

กังหันน้ำไฟฟ้าพร้อมระบบควบคุมระยะไกล
ELECTRIC AERATOR WITH REMOTE CONTROLLER



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2565

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ELECTRIC AERATOR WITH REMOTE CONTROLLER



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LARDKRABANG
ACADEMIC YEAR 2022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2565
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ กังหันน้ำไฟฟ้าพร้อมระบบควบคุมระยะไกล
ELECTRIC AERATOR WITH REMOTE CONTROLLER

นักศึกษาผู้จัดทำ นายกฤษณะ รัตนกุล รหัสนักศึกษา 63015011
 นายธรรมรัตน์ ท้วมลี รหัสนักศึกษา 63015074
 นางสาววิศรา พลโคกก่อง รหัสนักศึกษา 63015156

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขา วิศวกรรมการวัดคุม(ต่อเนื่อง)
ปีการศึกษา 2565

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุธรรม สัทธรรมสกุล	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	กังหันน้ำไฟฟ้าพร้อมระบบควบคุมระยะไกล ELECTRIC AERATOR WITH REMOTE CONTROLLER		
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายกฤษณะ	รัตนกุล	รหัสนักศึกษา 63015011
	นายธรรมรัตน์	ท้วมลี	รหัสนักศึกษา 63015074
	นางสาววิศรา	พลโคกก่อ	รหัสนักศึกษา 63015156
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.สุธรรม สัทธรรมสกุล		
ปีการศึกษา	2565		

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษา เพื่อพัฒนากังหันน้ำไฟฟ้าอัจฉริยะเป็นกังหันน้ำไฟฟ้าพร้อมระบบควบคุมระยะไกล กังหันน้ำไฟฟ้าแบบควบคุมระยะไกลทำงานด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ใช้รีโมทคอนโทรลควบคุมการทำงานของกังหันน้ำในโหมดของการเปิด-ปิดและทิ้งสมอ โดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 2 ตัว ขับเคลื่อนกังหันน้ำไฟฟ้าเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการ และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงอีก 1 ตัว ขับกังหันน้ำให้หมุนเพื่อนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสีย และพลังงานจากแสงอาทิตย์จะใช้โซลาร์เซลล์มาแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าแล้วชาร์จเก็บไว้ในแบตเตอรี่ แล้วนำพลังงานไฟฟ้าที่เก็บไว้ในแบตเตอรี่ไปจ่ายให้กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 2 ตัว เพื่อใช้ในการเคลื่อนที่กังหันน้ำไปยังตำแหน่งที่กำหนด ใช้มอเตอร์กระแสตรงตัวหนึ่งใช้ในการบำบัดน้ำเสีย และอีกตัวหนึ่งใช้ในการทิ้งสมอเมื่อถึงจุดหมาย นอกจากนี้ยังสามารถวัดค่าและเก็บค่าแบบเรียลไทม์ได้

Thesis Title	ELECTRIC AERATOR WITH REMOTE CONTROLLER	
Authors	Mr.Kritsana	Rattanakul
	Mr.Thammarat	Tuamlee
	Miss.Varisara	Pholkhokkong
Thesis Advisor	Asst.Prof.Suttham Satthamsakul	
Year	2022	

ABSTRACT

This thesis is a study to develop a smart electric aerator into an electric aerator with a remote control system. The electric aerator with remote control work by DC electric motors, use the remote control to control the operation of the water turbine in the opening and closing modes, and drop anchor. Two DC electric motors to drive the electric aerator to the desired position. And another DC electric motor drives the water turbine to rotate for use in wastewater treatment. The solar cells convert solar energy into electrical energy, then charge in the battery. The electrical energy stored in the battery will be supplied to two DC electric motors, which will be used to move the aerator to its assigned position. One DC motor used in wastewater treatment and another one use to drop anchor when reaching the destination, it can also measure and store values in real time.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถดำเนินการจนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์และการแนะนำความรู้ต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุธรรม สัทธรรมสกุล ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ให้ความรู้ ข้อคิด ข้อเสนอแนะ และให้ความช่วยเหลือในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น จนกระทั่งการดำเนินโครงการครั้งนี้สำเร็จเรียบร้อยด้วยดี คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณพ่อแม่ที่ให้ความอนุเคราะห์ในด้านทุนปัจจัยที่ใช้ในการทำโครงการ

ขอขอบคุณช่างกบและช่างตวง ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำโครงการ

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ พี่ ๆ และน้อง ๆ ที่คอยให้ความช่วยเหลือในการทำโครงการ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความเอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำโครงการ

ขอขอบคุณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านสถานที่สระน้ำในการทดลองโครงการ

สุดท้ายนี้ ทางคณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงการนี้คงจะเป็นประโยชน์สำหรับนักศึกษาและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนผู้ที่สนใจต่อไป

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
กิตติกรรมประกาศ	II
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์	2
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 กังหันน้ำชัยพัฒนาเครื่องกลเติมอากาศที่ผิวน้ำหมุนช้าแบบทุ่นลอย.....	3
2.2 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อเติมอากาศ.....	5
2.3 Pulse Width Modulation (PWM).....	6
2.4 โหลดเซลล์ (Load Cell)	7
2.5 มอเตอร์ไฟฟ้า (electric motor)	8
2.5.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (AC motor)	9
2.5.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor)	9
2.6 แผงโซลาร์เซลล์ (Solar Cell)	10
2.6.1 หลักการทำงาน	11
2.6.2 ชนิดของแผงโซลาร์เซลล์	12
2.6.3 รูปแบบต่าง ของการนำโซลาร์เซลล์ ไปผลิตไฟฟ้าใช้งาน.....	14

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7 บอร์ด Arduino Nano	18
2.7.1 ขา INPUT/OUTPUT แบบ DIGITAL จะมีจำนวนขาใช้งาน.....	19
ทั้งหมด 14 ขา	
2.7.2 ขา INPUT แบบ ANALOG จะมีจำนวนขาใช้งานทั้งหมด 8 ขา.....	19
2.7.3 ขา Vin	19
2.7.4 ขา Vout 5V.....	19
2.7.5 ขา Vout 3.3V	19
2.7.6 ขา GND	19
2.8 บอร์ด ESP32	20
2.9 BTS7960 h-bridge dc motor drive.....	21
2.10 ชาร์จเจอร์ MPPT Solar Charge Controller.....	21
2.11 แบตเตอรี่ลิเธียมแบบ NMC.....	23
2.12 pH Meter using Arduino Uno.....	25
2.13 Proximity Switch.....	26
2.13.1 Inductive Proximity Switch	27
2.13.2 Capacitive Proximity Switch	27
2.13.2.1 ระยะตรวจจับ.....	27
2.13.2.2 ขนาดของเกลียว.....	27
2.13.2.3 รูปแบบการติดตั้ง	27
2.13.2.4 สัญญาณ Output	28
2.13.2.5 สถานะการทำงานของหน้าคอนแทก	29
2.14 Load Cell with HX711	30
2.15 RS485.....	32
2.16 เฟืองเกียร์.....	34

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.16.1 เฟืองเกียร์ทดรอบชนิด แบบตรง.....	34
2.16.2 เฟืองเกียร์ทดรอบชนิดแบบเฉียง.....	35
2.16.3 เฟืองเกียร์ทดรอบชนิด แบบดอกจอก.....	35
2.16.4 เฟืองเกียร์ทดรอบชนิด แบบตัวหนอน.....	36
2.16.5 เฟืองเกียร์ทดรอบชนิด แบบสะพาน.....	36
2.17 สายไฟฟ้า.....	36
2.17.1 ชนิดและการใช้งานของสายไฟฟ้า แบ่งตามลักษณะการทำงาน.....	37
ได้ 2 แบบ	
2.17.2. แบ่งตามชนิดของวัสดุตัวนำ 2 ชนิด.....	37
2.17.3. แบ่งตามลักษณะการใช้งาน.....	37
2.17.4. แบ่งตามพิกัดแรงดันสายไฟฟ้า มี 2 ประเภท.....	37
2.17.5. ส่วนประกอบของสายไฟฟ้า.....	37
2.17.5.1 ตัวนำ.....	37
2.17.5.2 ฉนวน.....	38
2.17.5.3 เปลือก.....	39
2.17.6. ค่าต้านทานไฟฟ้า.....	40
2.18 อลูมิเนียม.....	40
2.19 MC4 Solar Connector.....	41
2.20 อุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้า.....	42
2.21 ท่อนลายนํ้า.....	42
บทที่ 3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน.....	43
3.1 ขั้นตอนการออกแบบโครงสร้างและวงจรควบคุมกํานํ้าไฟฟ้า.....	43
พร้อมระบบควบคุมระยะไกล	
3.1.1 ขั้นตอนการออกแบบโครงสร้างกํานํ้าไฟฟ้าพร้อมระบบควบคุมระยะไกล.....	43

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.1.2	ขั้นตอนการออกแบบวงจรควบคุมกังหันน้ำไฟฟ้าพร้อมระบบควบคุมระยะไกล	46
3.2	Flow Chart โปรแกรมควบคุมเก็บค่าของกังหันน้ำไฟฟ้าพร้อมระบบควบคุมระยะไกล	48
3.2.1	Flow Chart โปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่และเปิด-ปิดใบพัดกังหันน้ำ	48
3.2.2	Flow chart โปรแกรมการควบคุมการปล่อย-ดึง สมอเรือ	50
3.2.3	Flow chart โปรแกรมการวัดและเก็บค่า	51
3.3	อุปกรณ์ด้านฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในโครงการกังหันน้ำไฟฟ้าพร้อมระบบควบคุมระยะไกล	51
3.4	ขั้นตอนการประกอบโครงสร้างและวงจรควบคุมกังหันน้ำไฟฟ้าพร้อมระบบควบคุมระยะไกล	59
3.4.1	ขั้นตอนการประกอบโครงสร้างฐานกังหันน้ำไฟฟ้า	59
3.4.2	ขั้นตอนการเดินสายไฟตู้คอนโทรลและวงจรไฟฟ้า	62
บทที่ 4	ผลการทดลอง	65
4.1	ทดสอบประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของแผ่นโซลาร์เซลล์และการชาร์จแบตเตอรี่	65
4.2	ทดสอบประสิทธิภาพการทำงานและการใช้พลังงาน	66
บทที่ 5	สรุปผลการทดลอง	68
5.1	สรุปผลการทดลอง	68
5.2	ปัญหาในการดำเนินงาน	68
5.3	ข้อเสนอแนะ	69
บรรณานุกรม		70
ภาคผนวก		72

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 ตารางคำอธิบายรายละเอียดสวิตช์ควบคุม.....	46
3.2 ตารางอุปกรณ์ที่ใช้ในการเดินเนินงาน.....	52
4.1 ตารางบันทึกผลค่าการผลิตไฟฟ้าของแผ่นโซลาร์เซลล์และการชาร์จแบตเตอรี่ ด้วยคอนโทรลชาร์จเจอร์ ประเภท MPPT	66
4.1 ตารางบันทึกผลค่าการผลิตไฟฟ้าของแผ่นโซลาร์เซลล์และการชาร์จแบตเตอรี่ ด้วยคอนโทรลชาร์จเจอร์ ประเภท PWM	66
4.2 ตารางบันทึกค่าการทำงานและการใช้พลังงาน.....	67



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 กังหันชัยพัฒนา	3
2.2 แพลงก์ตอนพืช	5
2.3 แสดงสัญญาณเปิด (HIGH) และปิด (LOW)	6
2.4 ตัวอย่างสัญญาณ PWM	7
2.5 Load cell	8
2.6 มอเตอร์ไฟฟ้า	8
2.7 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง	9
2.8 แผงโซลาร์เซลล์	11
2.9 การทำงานของโซลาร์เซลล์	12
2.10 ชนิดของแผงโซลาร์เซลล์	12
2.11 โมโนคริสตัลไลน์ (Monocrystalline Silicon Solar Cells).....	13
2.12 โพลีคริสตัลไลน์ (Polycrystalline Silicon Solar Cells).....	13
2.13 แผงโซลาร์เซลล์ชนิด ฟิล์มบาง.....	14
2.14 วิธีการนำกระแสไฟฟ้าที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ มาชาร์จเข้าแบตเตอรี่.....	15
2.15 วิธีการติดตั้ง เพื่อลดค่าไฟฟ้า.....	16
2.16 แผงโซลาร์เซลล์ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์แปลงเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง (DC)	18
2.17 บอร์ด Arduino Nano.....	18
2.18 บอร์ด NANO R3 และขาต่าง ๆ	20
2.19 โมดูล ESP 32	21
2.20 BTS7960 h-bridge dc motor drive	21
2.21 I-V Curve (เส้นสีฟ้า) และ MPPT Charge (เส้นสีส้ม)	22
2.22 ML4830 SRNE	23
2.23 ส่วนประกอบของแบตเตอรี่ลิเธียม.....	24
2.24 กราฟแสดงประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ NMC	24

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.25 แถบสีค่า pH	25
2.26 pH signal convers board	26
2.27 pH electrode	26
2.28 โครงสร้าง pH Electrode	26
2.29 Shielded sensor	28
2.30 Non-Shielded sensor	28
2.31 สัญญาณ Output เป็นแบบ PNP หรือ NPN	29
2.32 NO (Normally Open)	29
2.33 NC (Normally Close).....	29
2.34 หลักการทำงานของสเตรนเกจ.....	30
2.35 วงจรบริดจ์	31
2.36 วงจรบริดจ์บนโพลดเซลล์	31
2.37 HX711 Weight Sensor Amplifier Module	32
2.38 การเชื่อมต่อ RS485.....	33
2.39 การทำงานของ RS485 แบบ Network	33
2.40 เฟืองเกียร์.....	34
2.41 อลูมิเนียม.....	41
2.42 MC4 Solar Connector	41
2.43 อุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้า	42
2.44 ท่อนลายน้.....	42
3.1 โครงสร้างฐานกั้นน้ำไฟฟ้า.....	44
3.2 ใบพัดกั้นน้ำ.....	44
3.3 แผงโซล่าเซลล์.....	44
3.4 ใบพัดสำหรับการเคลื่อนที่ของกั้นน้ำไฟฟ้า	45

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.5 สมอเรือ.....	45
3.6 โครงสร้างกังหันน้ำไฟฟ้าพร้อมระบบควบคุมระยะไกล	45
3.7 การทำงานของสวิตช์รีโมทควบคุม	46
3.8 วงจรควบคุมกังหันน้ำไฟฟ้า	47
3.9 วงจรชาร์จเจอร์สำหรับโซล่าเซลล์	47
3.10 วงจรวัดและเก็บค่า	48
3.11 Flow Chart โปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่และเปิด-ปิดใบพัดกังน้ำ	49
3.12 Flow Chart โปรแกรมการควบคุมสมอเรือ.....	50
3.13 Flow Chart โปรแกรมการวัดค่าและเก็บค่า	51
3.14 ประกอบโครงสร้างกังหันน้ำไฟฟ้า	59
3.15 ติดตั้งใบพัดสำหรับการเคลื่อนที่ของกังหันน้ำไฟฟ้า	60
3.16 ส่วนของใบพัดกังหันน้ำไฟฟ้าที่ใช้บำบัดน้ำเสีย	60
3.17 ติดตั้งใบพัดกังหันน้ำไฟฟ้าเข้ากับมอเตอร์ควบคุม	61
3.18 การติดตั้งสมอเรือ และมอเตอร์เข้ากับโครงสร้างกังหันน้ำ	61
3.19 ประกอบแบตเตอรี่และติดตั้งแบตเตอรี่เข้ากับกังหันน้ำไฟฟ้า.....	62
3.20 ติดตั้งตู้คอลโทรลชาร์จเจอร์.....	62
3.21 ติดตั้งตู้คอลโทรล และอัปโวลต์โปรแกรม	63
3.22 ติดตั้งชุดการวัด และเก็บค่าทางไฟฟ้า และค่าความเป็นกรด-ด่าง	63
3.23 กังหันน้ำไฟฟ้าพร้อมระบบควบคุมระยะไกล.....	64

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญของปริญญานิพนธ์

ปัจจุบันปัญหาน้ำเน่าเสียหรือการเกิดมลพิษทางน้ำ ทำให้ไม่สามารถนำน้ำจากแหล่งน้ำตามธรรมชาติมาใช้ได้ ส่วนใหญ่เกิดมาจากการกระทำของมนุษย์ แหล่งที่มาของน้ำเสียได้แก่ น้ำเสียจากชุมชน น้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ ของประชาชนที่อาศัยอยู่ในชุมชน น้ำเสียนี้มีสิ่งสกปรกในรูปแบบของสารอินทรีย์ในปริมาณที่สูง น้ำเสียจากอุตสาหกรรมได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการทางอุตสาหกรรม ตั้งแต่ขั้นตอนการล้างวัตถุดิบ กระบวนการผลิตจนถึงการทำความสะอาดโรงงาน รวมทั้งน้ำเสียที่ยังไม่ได้รับการบำบัดหรือน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วแต่ยังไม่เป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม องค์ประกอบของน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของน้ำทิ้งประเภท และขนาดของโรงงานน้ำเสียจากเกษตรกรรม ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมทางการเพาะปลูก การเลี้ยงสัตว์ น้ำเสียจากการเพาะปลูกจะมีไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และสารพิษต่าง ๆ ในปริมาณสูง ส่วนน้ำเสียจากการเลี้ยงสัตว์จะพบสิ่งสกปรกในรูปของสารอินทรีย์เป็นส่วนมาก

กักหน้ำน้ำช้ำพัฒนา เป็นกักหน้ำน้ำเพื่อบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการเติมอากาศ สิทธิบัตรในพระปรมาภิไธย เพื่อพัฒนาแหล่งน้ำแก่ปวงชน ทำงานโดยการหมุนบ่นเพื่อเติมอากาศให้น้ำเสียกลายเป็นน้ำดี สามารถประยุกต์ใช้บำบัดน้ำเสีย จากการอุปโภคของประชาชน น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม รวมทั้งเพิ่มออกซิเจน ให้กับบ่อเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำทางการเกษตร

ผู้จัดทำได้ศึกษาและทราบปัญหาของมลพิษทางน้ำ จึงได้มีแนวคิดที่จะนำปัญหาที่ได้ศึกษามานั้น มาทำการปรับปรุงแก้ไข และบรรเทาปัญหาให้ลดน้อยลง โดยการสร้างกักหน้ำน้ำไฟฟ้าที่มีต้นแบบมาจาก “กักหน้ำน้ำช้ำพัฒนา” ทางผู้จัดทำได้ออกแบบให้กักหน้ำน้ำไฟฟ้ามีระบบเคลื่อนที่ควบคุมด้วยรีโมท และมีการเพิ่มฟังก์ชันการทำงานให้กับกักหน้ำน้ำไฟฟ้านี้ให้มีความแตกต่าง คือสามารถควบคุมให้กักหน้ำเคลื่อนที่ไปยังพื้นที่ที่ต้องการให้ทำงานได้ อีกทั้งยังสามารถทำการทิ้งสมอเพื่อให้กักหน้ำอยู่กับที่ในตำแหน่งที่ต้องการได้ โดยใช้พลังงานธรรมชาติจากแสงอาทิตย์ด้วยการใช้โซลาร์เซลล์มาแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้าและเก็บไว้ในแบตเตอรี่ ทำให้ให้สามารถทำงานได้ในแม้ในช่วงเวลาที่มีแสงน้อยหรือไม่มีแสงแดด มีความสะดวกในการใช้งาน และเพิ่มประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียให้ดียิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของปฏิญญานิพนธ์

1. เพื่อสร้างกั้นน้ำไฟฟ้าพร้อมระบบเคลื่อนที่ด้วยรีโมทควบคุม
2. เพื่อศึกษาและพัฒนาการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้งาน
3. เพื่อลดปัญหาการเกิดมลพิษทางน้ำให้ลดลง

1.3 ขอบเขตของปฏิญญานิพนธ์

1. สร้างกั้นน้ำไฟฟ้าพร้อมระบบเคลื่อนที่ด้วยรีโมทควบคุม
2. สร้างกั้นน้ำไฟฟ้าที่สามารถทำงานได้ทั้งวันโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ที่ชาร์จเก็บไว้ในแบตเตอรี่
3. สร้างกั้นน้ำไฟฟ้าควบคุมการทำงานด้วยโปรแกรมและไมโครคอนโทรลเลอร์

1.4 ขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาการเขียนโปรแกรมของบอร์ด Arduino
2. ศึกษาเงื่อนไขการทำงานของโค้ดโปรแกรม
3. ศึกษาข้อมูลประสิทธิภาพการใช้งานของแบตเตอรี่
4. ศึกษาข้อมูลมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง
5. ศึกษาสาเหตุที่ทำให้แหล่งน้ำขาดออกซิเจน
6. ศึกษาข้อมูลการบำบัดน้ำเสียในแหล่งน้ำ

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 กังหันน้ำชัยพัฒนาเครื่องกลเติมอากาศที่ผิวน้ำหมุนช้าแบบทุ่นลอย

พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวทรงรัชกาลที่ 9 ห่วงใยในความเดือดร้อนทุกข์ยากที่เกิดขึ้นนี้ ได้เสด็จพระราชดำเนินทอดพระเนตรสภาพน้ำเสียในพื้นที่หลายแห่งหลายครั้ง ทั้งในเขตกรุงเทพมหานคร ปริมณฑล และต่างจังหวัด พร้อมทั้งพระราชทานพระราชดำริเกี่ยวกับการแก้ไขน้ำเน่าเสีย ในระยะแรกระหว่างปี พ.ศ. 2527-2530 ทรงแนะนำให้ใช้น้ำที่มีคุณภาพดีช่วยบรรเทาความเสียหายและวิธีการกรองน้ำเสียด้วยผักตบชวาและพืชน้ำต่าง ๆ ซึ่งสามารถช่วยแก้ไขปัญหามาได้ผลในระดับหนึ่งต่อมาในช่วงปี พ.ศ. 2531 เป็นต้นมา สภาพความเน่าเสียของน้ำบริเวณต่าง ๆ มีอัตราแนวโน้มรุนแรงมากยิ่งขึ้น การใช้วิธีธรรมชาติไม่อาจบรรเทาความเสียหายของน้ำอย่างมีประสิทธิภาพเท่าที่ควร พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวรัชกาลที่ 9 จึงทรงพระราชทานพระราชดำริให้ประดิษฐ์เครื่องกลเติมอากาศแบบประหยัดค่าใช้จ่าย สามารถผลิตได้เองในประเทศ ซึ่งมีรูปแบบ "ไทยทำไทยใช้" โดยทรงได้แนวทางจาก "หลุก" ซึ่งเป็นอุปกรณ์วิดน้ำเข้านาอันเป็นภูมิปัญญาชาวบ้านเป็นจุดคิดค้นเบื้องต้น และทรงมุ่งหวังที่จะช่วยแบ่งเบาภาระของรัฐบาลในการบรรเทาความเสียหายอีกทางหนึ่งด้วย การนี้จึงทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ ให้มูลนิธิชัยพัฒนาสนับสนุนงบประมาณ เพื่อการศึกษาและวิจัยสิ่งประดิษฐ์ใหม่นี้ โดยดำเนินการจัดสร้างเครื่องมือบำบัดน้ำเสียร่วมกับกรมชลประทาน ซึ่งได้มีการผลิตเป็นเครื่องกลเติมอากาศขึ้นในเวลาต่อมา และรู้จักกันแพร่หลายทั่วไปประเทศในปัจจุบันคือ "กังหันน้ำชัยพัฒนา" ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 กังหันชัยพัฒนา

ที่มา: https://www.nsm.or.th/nsm/sites/default/files/2021-12/no-facebook-ear_1.jpg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พระราชดำริ เมื่อวันที่ 24 ธันวาคม พ.ศ. 2531 พระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวรัชกาลที่ 9 ได้พระราชทานรูปแบบและพระราชดำริ เรื่องการแก้ไขปัญหาน้ำเสีย โดยการเติมออกซิเจนในน้ำ มีสาระสำคัญ คือ การเติมอากาศลงในน้ำเสีย ใช้อากาศอัดเข้าไปตามท่อเป่าลงไปได้ผิวน้ำแบบกระจายฟอง และอีกวิธีหนึ่ง น่าจะกระทำได้โดยกั้นหน้าวิดน้ำ วิดตักขึ้นไปบนผิวน้ำ แล้วปล่อยให้ตกลงไปยังผิวน้ำตามเดิม โดยที่กั้นน้ำดังกล่าวจะหมุนช้า ด้วยกำลังของมอเตอร์ไฟฟ้า ขนาดเล็กไม่เกิน 2 แรงม้า หรืออาจจะใช้พลังน้ำไหลได้ จึงสมควรพิจารณาสร้างต้นแบบ แล้วนำไปติดตั้งทดลองใช้บำบัดน้ำเสียที่ภายในบริเวณโรงพยาบาลพระมงกุฎเกล้า และวัดบวรนิเวศวิหาร

หลักการทำงาน กั้นน้ำช่วยพัฒนาเป็นกั้นน้ำที่มีโครงเป็นรูปเหลี่ยมบนท่อนลอย และมีช่องตักวิดน้ำซึ่งเจาะเป็นรูพรุน ทำให้จึงเห็นสายน้ำพุ่งพวย จากช่องวิดน้ำขณะที่กั้นหมุนวนเวียน ช้าแล้วช้าเล่า ใช้หลักการตัวน้ำขึ้นไปสาดกระจายให้เป็นฝอยในอากาศ ทำให้น้ำสัมผัสกับอากาศได้อย่างทั่วถึง ส่งผลให้ปริมาณ ออกซิเจนในอากาศสามารถ ละลายผสมผสาน เข้าไปในน้ำได้อย่างรวดเร็ว ทุกครั้งที่น้ำถูกตักขึ้นมา ออกซิเจนในอากาศจะละลายในน้ำได้ดีขึ้นเพราะพื้นที่ในการทำปฏิกิริยามีมากกว่าเดิม ทำให้น้ำเสียซึ่งเป็นปัญหาของแหล่งน้ำในหลายพื้นที่ที่มีคุณภาพที่ต่ำลง การเพิ่มออกซิเจนให้กับน้ำจะช่วยให้จุลินทรีย์ย่อยสลายสิ่งสกปรกในน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นกระบวนการทางชีวภาพที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่ได้รับความนิยมอย่างมากเพราะเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ และใช้ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียน้อย และแหล่งน้ำเสียที่กระจายไปตามแหล่งต่าง ๆ จึงทำให้ยากแก่การรวบรวมน้ำเสีย เพื่อนำไปบำบัดในโรงบำบัดน้ำเสียและต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง การประยุกต์ใช้งานสามารถใช้ประโยชน์เพื่อเติมอากาศให้กับน้ำหรือใช้เพื่อขับเคลื่อนน้ำได้ โดยการใช้งานทั้งในรูปแบบ ที่ติดตั้งอยู่กับที่ และใช้ในรูปแบบเคลื่อนที่ เพื่อเติมอากาศให้กับแหล่งน้ำขนาดใหญ่ หรือตามคลองส่งน้ำที่มีความยาวมาก ซึ่งดัดแปลงได้ด้วยการใช้พลังงานจากเครื่องยนต์ของกั้นเครื่องกลเติมอากาศ "กั้นน้ำช่วยพัฒนา" แบบท่อนลอย สามารถปรับตัวขึ้นลงได้ตามระดับขึ้นลงของน้ำ ส่วนประกอบสำคัญ ได้แก่ โครงกั้นน้ำรูป 12 เหลี่ยม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.00 เมตร มีช่องตักน้ำขนาดบรรจุ 110 ลิตร ติดตั้งโดยรอบ จำนวน 6 ช่อง เจาะรูของน้ำพรุน เพื่อให้น้ำไหลกระจายใต้น้ำ สามารถผลักดันน้ำให้เคลื่อนที่ผสมผสานออกซิเจนเข้ากับน้ำในระดับความลึกใต้ผิวน้ำเป็นอย่างดีอีกด้วย จึงก่อให้เกิดกระบวนการทั้งการเติมอากาศ การกวนแบบผสมผสานและการทำให้เกิดการไหลของน้ำเสียไปตามทิศทางที่กำหนดโดยพร้อมกัน ในด้านโครงสร้างนั้นได้พัฒนาให้กั้นน้ำหมุนด้วยความเร็ว 1,450 รอบต่อนาที โดยที่ช่องตักน้ำหมุนด้วยความเร็ว 5 รอบต่อนาที ขับด้วยมอเตอร์ขนาด 2 แรงม้า และมีการปรับปรุง โครงสร้างในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ออกแบบตัวเครื่องให้สามารถ ขับเคลื่อนด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คนเพื่อใช้ในแหล่งน้ำ ที่ไฟฟ้ายังเข้าไปไม่ถึง เป็นต้น ด้านประสิทธิภาพสามารถถ่ายเทออกซิเจนลงน้ำได้ 0.9 กิโลกรัมต่อแรงแม่-ชั่วโมง และมีการพัฒนาให้ถ่ายเทออกซิเจนได้ 1.2 กิโลกรัมต่อแรงแม่-ชั่วโมง

