



รายงานการวิจัย

การพัฒนาชุดควบคุมการรับพลังงานแสงอาทิตย์ด้วย
ไมโครคอนโทรลเลอร์

**A Development Control Set for Save Solar Energy by
Microcontroller**

สนธยา วันชัย

สาขาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์

คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ประจำปีงบประมาณ 2559

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาชุดควบคุมการรับพลังงานแสงอาทิตย์ด้วย
ไมโครคอนโทรลเลอร์

**A Development Control Set for Save Solar Energy by
Microcontroller**

สนธยา วันชัย สาขาวิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์
คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

ทุนอุดหนุนโดยมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
ประจำปีงบประมาณ 2559

รายงานวิจัย การพัฒนาชุดควบคุมการรับพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

สนธยา วันชัย ปี พ.ศ.2559

(ก)

ชื่องานวิจัย การพัฒนาชุดควบคุมการรับพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
ผู้วิจัย สันธยา วันชัย
สาขาวิชา เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ปีเสร็จวิจัย 2560

บทคัดย่อ

รายงานการวิจัยเรื่องการพัฒนาชุดควบคุมการรับพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ มีวัตถุประสงค์เพื่อเพื่อพัฒนาชุดควบคุมการรับพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์และเพื่อหาประสิทธิภาพ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยแบ่งออกเป็นชุดโครงเหล็ก แผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์ประจุกระแสไฟฟ้า แบตเตอรี่ ชุดอินเวอร์เตอร์ วงจรขับมอเตอร์ กระแสตรง ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino โปรแกรมควบคุมและแบบบันทึกปริมาณแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ได้รับจากโซล่าเซลล์ ผู้วิจัยกำหนดการทดลองออกได้เป็น 3 ลักษณะการรับพลังงานแสงอาทิตย์จากแผงโซล่าเซลล์ ได้แก่ 1. แบบคงที่ 2. แบบกำหนดเวลาและ 3. การรับค่าจากอุปกรณ์ตรวจจับแสงอาทิตย์ (LDR)

ผลการวิจัย จากการทดลองการรับพลังงานแสงอาทิตย์จากแผงโซล่าเซลล์ด้วยวิธีการทั้ง 3 แบบสรุปได้ดังนี้

แบบที่ 1 การติดตั้งแบบคงที่ ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ได้ช่วงเวลาดังแต่ 13.31 – 14.00 น. มีค่าเท่ากับ 17.20 โวลท์ ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ได้ มีค่าเท่ากับ 6.19 แอมแปร์ ค่ากำลังไฟฟ้ามีค่า 106.47 วัตต์

แบบที่ 2 การติดตั้งแบบกำหนดเวลา ควบคุมการหมุนด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ได้ช่วงเวลาดังแต่ 14.01 – 15.00 น. มีค่าเท่ากับ 17.18 โวลท์ ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ได้ มีค่าเท่ากับ 6.17 แอมแปร์ ค่ากำลังไฟฟ้ามีค่า 106.00 วัตต์

แบบที่ 3 การติดตั้งแบบรับค่าจากอุปกรณ์ตรวจจับแสงอาทิตย์ (LDR) ควบคุมการหมุนด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ได้ช่วงเวลาดังแต่ 14.12 – 14.15 น. มีค่าเท่ากับ 17.25 โวลท์ ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ได้ มีค่าเท่ากับ 6.18 แอมแปร์ ค่ากำลังไฟฟ้ามีค่า 106.61 วัตต์

จากการทดลองทั้ง 3 แบบจะเห็นได้ว่าแบบที่ 3 มีค่าระดับกำลังไฟฟ้าที่สูงกว่าแบบที่ 1 และแบบที่ 2

คำสำคัญ : พลังงานแสงอาทิตย์, ไมโครคอนโทรลเลอร์, ชุดควบคุม

Research Title A Development Control Set for Save Solar Energy by Microcontroller.
Name Sontaya Wanchai
Program Electronics Technology
Phetchabun Rajabhat University, **Year** 2017.

ABSTRACT

The research report a development control set for save solar energy by microcontroller. There was objective to study for development control set for save solar energy by microcontroller and efficiency of control set. A tool that use in the research was structure of set, solar cell, electric current charger, battery, inverter, circuit drive for DC motor, microcontroller arduino, code program control and solar energy recorder. Researcher define 3 trials, 1. Save Solar Energy by fixed solar cell, 2. Save Solar Energy by rotation time and 3. Save Solar Energy by sensor sunshine (LDR).

Result of research, after trial control set for save solar energy by microcontroller, the researcher divides the experiment 3 parts :

Part 1: Save Solar Energy by fixed solar cell, high voltage at times 01.31-02.00 p.m, mean of electricity are 17.20 Vdc, high current are 6.19 Amp, power of electricity are 106.47 watts.

Part 2 : Save Solar Energy by rotation of time, high voltage at times 02.41-03.00 p.m, mean of electricity are 17.18 Vdc, high current are 6.17 Amp, power of electricity are 106.00 watts.

Part 3 : Save Solar Energy by sensor sunshine high voltage at times 02.12-02.15 p.m, mean of electricity are 17.25 Vdc, high current are 6.18 Amp, power of electricity are 106.61 watts.

Result of 3 trials, part 3 has efficient more than part 1 and 2 .

Keywords : Solar Energy, Microcontroller, Control Set

(ค)

กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยคำแนะนำต่างๆ จากคณาจารย์ในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์และความร่วมมือช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากบุคคลหลายฝ่ายที่สละเวลาให้คำแนะนำคำปรึกษา รวมถึงข้อเสนอแนะต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์สาขาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ สาขาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ อุตสาหกรรม สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์และเจ้าหน้าที่ประจำคณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรมทุกท่านเป็นอย่างสูงที่ได้ให้ความกรุณา ให้คำปรึกษาแนะนำและความช่วยเหลือแก่ผู้วิจัยและขอขอบพระคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ที่ได้ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยครั้งนี้มา ณ ที่นี้ด้วย

สนธยา วันชัย

28 กุมภาพันธ์ 2560

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย	2
1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ	2
1.6 ประโยชน์ของการวิจัย	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 พลังงานไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์	4
2.2 การประจุและการเก็บพลังงานไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์	16
2.3 การวัดปริมาณไฟฟ้า	18
2.4 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และอุปกรณ์ไฟฟ้า	21
2.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO	33
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	38
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	43
3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	43
3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล	48
3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล	52

(จ)

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัย	53
4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	53
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ	65
5.1 สรุปผลการวิจัย	65
5.2 อภิปรายผล	66
5.3 ข้อเสนอแนะ	66
บรรณานุกรม	67
ประวัติคณะผู้วิจัย	71

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3-1 การวัดค่าแรงดันไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ด้วยวิธีการติดตั้งแบบคงที่	48
3-2 การวัดค่ากระแสไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ด้วยวิธีการติดตั้งแบบคงที่	49
3-3 การวัดค่าแรงดันไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ด้วยวิธีการติดตั้งแบบกำหนดเวลา	50
3-4 การวัดค่ากระแสไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ด้วยวิธีการติดตั้งแบบกำหนดเวลา	50
3-5 การวัดค่าแรงดันไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ด้วยวิธีการติดตั้งแบบรับค่าจากอุปกรณ์ ตรวจจับแสงอาทิตย์ (LDR)	51
3-6 การวัดค่ากระแสไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ด้วยวิธีการติดตั้งแบบรับค่าจากอุปกรณ์ ตรวจจับแสงอาทิตย์ (LDR)	51
4-1 การวัดค่าแรงดันไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ด้วยวิธีการติดตั้งแบบคงที่	53
4-2 การวัดค่ากระแสไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ด้วยวิธีการติดตั้งแบบคงที่	54
4-3 การวัดค่ากำลังไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ด้วยวิธีการติดตั้งแบบคงที่	55
4-4 การวัดค่าแรงดันไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ด้วยวิธีการติดตั้งแบบกำหนดเวลา	56
4-5 การวัดค่ากระแสไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ด้วยวิธีการติดตั้งแบบกำหนดเวลา	57
4-6 การวัดค่ากำลังไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ด้วยวิธีการติดตั้งแบบกำหนดเวลา	58
4-7 การวัดค่าแรงดันไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ด้วยวิธีการติดตั้งแบบรับค่าจากอุปกรณ์ ตรวจจับแสงอาทิตย์ (LDR)	59
4-8 การวัดค่ากระแสไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ด้วยวิธีการติดตั้งแบบรับค่าจากอุปกรณ์ ตรวจจับแสงอาทิตย์ (LDR)	60
4-9 การวัดค่ากำลังไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ด้วยวิธีการติดตั้งแบบรับค่าจากอุปกรณ์ ตรวจจับแสงอาทิตย์ (LDR)	62
4-10 การเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าจากการทดลองทั้ง 3 แบบ	63

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2-1 ตัวอย่างพลังงานทดแทน	4
2-2 พลังงานทดแทน	5
2-3 แหล่งพลังงานจาก Solar cell จัดกลุ่ม Solar Farm	6
2-4 แผงโซลาร์เซลล์ โมโนคริสตัลไลน์ (mono-Si)	8
2-5 แผงโซลาร์เซลล์ โพลีคริสตัลไลน์ (p-Si)	10
2-6 ฟังก์ชันโซลาร์เซลล์	11
2-7 Stand alone Solar Home Lighting (SHS) Systems	12
2-8 Simplified Grid Connected PV System	13
2-9 Hybrid solar and wind system	14
2-10 ความเข้มแสงอาทิตย์มีผลกับการผลิตกระแสไฟฟ้า	15
2-11 เครื่องควบคุมการประจุแบบขั้นที่	16
2-12 เครื่องควบคุมการประจุแบบที่มีการติดตามหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด	17
2-13 เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้า (Volt meter)	18
2-15 เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า (Ammeter)	19
2-16 หน่วยการวัดกระแสไฟฟ้า	19
2-17 เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า (Wattmeter)	20
2-18 แบตเตอรี่รถยนต์ทั่วไป	21
2-19 รูปแสดงอินเวอร์เตอร์ Pure sine wave 220Vac 2,000W	22
2-20 มอเตอร์กระแสตรง	24
2-21 Construction of DC Motor : Stator	25
2-22 Construction of DC Motor : Armature	26
2-23 Brushes of DC Motor	27
2-24 การทำงานมอเตอร์กระแสตรง	28
2-25 การทำงานมอเตอร์กระแสตรง	28
2-26 วงจรควบคุมมอเตอร์กระแสตรง	29
2-27 ตัวอย่างตัวเซนเซอร์แสง LDR	30
2-28 โครงสร้างเซนเซอร์แสง LDR	30

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2-29 คุณสมบัติเซนเซอร์แสง LDR	31
2-30 การหาค่าความต้านทาง LDR	32
2-31 การใช้งาน LDR เป็นสวิตช์เปิด-ปิดด้วยแสง	32
2-32 บอร์ด Arduino UNO	33
2-33 การเชื่อมต่อบอร์ด Arduino กับหลอด LED	33
2-34 การเชื่อมต่อบอร์ด Arduino กับบอร์ดเสริม XBee Shield	34
2-35 ตำแหน่ง Layout & Pin out Arduino Board	35
2-36 การเชื่อมต่อบอร์ด Arduino กับคอมพิวเตอร์	36
2-37 การเลือกรุ่นของบอร์ด Arduino ที่ต้องการ Upload หลังจากการเขียนโปรแกรม	36
2-38 การเลือกหมายเลขพอร์ตของบอร์ด Arduino ที่ใช้สำหรับการ Upload	37
2-39 เลือกตรวจสอบการตั้งค่า	37
ก. ตรวจสอบการตั้งค่าพอร์ตการเชื่อมต่อบอร์ด Arduino	
ข. การ Upload โค้ดโปรแกรม	
2-40 การเปรียบเทียบค่าระหว่างการใช้ Sun Tracker และ แบบ Fixed PV	39
2-41 ค่าตำแหน่งมุมของแผงจานโซลาร์เซลล์ด้วยวิธีการคำนวณและวิธีการใช้	40
2-42 ค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้รับจากการใช้แผงโซลาร์เซลล์แบบคงที่และแบบการควบคุมการหมุน	41
2-43 ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ระยะเวลา 15 นาที	42
3-1 ไดอะแกรมการทำงานชุดควบคุมการรับพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์	43
3-2 ชุดโครงสร้างสำหรับรับแผงโซลาร์เซลล์และชุดวงจรขับมอเตอร์ 1	44
3-3 แผงโซลาร์เซลล์ขนาดกำลังไฟฟ้า 125 วัตต์	44
3-4 มอเตอร์กระแสตรง 12 โวลต์	45
3-5 ชุดวงจรขับมอเตอร์ 2 ช่อง	45
3-6 ชุดโซ่และเฟืองทด	45
3-7 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO	46
3-8 ชุดเซนเซอร์ LDR จำนวน 2 ตัว	46
3-9 อินเวอร์เตอร์ 650VA 12Vdc / 220Vac	46

(ณ)

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3-10 ชุดประจุไฟฟ้า 12/24 โวลท์	47
3-11 แบตเตอรี่ 12 โวลท์	47
3-12 ชุดควบคุมการรับพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์	48
4-1 แสดงค่ากำลังไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ด้วยวิธีการติดตั้งแบบคงที่	56
4-2 แสดงค่ากำลังไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ด้วยวิธีการติดตั้งแบบกำหนดเวลา	58
4-3 แสดงค่ากำลังไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ด้วยวิธีการติดตั้งแบบรับค่าจากอุปกรณ์ ตรวจจับแสงอาทิตย์ (LDR)	63
4-4 กราฟแสดงค่าการเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าทั้ง 3 แบบ	64

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สำหรับการใช้พลังงานในยุคปัจจุบันนั้นนิยมใช้พลังงานที่ได้จากน้ำมันทั้งการใช้ร่วมกับยานพาหนะ การผลิตกระแสไฟฟ้า การใช้พลังงานน้ำมันจะมีอายุการใช้งานที่ไม่นานจะหมดไปเนื่องจากการผลิตทดแทนช้า ส่วนราคาก็จะสูงขึ้น การแสวงหาพลังงานในรูปแบบอื่นเพื่อนำมาทดแทนพลังงานน้ำมันจะมีแนวโน้มที่จะมากขึ้น การใช้พลังงานทดแทนที่นิยมได้แก่พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานชีวมวล พลังงานน้ำและอื่นๆ

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำหรับการแสวงหาพลังงานทดแทน ในประเทศไทยโดยเฉพาะจังหวัดเพชรบูรณ์มีปริมาณแสงอาทิตย์ประมาณ 8-10 เดือนต่อปี (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2556) ส่วนที่เหลือจะเข้าสู่ช่วงฤดูฝนที่ปริมาณแสงอาทิตย์น้อยและฤดูหนาวบางส่วนที่ปริมาณแสงอาทิตย์น้อย จึงทำให้มีหน่วยงานหลายหน่วยงาน เช่น การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย กฟผ. (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย กฟผ. 2554) หรือ กระทรวงพลังงาน ให้ความสนใจที่จะใช้พลังงานที่ได้จากแสงอาทิตย์มาผลิตกระแสไฟฟ้า โดยส่งเสริมและสนับสนุนให้มีการนำอุปกรณ์สำหรับการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ไปเป็นพลังงานไฟฟ้า ไปใช้งาน รวมถึงสนับสนุนการวิจัยด้านพลังงานทดแทน สำหรับการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้เป็นพลังงานทางเลือก สำหรับการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้านั้นใช้อุปกรณ์เซลล์แสงอาทิตย์ หลังงานที่ได้รับจะมีปริมาณมากขึ้นขึ้นอยู่กับมุมการรับแสง โดยปกติจะทำมุมที่ 90 องศา แต่ส่วนใหญ่ผู้ที่ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์จะติดตั้งแบบคงที่ ทำให้การรับแสงอาทิตย์และพลังงานที่ได้รับนั้นได้รับไม่เต็มที่

จากสภาพปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดที่จะการพัฒนาชุดควบคุมการรับพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อให้สามารถรับปริมาณแสงอาทิตย์และผลิตกระแสไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ให้มากที่สุดต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อพัฒนาชุดควบคุมการรับพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

1.2.2 เพื่อหาประสิทธิภาพชุดควบคุมการรับพลังงานแสงอาทิตย์ด้วย

ไมโครคอนโทรลเลอร์

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยเรื่องการพัฒนาชุดควบคุมการรับพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ในครั้งนี้ผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตการศึกษาค้นคว้าไว้ดังนี้

- 1.3.1 ชุดรับพลังงานแสงอาทิตย์
- 1.3.2 ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์
- 1.3.3 ชุดประจุและจัดเก็บพลังงานไฟฟ้า
- 1.3.4 ชุดวัดปริมาณไฟฟ้า
- 1.3.5 แบบบันทึกปริมาณการเก็บพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้แบ่งส่วนของการวิจัยออกได้ดังนี้

- 1.4.1 การออกแบบโครงสร้างชุดรับพลังงานแสงอาทิตย์
- 1.4.2 การสร้างชุดโครงสร้างและประกอบแผงโซลาร์เซลล์
- 1.4.3 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์และวงจรขับมอเตอร์
- 1.4.4 ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO และโปรแกรมควบคุม
- 1.4.5 ออกแบบและสร้างชุดวงจรเซนเซอร์แสงอาทิตย์ (LDR)
- 1.4.6 ชุดวงจรประจุไฟฟ้าและแบตเตอรี่
- 1.4.7 ชุดอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์แปลงกระแสไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ
- 1.4.8 ทดสอบการควบคุมการหมุนแผงโซลาร์เซลล์ตามแสงอาทิตย์และบันทึกผล
- 1.4.9 เปรียบเทียบผลการควบคุมการหมุนแผงโซลาร์เซลล์กับการติดตั้งแบบคงที่

ผู้วิจัยจะดำเนินการวิจัยที่อาคารเทคโนโลยีอุตสาหกรรมหลังที่ 2 คณะเทคโนโลยี

การเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ

เซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ หมายถึง แผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า

วงจรควบคุม หมายถึง วงจรอิเล็กทรอนิกส์สำหรับควบคุมการหมุนของมอเตอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ หมายถึง ชุดสมองกลสำหรับสั่งการให้ชุดขับมอเตอร์หมุนแผงโซลาร์เซลล์ไปตามทิศทางของแสงอาทิตย์

อุปกรณ์เซนเซอร์แสงอาทิตย์ หมายถึง อุปกรณ์สำหรับตรวจจับแสงอาทิตย์ (LDR)

1.6 ประโยชน์ของการวิจัย

1.6.1 ได้ชุดควบคุมการรับพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

1.6.2 ได้ทราบประสิทธิภาพชุดควบคุมการรับพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

1.6.3 ได้แนวทางการสร้างชุดควบคุมการรับพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์และปริมาณไฟฟ้าที่ได้รับจากเซลล์แสงอาทิตย์

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยเรื่อง การพัฒนาชุดควบคุมการรับพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยแบ่งหัวข้อได้ดังนี้

1. พลังงานไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์
2. การประจุและการเก็บพลังงานไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์
3. การวัดปริมาณไฟฟ้า
4. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และอุปกรณ์ไฟฟ้า
5. ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO
6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 พลังงานไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์

สำหรับพลังงานทดแทนหรืออาจจะเรียกว่าพลังงานทางเลือก หมายถึง พลังงานที่มีอยู่ตามธรรมชาติและสามารถนำพลังงานมาใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิง ถ่านหินและแก๊สธรรมชาติ สามารถแบ่งตามแหล่งที่ได้มาออกเป็น 2 ประเภท คือ พลังงานทดแทนจากแหล่งที่ใช้แล้วหมดไป อาจเรียกว่าพลังงานสิ้นเปลือง ได้แก่ ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ นิวเคลียร์ หินน้ำมัน และทรายน้ำมัน เป็นต้น และพลังงานทดแทนอีกประเภทหนึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้แล้ว สามารถหมุนเวียนมาใช้ได้อีก เรียกว่าพลังงานหมุนเวียน ได้แก่ แสงอาทิตย์ ลม ชีวมวล น้ำ และไฮโดรเจน เป็นต้น เป็นพลังงานที่สะอาด ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย กฟผ. 2554)



รูปที่ 2-1 ตัวอย่างพลังงานทดแทน
(ที่มา : พิชัย นริพทะพันธุ์. 16 ธันวาคม 2559)

พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่มีอยู่โดยทั่วไป (อนุตร จำลองกุล. 2545 : หน้า 31) ปัจจุบันพลังงานแสงอาทิตย์ โดยที่ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานความร้อนและแสงสว่างที่ใหญ่ที่สุด ประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศที่ตั้งอยู่ในเขตใกล้เส้นศูนย์สูตรหรือเส้นแบ่งครึ่งโลก จึงได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง ค่าความเข้มพลังงานแสงอาทิตย์รวมเฉลี่ยของประเทศประมาณ 4.7 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง ต่อตารางเมตรต่อวัน (สำนักถ่ายทอดและเผยแพร่เทคโนโลยี กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. 11 ธันวาคม 2559)

หากมีการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ ที่สอดคล้องลงมามบนพื้นที่ของประเทศไทยเพียงหนึ่งในร้อยละของพื้นที่ทั้งหมด จะสามารถได้รับพลังงานเทียบเท่าการใช้น้ำมันดิบประมาณ 7,000,000 ตันต่อปี การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ทำได้สองลักษณะคือ

1. กระบวนการเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยเมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบบนแผงโซลาร์เซลล์ โซลาร์เซลล์จะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ไปเป็นพลังงานไฟฟ้า เพื่อนำไปใช้กับอุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ

2. กระบวนการเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานความร้อน โดยให้แสงอาทิตย์ส่องผ่านแผ่นรับแสงมาตกกระทบบนพื้นสีดำ ทำให้เกิดความร้อนเพิ่มมากขึ้นเหนือบริเวณพื้นที่นั้นและสามารถนำพลังงานความร้อนที่ได้ไปใช้ประโยชน์ในลักษณะต่าง ๆ อาทิ นำไปใช้ผลิตน้ำร้อน ถนอมอาหาร อบแห้งพืชผลทางการเกษตร



รูปที่ 2-2 พลังงานทดแทน

(ที่มา : ทรัพยากรพลังงาน (Energy Resources). 12 พฤศจิกายน 2559)

พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar power) (พิชัย นริพทะพันธุ์, 16 ธันวาคม 2559) โดยคนส่วนมากคิดว่าประเทศไทยมีแสงแดดมาก น่าจะผลิตพลังงานจากแสงอาทิตย์ได้ดี และอยากให้ผลิตพลังงานจากแสงอาทิตย์มากๆ แต่ที่ไม่ค่อยทราบกันคือ การผลิตพลังงานจากแสงอาทิตย์มีต้นทุนที่สูง ต้องมีแรงจูงใจเป็นอัตราส่วนเพิ่มราคารับซื้อไฟฟ้า (แอดเดอร์) ในสัญญาซื้อขายไฟฟ้า ให้กับพลังงานที่ผลิตจากแสงอาทิตย์ แต่เดิมมีการให้แอดเดอร์ถึง 8 บาท คือราคาไฟฟ้าหน่วยละเท่าไรเพิ่มให้อีก 8 บาท ต่อมาลดลงเหลือ 6.50 บาท และปัจจุบันกำลังคิดสูตรคำนวณเป็น Feed-in Tariff ที่จะให้มีอัตราส่วนเพิ่มของราคารวมค่าไฟฟ้าที่คงที่ตลอดสัญญา เพื่อความยุติธรรมกับผู้ซื้อไฟฟ้าและให้เป็นการปรับให้เข้ากับราคารูปกรณ์ผลิตไฟฟ้าจากพลังแสงอาทิตย์ที่มีราคาลดลง



รูปที่ 2-3 แหล่งพลังงานจาก Solar cell จัดกลุ่ม Solar Farm

(ที่มา : Maryland Risk Management Education Blog, 10 December 2016)

การที่ต้องมีส่วนเพิ่มราคารับซื้อไฟฟ้านี้ ทำให้ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นอีกมาก และจะไปรวมกับค่าเอฟทีของค่าใช้ไฟฟ้าของประชาชน นอกจากนี้ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังแสงแดดยังไม่เสถียร คือ ไม่สามารถคาดเดาพลังงานที่จะผลิตได้แน่นอน ทำให้ถ้าหากมีการส่งเสริมให้ผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ในจำนวนมาก ก็จะต้องมีโรงไฟฟ้าที่ผลิตจากเชื้อเพลิงอื่นสำรองด้วย ในกรณีที่ไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ตามที่คาดหมายไว้

ดังนั้น จะเห็นได้ว่าไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังแสงอาทิตย์นั้นยังมีราคาแพงและไม่เสถียร แต่ก็ยังควรจะมีการส่งเสริมในด้านนี้อยู่ แต่ไม่ควรให้มีสัดส่วนที่มากเกินไปนัก โดยหวังว่าในอนาคตต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจากพลังแสงอาทิตย์จะมีราคาลดลงจนไม่จำเป็นต้องมีแอดเดอร์ และมีความเสถียรเพิ่มขึ้น (พิชัย นริพทะพันธุ์, 16 ธันวาคม 2559)

การใช้พลังงานแสงอาทิตย์จะใช้เครื่องมือที่ทำหน้าที่แปลงพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้แก่ แผงโซลาร์เซลล์ (Solar Cell)

โซลาร์เซลล์ (Solar Cell) เป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยมีสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิกอน ซึ่งเป็นสารชนิดเดียวกับที่ใช้ทำชิพคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ไม่เป็นพิษ มีราคาถูก และคงทน จากนั้นนำมาผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ และอยู่ในรูปแบบที่จะนำไปทำเซลล์แสงอาทิตย์ได้ เมื่อแสงอาทิตย์มากระทบกับเซลล์พลังงานแสงซึ่งมีอนุภาคของ โปรตอน ซึ่งประจุบวก (+) ไปกระทบกับสารกึ่งตัวนำบนเซลล์ที่มีอนุภาคเป็นอิเล็กตรอน ซึ่งเป็นประจุลบ (-) เกิดการถ่ายเทพลังงานระหว่างกัน ทำให้อนุภาคอิเล็กตรอนหลุดออกจากนิวเคลียสของอะตอมและเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ครบวงจร จึงสามารถต่อกระแสไฟฟ้าง่ายๆไปใช้งานได้นั่นเอง

