

บทที่ 2

เอกสารที่เกี่ยวข้อง

การจัดทำโครงงานเรื่องระบบควบคุมโซลาร์เซลล์ตามดวงอาทิตย์ ผู้จัดทำได้ทำการศึกษา ค้นคว้าทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้อง ดังต่อไปนี้

- 2.1 ระบบโซลาร์เซลล์ตามดวงอาทิตย์
- 2.2 แผงโซลาร์เซลล์
- 2.3 บอร์ด Arduino
- 2.4 โมดูลนาฬิกา
- 2.5 โมดูลวัดกระแสไฟฟ้า
- 2.6 หลอดไฟ
- 2.7 โมดูล SD Card
- 2.8 SD Card
- 2.9 ไดรเวอร์มอเตอร์
- 2.10 มอเตอร์ไฟฟ้า
- 2.11 ตัวต้านทาน
- 2.12 หลักการและทฤษฎีที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม
- 2.13 ภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการพัฒนาระบบ
- 2.14 โปรแกรมที่ใช้ในการพัฒนาระบบ
- 2.15 การวัดประสิทธิภาพ
- 2.16 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบโซลาร์เซลล์ตามดวงอาทิตย์

โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ดำเนินการอยู่ในประเทศไทยส่วนใหญ่ โซลาร์เซลล์ที่ทำหน้าที่ในการผลิตกระแสไฟฟ้าจะถูกติดตั้งแบบยึดติดอยู่กับที่ ทำให้ได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์ได้ดีเพียงบางช่วงเวลาเท่านั้น เนื่องจากดวงอาทิตย์มีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลาจากทิศตะวันออกไปสู่ทิศตะวันตก ปัจจุบันจึงมีการออกแบบระบบที่ทำให้โซลาร์เซลล์เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์ได้ตั้งแต่เช้าถึงเย็นโดยอัตโนมัติ แสดงดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 แสดงระบบโซลาร์เซลล์ตามดวงอาทิตย์
ที่มา: Solarcellthailand96 (2558: ออนไลน์)

หลักการทำงานของชุดระบบหมุนตามดวงอาทิตย์นี้ ตั้งแต่เริ่มต้นการทำงานจนถึงการควบคุมมอเตอร์ เซนเซอร์ โดยอาศัยการทำงานของซอฟต์แวร์ที่เก็บข้อมูลความเข้มของรังสีดวงอาทิตย์ไว้ ซึ่งมีไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุม โดยให้เซนเซอร์ติดอยู่ที่เพลลาของมอเตอร์ทั้งแนวนอน (แกน X) และแนวตั้ง (แกน Y) แล้วส่งสัญญาณไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งโปรแกรมนี้อาจจะตั้งองศาการหันของโซลาร์เซลล์ตามมุมที่รับแสงได้มากที่สุดในแต่ละช่วงเวลา โซลาร์เซลล์จะหมุนตามดวงอาทิตย์จากทิศตะวันออกไปยังทิศตะวันตก เมื่อแสงอาทิตย์หมดในตอนเย็น โซลาร์เซลล์จะปรับมาอยู่ในตำแหน่ง Home ซึ่งเป็นตำแหน่งขนานกับพื้นดิน (Solarcellthailand96, 2558: ออนไลน์)

2.2 แผงโซลาร์เซลล์

2.2.1 แผงโซลาร์เซลล์

แผงผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ (แผงโซลาร์เซลล์) หรือที่เรียกในภาษาอังกฤษว่า Photovoltaics module (PV module) หรืออีกชื่อหนึ่งว่า Solar module ซึ่งมีลักษณะด้านหน้าเป็นแผ่นกระจกใส ด้านในเป็นแผ่นโซลาร์เซลล์หลายแผ่นต่อเรียงกัน อาจจะมีสีฟ้าเข้มหรือสีดำแล้วแต่ชนิดของโซลาร์เซลล์ที่มาทำแผง ขนาดใหญ่เล็กแตกต่างกันไปแล้วแต่ขนาดของกำลังไฟฟ้า (วัตต์) ที่ผลิตได้ ภายนอกขอบเป็นโลหะหรืออลูมิเนียมแข็งแรง ไว้สำหรับยึดกับตัวจับที่ใช้สำหรับที่ต่างๆ เช่น หลังคาบ้าน หรือโครงเหล็กที่ติดตั้งบนพื้นดินได้ ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงโซลาร์เซลล์จะเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งสามารถนำไปต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้าสำหรับไฟกระแสตรง หรืออาจจะนำไฟกระแสตรงที่ผลิตได้จากแผงโซลาร์เซลล์ไปแปลงเป็นไฟกระแสสลับเพื่อเข้ากับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้กันตามบ้านทั่วไปได้ โดยสามารถเลือกต่อได้หลายแบบตามลักษณะการออกแบบและใช้งาน

2.2.2 ชนิดของเซลล์ที่นำมาทำแผงโซลาร์เซลล์

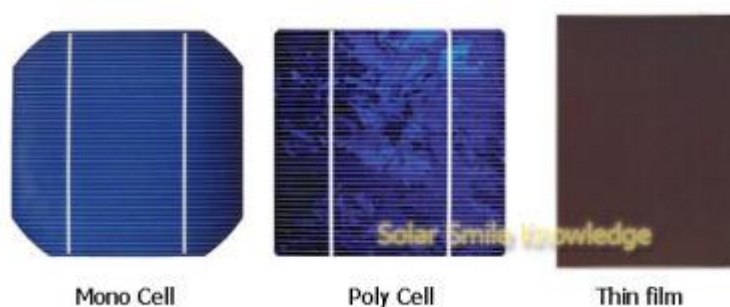
เซลล์นิยมนิยมนำมาผลิตกันแล้วเนื่องจากการผลิตกระแสไฟฟ้าที่ได้มีประสิทธิภาพที่ต่ำ

ซิลิคอนเซลล์ เป็นเซลล์ที่ได้รับความนิยมในการนำมาผลิตเป็นแผงโซลาร์เซลล์เป็นอย่างมาก เพราะเป็นธาตุที่ติดุบัติที่หาได้ไม่ยากและมีปริมาณมากเป็นอันดับสองรองจากออกซิเจน ซิลิคอนเป็นธาตุโลหะที่มีความสัมพันธ์กับคาร์บอน เมื่อนำมาผ่านกระบวนการต่างๆ อย่างถูกวิธีก็จะมีปฏิกิริยาที่ตอบสนองกับแสง และสามารถเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ ซึ่งซิลิคอนเซลล์นี้สามารถแบ่งย่อยได้อีกหลายชนิดแล้วแต่กระบวนการผลิตและแยกความบริสุทธิ์ของธาตุซิลิคอน ซึ่งแบ่งเป็น 3 ชนิดใหญ่ด้วยกันได้แก่

1) เซลล์ผลึกเดี่ยว โมโนคริสตอลไลน์ (Mono Crystalline Cell) หรือซิงเกิลคริสตอลไลน์ (Single Crystalline Silicon) ลักษณะจะเป็นผลึกแผ่นสีน้ำเงินเข้มล้วน แต่ละแผ่นมีลักษณะที่บางมากและแตกหักง่าย ค่าประสิทธิภาพสูงเพราะเป็นซิลิคอนที่ผ่านกระบวนการคัดกรองจะซับซ้อนและยุ่งยากจนได้ซิลิคอนที่มีความบริสุทธิ์ จึงทำให้ซิลิคอนผลึกเดี่ยวนี้มีราคาค่อนข้างสูงตามไปด้วย

2) เซลล์ผลึกผสม โพลีคริสตอลไลน์ (Poly Crystalline Cell) หรือมัลติคริสตอลไลน์ (Multi Crystalline Silicon) เป็นผลึกผสมที่ตัดมาจากซิลิคอนบล็อก มีลักษณะสีน้ำเงินอ่อน และผลึกจะมีลวดลายไม่เหมือนกับซิลิคอนผลึกเดี่ยว มีค่าประสิทธิภาพที่ต่ำกว่าและมีราคาที่ถูกกว่าผลึกเดี่ยวเล็กน้อย มีลักษณะแผ่นบาง แตกหักง่ายเช่นเดียวกัน