2.2 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อเติมอากาศ

จากการศึกษาสาเหตุที่ทำให้แหล่งน้ำขาดออกซิเจน อาจเกิดจากแพลงก์ตอนพืชตาย หรือลดลง หรือมีน้อยลง อาจเนื่องจากไม่ได้รับแสงแดดติดต่อกันหลายวัน น้ำขุ่นเพราะตะกอนดิน ขาดแร่ธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชดังรูปที่ 2.2 มีการใช้สารเคมีที่เป็นพิษต่อแพลงก์ตอนพืช ในภาวะทั่วไปช่วงเวลาเช้ามีดักก่อนดวงอาทิตย์ขึ้นออกซิเจนละลายน้ำจะมีค่าต่ำสุด แล้วค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในตอนกลางวันจนมีค่าสูงสุดในตอนบ่ายอันเนื่องจากการสังเคราะห์แสงของแพลงก์ตอนพืช ส่วนในตอนกลางคืนไม่มีกระบวนการสังเคราะห์แสงเกิดขึ้น สิ่งมีชีวิตต่าง ๆ ที่อาศัยอยู่ในน้ำมีแต่การใช้ออกซิเจนเพื่อการหายใจ ทำให้ออกซิเจนค่อย ๆ ลดลงอีก



รูปที่ 2.2 แพลงก์ตอนพืช

ที่มา: <https://pbs.twimg.com/media/EfUgXQ5U0AYWGEH.jpg>

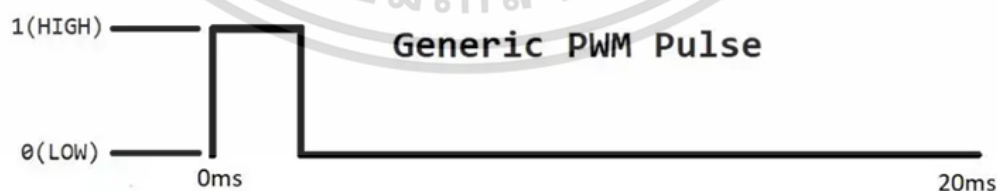
ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อเติมอากาศ เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยการเติมออกซิเจนจากเครื่องเติมอากาศ (Aerator) ที่ติดตั้งแบบทุ่นลอยหรือยึดติดกับแท่นได้ เพื่อเพิ่มออกซิเจนในน้ำให้มีปริมาณเพียงพอ สำหรับจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้เร็วขึ้นกว่าการปล่อยให้อย่อยสลายตามธรรมชาติ ทำให้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อเติมอากาศสามารถบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถลดปริมาณความสกปรกของน้ำเสียในรูปของค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand; BOD) ได้ร้อยละ 80-95 โดยอาศัยหลักการทำงานของจุลินทรีย์ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจน (Aerobic) โดยมีเครื่องเติมอากาศซึ่งนอกจากจะทำหน้าที่เพิ่มออกซิเจนในน้ำแล้วยังทำให้เกิดการกวนผสมของน้ำในบ่อด้วย ทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้อย่างทั่วถึงภายในบ่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อเติมอากาศ สามารถบำบัดน้ำเสียได้ทั้งน้ำเสียจากแหล่งชุมชนที่มีความสกปรกค่อนข้างมาก และน้ำเสียจากอุตสาหกรรม โดยปกติจะออกแบบให้บ่อมีความลึกประมาณ 2-6 เมตร ระยะเวลาเก็บกักน้ำ (Detention Time) ภายในบ่อเติมอากาศประมาณ 3-10 วัน และเครื่องเติมอากาศจะต้องออกแบบให้มีประสิทธิภาพสามารถทำให้เกิดการผสมกันของตะกอนจุลินทรีย์ ออกซิเจนละลายในน้ำ และน้ำเสีย นอกจากนี้จะต้องมีบ่อปม (Polishing Pond หรือ Maturation Pond) รับน้ำเสียจากบ่อเติมอากาศเพื่อตกตะกอนและปรับสภาพน้ำทิ้งก่อนระบายออกสู่สิ่งแวดล้อม

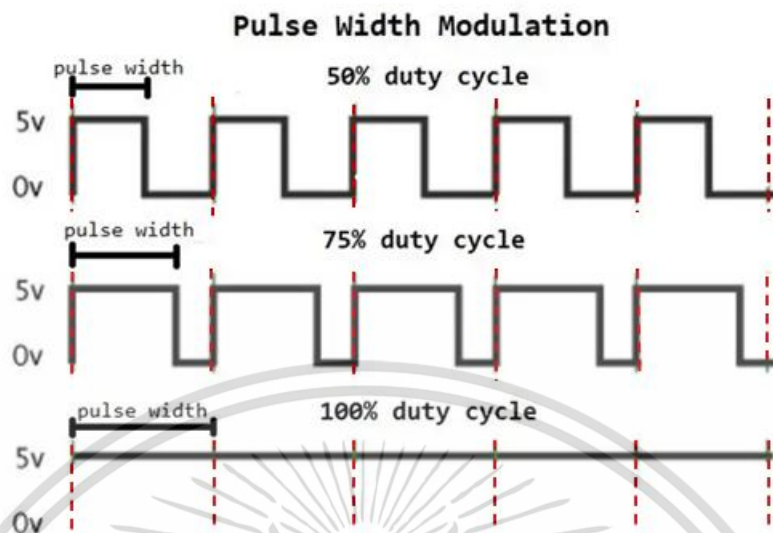
2.3 Pulse Width Modulation (PWM)

เป็นเทคนิคที่ทำให้สามารถอ่าน/เขียนข้อมูลแบบอนาล็อก (analog) ด้วยสัญญาณดิจิทัล (digital) ได้ โดยตัวควบคุมการสร้างสัญญาณดิจิทัล (Digital control) จะสร้างสัญญาณคลื่นสี่เหลี่ยมออกมาดังรูปที่ 2.3 โดยสัญญาณที่สร้างออกมาจะสลับกันระหว่าง เปิด (HIGH) กับ ปิด (LOW) รูปแบบสัญญาณเปิด-ปิดนี้สามารถจำลองเป็นแรงดันไฟฟ้าระหว่าง เปิด (5 Volts) กับ ปิด (0 Volts) เรียกช่วงที่เป็นปิดหรือเปิดตามการทำงาน เพราะช่วงที่เป็นปิดแรงดันไฟฟ้าจะเป็น 0 ทำให้ไม่มีการทำงาน ส่วนช่วงที่เป็นเปิดคือช่วงที่มีแรงดันไฟฟ้า ทำให้อุปกรณ์ทำงานได้ ซึ่งช่วงของเวลาที่สัญญาณเป็นเปิด เมื่อเทียบกับช่วงเวลาที่สัญญาณออกมาทั้งหมด โดยจะเรียกช่วงเวลานี้ว่าความกว้างของสัญญาณ (Pulse width) ดังรูปที่ 2.3 ดังนั้นเพื่อให้ได้ข้อมูลแบบอนาล็อกที่ต่างกันจะใช้ความกว้างของสัญญาณที่แตกต่างกัน ในการบ่งบอกค่าของข้อมูลอนาล็อก ส่วนในรูปที่ 2.4 ความกว้างของเส้นประสีแดงจะแสดงถึงช่วงเวลาปกติระยะเวลาหรือช่วงเวลานี้เรียกว่า period เป็นค่าผกผันของความถี่อุปกรณ์ หากความถี่ของอุปกรณ์มีค่าประมาณ 50 Hz (ความถี่ขึ้นอยู่กับอุปกรณ์) ความกว้างของเส้นประสีแดงจะเป็นช่วงเวลา 20 ms (หาได้จาก $T = 1/f$)



รูปที่ 2.3 แสดงสัญญาณเปิด (HIGH) และปิด (LOW)

ที่มา: https://miro.medium.com/max/828/1*5zKT1PKU7wLEplNS8wa6w.webp

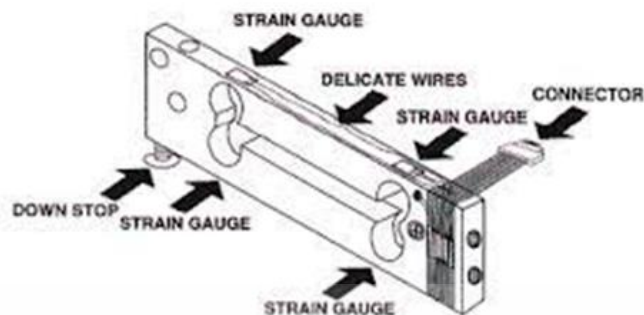


รูปที่ 2.4 ตัวอย่างสัญญาณ PWM

ที่มา: https://miro.medium.com/max/786/1*3VBqyFZfr48XlNJ7s_XDg.webp

2.4 โหลดเซลล์ (Load Cell)

โหลดเซลล์ คืออุปกรณ์ที่ใช้ในการเปลี่ยนจากแรงหรือน้ำหนักที่กระทำต่อตัวโหลดเซลล์เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า จึงสามารถนำไปจ่ายเข้าจอแสดงผล (Display) แสดงค่าเป็นน้ำหนักหรือแรงที่กระทำได้ โหลดเซลล์ถูกสร้างมาจากแอสเทนเกจ (Strain Gauge) ที่จัดเรียงวงจรในรูปแบบวงจรวีทสโตนบริดจ์ (Wheatstone Bridge) ซึ่งสามารถแปลงค่าแรงกดหรือแรงดึงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าโหลดเซลล์ สามารถนำไปประยุกต์ทำเครื่องชั่งตวงในอุตสาหกรรมได้ (วัดแรงกด หรือ Compression) หรือ ใช้ทดสอบวัสดุ (วัดแรงดึง หรือ Tensile) ได้อีกด้วย การทดสอบความแข็งแรงของชิ้นงาน การทดสอบการเข้ารูปชิ้นงาน (Press fit) ใช้สำหรับงานทางด้านวัสดุโลหะ ทดสอบโลหะ ชิ้นส่วนรถยนต์ วิศวกรรมโยธา ทดสอบคอนกรีต ทดสอบไม้ ฯลฯ ซึ่งมีความจำเป็นอย่างมากสำหรับงานภาคอุตสาหกรรม โดยโครงสร้างของแอสเทนเกจแสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 Load cell

ที่มา: http://1.bp.blogspot.com/_UUio0zZEymY/.png

2.5 มอเตอร์ไฟฟ้า (electric motor)

มอเตอร์ไฟฟ้า เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังกล มอเตอร์ที่ใช้งานในปัจจุบันแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างออกไปต้องการความเร็วรอบหรือกำลังงานที่แตกต่างกัน มอเตอร์ไฟฟ้าถูกนำไปใช้งานที่หลากหลายเช่น พัดลมอุตสาหกรรม เครื่องเป่า ปีม เครื่องมือเครื่องใช้ในครัวเรือน และดิสก์ไดรฟ์ มอเตอร์ไฟฟ้าสามารถขับเคลื่อนโดยแหล่งจ่ายไฟกระแสตรง (DC) เช่น จากแบตเตอรี่, ยานยนต์หรือวงจรเรียงกระแส หรือจากแหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ (AC) เช่น จากไฟบ้าน อินเวอร์เตอร์ หรือเครื่องปั่นไฟ เป็นต้น มอเตอร์ทั่วไปที่มีขนาดและคุณลักษณะมาตรฐานสูงจะให้พลังงานกลที่สะดวกสำหรับใช้ในอุตสาหกรรม มอเตอร์ไฟฟ้าที่ใหญ่ที่สุดใช้สำหรับการใช้งานลากจูงเรือ และการบีบอัดท่อส่งน้ำมันและปั๊มสูบน้ำอัดเก็บน้ำมันซึ่งมีกำลังถึง 100 เมกะวัตต์ มอเตอร์ไฟฟ้าอาจจำแนกตามประเภทของแหล่งที่มาของพลังงานไฟฟ้า หรือตามโครงสร้างภายใน หรือตามการใช้งาน และอื่น ๆ มอเตอร์แบ่งได้เป็น 2 ชนิดตามลักษณะการใช้งานกระแสไฟฟ้าคือ มอเตอร์กระแสสลับแสดงตามรูปที่ 2.6 และมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 2.6 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

ที่มา: <https://th.sogears.com/images/2020/12/15/Electric-motor-2.jpg>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current Motor) มอเตอร์ (A.C. MOTOR)

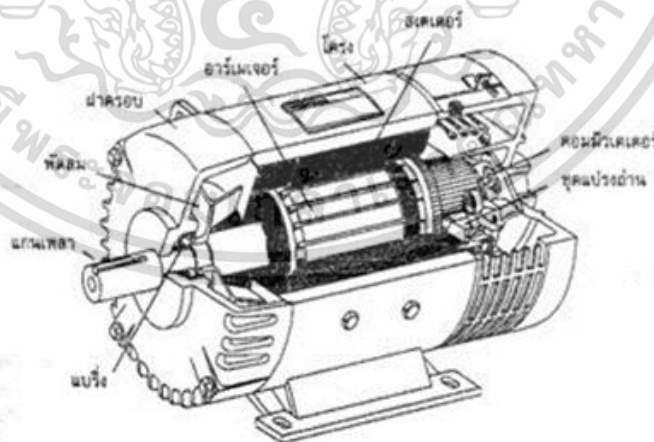
มอเตอร์ไฟฟ้าสลับแบ่งออกได้อีก 3 ชนิดได้แก่

1. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 1 เฟส หรือเรียกว่าซิงเกิลเฟสมอเตอร์ (A.C. Single Phase) จะใช้กับแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์มีสายไฟ เข้า 2 สาย มีแรงม้าไม่สูง ส่วนใหญ่จะใช้งานทั่วไปตามบ้านเรือน
2. มอเตอร์ไฟฟ้าสลับชนิด 2 เฟสหรือเรียกว่า ทูเฟสมอเตอร์ (A.C. Two phase Motor)
3. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 3 เฟสหรือเรียกว่า ทรีเฟสมอเตอร์ (A.C. Three phase Motor) เป็นมอเตอร์ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมต้องใช้ระบบไฟฟ้า 3 เฟส ใช้แรงดัน 380 โวลต์ มีสายไฟเข้ามอเตอร์ 3 สาย

2.5.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor)

DC Motor ย่อมาจาก Direct Current Motor ซึ่งเป็นมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่มีโครงสร้างภายในแตกต่างจาก AC Motor หรือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ ในส่วนของโครงสร้างมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor) ตามรูปที่ 2.7 จะมีส่วนประกอบไปด้วย 2 ส่วนใหญ่ ๆ ดังนี้

1. ส่วนที่อยู่กับที่เรียกว่า สเตเตอร์ (Stator) ที่มีขดลวดสนาม (Field Coil)
2. ส่วนที่เคลื่อนที่เรียกว่า โรเตอร์ (Rotor) ในส่วนนี้จะประกอบไปด้วยขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature) และแปรงถ่าน (Brush)



รูปที่ 2.7 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

อ้างอิง: <http://4.bp.blogspot.com/.jpg>

มอเตอร์ (D.C. MOTOR) การแบ่งชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบ่งออกเป็น 3 ชนิดได้แก่

1. มอเตอร์แบบอนุกรมหรือเรียกว่าซีรีย์มอเตอร์ (Series Motor)
2. มอเตอร์แบบอนุขนานหรือเรียกว่าชันทมอเตอร์ (Shunt Motor)
3. มอเตอร์ไฟฟ้าแบบผสมหรือเรียกว่าคอมเปาวด์มอเตอร์ (Compound Motor)

หลักการพื้นฐานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ประกอบด้วยขดลวด 2 ชุด ซึ่งขดลวดชุดหนึ่งอยู่ที่สเตเตอร์ เรียกว่าขดลวดสนาม (Field winding) ที่ทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็กถาวร ซึ่งแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่จ่ายมานั้นจะมาจากแหล่งเดียวกันกับขดลวดอาร์เมเจอร์ แต่ในบางครั้งสำหรับมอเตอร์ขนาดเล็กนั้น จะใช้แม่เหล็กถาวรแทนการใช้ขดลวดเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กถาวร และขดลวดชุดที่สองที่อยู่ในส่วนของโรเตอร์จะเรียกว่า ขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature winding) ซึ่งจะจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเข้าขดลวดอาร์เมเจอร์ผ่านแปรงถ่าน (Brush) และชุดคอมมิวเตเตอร์ (Commutator) ซึ่งตัวขดลวดนั้นจะทำให้เกิดแรงบิด (Torque) ในการหมุนของโรเตอร์ ที่เกิดมาจากการกระทำระหว่างขั้วแม่เหล็กของขดลวดในสเตเตอร์ และโรเตอร์ ที่ต่างขั้วกันและผลึกกันทำให้เกิดการหมุนขึ้นได้ในที่สุด

2.6 แผงโซลาร์เซลล์ (Solar Cell)

โซลาร์เซลล์ หรือ เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) หรือ เซลล์โฟโตโวลตาอิก (Photovoltaic cell) มีหลายรูปแบบและหลายลักษณะ ดังแสดงในรูปที่ 2.8 คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำชนิดพิเศษ ที่มีคุณสมบัติในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโซลาร์เซลล์นั้นจะเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current) ซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทันที รวมทั้งสามารถเก็บไว้ในแบตเตอรี่เพื่อใช้งานภายหลังได้ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงโซลาร์เซลล์ จัดว่าเป็นแหล่งพลังงานสะอาดและไม่สร้างมลภาวะแก่สิ่งแวดล้อมและไม่ปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Co₂) เหมือนกับแหล่งพลังงานอื่น ๆ เช่น น้ำมัน, โรงไฟฟ้าที่มีกระบวนการผลิตจากก๊าซธรรมชาติ และถ่านหิน โซลาร์เซลล์เป็นพลังงานที่ใช้แล้วไม่มีวันหมดไป ซึ่งหลังการติดตั้งระบบโซลาร์เซลล์เรียบร้อยแล้ว จะสามารถใช้ได้เหมือนไฟฟ้าแบบปกติทั่วไป เช่น ใช้สำหรับใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ ภายในบ้านได้ทุกชนิด ไม่ว่าจะป็นใช้กับเครื่องปรับอากาศ แอร์ ตู้เย็น เครื่องซักผ้า ใช้กับคอมพิวเตอร์ ชาร์จรถยนต์ เครื่องเสียง และ อื่น ๆ อีกมากมาย



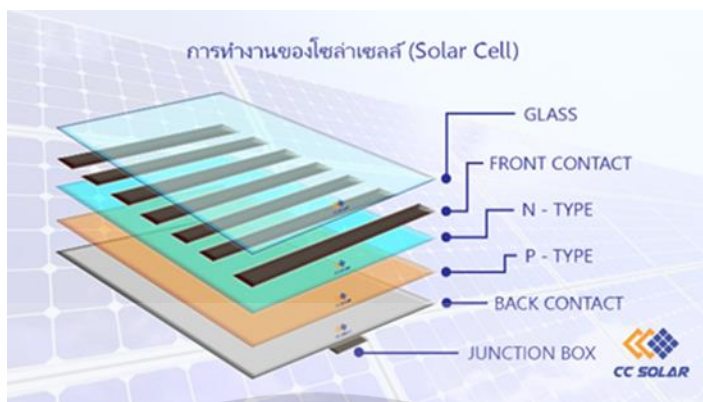
รูปที่ 2.8 แผงโซลาร์เซลล์

ที่มา: https://www.gump.in.th/uploaded_files/img/solarcell/hybrid_system.jpg

2.6.1 หลักการทำงาน

การทำงานของ โซลาร์เซลล์ (Solar Cell) เป็นกระบวนการเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง โดยเมื่อแสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและมีพลังงานไปกระทบกับสารกึ่งตัวนำจะเกิดการถ่ายเทพลังงานระหว่างกัน พลังงานจากแสงจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้า (อิเล็กตรอน) ขึ้นในสารกึ่งตัวนำซึ่ง สามารถนำกระแสไฟฟ้าง่ายไปใช้งานได้ หลักการทำงาน คือ เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบ แสงอาทิตย์จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอน และโฮล ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ขึ้นโดยอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ไปรวมตัวกันที่ ระดับชั้นบนสุด (Front Electrode) และโฮลจะเคลื่อนที่ไปรวมตัวกันที่ระดับชั้นล่างสุด (Back Electrode) และเมื่อมีการเชื่อมต่อระบบวงจรไฟฟ้าจากระดับชั้นบนสุด (Front Electrode) และระดับชั้นล่างสุด (Back Electrode) ให้ครบวงจร จะเกิดเป็นกระแสไฟฟ้าขึ้นให้สามารถนำไปใช้งานได้ โดยส่วนประกอบตามรูปที่ 2.9 ของสารกึ่งตัวนำทั้งสองประกอบไปด้วย

1. N-Type คือแผ่นซิลิคอน ที่ผ่านกระบวนการ โดปปิ้ง (Doping) ด้วยสารฟอสฟอรัส ทำให้มีคุณสมบัติเป็น ตัวส่งอิเล็กตรอน เมื่อได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์
2. P-Type คือแผ่นซิลิคอน ที่ผ่านกระบวนการ โดปปิ้ง (Doping) ด้วยสารโบรอน ทำให้โครงสร้างของอะตอมสูญเสียอิเล็กตรอน (โฮล) โดยเมื่อได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์ จะมีคุณสมบัติเป็นตัวรับอิเล็กตรอน



รูปที่ 2.9 การทำงานของโซล่าเซลล์

ที่มา: <http://siamvip.com/managefiles/jpg>

2.6.2 ชนิดของแผงโซล่าเซลล์

แผงโซล่าเซลล์แบ่งออกเป็น 3 ชนิด ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ชนิดของแผงโซล่าเซลล์

ที่มา: <https://www.klcbright.com/image/solarpanels2.webp>

1. โมโนคริสตัลไลน์ (Monocrystalline Silicon Solar Cells) แสดงดังรูปที่ 2.11 ทำจากผลึกซิลิคอนเชิงเดี่ยว (mono-Si) หรือบางที่เรียกว่า single crystalline (single-Si) วิธีสังเกตง่าย ๆ คือ แต่ละเซลล์จะมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมตัดมุมทั้งสี่มุมและมีสีเข้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 โมโนคริสตัลไลน์ (Monocrystalline Silicon Solar Cells)

ที่มา: https://www.gump.in.th/uploaded_files/img/solarcell/250w_mono1.jpg

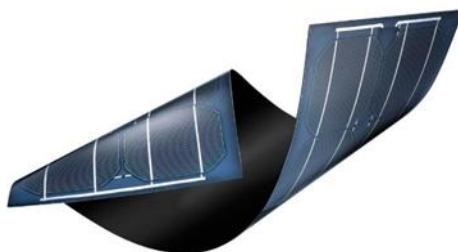
- โพลีคริสตัลไลน์ (Polycrystalline Silicon Solar Cells) แสดงดังรูปที่ 2.12 ทำจากผลึกซิลิคอน โดยทั่วไปเรียกว่า โพลีคริสตัลไลน์ (polycrystalline, p-Si) แต่บางครั้งเรียกว่ามัลติ-คริสตัลไลน์ (multi-crystalline-Si) โดยในกระบวนการผลิต สามารถที่จะนำเอาซิลิคอนเหลวมาเทใส่โมลด์ที่เป็นสี่เหลี่ยมก่อนที่จะนำมาตัดเป็นแผ่นบางอีกครั้งจึงทำให้เซลล์แต่ละเซลล์เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสไม่มีการตัดมุมสี่ของแผงจะออกน้ำเงินไม่เข้มมาก



รูปที่ 2.12 โพลีคริสตัลไลน์ (Polycrystalline Silicon Solar Cells)

ที่มา: https://www.gump.in.th/uploaded_files/img/solarcell/140W_POLY.jpg

- แผงโซลาร์เซลล์ชนิด ฟิล์มบาง (Thin Film Solar Cells) แสดงดังรูปที่ 2.13 คือการนำสารที่สามารถแปลงพลังงานจากแสงเป็นกระแสไฟฟ้า มาฉาบเป็นชั้นฟิล์มบาง ๆ ซ้อนกันหลาย ๆ ชั้น จึงเรียก โซลาร์เซลล์ชนิดนี้ว่า ฟิล์มบาง (thin film) แผ่นชนิดนี้มีประสิทธิภาพเฉลี่ยอยู่ที่ 7-13% ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่นำมาทำเป็นฟิล์มฉาบ แต่สำหรับบ้านเรือนโดยทั่วไปแล้ว มีเพียงประมาณ 5% เท่านั้นที่ใช้งานแผงชนิดนี้



รูปที่ 2.13 แผงโซลาร์เซลล์ชนิด ฟิล์มบาง

ที่มา: <https://www.gump.in.th/solarcell/A-Si-Thin-Film-Solar-Cell-Market.jpg>

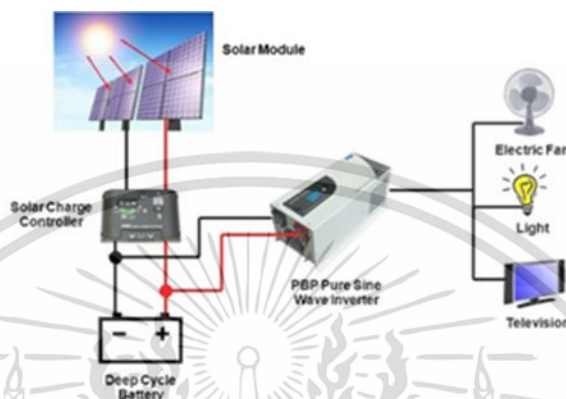
2.6.3 รูปแบบต่าง ของการนำโซลาร์เซลล์ ไปผลิตไฟฟ้าใช้งาน

1. ระบบออฟกริด (Off Grid) หรือ ระบบแบบอิสระ (Stand Alone) คือ ระบบปิด ที่ผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ โดยไม่ได้เชื่อมต่อกับระบบไฟของการไฟฟ้านครหลวง หรือ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เลย ระบบนี้เหมาะกับสถานที่ที่ไฟฟ้าเข้าไม่ถึง ไม่คุ้มที่จะเดินลากสายไฟยาว ๆ เข้ามาใช้งานเนื่องจากต้นทุนสูง

