooth LE MCU modules that target a wide variety of applications, ranging from low-power sensor networks to the most demanding tasks, such as voice encoding, music streaming and MP3 decoding.

ESP32-WROVER-E comes with a PCB antenna, and ESP32-WROVER-IE with a connector for an external antenna. **The information in this datasheet is applicable to both modules.**

The Series Comparison for the two modules is as follows:

Table 1: ESP32-WROVER-E Series Comparison¹

Ordering Code	Flash	PSRAM	Ambient Temp. ² (°C)	Size ³ (mm)
ESP32-WROVER-E-N4R8	4 MB (Quad SPI)	8 MB (Quad SPI)	-40 ~ 85	18.0 x 31.4 x 3.3
ESP32-WROVER-E-N8R8	8 MB (Quad SPI)	8 MB (Quad SPI)	-40 ~ 85	
ESP32-WROVER-E-N16R8	16 MB (Quad SPI)	8 MB (Quad SPI)	-40 ~ 85	
ESP32-WROVER-E-N4R2	4 MB (Quad SPI)	2 MB (Quad SPI) ⁴	-40 ~ 85	
ESP32-WROVER-E-N8R2	8 MB (Quad SPI)	2 MB (Quad SPI) ⁴	-40 ~ 85	
ESP32-WROVER-E-N16R2	16 MB (Quad SPI)	2 MB (Quad SPI) ⁴	-40 ~ 85	

¹ This table shares the same notes presented in the table 2 below.

Table 2: ESP32-WROVER-IE Series Comparison

Ordering Code	Flash	PSRAM	Ambient Temp. ² (°C)	Size ³ (mm)
ESP32-WROVER-IE-N4R8	4 MB (Quad SPI)	8 MB (Quad SPI)	-40 ~ 85	18.0 x 31.4 x 3.3
ESP32-WROVER-IE-N8R8	8 MB (Quad SPI)	8 MB (Quad SPI)	-40 ~ 85	
ESP32-WROVER-IE-N16R8	16 MB (Quad SPI)	8 MB (Quad SPI)	-40 ~ 85	
ESP32-WROVER-IE-N4R2	4 MB (Quad SPI)	2 MB (Quad SPI) ⁴	-40 ~ 85	
ESP32-WROVER-IE-N8R2	8 MB (Quad SPI)	2 MB (Quad SPI) ⁴	-40 ~ 85	
ESP32-WROVER-IE-N16R2	16 MB (Quad SPI)	2 MB (Quad SPI) ⁴	-40 ~ 85	

² Ambient temperature specifies the recommended temperature range of the environment immediately outside the Espressif module.

³ For details, refer to Section 9 *Physical Dimensions*.

⁴ This module uses PSRAM integrated in the chip's package.

At the core of the module is the ESP32-D0WD-V3 chip or ESP32-D0WDR2-V3 chip*. The chip embedded is designed to be scalable and adaptive. There are two CPU cores that can be individually controlled, and the CPU clock frequency is adjustable from 80 MHz to 240 MHz. The chip also has a low-power coprocessor that can be used instead of the CPU to save power while performing tasks that do not require much computing power, such as monitoring of peripherals. ESP32 integrates a rich set of peripherals, ranging from capacitive touch sensors, SD card interface, Ethernet, high-speed SPI, UART, I2S and I2C.

Note:

* For details on the part numbers of the ESP32 family of chips, please refer to the document [ESP32 Datasheet](#).

The integration of Bluetooth®, Bluetooth LE and Wi-Fi ensures that a wide range of applications can be targeted, and that the module is all-around: using Wi-Fi allows a large physical range and direct connection to the Internet through a Wi-Fi router, while using Bluetooth allows the user to conveniently connect to the phone or broadcast low energy beacons for its detection. The sleep current of the ESP32 chip is less than 5 μ A, making it suitable for battery powered and wearable electronics applications. The module supports a data rate of up to 150 Mbps, and 20 dBm output power at the antenna to ensure the widest physical range. As such the module does offer industry-leading specifications and the best performance for electronic integration, range, power consumption, and connectivity.

The operating system chosen for ESP32 is freeRTOS with LWIP; TLS 1.2 with hardware acceleration is built in as well. Secure (encrypted) over the air (OTA) upgrade is also supported, so that users can upgrade their products even after their release, at minimum cost and effort.

Table 3 provides the specifications of the two modules.

Table 3: ESP32-WROVER-E & ESP32-WROVER-IE Specifications

Categories	Items	Specifications
Certification	RF certification	See certificates for ESP32-WROVER-E and ESP32-WROVER-IE
Test	Reliability	HTOL/HTSL/uHAST/TCT/ESD
Wi-Fi	Protocols	802.11 b/g/n (802.11n up to 150 Mbps) A-MPDU and A-MSDU aggregation and 0.4 μ s guard interval support
	Center frequency range of operating channel	2412 ~ 2484 MHz
Bluetooth	Protocols	Bluetooth v4.2 BR/EDR and Bluetooth LE specification
	Radio	NZIF receiver with -97 dBm sensitivity Class-1, class-2 and class-3 transmitter AFH
	Audio	CVSD and SBC
Hardware	Module interfaces	SD card, UART, SPI, SDIO, I2C, LED PWM, Motor PWM, I2S, IR, pulse counter, GPIO, capacitive touch sensor, ADC, DAC, Two-Wire Automotive Interface (TWA [®]), compatible with ISO11898-1 (CAN Specification 2.0)
	Integrated crystal	40 MHz crystal
	Integrated SPI flash	See Table 1 and Table 2
	Integrated PSRAM	See Table 1 and Table 2
	Operating voltage/Power supply	3.0 V ~ 3.6 V
	Minimum current delivered by power supply	500 mA
	Package size	(18.00 \pm 0.15) mm \times (31.40 \pm 0.15) mm \times (3.30 \pm 0.15) mm
Moisture sensitivity level (MSL)	Level 3	

2 Block Diagram

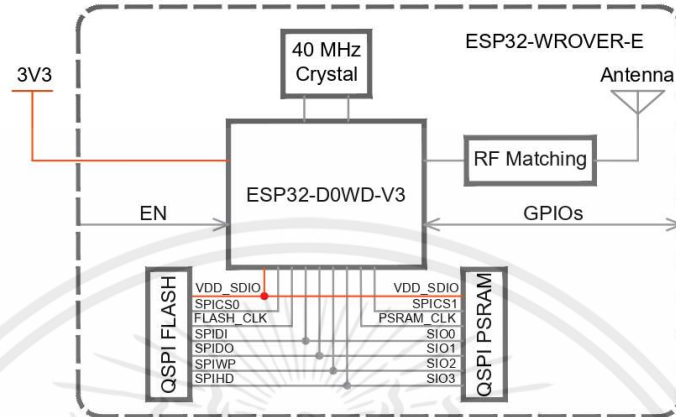


Figure 1: ESP32-WROVER-E Block Diagram (with ESP32-D0WD-V3 embedded)