3) เซลล์ฟิล์มบาง อะมอร์ฟัสเซลล์ (Amorphous Cell) หรือทินฟิล์ม (Thin-film) เป็นฟิล์มบางที่เคลือบลงบนพื้นผิวเซลล์ ด้วยลักษณะการผลิตนี้เองจึงทำให้เซลล์ชนิดนี้ สามารถยืดหยุ่นและโค้งงอได้ จึงนำไปใช้กับแผงโซลาร์ที่ต้องการความยืดหยุ่น เซลล์ชนิดนี้มีราคาถูกและมีประสิทธิภาพที่ต่ำกว่าเซลล์สองแบบแรกอยู่มากเพราะขั้นตอนการผลิตที่ซับซ้อนน้อยกว่า นอกจากนี้เซลล์ชนิดนี้จะมีอายุการใช้งานที่สั้นกว่าสองแบบแรกอีกด้วย (Solarsmileknowledge, 2555: ออนไลน์) แสดงดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 แสดงชนิดของเซลล์ทั้ง 3 ชนิด

ที่มา: Solarsmileknowledge (2555: ออนไลน์)

2.2.3 แผงโซลาร์เซลล์ ผลึกซิลิคอนเชิงเดี่ยว 5 วัตต์ 12 โวลต์



ภาพที่ 2.3 แสดงแผงโซลาร์เซลล์
ที่มา: Amornsolar (2555: ออนไลน์)

แผงโซลาร์เซลล์ชนิดนี้ทำมาจากผลึกซิลิคอนเชิงเดี่ยว (mono-Si) หรือบางทีก็เรียกว่า single crystalline (single-Si) สังเกตค่อนข้างง่ายกว่าชนิดอื่น เพราะจะเห็นแต่ละเซลล์ลักษณะเป็นสี่เหลี่ยม ตัดมุมทั้งสี่มุม และมีสีเข้ม

- อุปกรณ์พลังงานแสงอาทิตย์ที่จะเปลี่ยนแสงแดดเป็นไฟฟ้ากระแสตรง
- เทคโนโลยีผลึกที่มีประสิทธิภาพสูง
- สามารถใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่มักจะเป็นประจำ
- เหมาะสำหรับการใช้งานที่มีขนาด จำกัด ขององค์ประกอบสำคัญกับผลิตภัณฑ์พลังงาน

แสงอาทิตย์หรือระบบการจัดหาพลังงานแสงอาทิตย์ (Amornsolar, 2555: ออนไลน์)

2.3 บอร์ด Arduino

Arduino อ่านว่า (อา-ดู-อิ-โน้ หรือ อาดูโน้) เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR ที่มีการพัฒนาแบบ Open Source คือมีการเปิดเผยข้อมูลทั้งด้าน Hardware และ Software ตัว บอร์ด Arduino ถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ง่าย ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นศึกษา ทั้งนี้ผู้ใช้งานยังสามารถดัดแปลง เพิ่มเติม พัฒนาต่อยอดทั้งตัวบอร์ด หรือโปรแกรมต่อได้อีกด้วย (Thaieasyelec, 2555: ออนไลน์)

Arduino คือ บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์สำเร็จรูป ที่รวมเอาตัวไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์อื่นๆ ที่จำเป็นมาในบอร์ดเดียว และมีการเปิดเผยข้อมูลทุกๆ อย่าง ทั้งลายวงจรและตัวอย่างโปรแกรม ทำให้ผู้ใช้สามารถนำไปพัฒนาต่อได้ง่าย เพียงมีบอร์ด Arduino กับคอมพิวเตอร์ก็พร้อมใช้งานได้แล้ว โดยทาง Arduino และบริษัทที่เกี่ยวข้องได้ผลิตบอร์ดสำเร็จรูปออกมาหลายรุ่น หลายขนาด โดยแต่ละรุ่นก็มีข้อดีแตกต่างกันออกไป แต่รุ่นที่ใช้ในการพัฒนาระบบดังกล่าว คือ Arduino Nano ซึ่งเป็นรุ่นที่มีขนาดเล็กเหมาะสำหรับผู้ที่ต้องการเริ่มต้นเขียนโปรแกรมบนไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อศึกษาหรือเพื่อนำมาประยุกต์ใช้สร้างงานอดิเรกง่ายๆ (Gravitechthai, 2557: ออนไลน์)



ภาพที่ 2.4 แสดง Arduino แบบต่างๆ
ที่มา: Gravitechthai (2557: ออนไลน์)

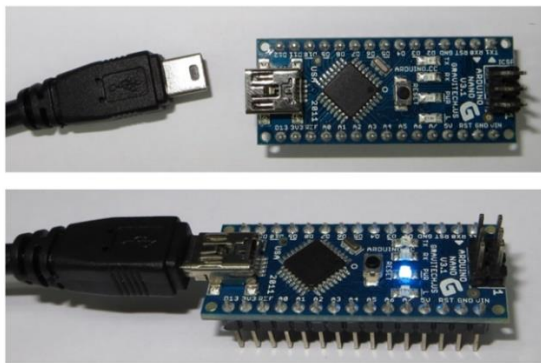
2.3.1 Arduino Nano

Arduino Nano มีขนาดเพียง 1.8×4.8 เซนติเมตร หรือมีขนาดประมาณนิ้วหัวแม่มือ ซึ่งถือว่ามีขนาดเล็กมาก เมื่อเทียบกับบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์อื่น บอร์ด Arduino Nano มีวงจรสำหรับปรับแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสมกับตัวมันเองอยู่แล้ว เพียงเสียบสาย USB เข้ากับ Arduino Nano และต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ บอร์ดก็จะสามารถใช้งานได้ทันที



ภาพที่ 2.5 แสดง Arduino Nano
ที่มา: Gravitechthai (2557: ออนไลน์)

เมื่อเสียบสาย USB บอร์ด Arduino Nano ก็พร้อมสำหรับการเขียนโปรแกรม โดยอาศัยไฟเลี้ยงที่มาจากสาย USB ดังที่ภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 แสดงเสียบสาย USB บอร์ด Arduino Nano
ที่มา: Gravitechthai (2557: ออนไลน์)

2.3.2 จุดเด่นที่ทำให้บอร์ด Arduino เป็นที่นิยม

- ง่ายต่อการพัฒนา มีรูปแบบคำสั่งพื้นฐาน ไม่ซับซ้อนเหมาะสำหรับผู้เริ่มต้น
- มี Arduino Community กลุ่มคนที่ร่วมกันพัฒนาที่แข็งแกร่ง
- Open Hardware ทำให้ผู้ใช้สามารถนำบอร์ดไปต่อยอดใช้งานได้หลายด้าน
- ราคาไม่แพง
- Cross Platform สามารถพัฒนาโปรแกรมบน OS ใดก็ได้

2.4 โมดูลนาฬิกา



ภาพที่ 2.7 แสดงโมดูลนาฬิกา
ที่มา: Htfelectronics (มปป.: ออนไลน์)

โมดูลนาฬิกา หรือ Real Time Clock (RTC) คือ อุปกรณ์ที่ให้ค่าเวลาตามจริง ซึ่งทำงานโดยการจับสัญญาณนาฬิกาที่ได้มาจาก Crystal บางรุ่นจะมีถ่านสำรองในตัว ทำหน้าที่ในการบันทึกเวลาอย่างต่อเนื่องถึงแม้ว่าจะไม่มีไฟเลี้ยงมาที่ตัวบอร์ด ตัวเวลาก็ยังคงนับได้ต่อ ทำให้ไม่ต้องตั้งเวลาใหม่หลังจากที่หยุดจ่ายไฟเลี้ยง โมดูล RTC นี้จำเป็นอย่างยิ่งกับการใช้งานที่ต้องมีการบันทึกเวลา (Time Stamp) เช่น อุปกรณ์ Data logger (Arduitrronics, 2557: ออนไลน์)