วิธีการ คือการนำกระแสไฟฟ้าที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ มาชาร์จเข้าแบตเตอรี่ แล้วจึงนำไฟฟ้าได้มาใช้งาน ซึ่งสามารถเลือกว่าจะนำจ่ายไฟให้กับอุปกรณ์โดยตรงเพื่อใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ ทั้งนี้ข้อดีของการที่มีแบตเตอรี่คือ สามารถเก็บประจุไฟฟ้าไว้ใช้งานได้ในกรณีที่ไม่มีแสงอาทิตย์ หรือสามารถใช้ไฟฟ้าในเวลากลางคืนได้ ดังแผนผังการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ตามรูปที่ 2.14 เนื่องจากอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้งานภายในบ้านเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current: AC) แต่ไฟฟ้าที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์เป็นไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current: DC) ดังนั้นก่อนนำไปใช้งานจึงต้องนำมาแปลงมาเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเสียก่อนโดยนำมาต่อเข้ากับอุปกรณ์ที่เรียกว่า อินเวอร์เตอร์ (Inverter) ซึ่งกำลังไฟฟ้าที่ได้จะมีการสูญเสียจากการแปลงทำให้ลดประสิทธิภาพการผลิตกระแสไฟฟาลงไปข้อดี/ข้อเสียของระบบออฟกริด (Off Grid) หรือ แบบอิสระ (Stand Alone)

ข้อดีคือ เป็นระบบที่ไม่จำเป็นต้องเชื่อมต่อกับระบบไฟจากการไฟฟ้า สามารถผลิตไฟฟ้าเองได้

ข้อเสียคือ งบประมาณสูง เพราะมีความจำเป็นที่ต้องมีแบตเตอรี่มาใช้ในการเก็บพลังงาน และต้องคำนวณการใช้ปริมาณไฟฟ้าให้เพียงพอต่อการใช้งาน เพื่อให้การใช้ไฟฟ้ามีความต่อเนื่องตลอดเวลา ซึ่งเป็นต้นทุนที่สูงเมื่อเทียบกับค่าใช้จ่ายทั้งระบบ



รูปที่ 2.14 วิธีการนำกระแสไฟฟ้าที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ มาชาร์จเข้าแบตเตอรี่

ที่มา: https://www.gump.in.th/uploaded_files/img/solarcell/solar-off-grid.jpeg

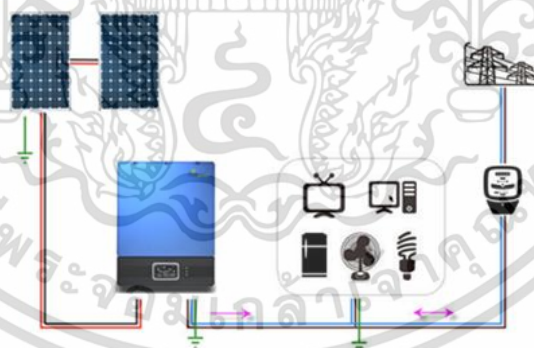
- ระบบออนกริด (On Grid) หรือแบบเชื่อมต่อกับระบบไฟของการไฟฟ้า คือการผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ โดยการเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ด้วยอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์ จากนั้นเชื่อมระบบเข้ากับการไฟฟ้านครหลวง หรือการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ซึ่งข้อดีคือ สามารถนำกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ขายให้การไฟฟ้า (ตามโครงการขายไฟให้การไฟฟ้า) หรือนำไฟฟ้าที่ได้มาใช้งานเองเพื่อลดค่าไฟ หากไม่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ หรือปริมาณที่ผลิตได้ไม่เพียงพอจะนำไฟฟ้าจากระบบของการไฟฟ้ามาใช้งานทดแทน หรือชดเชยทันที

วิธีการการติดตั้งเพื่อลดค่าไฟฟ้า โดยเมื่อมีการใช้ไฟฟ้ามากกว่าที่ผลิตเองจากโซลาร์เซลล์ ตัวอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์แบบกริดไทด์ (Grid Tie Inverter) ที่เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า จะทำหน้าที่ดึงกระแสไฟฟ้าจากการไฟฟ้ามาใช้งานโดยอัตโนมัติ ดังนั้นจะทำให้ลดค่าไฟฟ้าลงได้และไม่มีข้อจำกัดเรื่องกำลังไฟไม่พอ เพราะดึงจากการไฟฟ้ามาชดเชย แต่การติดตั้งแบบนี้ต้องได้รับการอนุญาตจากการไฟฟ้าก่อน แต่ข้อเสียของระบบนี้ คือช่วงที่ไม่มีแสงอาทิตย์ หรือช่วงเวลากลางคืนจะไม่มีการผลิตกระแสไฟฟ้าออกมา ซึ่งช่วงนี้จะต้องดึงพลังงานไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายของการ

ไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.15 ข้อดี/ข้อเสีย ออนกริด (On Grid) หรือ แบบเชื่อมต่ออิงกับระบบไฟการไฟฟ้า

ข้อดี สามารถลดค่าไฟฟ้า หรือไม่มีค่าไฟฟ้า หากใช้แผงโซล่าเซลล์จำนวนมากพอ เนื่องจากการผลิตไฟฟ้าในช่องกลางวันได้เพียงพอต่อความต้องการแล้ว จึงสามารถลดค่าไฟฟ้าได้สำหรับผู้ประกอบการติดตั้งระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่ ยังสามารถขายไฟฟ้าคืนให้กับการไฟฟ้าได้ โดยติดต่อกับการไฟฟ้าจะต้องสมัครทำสัญญาและยื่นเอกสารตามข้อกำหนดของการไฟฟ้านครหลวง และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ข้อเสีย กรณีที่ไฟฟ้าจากการไฟฟ้าดับระบบโซล่าเซลล์ยังจ่ายไฟปกติ แต่กริดไทน์อินเวอร์เตอร์จะหยุดทำงาน และไม่จ่ายไฟเข้าสายส่งเพื่อป้องกันไฟฟ้าดูดเจ้าหน้าที่การไฟฟ้า ซึ่งกำลังทำการซ่อมระบบสายไฟฟ้าการใช้งานระบบนี้ ส่วนใหญ่จะใช้ในพื้นที่ที่มีไฟฟ้าเข้าถึงแล้วเพื่อช่วยลดค่าไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี ซึ่งทางผู้ที่ต้องการติดตั้งต้องมีพื้นที่ติดตั้งแผงโซล่าเซลล์ และรู้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลากลางวัน โดยดูจากหน่วยการใช้ไฟฟ้าที่เสียค่าไฟฟ้าในแต่ละเดือน เพื่อออกแบบกำลังการผลิตระบบไฟฟ้าโซล่าเซลล์หาขนาดกริดไทน์อินเวอร์เตอร์ และจำนวนแผงโซล่าเซลล์ให้เหมาะสม



รูปที่ 2.15 วิธีการการติดตั้ง เพื่อลดค่าไฟฟ้า

ที่มา: https://www.gump.in.th/uploaded_files/img/solarcell/on-grid.jpg

3. ระบบไฮบริดส์ (Hybrid) หรือแบบผสมเป็นระบบที่นำเอาระบบออนกริด และออฟกริดมารวมกัน คือจะมีระบบแบตเตอรี่มาสำรองพลังงานที่ไว้สำหรับใช้งานในเวลาที่ไม่มีแสงอาทิตย์ และสำหรับกรณีที่เมื่อมีแสงอาทิตย์แล้วผลิตกระแสไฟฟ้าได้หาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสไฟฟ้าที่ผลิตมีมากกว่าที่นำไฟฟ้ามาใช้งานในระบบ กระแสไฟฟ้านั้นไปชาร์จเข้าแบตเตอรี่เพื่อนำมาใช้งานต่อไป เมื่อเวลากลางคืนที่ไม่สามารถผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ได้ระบบจะไปนำเอากระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่มาใช้ก่อน หากยังไม่เพียงพอระบบจะไปดึงไฟฟ้ามาจากระบบการไฟฟ้ามาชดเชยอีกทีหนึ่ง หลักการทำงาน คือเมื่อแผงโซลาร์เซลล์ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์จะแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง (DC) แล้วส่งต่อมายัง อินเวอร์เตอร์ ซึ่งอินเวอร์เตอร์จะแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) ซึ่งจะเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟของการไฟฟ้า และอีกขั้วหนึ่งจะต่อเข้ากับแบตเตอรี่ และอีกขั้วหนึ่งจะต่อไฟฟ้าไปใช้งานต่าง ๆ ในช่วงเวลากลางวัน เมื่อผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ระบบจะนำไฟฟ้าที่ผลิตได้มาจ่ายให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า แต่หากกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ไม่เพียงพอจะไปดึงไฟจากแบตเตอรี่ หรือระบบจำหน่ายไฟของการไฟฟ้ามาใช้งานได้โดยอัตโนมัติ (ซึ่งสามารถตั้งค่าได้ที่ตัวอินเวอร์เตอร์) หรือหากผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์มากกว่าที่ใช้งานระบบระบบจะนำกระแสไฟฟ้านี้ไปชาร์จแบตเตอรี่ เพื่อสำรองไฟฟ้าไว้ใช้งานต่อไปในเวลา กลางคืนที่ไม่สามารถผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ได้ที่ตัวอินเวอร์เตอร์ สามารถตั้งค่าได้ว่า จะเอาไฟจากแบตเตอรี่มาใช้ก่อนจนหมด และค่อยนำไฟฟ้าจากระบบของการไฟฟ้ามาใช้งาน ซึ่งทำให้ประหยัดค่าไฟฟ้าลงได้ หากระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าขัดข้องจึงไปนำไฟฟ้าจากแบตเตอรี่มาใช้งานดังรูปที่ 2.16 ข้อดี/ข้อเสีย ระบบไฮบริดส์ (Hybrid) หรือแบบผสม

ข้อดี ระบบทำงานได้ทั้งแบบออนกริดและออฟกริด สามารถเปลี่ยนแหล่งพลังงานไฟฟ้าได้เองตามสถานการณ์ช่วยรักษาความเสถียรของระบบไฟฟ้า และใช้ไฟได้กรณีไฟจากการไฟฟ้าดับ

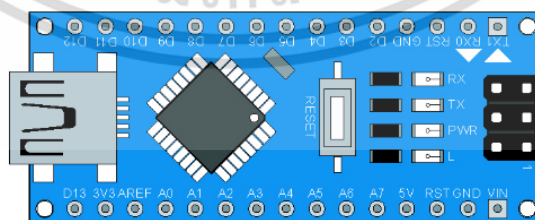
ข้อเสีย อินเวอร์เตอร์ชนิดนี้มีให้เลือกน้อยมาก และยังไม่ได้รับการยอมรับจากการไฟฟ้า (กฟผ.) ไม่สามารถขนานไฟฟ้ากับกริดได้ ไม่สามารถขายไฟคืน กฟผ. ได้ต้องใช้อุปกรณ์มากเช่นเดียวกับออฟกริด (off-grid) ซึ่งทำให้ระบบโดยรวมมีราคาสูงและไม่คุ้มค่ากับการลงทุน



รูปที่ 2.16 แผงโซลาร์เซลล์ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์แปลงเป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง (DC)
ที่มา: https://www.gump.in.th/uploaded_files/img/solarcell/hybrid_system.jpg

2.7 บอร์ด Arduino Nano

เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ไอซีเบอร์ ATmega328P-AU เป็นไอซีหลักแสดงดังรูปที่ 2.17 ซึ่งภายในตัวไอซีจะมีขาอินพุต (INPUT) และ เอาต์พุต (OUTPUT) แบบดิจิตอลจำนวน 14 ขา (สามารถใช้เป็นขาพัลส์ หรือขา PWM เอาต์พุต จำนวน 6 ขา) นอกจากนั้นยังมีขาแบบอนาล็อกไว้ให้ใช้งานจำนวน 8 ขา บนบอร์ดยังมีสิ่งอำนวยความสะดวกมากมายสำหรับผู้เริ่มต้นใช้งาน เช่น ขั้ว USB แบบมินิยูเอสบี (MiniUSB) ใช้ในการติดต่อสื่อสารกับคอมพิวเตอร์, ขั้วต่อ ICSP และปุ่มรีเซ็ต (Reset) เป็นต้น บอร์ด NANO 3.0 สามารถใช้ร่วมกับโปรแกรม Arduino IDE ได้ทุกเวอร์ชัน ขนาดของหน่วยจำแฟลช (Flash Memory) คือ 32 กิโลไบต์ และโปรแกรมบูทโหลดเดอร์ (bootloader) เป็นจำนวน 0.5 กิโลไบต์ ขนาดของหน่วยความจำสแตติกแรม (SRAM) คือ 2 กิโลไบต์ และขนาดของหน่วยความจำอีเอ็ปรอม (EEPROM) คือ 1 กิโลไบต์



รูปที่ 2.17 บอร์ด Arduino Nano

ที่มา: https://image.makewebeasy.net/makeweb/Arduino_nano_small.jpg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1 ขาอินพุต/เอาต์พุต แบบดิจิทัลจะมีจำนวนขาใช้งานทั้งหมด 14 ขา

ซึ่งสามารถกำหนดให้เป็นขาอินพุต หรือขาเอาต์พุตตามการเขียนโปรแกรม โดยขานี้จะทำงานที่ระดับแรงดัน 5 โวลต์ดีซี กระแสที่สามารถจ่ายและรับได้ 20 มิลลิแอมป์ โครงสร้างภายในขาที่แสดงดังรูปที่ 2.18 จะมีตัวต้านทานแบบพูลอัพต่ออยู่ค่าประมาณ 20-50 กิโลโอห์ม นอกจากนี้ในบางขายังสามารถกำหนดฟังก์ชันพิเศษได้ เช่น

- ขา D0 (RX) และขา D1 (TX) ใช้ในการติดต่อสื่อสารแบบอนุกรม
- ขา D2 และขา D3 เป็นขา Interrupt จากภายนอก ตามฟังก์ชัน attachInterrupt()
- ขา PWM ได้แก่ ขา D3, D5, D6, D9, D10 และ D11 เป็นขา OUTPUT ขนาด 8 บิต ตามฟังก์ชัน analogWrite()
- ขา D10 (SS), ขา D11 (MOSI), ขา D12 (MISO) และขา D13 (SCK) เป็นขาที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารแบบ SPI โดยการใช้ไลบรารี SPI
- ขา D13 เป็นขาที่ต่อกับ LED บนบอร์ด โดยถ้ากำหนดเป็นขาเอาต์พุตและมีค่าเป็นสูง (High) ตัว LED จะติด แต่ถ้ากำหนดเป็นต่ำ (Low) ตัว LED จะดับ

2.7.2 ขาอินพุต (INPUT) แบบอนาล็อก (ANALOG)

จะมีจำนวนขาใช้งานทั้งหมด 8 ขาแสดงดังรูปที่ 2.18 ซึ่งในแต่ละขาจะมีระดับแรงดันสูงสุด 5 โวลต์ เมื่อเทียบกับกราวด์และมีความละเอียดขนาด 10 บิต

2.7.3 ขาแรงดันเข้า (Vin)

เป็นขารับแหล่งจ่ายไฟจากภายนอก ถ้าทำการจ่ายไฟเข้าที่ขานี้ไม่ควรทำการจ่ายไฟผ่านขั้ว USB

2.7.4 ขาแรงดันออก (Vout) 5V

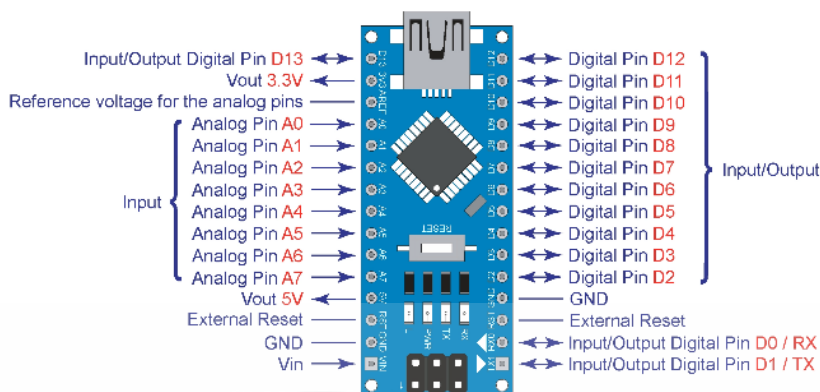
เป็นขาจ่ายไฟบวกขนาด 5 โวลต์ดีซี

2.7.5 ขาแรงดันออก (Vout) 3.3V

เป็นขาจ่ายไฟบวกขนาด 3.3 โวลต์ดีซี กระแสสูงสุด 50 มิลลิแอมป์

2.7.6 ขากราวด์ (GND)

เป็นขากราวด์ของวงจร



รูปที่ 2.18 บอร์ด NANO R3 และขาต่าง ๆ

อ้างอิง: https://image.makewebeasy.net/Arduino_nano_pin_1.jpg

2.8 บอร์ด ESP32

MCU – ESP32 เป็น ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Micro Controller) ดังแสดงในรูปที่ 2.19 ที่รองรับการเชื่อมต่อไวไฟ (Wi-Fi) , บลูทูธ (Bluetooth – BLE) ในตัว ภาษาที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมคือ ภาษาซี หรือไพทอน (Python) ภาษาไพทอนต้องทำการอัปเดตเฟิร์มแวร์ให้รองรับไพทอน การพัฒนาโปรแกรมขึ้นอยู่กับผู้ที่พัฒนาโปรแกรม IDE ที่ใช้พัฒนาคือ Arduino IDE จำเป็นต้องติดตั้งปลั๊กอิน (Plugin IDF) ESP32 เพื่อรองรับการเชื่อมต่อไวไฟ และ บลูทูธ ได้โดยไม่ต้องมีโมดูลเพิ่มเติม บอร์ด ESP32 ยังมีการทำงานที่แบ่งเป็นหน่วยประมวลผลที่มีการทำงานแบบสองแกนประมวลผล (2 Core) และขาสัญญาณอินพุต/เอาต์พุต (Pin I/O) เลือกฟังก์ชันการทำงานได้ในขาสัญญาณเดียวกัน เช่น การแปลงอนาล็อกเป็นดิจิตอล (Analog to Digital) หรือดิจิตอลเป็นอนาล็อก (Digital to Analog) การเชื่อมต่อ SD Card, Camera, PWD, RTC และ Touch เป็นต้น ESP WROOM-32 Chip เป็นบอร์ดรุ่นแรก ที่มีราคาไม่สูงมาก ยังมี CPU 2 Core อยู่ในบอร์ดเดียวกัน มีความเร็วสูงสุด 240 เมกะเฮิรต, 520 จิกะไบต์ สามารถใช้งานร่วมกับอาร์ดูโน้, ไมโครไพทอน (Micro Python) และอื่น ๆ ได้



รูปที่ 2.19 บอร์ด ESP 32

ที่มา: <https://cf.shopee.co.th/file/527b678d6afa132f12e20dbca42689ae>

2.9 BTS7960 h-bridge dc motor drive

โมดูลขับเคลื่อนมอเตอร์ แบบฟูลบริดจ์ ใช้ไอซีเบอร์ BTS7960 สเปกกระแสสูงสุด 43 แอมป์ ควบคุมมอเตอร์หมุนกลับทางได้ IBT-2 (BTS7960) เป็นโมดูลขนาดกะทัดรัดสำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์ PWM ที่ 25 กิโลเฮิร์ตซ์ ร่วมกับแอกทีฟฟรียูวี่ลิ่ง (active freewheeling) ดังรูปที่ 2.21 เหมาะสำหรับควบคุมมอเตอร์กำลังสูง (High Power Motor) โดยทำงานที่ 24 โวลต์ และสามารถขับเคลื่อนที่กระแสสูงสุดถึง 43 แอมป์ ที่มาพร้อมกับระบบป้องกันต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็น ป้องกันแรงดันไฟฟ้าเกิน, ป้องกันแรงดันไฟฟ้า และ ป้องกันอุณหภูมิ



รูปที่ 2.20 BTS7960 h-bridge dc motor drive

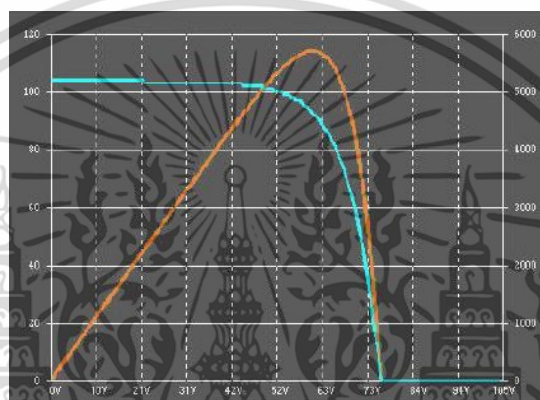
ที่มา: <https://ae01.alicdn.com/kf/Hf2b28a07b8fb478b90688544b29def60B.jpg>

2.10 ชาร์จเจอร์ MPPT Solar Charge Controller

MPPT หรือ Maximum Power Point Tracking คือ อัลกอริทึมหรือรูปแบบการคำนวณอย่างหนึ่ง ที่นำมาใช้กับการทำงานของเครื่องผลิตไฟฟ้ากระแสตรง เช่น แผงโซลาร์เซลล์ หรือ กังหันลม เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพและมีเสถียรภาพมากขึ้น เพราะในความเป็นจริงพลังงานไฟฟ้าที่ได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องผลิตไฟฟ้ากระแสตรงเหล่านี้มีความไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับปริมาณและความเข้มของแสงอาทิตย์ และความเร็วลมเป็นหลักไม่สามารถควบคุมได้ อัลกอริทึมหรือรูปแบบการคำนวณแบบ MPPT จึงถูกคิดค้นขึ้นมา เพื่อเอาจุดที่ก่อให้เกิดพลังงานไฟฟ้าสูงสุดมาใช้งานไม่ว่าความเข้มของแสงอาทิตย์หรือความเร็วลมจะเปลี่ยนแปลงไป ส่วนการออกแบบในแต่ละระบบ MPPT จะเป็นจุดไหนสามารถดูได้จากรูปที่ 2.21 กราฟ I-V Curve ซึ่งกราฟนี้ได้มาจากการทดลองและคำนวณที่ค่าความเข้มแสงต่าง ๆ หรือสมัยใหม่สามารถใช้เครื่องวิเคราะห์ที่ชื่อว่า I-V Curve Simulator



รูปที่ 2.21 I-V Curve เส้นสีฟ้า และ MPPT Charge เส้นสีส้ม

ที่มา: <https://www.klcbright.com/image/IV-MPPTChart.jpg>

MPPT Solar Charge Controller หมายถึง อุปกรณ์ควบคุมการชาร์จของแผงโซลาร์เซลล์ดังรูปที่ 2.22 ที่ได้นำเอารูปแบบการคำนวณเพื่อหาจุดที่ได้กำลังสูงสุด โดยใช้การปรับแรงดันไฟฟ้าและควบคุมกระแสไฟฟ้า แล้วนำมาคำนวณให้ค่าที่เหมาะสมที่สุดในการชาร์จ หลังจากที่ได้เปรียบเทียบกับพลังงานที่เหลืออยู่ในแบตเตอรี่ ยกตัวอย่างเช่น มีแผงโซลาร์เซลล์ 18 โวลต์ 130 วัตต์ $I_{mp} = 7.2$ แอมป์ ใช้งานกับแบตเตอรี่ 12 โวลต์

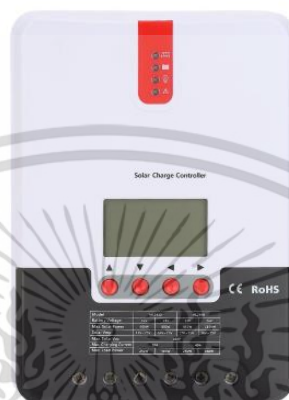
กรณีที่ 1 ใช้กับ อุปกรณ์ควบคุมการชาร์จแบบธรรมดา

แบตเตอรี่จะเริ่มชาร์จไฟเมื่อมีแรงดันต่ำกว่า 12 โวลต์ และจะชาร์จด้วยกำลัง 12 โวลต์ คูณกับ 7.2 แอมป์ จะเท่ากับ 86.4 วัตต์ แต่ถ้าหากแบตเตอรี่มีไฟน้อย หรือเหลือไฟเพียง 10.5 โวลต์ เมื่อมีการชาร์จไฟจะชาร์จด้วยกำลังเพียงแค่ 10.5 โวลต์ คูณกับ 7.2 แอมป์ เท่ากับ 75.6 วัตต์ เท่านั้น

กรณีที่ 2 ใช้กับ อุปกรณ์ควบคุมการชาร์จ แบบ MPPT

ตัวควบคุมการชาร์จ แบบ MPPT จะใช้หลักการปรับแรงดันให้เหมาะสม จาก 18 โวลต์ เป็น 12 โวลต์ แล้วจ่ายกระแสในการชาร์จได้มากขึ้นจาก 7.2 แอมป์ เป็น 18 โวลต์ คูณกับ 7.2 แอมป์ หากด้วย 12 โวลต์ จะ

เท่ากับ 10.8 แอมป์ หรือหากแบตเตอรี่เหลือไฟน้อย 10.5 โวลต์ ตัวควบคุมการชาร์จ แบบ MPPT จะปรับแรงดันให้เหลือ 10.5 โวลต์ แล้วชาร์จด้วยกระแส 18 โวลต์ คูณกับ 7.2 แอมป์ ทารด้วย 10.5 โวลต์ จะเท่ากับ 12.3 แอมป์ นั้นทำให้ยังคงจ่ายไฟได้ใกล้เคียง 130 วัตต์ เท่าเดิม จึงทำให้ชาร์จไฟได้เร็วขึ้น



รูปที่ 2.22 ML4830 SRNE

ที่มา: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com>

2.11 แบตเตอรี่ลิเทียมแบบ NMC

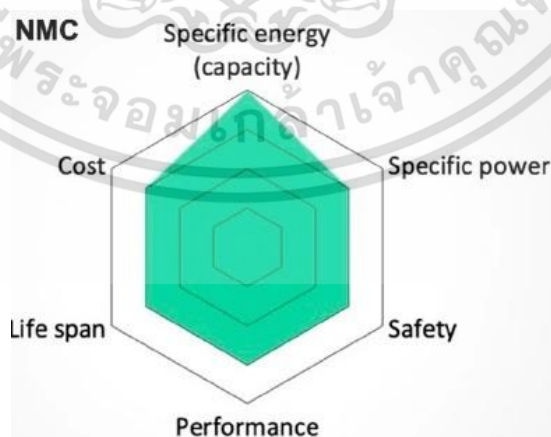
แบตเตอรี่ลิเทียม (Lithium Battery) หรือ เรียกแบบเต็มว่า แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (Lithium Ion Battery) นั้นเรียกชื่อตามการกักเก็บพลังงานในลิเทียมไอออน (Li-ion) โดยการสร้างศักย์ไฟฟ้าให้เกิดขึ้นระหว่างขั้วบวกและขั้วลบของแบตเตอรี่และคั่นด้วยฉนวนที่เรียกว่า ตัวคั่น (Saparator) แสดงตามดังรูปที่ 2.23 ตัวคั่นสามารถเป็นได้ทั้งฉนวน และตัวนำไอออน ในขณะที่ชาร์จไฟลิเทียมไอออนจะเคลื่อนที่จากขั้วบวกไปยังขั้วลบผ่านตัวคั่น และเมื่อตอนคายประจุลิเทียมไอออนจะเคลื่อนที่ในทิศตรงกันข้าม การเคลื่อนที่ของประจุลิเทียมไอออนนี้เองทำให้เกิดความต่างศักย์ไฟฟ้าหรือที่เรียกว่าโวลต์ (Voltage) เกิดขึ้น แต่เมื่อไม่มีการใช้งานแบตเตอรี่ตัวคั่นจะทำหน้าที่เป็นฉนวนกั้นไม่ให้ไอออนเคลื่อนที่ข้ามไปมา และเมื่อมีการเอาแบตเตอรี่ไปต่อเข้ากับอุปกรณ์เพื่อใช้งานประจุลิเทียมไอออน หรืออิเล็กทรอนิกส์ที่ถูกกั้นอยู่ด้วยตัวคั่นอยู่นั้นจะถูกดันให้วิ่งผ่านตัวคั่นได้