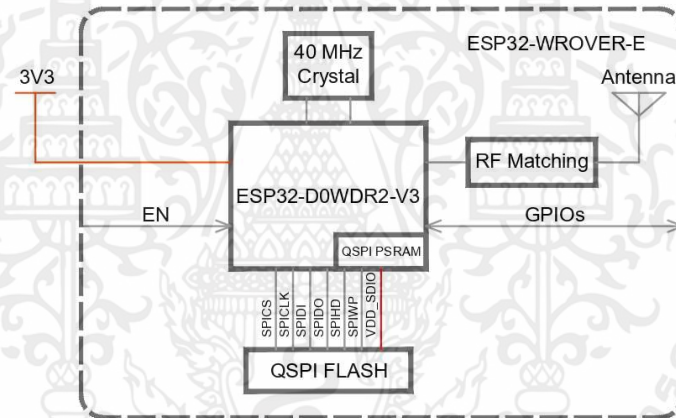


Figure 2: ESP32-WROVER-E Block Diagram (with ESP32-D0WDR2-V3 embedded)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3 Pin Definitions

3.1 Pin Layout

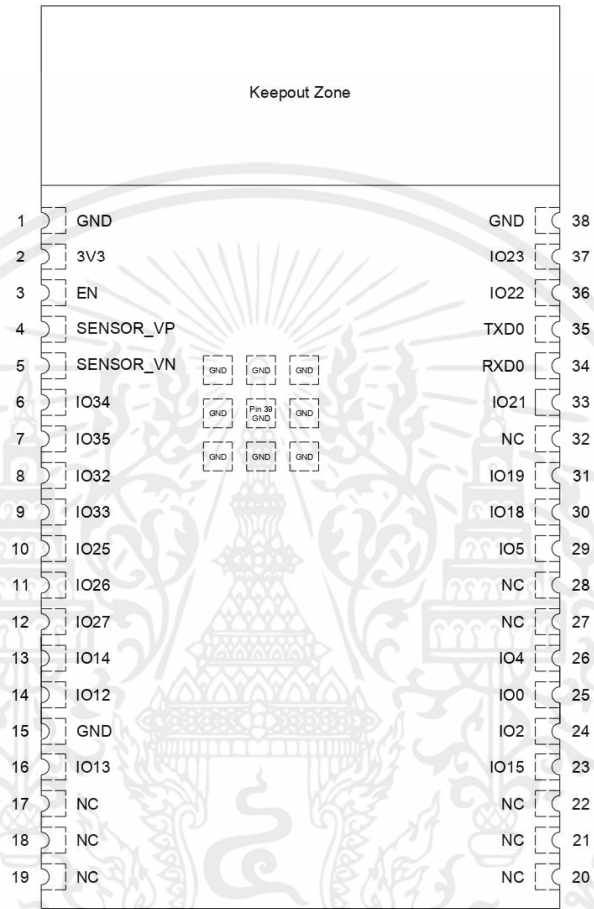


Figure 5: Pin Layout (Top View)

3.2 Pin Description

The module has 38 pins. See pin definitions in Table 4.

Table 4: Pin Definitions

Name	No.	Type	Function
GND	1	P	Ground
3V3	2	P	Power supply
EN	3	I	Module-enable signal. Active high.
SENSOR_VP	4	I	GPIO36, ADC1_CH0, RTC_GPIO0
SENSOR_VN	5	I	GPIO39, ADC1_CH3, RTC_GPIO3
IO34	6	I	GPIO34, ADC1_CH6, RTC_GPIO4
IO35	7	I	GPIO35, ADC1_CH7, RTC_GPIO5
IO32	8	I/O	GPIO32, XTAL_32K_P (32.768 kHz crystal oscillator input), ADC1_CH4, TOUCH9, RTC_GPIO9
IO33	9	I/O	GPIO33, XTAL_32K_N (32.768 kHz crystal oscillator output), ADC1_CH5, TOUCH8, RTC_GPIO8
IO25	10	I/O	GPIO25, DAC_1, ADC2_CH8, RTC_GPIO6, EMAC_RXD0
IO26	11	I/O	GPIO26, DAC_2, ADC2_CH9, RTC_GPIO7, EMAC_RXD1
IO27	12	I/O	GPIO27, ADC2_CH7, TOUCH7, RTC_GPIO17, EMAC_RX_DV
IO14	13	I/O	GPIO14, ADC2_CH6, TOUCH6, RTC_GPIO16, MTMS, HSPICLK, HS2_CLK, SD_CLK, EMAC_TXD2
IO12	14	I/O	GPIO12, ADC2_CH5, TOUCH5, RTC_GPIO15, MTDI, HSPIO, HS2_DATA2, SD_DATA2, EMAC_TXD3
GND	15	P	Ground
IO13	16	I/O	GPIO13, ADC2_CH4, TOUCH4, RTC_GPIO14, MTCK, HSPID, HS2_DATA3, SD_DATA3, EMAC_RX_ER
NC *	17	-	-
NC *	18	-	-
NC *	19	-	-
NC *	20	-	-
NC *	21	-	-
NC *	22	-	-
IO15	23	-	GPIO15, ADC2_CH3, TOUCH3, MTDO, HSPICS0, RTC_GPIO13, HS2_CMD, SD_CMD, EMAC_RXD3
IO2	24	I/O	GPIO2, ADC2_CH2, TOUCH2, RTC_GPIO12, HSPWP, HS2_DAIA0, SD_DATA0
IO0	25	I/O	GPIO0, ADC2_CH1, TOUCH1, RTC_GPIO11, CLK_OUT1, EMAC_TX_CLK
IO4	26	I/O	GPIO4, ADC2_CH0, TOUCH0, RTC_GPIO10, HSPiHD, HS2_DATA1, SD_DATA1, EMAC_TX_ER
NC	27	-	-
NC	28	-	-
IO5	29	I/O	GPIO5, VSPICS0, HS1_DATA6, EMAC_RX_CLK
IO18	30	I/O	GPIO18, VSPICLK, HS1_DATA7
IO19	31	I/O	GPIO19, VSPIQ, U0CTS, EMAC_TXD0
NC	32	-	-
IO21	33	I/O	GPIO21, VSPiHD, EMAC_TX_EN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Name	No.	Type	Function
RXD0	34	I/O	GPIO3, U0RXD, CLK_OUT2
TXD0	35	I/O	GPIO1, U0TXD, CLK_OUT3, EMAC_RXD2
IO22	36	I/O	GPIO22, VSPWP, U0RTS, EMAC_TXD1
IO23	37	I/O	GPIO23, VSPID, HS1_STROBE
GND	38	P	Ground

Notice:

* Pins GPIO6 to GPIO11 on the ESP32-D0WD-V3/ESP32-D0WDR2-V3 chip are connected to the SPI flash integrated on the module and are not led out.

3.3 Strapping Pins

ESP32 has five strapping pins, which can be seen in Chapter 7 Schematics:

- MTDI
- GPIO0
- GPIO2
- MTDO
- GPIO5

Software can read the values of these five bits from register "GPIO_STRAPPING".

During the chip's system reset release (power-on-reset, RTC watchdog reset and brownout reset), the latches of the strapping pins sample the voltage level as strapping bits of "0" or "1", and hold these bits until the chip is powered down or shut down. The strapping bits configure the device's boot mode, the operating voltage of VDD_SDIO and other initial system settings.

Each strapping pin is connected to its internal pull-up/pull-down during the chip reset. Consequently, if a strapping pin is unconnected or the connected external circuit is high-impedance, the internal weak pull-up/pull-down will determine the default input level of the strapping pins.

To change the strapping bit values, users can apply the external pull-down/pull-up resistances, or use the host MCU's GPIOs to control the voltage level of these pins when powering on ESP32.