2.5 โมดูลวัดกระแสไฟฟ้า

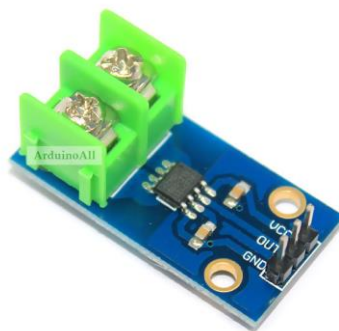
โมดูลที่ใช้วัดกระแสไฟฟ้า ACS712 คือโมดูลที่ใช้วัดกระแสไฟฟ้า ซึ่งแต่ละ Packet จะมีความสามารถในการวัดค่ากระแสไฟฟ้าได้ไม่เท่ากัน โดยมีช่วงที่วัดได้ตั้งแต่ $+5A$, $+20A$ และ $+30A$ ขึ้นอยู่กับ Packet ที่ใช้ และค่าเอาต์พุตที่ได้จะเป็นค่า Voltage ซึ่งเมื่อไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลภายในในวงจรเลยจะได้ค่าแรงดันเอาต์พุตเท่ากับ $V_{cc}/2$ ถ้ากระแสไฟฟ้าที่วัดมีค่าเป็นบวก ค่าของแรงดันเอาต์พุตจะมากกว่า $V_{cc}/2$ และในทางตรงกันข้าม ถ้ากระแสไฟฟ้ามีค่าเป็นลบ ค่าแรงดันเอาต์พุตจะน้อยกว่า $V_{cc}/2$ (รัชกร คุ่นเคย และรุ่งโรจน์ กุลพันธ์, 2558: ออนไลน์) โดยสูตรการคำนวณหากระแสไฟฟ้าเบื้องต้นจะได้ว่า

$$\text{Current} = (\text{Voutput} - V_{cc}/2) / \text{Output_sensitive}$$

คุณสมบัติคร่าวๆ ของตัว ACS712 มีดังนี้

- รับ V_{cc} ที่ 5 V และสามารถทนได้สูงสุดที่ 8 V
- สามารถวัดกระแสได้ทั้ง AC และ DC
- Output error ประมาณ 1.5% ที่ 25 องศา
- มีตัวต้านทานภายใน

2.5.1 5A Current Sensor Module (ACS712-05)



ภาพที่ 2.8 แสดงโมดูลวัดกระแสไฟฟ้า 5A

ที่มา: Arduitrronics (2555: ออนไลน์)

5A Current Sensor Module โมดูลนี้เป็นอุปกรณ์ใช้ต่อพ่วงกับ Arduino ในช่อง Analog เพื่ออ่านค่ากระแสที่ไหลผ่าน โดยอาศัยไอซี ACS712-05 Current Sensor ที่วัดกระแสโดยใช้หลักการของ Hall Effect ใช้ได้ทั้งการวัดเพื่องานทางระบบอิเล็กทรอนิกส์ วัดกำลังไฟฟ้า (Arduitrronics, 2555: ออนไลน์) เป็นต้น

มีคุณสมบัติที่สำคัญดังนี้

- วัดกระแสได้ในย่าน -5 ถึง $+5$ A (วัดได้ทั้งกระแส AC และ DC)
- ใช้แหล่งจ่ายแรงดัน 5 V
- Sensitivity 185 mV/A
- 5 μs output rise time in response to step input current
- 80 kHz bandwidth

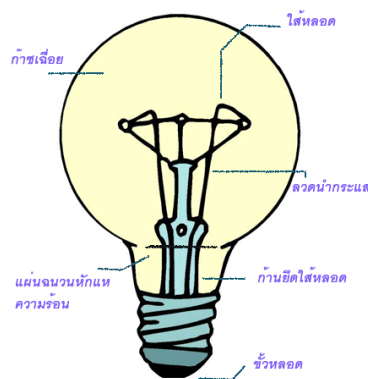
หมายเหตุ แรงดันที่วัดได้จะมีค่า 2.5 V DC offset

2.6 หลอดไฟ

หลอดไฟที่ใช้กันในปัจจุบันมีอยู่มากมายหลายประเภทเช่น หลอดไส้, หลอดนีออน, หลอดแสงจันทร์, หลอดฟลูออเรสเซนต์, หลอดทังสเตนฮาโลเจน, หลอดโลหะฮาไลด์, หลอดโซเดียม ฯลฯ เป็นต้น หลอดบางประเภทเป็นที่คุ้นเคยและพบเห็นทั่วไป เช่น หลอดไส้, หลอดฟลูออเรสเซนต์ เป็นต้น ชนิดของหลอดไฟฟ้า

2.6.1 หลอดไส้ (Incandescent Lamp)

เป็นหลอดไฟที่ใช้กันในยุคแรกๆ บางทีเรียกกันว่าหลอดดวงเทียน เพราะมีแสงแดงๆ เหมือนแสงเทียน มีทั้งชนิดแก้วใสและแก้วฝ้า เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไส้หลอดจะเกิดความร้อนยิ่งความร้อนมากขึ้นเท่าใดแสงสว่างที่เปล่งออกมาจากไส้หลอดก็จะมากขึ้นเท่านั้นแต่ไม่ควรร้อนเกินขีดจำกัดที่จะรับได้ส่วนประกอบของหลอดไส้ แสดงดังภาพที่ 2.9



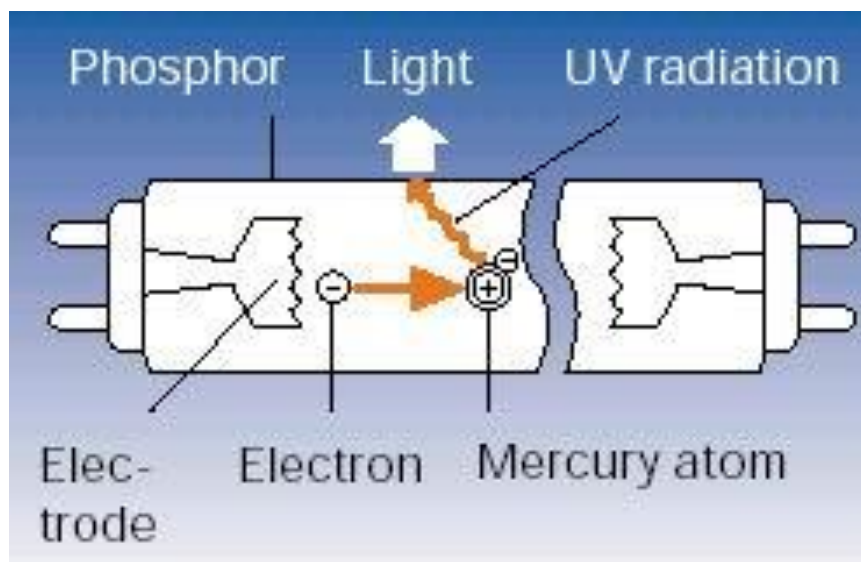
ภาพที่ 2.9 แสดงหลอดไส้

ที่มา: Irrigation (มปป.: ออนไลน์)

2.6.2 หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent)

เป็นหลอดไฟฟ้าที่นิยมใช้กันทั่วไป เพราะทำให้แสงสว่างนวลสบายตา และมีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าหลอดไส้ถึง 8 เท่า ลักษณะของหลอดเป็นรูปทรงกระบอก รูปร่างกลมและตัวยู มีขนาดอัตราทงกำลัง 10 วัตต์, 20 วัตต์, 32 วัตต์, และ 40 วัตต์ เป็นต้น ขนาด 40 วัตต์ มีอายุการใช้งาน 8,000 ถึง 12,000 ชั่วโมง ให้ความสว่างของแสงประมาณ 3,100 ลูเมน ดังภาพที่ 2.10



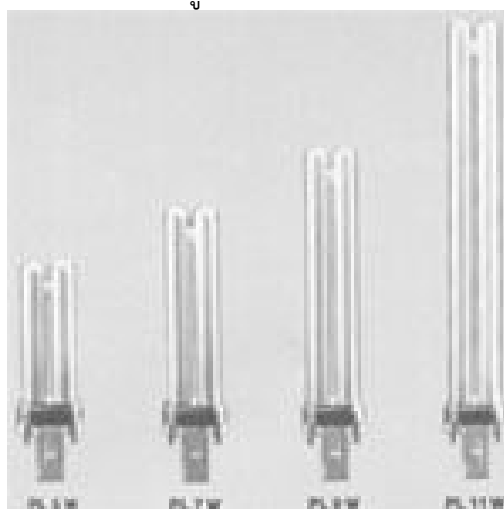


ภาพที่ 2.10 แสดงหลอดฟลูออเรสเซนต์
ที่มา: Irrigation (มปป.: ออนไลน์)