รูปที่ 2.23 ส่วนประกอบของแบตเตอรี่ลิเธียม

ที่มา: <https://energyfordummies.com/wp-content/uploads/2021/04/battery-structure.jpg>

แบตเตอรี่ลิเธียมนิเคิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์ (Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide :NMC) แบตเตอรี่ลิเธียมนิเคิลแมงกานีสโคบอลต์ออกไซด์ หรือ NMC ด้วยการเพิ่มนิเคิล (Ni) ซึ่งมีความจุพลังงานจำเพาะ (Specific Capacity; Ah/kg) สูงเข้าไปในส่วนประกอบของคาร์โธด ทำให้แบตเตอรี่ NMC มีค่าพลังงานจำเพาะสูงขึ้น ผลที่ได้คือได้เซลล์ที่มีความต่างศักย์หรือแรงดันไฟฟ้าสูงถึงประมาณ 4 โวลต์ต่อเซลล์ เดิมทีเดียวแบตเตอรี่ชนิด NMC ไม่ได้มีส่วนผสมของแมงกานีสต่อมานักวิจัยจึงได้เพิ่มแมงกานีสเข้าไปเพื่อเพิ่มความเสถียร ผลคือแบตเตอรี่ NMC มีทั้งความเสถียรและใช้งานได้ในงานแรงดันสูง (high voltage applications) การปรับเปลี่ยนส่วนผสมระหว่าง นิเคิล แมงกานีส และโคบอลต์ ทำให้เกิดชนิดย่อยและคุณสมบัติที่ต่างกัน ในปัจจุบันแบตเตอรี่ NMC มีความต้องการสูงในอุตสาหกรรมรถยนต์ EV (Electric Vehicle) เพราะด้วยคุณสมบัติ มีค่าพลังงานสูง จ่ายกระแสได้สูงมีเสถียรภาพ และทนต่ออุณหภูมิได้ดีมาก ดังรูปที่ 2.25 กราฟแสดงประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ NMC



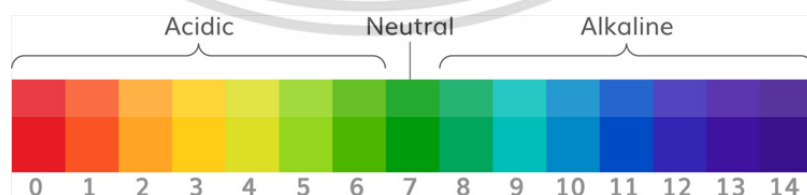
รูปที่ 2.24 กราฟแสดงประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ NMC

ที่มา: https://t1.blockdit.com/5d4a9281baca8114b66408ec_800x0xcover_E3cEjVz5.jpg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12 pH Meter using Arduino Uno

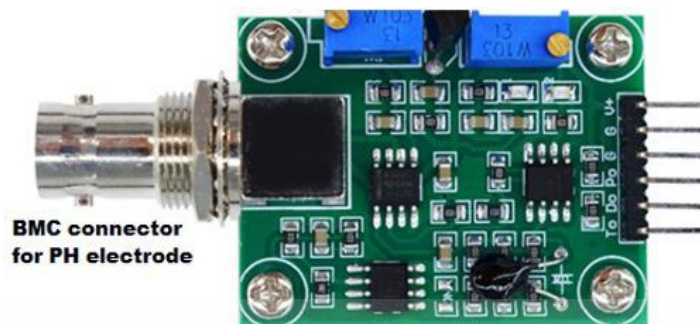
ค่า pH คือ หน่วยที่ใช้ในการวัดความเป็นกรด-ด่างของสารดังรูป 2.25 ที่เรียกว่า pH คำว่า “H” ถูกกำหนดให้เป็นค่าลบของความเข้มข้นของไฮโดรเจนไอออนช่วงค่า pH สามารถมีค่าได้ตั้งแต่ 0 ถึง 14 ค่า pH ที่ 7 เป็นกลาง เนื่องจากน้ำบริสุทธิ์มีค่า pH ที่ 7 ทุกประการ ค่าที่ต่ำกว่า 7 เป็นกรดและค่าที่มากกว่า 7 เป็นด่างหรือด่าง เช่น เซอร์วัตค่า pH เซ็นเซอร์วัดค่า pH แบบอนาล็อกได้รับการออกแบบมาเพื่อวัดค่า pH ของสารละลายและแสดงความเป็นกรดหรือด่างของสารเป็นที่นิยมใช้ในงานต่าง ๆ เช่น การเกษตร การบำบัดน้ำเสีย อุตสาหกรรม การตรวจสอบด้านสิ่งแวดล้อม ฯลฯ โมดูลนี้มีชิปควบคุมแรงดันไฟฟ้าในตัวซึ่งรองรับการจ่ายแรงดันไฟฟ้าง่าย 3.3-5 โวลต์ ซึ่งเข้ากันได้กับ 5 โวลต์ และ 3.3 โวลต์ ของบอร์ดควบคุมต่าง ๆ เช่น บอร์ด Arduino โมดูลแปลงสัญญาณ (Signal Conversion module) ดังรูปที่ 2.26 เซ็นเซอร์วัดค่าของไฮโดรเจน (PH electrode) ดังรูปที่ 2.27 โครงสร้างเซ็นเซอร์วัดค่า pH ดังรูปที่ 2.28 เซ็นเซอร์วัด ค่า pH มีลักษณะเป็นแท่งที่ทำจากวัสดุแก้วที่มีปลายเรียกว่า "เยื่อแก้ว" เมมเบรนนี้เต็มไปด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ที่ทราบค่า pH (โดยทั่วไปคือ pH = 7) การออกแบบอิเล็กทรอนิกส์ช่วยให้มั่นใจได้ในสภาพแวดล้อมที่มีการจับตัวกันของไอออน H^+ ที่ด้านในของเมมเบรนแก้วอย่างต่อเนื่อง เมื่อจุ่มโพรบลงในสารละลายที่จะทดสอบไอออนของไฮโดรเจนในสารละลายทดสอบจะเริ่มแลกเปลี่ยนกับไอออนที่มีประจุบวกอื่น ๆ บนเยื่อหุ้มแก้วซึ่งสร้างศักย์ไฟฟ้าเคมีทั่วเมมเบรน ซึ่งป้อนไปยังโมดูลเครื่องขยายเสียงอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งวัดศักย์ไฟฟ้าระหว่างอิเล็กโทรดทั้งสอง และแปลงเป็นหน่วย pH. ความแตกต่างระหว่างศักย์ภาพเหล่านี้จะกำหนดค่า pH ตามสมการเนิร์ส (Nernst) สมการเนิร์สให้ความสัมพันธ์ระหว่างศักย์ไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้าเคมี อุณหภูมิ ผลหารปฏิกิริยา และศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของเซลล์ ในสถานะที่ไม่ได้มาตรฐาน สมการเนิร์สจะใช้ในการคำนวณศักย์ภาพของเซลล์ในเซลล์ไฟฟ้าเคมี นอกจากนี้ยังสามารถใช้สมการเนิร์สเพื่อคำนวณแรงเคลื่อนไฟฟ้าทั้งหมด (EMF) สำหรับเซลล์ไฟฟ้าเคมีทั้งหมด



รูปที่ 2.25 แถบสีค่า pH

ที่มา: <https://circuitdigest.com/sites/default/files/inlineimages/u2/pH-Scale.png>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



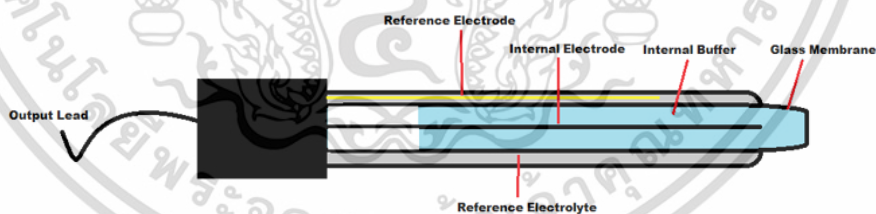
รูปที่ 2.26 pH signal converts board

ที่มา: <https://circuitdigest.com/sites/default/files/u2/PH-Signal-Conversion-Board.jpg>



รูปที่ 2.27 pH electrode

ที่มา: <https://circuitdigest.com/sites/default/files/inlineimages/u2/PH-Electrode.jpg>



รูปที่ 2.28 โครงสร้าง pH Electrode

ที่มา: <https://circuitdigest.com/sites/default/files/u2/PH-Electrode-Construction.png>

2.13 Proximity Switch

พร็อกซิมีตี้เซนเซอร์ (Proximity Sensor) หรือ พร็อกซิมีตี้สวิตช์ (Proximity Switch) คือ เซนเซอร์ชนิดหนึ่งที่สามารถทำงานโดยไม่ต้องสัมผัสกับชิ้นงานหรือวัตถุภายนอก โดยลักษณะของการทำงานอาจจะส่งหรือรับพลังงานรูปแบบใดรูปแบบหนึ่งดังต่อไปนี้ คือ สนามแม่เหล็ก สนามไฟฟ้า แสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสียง และ สัญญาณลม ส่วนการนำเซนเซอร์ประเภทนี้ไปใช้งานนั้น ส่วนใหญ่จะใช้กับงานตรวจจับตำแหน่ง ระดับ ขนาด และรูปร่าง ซึ่งโดยปกติแล้วจึงนำมาใช้แทนลิมิตสวิตช์ (Limit Switch) เนื่องจากสาเหตุของอายุการใช้งานและความเร็วในการตรวจจับวัตถุเป้าหมายทำได้ดีกว่า ประเภทของพร็อกซิมีตี้เซนเซอร์มี 2 ชนิด คือ

2.13.1 Inductive Proximity Sensor (เซนเซอร์แบบเหนี่ยวนำ)

เป็นเซนเซอร์ที่ทำงานโดยอาศัยหลักการเปลี่ยนแปลงค่าความเหนี่ยวนำของขดลวด ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะมีผลต่อชิ้นงานหรือวัตถุที่เป็นโลหะเท่านั้น หรือเรียกว่า “อินดักทีฟเซนเซอร์” ข้อเด่นของเซนเซอร์ชนิดนี้ คือ ทนทานและสามารถทำงานได้ในช่วงอุณหภูมิที่กว้าง (wide temperature ranges) สามารถทำงานในสภาวะที่มีการรบกวนทางแสง (Optical) และเสียง (Acoustic) ซึ่งเทียบเท่ากับชนิดเก็บประจุ

2.13.2 Capacitive Proximity Sensor (เซนเซอร์ชนิดเก็บประจุ)

เหมาะสำหรับตรวจจับวัตถุที่สามารถตรวจจับวัตถุที่เป็น “โลหะและอโลหะ” เพราะตัวเก็บประจุ (Capacitive) ใช้หลักการเปลี่ยนแปลงของค่าคาปาซิแตนซ์ โดยการสร้างสนามไฟฟ้าสถิต การเลือก Proximity Sensors มีดังนี้

2.13.2.1 ระยะตรวจจับ

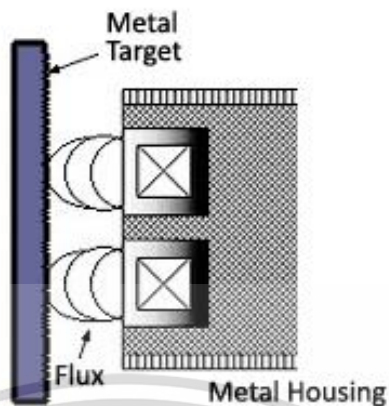
ระหว่างเซ็นเซอร์และชิ้นงาน หน่วยเป็น mm (มิลลิเมตร)

2.13.2.2 ขนาดของเกลียว

โดยมีทรงกระบอกเรียบขนาด 6.5 มิลลิเมตร หรือขนาดเกลียว มีตั้งแต่ M5, M8, M12, M18, M30 และทรงสี่เหลี่ยมขนาด 40 มิลลิเมตร x 40 มิลลิเมตร สามารถเลือกได้ตามความเหมาะสมของหน้างาน

2.13.2.3 รูปแบบการติดตั้ง

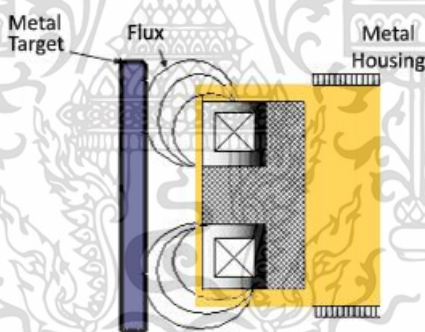
1. แบบ Shielded / Flush หรือ แบบหัวเรียบ ดังรูปที่ 2.29 คือ จะตรวจจับยื่นออกด้านหน้า ทำให้ตรวจจับได้สั้นกว่าแบบหัวยื่น



รูปที่ 2.29 Shielded sensor

ที่มา: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com>

2. แบบ Non-Shielded / Non-Flush หรือ แบบหัวยื่น ดังรูปที่ 2.30 คือ ตรวจจับทั้งด้านข้างและด้านหน้า ทำให้ตรวจจับได้ไกลกว่า



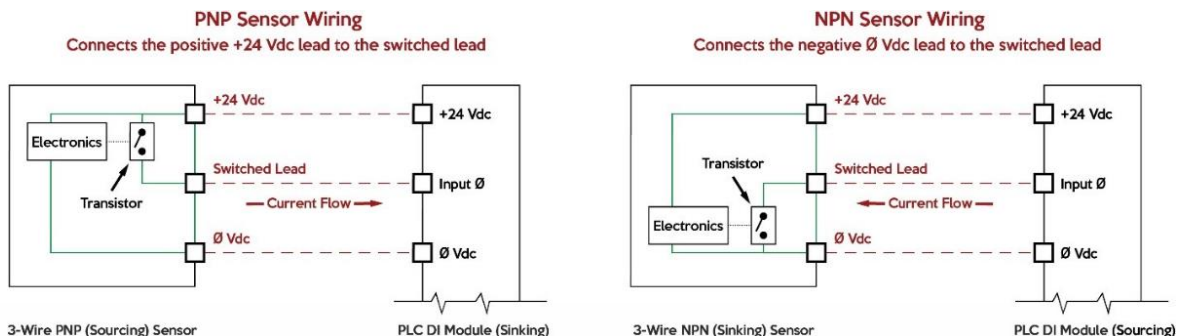
รูปที่ 2.30 Non-Shielded sensor

ที่มา: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com>

2.13.2.4 สัญญาณ Output

เอาต์พุตเป็นแบบ PNP หรือ NPN จะพบในเซนเซอร์ประเภท 3 สายเท่านั้น รูปแบบการต่อคือเลือกจาก Common ว่าเป็นแบบใด โดยเลือกตามการใช้งานตามรูปที่ 2.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.31 สัญญาณ เอาต์พุตเป็นแบบ PNP หรือ NPN

ที่มา: <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/>

2.13.2.5 สถานะการทำงานของหน้าคอนแทก

1. NO (Normally Open) หรือ ปกติเปิด คือหากยังไม่จ่ายไฟให้ขดลวดเหนี่ยวนำหน้าสัมผัสจะไม่ติดกันแสดงดังรูปที่ 2.32



รูปที่ 2.32 NO (Normally Open)

ที่มา: <https://f.ptcdn.info/024/062/000/plih9thy6X89yaZHCTV-o.png>

2. NC (Normally Close) หรือ ปกติปิด คือ การทำงานจะตรงข้ามกับปกติเปิด หากยังไม่จ่ายไฟให้ขดลวดเหนี่ยวนำ หน้าสัมผัสจะติดกันอยู่ตามดังรูปที่ 2.33

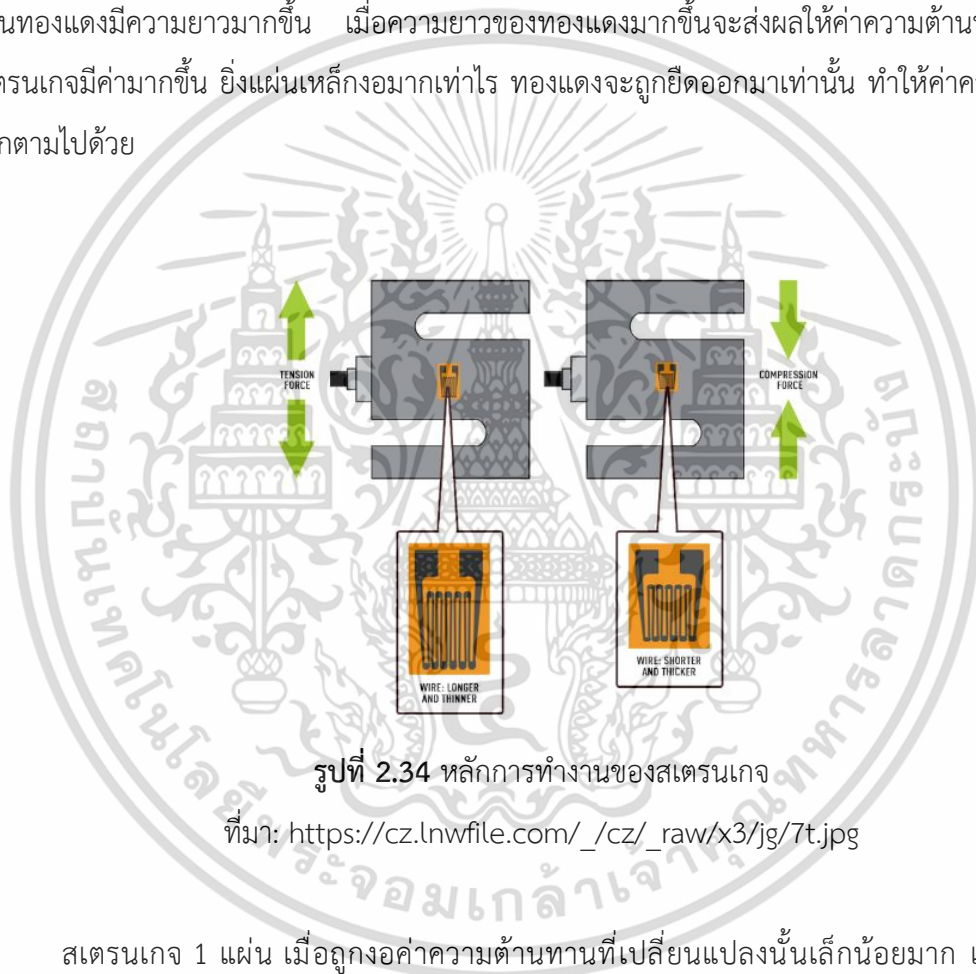


รูปที่ 2.33 NC (Normally Close)

ที่มา: <https://f.ptcdn.info/024/062/000/plih9thy6X89yaZHCTV-o.png>

2.14 Load Cell with HX711

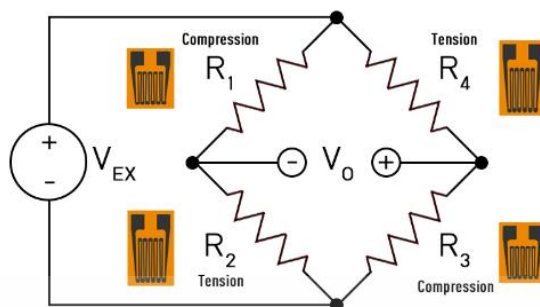
โหลดเซลล์ (Load Cell) เป็นอุปกรณ์ใช้วัดถูกนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมหลากหลายประเภท โดยมีหลักการคือ นำแผ่นทองแดงที่เรียกว่า สเตรนเกจ ไปยึดติดกับแท่งเหล็กออกดั่งรูปที่ 2.34 แล้วยึดปลายด้านหนึ่งของแท่งเหล็กไว้กับพื้น จากนั้นที่ปลายอีกด้านใช้วางสิ่งของที่ต้องการชั่งน้ำหนัก เมื่อวางสิ่งของลงไปแล้ว จะทำให้แท่งเหล็กงอเล็กน้อย การงอนี้จะไปทำให้แผ่นสเตรนเกจที่ถูกยึดติดไว้กับแท่งเหล็กอย่างแน่นหนายืดออก เมื่อสเตรนเกจถูกยึดทองแดงที่อยู่บนสเตรนเกจจะถูกยืดออกเช่นกัน ทำให้แผ่นทองแดงมีความยาวมากขึ้น เมื่อความยาวของทองแดงมากขึ้นจะส่งผลให้ค่าความต้านทานของแผ่นสเตรนเกจมีค่ามากขึ้น ยิ่งแผ่นเหล็กงอมากเท่าไร ทองแดงจะถูกยืดออกมาเท่านั้น ทำให้ค่าความต้านทานมากตามไปด้วย



รูปที่ 2.34 หลักการทำงานของสเตรนเกจ

ที่มา: https://cz.lnwfile.com/_/cz/_raw/x3/jg/7t.jpg

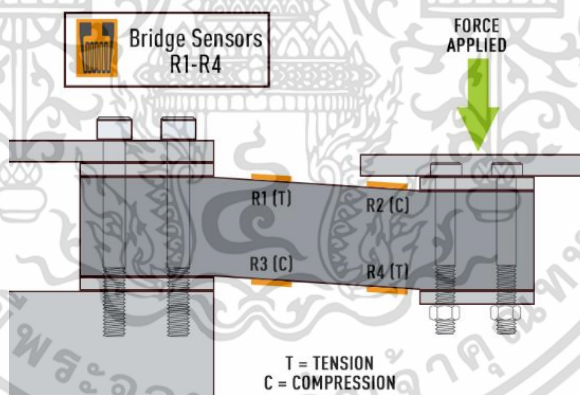
สเตรนเกจ 1 แผ่น เมื่อถูกงอค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงนั้นเล็กน้อยมาก และค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยนี้ไม่สามารถนำไปใช้งานได้เลยส่งผลให้เกิดการคิดค้นวงจรบริดจ์ขึ้นมาดังรูปที่ 2.35



รูปที่ 2.35 วงจรบริดจ์

ที่มา: https://cz.lnwfile.com/_/cz/_raw/a2/by/ix.jpg

วงจรถัดไปคือวงจรถัดไปนำแผ่นสเตรนเกจ 4 แผ่นมาต่อกันเป็นวงจรถัดไป แล้วยึดติดลงไปกับแท่งเหล็กทางด้านบน 2 แผ่น และด้านล่าง 2 แผ่น แสดงดังรูปที่ 2.36 เมื่อแท่งเหล็กงอ จะส่งผลให้แผ่นสเตรนเกจ 2 แผ่นยืดออก ในขณะที่แผ่นสเตรนเกจอีก 2 แผ่นหดเข้า การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของสเตรนเกจทั้ง 4 แผ่นนี้เอง ทำให้สามารถตรวจจับการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานได้ง่ายขึ้นมาก



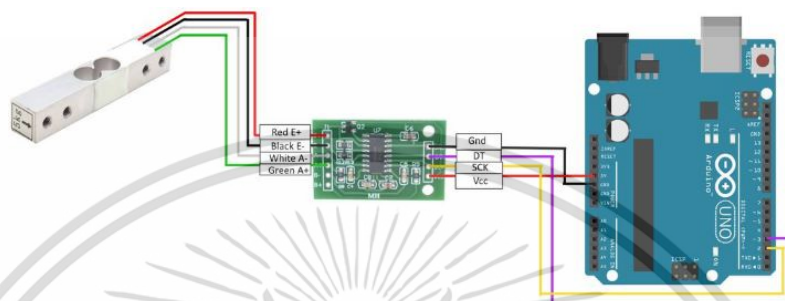
รูปที่ 2.36 วงจรถัดไปบนโหลดเซลล์

อ้างอิง: https://cz.lnwfile.com/_/cz/_raw/7g/6n/4z.jpg

HX711 Weight Sensor Amplifier Module สำหรับโหลดเซลล์โมดูล HX711 เป็นโมดูลสำหรับขยายสัญญาณจากเซนเซอร์ (Sensor) โหลดเซลล์ดังรูปที่ 2.37 โดยปกติจะวัดแรงดันที่ได้จากโหลดเซลล์ โดยตรงค่าแรงดันที่ได้จะออกมา น้อยมาก จึงไม่สามารถป้อนไปยัง Arduino, Nodemcu, Raspberry pi

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ชนิดอื่น ๆ ได้โดยตรง โดยโมดูลตัวนี้จะทำการขยายสัญญาณออกเป็นดิจิทัล 24 บิต ความแม่นยำสูงใช้งานได้ง่ายเพียงแค่เสียบสายสัญญาณ 2 เส้น และ แหล่งจ่ายไฟให้กับ โมดูลอีก 2 เส้นเท่านั้น



รูปที่ 2.37 HX711 Weight Sensor Amplifier Module

ที่มา: <https://www.cytron.io/image/catalog/.jpg>

2.15 RS485

RS485 (ย่อมาจาก: Recommended Standard no. 485) คือมาตรฐานการสื่อสารข้อมูลดิจิทัลแบบอนุกรม (serial communication) ซึ่งถูกกำหนดขึ้นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1998 โดยความร่วมมือของ TIA (Telecommunications Industry Association) และ EIA (Electronic Industries Association) มาตรฐาน RS485 ถูกใช้อย่างแพร่หลายในโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากสามารถส่งสัญญาณได้ไกลและยังสามารถส่งพร้อม ๆ กันได้หลายจุด ปกติแล้ว EIA จะตั้งชื่อมาตรฐานของตัวเองโดยการใช้คำนำหน้าว่า "RS" (Recommended Standard) แต่เนื่องจากมาตรฐานนี้เป็นความร่วมมือระหว่าง 2 หน่วยงาน คือ TIA และ EIA ทั้งสองหน่วยงานจึงตกลงเปลี่ยนจากคำว่า "RS" เป็น "TIA/EIA" แทนอย่างเป็นทางการ เพื่อระบุถึงแหล่งที่มาของมาตรฐานอย่างชัดเจน โดยต่อมาทาง EIA ได้ยกเลิกมาตรฐานนี้ และมาตรฐาน RS485 นี้ได้ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบันโดย TIA ทำให้มาตรฐาน RS485 ถูกเปลี่ยนชื่อเป็น "TIA-485" อย่างเป็นทางการ แต่สุดท้ายเพราะความเคยชินทำให้วิศวกรทั่วโลกยังเรียกมาตรฐานการสื่อสารนี้ว่า RS485 เหมือนเดิม

หลักการการทำงานของ RS485

มาตรฐาน RS485 เป็นมาตรฐานที่รับ/ส่งข้อมูลในแบบที่เรียกว่า การสื่อสารระหว่างสองจุด (Half duplex) สามารถรับและส่งข้อมูลได้ทีละอย่างเท่านั้นไม่สามารถทำทั้งสองอย่างได้ในเวลาเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.38 การเชื่อมต่อ RS485