โซลาร์เซลล์เริ่มเป็นที่นิยมนำมาผลิตกระแสไฟฟ้าในครัวเรือนมากขึ้น เนื่องจากโซลาร์เซลล์ในปัจจุบันมีราคาที่ถูกลงกว่าเดิมมาก ไฟฟ้าที่ผลิตจากโซลาร์เซลล์นั้นสามารถนำไปใช้ได้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าทุกชนิด นำกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ในตอนกลางวันเก็บไว้ในแบตเตอรี่ เพื่อนำมาใช้ในตอนกลางคืนได้ ทำให้ช่วยประหยัดค่าไฟฟ้า นอกจากนี้ยังสามารถต่อพ่วงระบบไฟฟ้าที่ผลิตจากโซลาร์เซลล์ เข้ากับระบบของการไฟฟ้าได้โดยใช้ Grid Inverter เมื่อไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโซลาร์เซลล์ไม่เพียงพอ ระบบจะดึงไฟฟ้าจากการไฟฟ้ามาใช้ต่อเนื่องทันที

โซลาร์เซลล์กับการเกษตร ในปัจจุบันมีกลุ่มเกษตรกรมากมายที่นำเอาประโยชน์ของโซลาร์เซลล์ไปใช้ในการเกษตร อย่าง กลุ่มเกษตรกรพอเพียง ที่ได้นำแนวปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง มาปฏิบัติจนประสบความสำเร็จอย่างกว้างขวาง ก็ได้นำโซลาร์เซลล์ไปประยุกต์ใช้ในการสูบน้ำเพื่อการเกษตร และยังเป็นที่น่าสนใจของกลุ่มนิสิตภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ นำแผงโซลาร์เซลล์มาพัฒนาเพื่อการสาธารณะประโยชน์ของชุมชน คือการทำ ระบบแปลงเกษตรอัจฉริยะ ควบคุมการเปิด-ปิดน้ำที่ใช้ในการรดผักอโถงโนมัตและกักเก็บน้ำมาใช้ในการเกษตรและใช้ในยามขาดแคลน

การผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์มีจุดเด่นที่สำคัญ แตกต่างจากวิธีอื่นหลายประการ ดังต่อไปนี้
(โซลาร์เซลล์ (Solar Cell). 12 พฤศจิกายน 2559)

1. ไม่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวในขณะที่ใช้งาน จึงทำให้ไม่มีมลภาวะทางเสียง
2. ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะเป็นพิษจากขบวนการผลิตไฟฟ้า
3. มีการบำรุงรักษาน้อยมากและใช้งานแบบอัตโนมัติได้ง่าย
4. ประสิทธิภาพคงที่ไม่ขึ้นกับขนาด
5. สามารถผลิตเป็นแผงขนาดต่างๆ ได้ง่าย ทำให้สามารถผลิตได้ปริมาณมาก
6. ผลิตไฟฟ้าได้แม้มีแสงแดดอ่อนหรือมีเมฆ
7. เป็นการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ที่ได้มาฟรีและมีไม่สิ้นสุด
8. ผลิตไฟฟ้าได้ทุกมุมโลกแม้บนเกาะเล็กๆ กลางทะเล บนยอดเขาสูง และในอวกาศ
9. ได้พลังงานไฟฟ้าโดยตรงซึ่งเป็นพลังงานที่นำมาใช้ได้สะดวกที่สุด

ประเภทของแผงโซลาร์เซลล์ โดยแผงโซลาร์เซลล์ที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

1. กลุ่มโซลาร์เซลล์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอน จะแบ่งตามลักษณะของผลึกที่เกิดขึ้น คือ แบบที่เป็น รูปผลึก (Crystal) และแบบที่ไม่เป็นรูปผลึก (Amorphous) แบบที่เป็นรูปผลึกจะแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน (Single Crystalline Silicon Solar Cell) หรือโมโนคริสตัลไลน์ ซิลิคอน (Mono Crystalline Silicon)



รูปที่ 2-4 แผงโซลาร์เซลล์ โมโนคริสตัลไลน์ (mono-Si)

(ที่มา : KLC Bright.com. 22 พฤศจิกายน 2559)

ข้อดี แผงโซลาร์เซลล์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์ (KLC Bright.com. 22 พฤศจิกายน 2559)

1. แผงโซลาร์เซลล์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์ มีประสิทธิภาพสูงสุด เพราะผลิตมาจาก ซิลิคอนเกรดดีที่สุด โดยมีประสิทธิภาพเฉลี่ยอยู่ที่ 15-20%
2. แผงโซลาร์เซลล์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์ มีประสิทธิภาพต่อพื้นที่สูงสุด เพราะทำให้กำลังสูง จึงต้องการพื้นที่น้อยที่สุดในการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ชนิดนี้ โมโนคริสตัลไลน์ สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้เกือบ 4 เท่า ของชนิด ฟิล์มบางหรือ Thin Film
3. แผงโซลาร์เซลล์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์ มีอายุการใช้งานยาวนานที่สุด โดยเฉลี่ยแล้วประมาณ 25 ปีขึ้นไป
4. แผงโซลาร์เซลล์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์ ผลิตกระแสไฟฟ้าได้มากกว่าชนิด โพลีคริสตัลไลน์ เมื่ออยู่ในภาวะแสงน้อย

ข้อเสีย แผงโซลาร์เซลล์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์ (KLC Bright.com. 22 พฤศจิกายน 2559)

1. แผงโซลาร์เซลล์ชนิด โมโนคริสตัลไลน์ เป็นชนิดที่มีราคาแพงที่สุด ในบางครั้งการติดตั้งด้วย แผงโซลาร์เซลล์ชนิด โพลีคริสตัลไลน์ หรือชนิด Thin Film อาจมีความคุ้มค่ามากกว่า
2. หากแผงโซลาร์เซลล์ชนิด โมโนคริสตัลไลน์ มีความสกปรกหรือถูกบังแสงในบางส่วนของแผง อาจทำให้วงจรหรือ Inverter ไหม้ได้ เพราะอาจจะทำให้เกิดโวลต์สูงเกินไป

2. ชนิดผลึกรวมซิลิคอน (Poly Crystalline Silicon Solar Cell) แบบที่ไม่เป็นรูปผลึก คือ ชนิดฟิล์มบาง อะมอร์ฟัสซิลิคอน (Amorphous Silicon Solar Cell) แผงโซลาร์เซลล์ชนิด โพลีคริสตัลไลน์นี้ เป็นแผงโซลาร์เซลล์ชนิดแรก ที่ทำมาจากผลึกซิลิคอน โดยทั่วไปเรียกว่า โพลีคริสตัลไลน์ (Poly Crystalline, p-Si) แต่บางครั้งก็เรียกว่า มัลติ-คริสตัลไลน์ (Multi Crystalline, mc-Si) โดยในกระบวนการผลิต สามารถที่จะนำเอา ซิลิคอนเหลว มาเทใส่โมลด์ที่เป็นสี่เหลี่ยมได้เลย ก่อนที่จะนำมาตัดเป็นแผ่นบางอีกที จึงทำให้เซลล์แต่ละเซลล์เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ไม่มีการตัดมุม สีของแผงจะออก น้ำเงิน ไม่เข้มมาก



รูปที่ 2-5 แผงโซลาร์เซลล์ โพลีคริสตัลไลน์ (p-Si)
(ที่มา : KLC Bright.com. 22 พฤศจิกายน 2559)

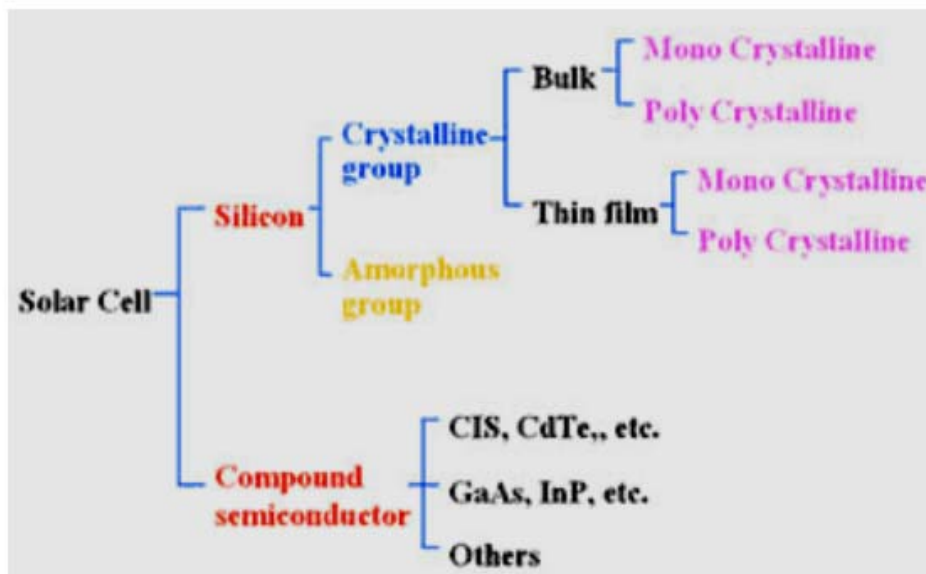
ข้อดีของแผงโซลาร์เซลล์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์ (KLC Bright.com. 22 พฤศจิกายน 2559)

1. แผงโซลาร์เซลล์ชนิด โพลีคริสตัลไลน์ มีขั้นตอนกระบวนการผลิตที่ง่าย ไม่ซับซ้อน จึง ใช้ปริมาณซิลิคอน ในการผลิตน้อยกว่า เมื่อเทียบกับชนิดโมโนคริสตัลไลน์
2. แผงโซลาร์เซลล์ชนิด โพลีคริสตัลไลน์ มีประสิทธิภาพในการใช้งาน ในที่อุณหภูมิสูง ดีกว่า ชนิด โมโนคริสตัลไลน์ เล็กน้อย
3. แผงโซลาร์เซลล์ชนิด โพลีคริสตัลไลน์ มีราคาถูกกว่าเมื่อเทียบกับชนิดโมโนคริสตัลไลน์

ข้อเสียของแผงโซลาร์เซลล์ชนิดโพลีคริสตัลไลน์

1. แผงโซลาร์เซลล์ชนิด โพลีคริสตัลไลน์ มีประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 13-16% ซึ่งต่ำกว่า เมื่อเทียบกับชนิด โมโนคริสตัลไลน์
2. แผงโซลาร์เซลล์ชนิด โพลีคริสตัลไลน์ มีประสิทธิภาพต่อพื้นที่ต่ำกว่า ชนิด โมโน คริสตัลไลน์
3. แผงโซลาร์เซลล์ชนิด โพลีคริสตัลไลน์ มีสีน้ำเงิน ทำให้บางครั้งอาจดูไม่สวยงาม เมื่อเทียบกับชนิดโมโนคริสตัลไลน์และชนิด Thin Film ที่มีสีเข้มเข้ากับสิ่งแวดล้อม เช่น หลังคาบ้านได้ดีกว่า

นอกจากการผลิตกระแสไฟฟ้าที่สร้างจากสารซิลิคอนแล้วยังมีการผลิตแผงโซลาร์เซลล์จากสารประกอบอื่นๆ เช่น แกลเลียมอาร์เซไนด์ แคดเมียมเทลลูไรด์ (บรรจบ สุขประภากรณ. 2559)

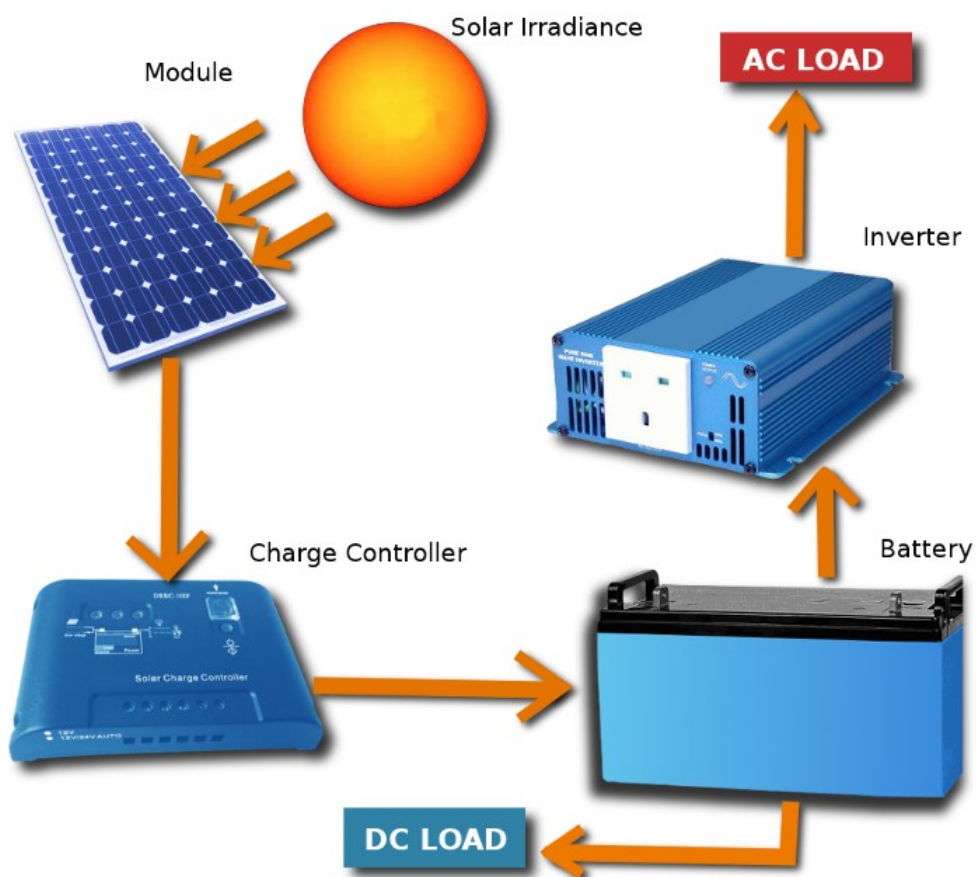


รูปที่ 2-6 ผังชนิดโซลาร์เซลล์
(ที่มา : บรรจบ สุขประภากรณ. 2559)

ส่วนกลุ่มโซลาร์เซลล์ที่ทำจากสารประกอบอื่นๆ ที่ไม่ได้ทำมาจากซิลิคอน เป็นโซลาร์เซลล์ที่มีประสิทธิภาพสูงถึง 25 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไปซึ่งมีราคาแพง จึงไม่นิยมนำมาใช้ทั่วไปบนพื้นโลก จึงเหมาะสำหรับใช้ งานบนดาวเทียมหรืออวกาศ สามารถร่วมกับระบบรวมแสงที่มีความเข้มของแสงสูงๆ ปัจจุบันมีการพัฒนาด้วย กระบวนการผลิตที่ทันสมัยใหม่ ทำให้มีราคาถูกลงและคาดว่าจะมีการนำมาใช้งานมากขึ้นในอนาคต (ปัจจุบันมี ใช้เพียง 7 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณที่มีใช้ทั้งหมด)

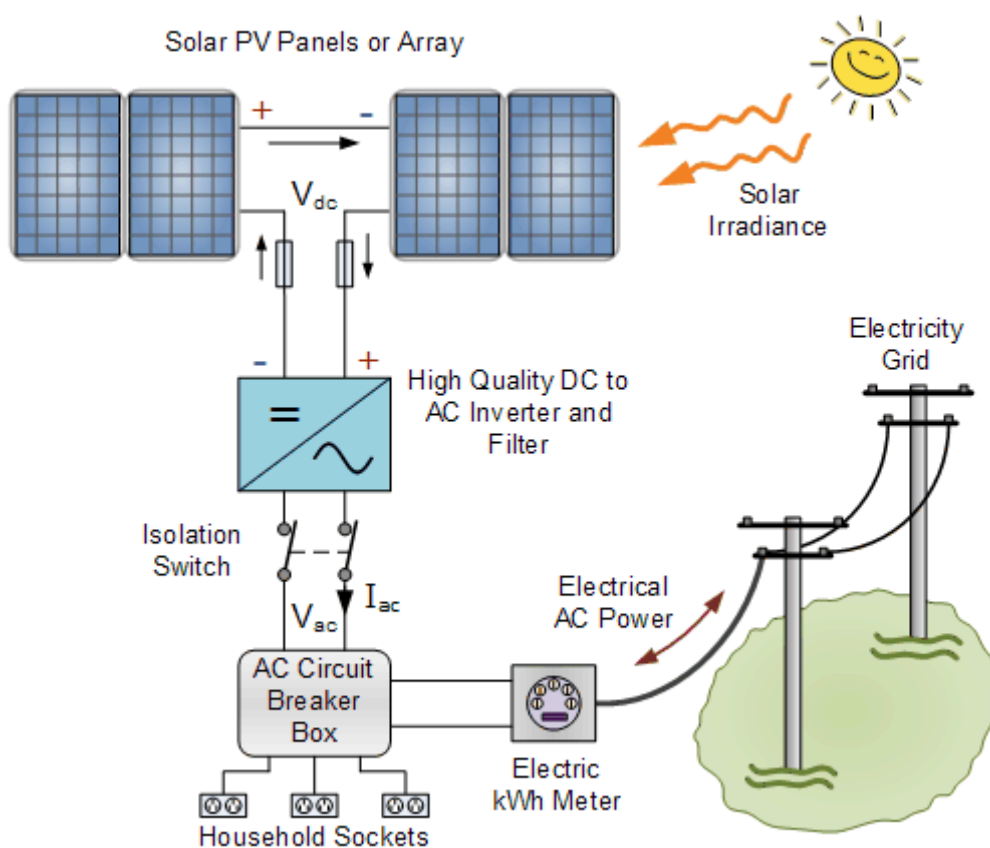
การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยโซลาร์เซลล์ แบ่งออกเป็น 3 ระบบ คือ

1. การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยโซลาร์เซลล์แบบอิสระ (PV Stand Alone System) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ได้รับการออกแบบสำหรับใช้งานในพื้นที่ชนบทที่ไม่มีระบบสายส่งไฟฟ้า อุปกรณ์ระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงโซลาร์เซลล์ อุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ แบตเตอรี่และอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบอิสระ (โซลาร์เซลล์ (Solar Cell). 12 พฤศจิกายน 2559)



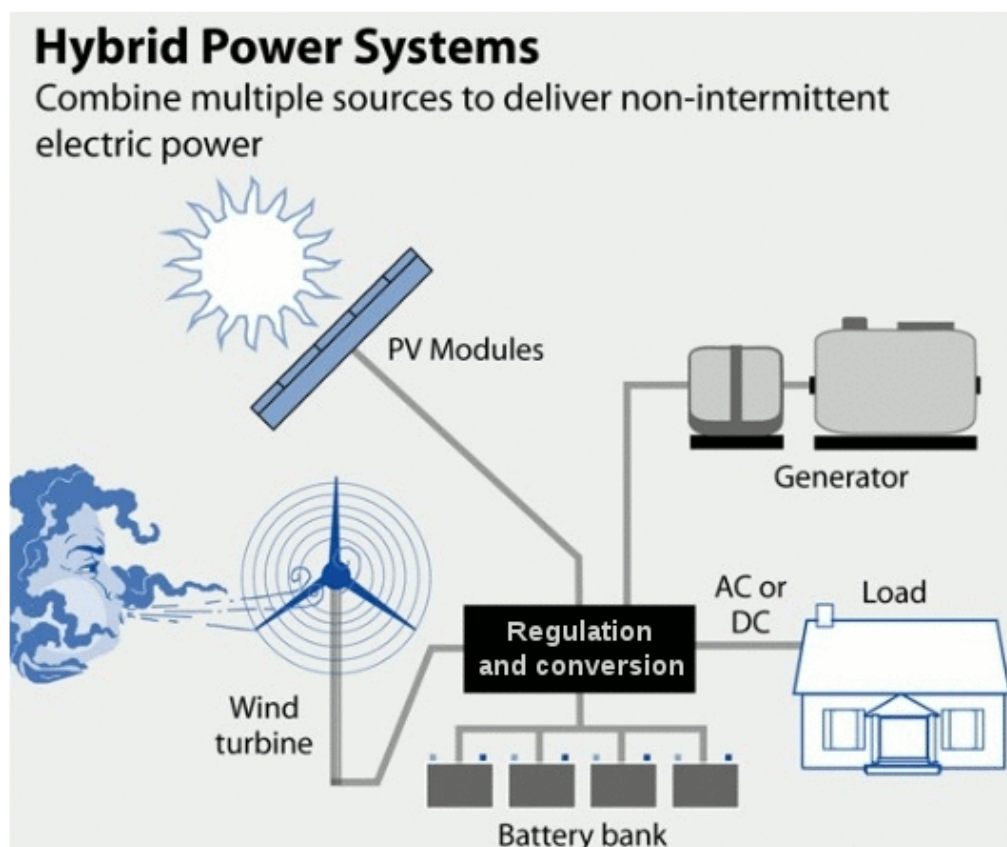
รูปที่ 2-7 Stand alone Solar Home Lighting (SHS) Systems
(ที่มา : Sun Green Solutions. 13 พฤศจิกายน 2559)

2. การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยโซลาร์เซลล์แบบต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid Connected System) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ถูกออกแบบสำหรับผลิตไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ เข้าสู่ระบบสายส่งไฟฟ้าโดยตรง ใช้ผลิตไฟฟ้าในเขตเมืองหรือพื้นที่ที่มีระบบจำหน่ายไฟฟ้าเข้าถึง อุปกรณ์ระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงโซลาร์เซลล์ อุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับชนิดต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า (โซลาร์เซลล์ (Solar Cell), 12 พฤศจิกายน 2559)



รูปที่ 2-8 Simplified Grid Connected PV System
(ที่มา : Alternative Energy Tutorials., 9 พฤศจิกายน 2559)

3. การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยโซลาร์เซลล์แบบผสมผสาน (PV Hybrid system) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ถูกออกแบบสำหรับทำงานร่วมกับอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าอื่นๆ เช่น ระบบโซลาร์เซลล์กับพลังงานลมและเครื่องยนต์ดีเซล ระบบโซลาร์เซลล์กับพลังงานลมและไฟฟ้าพลังน้ำ เป็นต้น โดยรูปแบบระบบจะขึ้นอยู่กับ การออกแบบตามวัตถุประสงค์โครงการเป็นกรณีเฉพาะ (โซลาร์เซลล์ (Solar Cell). 12 พฤศจิกายน 2559)

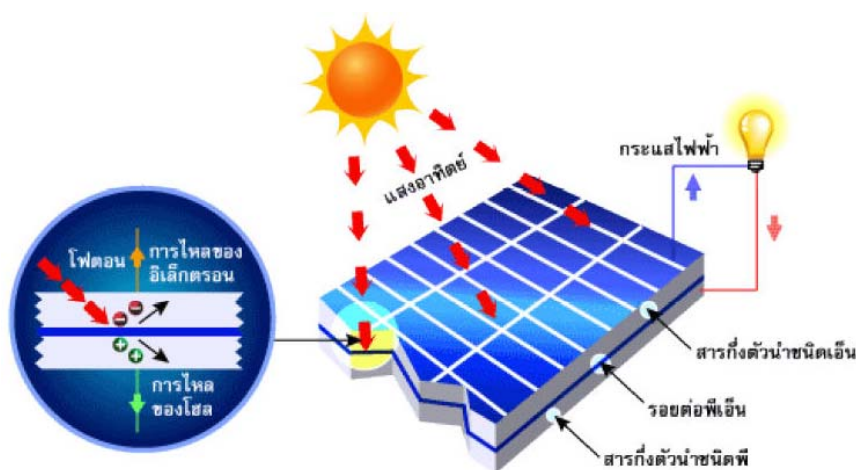


รูปที่ 2-9 Hybrid solar and wind system

(ที่มา : Hybrid solar and wind system. 24 ธันวาคม 2559)

คุณสมบัติและตัวแปรที่สำคัญของโซลาร์เซลล์ ตัวแปรที่สำคัญที่มีส่วนทำให้โซลาร์เซลล์มีประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละพื้นที่ต่างกัน และมีความสำคัญในการพิจารณานำไปใช้ในแต่ละพื้นที่ ตลอดจนการนำไปคำนวณระบบหรือคำนวณจำนวนแผงแสงอาทิตย์ที่ต้องใช้ในแต่ละพื้นที่ มีดังนี้ (โซลาร์เซลล์ (Solar Cell). 12 พฤศจิกายน 2559)

1. ความเข้มของแสงต่อกระแสไฟ (Current) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสง หมายความว่าเมื่อความเข้มของแสงสูง กระแสที่ได้จากโซลาร์เซลล์ก็จะสูงขึ้น ในขณะที่แรงดันไฟฟ้า หรือโวลต์แทบจะไม่แปรไปตามความเข้มของแสงมากนัก ความเข้มของแสงที่ใช้วัดเป็นมาตรฐานคือ ความเข้มของแสงที่วัดบนพื้นโลกในสภาพอากาศปลอดโปร่ง ปราศจากเมฆหมอกและวัดที่ ระดับน้ำทะเลในสภาพที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลก ซึ่งความเข้ม ของแสงจะมีค่าเท่ากับ 100 mW ต่อ ตารางเซนติเมตรหรือ 1,000 W ต่อ ตารางเมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM 1.5 (Air Mass 1.5) และถ้า แสงอาทิตย์ทำมุม 60 องศาพื้นโลกความเข้มของแสง จะมีค่าเท่ากับประมาณ 75 mW ต่อ ตาราง เซนติเมตรหรือ 750 W ต่อ ตารางเมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM2 กรณีของแผงโซลาร์เซลล์นั้นจะใช้ค่า AM 1.5 เป็นมาตรฐานในการวัดประสิทธิภาพของแผง



รูปที่ 2-10 ความเข้มแสงอาทิตย์มีผลกับการผลิตกระแสไฟฟ้า

(ที่มา : บริษัท โรงพิมพ์ตะวันออก จำกัด (มหาชน). 13 ธันวาคม 2559)