ภายในหลอดจะบรรจุด้วยก๊าซเฉื่อยประเภทอาร์กอนและไอปรอทบริเวณหลอดแก้วด้านใน เคลือบด้วยสารเรืองแสงก๊าซที่บรรจุอยู่ภายในหลอดจะแตกตัวเป็นไอออนเมื่อแรงดันที่ขั้วแคโทดทั้งสองข้างของหลอดมีค่าสูงพอความต้านทานภายในหลอดก็จะต่ำลงทันทีทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านหลอดแก้วไปกระทบไอปรอททำให้ไอปรอทเปล่งรังสีอัลตราไวโอเลตออกมาและจะกระทบกับสารเรืองแสงที่เคลือบผิวด้านในของหลอดแก้วหลอดจึงสว่างขึ้น

2.6.3 หลอดนีออน (Neon Lamp)

เป็นหลอดไฟฟ้าชนิดที่มีการบรรจุก๊าซต่างๆ เข้าไปเพื่อทำให้เกิดแสงสว่างเป็นสีต่างๆ ตามชนิดของสารหรือก๊าซที่บรรจุเข้าไป ส่วนใหญ่จะใช้เป็นไฟประดับหรือติดป้ายโฆษณาตามสถานที่ต่างๆ บางครั้งอาจดัดหลอดให้มีรูปร่างเป็นตัวอักษรและข้อความต่างๆ โดยทั่วไปหลอดนีออนจะแบ่งประเภทตามแรงดันได้ 2 ประเภทคือแรงดันสูงและแรงดันต่ำ



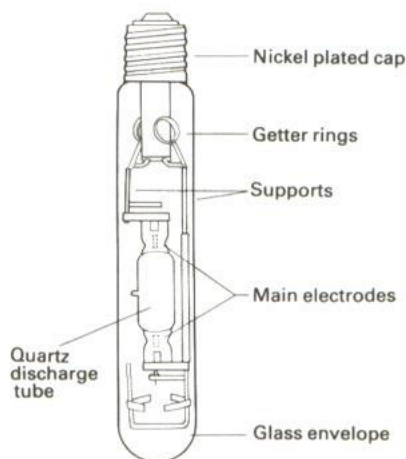
ภาพที่ 2.11 แสดงหลอดนีออน

ที่มา: Irrigation (มปป.: ออนไลน์)

เป็นหลอดปล่อยประจุความดันไอต่ำ สีของหลอดมี 3 แบบ คือ daylight ,cool white และ warm white เช่นเดียวกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ แบบที่ใช้งานกันมากคือหลอดเดี่ยว มีขนาดวัตต์ 5 7 9 11 วัตต์และหลอดคู่ มีขนาดวัตต์ 10 13 18 26 วัตต์ เป็นหลอดที่พัฒนาขึ้นมาแทนที่หลอดอินแคนเดสเซนต์ และมีประสิทธิภาพสูงกว่าหลอดอินแคนเดสเซนต์ คือประมาณ 50-80 ลูเมนต่อวัตต์ และอายุการใช้งานประมาณ 5,000-8,000 ชม จัดเป็นหลอดประหยัดไฟที่นิยมใช้กันมากขึ้นในปัจจุบัน เนื่องจากให้แสงสว่างสูง อายุการใช้งานยาวนาน แสงสีที่นุ่มนวล และความร้อนที่ตัวหลอดน้อยกว่าเมื่อเทียบกับหลอด incandescent คุณลักษณะดังกล่าวจึงเหมาะกับการนำไปใช้ ให้แสงสว่างในอาคารแทนหลอด incandescent และนอกอาคารเป็นบางแห่ง โดยเฉพาะบริเวณที่ต้องเปิดไฟทิ้งไว้เป็นเวลานานๆ

2.6.4 หลอดเมทัลฮาไลด์ (Metal Halide Lamp)

โดยทั่วไปคล้ายกับหลอดไอปรอท ซึ่ง arc tube ทำด้วย fuse silica แต่มีขนาดเล็กกว่า arc tube ของหลอดไอปรอท ภายในบรรจุ electrode ที่ทำด้วยทั้งสแตนลัวนๆ ไม่นิยมเคลือบด้วยสารเร่ง electron เนื่องจากสารนี้จะถูกทำลาย เมื่อรวมกับฮาโลเจนภายในกระเปาะเองมีการเติมสารตระกูล halide ลงไปได้แก่ thalium, sodium, scandium iodide นอกเหนือไปจาก argon, neon, krypton, sodium และหยดปรอท สารฮาไลด์ที่เติมเข้าไปทำให้ได้รับปริมาณแสงเพิ่มขึ้นเกือบเท่าตัว เมื่อเทียบกับหลอดไอปรอท และมีแสงสีสมดุลขึ้นจนดูใกล้เคียงแสงแดด ดังนั้นกระเปาะแก้วจึงไม่จำเป็นต้องเคลือบสารฟอสเฟอร์ แต่อาจเคลือบเพื่อให้แสงสีนุ่มนวลขึ้นเท่านั้น นิยมใช้ในสนามกีฬา โดยเฉพาะที่มีการถ่ายทอดทางโทรทัศน์, สวนสาธารณะ, ไฟสปอร์ตไลท์ เป็นต้น การติดตั้งหลอดต้องเป็นไปตามที่ผู้ผลิตกำหนดในเรื่องมุมของการจุดใส่หลอด เพื่อให้ได้ปริมาณแสงและอายุการใช้งานรวมทั้งแสงสีที่ถูกต้อง ดังภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12 แสดงหลอดเมทัลฮาไลด์

ที่มา: Irrigation (มปป.: ออนไลน์)

2.6.5 หลอด Tungsten Halogen

เป็นหลอดที่อาศัยการกำเนิดแสงจากความร้อนโดยการให้กระแสไหลผ่านไส้หลอดที่ทำด้วยทั้งสแตนจันร้อน แล้วเปล่งแสงออกมา เช่นเดียวกับหลอด incandescent ต่างกันตรงที่มีการบรรจุสารตระกูลฮาโลเจน ได้แก่ ไอโอดีน คลอรีน, โบรมีนและฟลูออรีนลงในหลอดแก้วที่ทำด้วยควอทซ์ สารที่เติมเข้าไปนี้จะป้องกันการระเหิดตัวของไส้หลอด ซึ่งทำงานที่อุณหภูมิสูงประมาณ 3000-3400 องศาเซลวิน ช่วยให้หลอดมีอายุยาวนานขึ้นกว่าหลอด incandescent ราว 2-3 เท่า คือ 1500-3000 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพสูงกว่าหลอด incandescent คือประมาณ 12 - 22 lm/w และสีของลำแสงขาวกว่าคือมีอุณหภูมิสีประมาณ 2800 องศาเซลวิน ทำให้มีค่าดัชนีความถูกต้องของสีสูงถึง 100% ปกติหลอดจะมีลักษณะยาวตรง แต่ก็มีรูปทรงอย่างอื่นเพื่อให้เหมาะกับลักษณะงานที่ต่างกัน เช่นหลอดที่ใช้ใน เครื่องฉายภาพข้ามศีรษะ หรือเครื่องฉายสไลด์ เป็นต้น (Irrigation, มปป.: ออนไลน์)



ภาพที่ 2.13 แสดงหลอด Tungsten Halogen
ที่มา: Irrigation (มปป.: ออนไลน์)

2.7 โมดูล SD Card

โมดูลนี้จะทำให้ Arduino สามารถบันทึกข้อมูลลงใน SD Card ได้

ตัวอย่างการใช้งาน โมดูล Arduino SD Card module

ถ้าต้องการบันทึกข้อมูลการใช้งานต่างๆ เช่น Log File ค่าที่อ่านได้จากเซนเซอร์ ต่างๆ การใช้ความสามารถของ การบันทึกข้อมูลลงบน SD Card สามารถเก็บข้อมูลได้ปริมาณมาก อุปกรณ์บันทึกข้อมูลมีราคาไม่แพง (Arduinoall, 2555: ออนไลน์)