ที่มา: https://www.omi.co.th/image/upload/Image/article_056_RS485-wiring.jpg

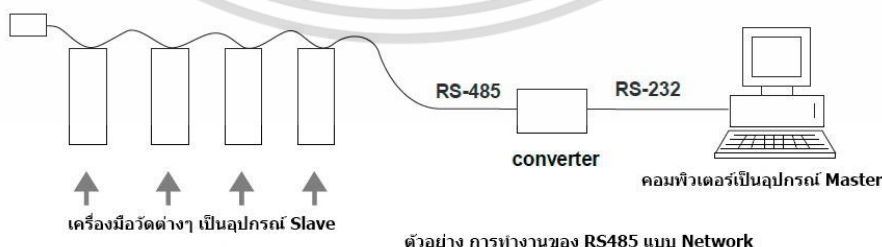
สำหรับการรับ/ส่งข้อมูลดิจิทัลแบบ RS485 นั้น จะส่งข้อมูลโดยใช้สายไฟเพียงแค่ 2 เส้นคือ A และ B เป็นตัวบอกระดับสัญญาณ (Digital code) โดยใช้ความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้าระหว่างขั้ว A และ B เป็นตัวบอกระดับนี้ ดังรูปที่ 2.38

เมื่อ $V_a - V_b$ ได้แรงดันไฟฟ้าน้อยกว่า -200 มิลลิโวลต์ คือสัญญาณดิจิทัลเป็น 1

เมื่อ $V_a - V_b$ ได้แรงดันไฟฟ้ามากกว่า $+200$ มิลลิโวลต์ คือสัญญาณดิจิทัลเป็น 0

หลักการทำงานของ RS485 แบบเครือข่าย (NETWORK)

มาตรฐาน RS485 สามารถเชื่อมต่อการรับส่งข้อมูลแบบเครือข่าย (Network) ดังรูปที่ 2.39 โดยมีอุปกรณ์ในเครือข่ายได้สูงสุดถึง 32 ตัว ซึ่งในเครือข่าวนั้น จะต้องมีอุปกรณ์อยู่ 1 ตัว ทำหน้าที่คอยจัดลำดับการสื่อสารในเครือข่าย ซึ่งจะเรียกอุปกรณ์ตัวนี้ว่า อุปกรณ์หลัก (Master) และอุปกรณ์ส่วนที่เหลือจะเรียกว่า อุปกรณ์ลูก (Slave) โดยที่อุปกรณ์ลูกแต่ละตัวจะมีหมายเลข (Address) ของตัวเอง และเมื่อตัวอุปกรณ์หลัก ต้องการสั่งการตัวอุปกรณ์ลูก ตัวอุปกรณ์หลักจะส่งชุดคำสั่งพร้อมระบุหมายเลขไปยังอุปกรณ์อุปกรณ์ลูกทุกตัว เมื่ออุปกรณ์อุปกรณ์ลูกได้รับคำสั่งและคำสั่งนั้นมีหมายเลข Address ตรงกับตัวเอง อุปกรณ์ลูกก็จะทำตามคำสั่งของอุปกรณ์หลักเป็นลำดับไป



ตัวอย่าง การทำงานของ RS485 แบบ Network

รูปที่ 2.39 การทำงานของ RS485 แบบ Network

ที่มา: https://www.omi.co.th/image/upload/Image/article_057_RS485-wiring-network.jpg

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.16 เฟืองเกียร์

เฟืองเกียร์ทศรอบ เป็นตัวอุปกรณ์ที่มีการส่งกำลังไปผ่านที่ตัวฟันเฟืองในแบบแรงบิด ตัวเฟืองจะเป็นตัวช่วยในการทศรอบให้ใช้กำลังที่น้อยลง ขณะที่การขับเคลื่อนของกลไกเป็นไปด้วยความเร็วมีการใช้หลักเรื่องการทศรอบด้วยการใช้เฟืองที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาดใหญ่ เพื่อใช้ในการขับเคลื่อนที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่เล็กกว่า กล่าวคือเฟืองนั้นถูกออกแบบขึ้นเพื่อให้ส่งกำลังในรูปแบบของแรงบิดมีการหมุนตัวเฟืองที่มีฟันเฟืองในแนวรัศมี ซึ่งการส่งกำลังจะเกิดขึ้นเมื่อมีการทำงานของฟันเฟืองตั้งแต่ 2 ตัว เป็นต้นไป ดังรูปที่ 2.40



รูปที่ 2.40 เฟืองเกียร์

ที่มา: <http://sc04.alicdn.com/kf/HTB16MRyakSSBuNjy0Flq6zBpVXax.jpg>

สำหรับการทำงานของเกียร์ทศรอบจะมีส่วนประกอบของฟันเฟืองหลายประเภท และมีอัตราการทศรอบที่เริ่มต้นตั้งแต่ 1/10, 1/20, 1/30, 1/40 และ 1/50 โดยมีการแบ่งเฟืองเกียร์ทศรอบ ออกเป็น 5 ประเภทหลัก คือ

2.16.1 เฟืองเกียร์ทศรอบชนิด แบบตรง

เฟืองชนิดนี้จะนิยมใช้งานมากที่สุด เพราะราคาถูกกว่าและทำให้การสูญเสียพลังงานมีต่ำกว่า จะมีลักษณะพิเศษตรงฟันเฟืองที่เป็นแบบแนวขนานขนานไปกับช่วงรูเพลลา โดยมีอีกชื่อเรียกว่า “เฟืองขนานเพลลา” (Parallel-shaft Gear) เฟืองตรงหรือ Spur Gear เป็นอุปกรณ์เพื่อส่งกำลังระยะสั้น มีความ

แข็งแรงพอสมควรและสามารถใช้งานได้อย่างปลอดภัย ด้วยคุณสมบัติเหล่านี้ จึงทำให้เฟืองตรงถูกนำไปใช้กับอุตสาหกรรมต่าง ๆ มากที่สุด เฟืองชนิดนี้มี

ข้อดี คือ ประสิทธิภาพในการใช้งานสูง, ประกอบง่าย, ชีพินจัดวางในแนวอนพร้อมใช้

ข้อเสีย คือ เวลาใช้งานแล้วรอบเริ่มเร็วจะเสียงดังมากและความแข็งแรงค่อนข้างน้อยกว่าเฟืองชนิดอื่น

2.16.2 เฟืองเกียร์ทรอบชนิดแบบเฉียง

เฟืองเฉียง หรือ Helical Gear มีลักษณะของตัวเฟืองคล้ายกับเฟืองตรง แต่ฟันเฟืองจะไม่ขนานกับเพลลา แต่จะเป็นการทำมุมเฉียงเพื่อให้ได้มุมที่ต้องการ สามารถเอียงไปได้ทั้งซ้ายและขวา ซึ่งจะขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานที่ต่างกันไปตามประเภท ความต่างนี้ยังเกิดขึ้นจากการออกแบบและตัวผู้ผลิตเองด้วย เวลาทำงานเฟืองชนิดนี้จะมีเสียงเบาและทำงานได้ไหลลื่นดี เพราะซี่ฟันที่มีความลาดเอียงทำให้การเสียดสีกันเป็นไปทีละน้อย ที่สำคัญคือเฟืองชนิดนี้สามารถติดตั้งได้ทั้งแบบแนวขนานและแบบตั้งตรงอีกด้วย

ข้อดี คือ การทำงานเงียบ เสียงน้อย ทำงานอย่างราบรื่นและต่อเนื่อง

ข้อเสีย คือ ประสิทธิภาพในการทำงานค่อนข้างต่ำการสูญเสียพลังงานที่สูง

2.16.3 เฟืองเกียร์ทรอบชนิด แบบดอกจอก

เฟืองดอกจอก หรือ Bevel จะมีรูปทรงผสมผสานกันระหว่างเฟืองตรง, เฟืองเฉียง และรูปกรวย มีความพิเศษที่เป็นเฟืองแบบ 2 ตัวขบกันอยู่ในแนวเพลลา โดยที่เพลลาของทั้งคู่จะอยู่ในลักษณะตั้งฉากหรืออยู่แนวตัดกัน เพลลา 2 ตัวนี้จะทำการตั้งฉากกันในระดับ 90 องศา การทำงานเฟืองชนิดนี้จะปรับเปลี่ยนไปตามรูปร่าง ซึ่งเฟืองชนิดนี้มีแยกออกมาเป็น 2 ประเภท คือ แบบตรง (Straight Type) และแบบโค้ง (Spiral Type) มักถูกนำไปใช้งานในยานพาหนะทั้งทางบกและทางน้ำ เช่น ยานยนต์โดยเฉพาะในระบบส่งกำลังและขับเคลื่อน รถแทรกเตอร์ ใช้ในระบบเฟืองส่งกำลังของเรือ เป็นต้น

ข้อดี คือ เหมาะกับการใช้ในอัตราทดของเฟืองที่มีมาก ๆ ประสิทธิภาพในการใช้งาน และการส่งถ่ายกำลังสูง, เสียงเงียบ และเฟืองแบบเฉียงถูกออกแบบให้อัตราการทดมีมากกว่า จึงแข็งแรง และทนทานมากกว่าเฟืองดอกจอกแบบตรง

ข้อเสีย คือ เฟืองดอกจอกแบบเฉียงจะประกอบยาก เมื่อเวลาทำงานแล้วต้องการปรับเปลี่ยนมุมจะยิ่งยาก และเพลลาทำงานหนักจากการกระแทกสูง จึงต้องเลือกดัลลูปป็น ที่มีความทนทานสูงเช่นกัน

2.16.4 เฟืองเกียร์ทดรอบชนิด แบบตัวหนอน

เฟืองตัวหนอน หรือ Worm Gear มีชุดเกียร์ที่ประกอบกันขึ้นมา 2 ชั้น คือ ส่วนของล้อตัวหนอนและตัวเฟือง ให้การทำงานแบบ Self-Locking ที่ให้เสียงเงียบ ทำงานต่อเนื่อง แต่การสูญเสียพลังงานมีสูง และแรงกระทำจะสูงขึ้นด้วย

ข้อดี คือ สามารถใช้กับอัตราทดเฟืองที่มากขึ้นและเสียงในการทำงานเงียบ

ข้อเสีย คือ การสูญเสียพลังงานที่สูงและเกิดแรงกระทำบนตัวหนอนที่สูงไม่แพ้กัน

2.16.5 เฟืองเกียร์ทดรอบชนิด แบบสะพาน

เฟืองสะพาน หรือ Rack Gears เป็นเฟืองที่มีลักษณะตรงเป็นทางยาวคล้ายรูปร่างของสะพาน โดยฟันเฟืองจะทำมุมกับลำตัวประมาณ 90 องศา และต้องใช้คู่กับตัวเฟืองตรง สามารถนำมาใช้เพื่อเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ให้กลายเป็นการหมุน หรือเปลี่ยนเป็นการเคลื่อนที่ในเชิงมุมและเชิงเส้น นอกจากนี้ยังเปลี่ยนการเคลื่อนที่เชิงเส้นให้กลายเป็นแบบกลับไปกลับมาได้อีกด้วย

ข้อดี คือ เมื่อใช้งานร่วมกับเฟืองตรงหรือเฟืองแบบตัวเล็กก็จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่แบบเชิงเส้นได้ทันที และมีการติดตั้งรูมาเป็นจำนวนมากและจัดเรียงกันมา จึงทำให้เลือกใช้งานได้อย่างหลากหลาย ไม่ว่าจะรูด้านข้าง, ด้านใน หรือรูเจาะคว้าน ที่เป็นไปตามการใช้งานแต่ละแบบ

ข้อเสีย คือ เฟืองจะไม่สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง เพราะต้องเคลื่อนที่ไปเรื่อย ๆ และจะต้องไปจบที่ปลายสะพานอยู่ตลอดอีกด้วย

2.17 สายไฟฟ้า

สายไฟฟ้ามีหน้าที่สำหรับนำพลังงานไฟฟ้า จากแหล่งจ่ายไฟไปยังบริเวณที่ไฟฟ้าต่าง ๆ ในปัจจุบัน ได้มีผู้ผลิตสายไฟฟ้ามามากมายหลายชนิดตามความต้องการ สำหรับการติดตั้งสายไฟฟ้าในรูปแบบต่าง ๆ ดังนั้นการเลือกใช้สายไฟฟ้า เพื่อให้มีความเหมาะสมปลอดภัย ประหยัด และเชื่อถือได้ จะต้องพิจารณาถึงปัจจัยหลายประการด้วยกัน ได้แก่ ความเหมาะสม กับสภาพแวดล้อมที่ติดตั้ง ความสามารถในการนำกระแสของตัวนำ ขนาดแรงดันตกที่เกิดขึ้น ความสามารถในการทนต่อความร้อนที่เกิดขึ้นทั้งในขณะใช้งานปกติและขณะเกิดการลัดวงจร ความต้านทานของสายไฟฟ้าจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบดังต่อไปนี้

1. พื้นที่หน้าตัดของสายไฟฟ้า คือ สายไฟฟ้าที่มีพื้นที่หน้าตัดของตัวนำใหญ่จะมีค่าความต้านทานของสายไฟฟ้าน้อยกว่าสายไฟฟ้าที่มีพื้นที่หน้าตัดของตัวนำเล็ก

2. ความยาวของสายสายไฟฟ้า คือ สายไฟฟ้าที่มีความยาวยิ่งมากความต้านทานของสายไฟก็จะมากขึ้นตาม
3. อุณหภูมิของสายไฟฟ้า คือ เมื่ออุณหภูมิสายไฟฟ้าสูงขึ้น ความต้านทานของสายไฟฟ้าก็จะเพิ่มขึ้น
4. ความต้านทานของสายไฟฟ้า คือ ความต้านของสายไฟฟ้าขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ใช้ทำสายไฟฟ้า เมื่อสายไฟฟ้ามีค่าความต้านทานมากจะทำให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าตกในสายไฟมาก ซึ่งจะมีผลให้แรงเคลื่อนที่ตกคร่อมโหลดหรือภาระทำงานได้ไม่เต็มพิกัด ประสิทธิภาพในการทำงานของสายไฟฟ้าก็จะลดลงด้วย

2.17.1 ชนิดและการใช้งานของสายไฟฟ้า แบ่งตามลักษณะการทำงานได้ 2 แบบ

1. สายแข็ง (SOLID WIRE)
2. สายอ่อน (STRANDED WIRE)

2.17.2 แบ่งตามชนิดของวัสดุตัวนำ 2 ชนิด

1. สายทองแดงมีความบริสุทธิ์ของทองแดง 98%
2. สายอลูมิเนียมมีความบริสุทธิ์ของอลูมิเนียม 99.3%

2.17.3. แบ่งตามลักษณะการใช้งาน

1. สายเปลือก (BARE WIRE)
2. สายหุ้มฉนวน (INSULATED WIRE)

2.17.4. แบ่งตามพิกัดแรงดันสายไฟฟ้า มี 2 ประเภท

1. สายไฟฟ้าแรงดันสูง
2. สายไฟฟ้าแรงดันต่ำ

2.17.5 ส่วนประกอบของสายไฟฟ้าที่สำคัญ 3 ส่วนได้แก่ ตัวนำ ฉนวน และเปลือก

2.17.5.1 ตัวนำ (Conductor)

ตัวนำของสายไฟฟ้าทำมาจากโลหะที่มีความนำไฟฟ้าสูง อาจจะมีอยู่ในรูปของตัวนำเดี่ยว (Solid) หรือตัวนำตีเกลียว (Strand) ซึ่งประกอบไปด้วยตัวนำเล็ก ๆ ตีเข้าด้วยกันเป็นเกลียวซึ่ง

มีข้อดีคือ การนำกระแสต่อพื้นที่ของสายไฟฟ้าสูงขึ้น เนื่องจาก ผลของ Skin Effect ลดลง และการเดินสายทำได้ง่าย เพราะมีความอ่อนตัวกว่า โลหะที่นิยมใช้เป็นตัวนำใช้ผลิตสายไฟฟ้าได้แก่ ทองแดง อลูมิเนียม โดยโลหะทั้งสองชนิดมีข้อดีข้อเสียต่างกันไปตามแต่ลักษณะของงาน

1. ทองแดง ทองแดงเป็นโลหะที่มีความนำไฟฟ้าสูงมาก มีความแข็งแรงเหนียว ทนต่อการกัดกร่อนได้ดี แต่มีข้อเสียอยู่คือ มีน้ำหนักมาก และราคาสายไฟฟ้าสูง จึงไม่เหมาะสำหรับงานด้านไฟฟ้าแรงดันสูง แต่จะเหมาะกับการใช้งานสายไฟฟ้าโดยทั่วไป โดยเฉพาะสายไฟฟ้าในอาคาร
2. อลูมิเนียม มีค่าการนำไฟฟ้าต่ำกว่าทองแดง ประมาณ 62% ของทองแดง และเปราะหักได้ง่ายกว่าจึงไม่สามารถรีดเป็นเส้นลวดขนาดเล็กมากได้ แต่อลูมิเนียมมีข้อได้เปรียบทองแดงคือมีน้ำหนักเบากว่ามาก โดยอลูมิเนียมมีน้ำหนักประมาณ 1 ใน 3 ของทองแดงที่ปริมาตรเท่ากัน และราคาของอลูมิเนียมยังถูกกว่าทองแดง ดังนั้นอลูมิเนียมจึงเหมาะสำหรับทำเป็นตัวนำของสายไฟฟ้าที่ติดตั้งแบบแขวนลอยในอากาศ เช่นสายส่งไฟฟ้าแรงสูงเหนือพื้นดินที่ต้องเดินเป็นระยะทางไกล

2.17.5.2 ฉนวน (Insulation)

ฉนวนของสายไฟฟ้าทำหน้าที่ห่อหุ้มตัวนำ เพื่อป้องกันการสัมผัสกันโดยตรงระหว่างตัวนำหรือระหว่างตัวนำกับส่วนที่ต่อลงดิน และป้องกันตัวนำจากผลกระทบทางกลและเคมีต่าง ๆ ในระหว่างที่ตัวนำ นำกระแสไฟฟ้าจะเกิดพลังงานสูญเสีย ในรูปของความร้อน ความร้อนที่เกิดขึ้นจะถ่ายเทไปยังเนื้อฉนวน ความสามารถในการทนต่อความร้อนของฉนวนจะเป็นตัวกำหนดความสามารถในการทนความร้อนของสายไฟฟ้า การเลือกใช้ชนิดของฉนวนจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิใช้งาน ระดับแรงดันของระบบ และสภาพแวดล้อมในการติดตั้ง วัสดุที่นิยมใช้เป็นฉนวนสายไฟฟ้ามากที่สุด คือ โพลีไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl Chloride: PVC) และ โพลีเอทิลีน (Cross linked Polyethylene: XLPE) ฉนวน XLPE มีความแข็งแรง ทนต่อความร้อน และถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าฉนวน PVC ปัจจุบันจึงมีการใช้ฉนวน XLPE เพิ่มมากขึ้น

1. PVC อุณหภูมิใช้งาน 70 องศาเซลเซียส และ 90 องศาเซลเซียส
2. XLPE อุณหภูมิใช้งาน 90 องศาเซลเซียส

2.17.5.3 เปลือก (Sheath)

เปลือกทำหน้าที่หุ้มแกนหรือหุ้มสายไฟฟ้าชั้นนอกสุด เปลือกของสายไฟฟ้า อาจจะมี 1 หรือ 2 ชั้นก็ได้เพื่อป้องกันความเสียหายทางกายภาพที่อาจเกิดขึ้นในขณะที่ติดตั้งหรือใช้งาน การเลือกใช้ชนิดของเปลือกสายไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมในการติดตั้งวัสดุ ที่นิยมทำเป็นเปลือกสายไฟฟ้ามากที่สุด คือ โพลีไวนิลคลอไรด์ (polyvinyl chloride: PVC) และ โพลีเอทิลีน (Polyethylene : PE) ส่วนกรณีสายไฟฟ้าที่ต้องการคุณสมบัติพิเศษก็อาจใช้วัสดุ เช่น สารหน่วงไฟโพลีไวนิลคลอไรด์ (Flame Retardant Polyvinyl Chloride : FR-PVC) หรือ สารควันน้อยฮาโลเจน (Low Smoke Halogen Free: LSHF)

1. สายไฟฟ้าที่ห่อหุ้มภายนอกด้วยด้ายถัก ได้แก่ สายไฟฟ้าที่ห่อหุ้มด้วยยาง แต่ภายนอกจะถักด้ายห่อหุ้มอีกชั้นหนึ่ง ใช้กับเตารีดและเครื่องให้ความร้อน
2. สายหุ้มยางเป็นสายไฟฟ้าที่หุ้มด้วยยางที่มีทั้งแบบธรรมดาและแบบทนความร้อนสายไฟฟ้าแบบนี้จะเปื่อยและเสื่อมคุณภาพเร็ว ปัจจุบันไม่ค่อยนิยมใช้งาน
3. สายไฟฟ้าหุ้ม PVC ชนิดนี้มีความทนทานต่อดิน ฟ้า อากาศ ไม่ติดไฟ ทนความร้อน แข็งเหนียวไม่เปื่อยง่าย นิยมใช้งานมากที่สุด
4. สายไฟฟ้าหุ้มพลาสติกธรรมดา เป็นสายอ่อนเส้นเล็ก ภายในมีหลายเส้น เป็นสายไฟที่ไม่ถาวรติดไฟได้ง่าย
5. สายไฟฟ้าเดี่ยว เป็นสายไฟฟ้า 1 เส้น มี 1 แกน ใช้เดินทั้งภายในและภายนอกอาคาร สายไฟฟ้าชนิดนี้ ถ้าเดินในอาคารนิยมใช้ร้อยในท่อแล้วยึดท่อติดกับผนังหรือฝังท่อในเสาหรือพื้นบางครั้งก็นำมาใช้เดินภายนอกอาคาร การเดินสายไฟฟ้าเดี่ยวนี้ไม่นิยมติดตั้งเดินลอย แต่จะเดินในท่อหรือวางรางเหล็กเสมอ หรือยึดติดกับผนังโดยใช้กบยึดเป็นช่วง ๆ
6. สายไฟฟ้าคู่ เป็นสายไฟฟ้าที่ใช้เดินในอาคารเป็นสายไฟฟ้าชนิด 1 เส้นมี 2 แกน หรืออาจทำพิเศษให้มี 3 แกน โดยมีสายดินอีก 1 แกน
7. สายไฟฟ้าเคเบิลใต้ดิน เป็นสายไฟฟ้าชนิดที่มีฉนวน PVC หุ้มหลอดทองแดง แล้วยังมีฉนวนหุ้มภายนอกอีกชั้นหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. สายไฟฟ้าเคลือบน้ำยาหรือสายอีนาเมล เป็นสายเปลือกที่เคลือบน้ำยาเคมี ใช้งานกันมากในงานพันขดลวดไดนาโม มอเตอร์ หม้อแปลง ฯลฯ
9. สายไฟฟ้าที่มีเปลือกโลหะหุ้ม นิยมใช้ฝังเข้ากับผนังตึก สายไฟฟ้าชนิดนี้มีราคาสูง สายไฟฟ้าอลูมิเนียมหุ้มด้วยฉนวน PVC = สายไฟฟ้าชนิดนี้จะมีตัวนำเป็นอลูมิเนียมแบบตีเกลียวไม่อัดแน่นหรือแบบตีเกลียวอัดแน่น และหุ้มด้วยฉนวน PVC โดยอาจจะเป็น PVC ธรรมดา หรือเป็นสายความต้านทานสูง (Heat Resistant PVC) ก็ได้ สามารถใช้ได้กับแรงดันไม่เกิน 750 โวลต์ สายไฟฟ้าชนิดนี้จะเป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 293-2541

2.17.6 ค่าต้านทานไฟฟ้า

ค่าต้านทานไฟฟ้า (อังกฤษ : electrical resistivity) คือ ค่าต้านทานไฟฟ้าบ่งชี้ว่าวัสดุทำให้ประจุไฟฟ้าเคลื่อนที่ได้ง่ายในระบบหน่วยวัดระหว่างประเทศของค่าต้านทานไฟฟ้าคือ โอห์มเมตร (Ωm) ซึ่งจะแสดงในรูปอักษรกรีกตัว ρ (โร)

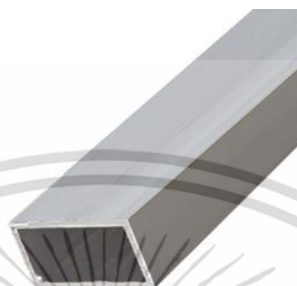
ค่าต้านทานไฟฟ้าของโลหะ (ที่ 20 องศาเซลเซียส)

1. เงิน-Silver = 1.59×10^{-8} โอห์มเมตร
2. ทองแดง-Copper = 1.68×10^{-8} โอห์มเมตร
3. ทองคำ-Gold = 2.44×10^{-8} โอห์มเมตร
4. อลูมิเนียม-Aluminum = 2.82×10^{-8} โอห์มเมตร

2.18 อลูมิเนียม

อลูมิเนียม (Aluminium) เป็นโลหะที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์มากทั้งในภาคอุตสาหกรรม และภาคครัวเรือน สำหรับภาคอุตสาหกรรมใช้ในการผลิตอลูมิเนียมผสม และผลิตภัณฑ์อลูมิเนียม ส่วนภาคครัวเรือนมีใช้มากในการก่อสร้าง และตกแต่งบ้าน ทดแทนไม้ และเหล็ก เนื่องจากเป็นโลหะที่มีคุณสมบัติคงทนต่อการหัก ความร้อน การกัดกร่อน น้ำหนักเบา และมีความสามารถในการสะท้อนแสง และความร้อนได้ดี มักใช้ในงานก่อสร้างการทำประตู หน้าต่าง ฝ้า ราวบันได และโครงสร้างต่าง ๆ คุณสมบัติของอลูมิเนียมมีจุดหลอมละลายที่ 660 องศาเซลเซียส เป็นโลหะที่มีความหนาแน่นน้อย น้ำหนักเบา รับภาระน้ำหนักได้สูง สามารถขึ้นรูปได้ง่าย ไม่เสี่ยงต่อรอยร้าว ไม่เป็นสนิม ทนต่อการกัดกร่อน และไม่เป็นพิษต่อมนุษย์ โดยเฉพาะการนำมาผสมกับโลหะอื่น ๆ แล้วจะทำให้คุณสมบัติต่าง ๆ เพิ่มมากขึ้น เช่น จุด

หลอมเหลวของอลูมิเนียมผสมจะอยู่ที่ 1140-1205 องศาเซลเซียส จึงนิยมนำมาผลิตเป็นชิ้นส่วนต่าง ๆ รวมถึงวัสดุหรือภาชนะที่เกี่ยวข้องกับอาหาร นอกจากนี้ ยังมีคุณสมบัติทางเคมีของอลูมิเนียมในลักษณะต่าง ๆ โดยรูปที่ 2.4 แสดงตัวอย่างของอลูมิเนียมที่มีลักษณะหน้าฉากเป็นกล่องรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า