After reset release, the strapping pins work as normal-function pins.

Refer to Table 5 for a detailed boot-mode configuration by strapping pins.

Table 5: Strapping Pins

Voltage of Internal LDO (VDD_SDIO)			
Pin	Default	3.3 V	1.8 V
MTDI	Pull-down	0	1
Bootling Mode			
Pin	Default	SPI Boot	Download Boot
GPIO0	Pull-up	1	0
GPIO2	Pull-down	Don't-care	0

Enabling/Disabling Debugging Log Print over U0TXD During Booting					
Pin	Default	U0TXD Active		U0TXD Silent	
MTDO	Pull-up	1		0	
Timing of SDIO Slave					
Pin	Default	FE Sampling FE Output	FE Sampling RE Output	RE Sampling FE Output	RE Sampling RE Output
MTDO	Pull-up	0	0	1	1
GPIO5	Pull-up	0	1	0	1

Note:

- FE: falling-edge, RE: rising-edge.
- Firmware can configure register bits to change the settings of "Voltage of Internal LDO (VDD_SDIO)" and "Timing of SDIO Slave" after booting.
- Internal pull-up resistor (R9) for MTDI is not populated in the module, as the flash and SRAM in the module only support a power voltage of 3.3 V (output by VDD_SDIO).

The illustration below shows the setup and hold times for the strapping pins before and after the CHIP_PU signal goes high. Details about the parameters are listed in Table 6.

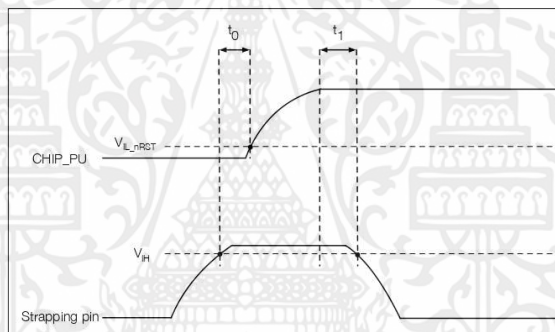


Figure 6: Setup and Hold Times for the Strapping Pins

Table 6: Parameter Descriptions of Setup and Hold Times for the Strapping Pins

Parameters	Description	Min.	Unit
t_0	Setup time before CHIP_PU goes from low to high	0	ms
t_1	Hold time after CHIP_PU goes high	1	ms

4 Functional Description

This chapter describes the modules and functions integrated in ESP32-WROVER-E and ESP32-WROVER-IE.

4.1 CPU and Internal Memory

ESP32-D0WD-V3 (or ESP32-D0WDR2-V3) contains two low-power Xtensa® 32-bit LX6 microprocessors. The internal memory includes:

- 448 KB of ROM for booting and core functions.
- 520 KB of on-chip SRAM for data and instructions.
- 8 KB of SRAM in RTC, which is called RTC FAST Memory and can be used for data storage; it is accessed by the main CPU during RTC Boot from the Deep-sleep mode.
- 8 KB of SRAM in RTC, which is called RTC SLOW Memory and can be accessed by the co-processor during the Deep-sleep mode.
- 1 Kbit of eFuse: 256 bits are used for the system (MAC address and chip configuration) and the remaining 768 bits are reserved for customer applications, including flash-encryption and chip-ID.

4.2 External Flash and SRAM

ESP32 supports multiple external QSPI flash and SRAM chips. More details can be found in Chapter SPI in the *ESP32 Technical Reference Manual*. ESP32 also supports hardware encryption/decryption based on AES to protect developers' programs and data in flash.

ESP32 can access the external QSPI flash and SRAM through high-speed caches.

- The external flash can be mapped into CPU instruction memory space and read-only memory space simultaneously.
 - When external flash is mapped into CPU instruction memory space, up to 11 MB + 248 KB can be mapped at a time. Note that if more than 3 MB + 248 KB are mapped, cache performance will be reduced due to speculative reads by the CPU.
 - When external flash is mapped into read-only data memory space, up to 4 MB can be mapped at a time. 8-bit, 16-bit and 32-bit reads are supported.
- External SRAM can be mapped into CPU data memory space. Up to 4 MB can be mapped at a time. 8-bit, 16-bit and 32-bit reads and writes are supported.

4.3 Crystal Oscillators

The module uses a 40-MHz crystal oscillator.

4.4 RTC and Low-Power Management

With the use of advanced power-management technologies, ESP32 can switch between different power modes.

For details on ESP32's power consumption in different power modes, please refer to section "RTC and Low-Power Management" in [ESP32 Datasheet](#).



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5 Peripherals and Sensors

Please refer to Section *Peripherals and Sensors* in [ESP32 Datasheet](#).

Note:

External connections can be made to any GPIO except for GPIOs in the range 6-11, 16, or 17. GPIOs 6-11 are connected to the module's integrated SPI flash. GPIOs 16 and 17 are connected to the module's integrated PSRAM. For details, please see Section 7 *Schematics*.



6 Electrical Characteristics

6.1 Absolute Maximum Ratings

Stresses beyond the absolute maximum ratings listed in the table below may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and do not refer to the functional operation of the device that should follow the recommended operating conditions.

Table 7: Absolute Maximum Ratings

Symbol	Parameter	Min	Max	Unit
VDD33	Power supply voltage	-0.3	3.6	V
I_{output}^1	Cumulative IO output current	-	1,100	mA
T_{store}	Storage temperature	-40	105	°C

- The module worked properly after a 24-hour test in ambient temperature at 25 °C, and the IOs in three domains (VDD3P3_RTC, VDD3P3_CPU, VDD_SDIO) output high logic level to ground. Please note that pins occupied by flash and/or PSRAM in the VDD_SDIO power domain were excluded from the test.
- Please see Appendix *IO_MUX* in [ESP32 Datasheet](#) for IO's power domain.

6.2 Recommended Operating Conditions

Table 8: Recommended Operating Conditions

Symbol	Parameter	Min	Typical	Max	Unit
VDD33	Power supply voltage	3.0	3.3	3.6	V
I_{VDD}	Current delivered by external power supply	0.5	-	-	A
T	Operating temperature	-40	-	85	°C

6.3 DC Characteristics (3.3 V, 25 °C)

Table 9: DC Characteristics (3.3 V, 25 °C)

Symbol	Parameter	Min	Typ	Max	Unit
C_{IN}	Pin capacitance	-	2	-	pF
V_{IH}	High-level input voltage	$0.75 \times VDD^1$	-	$VDD^1 + 0.3$	V
V_{IL}	Low-level input voltage	-0.3	-	$0.25 \times VDD^1$	V
I_{IH}	High-level input current	-	-	50	nA
I_{IL}	Low-level input current	-	-	50	nA
V_{OH}	High-level output voltage	$0.8 \times VDD^1$	-	-	V
V_{OL}	Low-level output voltage	-	-	$0.1 \times VDD^1$	V

Symbol	Parameter	Min	Typ	Max	Unit	
I_{OH}	High-level source current (VDD ¹ = 3.3 V, V _{OH} >= 2.64 V, output drive strength set to the maximum)	VDD3P3_CPU power domain ^{1, 2}	-	40	-	mA
		VDD3P3_RTC power domain ^{1, 2}	-	40	-	mA
		VDD_SDIO power domain ^{1, 3}	-	20	-	mA
I_{OL}	Low-level sink current (VDD ¹ = 3.3 V, V _{OL} = 0.495 V, output drive strength set to the maximum)	-	28	-	mA	
R _{PU}	Resistance of internal pull-up resistor	-	45	-	kΩ	
R _{PD}	Resistance of internal pull-down resistor	-	45	-	kΩ	
V _{IL,nRST}	Low-level input voltage of CHIP_PU to shut down the chip	-	-	0.6	V	

Notes:

1. Please see Appendix IO_MUX in *ESP32 Datasheet* for IO's power domain. VDD is the I/O voltage for a particular power domain of pins.
2. For VDD3P3_CPU and VDD3P3_RTC power domain, per-pin current sourced in the same domain is gradually reduced from around 40 mA to around 29 mA, V_{OH} >= 2.64 V, as the number of current-source pins increases.
3. Pins occupied by flash and/or PSRAM in the VDD_SDIO power domain were excluded from the test.