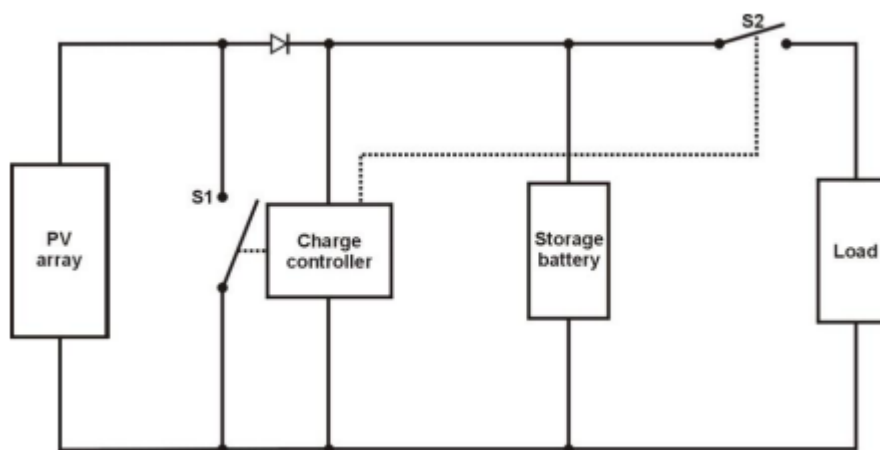
2. อุณหภูมิต่อกระแสไฟ (Current) จะไม่แปรตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ในขณะที่แรงดันไฟฟ้า (โวลต์) จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วทุกๆ 1 องศาที่เพิ่มขึ้น จะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลง 0.5 % และในกรณีของแผงโซลาร์เซลล์มาตรฐานที่ใช้กำหนดประสิทธิภาพของแผงแสงอาทิตย์คือ ณ อุณหภูมิ 25°C เช่น กำหนดไว้ว่าแผงแสงอาทิตย์มีแรงดันไฟฟ้าที่วงจรเปิด (Open Circuit Voltage หรือ Voc) ที่ 21 V ณ อุณหภูมิ 25°C ก็จะหมายความว่า แรงดันไฟฟ้าที่จะได้จากแผงแสงอาทิตย์ เมื่อยังไม่ได้ต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้า ณ อุณหภูมิ 25°C จะเท่ากับ 21 V ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 25°C เช่น อุณหภูมิ 30°C จะทำให้แรงดันไฟฟ้าของแผงแสงอาทิตย์ลดลง 2.5% ($0.5\% \times 5^\circ\text{C}$) นั่นคือ แรงดันของแผงแสงอาทิตย์ที่ Voc จะลดลง 0.525 V ($21\text{ V} \times 2.5\%$) เหลือเพียง 20.475 V (21V) (โซลาร์เซลล์ (Solar Cell). 12 พฤศจิกายน 2559)

2.2 การประจุและการเก็บพลังงานไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์

ชนิดของการประจุไฟฟ้าสำหรับแบตเตอรี่ สำหรับเครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่สามารถแบ่งออกได้ 3 ประเภทดังนี้ (มรรคา เดือนเพ็ญและคณะ, 2558)

1. เครื่องควบคุมการประจุแบบอนุกรม (Series Charge Controller) เป็นการต่อเครื่องควบคุมการประจุกับแผงโซลาร์เซลล์แบบอนุกรมทำหน้าที่เป็นสวิตช์ตัดการไหลของไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ไปยังแบตเตอรี่เมื่อประจุไฟฟ้าเต็มหรือเป็นการเปิดวงจรระหว่างแผงโซลาร์เซลล์กับแบตเตอรี่เมื่อประจุแบตเตอรี่เต็มสวิตช์ควบคุมใช้สวิตช์แม่เหล็กคือรีเลย์(Relay) หรือสวิตซ์ทรานซิสเตอร์ (Switching Transistor) เครื่องควบคุมนี้จึงไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากเกิดกำลังสูญเสียจากอุปกรณ์ประกอบมีค่อนข้างสูง

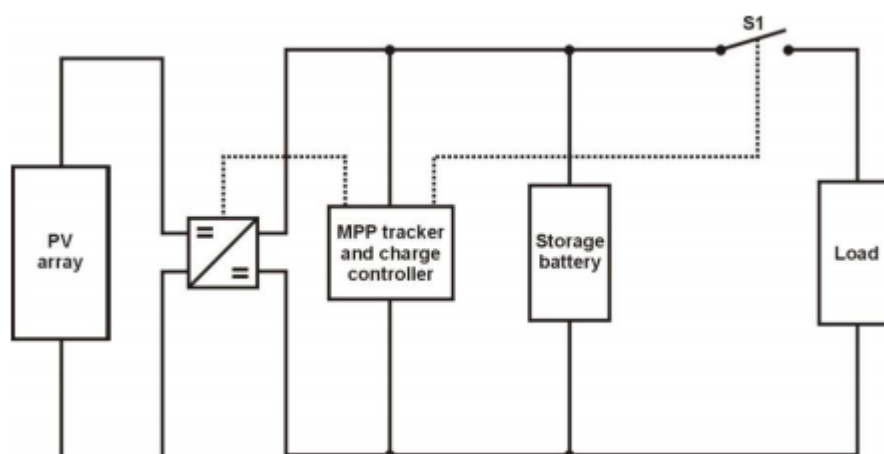
2. เครื่องควบคุมการประจุแบบชั๊นท์ (Shunt Charge Controller) เป็นการต่อแผงโซลาร์เซลล์กับวงจรขาออกแบบขนานจะทำการเชื่อมต่อวงจรกับแผงโซลาร์เซลล์ทำให้ไม่มีไฟฟ้าไหลจากแผงไปยังแบตเตอรี่เมื่อประจุไฟฟ้าเต็มแม้ว่าแผงโซลาร์เซลล์จะไม่ได้รับความเสียหายจากการลัดวงจรแต่แบตเตอรี่จะได้รับความเสียหายจึงต้องมีไดโอด (Diode) ซึ่งทำให้กระแสไฟฟ้าไหลได้ ทางเดียว จำเป็นต้องติดตั้งระหว่างเครื่องควบคุมการประจุกับแบตเตอรี่เพื่อป้องกันการลัดวงจรทั้งแผงโซลาร์เซลล์และแบตเตอรี่



รูปที่ 2-11 เครื่องควบคุมการประจุแบบชั๊นท์

(ที่มา : มรรคา เดือนเพ็ญและคณะ. 2558)

3. เครื่องควบคุมการประจุแบบที่มีการติดตามหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (MPPT Charge Controller) เครื่องควบคุมการประจุแบบที่มีการติดตามหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดนั้นถือเป็นเครื่องควบคุมการประจุ กระแสไฟฟ้าที่ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ที่ได้รับการออกแบบให้ควบคุมการทำงานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งมีระบบการติดตามหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดไว้เพื่อทำการเพิ่มปริมาณกระแสไฟฟ้าที่จะ ประจําแบตเตอรี่จากแผงโซลาร์เซลล์เครื่องควบคุมนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวปรับระดับแรงดันไฟฟ้าโดยใช้วงจรแปลงผันไฟตรง-ไฟตรง จากการใช้ประโยชน์จากคุณสมบัติของแผงโซลาร์เซลล์และแบตเตอรี่ เพื่อให้สามารถแปลงกำลังไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ได้สูงสุดและประจุแบตเตอรี่อย่างปลอดภัย



รูปที่ 2-12 เครื่องควบคุมการประจุแบบที่มีการติดตามหาจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด
(ที่มา : มธรรดา เดือนเพ็ญและคณะ, 2558)

ปัจจุบันนี้เครื่องควบคุมการประจุแบตเตอรี่มีหลากหลายคุณสมบัติเพื่อให้การใช้งานมีประสิทธิภาพ สูงสุดเพื่อเอื้อประโยชน์ต่อการใช้งาน เช่น การตัดแบตเตอรี่ที่แรงดันต่ำกว่ากำหนดจะช่วยป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดกับแบตเตอรี่และอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยจะปิดสวิตช์อุปกรณ์ไฟฟ้า กระแสตรงที่ต่อเชื่อม หากแรงดันของแบตเตอรี่ต่ำลงในระดับที่เป็นอันตรายต่อแบตเตอรี่ ส่วนการติดตามหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด เป็นกระบวนการที่ทำให้เครื่องควบคุมการประจุดึงพลังงานจากแผงโซลาร์เซลล์ได้มากที่สุดเพื่อประจุไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่ โดยที่หน้าที่โดยส่วนใหญ่ของเครื่องประจุแบตเตอรี่มีหน้าที่ควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมกับแบตเตอรี่ชนิดต่างๆ สามารถป้องกันการอัดและคายประจุไฟฟ้าเกินพิกัดได้อย่างมีประสิทธิภาพมีการตรวจสอบ สภาวะการประจุของแบตเตอรี่เสมอ (มธรรดา เดือนเพ็ญและคณะ. 2558)

2.3 การวัดปริมาณไฟฟ้า

เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้า (Volt Meter) เครื่องวัดชนิดนี้เป็นเครื่องมือวัดความต่างศักย์ของไฟฟ้าระหว่างจุด 2 จุดในวงจรไฟฟ้าความต่างศักย์นี้ใช้หน่วยเป็นโวลต์ (V) แรงดันไฟฟ้าเป็นค่าหนึ่งที่ต้องวัดในการคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้า (สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน. 23 ธันวาคม 2559)



รูปที่ 2-13 เครื่องวัดแรงดันไฟฟ้า (Volt meter)

(ที่มา : สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน. 23 ธันวาคม 2559)

แรงดันไฟฟ้ามีหน่วยเป็นโวลต์ (Volt) ใช้ตัวย่อว่า V แรงดันไฟฟ้า 1 โวลต์ หมายถึง แรงดันที่ทำให้กระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์ไหลผ่านเข้าไปในความต้านทาน 1 โอห์ม

หน่วยวัดค่าของแรงดันไฟฟ้า				
1 ไมโครโวลต์	(uV)	=	1/1,000,000	โวลต์
1 มิลลิโวลต์	(mV)	=	1/1,000	โวลต์
1 กิโลโวลต์	(KV)	=	1,000	โวลต์
1 เมกะโวลต์	(MV)	=	1,000,000	โวลต์

รูปที่ 2-14 หน่วยวัดแรงดันไฟฟ้า

(ที่มา : สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน. 23 ธันวาคม 2559)

เครื่องวัดกระแส (Ammeter) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดกระแสไฟฟ้าในตัวนำไฟฟ้า กระแสอาจจะเป็นกระแสตรงหรือกระแสสลับ เครื่องวัดกระแสที่ใช้กับงานตรวจสอบการใช้พลังงานควรจะเป็นแบบเคลื่อนย้ายได้และออกแบบมาเพื่อให้ใช้ได้ง่ายและถอดง่ายโดยวัดแบบเฟสเดียว



รูปที่ 2-15 เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า (Ammeter)

(ที่มา : สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน, 23 ธันวาคม 2559)

การไหลของอิเล็กตรอนในตัวนำไฟฟ้านั้นเรียกว่า กระแสไฟฟ้าซึ่งมีหน่วยวัดเป็นแอมแปร์ใช้ตัวย่อว่า (A) กระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์คือกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวนำไฟฟ้าสองตัวที่วางขนานกันมีระยะห่างกัน 1 เมตร แล้วทำให้เกิดแรงแต่ละตัวนำเท่ากับ 2×10^{-7} นิวตันต่อเมตร

หน่วยวัดค่าของกระแสไฟฟ้า				
1 มิลลิแอมแปร์	(mA)	=	1/1,000	แอมแปร์
1,000 มิลลิแอมแปร์	(mA)	=	1	แอมแปร์
1 ไมโครแอมแปร์	(uA)	=	1/1,000,000	แอมแปร์
1,000 ไมโครแอมแปร์	(uA)	=	1	มิลลิแอมแปร์

รูปที่ 2-16 หน่วยการวัดกระแสไฟฟ้า

(ที่มา : สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน, 23 ธันวาคม 2559)

เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า (Wattmeter) เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าชนิดเคลื่อนย้ายได้เป็นเครื่องมือชนิดหนึ่งที่น่าสนใจและสำคัญมาก เพราะเป็น เครื่องมือที่วัดค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าได้โดยตรง ส่วนวิธีอื่นต้องมีการวัดค่ากระแสแรงเคลื่อนและนำมา คำนวณ ในกรณีที่เป็นกระแสสลับ 3 เฟส การวัดวิธีนี้ทำให้การคำนวณการใช้ไฟฟ้าง่ายขึ้น



รูปที่ 2-17 เครื่องวัดกำลังไฟฟ้า (Wattmeter)

(ที่มา : สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน. 23 ธันวาคม 2559)

กำลังไฟฟ้าเมื่อถูกนำมาใช้งานร่วมกับกฎของโอห์ม สามารถสรุปผลได้ดังนี้ กำลังไฟฟ้า (P) วัดต์ (W) คือ อัตราของงานที่ถูกกระทำในวงจรซึ่งเกิดกระแส (I) 1 แอมแปร์ (A) เมื่อแรงดัน (E) จ่ายให้วงจร 1 โวลต์ (V) กำลังไฟฟ้า หาได้จากผลคูณของแรงดัน มีหน่วยเป็นวัตต์คูณด้วยกระแส มีหน่วยเป็นแอมแปร์ เขียนเป็นสมการออกมาได้ดังนี้

$$P = E \times I \quad (w)$$

เมื่อ P = กำลังไฟฟ้า หน่วยมาตรฐานวัดต์ (W)

E = แรงดัน หน่วยมาตรฐานโวลต์ (V)

I = กระแส หน่วยมาตรฐานแอมแปร์ (A)

2.4 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และอุปกรณ์ไฟฟ้า

2.4.1 แบตเตอรี่ (Battery) โดยทั่วไป แบตเตอรี่จะแบ่งเป็นสองกลุ่มใหญ่ด้วยกัน ได้แก่

(Solar Smile Knowledge, 24 ธันวาคม 2559)

แบตเตอรี่ที่ทำการชาร์จจนเต็มมาจากโรงงาน เช่นแบตเตอรี่นาฬิกา(ถ่านนาฬิกา) แบตเตอรี่ไฟฉาย (ถ่านไฟฉาย) เป็นต้น ซึ่งเมื่อใช้ไฟในแบตเตอรี่จนหมดแล้วก็หมดเลยไม่สามารถกลับนำมาใช้ใหม่ได้ เรียกแบตเตอรี่นี้ว่า แบตเตอรี่ปฐมภูมิ(Primary Battery)

แบตเตอรี่ที่ทำการชาร์จใหม่ได้เมื่อแบตเตอรี่มีไฟที่อ่อนลง เช่นแบตเตอรี่รถยนต์ เรียกแบตเตอรี่นี้ว่า แบตเตอรี่ทุติยภูมิ(Secondary Battery)

ในระบบผลิตไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์นั้นจะใช้แบตเตอรี่แบบทุติยภูมิซึ่งสามารถชาร์จได้ใหม่เมื่อแบตเตอรี่มีกำลังไฟที่อ่อนลง ในระบบแบตเตอรี่จะทำงานเก็บพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงโซลาร์เซลล์เข้ามาไว้ แล้วปล่อยกำลังไฟฟ้าออกไปให้กับโหลดในเวลาที่ไม่ได้มีแสงอาทิตย์ เช่นในช่วงเวลากลางคืนหรือเมฆครึ้มตลอดวัน



รูปที่ 2-18 แบตเตอรี่รถยนต์ทั่วไป

(ที่มา : Auto in thai, 16 ธันวาคม 2559)

รถยนต์ที่ใช้งานอยู่ทุกวันเมื่อเปิดวิทยุหรือพัดลมในรถยนต์ โดยที่ไม่สตาร์ทเครื่องยนต์ เครื่องใช้ไฟฟ้าเหล่านั้นก็ทำงานได้ปกติ แต่เมื่อเปิดไปนานๆ จนไฟในแบตเตอรี่เริ่มหมดลง แรงดันในแบตเตอรี่ก็จะเหลือน้อยลง ต้องทำการชาร์จแบตเตอรี่ใหม่ การชาร์จประจุของแบตเตอรี่ในรถยนต์ทำได้โดยการสตาร์ทเครื่องยนต์รถ เพื่อจะทำให้เพลอาប់ไปหมุนเอาไดนาโมเตอร์ผลิตไฟกระแสตรง ชาร์จให้กับแบตเตอรี่ต่อไป จนแบตเตอรี่กลับมามีแรงดันไฟฟ้าที่เต็มเหมือนเดิม ซึ่งเวลาเครื่องยนต์กำลังทำงานอยู่ ก็สามารถเปิดวิทยุและพัดลมได้เหมือนเดิม เพราะว่าทุกอย่างไม่ว่าจะเป็นแบตเตอรี่ โหลด เครื่องยนต์ และไดนาโมเตอร์ต่อทำงานร่วมกันอยู่ในระบบ ถ้าเปรียบเทียบหน้าที่การทำงาน

ของแบตเตอรี่ของระบบผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ก็คล้ายกับแบตเตอรี่ในรถยนต์นั่นเอง เพียงแต่ไฟฟ้าที่นำมาชาร์จประจุจะผลิตจากแผงโซลาร์เซลล์โดยผ่านเครื่องควบคุมการชาร์จ ส่วนโหลดอาจจะเป็นโหลดไฟฟ้ากระแสตรง หรือถ้าต้องการใช้งานกับโหลดไฟฟ้ากระแสสลับก็ต้องต่อผ่านอินเวอร์เตอร์อีกทีหนึ่ง (Solar Smile Knowledge. 24 ธันวาคม 2559)

แบตเตอรี่ที่ใช้กับระบบผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์จะมีหลายชนิด เช่น ลีดเอซิด (Lead-Acid Battery) อัลคาไลน์ (Alkaline) นิกเกิลแคดเมียม (Nickel-cadmium) แต่ที่นิยมใช้กันมากที่สุดก็คือแบตเตอรี่ลีดเอซิด เพราะมีอายุการใช้งานที่ยาวนานและมีการปล่อยประจุ (กระแสไฟฟ้า) ที่สูง

2.4.2 อินเวอร์เตอร์

ชุดอินเวอร์เตอร์ (Inverter Circuit) ซึ่งทำหน้าที่แปลงไฟตรง (DC Voltage) ให้เป็นไฟสลับ (AC Voltage) ที่สามารถเปลี่ยนแปลงแรงดันและความถี่ได้



รูปที่ 2-19 รูปแสดงอินเวอร์เตอร์ Pure sine wave 220Vac 2,000W
(ที่มา : บริษัท ไตรเทพ อินดัสทรี จำกัด. 16 ธันวาคม 2559)

ผลที่ได้จากการใช้อินเวอร์เตอร์

1. ใช้กับมอเตอร์เหนี่ยวนำทั่วไปได้
2. ติดตั้งง่ายประหยัดพื้นที่
3. ปรับเปลี่ยนความเร็วรอบได้ง่าย
4. กลับทิศทางหมุนได้ง่าย
5. เพิ่มประสิทธิภาพให้เครื่องจักร
6. ประหยัดพลังงาน
7. Soft Start / Soft Stop
8. ทำงานได้โดยระบบอัตโนมัติ
9. บำรุงรักษาง่าย

อินเวอร์เตอร์ (Inverter) ถูกนำมาใช้ในเครื่องใช้ไฟฟ้าแบบต่างๆ เช่น เครื่องปรับอากาศ ตู้เย็น โทรทัศน์และระบบเซอร์โวควบคุมมอเตอร์ (Servo Motor) เนื่องจากความต้องการลดการสูญเสียกำลังงานที่สูงโดยเฉพาะขณะเริ่มต้นทำงานและจากการสูญเสียในแกนเหล็กและในตัวขดลวด (สำหรับเครื่องเชื่อมแบบมือหมุน และมอเตอร์) ซึ่งการสูญเสียกำลังงานหรือค่าไฟฟ้าเป็นดังนี้คือ (บริษัท ชยนันต์ ซัพพลาย จำกัด. 16 ธันวาคม 2559)

เมื่อเครื่องใช้ไฟฟ้าเริ่มทำงาน จะมีค่ากระแสเริ่มทำงาน I (Start) สูงกว่า ขณะเดินปกติถึง 4-6 เท่าตัว เช่น มอเตอร์เครื่องปรับอากาศ ที่มีขนาด 220 V, 1 A

$$P_{\text{normal}} = 220\text{V} \times 1\text{A} = 220\text{ W}$$

ขณะเริ่มต้นมอเตอร์หรือหม้อแปลงจะดึงกระแสเพื่อสร้างสนามแม่เหล็กอย่างน้อย 4 เท่าของ ขณะปกติ

$$P_{\text{start}} = 220\text{V} \times (4 \text{ เท่า} \times 1\text{A}) = 880\text{ W}$$

ทำให้ระบบเดิมที่ไม่มีการใช้อินเวอร์เตอร์จะต้องเสียค่าไฟสูงมากและทำให้ระดับของแรงดันไฟฟ้าในสายไม่เสถียร (Stable) รวมถึงทำให้เกิดแรงดันสไปค์ ขณะหยุดการทำงานซึ่งสิ่งเหล่านี้จะทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าเกิดการเสียหายหรือบั่นทอนอายุการใช้งานให้สั้นลง

อินเวอร์เตอร์ได้นำไปใช้ในระบบงานต่างๆ เช่น

1. ใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรอง ที่เรียกว่า Stand by Power Supply หรือ Uninterruptible Power Supplies (UPS) เพื่อใช้ทดแทนในกรณีแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับหลักเกิดความขัดข้อง
2. ใช้ควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับโดยใช้หลักการควบคุมความถี่ของแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับ เพื่อต้องการให้แรงบิด (Torque) คงที่ทุกๆ ความเร็วที่เปลี่ยนแปลงไป
3. ใช้แปลงไฟฟ้าจากระบบส่งกำลังไฟฟ้าแรงสูงชนิดไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ เพื่อบริการให้แก่ผู้ใช้
4. ใช้ในระบบเตาถลุงเหล็กที่ใช้หลักการเหนี่ยวนำให้เกิดความร้อน (Induction Heating) ซึ่งใช้แรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงในการทำงาน (บริษัท ชยนันต์ ซัพพลาย จำกัด. 16 ธันวาคม 2559)

2.4.3 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง เป็นต้นกำลังขับเคลื่อนที่สำคัญอย่างหนึ่งในโรงงานอุตสาหกรรม เพราะมีคุณสมบัติที่เด่นในด้านการปรับความเร็วได้ตั้งแต่ความเร็วต่ำสุดจนถึงสูงสุด นิยมใช้กันมากในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานทอผ้า โรงงานเส้นใยโพลีเอสเตอร์ โรงงานถลุงโลหะหรือให้เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนรถไฟฟ้า เป็นต้นในการศึกษาเกี่ยวกับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจึงควรรู้จัก อุปกรณ์ต่าง ๆ ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและเข้าใจถึงหลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบต่าง ๆ (สำนักบริหารจัดการน้ำ กรมทรัพยากรน้ำ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 11 ธันวาคม 2559)



รูปที่ 2-20 มอเตอร์กระแสตรง

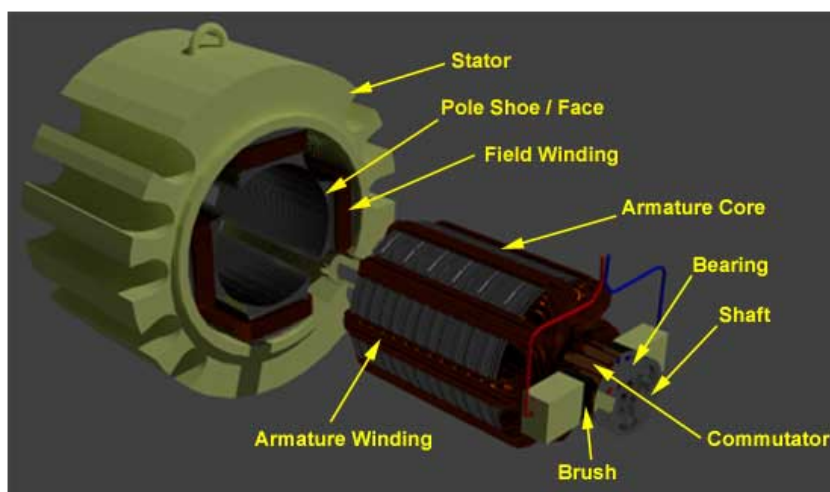
(ที่มา : SmartMotorDevices. 10 December 2016)

ส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วนดังนี้

1. ส่วนที่อยู่กับที่หรือที่เรียกว่าสเตเตอร์ (Stator) ประกอบด้วย

1.1 เฟรมหรือโยค (Frame Or Yoke) เป็นโครงภายนอกทำหน้าที่เป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วเหนือไปขั้วใต้ให้ครบวงจรและยึดส่วนประกอบอื่นๆให้แข็งแรงทำด้วยเหล็กหล่อหรือเหล็กแผ่นหนา้วนเป็นรูปทรงกระบอก



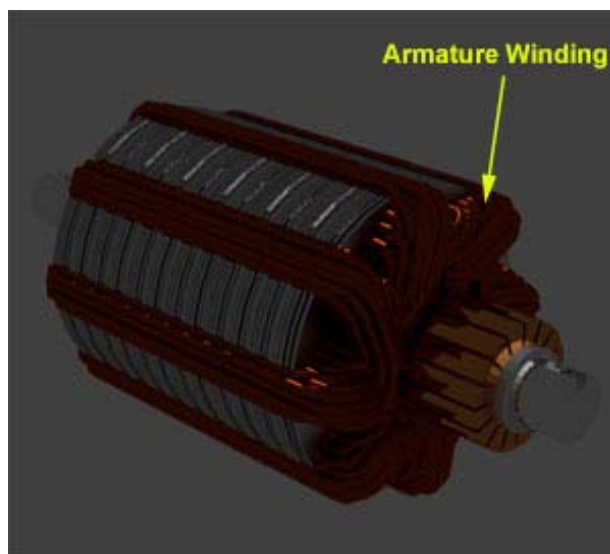
รูปที่ 2-21 Construction of DC Motor : Stator
(ที่มา : Electrical4U.com, 11 December 2016)