รูปที่ 2.41 อลูมิเนียม

ที่มา: https://sa-thai.com/wp-content/uploads/2020/06/11042_original-410x400.png

2.19 MC4 Solar Connector

การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ หรือ Solar cell ที่ถูกต้องมีส่วนสำคัญที่จะทำให้การผลิตกระแสไฟฟ้าทำได้ผลสมบูรณ์ เต็มขีดความสามารถของแผง ผู้ใช้หรือผู้ติดตั้ง จำเป็นต้องพิถีพิถันในการติดตั้งเป็นพิเศษ MC4 Connector เป็นอุปกรณ์เชื่อมต่อไฟฟ้าดังรูปที่ 2.42 ที่นิยมใช้สำหรับเชื่อมสายไฟของแผงโซลาร์เซลล์เข้าด้วยกัน MC4 มีชื่อย่อจากชื่อบริษัทผู้ผลิต คือ บริษัท Multi-Contact ประเทศสหรัฐอเมริกา และ เลข 4 คือ ขนาดของหมุดตัวเชื่อม MC4 เป็นอุปกรณ์ที่ช่วยให้สายไฟของแผงโซลาร์เซลล์เชื่อมต่อกันได้อย่างง่ายดาย เพียงดันตัวเชื่อม (Connector) ของแผงที่อยู่ติดกันด้วยมือ เพียงแต่ว่าตัวเชื่อมนี้ก็จะมีการล็อคการเชื่อมต่อเข้ากันของสายไฟ เพื่อป้องกันในกรณีที่สายไฟถูกดึง



รูปที่ 2.42 MC4 Solar Connector

ที่มา: <https://5.imimg.com/data5/SELLER/Default/2021/mc4-solar-connector-500x500.jpg>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.20 อุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้า

อุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้าดังรูปที่ 2.43 คืออุปกรณ์ที่ช่วยป้องกันอันตรายที่เกิดจากไฟฟ้า โดยสามารถป้องกันความเสียหายของเครื่องใช้ไฟฟ้า เมื่อเกิดไฟฟ้าลัดวงจร หรือมีกระแสไฟเกิน และป้องกันอันตรายแก่ผู้ใช้ไฟฟ้า ในกรณีที่ไฟฟ้าดูด ไฟฟ้ารั่ว เพราะกระแสไฟฟ้าจะทำอันตรายต่อการทำงานของหัวใจและสมองอาจจะทำให้หยุดหายใจจนถึงขั้นเสียชีวิตได้ ดังนั้นอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้าจึงมีความจำเป็นโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีระบบไฟฟ้าใหญ่ขึ้น กระแสไฟฟ้าที่ไหลในวงจรก็จะสูงมากทำให้มีอันตรายมากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งอุปกรณ์ป้องกันทางไฟฟ้ามีหลายชนิดและมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน เพื่อให้มีประสิทธิภาพในการป้องกันอันตรายจากไฟฟ้าได้ดียิ่งขึ้น

รูปที่ 2.43 อุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้า

ที่มา: <https://resources.news.e.abb.com/images/2021/1/13/0/pic2.jpg>

2.21 ฟันลอยน้ำ

“ฟันลอยน้ำ” (Buoy or Float or Pontoon) ดังรูปที่ 2.44 คือ แท่นพลาสติกที่ใช้ลอยอยู่ในแม่น้ำ หรือในทะเล มีจุดประสงค์เพื่อใช้สำหรับรองรับน้ำหนักของสิ่งของต่าง ๆ รวมถึงการแบ่งเขตแนวตามแหล่งน้ำ ฯลฯ ดังรูปที่ 2.44



รูปที่ 2.44 ฟันลอยน้ำ

ที่มา: https://www.bigthailand.com/1_184x184.jpeg

บทที่ 3

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

โครงการกังหันน้ำไฟฟ้าพร้อมระบบควบคุมระยะไกล เริ่มจากการศึกษาหลักการและนำอุปกรณ์คอลโทรลเลอร์ใช้ร่วมกับเซนเซอร์ โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาการออกแบบโครงสร้างของกังหันน้ำไฟฟ้า หลักการทำงานของกังหันน้ำไฟฟ้า และเก็บค่าการวัด กระแสไฟฟ้า, แรงดันไฟฟ้า, กำลังไฟฟ้า และค่าความเป็น กรด-ด่าง โดยการเลือกใช้เซนเซอร์วัดความเป็น กรด-ด่าง แทนที่ควรจะเป็นเซนเซอร์วัดออกซิเจนในน้ำ เนื่องจากตัวเซนเซอร์วัดออกซิเจนในน้ำมีราคาสูงมาก ประกอบกับเซนเซอร์วัดความเป็น กรด-ด่าง มีอยู่เดิมแล้วจึงนำมาใช้ทดแทนเพื่อจำลองการวัดค่า จากนั้นนำชุดข้อมูลค่าการวัดที่ได้มาศึกษา ในส่วนของการใช้พลังงานไฟฟ้า การชาร์จแบตเตอรี่ และได้ศึกษาการเพิ่มค่าออกซิเจนในน้ำ (Do) จากหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องตามบทที่ 2 ด้วย โดยมีขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานดังนี้

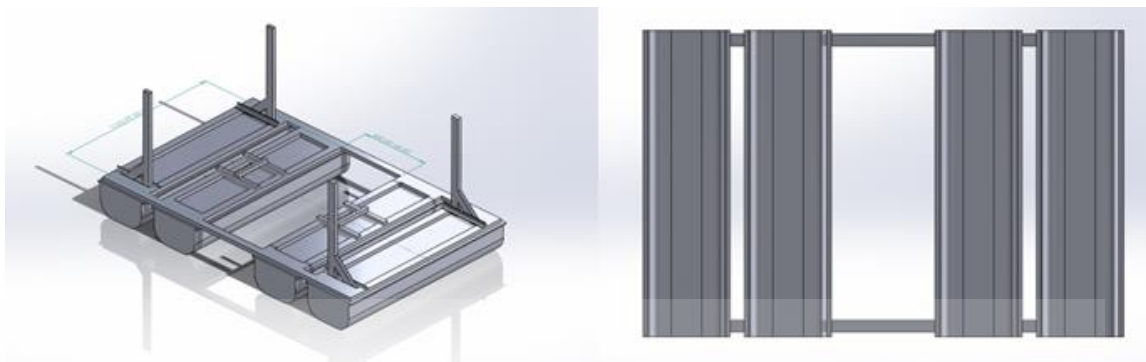
1. ขั้นตอนการออกแบบโครงสร้างและวงจรควบคุมกังหันน้ำไฟฟ้าพร้อมระบบควบคุมระยะไกล
2. Flow Chart โปรแกรมควบคุมและเก็บค่าของกังหันน้ำไฟฟ้าพร้อมระบบควบคุมระยะไกล
3. อุปกรณ์ด้านฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในโครงการกังหันน้ำไฟฟ้าพร้อมระบบควบคุมระยะไกล
4. ขั้นตอนการประกอบโครงสร้างและวงจรควบคุมกังหันน้ำไฟฟ้าพร้อมระบบควบคุมระยะไกล

3.1 ขั้นตอนการออกแบบโครงสร้างและวงจรควบคุมกังหันน้ำไฟฟ้าพร้อมระบบควบคุมระยะไกล

3.1.1 ขั้นตอนการออกแบบโครงสร้างกังหันน้ำไฟฟ้าพร้อมระบบควบคุมระยะไกล

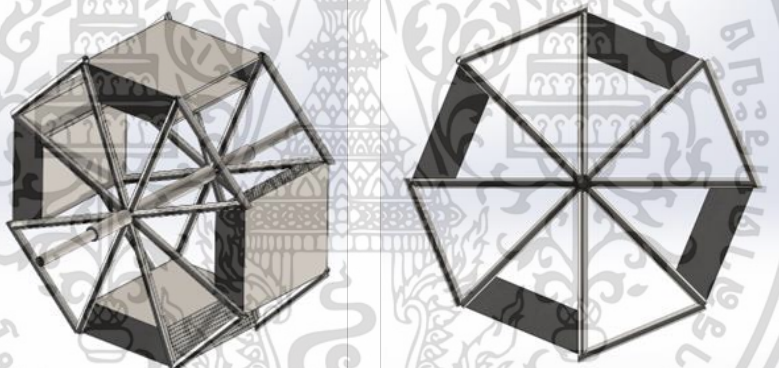
ทำการออกแบบโครงสร้างกังหันน้ำไฟฟ้าพร้อมระบบควบคุมระยะไกล โดยใช้โปรแกรม Solidwork ในการออกแบบโครงสร้างในรูปแบบ 3 มิติ ดังนี้

1. ออกแบบโครงสร้างฐานกังหันน้ำไฟฟ้าดังรูปที่ 3.1 โดยจากการออกแบบฐานมีขนาด กว้าง 1 เมตร ยาว 2 เมตร สูง 0.8 เมตร และท่อนลอยมีขนาด กว้าง 0.3 เมตร ยาว 1 เมตร สูง 0.2 เมตร มีอยู่ 4 ท่อนด้วยกัน



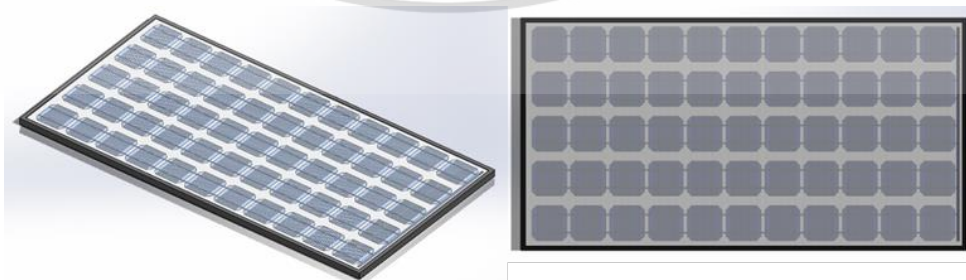
รูปที่ 3.1 โครงสร้างฐานกักน้ำไฟฟ้า

2. ออกแบบใบพัดกักน้ำไฟฟ้าส่วนที่ใช้บำบัดน้ำเสียดังรูปที่ 3.2 โดยจากการออกแบบ ใบพัดกักน้ำมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 เซนติเมตร และมีช่องตักน้ำอยู่ 4 ช่องเจาะรูเพื่อให้น้ำสามารถไหลระบายออกมาได้



รูปที่ 3.2 ใบพัดกักน้ำ

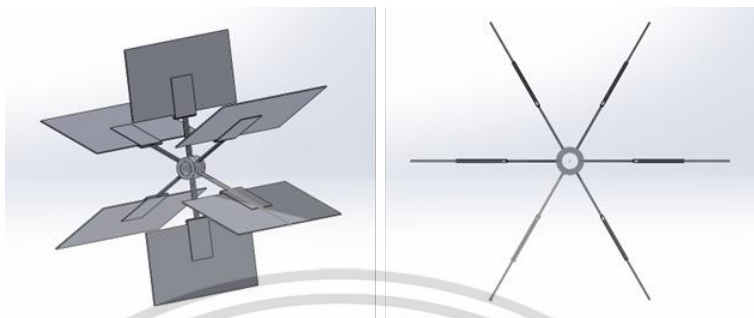
3. จากรูปที่ 3.3 วาดแบบแผงโซล่าเซลล์ ขนาด กว้าง 1 เมตร ยาว 2 เมตร สูง 0.12 เมตร



รูปที่ 3.3 แผงโซล่าเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. จากรูปที่ 3.4 เป็นการออกแบบใบพัดสำหรับการเคลื่อนที่ของกังหันน้ำไฟฟ้า



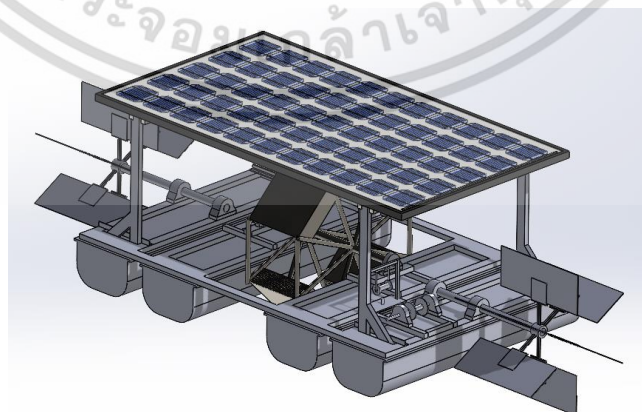
รูปที่ 3.4 ใบพัดสำหรับการเคลื่อนที่ของกังหันน้ำไฟฟ้า

5. จากรูปที่ 3.5 เป็นการออกแบบสมอเรือ ของกังหันน้ำไฟฟ้า



รูปที่ 3.5 สมอเรือ

6. จากนั้นนำชิ้นส่วนที่ออกแบบไว้ทั้งหมดมาประกอบเข้าด้วยกันก็จะได้ดังรูปที่ 3.6 เป็นโครงสร้างกังหันน้ำไฟฟ้าพร้อมระบบควบคุมระยะไกลที่ออกแบบสมบูรณ์



รูปที่ 3.6 โครงสร้างกังหันน้ำไฟฟ้าพร้อมระบบควบคุมระยะไกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 ขั้นตอนการออกแบบวงจรควบคุมกังหันน้ำไฟฟ้าพร้อมระบบควบคุมระยะไกล

1. จากรูปที่ 3.7 เป็นการแสดงถึงสวิตช์ที่ใช้สั่งการทำงานแต่ละหน้าที่ในการควบคุมของรีโมท

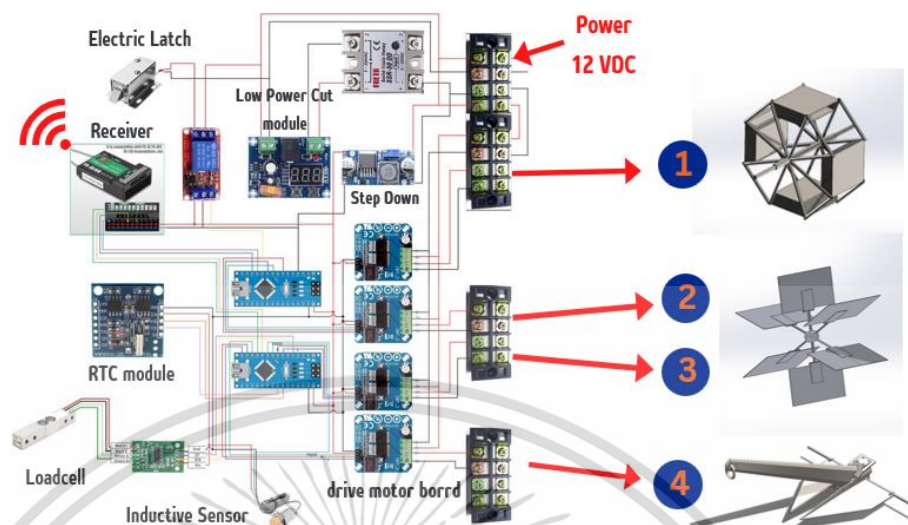


รูปที่ 3.7 การทำงานของสวิตช์รีโมทควบคุม

ตารางที่ 3.1 คำอธิบายรายละเอียดสวิตช์ควบคุม

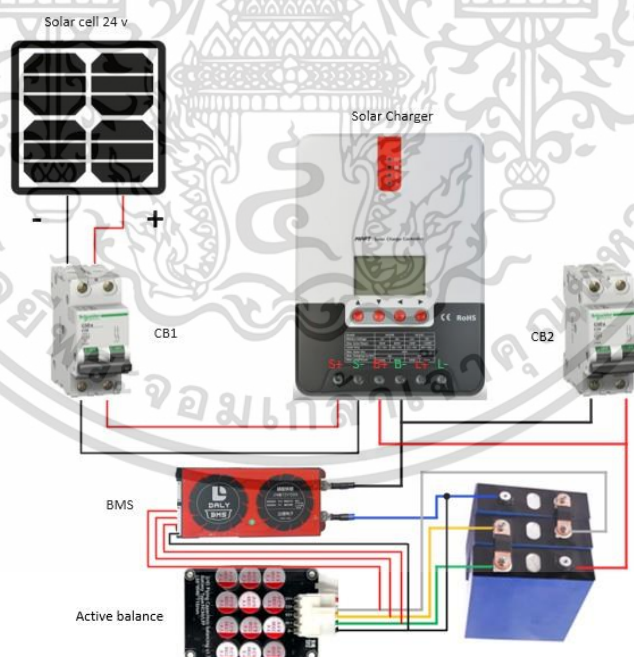
Number	Function
1	ใช้สำหรับควบคุมการเคลื่อนที่ เช่น เดินหน้า, ถอยหลัง, เลี้ยวซ้าย, เลี้ยวขวา
2	ใช้สำหรับควบคุมการปลดสลักของชุดสมอเรือ
3	สวิตช์ 3 ทาง ใช้ควบคุมการปล่อย, ดึงขึ้น ของสมอเรือ
4	ใช้สำหรับสั่งการทำงานของใบพัดกังหันบำบัดน้ำเสีย

2. ทำการออกแบบวงจรควบคุมกังหันน้ำไฟฟ้าพร้อมระบบควบคุมระยะไกลดังรูปที่ 3.8 โดยวงจรสามารถควบคุมใบพัดกังหันบำบัดน้ำเสีย, ควบคุมใบพัดการเคลื่อนที่ และควบคุมมอเตอร์สมอเรือของกังหันน้ำไฟฟ้า ในการควบคุมจะให้ Arduino Nano อ่านค่าจากตัวรับสัญญาณรีโมท แล้วไปสั่งควบคุมมอเตอร์



รูปที่ 3.8 วงจรควบคุมกั้นน้ำไฟฟ้า

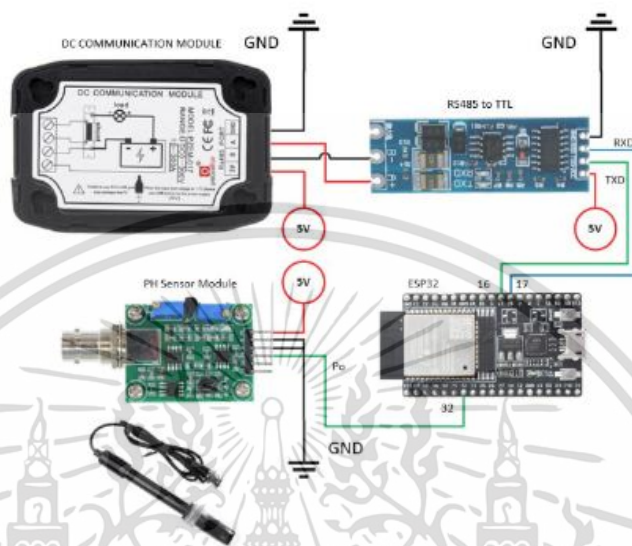
3. ทำการออกแบบวงจรชาร์จเจอร์สำหรับโซล่าเซลล์ดังรูปที่ 3.9 เพื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และมอเตอร์



รูปที่ 3.9 วงจรชาร์จเจอร์สำหรับโซล่าเซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. โดยจากรูปที่ 3.10 เป็นการออกแบบวงจรในการวัดค่า กระแสไฟฟ้า, แรงดันไฟฟ้า, กำลังไฟฟ้า และค่าความเป็น กรด-ด่าง

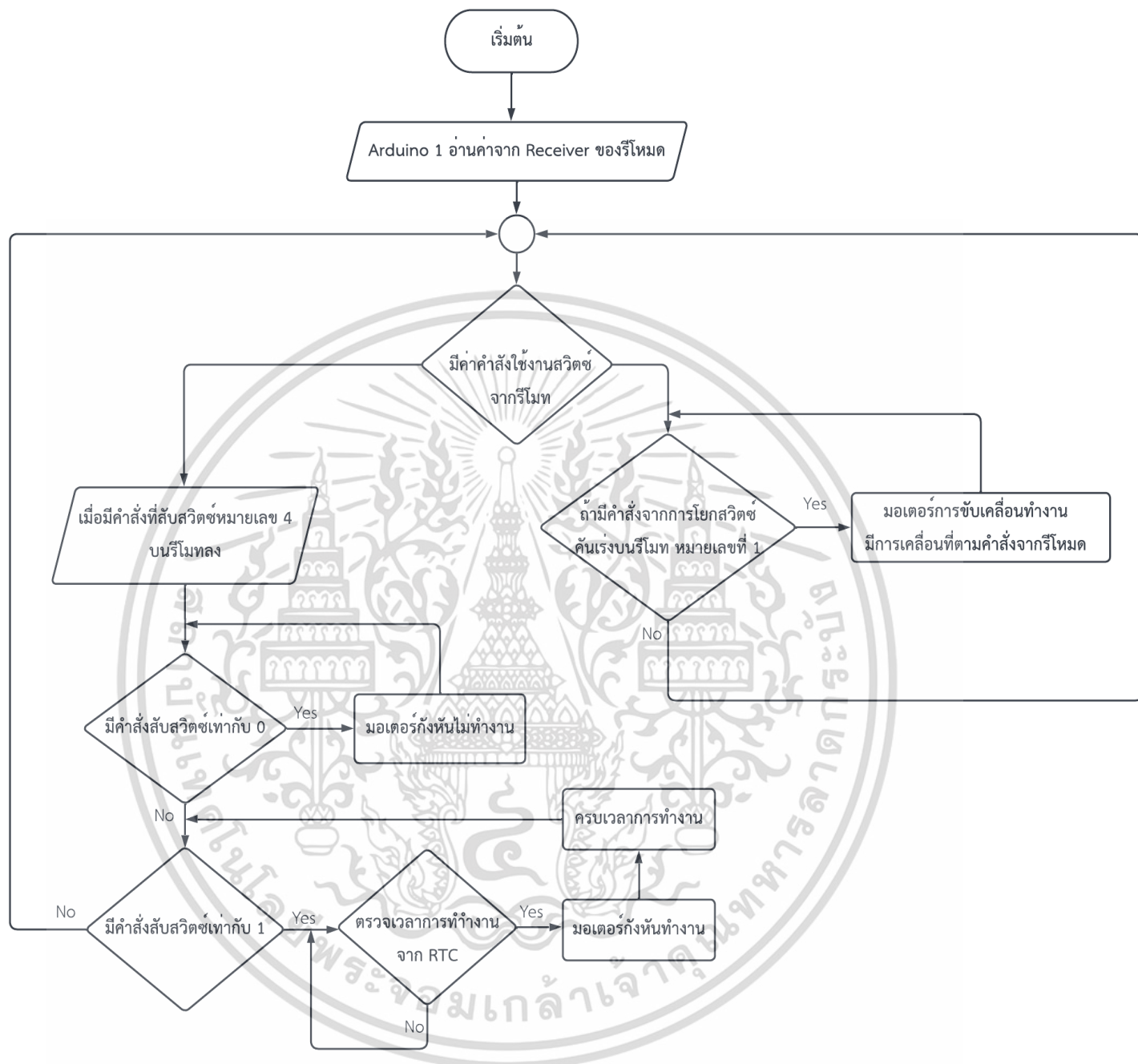


รูปที่ 3.10 วงจรวัดและเก็บค่า

3.2 Flow Chart โปรแกรมควบคุมและเก็บค่าของกังหันน้ำไฟฟ้าพร้อมระบบควบคุมระยะไกล

3.2.1 Flow Chart โปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่และเปิด-ปิดใบพัดกังน้ำ

ใน Flow Chart รูปที่ 3.11 แสดงการทำงานของโปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่ และ เปิด-ปิดใบพัดกังน้ำ โดยเริ่มต้นจาก Arduino ตัวที่ 1 ทำการอ่านค่าจากตัวรับสัญญาณของรีโมท โดยถ้ามีการโยกคันเร่งบนรีโมท หมายเลข 1 ตามรูปที่ 3.7 โปรแกรมจะทำงานตามทางด้านซ้าย และถ้ามีการสับสวิทช์บนรีโมท หมายเลข 4 ตามรูปที่ 3.7 โปรแกรมจะทำงานตามทางด้านขวา

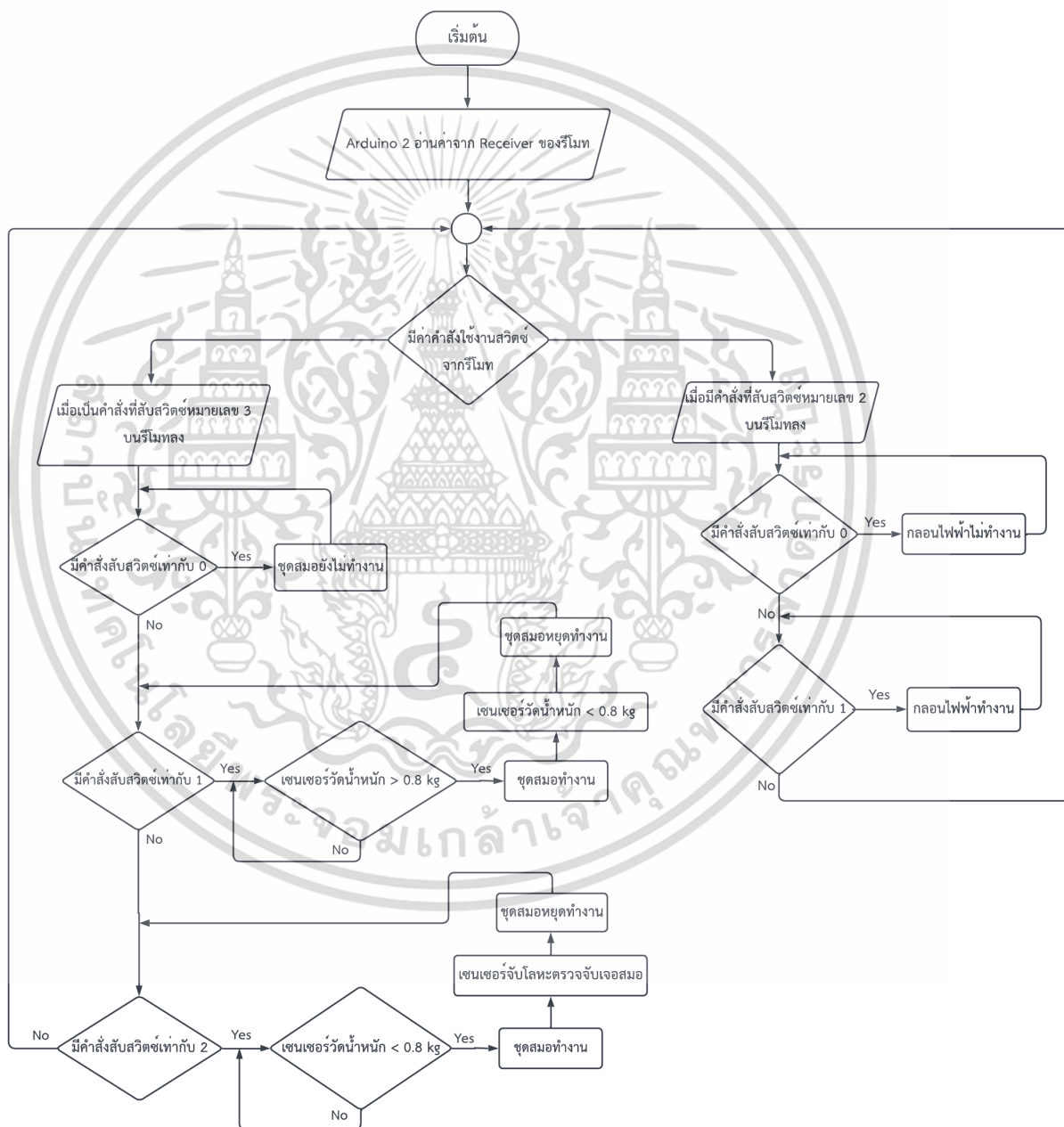


รูปที่ 3.11 Flow Chart โปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่และเปิด-ปิดใบพัดกังน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 Flow chart โปรแกรมการควบคุมการปล่อย-ดึง สมอเรือ