ภาพที่ 2.14 แสดง SD Card module
ที่มา: Arduinoall (2555: ออนไลน์)

การต่อสายโมดูล Arduino SD Card module

- 1) เปิดดูโปรแกรมตัวอย่างวิธีใช้งาน ReadWrite.ino อัฟโหลดลง บอร์ด Arduino



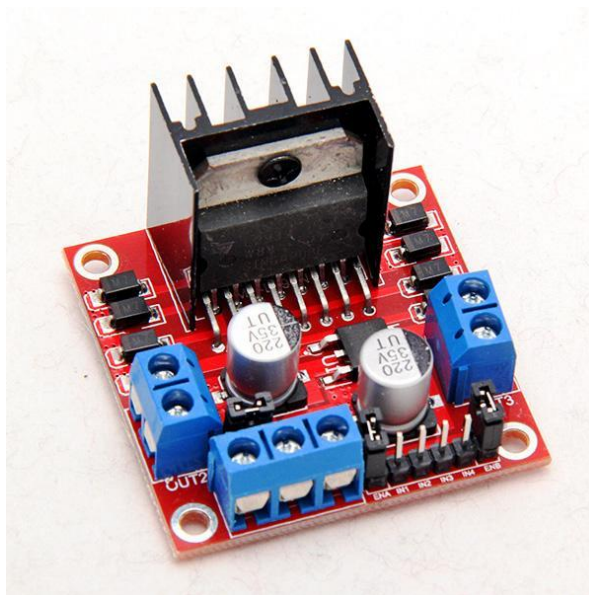
ภาพที่ 2.17 แสดงประเภทของ SD Card
ที่มา: Paephuriphan (2557: ออนไลน์)

- 1) SD Card (Standard Capacity) การ์ดความจุมาตรฐานดั้งเดิม ความจุอยู่ที่ประมาณไม่เกิน 16 GB เหมาะสำหรับพวกมือถือ กล้องดิจิทัลต่างๆ
- 2) SDHC (High Capacity) การ์ดความจุสูง พัฒนาให้จุสูงมากขึ้น ความจุถูกเพิ่มเข้ามาสูงถึง 32 GB เหมาะสำหรับงานถ่ายภาพ งานถ่ายวิดีโอ
- 3) SDXC (extended Capacity) การ์ดความจุขยาย ความจุถูกเพิ่มเข้ามาสูงถึง 2 TB ความเร็วถ่ายโอนข้อมูลอยู่ที่ 300MB/วินาที เหมาะสำหรับงานถ่ายวิดีโอคุณภาพสูง
- 4) Wi-Fi SD Card การ์ดความจุสมกับอุปกรณ์ Wi-Fi เพื่อถ่ายโอนข้อมูลแบบไร้สายได้



ภาพที่ 2.18 แสดง SD Card ยี่ห้อต่างๆ
ที่มา: Klongdigital (2555: ออนไลน์)

2.9 ไดรฟ์เวอร์มอเตอร์

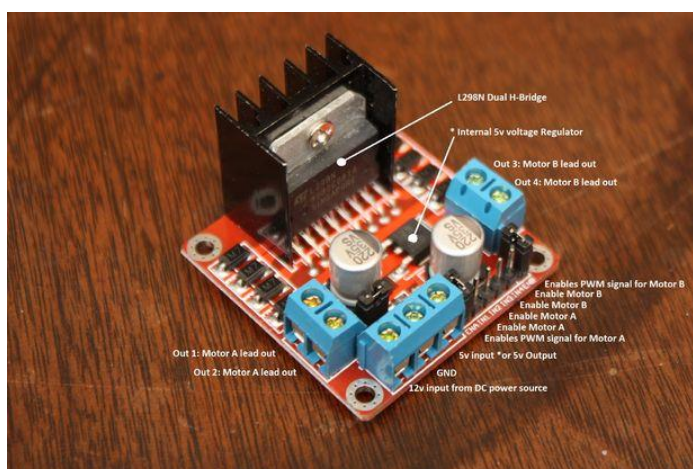


ภาพที่ 2.19 แสดง Motor Driver L298N

ที่มา: เซเรฟ คนที่โลกไม่ต้องการ (2559: ออนไลน์)

Motor Driver L298N Development Board เป็นพลังขับเคลื่อนหลักให้กับมอเตอร์ ซึ่งต้องควบคุมจากชุดไดร์เวอร์มอเตอร์ (Motor Driver) ที่จะควบคุมทั้งทิศทาง และความเร็วของมอเตอร์

การใช้งาน L298N เป็นชุดขับมอเตอร์ชนิด H-Bridge ซึ่งส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้ในการควบคุมทิศทาง และความเร็วของมอเตอร์ ซึ่งสามารถควบคุมมอเตอร์ได้ทั้งหมด 2 Channel หลักการทำงานของ H-Bridge ของ L298N จะขับกระแสเข้ามอเตอร์ ตามขั้วที่กำหนดด้วยลอจิกเพื่อควบคุมทิศทาง ส่วนความเร็วของมอเตอร์นั้นจะถูกควบคุมด้วย สัญญาณ PWM (Pulse Width Modulation) ซึ่งต้องมีการปรับความถี่ให้เหมาะสมกับมอเตอร์ที่จะใช้ด้วย (เซเรฟ คนที่โลกไม่ต้องการ, 2559: ออนไลน์)



ภาพที่ 2.20 แสดงขาต่างๆ Motor Driver L298N

ที่มา: เซเรฟ คนที่โลกไม่ต้องการ (2559: ออนไลน์)

การใช้ค่าในการควบคุมมอเตอร์ต่างๆ จะเป็นไปตามตารางที่ 2.1 และ 2.2

ตารางที่ 2.1 การทำงานมอเตอร์ A

ENA	IN1	IN2	คำอธิบาย
0	N/A	N/A	มอเตอร์ A ไม่ทำงาน
0	LOW	LOW	มอเตอร์ A หยุดการทำงานแบบหมุนอิสระ (แบบไม่เบรก)
0-255	LOW	HIGH	มอเตอร์ A ทำงานและหมุนกลับหลังด้วยความเร็วที่ ENA
0-255	HIGH	LOW	มอเตอร์ A ทำงานและหมุนเดินหน้าด้วยความเร็วที่ ENA
0	HIGH	HIGH	มอเตอร์ A หยุดการทำงานแบบทันที (แบบเบรก)

ตารางที่ 2.2 การทำงานมอเตอร์ B

ENA	IN1	IN2	คำอธิบาย
0	N/A	N/A	มอเตอร์ B ไม่ทำงาน
0	LOW	LOW	มอเตอร์ B หยุดการทำงานแบบหมุนอิสระ (แบบไม่เบรก)
0-255	LOW	HIGH	มอเตอร์ B ทำงานและหมุนกลับหลังด้วยความเร็วที่ ENB
0-255	HIGH	LOW	มอเตอร์ B ทำงานและหมุนเดินหน้าด้วยความเร็วที่ ENB
0	HIGH	HIGH	มอเตอร์ B หยุดการทำงานแบบทันที (แบบเบรก)

2.10 มอเตอร์ไฟฟ้า

มอเตอร์ไฟฟ้า เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล มอเตอร์ที่ใช้ในงานในปัจจุบัน แต่ละชนิดก็จะมีคุณสมบัติที่แตกต่างออกไปต้องการความเร็ว รอบหรือกำลังงานที่แตกต่างกัน ซึ่งมอเตอร์แต่ละชนิด จะแบ่งได้เป็น 2 ชนิด ตามลักษณะการใช้งานกระแสไฟฟ้า ดังนี้