1.2 ขั้วแม่เหล็ก (Pole) ประกอบด้วย 2 ส่วนคือแกนขั้วแม่เหล็กและขดลวด

1.3 ส่วนแรกแกนขั้ว (Pole Core) ทำด้วยแผ่นเหล็กบางๆ กั้นด้วยฉนวนประกอบกันเป็นแท่งยึดติดกับเฟรม ส่วนปลายที่ทำเป็นรูปโค้งนั้นเพื่อโค้งรับรูปกลมของตัวโรเตอร์เรียกว่า ขั้วแม่เหล็ก (Pole Shoes) มีวัตถุประสงค์ให้ขั้วแม่เหล็กและโรเตอร์ใกล้ชิดกันมากที่สุดเพื่อให้เกิดช่องอากาศน้อยที่สุด เพื่อให้เกิดช่องอากาศน้อยที่สุดจะมีผลให้เส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กจากขั้วแม่เหล็กผ่านไปยังโรเตอร์มากที่สุดแล้วทำให้เกิดแรงบิดหรือกำลังบิดของโรเตอร์มากเป็นการทำให้มอเตอร์มีกำลังหมุน (Torque) (สำนักบริหารจัดการน้ำ กรมทรัพยากรน้ำ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 11 ธันวาคม 2559)

1.4 ส่วนที่สอง ขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field Coil) จะพันอยู่รอบๆแกนขั้วแม่เหล็กขดลวดนี้ทำหน้าที่รับกระแสจากภายนอกเพื่อสร้างเส้นแรงแม่เหล็กให้เกิดขึ้นและเส้นแรงแม่เหล็กนี้จะเกิดการหักล้างและเสริมกันกับสนามแม่เหล็กของอาร์มเจอร์ทำให้เกิดแรงบิดขึ้น

2. ตัวหมุน (Rotor) ตัวหมุนหรือเรียกว่าโรเตอร์ตัวหมุนนี้ทำให้เกิดกำลังงานมีแกนวางอยู่ในตลับลูกปืน (Ball Bearing) ซึ่งประกอบอยู่ในแผ่นปิดหัวท้าย (End Plate) ของมอเตอร์



รูปที่ 2-22 Construction of DC Motor : Armature
(ที่มา : Electrical4U.com, 11 December 2016)

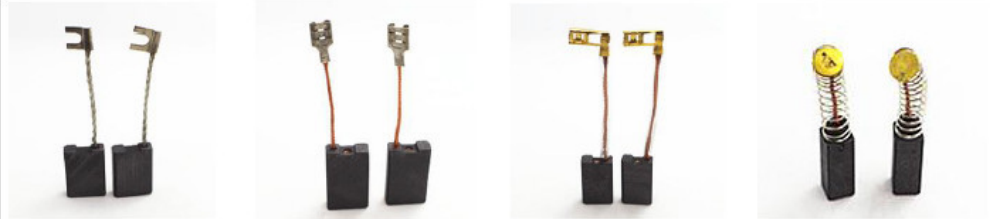
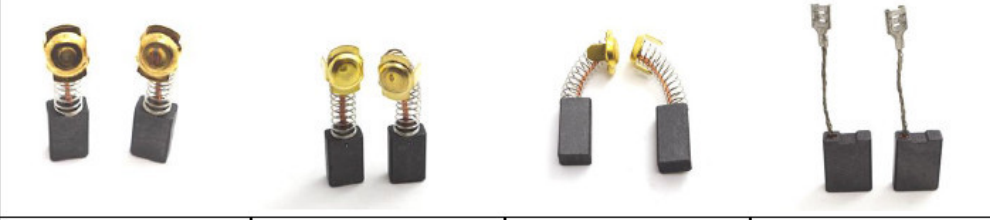
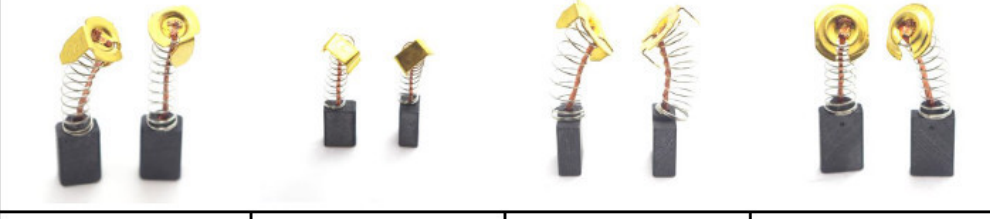
2.1 แกนเพลลา (Shaft) เป็นตัวสำหรับยึดคอมมิวเตเตอร์และยึดแกนเหล็กอาร์มาเจอร์ (Armature Core) ประกอบเป็นตัวโรเตอร์แกนเพลลานี้จะวางอยู่บนแบร์ริง เพื่อบังคับให้หมุนอยู่ในแนวหนึ่งไม่มีการสั่นสะเทือนได้

2.2 แกนเหล็กอาร์มาเจอร์ (Armature Core) ทำด้วยแผ่นเหล็กบางอาบฉนวน (Laminated Sheet Steel) เป็นที่สำหรับพันขดลวดอาร์มาเจอร์ซึ่งสร้างแรงบิด (Torque)

2.3 คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) ทำด้วยทองแดงออกแบบเป็นซี่แต่ละซี่จะมีฉนวนไมก้า (Mica) คั่นระหว่างซี่ของคอมมิวเตเตอร์นั้น ส่วนหัวซี่ของคอมมิวเตเตอร์ จะมีร่องสำหรับใส่ปลายสาย ของขดลวดอาร์มาเจอร์ ตัวคอมมิวเตเตอร์นี้อัดแน่นติดกับแกนเพลลา เป็นรูปกลมทรงกระบอก มีหน้าที่สัมผัสกับแปรงถ่าน (Carbon Brushes) เพื่อรับกระแสจากสายป้อนเข้าไปยังขดลวดอาร์มาเจอร์เพื่อสร้างเส้นแรงแม่เหล็กอีกส่วนหนึ่งให้เกิดการหักล้างและเสริมกันกับเส้นแรงแม่เหล็กอีกส่วน ซึ่งเกิดจากขดลวดขั้วแม่เหล็ก ดังกล่าวมาแล้วเรียกว่าปฏิกิริยามอเตอร์ (Motor Action)

2.4 ขดลวดอาร์มาเจอร์ (Armature Winding) เป็นขดลวดพันอยู่ในร่องสลอต (Slot) ของแกนอาร์มาเจอร์ ขนาดของลวดจะเล็กหรือใหญ่และจำนวนรอบจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับวิธีการออกแบบของตัวโรเตอร์ชนิดนั้นๆ เพื่อที่จะให้เหมาะสมกับงานต่างๆ ที่ต้องการ (สำนักบริหารจัดการน้ำ กรมทรัพยากรน้ำ กระทรวงทรัพยากร ธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 11 ธันวาคม 2559)

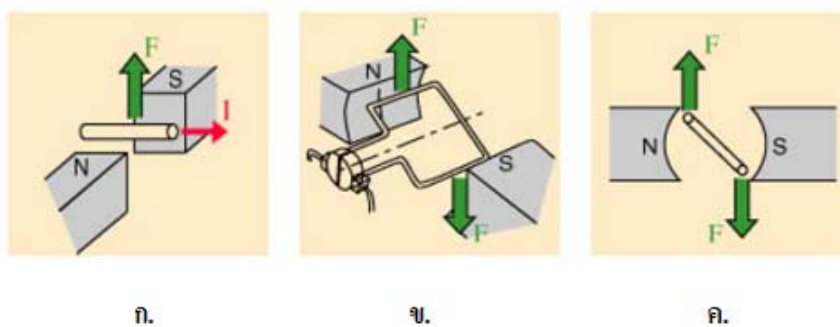
2.5 แปรงถ่าน (Brushes) ทำด้วยคาร์บอนมีรูปร่างเป็นแท่งสี่เหลี่ยมผืนผ้าในช่องแปรงมีสปริงกดอยู่ด้านบนเพื่อให้ถ่านนี้สัมผัสกับซี่คอมมิวเตเตอร์ตลอดเวลาเพื่อรับกระแสและส่งกระแสไฟฟ้าระหว่างขดลวดอาร์มาเจอร์ กับวงจรไฟฟ้าจากภายนอก ถือถ้าเป็นมอเตอร์กระแสไฟฟ้าตรงจะทำหน้าที่รับกระแสจากภายนอกเข้าไปยังคอมมิวเตเตอร์ให้ลวดอาร์มาเจอร์เกิดแรงบิดทำให้มอเตอร์หมุนได้

Bosch				
	Model No.	1 607 014 103(E64)	1 607 014 130(A65)	1 607 014 138 410(A77)
	Size	6.3x16x22	6.3x16x22	5x10x17.5
Hitachi				
	Model No.	999033	999043	999020
	Size	7x11x18.5/17	7x11x18.5/18	7x11x18.5
Makita				
	Model No.	CB-9	CB-70	CB-204
	Size	5X8X13	5X8X11	7X18X18/16
				CB-303
				5X11X19/16.7

รูปที่ 2-23 Brushes of DC Motor
(ที่มา : Brushes of DC Motor. 15 December 2016)

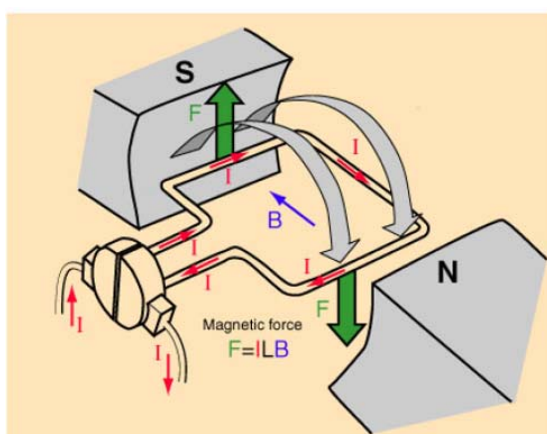
3. หลักการของมอเตอร์กระแสไฟฟ้าตรง (Motor Action)

หลักการของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Motor Action) เมื่อเป็นแรงดันกระแสไฟฟ้าตรงเข้าไปในมอเตอร์ ส่วนหนึ่งจะ แปรงผ่านผ่านคอมมิวเตเตอร์เข้าไปในขดลวดอาร์มาเจอร์สร้างสนามแม่เหล็กขึ้นและกระแสไฟฟ้าอีกส่วนหนึ่งจะไหลเข้าไปในขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field coil) สร้างขั้วเหนือ-ใต้ขึ้น จะเกิดสนามแม่เหล็ก 2 สนามในขณะเดียวกัน ตามคุณสมบัติของเส้นแรงแม่เหล็ก จะไม่ตัดกันทิศทางตรงข้ามจะหักล้างกันและทิศทางเดียวจะเสริมแรงกัน ทำให้เกิดแรงบิดในตัวอาร์มาเจอร์ ซึ่งวางแกนเพลตาและแกนเพลตานี้ สวมอยู่กับตลับลูกปืนของมอเตอร์ ทำให้อาร์มาเจอร์นี้หมุนได้ ขณะที่ตัวอาร์มาเจอร์ทำหน้าที่หมุนได้นี้เรียกว่า โรเตอร์ (Rotor) ซึ่งหมายความว่า ตัวหมุน การที่อำนาจเส้นแรงแม่เหล็กทั้งสองมีปฏิกิริยาต่อกัน ทำให้ขดลวดอาร์มาเจอร์หรือโรเตอร์ หมุนไปนั้นเป็นไปตามกฎซ้ายของเฟลมมิง (Fleming's Left Hand Rule)



รูปที่ 2-24 การทำงานมอเตอร์กระแสตรง

(ที่มา : งานไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น. 11 ธันวาคม 2559)



รูปที่ 2-25 การทำงานมอเตอร์กระแสตรง

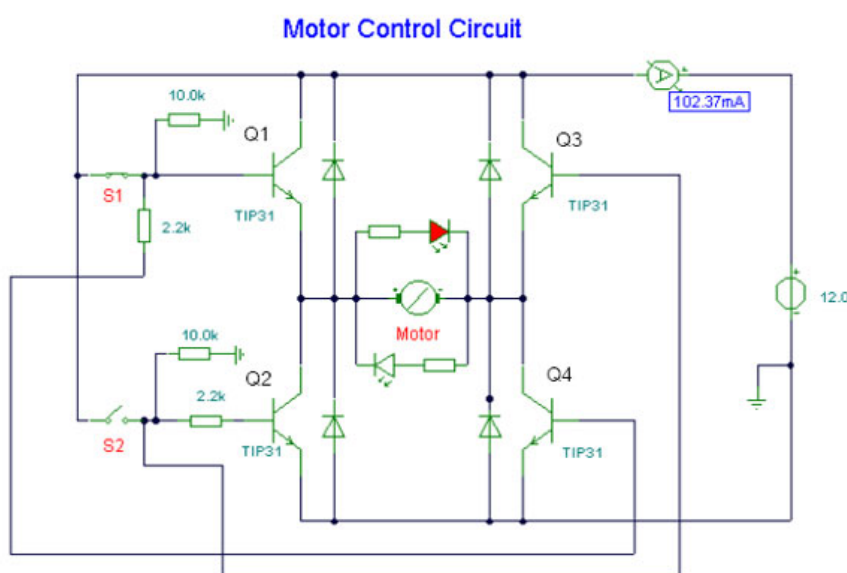
(ที่มา : งานไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น. 11 ธันวาคม 2559)

2.4.4 วงจรขับมอเตอร์

โดยทั่วไปการควบคุมมอเตอร์จะควบคุมองค์ประกอบ 3 ประการคือ

1. ควบคุมความเร็วของมอเตอร์ (Speed Control)
2. ควบคุมแรงบิดของมอเตอร์ (Torque Control)
3. ควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์ (Direction Control)

การควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสตรงนั้น จะทำได้โดยการปรับแรงดันที่จ่ายให้มอเตอร์ ส่วนการควบคุมแรงบิด ทำโดยการควบคุมกระแสที่ผ่านขดลวดอาร์เมเจอร์และที่จ่ายให้กับขดลวดสเตเตอร์ ในกรณีสเตเตอร์แบบใช้ขดลวดพัน สำหรับการควบคุมการหมุนหรือการสลับทิศทางการหมุนนั้น ในกรณีมอเตอร์ไฟตรง สามารถทำได้โดยการสลับขั้วแหล่งจ่ายไฟ ที่จ่ายให้แก่มอเตอร์ สำหรับกรณีของ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก แบบใช้แม่เหล็กถาวรเป็น สเตเตอร์ จะไม่สามารถควบคุมอะไรได้มากนัก โดยการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ จะถูกจำกัดด้วยขนาดแรงดัน โดยสามารถปรับได้ไม่เกินค่าแรงดันสูงสุดที่จ่ายให้มอเตอร์ ส่วนการควบคุมแรงบิด อาจทำโดยใช้ตัวต้านทานปรับค่าแบบขดลวด (Wire Wound Resistor) แต่ก็เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ตัวต้านทาน ฉะนั้นในปัจจุบัน จึงมักนิยมใช้การควบคุม ด้วยวงจรพัลส์วิธมอดูเลเตอร์ (Pulse Width Modulator) ซึ่งจะใช้วิธีจ่ายไฟให้แก่มอเตอร์เป็นช่วงๆ โดยการควบคุมแรงดัน คือ การปรับช่วงกว้างของพัลส์ที่จ่ายให้นั่นเอง ซึ่งวิธีนี้จะทำให้ลดกำลังสูญเสียได้มาก สำหรับการกลับทางหมุนของมอเตอร์ อาจใช้วิธีสลับขั้วด้วยมือหรือใช้วงจรรีเลย์หรืออิเล็กทรอนิกส์เข้าไปควบคุม



รูปที่ 2-26 วงจรควบคุมมอเตอร์กระแสตรง

(ที่มา : งานไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น, 11 ธันวาคม 2559)

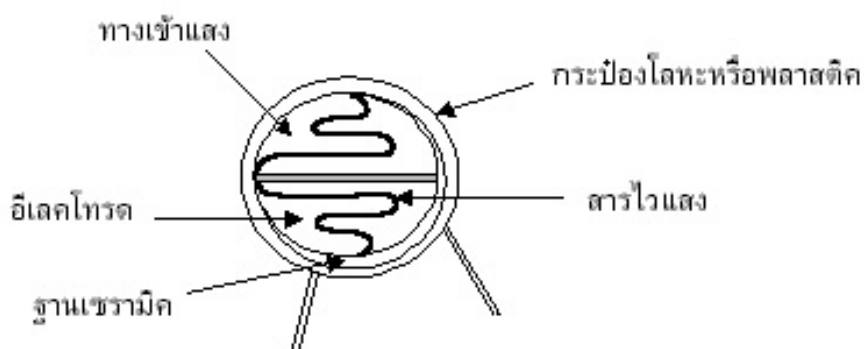
2.4.5 อุปกรณ์ตรวจจับแสง

เซนเซอร์แสง (Optical Sensor) คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานหรือการนำไฟฟ้า ที่ไหลผ่านตัวมันได้ เมื่อมีแสงมาตกกระทบ มีหลายชนิด ดังนี้ (สนธยา นงนุช. 11 ธันวาคม 2559)

ตัวต้านทานแปรค่าตามแสง หรือ LDR (ย่อมาจาก Light Dependent Resistor) คือ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ตรวจจับแสง โดยหากมีแสงมาตกกระทบน้อย จะทำให้มีความต้านทานมากและหากมีแสงมาตกกระทบมาก ความต้านทานจะน้อยลง LDR ทำมาจากสารแคดเมียมซัลไฟด์ (Cds) หรือแคดเมียมซีลีไนด์ (Cdse) ซึ่งเป็นสารประกอบชนิดกึ่งตัวนำมาฉาบบนแผ่นเซรามิกที่ใช้เป็นฐานรอง แล้วต่อขาจากสารที่ฉาบเอาไว้ออกมาดังโครงสร้างรูปที่ 2-27 ถึงรูปที่ 2-28



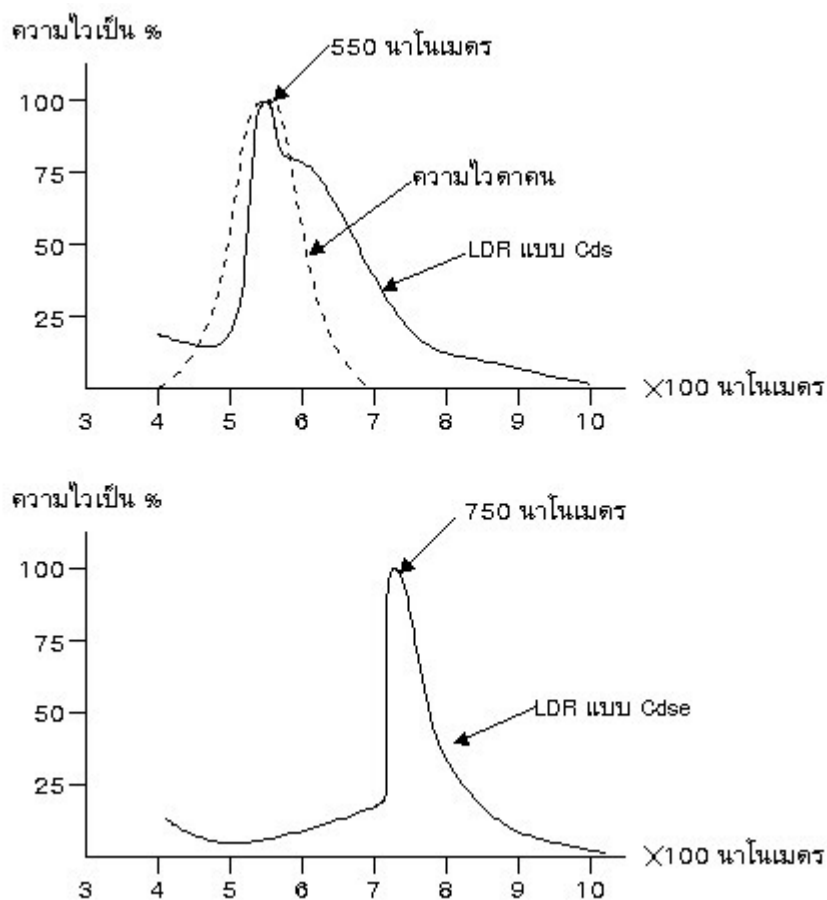
รูปที่ 2-27 ตัวอย่างตัวเซนเซอร์แสง LDR
(ที่มา : สนธยา นงนุช. 11 ธันวาคม 2559)



รูปที่ 2-28 โครงสร้างเซนเซอร์แสง LDR
(ที่มา : หัสชัย ลิขธิรักษ์. 6 ธันวาคม 2559)

1. คุณสมบัติทางแสง

LDR ไวต่อแสงในช่วงคลื่น 400-1000 นาโนเมตร (1 นาโนเมตร = 10^{-9} เมตร) ซึ่งครอบคลุมช่วงคลื่นที่ไวต่อตาคน (400-700 นาโนเมตร) นั่นคือ LDR ไวต่อแสงอาทิตย์และแสงจากหลอดไส้ หรือ หลอดเรืองแสงและยังไวต่อแสงอินฟราเรดที่ตามองไม่เห็นอีกด้วย (ช่วงคลื่นตั้งแต่ 700 นาโนเมตรขึ้นไป) (หัสชัย สิทธิรักษ์. 6 ธันวาคม 2559)

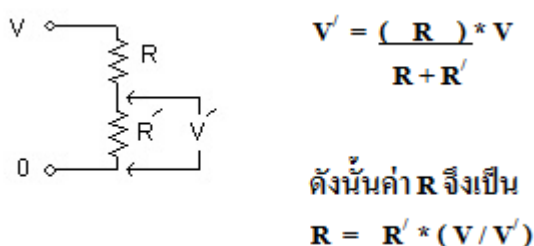


รูปที่ 2-29 คุณสมบัติเซนเซอร์แสง LDR

(ที่มา : หัสชัย สิทธิรักษ์. 6 ธันวาคม 2559)

2. คุณสมบัติทางไฟฟ้า อัตราส่วนของความต้านทาน LDR ขณะที่ไม่มีแสงกับในขณะที่มีแสง อาจมีค่าต่างกัน 100, 1,000, 10,000 เท่า แล้วแต่แบบหรือรุ่น ความต้านทานในขณะไม่มีแสงจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 0.5 MW ขึ้นไป และความต้านทานขณะที่มีแสงจะอยู่ในช่วงตั้งแต่ 10 KW ลงมาทนแรงดันสูงสุดได้มากกว่า 100 โวลท์ และทนกำลังไฟได้ประมาณ 50 mW

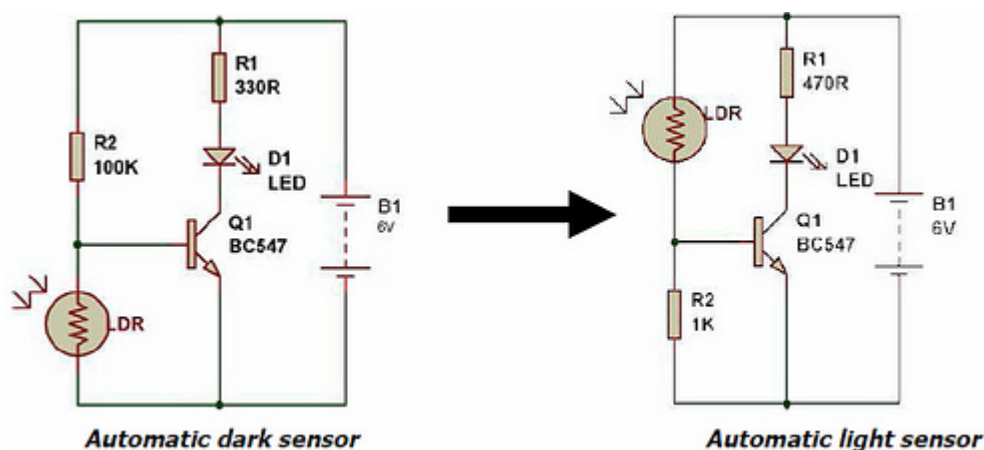
3. การวัดความต้านทานของ LDR เนื่องจาก LDR ทนกำลังไฟฟ้าได้เพียงประมาณ 50 mW ดังนั้นถ้าใช้โอห์มมิเตอร์สเกล Rx1 วัดความต้านทานของ LDR อาจทำความเสียหายให้กับ LDR ได้ โดยอาจวัดความต้านทานของ LDR ได้โดยอ้อมดังนี้



รูปที่ 2-30 การหาค่าความต้านทาน LDR

(ที่มา : หัสชัย สิทธิรักษ์. 6 ธันวาคม 2559)

การใช้งานเซนเซอร์ LDR นิยมทำหลายๆ แบบ เช่น เครื่องวัดแสง สวิตช์ทำงานด้วยแสง สำหรับการเปิด-ปิด ไฟฟ้า ด้วยแสง การควบคุมมอเตอร์ด้วยแสง ตัวอย่างดังรูปที่ 2-31



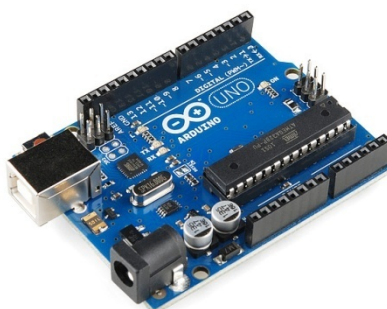
รูปที่ 2-31 การใช้งาน LDR เป็นสวิตช์เปิด-ปิดด้วยแสง

(ที่มา : BuildCircuit, Australia. 15 December 2016)

2.5 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO

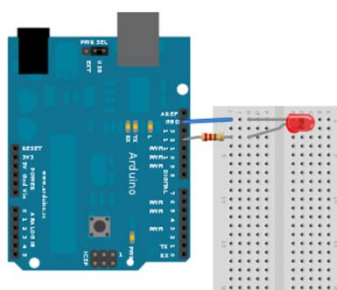
2.5.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino

Arduino อ่านว่า อา-ดู-อี-โน้ หรือ อาดูยโน้ เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ Open Source คือ มีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้านฮาร์ดแวร์ (Hardware) และซอฟต์แวร์ (Software) ตัวบอร์ด Arduino ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นศึกษา ทั้งนี้ผู้ใช้งานยังสามารถดัดแปลงเพิ่มเติม พัฒนาต่อยอดทั้งตัวบอร์ดหรือโปรแกรมต่อได้อีกด้วย (บริษัท วินัส ชัพพลาย จำกัด. 14 ธันวาคม 2559)