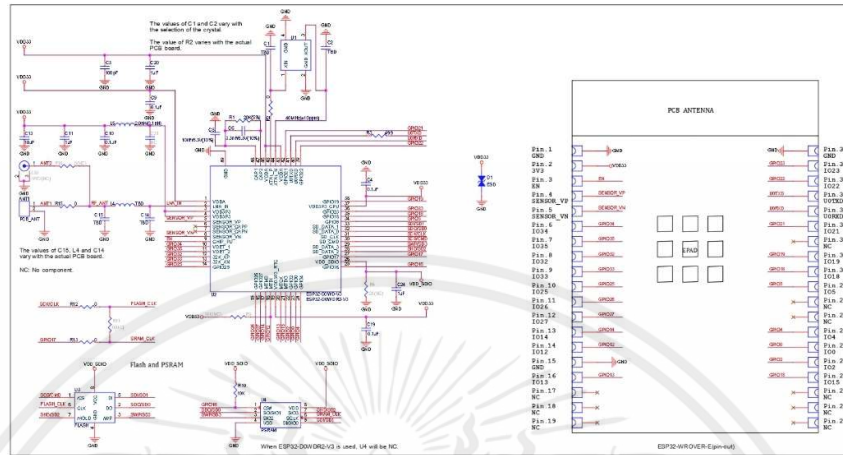
6.4 Wi-Fi Radio

Table 10: Wi-Fi Radio Characteristics

Parameter	Condition	Min	Typical	Max	Unit
Center frequency range of operating channel ^{note1}	-	2412	-	2484	MHz
Output impedance ^{note2}	-	-	*	-	Ω
TX power ^{note3}	11n, MCS7	12	13	14	dBm
	11b mode	18.5	19.5	20.5	dBm
Sensitivity	11b, 1 Mbps	-	-97	-	dBm
	11b, 11 Mbps	-	-88	-	dBm
	11g, 6 Mbps	-	-92	-	dBm
	11g, 54 Mbps	-	-75	-	dBm
	11n, HT20, MCS0	-	-92	-	dBm
	11n, HT20, MCS7	-	-72	-	dBm
	11n, HT40, MCS0	-	-89	-	dBm
11n, HT40, MCS7	-	-69	-	dBm	
Adjacent channel rejection	11g, 6 Mbps	-	27	-	dB
	11g, 54 Mbps	-	13	-	dB
	11n, HT20, MCS0	-	27	-	dB
	11n, HT20, MCS7	-	12	-	dB

7 Schematics

This is the reference design of the module.



10 Recommended PCB Land Pattern

This section provides the following resources for your reference:

- Figures for recommended PCB land patterns with all the dimensions needed for PCB design. See Figure 12 *Recommended PCB Land Pattern*.
- Source files of recommended PCB land patterns to measure dimensions not covered in Figure 12. You can view the source files for [ESP32-WROVER-E](#) and [ESP32-WROVER-IE](#) with [Autodesk Viewer](#).
- 3D models of [ESP32-WROVER-E](#) and [ESP32-WROVER-IE](#). Please make sure that you download the 3D model file in .STEP format (beware that some browsers might add .txt).

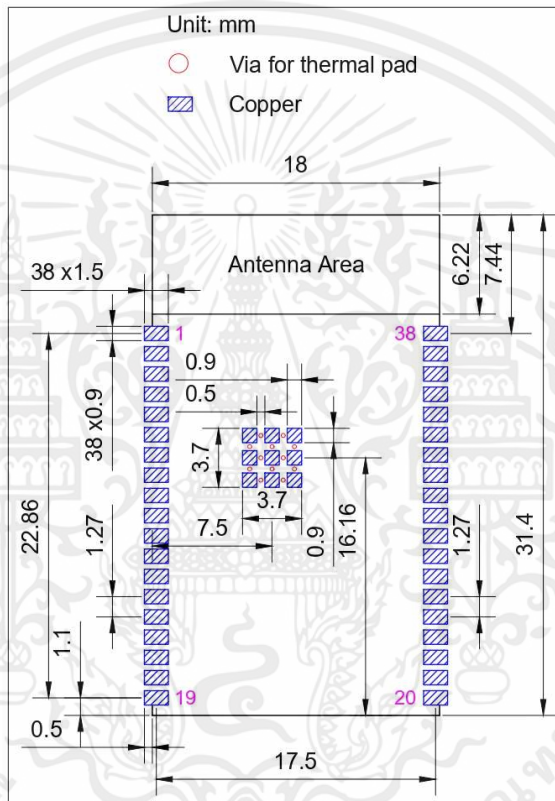


Figure 12: Recommended PCB Land Pattern

11 Dimensions of External Antenna Connector

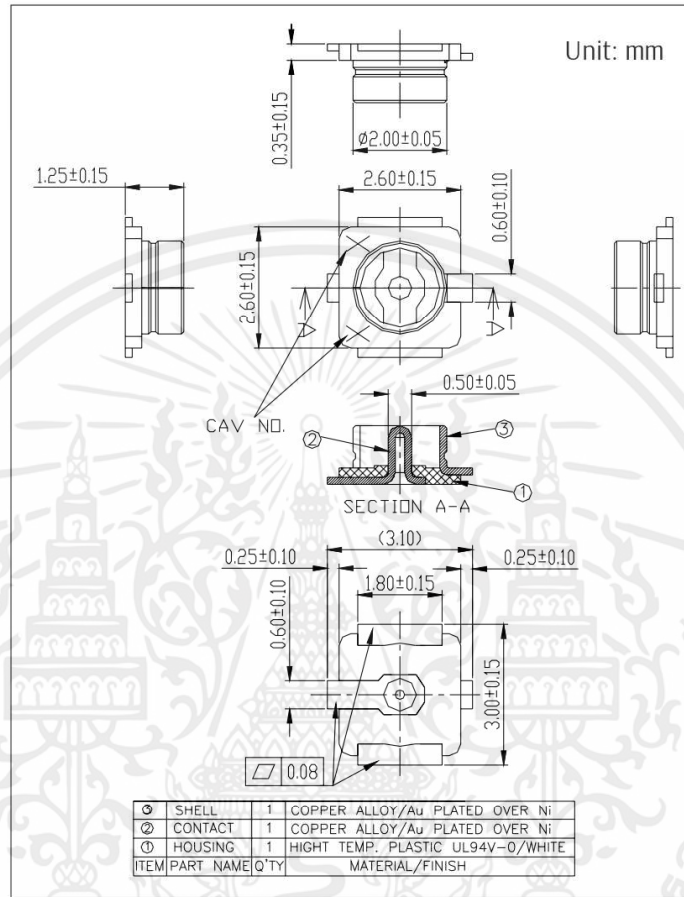


Figure 13: Dimensions of External Antenna Connector

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

12 Product Handling

12.1 Storage Conditions

The products sealed in moisture barrier bags (MBB) should be stored in a non-condensing atmospheric environment of $< 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ and 90%RH. The module is rated at the moisture sensitivity level (MSL) of 3.