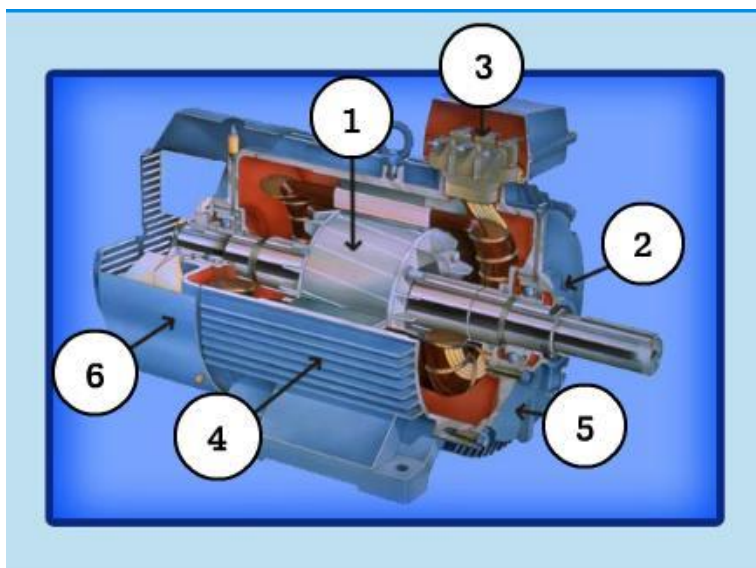
2.10.1 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current Motor) หรือเรียกว่า เอ.ซี. มอเตอร์ (A.C. MOTOR) การแบ่งชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้าสลับแบ่งออกเป็น 3 ชนิดได้แก่



ภาพที่ 2.21 แสดงมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ

ที่มา: Baldor (มปป.: ออนไลน์)

- 1) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 1 เฟส หรือเรียกว่าซิงเกิลเฟสมอเตอร์ (A.C. Sing Phase) จะใช้กับแรงดันไฟฟ้า 220 โวลต์มีสายไฟ เข้า 2 สาย มีแรงม้าไม่สูง ส่วนใหญ่ตามบ้านเรือน
 - สปลิตเฟส มอเตอร์ (Split-Phase motor)
 - คาปาซิเตอร์ มอเตอร์ (Capacitor motor)
 - รีพัลชั่นมอเตอร์ (Repulsion-type motor)
 - ยูนิเวอร์แซลมอเตอร์ (Universal motor)
 - เซ็ดเดดโพล มอเตอร์ (Shaded-pole motor)
- 2) มอเตอร์ไฟฟ้าสลับชนิด 2 เฟสหรือเรียกว่าทูเฟสมอเตอร์ (A.C.Two phas Motor)
- 3) มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับชนิด 3 เฟสหรือเรียกว่าทีเฟสมอเตอร์ (A.C. Three phase Motor) เป็นมอเตอร์ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมต้องใช้ระบบไฟฟ้า 3 เฟส ใช้แรงดัน 380 โวลต์ มีสายไฟเข้ามอเตอร์ 3 สาย



1. โรเตอร์
2. ขดลวดสนามแม่เหล็ก
3. ขั้วต่อสาย
4. โครงมอเตอร์
5. ฝาครอบหัว
6. ฝาครอบท้าย

ภาพที่ 2.22 แสดงส่วนประกอบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ
ที่มา: Atom (มปป.: ออนไลน์)

2.10.2 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current Motor) หรือเรียกว่า ดี.ซี. มอเตอร์ (D.C. MOTOR) การแบ่งชนิดของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบ่งออกได้ 3 ชนิดดังนี้

- 1) มอเตอร์แบบอนุกรมหรือเรียกว่าซีรีย์มอเตอร์ (Series Motor)
- 2) มอเตอร์แบบอนุขนานหรือเรียกว่าชันทัมอเตอร์ (Shunt Motor)
- 3) มอเตอร์ไฟฟ้าแบบผสมหรือเรียกว่าคอมเปาวด์มอเตอร์ (Compound Motor)

ส่วนประกอบหลักๆ ของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

1) ขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field Coil) คือขดลวดที่ถูกพันอยู่กับขั้วแม่เหล็กที่ยึดติดกับโครงมอเตอร์ ทำหน้าที่กำเนิดขั้วแม่เหล็กขั้วเหนือ (N) และขั้วใต้ (S) แทนแม่เหล็กถาวรขดลวดที่ใช้เป็นขดลวดอาน้ำยาฉนวน สนามแม่เหล็กจะเกิดขึ้นเมื่อจ่ายแรงดันไฟตรงให้มอเตอร์

2) ขั้วแม่เหล็ก (Pole Pieces) คือแกนสำหรับรองรับขดลวดสนามแม่เหล็กถูกยึดติดกับโครงมอเตอร์ด้านใน ขั้วแม่เหล็กทำมาจากแผ่นเหล็กอ่อนบางๆ อัดซ้อนกัน (Lamination Sheet Steel) เพื่อลดการเกิดกระแสไหลวน (Edy Current) ที่จะทำให้ความเข้าของสนามแม่เหล็กลดลง ขั้วแม่เหล็กทำหน้าที่ให้กำเนิดขั้วสนามแม่เหล็กมีความเข้มสูงสุด แทนขั้วสนามแม่เหล็กถาวร ผิวด้านหน้าของขั้วแม่เหล็กทำให้โค้งรับกับอาร์เมเจอร์พอดี

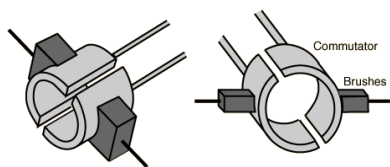
3) โครงมอเตอร์ (Motor Frame) คือส่วนเปลือกหุ้มภายนอกของมอเตอร์ และยึดส่วนอยู่กับที่ (Stator) ของมอเตอร์ไว้ภายในร่วมกับฝาปิดหัวท้ายของมอเตอร์ โครงมอเตอร์ทำหน้าที่เป็นทางเดินของเส้นแรงแม่เหล็กระหว่างขั้วแม่เหล็กให้เกิดสนามแม่เหล็กครบวงจร

4) อาร์เมเจอร์ (Armature) คือส่วนเคลื่อนที่ (Rotor) ถูกยึดติดกับเพลา (Shaft) และรองรับการหมุนด้วยที่รองรับการหมุน (Bearing) ตัวอาร์เมเจอร์ทำจากเหล็กแผ่นบางๆ อัดซ้อนกัน ถูกเจาะร่องออกเป็นส่วนๆ เพื่อไว้พันขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature Winding) ขดลวดอาร์เมเจอร์เป็นขดลวดอาน้ำยาฉนวน ร่องขดลวดอาร์เมเจอร์จะมีขดลวดพันอยู่และมีลิมไฟเบอร์อัดแน่นขัดขดลวด

อาร์เมเจอร์ไว้ ปลายขดลวดอาร์เมเจอร์ต่อไว้กับคอมมิวเตเตอร์ อาร์เมเจอร์ปลั๊กดันของ สนามแม่เหล็กทั้งสอง ทำให้อาร์เมเจอร์หมุนเคลื่อนที่

5) คอมมิวเตเตอร์ (Commutator) คือส่วนเคลื่อนที่อีกส่วนหนึ่ง ถูกยึดติดเข้ากับอาร์เมเจอร์ และเพลาาร่วมกัน คอมมิวเตเตอร์ทำจากแท่งทองแดงแข็งประกอบเข้าด้วยกันเป็นรูปทรงกระบอก แต่ละแท่งทองแดงของคอมมิวเตเตอร์ถูกแยกออกจากกันด้วยฉนวนไมก้า (Mica) อาร์เมเจอร์ คอมมิวเตเตอร์ทำหน้าที่เป็นขั้วรับแรงดันไฟตรงที่จ่ายมาจากแปรงถ่าน เพื่อส่งไปให้ขดลวดอาร์เมเจอร์