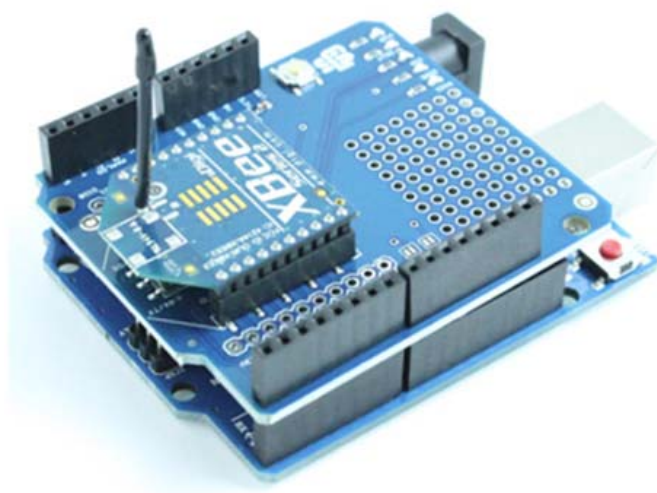


รูปที่ 2-32 บอร์ด Arduino UNO
(ที่มา : บริษัท วินัส ชัพพลาย จำกัด. 14 ธันวาคม 2559)

ความสะดวกของบอร์ด Arduino ในการต่ออุปกรณ์เสริมต่างๆ คือผู้ใช้งานสามารถต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์จากภายนอกแล้วเชื่อมต่อเข้ามาที่ขา I/O ของบอร์ด รูปที่ 2-33 หรือเพื่อความสะดวกสามารถเลือกต่อกับบอร์ดเสริม (Arduino Shield) ประเภทต่างๆ รูปที่ 2-34 เช่น Arduino XBee Shield, Arduino Music Shield, Arduino Relay Shield, Arduino Wireless Shield, Arduino GPRS Shield เป็นต้น มาเทียบกับบอร์ดบนบอร์ด Arduino แล้วเขียนโปรแกรมพัฒนาต่อได้เลย



รูปที่ 2-33 การเชื่อมต่อบอร์ด Arduino กับหลอด LED
(ที่มา : บริษัท วินัส ชัพพลาย จำกัด. 14 ธันวาคม 2559)



รูปที่ 2-34 การเชื่อมต่อบอร์ด Arduino กับบอร์ดเสริม XBee Shield
(ที่มา : บริษัท วินัส ชัพพลาย จำกัด. 14 ธันวาคม 2559)

จุดเด่นที่ทำให้บอร์ด Arduino เป็นที่นิยมมีดังนี้ (บริษัท วินัส ชัพพลาย จำกัด. 14 ธันวาคม 2559)

1. ง่ายต่อการพัฒนา มีรูปแบบคำสั่งพื้นฐาน ไม่ซับซ้อนเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้น
2. มี Arduino Community กลุ่มคนที่ร่วมกันพัฒนาที่แข็งแกร่ง
3. Open Hardware ทำให้ผู้ใช้สามารถนำบอร์ดไปต่อยอดใช้งานได้หลายด้าน
4. ราคาไม่แพง
5. Cross Platform สามารถพัฒนาโปรแกรมบน OS ใดก็ได้

ตำแหน่ง Layout & Pin out Arduino Board (Model: Arduino UNO R3) มีดังนี้

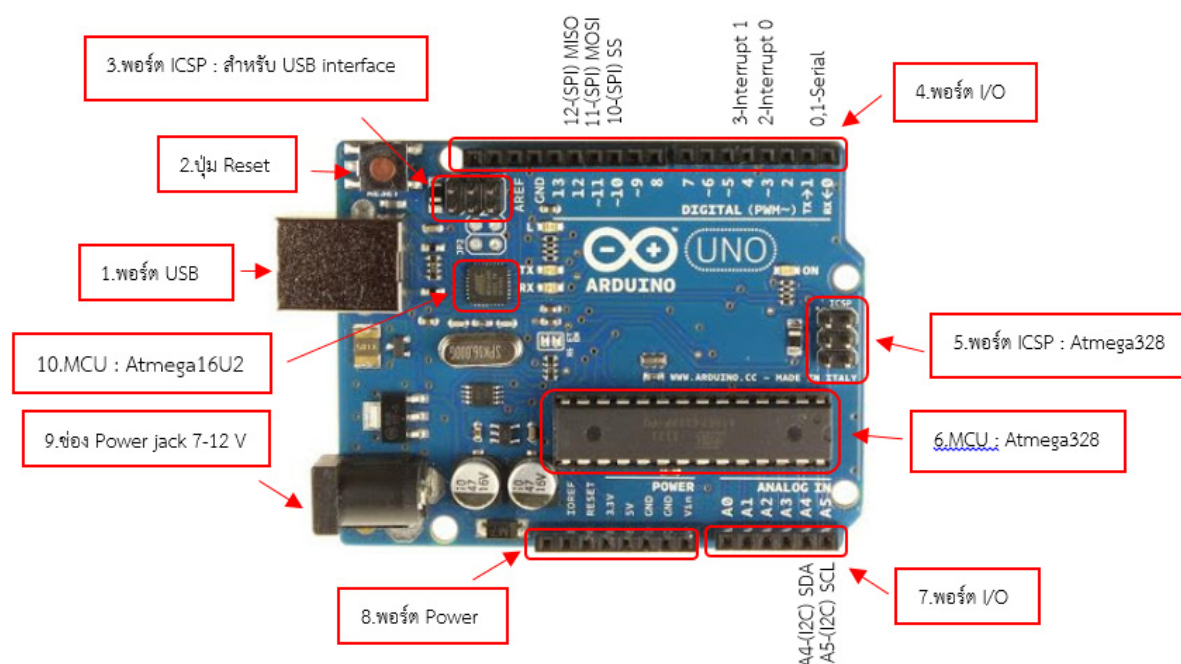
1. USB Port : ใช้สำหรับต่อกับ Computer เพื่ออัปโหลดโปรแกรมเข้า MCU และจ่ายไฟให้กับบอร์ด

2. Reset Button : เป็นปุ่ม Reset ใช้กดเมื่อต้องการให้ MCU เริ่มการทำงานใหม่

3. ICSP Port ของ Atmega16U2 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Visual Com port บน Atmega16U2

4. I/O Port : Digital I/O ตั้งแต่ขา D0 ถึง D13 นอกจากนี้ บาง Pin จะทำหน้าที่อื่นๆ เพิ่มเติมด้วย เช่น Pin 0,1 เป็นขา Tx, Rx Serial, Pin3,5,6,9,10 และ 11 เป็นขา PWM

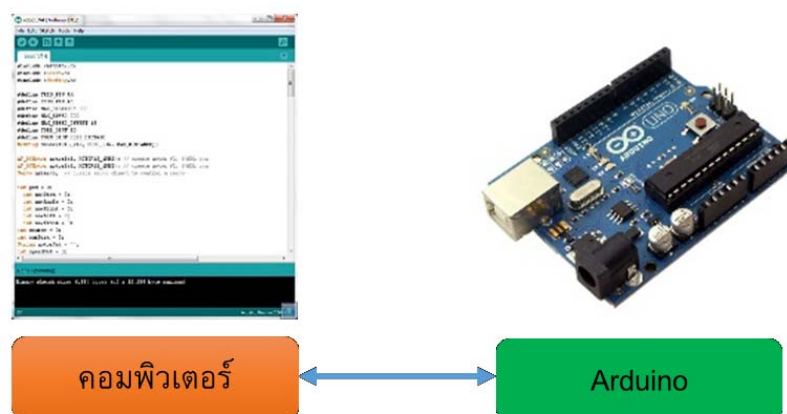
5. ICSP Port : Atmega328 เป็นพอร์ตที่ใช้โปรแกรม Bootloader
6. MCU : Atmega328 เป็น MCU ที่ใช้บนบอร์ด Arduino
7. I/O Port : นอกจากจะเป็น Digital I/O แล้ว ยังเปลี่ยนเป็นช่องรับสัญญาณอนาล็อก ตั้งแต่ขา A0-A5
8. Power Port : ไฟเลี้ยงของบอร์ดเมื่อต้องการจ่ายไฟให้กับวงจรภายนอก ประกอบด้วยขาไฟเลี้ยง +3.3V, +5V, GND, V_{in}
9. Power Jack : รับไฟจาก Adapter โดยที่แรงดันอยู่ระหว่าง 7-12 V
10. MCU ของ Atmega16U2 เป็น MCU ที่ทำหน้าที่เป็น USB to Serial โดย Atmega328 จะติดต่อกับ Computer ผ่าน Atmega16U2



รูปที่ 2-35 ตำแหน่ง Layout & Pin out Arduino Board
(ที่มา : บริษัท วินัส ชัพพลาย จำกัด. 14 ธันวาคม 2559)

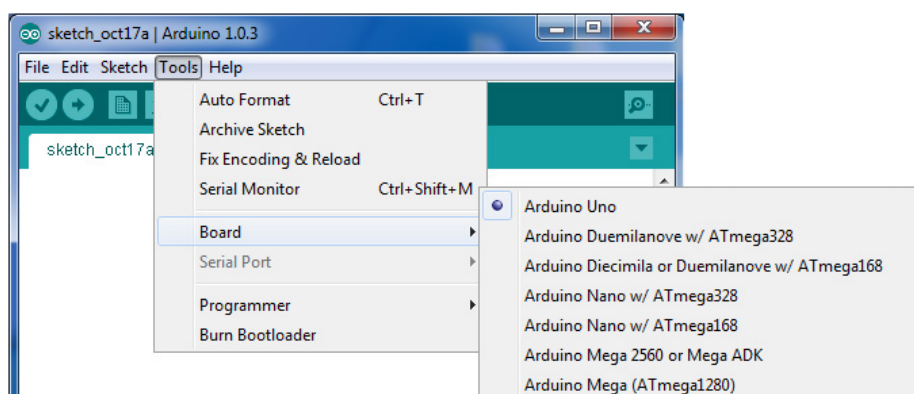
2.5.2 การเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino

สำหรับการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ผู้เขียนต้องทำการเชื่อมต่อให้คอมพิวเตอร์ติดต่อกับบอร์ด Arduino และกำหนดพอร์ตเชื่อมต่อให้เรียบร้อยก่อนการเขียนโปรแกรม จะมีขั้นตอนการเขียนโปรแกรมเบื้องต้นดังนี้

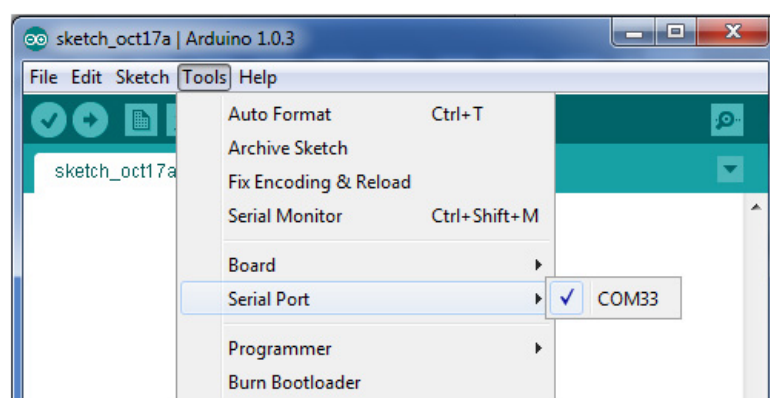


รูปที่ 2-36 การเชื่อมต่อบอร์ด Arduino กับคอมพิวเตอร์
(ที่มา : บริษัท วินัส ซัพพลาย จำกัด. 14 ธันวาคม 2559)

1. เขียนโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์ ผ่านทางโปรแกรม ArduinoIDE ซึ่งสามารถดาวน์โหลดได้จาก Arduino.cc/en/main/software
2. หลังจากที่เราเขียนโค้ดโปรแกรมเรียบร้อยแล้ว ให้ผู้ใช้งานเลือกรุ่นบอร์ด Arduino ที่ใช้และหมายเลข Com port

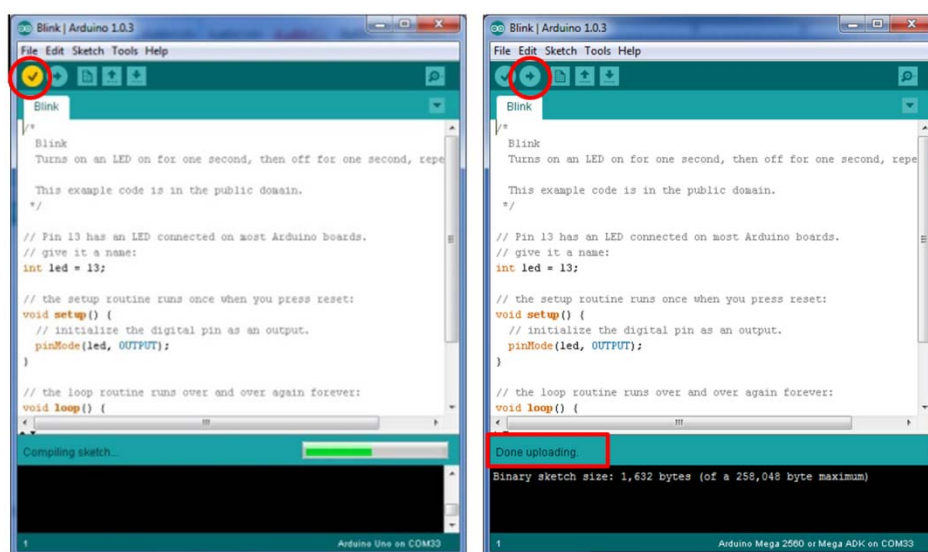


รูปที่ 2-37 การเลือกรุ่นของบอร์ด Arduino ที่ต้องการ Upload หลังจากการเขียนโปรแกรม



รูปที่ 2-38 การเลือกหมายเลขพอร์ตของบอร์ด Arduino ที่ใช้สำหรับการ Upload

3. หลังจากเลือกเสร็จให้กดปุ่ม Verify เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของพอร์ตและหลังการเขียนโค้ดโปรแกรมเสร็จทำการ Compile จากนั้นกดปุ่ม Upload โค้ด โปรแกรมไปยังบอร์ด Arduino ผ่านทางสาย USB เมื่ออัปโหลดเรียบร้อยแล้ว จะแสดงข้อความแถบข้างล่าง “Done uploading” และบอร์ดจะเริ่มทำงานตามที่เขียนโปรแกรมไว้ได้ทันที



ก

ข

รูปที่ 2-39 เลือกตรวจสอบการตั้งค่า

ก. ตรวจสอบการตั้งค่าพอร์ตการเชื่อมต่อบอร์ด Arduino

ข. การ Upload โค้ดโปรแกรม

(ที่มา : บริษัท วินัส ซัพพลาย จำกัด. 14 ธันวาคม 2559)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ณรัต ลีอวรศิริกุลและคณะ. 2555. รายงานการวิจัยเรื่อง ศึกษาความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบในพื้นที่มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

บทคัดย่อ งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นที่มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา ในการดำเนินการดังกล่าว ผู้วิจัยได้ทำการวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์โดยการตั้งสถานีวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ณ อาคาร 26 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา ซึ่งประกอบด้วยสองส่วนหลักคือ หัววัดรังสีรวมดวงอาทิตย์ CMP11 ซึ่งตั้งที่ดาดฟ้าของอาคารและเครื่องบันทึกข้อมูล DX2000 ที่เก็บอยู่ภายในอาคาร โดยเก็บข้อมูลเป็นระยะเวลาหนึ่งปี ผลการศึกษาพบว่า การแปรค่าของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์กับเวลาในแต่ละวันในหนึ่งเดือนพบว่าโดยทั่วไปในเวลาประมาณเที่ยงวันจะได้รับความเข้มรังสีรวมมากที่สุดประมาณ 800-900 W/m² โดยเดือนเมษายนได้รับพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยต่อวันมากที่สุดถึง 21.5 MJ/m²-day นอกจากนี้สามารถคำนวณปริมาณรังสีรวมที่ได้รับทั้งหมดรายวันเฉลี่ยรายปีประจำปี พ.ศ.2555 ได้ค่าประมาณ 16.6 MJ/m²-day

ข้อเสนอแนะ

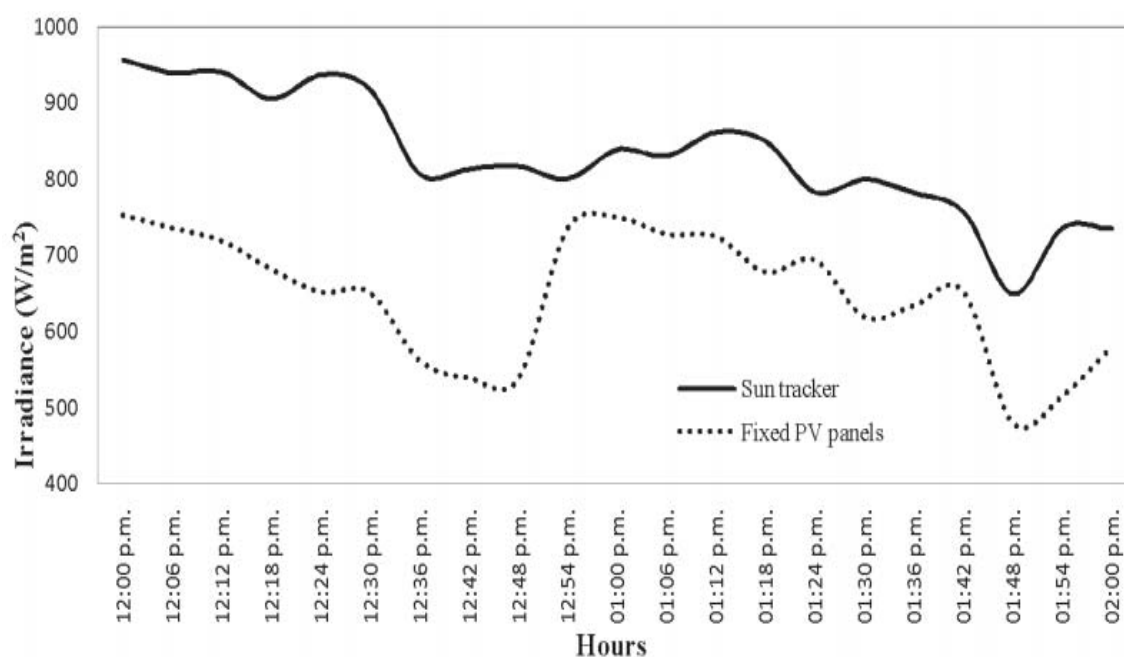
1. ปริมาณรังสีรวมที่ได้รับทั้งหมดรายวันเฉลี่ยรายปีประจำปี พ.ศ.2555 ได้ค่าประมาณ 16.6 MJ/m²-day ซึ่งเหมาะสำหรับการประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ไปใช้เป็นพลังงานทางเลือกทดแทนพลังงานฟอสซิลหรือพลังงานที่ใช้แล้วหมดไปต่างๆ ที่มีแนวโน้มจะหายากและแพงขึ้น

2. การประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์เพื่อเป็นพลังงานทางเลือกหรือการออกแบบติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ในพื้นที่ใดๆ จำเป็นต้องทราบศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของพื้นที่นั้น เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการเก็บข้อมูลหนึ่งปี

ดังนั้นอาจใช้เป็นตัวแทนของศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทาได้ไม่ดีเท่าที่ควร จึงจำเป็นต้องทำการวัดและบันทึกข้อมูลต่อไปอย่างน้อย 5 ปีเพื่อหาชุดข้อมูลตัวแทนสำหรับศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทาได้

D. Kang, E. A. Martínez and E. Chaparro, “Solar Tracker System Based on a Digital Heuristic Controller”, Paper accepted for presentation at the 2011 IEEE Trondheim PowerTech, 2011.

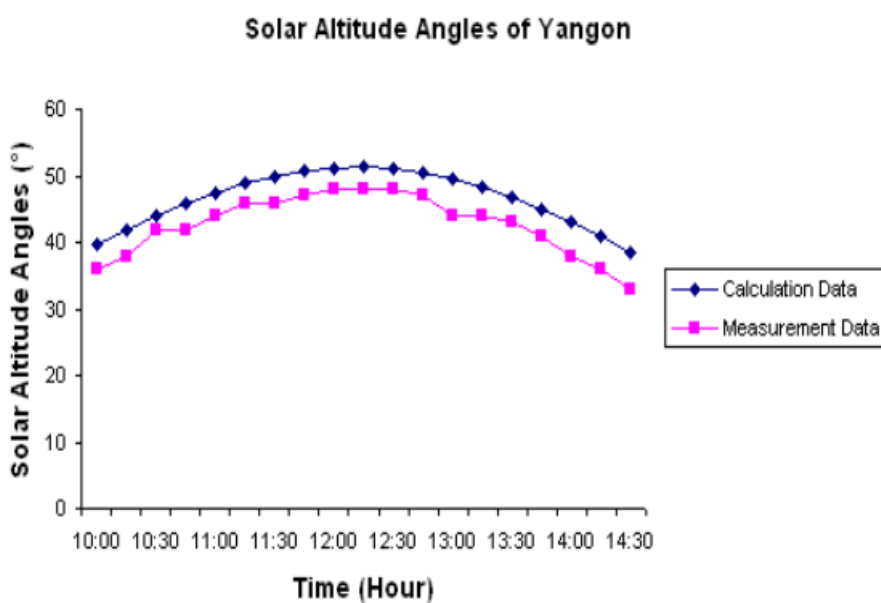
ผู้จัดทำได้เสนอวิธีการควบคุมการหมุนของแผงโซลาร์เซลล์ด้วยวิธีการ Heuristic Controller โดยการหาจุดต่างของแสงที่ตกกระทบไปยังอุปกรณ์เซนเซอร์ทั้ง 5 จุดโดยกำหนดจุดอ้างอิง 1 จุดและกำหนดจุดเปรียบเทียบ 4 จุดรอบๆ แต่ละจุดแบ่งออกเป็น 4 ด้านเพื่อรองรับแสงที่จะตกกระทบเซนเซอร์และนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าจุดศูนย์กลางที่ตั้งไว้ เมื่อจุดทั้ง 4 จุดได้รับแสงจากดวงอาทิตย์จะนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบเพื่อหาค่าสูงสุดที่ได้และปรับแผงโซลาร์เซลล์ไปยังตำแหน่งที่ทำให้ค่าของความเข้มแสงที่ตกกระทบเซนเซอร์ไม่แตกต่างกันมากเกินไป ค่าที่ได้จากอุปกรณ์เซนเซอร์ดังกล่าวจะมีสถานะเป็นสัญญาณอนาล็อก เมื่อข้อมูลเริ่มส่งสัญญาณมาจะเปลี่ยนเป็นสัญญาณดิจิทัลส่งไปควบคุมชุดหมุนแกนสำหรับปรับแผงโซลาร์เซลล์ ผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์ ไปควบคุมสเต็ปเปอร์มอเตอร์ ปรับได้ 2 ระดับและจะปรับไปเรื่อยๆ ตามวงโคจรของแสงอาทิตย์ ผลการทดลองระดับค่าพลังงานที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์มีปริมาณเพิ่มขึ้นแสดงดังรูปที่ 2-40



รูปที่ 2-40 การเปรียบเทียบค่าระหว่างการใช้ Sun Tracker และ แบบ Fixed PV
(ที่มา : D. Kang, E. A. Martínez and E. Chaparro, 2011)

Lwin Lwin Oo and Nang Kaythi Hlaing, “Microcontroller-Based Two-Axis Solar Tracking System”, Second International Conference on Computer Research and Development. 2010.

จุดประสงค์ของโครงการนี้เพื่อพัฒนาและสร้างต้นแบบของการควบคุมการหมุนแกนควบคุมงานสำหรับรับแสงอาทิตย์โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC ส่วนประกอบของชุดควบคุมแผงรับแสงอาทิตย์ผู้คิดค้นได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ 1. การคำนวณค่าระดับของมุมสำหรับรับพลังงานที่ได้จากแสงอาทิตย์และ 2. การใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมงานสำหรับรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ ณ จุดที่ได้รับพลังงานสูงที่สุดโดยการวัดค่าอุณหภูมิเป็นหลักและขยับตามดวงอาทิตย์ไปเรื่อยๆ ในที่นี้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ PIC 16F84A ใช้ชุดมอเตอร์เกียร์ 12Vdc 6W ใช้ชุดเซนเซอร์ LDR จำนวน 5 จุด ผลการทดลองปรากฏว่าวิธีการที่นำเสนอจะใช้มุมจริงจากการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมจะน้อยกว่าการคำนวณ ดังรูปที่ 2-41

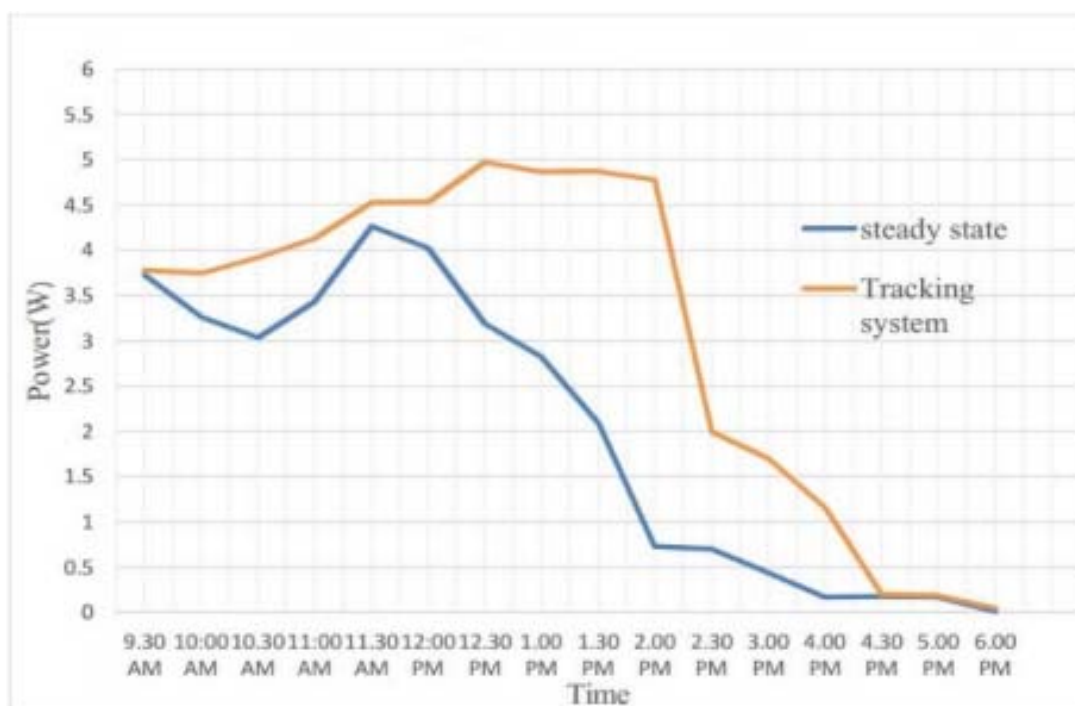


รูปที่ 2-41 ค่าตำแหน่งมุมของแผงงานโซลาร์เซลล์ด้วยวิธีการคำนวณและวิธีการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุม

(ที่มา : Lwin Lwin Oo and Nang Kaythi Hlaing. 2010)

Nipu Datta, Muhammad Najebul Ahmed, Roksana Liya, Nazia Zaman and Bishwajit B. Pathik, “Efficiency Improvement of a Solar Power Plant Using Combine Cycle: An Experimental Study on a Miniaturized Solar Power Station”, 2014 6th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE), Yogyakarta, Indonesia. 2014.