After unpacking, the module must be soldered within 168 hours with the factory conditions $25 \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ and 60 %RH. If the above conditions are not met, the module needs to be baked.

12.2 Electrostatic Discharge (ESD)

- Human body model (HBM): $\pm 2000\text{ V}$
- Charged-device model (CDM): $\pm 500\text{ V}$

12.3 Reflow Profile

Solder the module in a single reflow.

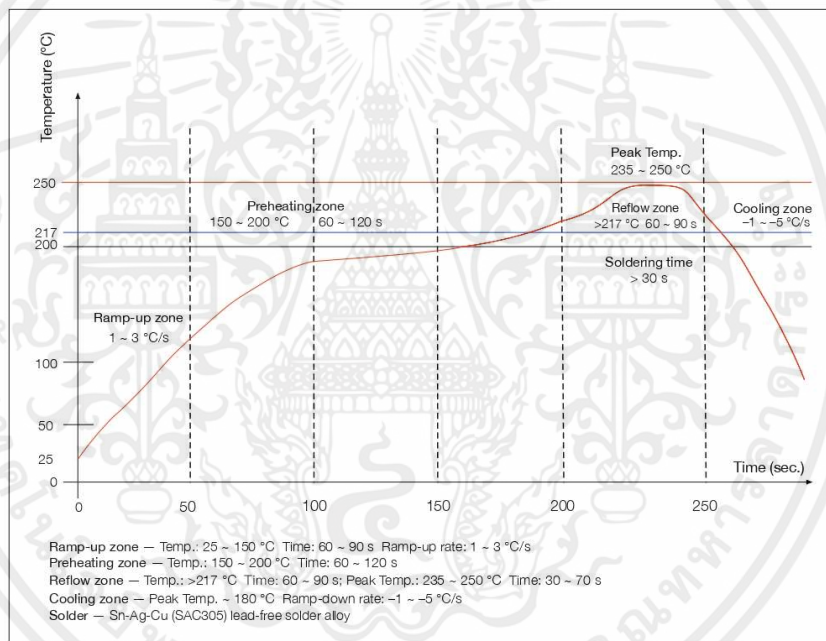


Figure 14: Reflow Profile

12.4 Ultrasonic Vibration

Avoid exposing Espressif modules to vibration from ultrasonic equipment, such as ultrasonic welders or ultrasonic cleaners. This vibration may induce resonance in the in-module crystal and lead to its malfunction or even failure. As a consequence, **the module may stop working or its performance may deteriorate.**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

13 Related Documentation and Resources

Related Documentation

- [ESP32 Series Datasheet](#) – Specifications of the ESP32 hardware.
- [ESP32 Technical Reference Manual](#) – Detailed information on how to use the ESP32 memory and peripherals.
- [ESP32 Hardware Design Guidelines](#) – Guidelines on how to integrate the ESP32 into your hardware product.
- [ESP32 ECO and Workarounds for Bugs](#) – Correction of ESP32 design errors.
- [Certificates](#)
<https://espressif.com/en/support/documents/certificates>
- [ESP32 Product/Process Change Notifications \(PCN\)](#)
<https://espressif.com/en/support/documents/pcns>
- [ESP32 Advisories](#) – Information on security, bugs, compatibility, component reliability.
<https://espressif.com/en/support/documents/advisories>
- [Documentation Updates and Update Notification Subscription](#)
<https://espressif.com/en/support/download/documents>

Developer Zone

- [ESP-IDF Programming Guide for ESP32](#) – Extensive documentation for the ESP-IDF development framework.
- [ESP-IDF](#) and other development frameworks on GitHub.
<https://github.com/espressif>
- [ESP32 BBS Forum](#) – Engineer-to-Engineer (E2E) Community for Espressif products where you can post questions, share knowledge, explore ideas, and help solve problems with fellow engineers.
<https://esp32.com/>
- [The ESP Journal](#) – Best Practices, Articles, and Notes from Espressif folks.
<https://blog.espressif.com/>
- See the tabs [SDKs and Demos](#), [Apps](#), [Tools](#), [AT Firmware](#).
<https://espressif.com/en/support/download/sdk-demos>

Products

- [ESP32 Series SoCs](#) – Browse through all ESP32 SoCs.
<https://espressif.com/en/products/socs?id=ESP32>
- [ESP32 Series Modules](#) – Browse through all ESP32-based modules.
<https://espressif.com/en/products/modules?id=ESP32>
- [ESP32 Series DevKits](#) – Browse through all ESP32-based devkits.
<https://espressif.com/en/products/devkits?id=ESP32>
- [ESP Product Selector](#) – Find an Espressif hardware product suitable for your needs by comparing or applying filters.
<https://products.espressif.com/#/product-selector?language=en>

Contact Us

- See the tabs [Sales Questions](#), [Technical Enquiries](#), [Circuit Schematic & PCB Design Review](#), [Get Samples \(Online stores\)](#), [Become Our Supplier](#), [Comments & Suggestions](#).
<https://espressif.com/en/contact-us/sales-questions>

Revision History

Date	Version	Release notes
2023-02-09	v1.8	Major updates: <ul style="list-style-type: none"> Removed contents about hall sensor according to PCN20221202 Other updates: <ul style="list-style-type: none"> Added source files of PCB land patterns and 3D models of the modules (if available) in Section 10: <i>Recommended PCB Land Pattern</i>
2022-12-02	v1.7	Updated Figure <i>Physical Dimensions</i> and <i>Recommended PCB Land Pattern</i>
2022-07-20	v1.6	Added module variants embedded with ESP32-D0WDR2-V3 chip Added Table 1: <i>ESP32-WROVER-E Series Comparison</i> and Table 2: <i>ESP32-WROVER-IE Series Comparison</i> Added Figure 6 and Table 6 in Section 3.3: <i>Strapping Pins</i> Updated Section 13: <i>Related Documentation and Resources</i>
2022-02-22	v1.5	Replaced Espressif Product Ordering Information with ESP Product Selector Updated the description of TWAI in Table 3 Added a link to RF certificates in Table 3 Updated Ordering Information Table Updated Table 7 Fixed typos
2021-02-09	V1.4	Updated Figure 9: <i>Physical Dimensions</i> Updated Figure 12: <i>Recommended PCB Land Pattern</i>
2021-02-02	V1.3	Updated the trade mark from TWAI™ to TWAI® Modified the note below Figure 14: <i>Reflow Profile</i> Deleted Reset Circuit and Discharge Circuit for VDD33 Rail in Section 8: <i>Peripheral Schematics</i>
2020-11-02	V1.2	Updated Figure 3.1: <i>Pin Layout</i> Added a note to EPAD in Section 10: <i>Recommended PCB Land Pattern</i> Updated the note to RC delay circuit in Section 8: <i>Peripheral Schematics</i>
2020-06-11	V1.1	Updated the following figures: <ul style="list-style-type: none"> Figure 1: <i>ESP32-WROVER-E Block Diagram (with ESP32-D0WD-V3 embedded)</i> Figure 2: <i>ESP32-WROVER-E Block Diagram (with ESP32-D0WDR2-V3 embedded)</i>
2020-05-22	V1.0	Official release

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

About This Document

This document provides the specifications for the ESP32-WROVER-E and ESP32-WROVER-IE modules.