ใน Flow Chart ตามรูปที่ 3.12 แสดงการทำงานโปรแกรมควบคุมการควบคุมการปล่อย-ดึง สมอเรือ โดยเริ่มต้นจาก Arduino ตัวที่ 2 ทำการอ่านค่าจากตัวรับสัญญาณของรีโมท โดยถ้ามีการสับ สวิตช์บนรีโมท หมายเลข 2 ตามรูปที่ 3.7 โปรแกรมจะทำงานตามทางด้านซ้าย และถ้ามีการสับสวิตช์บน รีโมท หมายเลข 3 ตามรูปที่ 3.7 โปรแกรมจะทำงานตามทางด้านขวา

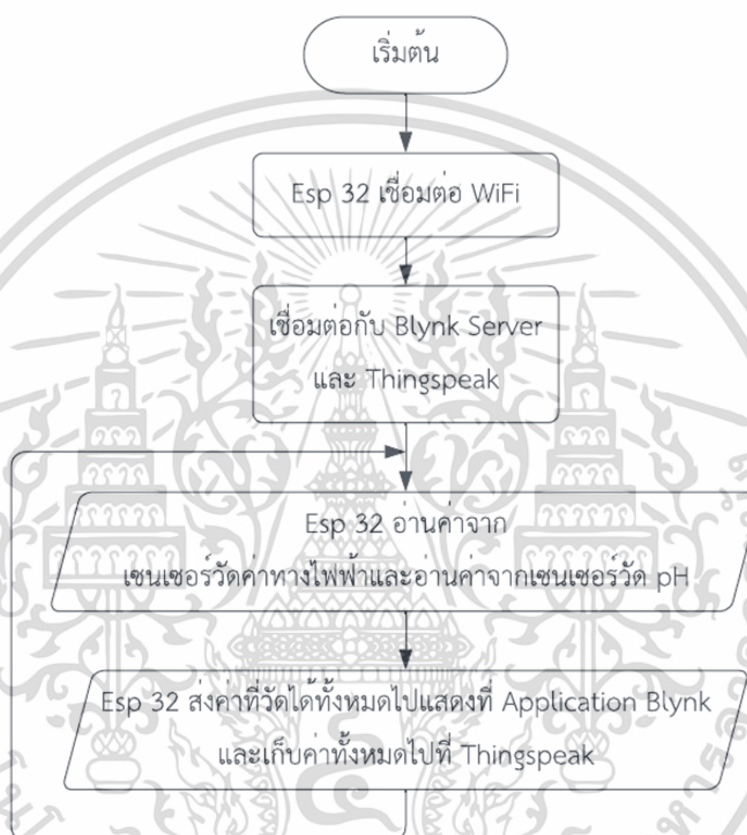


รูปที่ 3.12 Flow Chart โปรแกรมการควบคุมชุดสมอเรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 Flow Chart โปรแกรมการวัดและเก็บค่า

ใน Flow Chart ตามรูปที่ 3.13 แสดงโปรแกรมการวัดค่า กระแสไฟฟ้า, แรงดันไฟฟ้า, กำลังไฟฟ้า และค่าความเป็น กรด-ด่าง จากนั้นก็นำค่าการวัดทั้งหมดไปเก็บไว้บน Thingspeak และแสดงค่าแบบตลอดเวลาในแอปพลิเคชัน Blynk







รูปที่ 3.13 Flow Chart โปรแกรมการวัดค่าและเก็บค่า

3.3 อุปกรณ์ด้านฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในโครงการกักหน้ำไฟฟ้าพร้อมระบบควบคุมระยะไกล



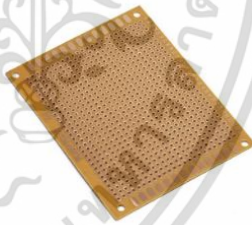

ในตารางที่ 3.2 แสดงรายละเอียดชื่อและรูปของอุปกรณ์ทั้งหมดที่ใช้ในโครงการกักหน้ำไฟฟ้าพร้อมระบบควบคุมระยะไกล

ตารางที่ 3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงาน

Model and Type	Picture
บอร์ด ESP32 s (Node Wi-Fi)	
บอร์ด Arduino Nano	
PZEM-017 (DC Electric Meter)	
Inductive Proximity Switch ชนิด NPN	

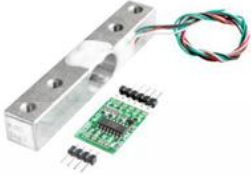


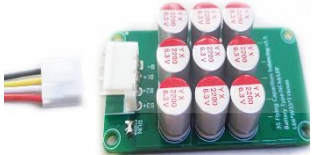
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงาน (ต่อ)

Model and Type	Picture
BTS7960 h-bridge dc motor drive	
Solenoid for Electric Door Lock	
แผ่น PCB	
ตลับลูกปืนวายน	





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงาน (ต่อ)

Model and Type	Picture
Load Cell with HX711	
Volt and Amp meter	
Lithium Battery MNC	
Active balance 3s NMC	

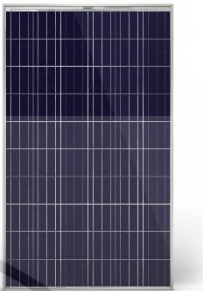



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงาน (ต่อ)

Model and Type	Picture
BMS 3s NMC 12 Volt 100 Amp	
RS485 To TTL	
FLYSKY FS-i6X 16X 2.4GHz 10 CH	
Receiver FS-i6-X 2.4G FS 10 CH	



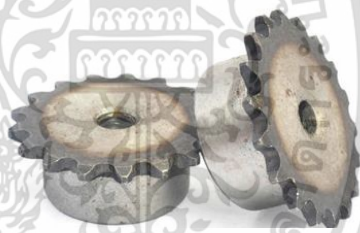


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงาน (ต่อ)

Model and Type	Picture
แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 340 w	
MC4 Solar Connector	
ML4830 SRNE (MPPT Control Charger)	
Dc Breaker	


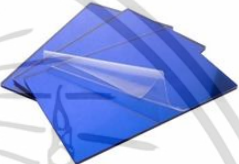



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงาน (ต่อ)

Model and Type	Picture
มอเตอร์เกียร์ 12 Vdc 250 W	
มอเตอร์เกียร์ 12 Vdc 36 W	
เฟือง 36 ฟัน, 17 ฟัน, 10 ฟัน	
สายไฟขนาด 6 SQ mm.	
อลูมิเนียมกล่อง	


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงาน (ต่อ)

Model and Type	Picture
สายจัมเปอร์	
อะคริลิก	
ฟู่ลายน้ํ	
ตู้กันน้ำพลาสติกฝาหีบ	
สมอเรือขนาด 3 กิโลกรัม	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงาน (ต่อ)

Model and Type	Picture
เซนเซอร์วัดค่าความเป็น กรด-ด่าง	

3.4 ขั้นตอนการประกอบโครงสร้างและวงจรควบคุมกังหันน้ำไฟฟ้าพร้อมระบบควบคุมระยะไกล

3.4.1 ขั้นตอนการประกอบโครงสร้างฐานกังหันน้ำไฟฟ้า

- นำแบบโครงสร้างฐานกังหันน้ำไฟฟ้าจากรูปที่ 3.1 มาทำการประกอบโครงสร้างฐานกังหันน้ำไฟฟ้าตามรูปที่ 3.14 โดยใช้ท่อน้ำ 4 ท่อน เป็นฐานของกังหันน้ำ และใช้อะลูมิเนียมหนา 1.2 มม. ขนาด 1x2 นิ้ว ประกอบเข้ากับท่อน้ำ จากนั้นขึ้นโครงตามที่ได้ออกแบบไว้ และนำโซล่าเซลล์มาประกอบเข้ากับโครงสร้าง เพื่อทดสอบความแข็งแรง



รูปที่ 3.14 ประกอบโครงสร้างฐานกังหันน้ำไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เมื่อประกอบโครงสร้างฐานกังหันน้ำไฟฟ้าเสร็จแล้ว ในรูปที่ 3.15 ทำการวัดตำแหน่ง และติดตั้งตลับลูกปืนเข้ากับเพลลาของกังหันน้ำไฟฟ้า จากนั้นทำการติดตั้งมอเตอร์และเฟืองสำหรับควบคุมใบพัดที่ใช้ในการเคลื่อนที่ของกังหันน้ำไฟฟ้า และทำอะคิลิกครอบสำหรับกันน้ำ



รูปที่ 3.15 ติดตั้งใบพัดสำหรับการเคลื่อนที่ของกังหันน้ำไฟฟ้า

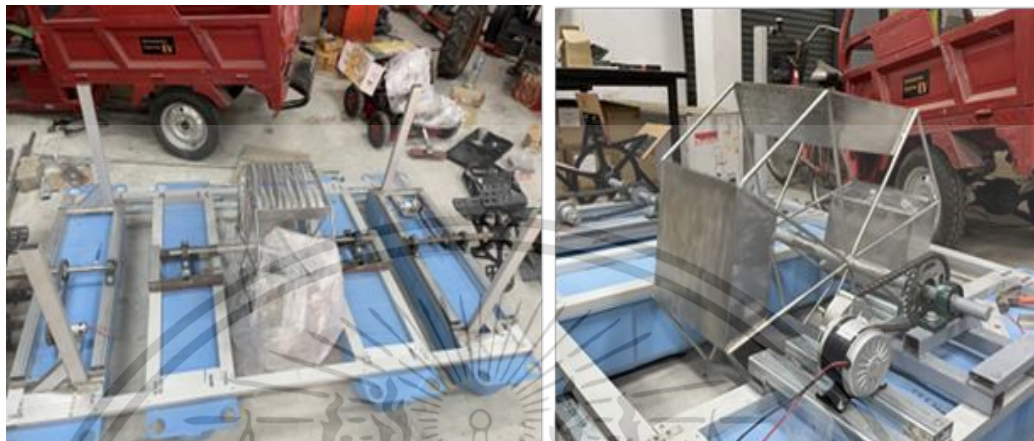
3. รูปที่ 3.16 ทำการสร้างใบพัดกังหันน้ำไฟฟ้าในส่วนที่ใช้บำบัดน้ำเสียตามทีออกแบรูปที่ 3.2 โดยใช้สแตนเลสแผ่นในการขึ้นโครงของใบพัดที่ใช้ตักน้ำจากนั้นเจาะรูเพื่อให้น้ำไหลผ่านได้



รูปที่ 3.16 ส่วนของใบพัดกังหันน้ำไฟฟ้าที่ใช้บำบัดน้ำเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. จากนั้นได้ประกอบใบพัดกังหันน้ำติดกับโครงสร้าง และติดกับมอเตอร์กับเฟืองควบคุม ใบพัดกังหันน้ำไฟฟ้า โดยใช้เพลากลึงยึดติดกับตลับลูกปืนดังแสดงตามรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 ติดตั้งใบพัดกังหันน้ำไฟฟ้าเข้ากับมอเตอร์ควบคุม

5. ในรูปที่ 3.18 เป็นการติดตั้งชุดสมอเรือ และมอเตอร์ควบคุมเข้ากับโครงสร้างกังหันน้ำ กังหันน้ำไฟฟ้า เพื่อให้กังหันน้ำไฟฟ้าหยุดอยู่ในตำแหน่งที่ตรงการ



รูปที่ 3.18 การติดตั้งสมอเรือ และมอเตอร์เข้ากับโครงสร้างกังหันน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

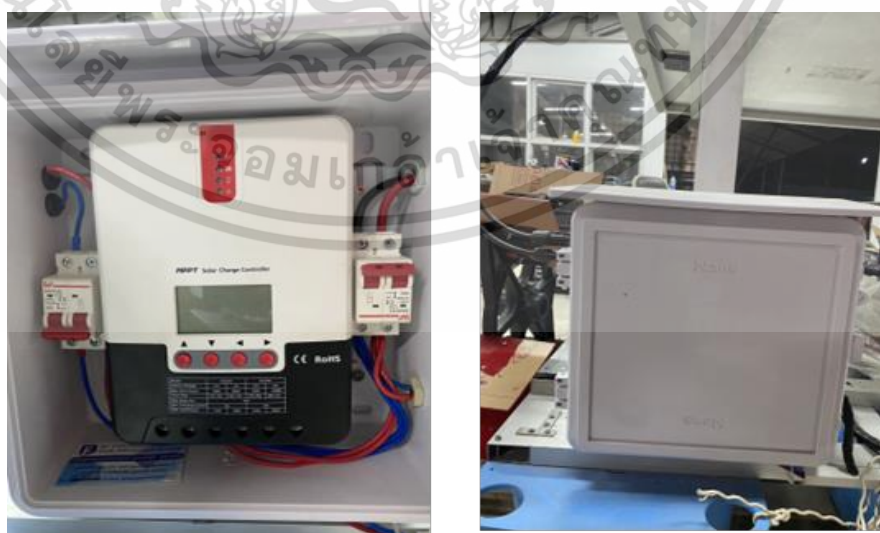
3.4.2 ขั้นตอนการเดินสายไฟตู้คอนโทรลและวงจรไฟฟ้า

1. จากรูปที่ 3.19 เป็นการประกอบแบตเตอรี่เพื่อนำมาใช้งานกับกังหันน้ำกังหันน้ำไฟฟ้า โดยจะทำหน้าที่ชาร์จไฟฟ้าเก็บไว้ และจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และมอเตอร์ เมื่อประกอบเสร็จเรียบร้อยแล้วก็นำไปติดตั้งไว้บนกังหันน้ำไฟฟ้า



รูปที่ 3.19 ประกอบแบตเตอรี่และติดตั้งแบตเตอรี่เข้ากับกังหันน้ำไฟฟ้า

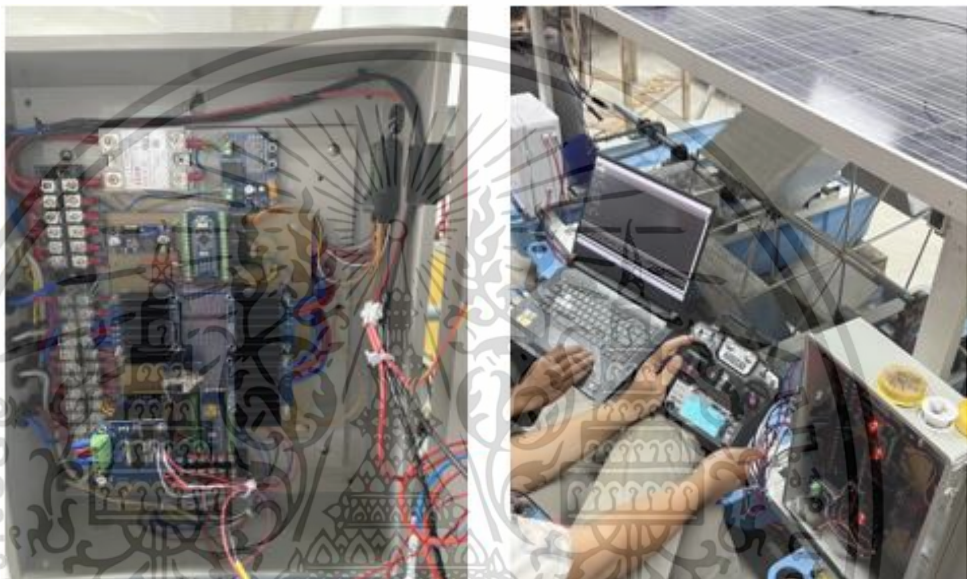
2. จากนั้นจะเป็นการติดตั้งคอนโทรลชาร์จเจอร์ และเดินสายไฟฟ้าตามทีออกแบบวงจรไว้ในรูปที่ 3.9 เมื่อเสร็จเรียบร้อยแล้วทำการประกอบเข้ากับตู้กันน้ำและนำไปติดตั้งบนกังหันน้ำไฟฟ้า จากนั้นต่อวงจรเข้ากับแบตเตอรี่ และแผงโซลาร์เซลล์เข้าสู่คอนโทรลชาร์จเจอร์ตามดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 ติดตั้งตู้คอนโทรลชาร์จเจอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ในรูปที่ 3.21 ได้ทำการเดินสายไฟวงจรคอนโทรลตามทีออกแบบวงจรไว้ในรูปที่ 3.8 เมื่อทำการเดินสายไฟเสร็จเรียบร้อยแล้วจะทำการประกอบเข้ากับตู้กันน้ำ และนำตู้คอนโทรลไปติดตั้งบนกังหันน้ำไฟฟ้า จากนั้นทำการต่อวงจรจ่ายไฟจากแบตเตอรี่เข้าตู้คอนโทรล และได้อัปโหลดโปรแกรมลงคอนโทรลเลอร์และทดสอบการควบคุมการทำงานด้วยรีโมทระยะไกล



รูปที่ 3.21 ติดตั้งตู้คอนโทรล และอัปโหลดโปรแกรม

4. รูปที่ 3.22 เป็นการติดตั้งชุดการวัด และเก็บค่าทางไฟฟ้า และค่าความเป็นกรด-ด่าง เข้ากับกังหันน้ำไฟฟ้า



รูปที่ 3.22 ติดตั้งชุดการวัด และเก็บค่าทางไฟฟ้า และค่าความเป็นกรด-ด่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เมื่อติดตั้งอุปกรณ์ทุกอย่างเข้ากับกังหันน้ำไฟฟ้าพร้อมระบบควบคุมระยะไกลแล้ว เป็นรูปที่กังหันน้ำไฟฟ้าเสร็จสมบูรณ์พร้อมนำไปใช้งานตามรูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 กังหันน้ำไฟฟ้าพร้อมระบบควบคุมระยะไกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

จากการดำเนินการสรุปผลการทดลองนำกังหันน้ำไฟฟ้าควบคุมด้วยรีโมทระยะไกลพร้อมอุปกรณ์การวัดค่า และเก็บค่า แรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า, กำลังไฟฟ้า, ความเป็น กรด-ด่าง เพื่อนำผลการศึกษาช่วยประเมินประสิทธิภาพการทำงานของเซนเซอร์ ซึ่งสถานที่ในการใช้ในการทดลองเป็นสระน้ำของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

จากการศึกษาทดลองสามารถแบ่งได้เป็น 2 การทดลองดังนี้

1. ทดลองประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของแผ่นโซลาร์เซลล์ และการชาร์จแบตเตอรี่
2. ทดลองประสิทธิภาพการทำงาน และการใช้พลังไฟฟ้าของกังหันน้ำไฟฟ้าพร้อมระบบควบคุมระยะไกล

4.1 ทดสอบประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของแผ่นโซลาร์เซลล์และการชาร์จแบตเตอรี่

การทดสอบประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของแผ่นโซลาร์เซลล์ และการชาร์จแบตเตอรี่ ได้ทำการทดสอบโดยการวัด และบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้าที่แผงโซลาร์เซลล์ผลิตได้ จากนั้นวัดค่าที่คอนโทรลชาร์จเจอร์ประเภท MPPT (Max Power Point Tracking) ตามตารางที่ 4.1 ส่วนตารางที่ 4.2 จะเป็นการจำลองค่าที่ได้จากคอนโทรลชาร์จเจอร์ประเภท PWM (Pulse Width Modulation) โดยอ้างอิงจากค่าในตารางที่ 4.1 มาใช้ในการคำนวณ โดยมีการบันทึกค่า 3 วันในแต่ละวันบันทึก 3 เวลา คือ 09.00 น. 12.00 น. 16.00 น. สรุปได้ว่าแผงโซลาร์เซลล์ผลิตไฟฟ้าได้ดี และคอนโทรลชาร์จเจอร์ประเภท MPPT และ PWM ได้มีการลดทอนพลังงานไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ เพื่อไม่ให้กำลังไฟฟ้าเกินการชาร์จของแบตเตอรี่จนได้รับความเสียหายได้เหมือนกัน แต่คอนโทรลชาร์จเจอร์ประเภท MPPT มีการสูญเสียค่าพลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าคอนโทรลชาร์จเจอร์ประเภท PWM โดยนำค่าการสูญเสียพลังงานไฟฟ้า ตารางที่ 4.1 มาเปรียบเทียบกับ ค่าการสูญเสียพลังงานไฟฟ้า ตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ตารางบันทึกผลค่าการผลิตไฟฟ้าของแผ่นโซล่าเซลล์ และการชาร์จแบตเตอรี่ด้วยคอนโทรล
ชาร์จเจอร์ ประเภท MPPT

วัน/เดือน/ปี	เวลา (น.)	Solar cell To MPPT Charge Controller			MPPT Charge Controller To Battery			ค่าการ สูญเสีย พลังงาน ไฟฟ้า (W)
		แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (W)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (W)	
17/12/65	09.00	37	8.10	299.70	12.2	14.76	180.07	119.63
	12.00	39	8.89	346.71	12.9	15.17	195.69	151.02
	16.00	35	8.07	282.45	12.8	14.03	179.58	102.87
18/12/65	09.00	35	8.08	282.80	12.7	13.92	176.78	106.02
	12.00	38	8.77	333.26	12.8	14.98	191.74	141.52
	16.00	34	8.13	276.42	12.3	13.57	166.91	109.51
19/12/65	09.00	36	8.09	291.24	12.7	13.81	175.39	115.85
	12.00	40	9.28	371.20	13.5	15.23	205.62	165.58
	16.00	34	8.06	274.04	12.4	14.01	173.72	100.32

ตารางที่ 4.2 ตารางจำลองผลค่าการผลิตไฟฟ้าของแผ่นโซล่าเซลล์ และการชาร์จแบตเตอรี่ด้วยคอนโทรล
ชาร์จเจอร์ ประเภท PWM

วัน/เดือน/ปี	เวลา (น.)	Solar cell To PWM Charge Controller			Solar cell To PWM Charge Controller			ค่าการ สูญเสีย พลังงาน ไฟฟ้า (W)
		แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (W)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (A)	กำลังไฟฟ้า (W)	
17/12/65	09.00	37	8.10	299.70	12.2	8.10	98.82	200.88
	12.00	39	8.89	346.71	12.9	8.89	114.68	232.03
	16.00	35	8.07	282.45	12.8	8.07	103.30	179.15
18/12/65	09.00	35	8.08	282.80	12.7	8.08	102.62	180.18
	12.00	38	8.77	333.26	12.8	8.77	112.26	221.01
	16.00	34	8.13	276.42	12.3	8.13	100.00	176.42
19/12/65	09.00	36	8.09	291.24	12.7	8.09	102.74	188.50
	12.00	40	9.28	371.20	13.5	9.28	125.28	245.92
	16.00	34	8.06	274.04	12.4	8.06	99.94	174.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ทดสอบประสิทธิภาพการทำงานและการใช้พลังงาน

การทดสอบประสิทธิภาพการทำงาน และการใช้พลังงาน โดยการสั่งการทำงานของมอเตอร์ส่วนต่าง ๆ ของกังหันน้ำไฟฟ้าพร้อมรีโมทควบคุมระยะไกล และแสดงค่าผ่าน แอปพลิเคชัน Blynk บนมือถือ โดยมีการสั่งการทำงานแล้วแสดงค่าการวัด และบันทึกค่าการวัดโดยใช้ Thingspeak แสดงผลการทดสอบได้ตามตารางที่ 4.3 มีการทดสอบ 3 วัน สรุปได้ว่าการทำงานในแต่ละสถานะทำงานได้ดี โดยในสถานะที่ยังไม่ทำงานได้มีการกินกระแสไฟฟ้าอยู่ที่ 0.5 แอมป์ และในสถานะมีการทำงานต่าง ๆ มีการกินกระแสไฟฟ้าที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับหน้าที่การทำงาน และขนาดของมอเตอร์ ปริมาณการใช้พลังงานของกังหันน้ำไฟฟ้า ในช่วงเวลา 09.00 น. ถึง 16.00 น. ใช้พลังงานไฟฟ้าไปประมาณ 960 วัตต์ ซึ่งแบตเตอรี่สามารถใช้งานได้ถึง 2400 วัตต์ ต่อวัน ฉะนั้นกำลังไฟฟ้าเพียงพอต่อการใช้งานกังหันน้ำไฟฟ้า

ตารางที่ 4.3 ตารางบันทึกค่าการทำงานและการใช้พลังงาน

Work status	วัน/เดือน/ปี	Voltage (V)	Current (A)	Power (W)
ยังไม่ทำงาน	17/12/65	11.8	0.52	6.42
	18/12/65	12.0	0.52	6.10
	19/12/65	11.9	0.51	6.01
มอเตอร์การขับเคลื่อนทำงาน	17/12/65	11.8	8.01	94.54
	18/12/65	12.0	7.17	84.61
	19/12/65	11.9	7.27	85.86
มอเตอร์กังหันน้ำทำงาน	17/12/65	11.8	9.81	115.76
	18/12/65	12.0	10.15	119.77
	19/12/65	11.9	9.95	117.41
ชุดสมการทำงานปล่อยสมอลง	17/12/65	11.8	6.9	81.42
	18/12/65	12.0	6.7	79.06
	19/12/65	11.9	6.8	80.24
ชุดสมการทำงานดึงสมอลขึ้น	17/12/65	11.8	7.1	83.78
	18/12/65	12.0	6.9	81.42
	19/12/65	11.9	7.0	82.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองกังหันน้ำไฟฟ้าพร้อมระบบควบคุมระยะไกล 2 รูปแบบ โดยแบบแรก คือ การทดสอบการเคลื่อนที่ด้วยรีโมทควบคุมระยะไกล โดยการควบคุมให้กังหันน้ำไฟฟ้าเคลื่อนตามคำสั่งรีโมทโดยมีคำสั่งที่ให้ขับเคลื่อนไปข้างหน้า ขับเคลื่อนถอยหลัง ขับเคลื่อนเลี้ยวซ้ายและขวา พบกังหันน้ำไฟฟ้าพร้อมระบบควบคุมระยะไกลสามารถทำงานเคลื่อนที่ตามคำสั่งของรีโมทได้เป็นอย่างดี จากนั้นได้ทำการทดสอบการทำงานของกังหันน้ำ โดยเริ่มจากการสั่งให้มอเตอร์รับกังหันทำงานด้วยรีโมท ถ้าอยู่ในเวลาที่สั่งให้กังหันน้ำทำงาน มอเตอร์กังหันน้ำก็จะทำงานหมุนจนครบเวลาที่กำหนดกังหันน้ำก็จะหยุดทำงาน และจะทำงานใหม่อีกครั้งเมื่อถึงเวลาการทำงาน โดยจะตั้งเวลาการทำงานอยู่ที่ 09.00 น. และหยุดการทำงานที่ 16.00 น. และถ้ากดปิดสวิตช์บนรีโมทก็จะปิดการทำงานของกังหันน้ำด้วย จากนั้นได้ทำการทดสอบปล่อยและดึงสมอ โดยถ้าจะปล่อยสมอลงจะต้องใช้รีโมทสั่งการทำงานจากนั้นเซนเซอร์ชั่งน้ำหนักจะตรวจสอบน้ำหนักถ้ามากกว่า 0.8 kg ก็จะปล่อยสมอลงจนกว่าเซนเซอร์ชั่งน้ำหนักตรวจสอบน้ำหนักได้น้อยกว่า 0.8 kg จึงจะหยุดทำงาน และในการดึงสมอขึ้นต้องใช้คำสั่งบนรีโมทสั่งการทำงานจากนั้นเซนเซอร์ชั่งน้ำหนักก็ตรวจสอบน้ำหนักถ้าน้อยกว่า 0.8 kg ก็จะดึงสมอขึ้นจนกว่าเซนเซอร์ตรวจจับเจอสมอแล้วก็จะหยุดการทำงาน สรุปได้ว่า กังหันน้ำไฟฟ้าพร้อมระบบควบคุมระยะไกลสามารถทำงานตามการควบคุมได้ดี