ผู้วิจัยได้เสนอเทคนิคใหม่ในการเพิ่มปริมาณประสิทธิภาพการรับพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์โดยใช้ประโยชน์จากปริมาณความร้อนของแสงอาทิตย์ที่ส่งลงมา ผู้วิจัยกำหนดตำแหน่งรับแสงอาทิตย์ 6 จุด โดยแต่ละจุดใช้ชุดควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO บอร์ด Atmega320P เพื่อให้ทั้งหมดรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ได้สูงสุด ชุดควบคุมจะควบคุมการรับพลังงานของแต่ละแผงและนำพลังงานที่ได้มารวมกันให้ได้สูงสุดและส่งไปยังน้ำเพื่อทำให้น้ำรับความร้อนได้สูงสุด หลังจากรับความร้อนสูงสุดจะทำให้น้ำที่ได้มีปริมาณความร้อนและเกิดไอน้ำที่อุณหภูมิ 34.6°C มากพอที่จะไปขับ Turbine ผลิตกระแสไฟฟ้าต่อไป หลังจากทดลองผลปรากฏว่าค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้จากชุดที่ใช้การควบคุมการรับแสงอาทิตย์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ มีปริมาณกำลังไฟฟ้ามากกว่าแบบติดตั้งคงที่ 8.48 %

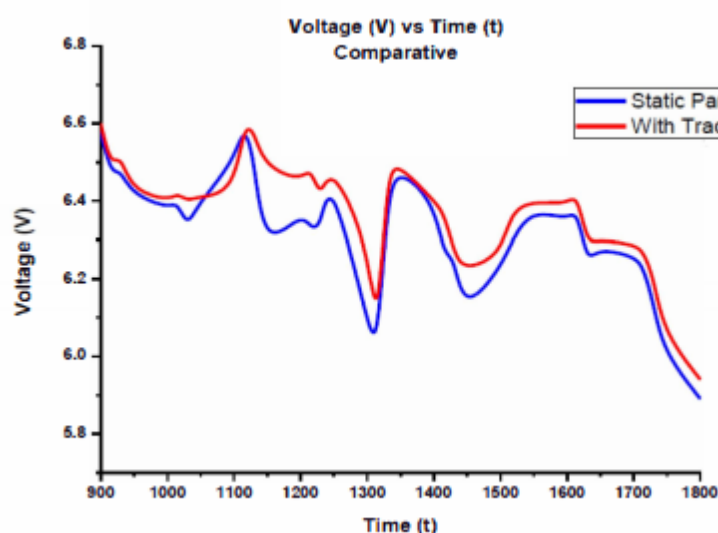


รูปที่ 2-42 ค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้รับจากการใช้แผงโซลาร์เซลล์แบบคงที่และแบบการควบคุมการหมุน
(ที่มา : Nipu Datta, Muhammad Najebul Ahmed, Roksana Liya, Nazia Zaman and Bishwajit B.

Pathik. 2014)

Zolkapli, M, AI-Junid S. A. M., Othman Z., Manut, A., Mohd Zulkifli M. A., “High-Efficiency Dual-Axis Solar Tracking Development using Arduino,” 2013 International Conference on Technology, Informatics, Management, Engineering & Environment (TIME-E 2013) Bandung, Indonesia, June 23-26. 2013.

การใช้งานพลังงานทดแทนมีปริมาณเพิ่มขึ้น ในบริเวณที่ห่างไกลและยังมีผลไปยังสภาพแวดล้อมและเศรษฐกิจที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ พลังงานแสงอาทิตย์ก็เป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่มีความสำคัญและยังเป็นพลังงานทดแทนแรกๆ ที่จะนึกถึง บทความวิจัยนี้จึงเป็นอีกหนึ่งที่ได้เสนอวิธีการออกแบบและพัฒนาเครื่องมือเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพชุดควบคุมการรับพลังงานแสงอาทิตย์แบบสองแกนโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino ควบคุม จนทำให้ได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์สูงสุด ผู้วิจัยแบ่งชุดการควบคุมออกเป็น 2 ส่วนคือส่วนที่เป็นฮาร์ดแวร์และส่วนที่เป็นซอฟต์แวร์ โดยส่วนที่เป็นฮาร์ดแวร์จะใช้อุปกรณ์เซนเซอร์ (LDR) สำหรับตรวจสอบแสงอาทิตย์ นำค่าที่ได้ไปควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ 2 ตัว ให้หมุนแผงโซลาร์เซลล์ไปยังตำแหน่งที่ได้รับแสงอาทิตย์สูงสุด ส่วนที่เป็นซอฟต์แวร์จะใช้ภาษา C เขียนเพื่อควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino สำหรับสั่งการให้ประมวลผลจากอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ ผลการทดลองปรากฏว่าระดับพลังงานที่ใช้วิธีการควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์มีค่ามากกว่าแบบคงที่



รูปที่ 2-43 ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ระยะเวลา 15 นาที

(ที่มา : Zolkapli, M, AI-Junid S. A. M., Othman Z., Manut, A., Mohd Zulkifli M. A. 2013)

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยเรื่อง การพัฒนาชุดควบคุมการรับพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยเป็นการวิจัยเชิงทดลอง ผู้วิจัยได้แบ่งวิธีการดำเนินการวิจัยตามลำดับดังนี้

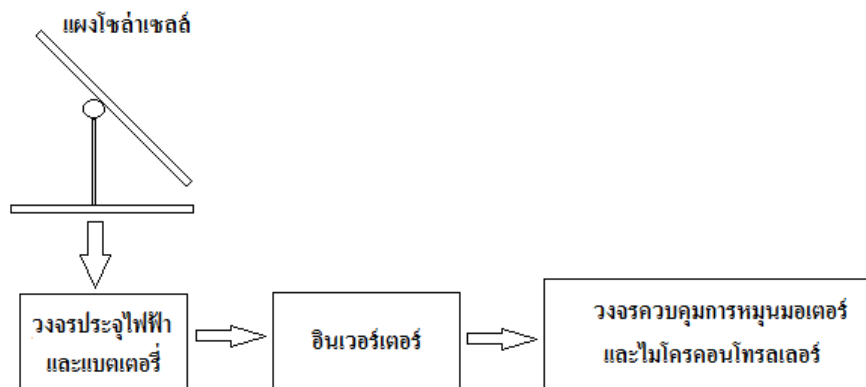
3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การพัฒนาชุดควบคุมการรับพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ผู้วิจัยได้กำหนดกรอบแนวคิดในการสร้างเครื่องควบคุมการรับพลังงานแสงอาทิตย์ดังภาพที่ 3-1 โดยกำหนดให้แผงโซลาร์เซลล์รับพลังงานจากดวงอาทิตย์เมื่อได้พลังงานแล้วจะส่งไปยังวงจรประจุไฟฟ้าและเก็บพลังงานดังกล่าวไว้ที่แบตเตอรี่ หลังจากนั้นจะเปลี่ยนพลังงานที่เก็บไว้ที่แบตเตอรี่ผ่านวงจรอินเวอร์เตอร์แปลงไฟฟ้ากระแสตรงไปเป็นไฟฟ้ากระแสสลับและส่งไปเลี้ยงวงจรควบคุมการหมุนมอเตอร์โดยผู้วิจัยใช้มอเตอร์กระแสตรง 12 โวลต์ จำนวน 2 ตัวเพื่อควบคุมการหมุนและทำการสลับขั้วมอเตอร์กระแสตรงดังกล่าวให้ทำงานคนละเวลา เมื่อมีแสงอาทิตย์ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะควบคุมการหมุนของมอเตอร์จำนวน 1 ตัวให้หมุนไปจนครบรอบและเมื่อไม่มีแสงอาทิตย์จะใช้มอเตอร์อีก 1 ตัวหมุนให้แผงโซลาร์เซลล์กลับไปยังจุดเริ่มต้นอีกครั้ง



รูปที่ 3-1 ไดอะแกรมการทำงานชุดควบคุมการรับพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

ผู้วิจัยได้แบ่งส่วนประกอบชุดการรับพลังงานแสงอาทิตย์ออกได้ดังนี้

3.1.1 โครงสร้างสำหรับรับแผงโซลาร์เซลล์



รูปที่ 3-2 ชุดโครงสร้างสำหรับรับแผงโซลาร์เซลล์และชุดวงจรขับมอเตอร์

3.1.2 แผงโซลาร์เซลล์ ผู้วิจัยเลือกใช้แผงโซลาร์เซลล์ชนิด Polycrystalline Silicon (โดยจะมีขายตามท้องตลาดทั่วไป) ขนาดกำลังไฟฟ้าสูงสุด 125 วัตต์ ค่าแรงดันสูงสุด 17.3 โวลท์ กระแสสูงสุด 7.23 แอมแปร์



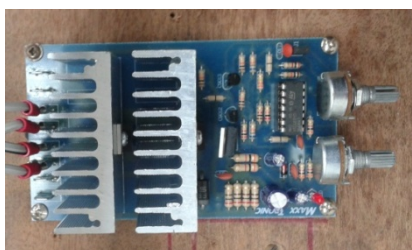
รูปที่ 3-3 แผงโซลาร์เซลล์ขนาดกำลังไฟฟ้า 125 วัตต์

3.1.3 มอเตอร์กระแสตรง 12 โวลต์ สำหรับหมุนแผงโซลาร์เซลล์ตามคำสั่งที่ได้รับจากชุดไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3-4 มอเตอร์กระแสตรง 12 โวลต์

3.1.4 ชุดวงจรขับมอเตอร์ 2 ช่อง สำหรับขับมอเตอร์กระแสตรงให้หมุนปรับให้แผงโซลาร์เซลล์ หมุนตามเงื่อนไขที่ได้รับจากชุดเซนเซอร์ LDR



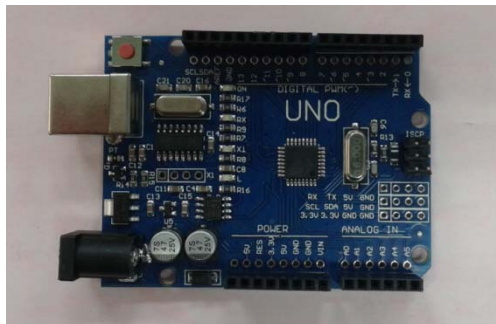
รูปที่ 3-5 ชุดวงจรขับมอเตอร์ 2 ช่อง

3.1.5 ชุดโซ่และเฟืองทด ขนาด 4 : 1 เพื่อให้มอเตอร์ทำงาน 4 รอบ เฟืองหมุน 1 รอบ



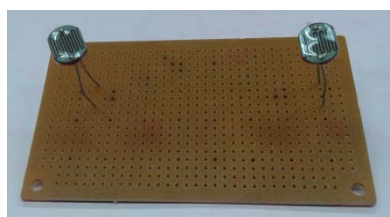
รูปที่ 3-6 ชุดโซ่และเฟืองทด

3.1.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO ชุดควบคุมการทำงานมอเตอร์กระแสตรง ควบคุมการหมุนแฉงโซล่าเซลล์



รูปที่ 3-7 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino UNO

3.1.7 ชุดเซนเซอร์ LDR จำนวน 2 ตัวเพื่อตรวจจับแสงอาทิตย์และเป็นชุดป้อนให้แก่ ไมโครคอนโทรลเลอร์ ARduino UNO ตัดสินใจ



รูปที่ 3-8 ชุดเซนเซอร์ LDR จำนวน 2 ตัว

3.1.8 อินเวอร์เตอร์ สำหรับเปลี่ยนกระแสไฟฟ้ากระแสตรง 12 โวลต์เป็นไฟฟ้า กระแสสลับ 220 โวลต์



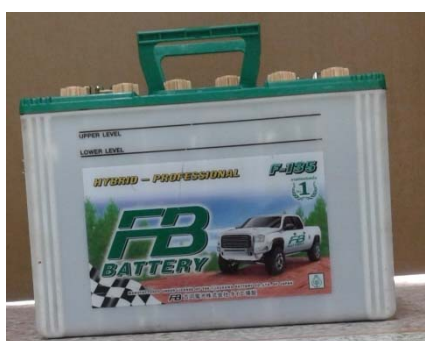
รูปที่ 3-9 อินเวอร์เตอร์ 650VA 12Vdc / 220Vac

3.1.9 ชุดประจุไฟฟ้า 12/24 โวลต์ 720 วัตต์ สำหรับการประจุไฟฟ้าที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ป้อนให้กับแบตเตอรี่



รูปที่ 3-10 ชุดประจุไฟฟ้า 12/24 โวลต์

3.1.10 แบตเตอรี่ ขนาดแรงดันไฟฟ้า 12 โวลต์ กระแส 85 แอมแปร์ สำหรับการเก็บพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์



รูปที่ 3-11 แบตเตอรี่ 12 โวลต์

3.1.11 โปรแกรมสำหรับควบคุมการหมุนมอเตอร์กระแสตรง ผู้วิจัยใช้โปรแกรมภาษา C++ ในการเขียนโปรแกรมรับข้อมูลจากชุดเซนเซอร์ ที่นำข้อมูลไปประมวลผลและสั่งให้ชุดขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรง 2 ช่องสัญญาณสำหรับการควบคุมการหมุนแผงโซลาร์เซลล์ เพื่อให้สามารถรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ให้ได้มากที่สุด

เมื่อนำอุปกรณ์ทุกอย่างประกอบกันจะได้ดังภาพที่ 3-12



รูปที่ 3-12 ชุดควบคุมการรับพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยทำการเก็บข้อมูลดังขั้นตอนดังนี้

1. เนื่องจากการวิจัยนี้เป็นการวิจัยภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ผู้วิจัยได้นำเครื่องมือในการวิจัยได้แก่ชุดควบคุมการรับพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ติดตั้งที่อาคารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม หลังที่ 2 และบันทึกผลการจัดเก็บพลังงานลงในตารางที่ 3-1 ถึงตารางที่ 3-6

ตารางที่ 3-1 การวัดค่าแรงดันไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ด้วยวิธีการติดตั้งแบบคงที่

เวลา	(วันที่/เดือน/ปี) / ค่าแรงดัน (Volts)							แรงดันเฉลี่ย (Volts)
07.00-07.30								
07.31-08.00								
08.01-08.30								
08.31-09.00								
09.01-09.30								
09.31-10.00								
10.01-10.30								
10.31-11.00								
11.01-11.30								
11.31-12.00								
12.01-12.30								

12.31-13.00								
13.01-13.30								
13.31-14.00								
14.01-14.30								
14.31-15.00								
15.01-15.30								
15.31-16.00								
16.01-16.30								
16.31-17.00								

ตารางที่ 3-2 การวัดค่ากระแสไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ด้วยวิธีการติดตั้งแบบคงที่

เวลา	(วันที่/เดือน/ปี) / กระแสไฟฟ้า (Amps)							กระแสเฉลี่ย (Amps)
07.00-07.30								
07.31-08.00								
08.01-08.30								
08.31-09.00								
09.01-09.30								
09.31-10.00								
10.01-10.30								
10.31-11.00								
11.01-11.30								
11.31-12.00								
12.01-12.30								
12.31-13.00								
13.01-13.30								
13.31-14.00								
14.01-14.30								
14.31-15.00								
15.01-15.30								
15.31-16.00								
16.01-16.30								
16.31-17.00								

ตารางที่ 3-3 การวัดค่าแรงดันไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ด้วยวิธีการติดตั้งแบบกำหนดเวลา

เวลา	(วันที่/เดือน/ปี) / แรงดัน (Volts)							แรงดันเฉลี่ย (Volts)
07.00-8.00								
08.01-09.00								
09.01-10.00								
10.01-11.00								
11.01-12.00								
12.01-13.00								
13.01-14.00								
14.01-15.00								
15.01-16.00								
16.01-17.00								

ตารางที่ 3-4 การวัดค่ากระแสไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ด้วยวิธีการติดตั้งแบบกำหนดเวลา

เวลา	(วันที่/เดือน/ปี) / กระแส (Amps)							กระแสเฉลี่ย (Amps)
07.00-8.00								
08.01-09.00								
09.01-10.00								
10.01-11.00								
11.01-12.00								
12.01-13.00								
13.01-14.00								
14.01-15.00								
15.01-16.00								
16.01-17.00								

ตารางที่ 3-5 การวัดค่าแรงดันไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ด้วยวิธีการติดตั้งแบบรับค่าจากอุปกรณ์
ตรวจจับแสงอาทิตย์ (LDR)

วันที่/เดือน/ปี		วันที่/เดือน/ปี		วันที่/เดือน/ปี		วันที่/เดือน/ปี		วันที่/เดือน/ปี	
เวลา	แรงดัน	เวลา	แรงดัน	เวลา	แรงดัน	เวลา	แรงดัน	เวลา	แรงดัน

ตารางที่ 3-6 การวัดค่ากระแสไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ด้วยวิธีการติดตั้งแบบรับค่าจากอุปกรณ์
ตรวจจับแสงอาทิตย์ (LDR)

วันที่/เดือน/ปี		วันที่/เดือน/ปี		วันที่/เดือน/ปี		วันที่/เดือน/ปี		วันที่/เดือน/ปี	
เวลา	กระแส	เวลา	กระแส	เวลา	กระแส	เวลา	กระแส	เวลา	กระแส

2. นำข้อมูลที่ได้จากตารางที่ 3-1 ถึงตารางที่ 3-6 วิเคราะห์หาค่าพลังงานที่ได้จากชุดจัดเก็บพลังงานเปรียบเทียบกับวิธีติดตั้งแบบคงที่

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้รับจากการบันทึกค่าระดับแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ วิเคราะห์ข้อมูลได้ดังนี้

3.4.1 ค่ากำลังไฟฟ้า (Power)

$$\text{สูตร} \quad P = V * I \quad (w)$$

เมื่อ P แทน ค่ากำลังไฟฟ้า (Watt : W)

V แทน ค่าแรงดันไฟฟ้า (Volt : V)

I แทน ค่ากระแสไฟฟ้า (Amp : A)

3.4.2 สูตรการหาค่าเฉลี่ย (Mean : $\bar{X}$)

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N}$$

เมื่อ $\bar{X}$ แทน ค่าเฉลี่ย

$\sum X$ แทน ผลรวมของคะแนนทั้งหมด

N แทน จำนวนกลุ่มตัวอย่าง

(บุญชม ศรีสะอาด. 2543)

บทที่ 4

ผลการวิจัย

การวิจัยเรื่อง การพัฒนาชุดควบคุมการรับพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
ผู้วิจัยจะนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล โดยแบ่งออกได้ดังนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการพัฒนาชุดควบคุมการรับพลังงานแสงอาทิตย์ด้วย
ไมโครคอนโทรลเลอร์ ดังแสดงในตารางที่ 4-1 ถึงตารางที่ 4-9 ดังนี้

4.1.1 ผลการรับพลังงานแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ด้วยวิธีการติดตั้งแบบคงที่

ตารางที่ 4-1 การวัดค่าแรงดันไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ด้วยวิธีการติดตั้งแบบคงที่

เวลา (น.)	(วันที่/เดือน/ปี) / ค่าแรงดัน (Volts)							แรงดันเฉลี่ย (Volts)
	15/11/59	16/11/59	17/11/59	18/11/59	19/11/59	20/11/59	21/11/59	
07.00-07.30	12.00	12.30	13.00	12.25	12.60	12.15	13.02	12.47
07.31-08.00	14.20	14.30	13.40	13.50	14.20	14.30	14.12	14.00
08.01-08.30	15.45	16.00	15.30	16.30	16.10	15.70	16.13	15.85
08.31-09.00	16.20	16.30	16.10	16.70	16.20	16.15	16.18	16.26
09.01-09.30	16.10	16.28	16.15	16.80	16.50	16.20	16.25	16.32
09.31-10.00	16.15	16.30	16.10	16.60	16.55	16.35	16.28	16.33
10.01-10.30	16.25	16.33	16.18	16.62	16.63	16.54	16.40	16.42
10.31-11.00	16.25	16.33	16.18	16.62	16.63	16.54	16.40	16.42
11.01-11.30	17.13	17.14	17.12	17.11	17.12	17.15	17.18	17.13
11.31-12.00	17.15	17.14	17.13	17.10	17.14	17.14	17.17	17.13
12.01-12.30	17.16	17.13	17.14	17.15	17.13	17.15	17.14	17.14
12.31-13.00	17.18	17.15	17.14	17.12	17.14	17.13	17.16	17.14
13.01-13.30	17.26	17.20	17.18	17.12	17.12	17.15	17.20	17.17
13.31-14.00	17.28	17.23	17.21	17.16	17.14	17.16	17.24	17.20
14.01-14.30	17.26	17.20	17.18	17.20	17.10	17.12	17.14	17.17
14.31-15.00	16.50	16.43	16.55	16.63	16.63	16.54	16.42	16.52
15.01-15.30	16.45	16.33	16.38	16.55	16.53	16.34	16.30	16.41
15.31-16.00	16.40	16.28	16.30	16.50	16.35	16.15	16.28	16.32
16.01-16.30	16.20	16.20	16.10	16.40	16.30	16.05	16.08	16.19
16.31-17.00	15.45	15.20	15.40	16.20	16.10	15.40	15.30	15.57

จากตารางที่ 4-1 ผลจากการทดลองแบบที่ 1 การรับพลังงานแสงอาทิตย์ จากแผงโซลาร์เซลล์ ด้วยวิธีการติดตั้งแบบคงที่ ผู้วิจัยกำหนดตำแหน่งติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์โดยเอียงทำมุมที่ 30 องศาเทียบกับพื้นโลกและรับแสงอาทิตย์ตลอดเวลาไม่เปลี่ยนแปลง โดยกำหนดเวลาตั้งแต่ 07.00น ถึง 17.00 น จำนวน 7 วัน คือวันที่ 15 พฤศจิกายน –วันที่ 21 พฤศจิกายน 2559 นั้น ค่าแรงดันที่ได้ในช่วงเวลา 07.00-07.30 น. โดยประมาณ ค่าระดับแรงดันที่ได้มีค่าเฉลี่ย 12.47 โวลต์ เนื่องจากมุมการรับแสงจากดวงอาทิตย์ในช่วงเวลาดังกล่าวไม่สามารถรับแสงได้เต็มที่ ส่วนช่วงเวลาดังแต่ 13.31 – 14.00 น. ระดับแรงดันสูงที่ได้รับเฉลี่ย 17.20 โวลต์ ส่วนช่วงเวลา 16.31-17.00 น. มีค่าระดับแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย 15.57 โวลต์

ตารางที่ 4-2 การวัดค่ากระแสไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ด้วยวิธีการติดตั้งแบบคงที่

เวลา (น.)	(วันที่/เดือน/ปี) / กระแสไฟฟ้า (Amps)							กระแสเฉลี่ย (Amps)
	15/11/59	16/11/59	17/11/59	18/11/59	19/11/59	20/11/59	21/11/59	
07.00-07.30	3.10	3.33	3.42	3.25	3.31	3.23	3.62	3.32
07.31-08.00	4.12	4.20	4.05	4.06	4.10	4.13	4.10	4.11
08.01-08.30	5.03	5.12	4.88	6.02	5.56	4.92	5.23	5.25
08.31-09.00	5.39	5.93	5.18	6.10	5.62	5.58	5.61	5.63
09.01-09.30	5.63	5.85	5.69	6.20	5.76	5.23	5.22	5.65
09.31-10.00	5.71	5.90	5.63	6.10	5.78	5.88	4.31	5.62
10.01-10.30	5.83	5.95	5.70	6.08	6.01	6.02	6.04	5.95
10.31-11.00	5.84	5.94	5.68	6.03	6.03	6.04	6.05	5.94
11.01-11.30	6.10	6.13	6.08	6.03	6.00	6.06	6.18	6.08
11.31-12.00	6.13	6.15	6.10	6.00	6.02	6.03	6.16	6.08
12.01-12.30	6.14	6.11	6.13	6.13	6.02	6.05	6.10	6.10
12.31-13.00	6.18	6.12	6.10	6.09	6.03	6.03	6.13	6.10
13.01-13.30	6.29	6.23	6.20	6.08	6.01	6.06	6.19	6.15
13.31-14.00	6.30	6.25	6.25	6.18	6.04	6.08	6.22	6.19
14.01-14.30	6.28	6.24	6.23	6.20	5.99	6.01	6.05	6.14
14.31-15.00	5.91	5.83	6.00	6.11	6.10	5.82	5.85	5.95
15.01-15.30	5.88	6.10	5.92	5.88	5.80	5.69	5.80	5.87
15.31-16.00	6.05	5.60	5.90	5.90	5.70	5.43	5.79	5.77
16.01-16.30	5.73	5.69	5.53	5.83	5.83	5.40	5.41	5.63
16.31-17.00	5.25	5.01	5.30	5.60	5.50	5.23	5.19	5.30