Document Updates

Please always refer to the latest version on <https://www.espressif.com/en/support/download/documents>.

Revision History

For revision history of this document, please refer to the last page.

Documentation Change Notification

Espressif provides email notifications to keep customers updated on changes to technical documentation. Please subscribe at www.espressif.com/en/subscribe. Note that you need to update your subscription to receive notifications of new products you are not currently subscribed to.

Certification

Download certificates for Espressif products from www.espressif.com/en/certificates.



Contents

1	Overview	1
2	Block Diagram	3
3	Pin Definitions	5
3.1	Pin Layout	5
3.2	Pin Description	5
3.3	Strapping Pins	7
4	Functional Description	9
4.1	CPU and Internal Memory	9
4.2	External Flash and SRAM	9
4.3	Crystal Oscillators	9
4.4	RTC and Low-Power Management	9
5	Peripherals and Sensors	11
6	Electrical Characteristics	12
6.1	Absolute Maximum Ratings	12
6.2	Recommended Operating Conditions	12
6.3	DC Characteristics (3.3 V, 25 °C)	12
6.4	Wi-Fi Radio	13
6.5	Bluetooth LE Radio	14
6.5.1	Receiver	14
6.5.2	Transmitter	14
7	Schematics	15
8	Peripheral Schematics	17
9	Physical Dimensions	18
10	Recommended PCB Land Pattern	19
11	Dimensions of External Antenna Connector	20
12	Product Handling	21
12.1	Storage Conditions	21
12.2	Electrostatic Discharge (ESD)	21
12.3	Reflow Profile	21
12.4	Ultrasonic Vibration	22
13	Related Documentation and Resources	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

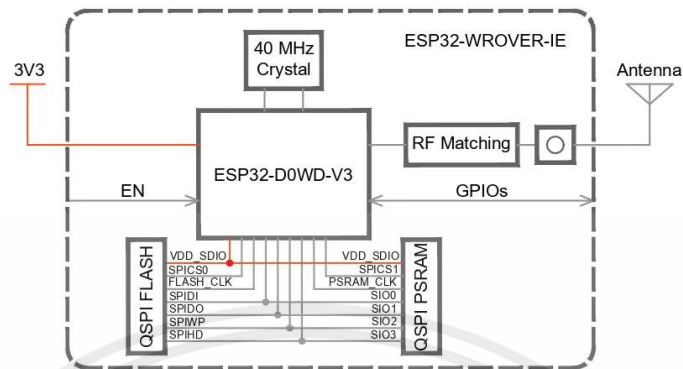


Figure 3: ESP32-WROVER-IE Block Diagram (with ESP32-D0WD-V3 embedded)

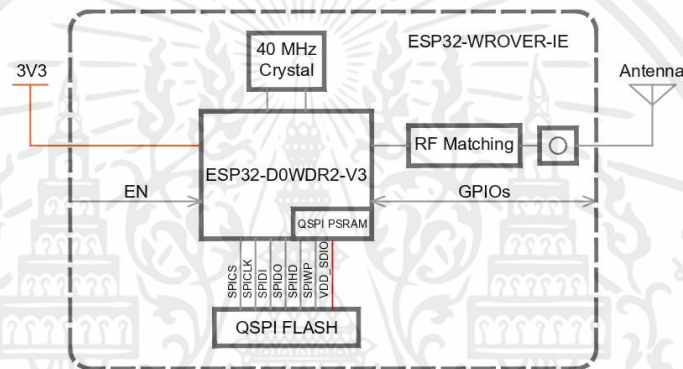


Figure 4: ESP32-WROVER-IE Block Diagram (with ESP32-D0WDR2-V3 embedded)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Notes:

1. Device should operate in the frequency range allocated by regional regulatory authorities. Target center operating frequency range is configurable by software.
2. For the modules that use external antennas, the output impedance is 50 Ω . For other modules without external antennas, users do not need to concern about the output impedance.
3. Target TX power is configurable based on device or certification requirements.

6.5 Bluetooth LE Radio**6.5.1 Receiver****Table 11: Receiver Characteristics – Bluetooth LE**

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Sensitivity @30.8% PER	-	-94	-93	-92	dBm
Maximum received signal @30.8% PER	-	0	-	-	dBm
Co-channel C/I	-	-	+10	-	dB
Adjacent channel selectivity C/I	F = F0 + 1 MHz	-	-5	-	dB
	F = F0 - 1 MHz	-	-5	-	dB
	F = F0 + 2 MHz	-	-25	-	dB
	F = F0 - 2 MHz	-	-35	-	dB
	F = F0 + 3 MHz	-	-25	-	dB
	F = F0 - 3 MHz	-	-45	-	dB
Out-of-band blocking performance	30 MHz ~ 2000 MHz	-10	-	-	dBm
	2000 MHz ~ 2400 MHz	-27	-	-	dBm
	2500 MHz ~ 3000 MHz	-27	-	-	dBm
	3000 MHz ~ 12.5 GHz	-10	-	-	dBm
Intermodulation	-	-36	-	-	dBm

6.5.2 Transmitter**Table 12: Transmitter Characteristics – Bluetooth LE**

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
RF transmit power	-	-	0	-	dBm
Gain control step	-	-	3	-	dBm
RF power control range	-	-12	-	+9	dBm
Adjacent channel transmit power	F = F0 \pm 2 MHz	-	-52	-	dBm
	F = F0 \pm 3 MHz	-	-58	-	dBm
	F = F0 \pm > 3 MHz	-	-60	-	dBm
Δf_{1avg}	-	-	-	265	kHz
Δf_{2max}	-	247	-	-	kHz
$\Delta f_{2avg}/\Delta f_{1avg}$	-	-	+0.92	-	-
ICFT	-	-	-10	-	kHz
Drift rate	-	-	0.7	-	kHz/50 μ s
Drift	-	-	2	-	kHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

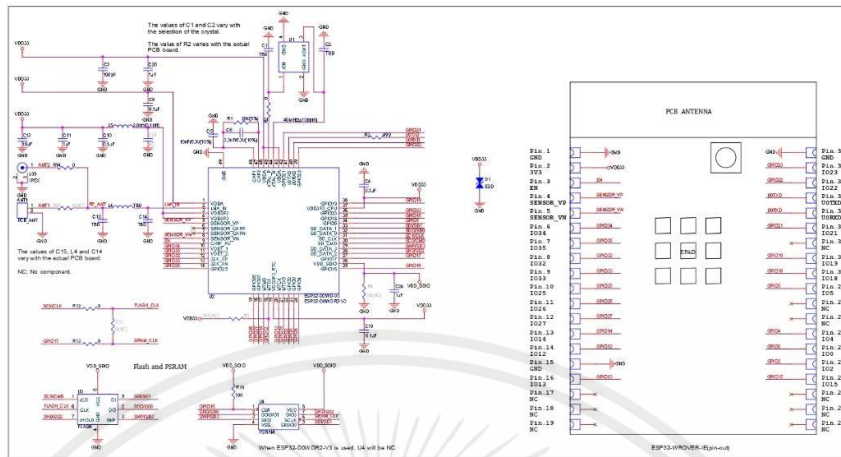


Figure 8: Schematics of ESP32-WROVER-IE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9 Physical Dimensions