การทดสอบรูปแบบที่ 2 คือการทดสอบการวัดและเก็บค่า แรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า, ค่าพลังงานไฟฟ้าและค่า pH โดยมีการวัดค่า แรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า, ค่าพลังงานไฟฟ้า จากการที่มอเตอร์ทำงานและใช้เซนเซอร์วัดค่า pH วัดค่าจากน้ำตัวอย่าง และส่งค่าทั้งหมดไปเก็บไว้ใน Thingspeak ทุก ๆ 15 นาที จากนั้นแสดงค่าแบบเรียลไทม์บนแอปพลิเคชัน Blynk สรุปได้ว่าทำงานในการวัด และเก็บค่าได้อย่างดี

5.2 ปัญหาในการดำเนินงาน

1. ในการออกแบบชิ้นงาน เมื่อออกแบบชิ้นงานมาไม่ดีก็จะมีปัญหาตอนประกอบชิ้นงานซึ่งต้องเสียเวลามาแก้ปัญหา หรือไม่ก็อาจจะต้องออกแบบชิ้นงานใหม่ทั้งหมด
2. ปัญหาในการติดตั้งอุปกรณ์มีความไม่สมดุลกัน เมื่อนำกังหันน้ำไปลอยในสระน้ำก็จะมีเสียงที่ไม่เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ปัญหาในการสั่งของออนไลน์ที่เป็นร้านอยู่ต่างประเทศทำให้เกิดปัญหาการขนส่งล่าช้า และเมื่ออุปกรณ์เกิดความเสียก็อาจจะเครมของไม่ได้
4. ปัญหาในการทดสอบชิ้นงานเนื่องจากตัวชิ้นงานมีน้ำหนักที่มาก และต้องยกไปทดสอบในสระน้ำที่อยู่ไกลทำให้มีปัญหาในการเคลื่อนย้าย

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาโครงสร้างและวัสดุต่าง ๆ ก่อนนำมาออกแบบชิ้นงาน
2. ควรทำแบ่งน้ำหนักในการติดตั้งอุปกรณ์ให้เท่ากัน
3. ควรสั่งของร้านที่อยู่ประเทศไทยถ้าจำเป็นต้องสั่งจากต่างประเทศจริง ๆ ควรตรวจสอบเครดิตร้านให้ดีเสียก่อนสั่งซื้อ
4. กังหันน้ำไฟฟ้าพร้อมระบบควบคุมระยะไกลสามารถทำงานในแบบควบคุมด้วยมือ (MANUAL) หากมีการต่อยอดทำเป็นระบบเคลื่อนที่แบบอัตโนมัติ (Auto) โดยใช้ GPS ในการสั่งงานการเคลื่อนที่ และเพิ่มเซนเซอร์วัดออกซิเจนในน้ำจะทำให้กังหันน้ำไฟฟ้ามีความสมบูรณ์แบบมากยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

- [1] จักรพงษ์, 2552, “ระบบบำบัดน้ำเสียแบบบ่อเติมอากาศ”, 2552, [ออนไลน์].
แหล่งที่มา: <https://www.xn--l3ckbaaa2db3etcpk7b7kwfqcg.net/> (สืบค้นเมื่อ 3 ต.ค 2565)
- [2] มุลนิธิชัยพัฒนา, “กักหน้ำน้ำชัยพัฒนา”, 2552, [ออนไลน์].
แหล่งที่มา: https://www.chaipat.or.th/site_content/item/ (สืบค้นเมื่อ 3.ต.ค 2565)
- [3] Debasis Parida, “pH Meter”, 2563,
แหล่งที่มา: <https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/> (สืบค้นเมื่อ 3 ต.ค 2565)
- [4] Debasis Parida, “Pulse Width Modulation (PWM)”, 2563, [ออนไลน์].
แหล่งที่มา: https://en.wikipedia.org/wiki/Pulse-width_modulation. (สืบค้นเมื่อ 3 ต.ค 2565)
- [5] Roland Pelayo, “How to Use Load Cell with HX711 and Arduino”, 2563, [ออนไลน์].
แหล่งที่มา: <https://yencabfelt.live> (สืบค้นเมื่อ 3 ต.ค 2565)
- [6] จากวิกิพีเดีย, สารานุกรมเสรี, “มอเตอร์ไฟฟ้า”, 2565, [ออนไลน์].
แหล่งที่มา: <https://th.wikipedia.org/> (สืบค้นเมื่อ 3 ต.ค 2565)
- [7] ArtronShop, “Arduino Nano and ESP32”, 2565, [ออนไลน์].
แหล่งที่มา: <https://www.arduino4.com/p/327>. (สืบค้นเมื่อ 3 ต.ค 2565)
- [8] Svc power, “MPPT Solar Charge Controller”, 2565, [ออนไลน์].
แหล่งที่มา: <https://www.sunenergytech.com/category/70>. (สืบค้นเมื่อ 3 ต.ค 2565)
- [9] primusthai, “RS485”, 2558, [ออนไลน์].
แหล่งที่มา: <https://www.primusthai.com/primus/Knowledge/info?ID=249>
- [10] Vanich Group, “เฟืองเกียร์”, 2565, [ออนไลน์].
แหล่งที่มา: <https://vanichgroup.com/> (สืบค้นเมื่อ 3 ต.ค 2565)
- [11] S.A.J.I. (THAILAND) CO.,LTD, “อลูมิเนียม”, 2563, [ออนไลน์].
แหล่งที่มา: <https://sa-thai.com/> (สืบค้นเมื่อ 3 ต.ค 2565)

บรรณานุกรม(ต่อ)

[12] Copyright PIS POWER DISTRIBUTION CO., LTD, “อุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้า”, 2557, [ออนไลน์].

แหล่งที่มา: <http://www.pispd.com/> (สืบค้นเมื่อ 3 ต.ค 2565)

[13] Feeo.com, “MC4 Solar Connector”, 2553, [ออนไลน์].

Available: <https://www.feeo-solar.com/solar-connector/> (สืบค้นเมื่อ 3 ต.ค 2565)

[14] ปกรณ์ อิเล็กทริกคอล ซัพพลาย, “สายไฟ”, 2561, [ออนไลน์].

แหล่งที่มา: <https://www.pakorn-electric.com/> (สืบค้นเมื่อ 3 ต.ค 2565)

[15] Tech source marketplace, “Inductive Proximity Switch”, 2565, [ออนไลน์].

แหล่งที่มา: <https://www.techsourcemarketplace.com/> (สืบค้นเมื่อ 3 ต.ค 2565)





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. 1 โปรแกรมควบคุมการเคลื่อนที่และใบพัดกังหันน้ำ

```

double ch8=11;
int relay=8;
double ch1=9;
int a=2; int b=3;
int m1=5;
int moveValue;
int turnValue;
int moveValue1;
int turnValue1;
double ch2=10;
int c=4; int d=7;
int m2=6;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(ch8,INPUT);
  pinMode(relay,OUTPUT);

  pinMode(ch1,INPUT);
  pinMode(a,OUTPUT); pinMode(b,OUTPUT);
  pinMode(m1,OUTPUT);
  pinMode(ch2,INPUT);
  pinMode(c,OUTPUT); pinMode(d,OUTPUT);
  pinMode(m2,OUTPUT);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void loop()
{
  ch1 = pulseIn(9,HIGH);
  ch2 = pulseIn(10,HIGH);
  ch8 = pulseIn(11,HIGH);

  moveValue = map(ch1, 1500, 1985, 0, 255);
  moveValue = constrain(moveValue, 0, 255);
  moveValue1 = map(ch1, 1460, 980, 0, 255);
  moveValue1 = constrain(moveValue1, 0, 255);

  turnValue = map(ch2, 1460, 980, 0, 255);
  turnValue = constrain(turnValue, 0, 255);
  turnValue1 = map(ch2, 1500, 1985, 0, 255);
  turnValue1 = constrain(turnValue1, 0, 255);

  // Serial.print("ch1 ");
  // Serial.println(ch1);
  // Serial.print("ch2 ");
  // Serial.println(ch2);
  // Serial.print("ch8 ");
  // Serial.println(ch8);
  if((ch8<1000))
  {
    digitalWrite(relay,0);
  }
  else if((ch8>1400)&&(ch8<2000))
  {

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

digitalWrite(relay,1);
}
if((ch1==0)&&(ch2==0))
{
digitalWrite(a,LOW); digitalWrite(b,LOW);
digitalWrite(c,LOW);digitalWrite(d,LOW);
analogWrite(m1, 0);
analogWrite(m2, 0);
}

else if((ch1>1530)&&(ch2>1530))
{
digitalWrite(a,HIGH); digitalWrite(b,LOW);
digitalWrite(c,LOW);digitalWrite(d,HIGH);
analogWrite(m1, moveValue);
analogWrite(m2, moveValue);
Serial.print("m2 ");
}

else if((ch1>1530)&&(ch2<1460))
{
digitalWrite(a,HIGH); digitalWrite(b,LOW);
digitalWrite(c,HIGH);digitalWrite(d,LOW);
analogWrite(m1, moveValue);
analogWrite(m2, (turnValue)/1.5);
Serial.print("m2 ");
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

else if((ch1<1460)&&(ch2>1530))
{
    digitalWrite(a,LOW); digitalWrite(b,HIGH);
    digitalWrite(c,LOW);digitalWrite(d,HIGH);
    analogWrite(m1,(moveValue1)/1.5);
    analogWrite(m2,turnValue1);
}

else if((ch1<1460)&&(ch2<1460))
{ digitalWrite(a,LOW); digitalWrite(b,HIGH);
  digitalWrite(c,HIGH);digitalWrite(d,LOW);
  analogWrite(m1, turnValue);
  analogWrite(m2, turnValue);
  Serial.print("m2 ");
}

else
{
    digitalWrite(a,LOW); digitalWrite(b,LOW);
    digitalWrite(c,LOW);digitalWrite(d,LOW);
    analogWrite(m1, 0);
    analogWrite(m2, 0);
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก. 2 โปรแกรมควบคุมสมอเรือ

```

#include "HX711.h"
#include <Wire.h>
#include <TimeLib.h>
#include <DS1307RTC.h>

const int Sensor=7;

const int LOADCELL_DOUT_PIN = 2;
const int LOADCELL_SCK_PIN = 3;

double ch5=8;
int c=4; int d=5;
int m2=6;

double ch7=9;
int a=10; int b=12;
int m1=11;
int S;
int S1;
HX711 scale;

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  scale.begin(LOADCELL_DOUT_PIN, LOADCELL_SCK_PIN);
  pinMode(ch7,INPUT);
  pinMode(c,OUTPUT); pinMode(d,OUTPUT);
  pinMode(m2,OUTPUT);
  pinMode(Sensor,INPUT);
  pinMode(ch5,INPUT);
  pinMode(a,OUTPUT); pinMode(b,OUTPUT);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

pinMode(m1,OUTPUT);
while (!Serial) ; // wait for serial
}
bool w=0;
bool u=0;
int SR;
float grams1 = 0.00;
bool pst = 0;
void loop() {
  ch5 = pulseIn(8,HIGH);
  ch7 = pulseIn(9,HIGH);
  // moveValue = map(ch3, 1000, 1980, 0, 255);
  // moveValue = constrain(moveValue, 0, 255);
  // Serial.print("ch5 "); Serial.println(ch5);
  //Serial.print("ch7 "); Serial.println(ch7);
  int sensorValue = digitalRead(Sensor);
  if(sensorValue==HIGH){ SR =0;
  }
  else{
    SR=1;
  }if(ch7<1000){
    S=1;}
  if((ch7>1400)&&(ch7<1500)){
    S=2;}
  if((ch7>1900)&&(ch7<2000)){
    S=3;}
  if(w==1){
    if(grams1<0.5){

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

digitalWrite(c,LOW); digitalWrite(d,LOW);
analogWrite(m2, 0);
w = 0; pst = 1;
}else{
digitalWrite(d,HIGH); digitalWrite(c,LOW);
analogWrite(m2, 255);
w = 1; pst = 0;
}
}
if(S==2){
w = 1;
}
if(S==3&&pst==1)
{
u=1;
}
if(u==1)
{
if(pst==1&&grams1<0.5&&SR==0){
digitalWrite(d,LOW); digitalWrite(c,HIGH);
analogWrite(m2, 255);
}else if(pst==1 && SR==1){
digitalWrite(c,LOW); digitalWrite(d,LOW);
analogWrite(m2, 0);
u=0; pst=0;
}
}
}
cell();

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}
void cell(){

if (scale.is_ready()) {
    long reading = scale.read() * 686;
    float grams = (float)reading / 100000.0;
    grams = grams - 11147.46;
    grams1 = (grams/1000);
    //Serial.print("HX711 reading: ");
    Serial.print(grams1);
    Serial.println(" kg");
}
else {
    //Serial.println("HX711 not found.");
}

ccase();
}
void ccase(){

if((ch5>=900)&&(ch5<=1100)){
    S1=1;
}

if((ch5>=1900)&&(ch5<=2000)){
    S1=2;
}

switch(S1){
    case 1:

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    Sstop();
    break;
case 2:
    Ssrat();
    break;
default:
    break;
}
}
void Sstop(){
    if((ch5>=900)&&(ch5<=1100))
    {
        digitalWrite(a,LOW); digitalWrite(b,LOW);
        analogWrite(m1, 0);
    }
}
void Ssrat(){
    tmElements_t tm;
    if (RTC.read(tm)) {
        Serial.print("Ok, Time = ");
        print2digits(tm.Hour);
        Serial.write(':');
        print2digits(tm.Minute);
        Serial.write(':');
        print2digits(tm.Second);
        Serial.print(", Date (D/M/Y) = ");
        Serial.print(tm.Day);
        Serial.write('/');

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Serial.print(tm.Month);
Serial.write('/');
Serial.print(tmYearToCalendar(tm.Year));
Serial.println();
} else {
  if (RTC.chipPresent()) {
    Serial.println("The DS1307 is stopped. Please run the SetTime");
    Serial.println("example to initialize the time and begin running.");
    Serial.println();
  } else {
    Serial.println("DS1307 read error! Please check the circuitry.");
    Serial.println();
  }
  delay(9000);
}
if((tm.Second>=10)&&(tm.Second<=40)){
  digitalWrite(a,HIGH); digitalWrite(b,LOW);
  analogWrite(m1, 140);
}else {
  analogWrite(m1, 0);
}
}
void print2digits(int number) {
  if (number >= 0 && number < 10) {
    Serial.write('0');
  }
  Serial.print(number);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.3 โปรแกรมการวัดค่า

```
#define BLYNK_PRINT Serial

#include <WiFi.h>
#include <WiFiClient.h>
#include <ModbusMaster.h>
#include <BlynkSimpleEsp32.h>
#include "ThingSpeak.h"

char auth[] = "VnlvOkO3XFWHqJ53Onj6yjhGUv_VC_eE";
char ssid[] = "Pocket WiFi S1_7481";
char pass[] = "41917481";

WiFiServer server(80);
WiFiClient client;

//----ThingSpeak channel details
unsigned long myChannelNumber =1976224;
const char * myWriteAPIKey = "1VP2ZGJPBK0J8I95";

float calibration_value =22.20; //21.34;
int phval = 0;
float ph_act;
unsigned long int avgval;
int buffer_arr[10],temp;

#define RX2 16
#define TX2 17
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
static uint8_t pzemSlaveAddr = 0x01;
static uint16_t NewshuntAddr = 0x0001;
```

```
ModbusMaster node;
```

```
float PZEMVoltage =0;
float PZEMCurrent =0;
float PZEMPower =0;
float PZEMEnergy=0;

unsigned long startMillisPZEM;
unsigned long currentMillisPZEM;
const unsigned long periodPZEM = 5000;

unsigned long startMillisReadData;
unsigned long currentMillisReadData;
const unsigned long periodReadData = 1000;

int ResetEnergy = 0;
int a = 1;
unsigned long startMillis1;
```

```
void setup()
```

```
{
```

```
startMillis1 = millis();
```

```
Serial.begin(115200);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Serial2.begin(9600, SERIAL_8N2, RX2, TX2);
Blynk.begin(auth, ssid, pass);
WiFi.begin(ssid, pass);
node.begin(pzemSlaveAddr,Serial2);

```

```

while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
  delay(500);
  Serial.print(".");
  // Print local IP address and start web server
  Serial.println("");
  Serial.println("WiFi connected.");
  Serial.println("IP address: ");
  Serial.println(WiFi.localIP());
  server.begin();
  ThingSpeak.begin(client);
  delay(1000);
  startMillisReadData = millis();
}

void loop()
{

```

```

  Blynk.run();
  for(int i=0;i<10;i++)
  {
    buffer_arr[i]=analogRead(32);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

delay(30);
}
for(int i=0;i<9;i++)
{
for(int j=i+1;j<10;j++)
{
if(buffer_arr[i]>buffer_arr[j])
{
temp=buffer_arr[i];
buffer_arr[i]=buffer_arr[j];
buffer_arr[j]=temp;
}
}
}
avgval=0;
for(int i=2;i<8;i++)
avgval+=buffer_arr[i];
float volt=(float)avgval*3.3/4096.0/6;
float ph_act = -5.70 * volt + calibration_value;

if ((millis()- startMillis1 >= 10000) && (a ==1))
{
setShunt(pzemSlaveAddr);
changeAddress(0XF8, pzemSlaveAddr);
a = 0;
}

currentMillisPZEM = millis();

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

if (currentMillisPZEM - startMillisPZEM >= periodPZEM)
{
    uint8_t result;
    result = node.readInputRegisters(0x0000, 6);
    if (result == node.ku8MBSuccess)
    {
        uint32_t tempdouble = 0x00000000;
        PZEMVoltage = node.getResponseBuffer(0x0000) / 100.0;

        PZEMCurrent = node.getResponseBuffer(0x0001) / 100.0;

        tempdouble = (node.getResponseBuffer(0x0003) << 16) +
node.getResponseBuffer(0x0002);
        PZEMPower = tempdouble / 10.0;

        tempdouble = (node.getResponseBuffer(0x0005) << 16) +
node.getResponseBuffer(0x0004);
        PZEMEnergy = tempdouble;

        if (pzemSlaveAddr==2)
        {

        }

    }
    else
    {
        PZEMVoltage = 0;
        PZEMCurrent = 0;
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

PZEMPower = 0;
PZEMEnergy = 0;
    }
    startMillisPZEM = currentMillisPZEM ;
}

currentMillisReadData = millis();
if (currentMillisReadData - startMillisReadData >= periodReadData)
{
    Serial.print("Vdc : "); Serial.print(PZEMVoltage); Serial.println(" V ");
    Serial.print("Idc : "); Serial.print(PZEMCurrent); Serial.println(" A ");
    Serial.print("Power : "); Serial.print(PZEMPower); Serial.println(" W ");
    Serial.print("Energy : "); Serial.print(PZEMEnergy); Serial.println(" Wh ");
    Serial.print("pH : "); Serial.print(ph_act); Serial.println(" ");
    Blynk.virtualWrite(V0,PZEMVoltage);
    Blynk.virtualWrite(V1,PZEMCurrent);
    Blynk.virtualWrite(V2,PZEMPower);
    Blynk.virtualWrite(V3,PZEMEnergy);
    Blynk.virtualWrite(V4,ph_act);
    ThingSpeak.setField(5, ph_act);
    ThingSpeak.setField(1, PZEMVoltage);
    ThingSpeak.setField(2, PZEMCurrent);
    ThingSpeak.setField(3, PZEMPower);
    ThingSpeak.setField(4, PZEMEnergy);
    int x = ThingSpeak.writeFields(myChannelNumber,myWriteAPIKey);
    if(x == 200){
        Serial.println("Channel update successful.");}
    else{

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Serial.println("Problem updating channel. HTTP error code " + String(x));
startMillisReadData = millis();

}

}

void setShunt(uint8_t slaveAddr)
{

/* 1- PZEM-017 DC Energy Meter */

static uint8_t SlaveParameter = 0x06;
static uint16_t registerAddress = 0x0001;

uint16_t u16CRC = 0xFFFF;
u16CRC = crc16_update(u16CRC, slaveAddr);
u16CRC = crc16_update(u16CRC, SlaveParameter);
u16CRC = crc16_update(u16CRC, highByte(registerAddress));
u16CRC = crc16_update(u16CRC, lowByte(registerAddress));
u16CRC = crc16_update(u16CRC, highByte(NewshuntAddr));
u16CRC = crc16_update(u16CRC, lowByte(NewshuntAddr));
Serial2.write(slaveAddr);
Serial2.write(SlaveParameter);
Serial2.write(highByte(registerAddress));
Serial2.write(lowByte(registerAddress));
Serial2.write(highByte(NewshuntAddr));
Serial2.write(lowByte(NewshuntAddr));
Serial2.write(lowByte(u16CRC));
Serial2.write(highByte(u16CRC));

```

```

    delay(10);
    delay(100);
}

BLYNK_WRITE(V5)
{
    if(param.asInt()==1)
    {
        uint16_t u16CRC = 0xFFFF;
        static uint8_t resetCommand = 0x42;
        uint8_t slaveAddr = pzemSlaveAddr;
        u16CRC = crc16_update(u16CRC, slaveAddr);
        u16CRC = crc16_update(u16CRC, resetCommand);
        Serial2.write(slaveAddr);
        Serial2.write(resetCommand);
        Serial2.write(lowByte(u16CRC));
        Serial2.write(highByte(u16CRC));
        delay(10);
        delay(100);
    }
}

void changeAddress(uint8_t OldslaveAddr, uint8_t NewslaveAddr)
{
    /* 1- PZEM-017 DC Energy Meter */

    static uint8_t SlaveParameter = 0x06;
    static uint16_t registerAddress = 0x0002;

```

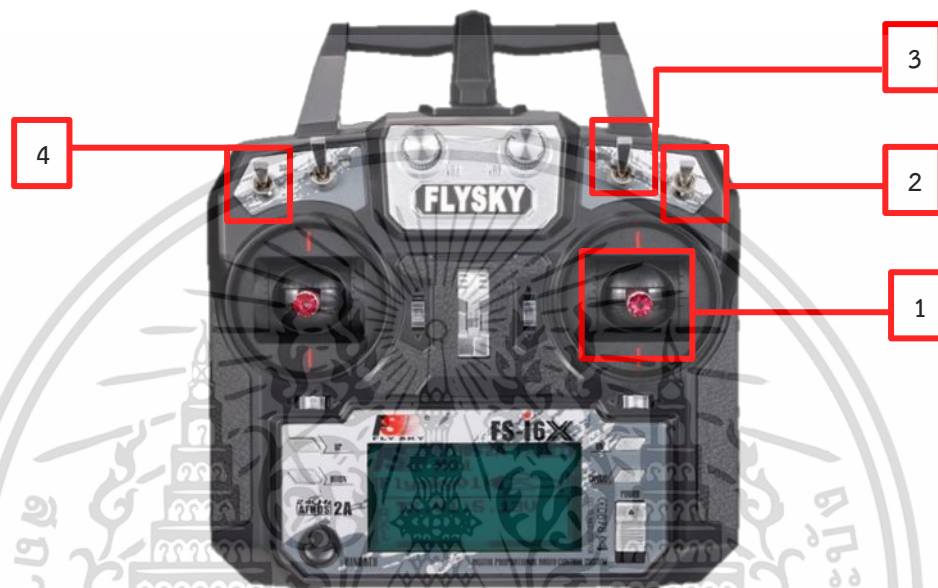
```
uint16_t u16CRC = 0xFFFF;
u16CRC = crc16_update(u16CRC, OldslaveAddr);
u16CRC = crc16_update(u16CRC, SlaveParameter);
u16CRC = crc16_update(u16CRC, highByte(registerAddress));
u16CRC = crc16_update(u16CRC, lowByte(registerAddress));
u16CRC = crc16_update(u16CRC, highByte(NewslaveAddr));
u16CRC = crc16_update(u16CRC, lowByte(NewslaveAddr));
Serial2.write(OldslaveAddr);
Serial2.write(SlaveParameter);
Serial2.write(highByte(registerAddress));
Serial2.write(lowByte(registerAddress));
Serial2.write(highByte(NewslaveAddr));
Serial2.write(lowByte(NewslaveAddr));
Serial2.write(lowByte(u16CRC));
Serial2.write(highByte(u16CRC));
delay(10);
delay(100);
}
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.1 คู่มือการใช้งานรีโมทควบคุม

ในภาคผนวก ข. เป็นคู่มือการใช้งานรีโมทควบคุม จะอธิบายรายสวิตซ์การใช้งานของรีโมทควบคุม ในแต่ละโหมดของสวิตซ์ที่ใช้ในการควบคุม



ตารางที่ ข.1 คำอธิบายรายละเอียดสวิตซ์ควบคุม





Number	Function
1	ใช้สำหรับควบคุมการเคลื่อนที่ เช่น เดินหน้า, ถอยหลัง, เลี้ยวซ้าย, เลี้ยวขวา
2	ใช้สำหรับควบคุมการปลดสลักของชุดสมอเรือ
3	สวิตซ์ 3 ทาง ใช้ควบคุมการปล่อย, ดึงขึ้น, ของสมอเรือ
4	ใช้สำหรับสั่งการทำงานของใบพัดบำบัดน้ำเสียกังหันน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้







เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินโครงการ

Model and Type	Picture
บอร์ด ESP32 s	
บอร์ด Arduino Nano	
PZEM-017	
Inductive Proximity Switch ชนิด NPN	




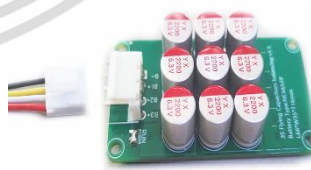
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงาน (ต่อ)

Model and Type	Picture
BTS7960 h-bridge dc motor drive	
PH Sensor arduino Analog pH Meter E-201-C	
Solenoid for Electric Door Lock	
แผ่น PCB	


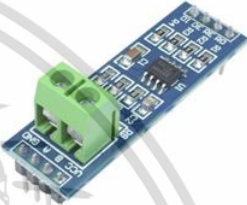


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงาน (ต่อ)

Model and Type	Picture
Load Cell with HX711	
Volt and Amp meter	
Lithium Battery MNC	
active balance 3s NMC	

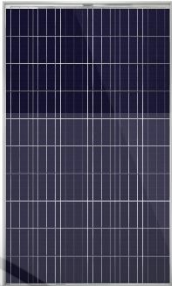



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงาน (ต่อ)

Model and Type	Picture
BMS 3s NMC 12 Volt 100 Amp	
RS485	
FLYSKY FS-i6X I6X 2.4GHz 10 CH	
Receiver FS-i6-X 2.4G FS 10 CH	





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงาน (ต่อ)

Model and Type	Picture
แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 340 w	
MC4 Solar Connector	
ML4830 SRNE	
อุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้า	






เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงาน (ต่อ)

Model and Type	Picture
มอเตอร์เกียร์ 12 Vdc 250 W	
มอเตอร์เกียร์ 12 Vdc 36 W	
เฟือง 36 ฟัน, 17 ฟัน, 10 ฟัน	
สายไฟขนาด 6 SQ mm.	


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงาน (ต่อ)

Model and Type	Picture
สายจัมเปอร์	
อะคริลิก	
ฟุนลอยน้ำ	
อลูมิเนียม	
ตู้กันน้ำพลาสติกฟ้าทึบ	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงาน (ต่อ)

Model and Type	Picture
สมอเรือขนาด 3 กิโลกรัม	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้