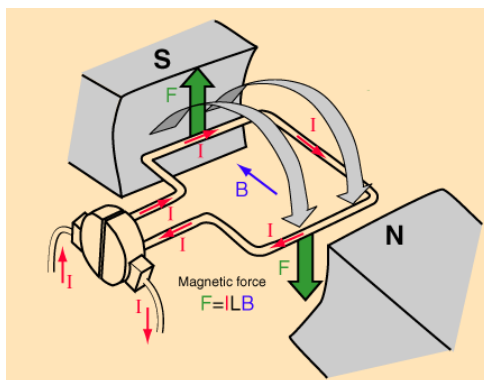
6) แปรงถ่าน (Brush) คือ ตัวสัมผัสกับคอมมิวเตเตอร์ ทำเป็นแท่งสี่เหลี่ยมผลิตมาจาก คาร์บอนหรือแกรไฟต์ผสมผงทองแดง เพื่อให้แข็งและนำไฟฟ้าได้ดี มีสายตัวนำต่อร่วมกับแปรงถ่าน เพื่อไปรับแรงดันไฟตรงที่จ่ายเข้ามา แปรงถ่านทำหน้าที่รับแรงดันไฟตรงจากแหล่งจ่าย จ่ายผ่านไปให้ คอมมิวเตเตอร์ แสดงดังภาพที่ 2.23



ภาพที่ 2.23 แสดง Brush และ Commutator

ที่มา: บริษัท พีเอสพี เทค (2558: ออนไลน์)

การทำงานของมอเตอร์



ภาพที่ 2.24 แสดงการทำงานของมอเตอร์

ที่มา: บริษัท พีเอสพี เทค (2558: ออนไลน์)

การทำงานของเบื้องต้นของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง มีแรงดันไฟตรงจ่ายผ่านแปรงถ่านไปคอมมิวเตเตอร์ ผ่านไปให้ขดลวดตัวนำที่อาร์เมเจอร์ ทำให้ขดลวดอาร์เมเจอร์เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นมา ทางด้านซ้ายมือเป็นขั้วเหนือ (N) และด้านขวาเป็นขั้วใต้ (S) เหมือนกับขั้วแม่เหล็กถาวรที่วางอยู่ใกล้ๆ เกิดอำนาจแม่เหล็กผลักดันกัน อาร์เมเจอร์หมุนไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกา พร้อมกับคอมมิวเตเตอร์หมุนตามไปด้วย แปรงถ่านสัมผัสกับส่วนของคอมมิวเตเตอร์ เปลี่ยนไปอยู่อีกปลายหนึ่งของขดลวด แต่มีผลทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กที่อาร์เมเจอร์เหมือนกับขั้วแม่เหล็กถาวรที่อยู่ใกล้ๆ อีกครั้ง ทำให้

อาร์เมเจอร์ยังคงถูกผลักให้หมุนไปในทิศทางตามเข็มนาฬิกาตลอดเวลา เกิดการหมุนของอาร์เมเจอร์ คือมอเตอร์ไฟฟ้าทำงาน (บริษัท พีเอสพี เทค, 2558: ออนไลน์)



ภาพที่ 2.25 แสดง Motor ZGA37RG244i
ที่มา: Yoycart (มปป.: ออนไลน์)

2.11 ตัวต้านทาน



ภาพที่ 2.26 แสดงตัวต้านทานปรับค่าได้
ที่มา: Arduinochonburi (มปป.: ออนไลน์)



ภาพที่ 2.27 แสดงตัวต้านทาน 10 โอห์ม
ที่มา: Commandronestore (มปป.: ออนไลน์)

ตัวต้านทานไฟฟ้า (Resistor) เป็นอุปกรณ์ที่ผลิตขึ้นมามีค่าเฉพาะค่าหนึ่งที่ใช้ในการต้านการไหลของกระแสไฟฟ้าซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีใช้มากที่สุด ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์มักเรียกสั้นๆ ว่า อาร์ “R” มีคุณสมบัติในการลดกระแสและแรงดันไฟฟ้า โดยสามารถนำไปใช้ได้ทั้ง แรงดันไฟฟ้า กระแสตรง และแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับสัญลักษณ์ของความต้านทาน

หน่วยของความต้านทาน (Resistance) ค่าความต้านทานของตัวต้านทาน ถูกกำหนดให้มีหน่วยเรียกเป็น โอห์ม (OHM) เขียนแทนด้วยเครื่องหมายอักษรกรีกโบราณ คือ Ω (โอ เมก้า หรือ โอห์ม) ซึ่งได้จากค่ามาตรฐาน โดยการเอาแรงดันไฟฟ้า 1 โวลต์ ต่อกับความต้านทาน 1 โอห์ม และทำให้มีกระแสไหลในวงจร 1 แอมแปร์ ประกอบด้วย หน่วยค่าความต้านทานต่างๆ ดังนี้

1000 Ω (โอห์ม) เท่ากับ 1 K Ω (กิโลโอห์ม)

1000 K Ω (กิโลโอห์ม) เท่ากับ 1 M Ω (เมกะโอห์ม)

ตัวต้านทาน บอกค่าความสามารถในการทนกำลังไฟฟ้ามียหน่วยเป็น วัตต์ (Watt)

2.11.1 ชนิดของตัวความต้านทาน

เมื่อพิจารณาถึงตัวความต้านทานให้ดีขึ้นแล้ว เราพอที่จะแบ่งตัวความต้านทานออกเป็น 2 ลักษณะ (บริษัท พีเอสพี เทค, 2557: ออนไลน์) คือ

1) แบ่งตามชนิดของวัสดุที่ใช้ทำตัวความต้านทาน

ตัวความต้านทานที่แบ่งตามวัสดุที่ใช้นั้น มีอยู่ 2 ชนิด คือ วัสดุประเภทโลหะ (Metallic) และวัสดุประเภทอโลหะ (No Metallic)

วัสดุ ประเภทโลหะ ที่ใช้ทำตัวความต้านทานนี้ส่วนมากจะใช้เส้นลวดเล็กๆ หรือแถบ ลวด (Ribbon) พันบนฉนวนที่เป็นแกนของตัวความต้านทาน และที่ปลายทั้งสองข้างของขดลวดจะต่อขาออกมาใช้งาน แล้วเคลือบด้วยฉนวนอีกทีหนึ่ง อุปกรณ์ ตัวความต้านทาน ที่ใช้เส้นลวดพันให้เกิดค่าความต้านทานนี้ส่วนมากจะเป็นพวกไวร์วาวด์รีซี สเตอร์ (Wire Wound Resistors) ตัวความต้านทานแบบนี้จะมีค่าความต้านทานที่แน่นอนและค่าความคลาดเคลื่อน น้อย ที่สุด แต่จะเป็นตัวความต้านทานที่มีขนาดใหญ่ และอัตราทนกำลังไฟฟ้า (วัตต์) ได้สูง

วัสดุประเภทอโลหะ ที่ใช้ทำตัวความต้านทานนี้ ได้แก่ ผงคาร์บอน (Carbon) หรือ ผงกาไฟต์ (Graphite) ที่อัดตัวกันแน่นเป็นแท่ง และใช้ฉนวนหุ้มเพื่อป้องกันความชื้น แล้วต่อขาออกมาใช้งานจากคุณสมบัติเฉพาะตัวของผลคาร์บอน และกราไฟต์ที่มีค่าความต้านทานสูงมากๆ นี่จึงสามารถนำมาใช้ทำเป็นตัวความต้านทานที่มีค่าสูงๆ ได้ แต่จะมีขนาดเล็ก

ตัวความต้านทานประเภทนี้ จะมีค่าความคลาดเคลื่อนของความต้านทานมาก และอัตราทนกำลังไฟฟ้าได้ไม่สูงมากนัก

2) แบ่งตามชนิด การใช้งานของตัวความต้านทาน

ตัวความต้านทานในการใช้งานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ พอที่จะแบ่งเป็นชนิดต่างๆ ดังรายละเอียดที่จะกล่าวถึงต่อไป โดยไม่ถือว่าตัวความต้านทานนั้น จะทำมาจากวัสดุประเภท โลหะ หรือ อโลหะ ก็ตาม ซึ่งสามารถแบ่งได้ดังนี้

(1) ตัวความต้านทาน ชนิดค่าคงที่ (Fixed Resistors)

(2) ตัวความต้านทาน ชนิดเปลี่ยนค่าได้ (Variable Resistors)

- (3) ตัวความต้านทาน ชนิดปรับแต่งค่าได้ (Adjustable Resistors)
- (4) ตัวความต้านทาน ชนิดแบ่งค่าได้ (Tapped Resistors)
- (5) ตัวความต้านทานชนิดพิเศษ (Special Resistors)