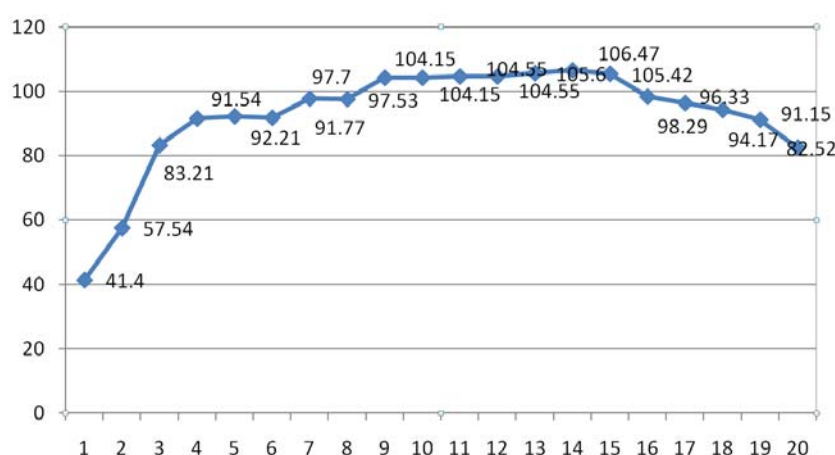
จากตารางที่ 4-2 ผลจากการทดลองแบบที่ 1 การรับพลังงานแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ด้วยวิธีการติดตั้งแบบคงที่ ค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้ในช่วงเวลา 07.00-07.30 น. มีค่าเฉลี่ย 3.32 แอมแปร์ เนื่องจากมุมการรับแสงจากดวงอาทิตย์ในช่วงเวลาดังกล่าวไม่สามารถรับแสงได้เต็มที่ ส่วนช่วงเวลาดังแต่ 13.31 – 14.00 น. ระดับกระแสไฟฟ้าที่ได้รับเฉลี่ย 6.19 แอมแปร์ ส่วนช่วงเวลา 16.31-17.00 น. มีค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ย 5.30 แอมแปร์

ตารางที่ 4-3 การวัดค่ากำลังไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ด้วยวิธีการติดตั้งแบบคงที่

เวลา (น.)	ค่าแรงดัน (Volts)	ค่ากระแส (Amps)	กำลังไฟฟ้า (Watt)
07.00-07.30	12.47	3.32	41.40
07.31-08.00	14.00	4.11	57.54
08.01-08.30	15.85	5.25	83.21
08.31-09.00	16.26	5.63	91.54
09.01-09.30	16.32	5.65	92.21
09.31-10.00	16.33	5.62	91.77
10.01-10.30	16.42	5.95	97.70
10.31-11.00	16.42	5.94	97.53
11.01-11.30	17.13	6.08	104.15
11.31-12.00	17.13	6.08	104.15
12.01-12.30	17.14	6.10	104.55
12.31-13.00	17.14	6.10	104.55
13.01-13.30	17.17	6.15	105.60
13.31-14.00	17.20	6.19	106.47
14.01-14.30	17.17	6.14	105.42
14.31-15.00	16.52	5.95	98.29
15.01-15.30	16.41	5.87	96.33
15.31-16.00	16.32	5.77	94.17
16.01-16.30	16.19	5.63	91.15
16.31-17.00	15.57	5.30	82.52

จากตารางที่ 4-3 ผลจากการทดลองแบบที่ 1 การรับพลังงานแสงโซลาร์เซลล์ด้วยวิธีการติดตั้งแบบคงที่ ทั้งค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้า ผู้วิจัยได้ประมวลผลเพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้ในช่วงเวลา 07.00 - 07.30 น. เท่ากับ 41.40 วัตต์ ช่วงเวลา 13.31-14.00 น. ค่ากำลังไฟฟ้ามีค่า 106.47 วัตต์ สูงที่สุดและในช่วงเวลา 16.30 – 17.00 น. ค่ากำลังไฟฟ้าเท่ากับ 82.52 วัตต์

เมื่อนำมาแสดงผลด้วยกราฟจะเห็นได้ว่าค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้ค่าจะมีปริมาณสูงอยู่ในช่วงเวลา 13.31-14.00 น. แสดงดังรูปที่ 4-1



รูปที่ 4-1 แสดงค่ากำลังไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ด้วยวิธีการติดตั้งแบบคงที่

4.1.2 ผลการรับพลังงานแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์แบบกำหนดเวลา

ตารางที่ 4-4 การวัดค่าแรงดันไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ด้วยวิธีการติดตั้งแบบกำหนดเวลา

เวลา (น.)	(วันที่/เดือน/ปี) / แรงดัน (Volts)							แรงดันเฉลี่ย (Volts)
	19/12/59	20/12/59	21/12/59	22/12/59	23/12/59	24/12/59	25/12/59	
07.00-8.00	12.10	12.50	12.58	12.53	12.30	12.25	13.10	12.48
08.01-09.00	14.25	14.35	13.14	13.18	14.10	14.40	14.25	13.95
09.01-10.00	15.56	16.20	15.60	16.10	16.15	15.65	15.80	15.86
10.01-11.00	16.40	16.45	16.18	16.80	16.12	16.25	16.20	16.34
11.01-12.00	17.15	17.18	17.16	17.12	17.10	17.17	17.15	17.14
12.01-13.00	17.18	17.13	17.15	17.15	17.13	17.16	17.17	17.15
13.01-14.00	17.20	17.18	17.16	17.16	17.15	17.17	17.15	17.16
14.01-15.00	17.23	17.22	17.19	17.17	17.12	17.10	17.24	17.18
15.01-16.00	16.40	17.10	16.50	17.00	16.70	16.15	16.80	16.66
16.01-17.00	15.80	15.50	15.54	15.80	15.75	15.40	15.45	15.60

จากตารางที่ 4-4 ผลจากการทดลองแบบที่ 2 ผลการรับพลังงานแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ด้วยวิธีการติดตั้งแบบกำหนดเวลา ควบคุมการหมุนด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ผู้วิจัยกำหนดตำแหน่งการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์โดยทำมุมเริ่มต้นที่ 30 องศาเทียบกับระนาบพื้นผิวโลกและกำหนดให้หมุนจำนวน 9 ครั้ง โดยแต่ละครั้งห่างกัน 1 ชั่วโมง (ขนาด 13 องศา/ครั้ง) โดยกำหนดเวลาตั้งแต่ 07.00 น. ถึง 17.00 น. จำนวน 7 วันคือวันที่ 19 ธันวาคม – วันที่ 25 ธันวาคม 2559 นั้น ค่าแรงดันที่ได้ในช่วงเวลา 07.00-08.00 น. ค่าระดับแรงดันที่ได้มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 12.48 โวลต์ เนื่องจากมุมแสงจากดวงอาทิตย์ในช่วงเวลาดังกล่าวมีความเข้มไม่มากจึงทำให้แผงโซลาร์เซลล์ไม่สามารถรับแสงได้เต็มที่ ส่วนช่วงเวลาตั้งแต่ 14.01 – 15.00 น. ระดับค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 17.18 โวลต์ ส่วนช่วงเวลา 16.01-17.00 น. มีค่าระดับแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยเท่ากับ 15.60 โวลต์

ตารางที่ 4-5 การวัดค่ากระแสไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ด้วยวิธีการติดตั้งแบบกำหนดเวลา

เวลา (น.)	(วันที่/เดือน/ปี) / กระแส (Amps)							กระแสเฉลี่ย (Amps)
	19/12/59	20/12/59	21/12/59	22/12/59	23/12/59	24/12/59	25/12/59	
07.00-8.00	3.13	3.86	3.84	3.62	3.20	3.18	3.93	3.54
08.01-09.00	4.16	4.23	4.02	4.03	4.08	4.24	4.18	4.13
09.01-10.00	5.30	5.80	5.35	5.75	5.78	5.40	5.51	5.56
10.01-11.00	6.03	6.08	5.80	6.04	5.73	5.83	5.79	5.90
11.01-12.00	6.12	6.17	6.14	6.08	6.05	6.10	6.13	6.11
12.01-13.00	6.16	6.08	6.13	6.12	6.07	6.13	6.15	6.12
13.01-14.00	6.24	6.17	6.12	6.13	6.12	6.13	6.10	6.14
14.01-15.00	6.26	6.25	6.23	6.12	6.06	6.00	6.25	6.17
15.01-16.00	6.02	6.04	6.11	6.10	6.00	5.73	5.98	6.00
16.01-17.00	5.53	5.25	5.30	5.49	5.40	5.20	5.20	5.34

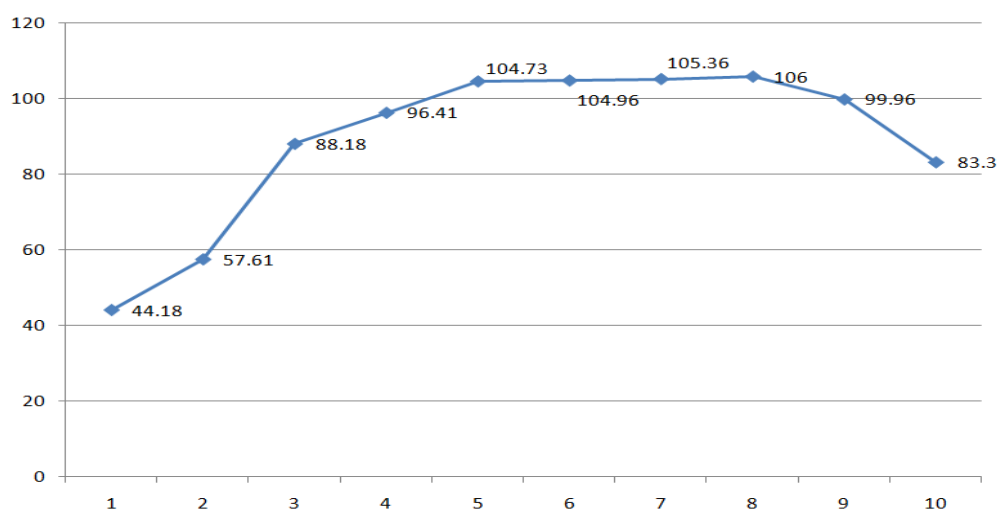
จากตารางที่ 4-5 ผลจากการทดลองแบบที่ 2 การรับพลังงานจากแผงโซลาร์เซลล์ด้วยวิธีการติดตั้งแบบกำหนดเวลา ค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้ในช่วงเวลา 07.00-07.30 น. มีค่าเฉลี่ย 3.54 แอมแปร์ เนื่องจากมุมการรับแสงจากดวงอาทิตย์ในช่วงเวลาดังกล่าวไม่สามารถรับแสงได้เต็มที่ ส่วนช่วงเวลาตั้งแต่ 14.01 – 15.00 น. ระดับกระแสไฟฟ้าที่ได้รับเฉลี่ย 6.17 แอมแปร์ ส่วนช่วงเวลา 16.01-17.00 น. มีค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ย 5.34 แอมแปร์

ตารางที่ 4-6 การวัดค่ากำลังไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ด้วยวิธีการติดตั้งแบบกำหนดเวลา

เวลา (น.)	ค่าแรงดัน (Volts)	ค่ากระแส (Amps)	กำลังไฟฟ้า (Watt)
07.00-8.00	12.48	3.54	44.18
08.01-09.00	13.95	4.13	57.61
09.01-10.00	15.86	5.56	88.18
10.01-11.00	16.34	5.90	96.41
11.01-12.00	17.14	6.11	104.73
12.01-13.00	17.15	6.12	104.96
13.01-14.00	17.16	6.14	105.36
14.01-15.00	17.18	6.17	106.00
15.01-16.00	16.66	6.00	99.96
16.01-17.00	15.60	5.34	83.30

จากตารางที่ 4-6 ผลจากการทดลองแบบที่ 2 การรับพลังงานจากแผงโซลาร์เซลล์ด้วยวิธีการติดตั้งแบบกำหนดเวลา ทั้งค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้า ผู้วิจัยได้ประมวลผลเพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้ในช่วงเวลา 07.00 - 08.00 น. เท่ากับ 44.18 วัตต์ ช่วงเวลา 14.01-15.00 น. ค่ากำลังไฟฟ้ามีค่า 106.00 วัตต์ สูงที่สุดและในช่วงเวลา 16.30 – 17.00 น. ค่ากำลังไฟฟ้าเท่ากับ 83.30 วัตต์

เมื่อนำมาแสดงผลด้วยกราฟจะเห็นได้ว่าค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้ค่าจะมีปริมาณสูงอยู่ในช่วงเวลา 14.01-15.00 น. แสดงดังรูปที่ 4-2



รูปที่ 4-2 แสดงค่ากำลังไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ด้วยวิธีการติดตั้งแบบกำหนดเวลา

4.1.3 ผลการรับพลังงานแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ด้วยวิธีการติดตั้งแบบรับค่าจากอุปกรณ์ตรวจจับแสงอาทิตย์ (LDR)

ตารางที่ 4-7 การวัดค่าแรงดันไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ด้วยวิธีการติดตั้งแบบรับค่าจากอุปกรณ์ตรวจจับแสงอาทิตย์ (LDR)

26/12/59		27/12/59		28/12/59		29/12/59		30/12/59		31/12/59		01/01/60		แรงดันเฉลี่ย (Volts)
เวลา	แรงดัน	เวลา	แรงดัน	เวลา	แรงดัน	เวลา	แรงดัน	เวลา	แรงดัน	เวลา	แรงดัน	เวลา	แรงดัน	
07.00	12.08	07.00	12.05	07.00	11.80	07.00	12.10	07.00	11.60	07.00	12.15	07.00	12.10	11.98
07.15	12.10	07.12	12.12	07.13	12.08	07.11	12.12	07.12	12.14	07.14	12.17	07.12	12.18	12.13
07.35	12.16	07.30	12.14	07.31	12.11	07.34	12.17	07.33	12.11	07.34	12.19	07.32	12.19	12.15
07.48	13.10	07.46	13.11	07.44	13.04	07.48	13.20	07.45	13.16	07.44	13.12	07.46	12.59	13.05
08.15	14.02	08.16	14.05	08.12	13.90	08.14	14.12	08.13	14.21	08.15	14.20	08.14	13.62	14.02
08.22	14.15	08.20	14.16	08.23	14.04	08.21	14.18	08.22	14.25	08.24	14.28	08.23	14.00	14.15
08.35	14.35	08.37	14.34	08.36	14.28	08.33	14.25	08.35	14.36	08.36	14.51	08.34	14.45	14.36
08.55	14.50	08.56	14.52	08.54	14.45	08.58	14.60	08.57	14.40	08.56	14.55	08.58	14.60	14.52
09.10	15.20	09.11	15.22	09.14	15.10	09.12	15.52	09.13	15.25	09.14	15.30	09.12	15.30	15.27
09.25	15.30	09.26	15.34	09.22	15.25	09.27	15.60	09.26	15.38	09.25	15.45	09.24	15.32	15.38
09.40	15.45	09.42	15.42	09.41	15.35	09.42	15.35	09.43	15.49	09.40	15.52	09.42	15.47	15.44
09.58	16.02	09.56	16.04	09.55	15.90	09.54	16.12	09.57	16.13	09.58	15.80	09.56	16.12	16.02
10.20	16.38	10.21	16.34	10.23	16.18	10.22	16.30	10.22	16.45	10.21	16.18	10.24	16.28	16.30
10.38	16.42	10.39	16.46	10.35	16.32	10.38	16.44	10.37	16.49	10.36	16.41	10.37	16.32	16.41
10.49	16.50	10.45	16.51	10.47	16.20	10.44	16.51	10.48	16.50	10.47	16.30	10.46	16.45	16.42
11.04	16.42	11.06	16.53	11.05	16.35	11.08	16.42	11.07	16.51	11.05	16.58	11.06	16.51	16.47
11.25	17.08	11.20	17.14	11.23	17.18	11.21	17.12	11.23	17.19	11.24	17.12	11.24	17.10	17.13
11.42	17.14	11.39	17.12	11.44	17.19	11.41	17.19	11.42	17.21	11.43	17.16	11.44	17.12	17.16
12.10	17.17	12.11	17.11	12.16	17.16	12.12	17.21	12.11	17.27	12.11	17.14	12.14	17.16	17.17
12.40	17.23	12.42	17.28	12.41	17.20	12.44	17.22	12.43	17.24	12.41	17.20	12.42	17.20	17.22
12.55	17.18	12.52	17.11	12.54	17.14	12.51	17.16	12.54	17.10	12.54	17.18	12.53	17.19	17.15
13.20	17.21	13.22	17.24	13.21	17.23	13.22	17.22	13.21	17.29	13.23	17.22	13.22	17.20	17.23
13.42	17.24	13.41	17.14	13.44	17.20	13.43	17.28	13.42	17.25	13.41	17.22	13.43	17.28	17.23
13.56	17.22	13.55	17.24	13.57	17.12	13.56	17.42	13.54	17.21	13.55	17.26	13.55	17.23	17.24
14.12	17.25	14.14	17.21	14.16	17.15	14.13	17.35	14.14	17.28	14.15	17.24	14.13	17.25	17.25
14.36	17.20	14.33	17.26	14.39	17.22	14.35	17.10	14.36	17.29	14.37	17.21	14.36	17.12	17.20
14.48	17.19	14.44	17.25	14.47	17.29	14.45	17.11	14.47	17.06	14.44	17.19	14.46	17.17	17.18
15.03	17.03	15.06	17.08	15.04	17.13	15.04	17.13	15.02	17.12	15.04	17.19	15.05	17.13	17.12

ตารางที่ 4-7 (ต่อ)

26/12/59		27/12/59		28/12/59		29/12/59		30/12/59		31/12/59		01/01/60		แรงดันเฉลี่ย (Volts)
เวลา	แรงดัน	เวลา	แรงดัน	เวลา	แรงดัน	เวลา	แรงดัน	เวลา	แรงดัน	เวลา	แรงดัน	เวลา	แรงดัน	
15.22	16.80	15.19	16.55	15.23	16.70	15.22	16.75	15.21	16.81	15.21	17.10	15.20	16.93	16.81
15.37	16.82	15.35	16.62	15.34	16.25	15.36	16.32	15.36	16.38	15.34	17.00	15.35	16.38	16.54
16.01	16.45	16.03	16.35	16.05	16.30	16.02	16.35	16.04	16.42	16.03	16.85	16.04	16.40	16.45
16.15	16.40	16.12	16.41	16.12	16.42	16.14	16.20	16.13	16.38	16.16	16.60	16.14	16.45	16.41
16.25	16.22	16.21	16.18	16.22	16.21	16.23	16.19	16.24	16.25	16.22	16.42	16.24	16.20	16.24
16.38	16.01	16.34	15.90	16.35	16.11	16.36	16.12	16.37	15.84	16.35	16.16	16.35	16.10	16.03
16.53	15.09	16.45	15.12	16.39	15.25	16.50	15.19	16.44	15.10	16.49	15.50	16.42	15.40	15.24

จากตารางที่ 4-7 ผลจากการทดลองแบบที่ 3 ผลการรับพลังงานแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ด้วยวิธีการติดตั้งแบบรับค่าจากอุปกรณ์ตรวจจับแสงอาทิตย์ (LDR) ควบคุมการหมุนด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ผู้วิจัยกำหนดให้ตำแหน่งการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์โดยทำมุมเริ่มต้นที่ 30 องศาเทียบกับพื้นโลกและกำหนดให้หมุนเมื่อได้รับสัญญาณจากอุปกรณ์ตรวจจับแสงอาทิตย์ โดยผู้วิจัยกำหนดตัวตรวจจับแสงอาทิตย์ไว้ 2 จุด โดยกำหนดเวลาตั้งแต่ 07.00น ถึง 17.00 น. จำนวน 7 วันคือวันที่ 26 ธันวาคม –วันที่ 31 ธันวาคม 2559 และวันที่ 1 มกราคม 2560 นั้น ค่าแรงดันที่ได้ในช่วงเวลา 07.00 น. ค่าระดับแรงดันที่ได้มีค่า 11.98 โวลท์ เนื่องจากมุมแสงจากดวงอาทิตย์ในช่วงเวลาดังกล่าวมีความเข้มไม่มากจึงทำให้แผงโซลาร์เซลล์ไม่สามารถรับแสงได้เต็มที่ ส่วนช่วงเวลาตั้งแต่ 14.12 – 14.15 น. ระดับแรงดันมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 17.25 โวลท์ ส่วนช่วงเวลา 16.39-16.53 น. มีค่าระดับแรงดันไฟฟ้า 15.24 โวลท์

ตารางที่ 4-8 การวัดค่ากระแสไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ด้วยวิธีการติดตั้งแบบรับค่าจากอุปกรณ์ตรวจจับแสงอาทิตย์ (LDR)

26/12/59		27/12/59		28/12/59		29/12/59		30/12/59		31/12/59		01/01/60		กระแสเฉลี่ย (Amps)
เวลา	กระแส	เวลา	กระแส	เวลา	กระแส	เวลา	กระแส	เวลา	กระแส	เวลา	กระแส	เวลา	กระแส	
07.00	2.85	07.00	2.83	07.00	2.60	07.00	2.86	07.00	2.55	07.00	2.87	07.00	2.85	2.77
07.15	3.00	07.12	3.03	07.13	2.88	07.11	3.04	07.12	3.05	07.14	3.12	07.12	3.14	3.04
07.35	3.13	07.30	3.04	07.31	3.01	07.34	3.14	07.33	3.03	07.34	3.15	07.32	3.20	3.10
07.48	3.43	07.46	3.74	07.44	3.25	07.48	3.47	07.45	3.40	07.44	3.75	07.46	3.27	3.47
08.15	3.80	08.16	3.82	08.12	3.60	08.14	4.12	08.13	4.18	08.15	4.16	08.14	3.43	3.87
08.22	4.15	08.20	4.16	08.23	4.30	08.21	4.30	08.22	4.30	08.24	4.30	08.23	3.73	4.18
08.35	4.23	08.37	4.22	08.36	4.32	08.33	4.31	08.35	4.34	08.36	4.37	08.34	4.30	4.30
08.55	4.36	08.56	4.38	08.54	4.34	08.58	4.41	08.57	4.27	08.56	4.38	08.58	4.42	4.37

ตารางที่ 4-8 (ต่อ)

26/12/59		27/12/59		28/12/59		29/12/59		30/12/59		31/12/59		01/01/60		กระแสเฉลี่ย (Amps)
เวลา	กระแส	เวลา	กระแส	เวลา	กระแส	เวลา	กระแส	เวลา	กระแส	เวลา	กระแส	เวลา	กระแส	
09.10	4.46	09.11	4.48	09.14	4.28	09.12	5.08	09.13	4.50	09.14	4.55	09.12	4.83	4.60
09.25	4.87	09.26	4.89	09.22	4.50	09.27	5.08	09.26	4.92	09.25	5.05	09.24	4.88	4.88
09.40	5.06	09.42	5.02	09.41	4.91	09.42	4.92	09.43	5.04	09.40	5.10	09.42	5.04	5.01
09.58	5.14	09.56	5.16	09.55	5.11	09.54	5.23	09.57	5.24	09.58	5.08	09.56	5.19	5.16
10.20	6.02	10.21	5.99	10.23	5.20	10.22	5.93	10.22	6.04	10.21	5.20	10.24	5.89	5.75
10.38	6.05	10.39	6.06	10.35	6.00	10.38	6.07	10.37	6.08	10.36	6.07	10.37	5.99	6.05
10.49	6.08	10.45	6.09	10.47	5.78	10.44	6.10	10.48	6.10	10.47	5.88	10.46	6.03	6.01
11.04	6.03	11.06	6.10	11.05	6.01	11.08	6.06	11.07	6.09	11.05	6.11	11.06	6.04	6.06
11.25	6.01	11.20	6.11	11.23	6.30	11.21	6.09	11.23	6.11	11.24	6.08	11.24	6.08	6.11
11.42	6.08	11.39	6.10	11.44	6.12	11.41	6.12	11.42	6.20	11.43	6.11	11.44	6.09	6.12
12.10	6.10	12.11	6.10	12.16	6.12	12.12	6.15	12.11	6.24	12.11	6.10	12.14	6.10	6.13
12.40	6.13	12.42	6.17	12.41	6.23	12.44	6.15	12.43	6.16	12.41	6.12	12.42	6.18	6.16
12.55	6.19	12.52	6.10	12.54	6.13	12.51	6.10	12.54	6.10	12.54	6.11	12.53	6.16	6.13
13.20	6.21	13.22	6.20	13.21	6.23	13.22	6.14	13.21	6.23	13.23	6.13	13.22	6.12	6.18
13.42	6.22	13.41	6.10	13.44	6.15	13.43	6.23	13.42	6.21	13.41	6.14	13.43	6.22	6.18
13.56	6.21	13.55	6.18	13.57	6.10	13.56	6.13	13.54	6.13	13.55	6.20	13.55	6.19	6.16
14.12	6.22	14.14	6.15	14.16	6.11	14.13	6.21	14.14	6.20	14.15	6.20	14.13	6.20	6.18
14.36	6.21	14.33	6.19	14.39	6.15	14.35	6.10	14.36	6.24	14.37	6.12	14.36	6.10	6.16
14.48	6.10	14.44	6.18	14.47	6.22	14.45	6.10	14.47	6.00	14.44	6.11	14.46	6.11	6.12
15.03	6.05	15.06	6.05	15.04	6.08	15.04	6.05	15.02	6.07	15.04	6.10	15.05	6.08	6.07
15.22	6.01	15.19	5.90	15.23	5.96	15.22	5.97	15.21	6.00	15.21	6.05	15.20	6.01	5.99
15.37	6.01	15.35	5.96	15.34	5.25	15.36	5.60	15.36	5.62	15.34	6.03	15.35	5.48	5.71
16.01	5.85	16.03	5.63	16.05	5.43	16.02	5.62	16.04	5.65	16.03	6.01	16.04	5.55	5.68
16.15	5.76	16.12	5.77	16.12	5.79	16.14	5.25	16.13	5.63	16.16	5.90	16.14	5.65	5.68
16.25	5.20	16.21	5.14	16.22	5.23	16.23	5.16	16.24	5.35	16.22	5.77	16.24	5.30	5.31
16.38	5.10	16.34	5.10	16.35	5.18	16.36	5.19	16.37	5.08	16.35	5.15	16.35	5.15	5.14
16.53	4.28	16.45	4.30	16.39	4.40	16.50	4.35	16.44	4.28	16.49	4.60	16.42	4.50	4.39