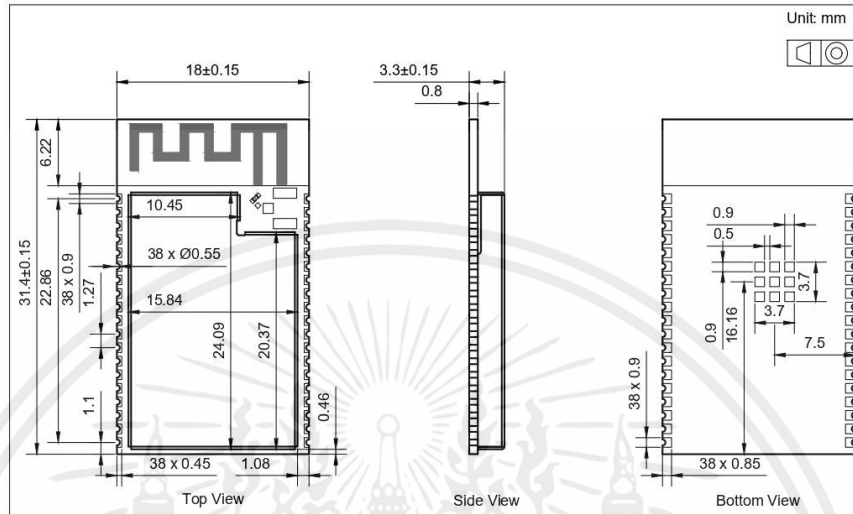


Figure 10: ESP32-WROVER-E Dimensions

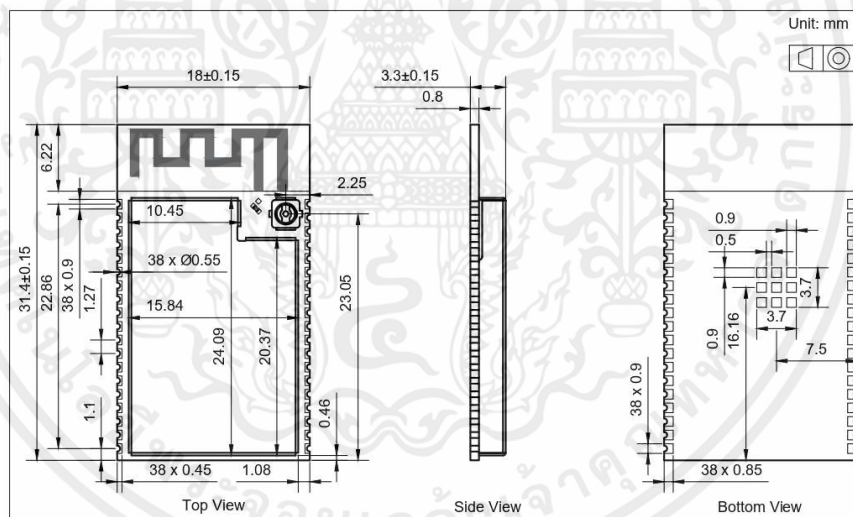


Figure 11: ESP32-WROVER-IE Dimensions

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Disclaimer and Copyright Notice

Information in this document, including URL references, is subject to change without notice.

ALL THIRD PARTY'S INFORMATION IN THIS DOCUMENT IS PROVIDED AS IS WITH NO WARRANTIES TO ITS AUTHENTICITY AND ACCURACY.

NO WARRANTY IS PROVIDED TO THIS DOCUMENT FOR ITS MERCHANTABILITY, NON-INFRINGEMENT, FITNESS FOR ANY PARTICULAR PURPOSE, NOR DOES ANY WARRANTY OTHERWISE ARISING OUT OF ANY PROPOSAL, SPECIFICATION OR SAMPLE.

All liability, including liability for infringement of any proprietary rights, relating to use of information in this document is disclaimed. No licenses express or implied, by estoppel or otherwise, to any intellectual property rights are granted herein.

The Wi-Fi Alliance Member logo is a trademark of the Wi-Fi Alliance. The Bluetooth logo is a registered trademark of Bluetooth SIG.

All trade names, trademarks and registered trademarks mentioned in this document are property of their respective owners, and are hereby acknowledged.

Copyright © 2023 Espressif Systems (Shanghai) Co., Ltd. All rights reserved.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

XY-MD02

1.Description:

Product adopts industrial-grade chip, high-precision SHT20 temperature and humidity sensors, ensure the products with good reliability, high precision and interchangeability.

Adopt RS485 hardware interface (with the lightning protection design), the protocol layer compatible with standard industrial Modbus RTU protocol.

This product integrating MODBUS protocol and ordinary UART communication protocol, users can choose communication protocols, UART communication support automatic report function (Connect the RS485 serial interface mode tool by automatically output temperature and humidity).

2.Features:

- 1>.Support MODBUS RTU protocol
- 2>.RS485 supports 1000 meters communication
- 3>.Standard DIN35 mounting rails
- 4>.High precision
- 5>.Industrial products, high progress SHT20 temperature and humidity sensor, the RS485 communication
- 6>.Standard MODBUS protocol and ordinary protocol, the user can choose communication protocol
- 7>.Baud rate can decide for themselves
- 8>.General agreement with automatic upload function, upload speed can decide for themselves

3.Parameters:

- 1>.Product Name:Modbus RTU RS485 SHT20 Temperature Humidity Transmitter
- 2>.Product Number:XY-MD02
- 3>.Working Voltage:DC 5V~30V
- 4>.Output signal:RS485 signal
- 5>.Communication protocol:Modbus RTU and ordinary protocol
- 6>.Communication address:1~247(default 1)
- 7>.Temperature Range:-40°C~60°C
- 8>.Temperature Precision:±0.5°C
- 9>.Temperature Resolution:0.1°C
- 10>.Humidity Range:0%RH~80%RH
- 11>.Humidity Precision:±3%RH
- 12>.Humidity Resolution:0.1%RH
- 13>.Power:<0.2W
- 14>.Work Temperature:-40°C~85°C
- 15>.Work Humidity:0%~95%RH
- 16>.Size:65*46*28.5mm

4.Using Steps:

- 1>.Connect signal receiver such as for Arduino to RS485 terminal.
- 2>.Input power supply at power terminal.

3>.According to the acquired data, the data is processed differently according to actual needs.

5.Note:

- 1>.Users need to prepare their own ModBus debugging tool and RS485 debugger.
- 2>.Users needs to complete write code according to the communication protocol and commands if using the controller to receive data.