จากตารางที่ 4-8 ผลจากการทดลองแบบที่ 3 ผลการรับพลังงานแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ด้วยวิธีการติดตั้งแบบรับค่าจากอุปกรณ์ตรวจจับแสงอาทิตย์ (LDR) ค่ากระแสไฟฟ้าที่ได้ในช่วงเวลา 07.00-07.30 น. มีค่าเฉลี่ย 2.77 แอมแปร์ เนื่องจากมุมการรับแสงจากดวงอาทิตย์ในช่วงเวลาดังกล่าวไม่สามารถรับแสงได้เต็มที่ ส่วนช่วงเวลาดังแต่ 13.20 – 13.44 น. และช่วงเวลา 14.12 -14.15 น. ระดับกระแสไฟฟ้าที่ได้รับเฉลี่ย 6.18 แอมแปร์ ส่วนช่วงเวลา 16.39-16.53 น. มีค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ย 4.39 แอมแปร์

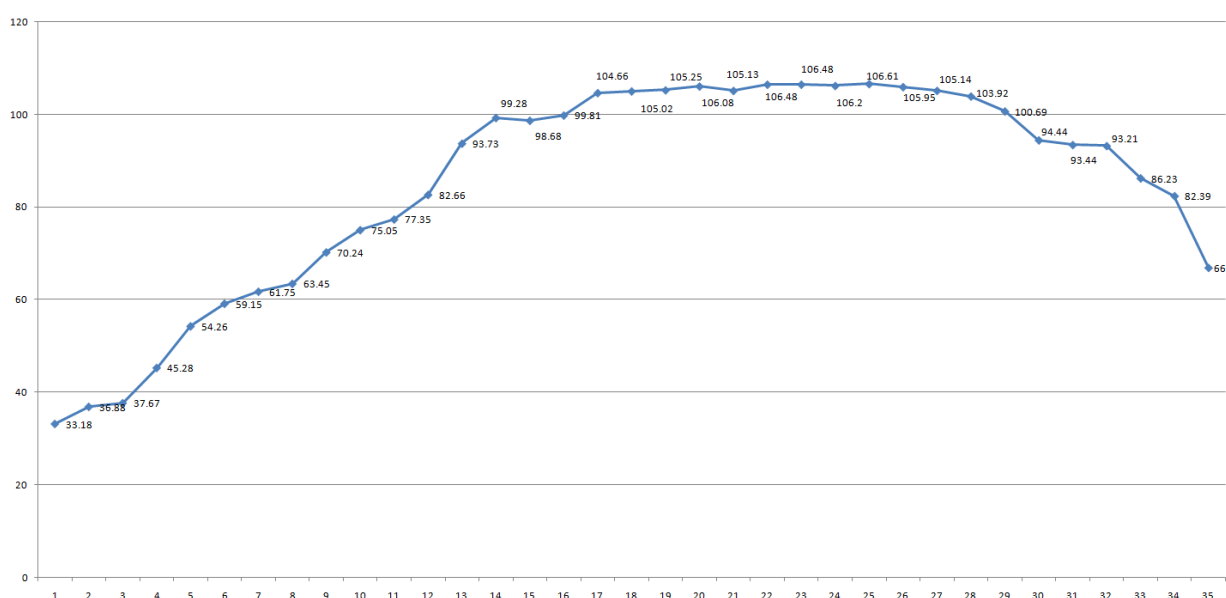
ตารางที่ 4-9 การวัดค่ากำลังไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ด้วยวิธีการติดตั้งแบบรับค่าจากอุปกรณ์

ตรวจจับแสงอาทิตย์ (LDR)

ลำดับที่	แรงดัน (Volts : V)	กระแส (Amps : A)	กำลังไฟฟ้า (Watts : W)
1	11.98	2.77	33.18
2	12.13	3.04	36.88
3	12.15	3.10	37.67
4	13.05	3.47	45.28
5	14.02	3.87	54.26
6	14.15	4.18	59.15
7	14.36	4.30	61.75
8	14.52	4.37	63.45
9	15.27	4.60	70.24
10	15.38	4.88	75.05
11	15.44	5.01	77.35
12	16.02	5.16	82.66
13	16.30	5.75	93.73
14	16.41	6.05	99.28
15	16.42	6.01	98.68
16	16.47	6.06	99.81
17	17.13	6.11	104.66
18	17.16	6.12	105.02
19	17.17	6.13	105.25
20	17.22	6.16	106.08
21	17.15	6.13	105.13
22	17.23	6.18	106.48
23	17.23	6.18	106.48
24	17.24	6.16	106.20
25	17.25	6.18	106.61
26	17.20	6.16	105.95
27	17.18	6.12	105.14
28	17.12	6.07	103.92
29	16.81	5.99	100.69
30	16.54	5.71	94.44
31	16.45	5.68	93.44
32	16.41	5.68	93.21
33	16.24	5.31	86.23
34	16.03	5.14	82.39
35	15.24	4.39	66.90

จากตารางที่ 4-9 ผลจากการทดลองแบบที่ 3 การรับพลังงานแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ ด้วยวิธีการติดตั้งแบบรับค่าจากอุปกรณ์ตรวจจับแสงอาทิตย์ (LDR) ทั้งค่าแรงดันไฟฟ้าและค่ากระแสไฟฟ้า ผู้วิจัยได้ประมวลผลเพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้า ค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้ในช่วงเวลา 07.00 - 08.00 น. เท่ากับ 33.18 วัตต์ ช่วงเวลา ช่วงเวลา 14.12 -14.15 น. ค่ากำลังไฟฟ้ามีค่า 106.61 วัตต์ สูงที่สุดและในช่วงเวลา 16.39-16.53 น ค่ากำลังไฟฟ้าเท่ากับ 66.90 วัตต์

เมื่อนำมาแสดงผลด้วยกราฟจะเห็นได้ว่าค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้ค่าจะมีปริมาณสูงอยู่ในช่วงเวลา 14.12 -14.15 น. แสดงดังรูปที่ 4-3

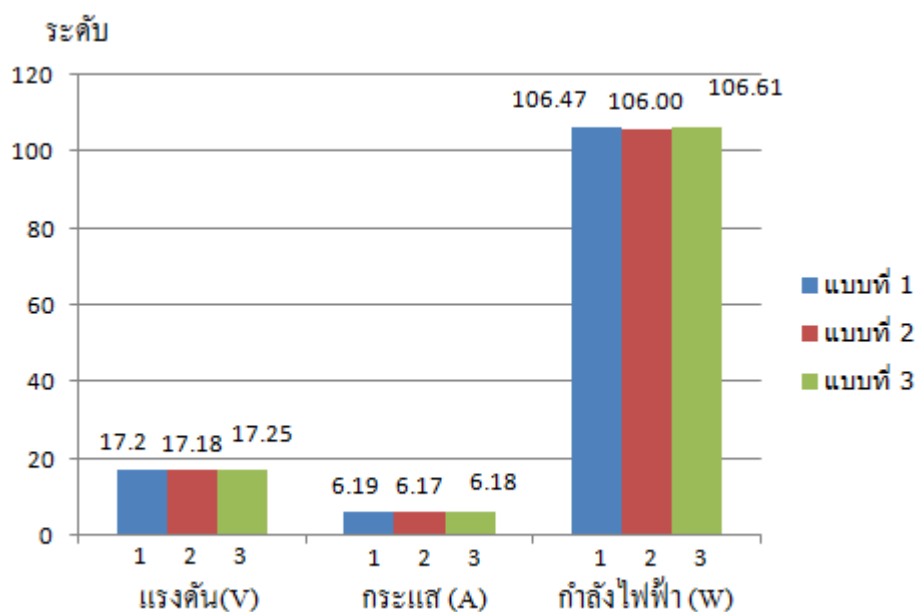


รูปที่ 4-3 แสดงค่ากำลังไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ด้วยวิธีการติดตั้งแบบรับค่าจากอุปกรณ์ตรวจจับแสงอาทิตย์ (LDR)

เมื่อนำค่าตัวแปรที่วัดได้ทั้ง 3 ค่าได้แก่ ค่าแรงดันไฟฟ้า ค่ากระแสไฟฟ้าและค่ากำลังไฟฟ้าที่ได้มาเปรียบเทียบจะได้ผลดังตารางที่ 4-10

ตารางที่ 4-10 การเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าจากการทดลองทั้ง 3 แบบ

การทดลอง	แรงดัน (Volts : V)	กระแส (Amps : A)	กำลังไฟฟ้า (Watts : W)
แบบที่ 1	17.2	6.19	106.47
แบบที่ 2	17.18	6.17	106.00
แบบที่ 3	17.25	6.18	106.61



รูปที่ 4-4 กราฟแสดงค่าการเปรียบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าทั้ง 3 แบบ

จากรูปที่ 4-4 จะเห็นว่าค่าระดับกำลังไฟฟ้าเมื่อใช้การแบบที่ 3 การรับพลังงานแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ด้วยวิธีการติดตั้งแบบรับค่าจากอุปกรณ์ตรวจจับแสงอาทิตย์ (LDR) จะมีค่าระดับพลังงานเพิ่มขึ้นสูงกว่าแบบที่ 1 การรับพลังงานแสงอาทิตย์ จากแผงโซลาร์เซลล์ด้วยวิธีการติดตั้งแบบคงที่ และแบบที่ 2 การรับพลังงานแสงอาทิตย์ การรับพลังงานแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ด้วยวิธีการติดตั้งแบบกำหนดเวลา

บทที่ 5

สรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

การวิจัยเรื่อง การพัฒนาชุดควบคุมการรับพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ผู้วิจัยได้นำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลการวิจัยดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองการรับพลังงานแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ทั้ง 3 แบบสรุปได้ดังนี้

แบบที่ 1 การรับพลังงานแสงอาทิตย์ จากแผงโซลาร์เซลล์ด้วยวิธีการติดตั้งแบบคงที่ ค่าระดับแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ได้ช่วงเวลาดังแต่ 13.31 – 14.00 น. มีค่าเท่ากับ 17.20 โวลต์ ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ได้ มีค่าเท่ากับ 6.19 แอมแปร์ ค่ากำลังไฟฟ้ามีค่า 106.47 วัตต์

แบบที่ 2 การรับพลังงานแสงอาทิตย์ การรับพลังงานแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ด้วยวิธีการติดตั้งแบบกำหนดเวลา ควบคุมการหมุนด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ค่าระดับแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ได้ช่วงเวลาดังแต่ 14.01 – 15.00 น. มีค่าเท่ากับ 17.18 โวลต์ ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ได้ มีค่าเท่ากับ 6.17 แอมแปร์ ค่ากำลังไฟฟ้ามีค่า 106.00 วัตต์

แบบที่ 3 การรับพลังงานแสงอาทิตย์ ผลการรับพลังงานแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ด้วยวิธีการติดตั้งแบบรับค่าจากอุปกรณ์ตรวจจับแสงอาทิตย์ (LDR) ควบคุมการหมุนด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ ค่าระดับแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ได้ช่วงเวลาดังแต่ 14.12 – 14.15 น. มีค่าเท่ากับ 17.25 โวลต์ ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดที่ได้ มีค่าเท่ากับ 6.18 แอมแปร์ ค่ากำลังไฟฟ้ามีค่า 106.61 วัตต์

จากการทดลองทั้ง 3 แบบจะเห็นได้ว่าแบบที่ 3 มีค่าระดับกำลังไฟฟ้าที่สูงกว่าแบบที่ 1 และแบบที่ 2

5.2 อภิปรายผล

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลในตารางที่ 4-10 จะพบว่า หลังจากการใช้วิธีการทดลองแบบที่ 3 การรับพลังงานแสงอาทิตย์ ผลการรับพลังงานแสงอาทิตย์จากแผงโซลาร์เซลล์ด้วยวิธีการติดตั้งแบบรับค่าจากอุปกรณ์ตรวจจับแสงอาทิตย์ (LDR) ควบคุมการหมุนด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ กำลังไฟฟ้าที่ได้จะมีปริมาณมากที่สุดเมื่อเทียบกับแบบที่ 1 และแบบที่ 2 โดยตัวแปรที่เข้ามามีผลจากการรับพลังงานแสงอาทิตย์ ได้แก่ ปริมาณแสงอาทิตย์ (ณรัล ลือวรศิริกุลและคณะ. 2555) ที่ส่งลงมายังพื้นที่ที่ใช้ในการรับแสงอาทิตย์ทำให้ผลที่ได้มีความคลาดเคลื่อนได้แก่ แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าที่เริ่มต้นสำหรับการควบคุมการหมุนของแผงโซลาร์เซลล์ รวมไปถึงสภาพแวดล้อม ณ. เวลาที่เก็บและฤดูกาลจะมีผลกับข้อมูลมีปริมาณที่ไม่สามารถควบคุมปริมาณแสงอาทิตย์ได้เหมือนกันทั้ง 3 แบบ การทดลอง

การเลือกใช้ชุดเซนเซอร์ ผู้วิจัยเลือกใช้เพียง 2 จุดเนื่องจากปริมาณของแสงอาทิตย์ที่ตกให้สามารถเปรียบเทียบข้อมูลแค่ 2 ตำแหน่งที่แสงอาทิตย์ตก ผลที่ได้ทำให้ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ได้มีความละเอียดน้อยลง การเพิ่มประมาณจุดเซนเซอร์เพิ่มขึ้นเช่น 5 จุด (D. Kang, E. A. Martínez and E. Chaparro. 2011) (Lwin Lwin Oo and Nang Kaythi Hlaing. 2010) หรือ 6 จุด (Nipu Datta, Muhammad Najebul Ahmed, Roksana Liya, Nazia Zaman and Bishwajit B. Pathik. 2014) หรืออาจจะเลือกใช้ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นสำหรับการควบคุมมอเตอร์มากกว่า 1 ตัว เพื่อควบคุมการหมุนให้ได้ประสิทธิภาพ กำลังไฟฟ้าได้สูงสุด (Zolkapli, M, AI-Junid S. A. M., Othman Z., Manut, A., Mohd Zulkifli M. A. 2013)

5.3 ข้อเสนอแนะ

การพัฒนาชุดควบคุมการรับพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ตัวตรวจจับแสงอาทิตย์ไปใช้งานจะมีค่าประสิทธิภาพสูงกว่าขึ้น ผู้ที่สนใจสำหรับการวิจัยในลักษณะการเพิ่มปริมาณกำลังไฟฟ้าควรกำหนดให้ชุดควบคุมสามารถตรวจจับแสงอาทิตย์ให้มีความละเอียดมากขึ้น เช่น กำหนดตัวตรวจจับ 5 จุดหรือ 6 จุด ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีความสามารถในการตัดสินใจได้ละเอียดขึ้นและควรออกแบบให้ชุดการขับเคลื่อนแผงโซลาร์เซลล์มีความสามารถเลือกจุดการเคลื่อนที่ได้มากขึ้น รวมถึงบริเวณทดลองที่มีปริมาณไฟฟ้าที่มีปริมาณที่มากเพียงพอสำหรับการทดลองจริง

บรรณานุกรม

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. รายงานสถานการณ์การผลิต

ไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย พ.ศ. 2555-2556. กรุงเทพมหานคร, 2556.

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย กฟผ. พลังงานทดแทน. นนทบุรี, 2554.

งานไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น. หน่วยที่ 11 การควบคุมมอเตอร์. 2558. แหล่งเข้าถึง :

<http://kpp.ac.th/elearning/elearning3/images-u/u-11/1102.jpg>. [11 ธันวาคม 2559].

เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell). [online]. 2556. แหล่งเข้าถึง : <http://guru.sanook.com/6613/>.

[12 พฤศจิกายน 2559].

ณรัต ลีอรรถวิฤตและคณะ. ศึกษาความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบในพื้นที่มหาวิทยาลัยราชภัฏ

สวนสุนันทา. มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา กรุงเทพมหานคร, 2555.

ทรัพยากรพลังงาน (Energy Resources). [online]. 2559. แหล่งเข้าถึง :

http://oilsuwajee.blogspot.com/p/blog-page_17.html. [12 พฤศจิกายน 2559].

บุญชม ศรีสะอาด. การวิจัยเบื้องต้น. สุวีริยาสาส์น. กรุงเทพฯ, 2543.

บรรจบ สุขประภาภรณ์. พลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์และการออกแบบระบบโซลาเซลล์.

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย. เชียงราย. 2559.

บริษัท ชยนันต์ ซัพพลาย จำกัด. อินเวอร์เตอร์ (Inverter) คืออะไร. 2540. แหล่งเข้าถึง :

http://www.inverter.co.th/Home/index.php?option=com_content&view=article&id=110:inverter&catid=46:news-info&Itemid=83. [16 ธันวาคม 2559].

บริษัท ไตรเทพ อินคัสทรี จำกัด. ภาพอินเวอร์เตอร์ (Inverter) . 2559. แหล่งเข้าถึง :

<http://www.diy-solarcell.com/images/pule%20sine%202000w.png>.

[16 ธันวาคม 2559].

บริษัท โรงพิมพ์ตะวันออก จำกัด (มหาชน). พลังงานแสงอาทิตย์อีกหนึ่งทางเลือกของพลังงาน

ทดแทน. 2014. แหล่งเข้าถึง : [http://www.epco.co.th/images/business/](http://www.epco.co.th/images/business/Solar%20Cell-%20sun.jpg)

[Solar%20Cell-%20sun.jpg](http://www.epco.co.th/images/business/Solar%20Cell-%20sun.jpg). [13 ธันวาคม 2559].

บริษัท วินัส ซัพพลาย จำกัด. บทความ Arduino คืออะไร? ตอนที่1 แนะนำเพื่อนใหม่ที่ชื่อ Arduino.

2012. แหล่งเข้าถึง : [http://www.thaieasyelec.com/75-1-micro-metal-gearmotor-hp-](http://www.thaieasyelec.com/75-1-micro-metal-gearmotor-hp-detail.html?tmpl=component&flexiblelayout=print)

[detail.html?tmpl=component&flexiblelayout=print](http://www.thaieasyelec.com/75-1-micro-metal-gearmotor-hp-detail.html?tmpl=component&flexiblelayout=print). [14 ธันวาคม 2559].

พิชัย นริพทะพันธุ์. ประเทศไทยกับการพัฒนาพลังงานทดแทนของ AEC. [online]. มติชนรายวัน.

2556. แหล่งเข้าถึง : http://www.matichon.co.th/news_detail.php?newsid=1373456019.

[16 ธันวาคม 2559].

มธุรดา เดือนเพ็ญ วัชรภรณ์ รัตนาและวัฒนะศักดิ์ ทรัพย์เมืองพันธ์. วงจรประจุแบบเตอรีจากเซลล์

แสงอาทิตย์ด้วยวงจรแปลงผันชุก. ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยบูรพา. 2558

สนธยา นงนุช. เซ็นเซอร์แสง (Optical Sensor). 2014. แหล่งเข้าถึง :

<http://www.elec-za.com/%E0%B9%80%E0%B8%8B%E0%B9%87%E0%B8%99%E0%B9%80%E0%B8%8B%E0%B8%AD%E0%B8%A3%E0%B9%8C%E0%B9%81%E0%B8%AA%E0%B8%87-optical-sensor/>. [11 ธันวาคม 2559].

สำนักถ่ายทอดและเผยแพร่เทคโนโลยี กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวง

พลังงาน. [online]. 2551. แหล่งเข้าถึง : <http://www.ku.ac.th/e-magazine/jun51/know>

/know3.htm. [11 ธันวาคม 2559].

สำนักบริหารจัดการน้ำ กรมทรัพยากรน้ำ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

ความรู้เกี่ยวกับมอเตอร์ไฟฟ้า. 2558. แหล่งเข้าถึง :

<http://202.129.59.73/tn/motor10-52/motor1.htm>. [11 ธันวาคม 2559].

สำนักพัฒนาทรัพยากรบุคคลด้านพลังงาน. บทที่ 3 การตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้า.

2559. แหล่งเข้าถึง : <http://www2.dedc.go.th/bhrd/old/Download>

/file_handbook/Pre_Elec/Elec_6.pdf. [23 ธันวาคม 2559].

หัสชัย สิทธิรักษ์. ตัวต้านทานไวแสง LDR. 2553. แหล่งเข้าถึง :

<https://sites.google.com/site/believess20/electronics/taw-tha-n-wi-saeng-ldr>.

[6 ธันวาคม 2559].

Alternative Energy Tutorials. Simplified Grid Connected PV System. 2010.

แหล่งเข้าถึง : <http://www.alternative-energy-tutorials.com/images/>

stories/solar/alt24.gif. [9 พฤศจิกายน 2559].

Auto in thai. ราคาแบตเตอรี่รถยนต์ 3K. 2012. แหล่งเข้าถึง : <http://autoin thai.com/wp-content/>

[uploads/2012/10/%E0%B9%81%E0%B8%9A%E0%B8%95%E0%B9%80%E0%B8%95%E0%B8%AD%E0%B8%A3%E0%B8%B5%E0%B9%88%E0%B8%A3%E0%B8%96%E0%B8%A2%E0%B8%99%E0%B8%95%E0%B9%8C-3K.jpg](http://autoin thai.com/wp-content/uploads/2012/10/%E0%B9%81%E0%B8%9A%E0%B8%95%E0%B9%80%E0%B8%95%E0%B8%AD%E0%B8%A3%E0%B8%B5%E0%B9%88%E0%B8%A3%E0%B8%96%E0%B8%A2%E0%B8%99%E0%B8%95%E0%B9%8C-3K.jpg).

[16 ธันวาคม 2559].

- Brushes of DC Motor. 2016. Available : https://sc01.alicdn.com/kf/HTB1WF_nGpXXXXXfXpXXq6xXFXXXI/103598/HTB1WF_nGpXXXXXfXpXXq6xXFXXXI.jpg. [15 December 2016].
- BuildCircuit, Australia. Dark/Light sensor using transistor. 2010. Available : http://farm9.staticflickr.com/8174/8012528853_c957595835.jpg. [15 December 2016].
- D. Kang, E. A. Martínez and E. Chaparro, “Solar Tracker System Based on a Digital Heuristic Controller”, Paper accepted for presentation at the 2011 IEEE Trondheim PowerTech, 2011.
- Electrical4U.com. Construction of DC Motor | Yoke Poles Armature Field Winding Commutator Brushes of DC Motor. 2011. Available : <http://electrical4u.com/electrical/wp-content/uploads/2013/03/parts-of-dc-machine-19-1-14.jpg>. [11 December 2016].
- Hybrid solar and wind system. 2016. แหล่งเข้าถึง : https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/bf/Hybrid_Power_System.gif/250px-Hybrid_Power_System.gif. [24 ธันวาคม 2559].
- KLC Bright.com. แผงโซลาร์เซลล์ เลือกแบบไหนดี? โมโนกับโพลีหรือ อะมอร์ฟัส. 2003. แหล่งเข้าถึง : <http://www.klcbright.com/image/solarcellpanelmonocrystal.jpg>. [22 พฤศจิกายน 2559].
- Lwin Lwin Oo and Nang Kaythi Hlaing, “Microcontroller-Based Two-Axis Solar Tracking System”, Second International Conference on Computer Research and Development, 2010.
- Maryland Risk Management Education Blog. Landowners Need To Do Background Research Before Entering Into A Solar Energy Lease. [online]. 2014. Available : <http://www.aglaw.umd.edu/blog/landowners-need-to-do-background-research-before-entering-into-a-solar-energy-lease>. [10 December 2016].
- Nipu Datta, Muhammad Najebul Ahmed, Roksana Liya, Nazia Zaman and Bishwajit B. Pathik, “Efficiency Improvement of a Solar Power Plant Using Combine Cycle: An Experimental Study on a Miniaturized Solar Power Station”, 2014 6th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE), Yogyakarta, Indonesia, 2014.

Solar Smile Knowledge. ความหมายและชนิดของแบตเตอรี่. 2016. แหล่งเข้าถึง :

<https://solarsmileknowledge.com/battery/%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B8%AB%E0%B8%A1%E0%B8%B2%E0%B8%A2%E0%B9%81%E0%B8%9A%E0%B8%95%E0%B9%80%E0%B8%95%E0%B8%AD%E0%B8%A3%E0%B8%B5%E0%B9%88/>. [24 ธันวาคม 2559].

SmartMotorDevices. DC motor SM32P. 2016. Available :

<http://www.stepmotor.biz/photos/brush/ig-32gm-photo.gif>.

[10 December 2016].

Sun Green Solutions. Stand alone Solar Home Lighting (SHS) Systems. 2014.

แหล่งเข้าถึง : **http://www.sungreensol.com/img/stand_alone_solar_home_lighting_system.jpg**. [13 พฤศจิกายน 2559].

Zolkapli, M, AI-Junid S. A. M., Othman Z., Manut, A., Mohd Zulkifli M. A., “High-Efficiency Dual-Axis Solar Tracking Developement using Arduino,” 2013 International Conference on Technology, Informatics, Management, Engineering & Environment (TIME-E 2013) Bandung, Indonesia, June 23-26, 2013.

8.5 การพัฒนาผู้เรียนในรายวิชาไมโครโปรเซสเซอร์ด้วยโปรแกรมจำลองการทำงาน
ปีที่ได้รับทุน 2555 แหล่งทุน : มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

8.6 การใช้เทคนิคการฝึกปฏิบัติเพื่อการพัฒนาผู้เรียนเรื่องการเขียนโปรแกรม
ไมโครคอนโทรลเลอร์

ปีที่ได้รับทุน 2557 แหล่งทุน : มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

8.7 การออกแบบวงจรซีเควนเชียลลอจิกด้วยวิธีขั้นตอนเชิงวิวัฒนาการ
ปีที่ได้รับทุน 2558 แหล่งทุน : มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

8.8 การวิจัยเรื่องการพัฒนาชุดควบคุมการรับพลังงานแสงอาทิตย์ด้วย
ไมโครคอนโทรลเลอร์

ปีที่ได้รับทุน 2559 แหล่งทุน : มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์