6.Application:

- 1>.Factory Detect
- 2>.Equipment box Detect
- 3>.Environmental test
- 4>.Home security

Modbus Protocol			
Function Code			
Command Register	Funciotn		
0x03	Read keep register		
0x04	Read input register		
0x06	Write a single keep register		
0x10	Write more keep registers		
Register Type	Register Address	Register Contents	Bytes
Input Register	0x0001	Temperature	2
	0x0002	Humidity	2
	0x0101	Device Address	2
Keep Register	0x0102	Baud Rate: 0:9600 1:14400 2:19200	2
	0x0103	Temperature Correction -10°C~10°C	2
	0x0104	Humidity Correction -10%RH~10%RH	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Modbus Protocol Communication Format								
Master Send Format								
Device Address	Function Code	Starting Address Hi	Starting Address Li	Quantity Hi	Quantity Li	CRC Hi	CRC Li	
Response Format from Slave								
Device Address	Function Code	Bytes	Register 1 Hi	Register 1 Li	Register N Hi	Register N Li	CRC Hi	CRC Li
ModBus Command								
Master Read Temperature Command Frame(0x04)								
Device Address	Function Code	Starting Address Hi	Starting Address Li	Quantity Hi	Quantity Li	CRC Hi	CRC Li	
0x01	0x04	0x00	0x01	0x00	0x01	0x60	0x0A	
Response Temperature Value from Slave								
Device Address	Function Code	Bytes	Temp Hi	Temp Li	CRC Hi	CRC Li		
0x01	0x04	0x02	0x01	0x31	0x79	0x74		
For example: Temperature value=0x131, converted to a decimal 305 , so the actual temperature value = 305/10 = 30.5°C Note: Temperature is signed hexadecimal number, temperature value = 0xFF33, converted to a decimal - 205, so the actual temperature = -20.5 °C								
Master Read Humidity Command Frame(0x04)								
Device Address	Function Code	Starting Address Hi	Starting Address Li	Quantity Hi	Quantity Li	CRC Hi	CRC Li	
0x01	0x04	0x00	0x02	0x00	0x01	0x90	0x0A	
Response Humidity Value from Slave								
Device Address	Function Code	Bytes	Humidity Hi	Humidity Li	CRC Hi	CRC Li		
0x01	0x04	0x02	0x02	0x22	0xD1	0xBA		
For example: Humidity Value = 0x222, converted to a decimal 546, so actual humidity value = 546/10 = 54.6%RH								
Continuous Read Temperature and Humidity Command Frame(0x04)								
Device Address	Function Code	Starting Address Hi	Starting Address Li	Quantity Hi	Quantity Li	CRC Hi	CRC Li	
0x01	0x04	0x00	0x01	0x00	0x02	0x20	0x0B	
Response Temperature and Humidity Value from Slave								
Device Address	Function Code	Bytes	Temp Hi	Temp Li	Humidity Hi	Humidity Li	CRC Hi	CRC Li
0x01	0x04	0x04	0x01	0x31	0x02	0x22	0x2A	0xCE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Read Keep Register(0x03)							
Read Device Address from Slave							
Device Address	Function Code	Starting Address Hi	Starting Address Li	Quantity Hi	Quantity Li	CRC Hi	CRC Li
0x01	0x03	0x01	0x01	0x00	0x01	0xD4	0x36
Response Data from Slave							
Device Address	Function Code	Bytes	Slave Add Hi	Slave Add Li	CRC Hi	CRC Li	
0x01	0x03	0x02	0x01	0x02	0x30	0x18	
Modify Contents of Registers(0x06)							
Modify Slave Address Register							
Device Address	Function Code	Register Address Hi	Register Address Li	Value Hi	Value Li	CRC Hi	CRC Li
0x01	0x06	0x01	0x01	0x00	0x08	0xD8	0x30
Note:For example,this command is used to change slave address to 0x08.							
Send/Response Data from Slave							
Device Address	Function Code	Register Address Hi	Register Address Li	Value Hi	Value Li	CRC Hi	CRC Li
0x01	0x06	0x01	0x01	0x00	0x08	0xD4	0x0F

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Continuously Change Keep Registers(0x10)												
Device Address	Function Code	Starting Address Hi	Starting Address Li	Quantity Hi	Quantity Li	Bytes	Register Address 1 Hi	Register Address 1 Li	Register Address 2 Hi	Register Address 2 Li	CRC Hi	CRC Li
0x01	0x10	0x01	0x01	0x00	0x02	0x04	0x00	0x20	0x25	0x80	0x25	0x09

For example, this command is used to change slave address to 0x20 by register 1. That is 32.
Set Baud Rate to 0x2580 by register 2. That is 9600

Response Data from Slave							
Device Address	Function Code	Starting Address Hi	Starting Address Li	Register Num Hi	Register Num Li	CRC Hi	CRC Li
0x01	0x10	0x01	0x01	0x00	0x02	0x11	0xF4

Note:
1. This product integrating MODBUS protocol and ordinary UART communication protocol, users can choose communication protocols, UART communication support automatic report function.
2. output temperature and humidity automatically after connect the RS485 serial interface mode tool.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

UART Communication Protocol	
Baud Rate	9600
Bit	8
Stop Bit	1
Check Bit	No
Command	Function
READ	Read temperature and humidity
	For example: 27.4°C,67.7%
	Temperature is 27.4°C
	Humidity is 67.7%RH
AUTO	Start the temperature and humidity automatically report function (Same as READ)
STOP	Stop the temperature and humidity automatically report function
BR:XXXX	Set baud rate 9600-19200
	For example: BR-9600
	Set baud rate to 9600
TC:XX.X	Set the temperature calibration (-10.0-10.0)
	For example: TC:02.0
	Set calibration to 2°C
HC:XX.X	Set the humidity calibration (-10.0-10.0)
	For example: HC:-05.1
	Set calibration to -5.1%RH
HZ:XXX	Set the temperature and humidity reporting rate. Range is 0.5,1,2,5,10
	For example: HZ:2
	Set reporting rate to 2Hz
PARAM	Read system current Set Value
	Return: TC:0.0,HC:0.0,BR:9600,HZ:1
	Temperature Calibration:0.0°C
	Humidity Calibration : 0.0%RH
	Baud Rate : 9600
	Report Rate : 1Hz
SLAVE_ADD:1 ModBus Slave Address is 0x01	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล นาย ณัฐสิทธิ์ บุญดวงศ์
วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 2 มิถุนายน พ.ศ. 2543
ประวัติการศึกษา สำเร็จการศึกษาหลักสูตร ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง(ปวส.)
ประเภทอุตสาหกรรม สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ สาขางานอิเล็กทรอนิกส์
อุตสาหกรรม วิทยาลัยเทคนิคนครศรีธรรมราช ปีการศึกษา 2564 และในปี
2564 ได้เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม(ต่อเนื่อง) คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชา
วิศวกรรมการวัดและควบคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล นาย วุฒินันท์ เครืออินทร์
วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 26 ธันวาคม 2543
ประวัติการศึกษา สำเร็จการศึกษาหลักสูตร ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง(ปวส.)
ประเภทอุตสาหกรรม สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ สาขางานอิเล็กทรอนิกส์
อุตสาหกรรม วิทยาลัยเทคนิคภูเก็ต ปีการศึกษา 2564 และในปี 2564 ได้
เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา
วิศวกรรมการวัดคุม(ต่อเนื่อง) คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมการ
วัดและควบคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล นาย ศุภณัฐ สาริวาท
วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 8 มิถุนายน 2544
ประวัติการศึกษา สำเร็จการศึกษาหลักสูตร ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง(ปวส.)
หลักสูตรช่างอุตสาหกรรม สาขาวิชาช่างอากาศยาน วิทยาลัยเทคนิค
สมุทรปราการ ปีการศึกษา 2564 และในปี 2564 ได้เข้าศึกษาต่อระดับ
ปริญญาตรี หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
(ต่อเนื่อง) คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้