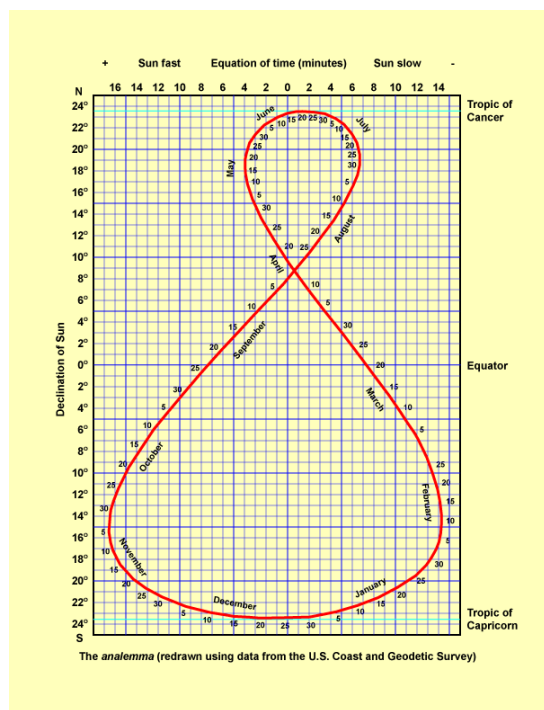
2.12 หลักการและทฤษฎีที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม

2.12.1 กราฟอนาเลมมา (Analemma)

อนาเลมมา (Analemma) เป็นกราฟแสดงละจิจุดที่ดวงอาทิตย์ส่องแสงตั้งฉากในวันต่างๆ ตลอดปีและสามารถหาสมการเวลาได้จากอนาเลมมา โดยจากอนาเลมมาเราจะได้ข้อมูลสำคัญ 2 ประการ คือ (1) สมการเวลา (2) ละจิจุดที่ดวงอาทิตย์ส่องแสงตั้งฉาก

ค่าสมการเวลาจะพิมพ์ไว้ที่ขอบแผ่นกราฟทางด้านซ้ายหรือด้านขวาของเส้นกึ่งกลางของกราฟขึ้นอยู่กับว่าด้านใดเป็นช่วงที่ดวงอาทิตย์มาเร็วหรือมาช้า ละจิจุดที่ดวงอาทิตย์ส่องแสงตั้งฉากจะพล็อตลงบนเส้นกราฟแนวนอนที่ใช้แทนเส้นขนาน โดยพล็อตอยู่เหนือใต้เส้นระนาบตรงกลางซึ่งใช้แทนเส้นศูนย์สูตร ค่าละจิจุดสูงสุดและต่ำสุดจะอยู่ระหว่าง 23 องศาเหนือถึง 23 องศาใต้ ดังนั้น ในทุกๆ วันปฏิทินจะสามารถหาสมการเวลาและละจิจุดที่ดวงอาทิตย์ส่องแสงตั้งฉากได้จากอนาเลมมา เมื่อมีการพล็อตค่าต่างๆ ของทุกวันปฏิทินลงในกราฟนี้ แล้วลากเส้นโค้งเชื่อมจุดต่างๆ จะได้เส้นกราฟโค้งไปมาเหมือนเลขแปดอารบิก

วิธีการสร้างกราฟอนาเลมมาอย่างง่ายๆ ทำได้โดยเจาะรูเล็กๆ บนแผ่นวัสดุทึบที่แสงผ่านไม่ได้ แล้วนำไปตั้งในแนวตั้ง โดยหันด้านหน้าไปทางทิศเหนือ – ใต้ แสงอาทิตย์จะส่องผ่านรูเล็กๆ นี้ลงไปยังพื้นระนาบแล้วทำเครื่องหมายแสดงตำแหน่งของจุดแสงตอนเที่ยงวันนาฬิกาไปทุกๆ วัน โดยต่อเนื่องกันตลอดปี ก็จะได้เส้นกราฟอนาเลมมา (ดาราศาสตร์ศึกษา, 2557: ออนไลน์) ดังภาพที่ 2.28



ภาพที่ 2.28 แสดงกราฟการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ตลอดทั้งปี

ที่มา: Ipgp (มปป.: ออนไลน์)

สูตรที่ใช้ในการคำนวณมุมของดวงอาทิตย์เวลาเที่ยงวัน

ตารางที่ 2.3 สูตรที่ใช้ในการคำนวณมุมของดวงอาทิตย์

Zenith Angle	
The formula for calculating the zenith angle when you are in the same hemisphere as the solar declination:	The formula for calculating the zenith angle when you are in the opposite hemisphere as the solar declination:
$\theta_z = Y - D_s $ Equation 2.1	$\theta_z = Y + D_s $ Equation 2.2
Where: θ_z = Zenith Angle Y = Latitude (สกนคร Latitude ที่ 17.19°) DS = Solar Declination	
Notes: <ul style="list-style-type: none"> • No negative values for θ_z are possible. The vertical bars in the formula above indicate absolute value. • The maximum value for D_s is 23.50 and the maximum value for Y 90°. • Any value > 90 for θ_z indicates the sun is below the horizon, or "stays dark". 	
Example: At 55° N on June 21 st when the solar declination is 23.5° N, then: $\theta_z = 55^\circ - 23.5^\circ = 31.5^\circ$	Example: At 55° N on December 22 nd when the solar declination is 23.5° S then: $\theta_z = 55^\circ + 23.5^\circ = 78.5^\circ$
Spreadsheet formula = abs(Y-Ds)	Spreadsheet formula = (Y+Ds)
Elevation Angle	
The formula for calculating elevation angle: $\theta_{el} = 90^\circ - \theta_z$ Formula 2.3 Where: θ_{el} = Elevation Angle θ_z = Zenith Angle	

ที่มา: Introduction to Weather Lab Tutorial Videos (2559: ออนไลน์)

2.13 ภาษาคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการพัฒนาระบบ

2.13.1 ภาษาซีพลัสพลัส

ภาษาซีพลัสพลัส หรือ C++ คือ ภาษา C programming language รุ่นใหม่ เป็นภาษาในการเขียนโปรแกรม ถูกพัฒนาโดย Dr.Bjarne Stroustrup ซึ่งเป็นนักวิจัยอยู่ที่ประเทศสหรัฐอเมริกา ในระหว่างปี พ.ศ. 2525-2528 ภาษา C++ เกิดจากแนวคิดในการเพิ่มประสิทธิภาพภาษา C โดยได้นำความสามารถของ ภาษา C มาพัฒนา ให้เป็นโปรแกรมภาษาที่มีความเป็น Object Oriented Programming หรือ โปรแกรมเชิงวัตถุและนี่เองคือที่มาของภาษา C++ จากการพัฒนานี้ทำให้ทุกสิ่งทีภาษา C ทำได้ ภาษา C++ ก็จะสามารถทำได้เหมือนกัน แต่สิ่งที่ภาษา C++ ทำได้ ภาษา C อาจจะทำไม่ได้

ภาษา C++ ถูกออกแบบมาสำหรับการทำงานภายใต้สิ่งแวดล้อมระบบปฏิบัติการ UNIX ด้วยผู้เขียนโปรแกรมสามารถเขียนโปรแกรมได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น นอกจากนี้การเขียนโปรแกรมเพื่อให้สามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่ (reusability) ก็สามารถทำได้ง่ายขึ้นภาษาซีพลัสพลัสเป็นภาษาที่ทำงานได้อย่างกว้างขวาง เข้าใจง่าย เขียนง่าย ตลอดจนมีคำสั่งที่อำนวยความสะดวกให้กับผู้เขียนที่จะสามารถเรียกใช้ได้ตามที่ต้องการ เช่น ใช้ในทางคณิตศาสตร์

1) รูปแบบของการออกแบบภาษาซีพลัสพลัส

ภาษาซีพลัสพลัสได้ถูกออกแบบมาเพื่อเป็นภาษาสำหรับการเขียนโปรแกรมทั่วไป สามารถรองรับการเขียนโปรแกรมในระดับภาษาเครื่องได้ เช่นเดียวกับภาษาซี

ภาษาซีพลัสพลัสนั้นเป็นภาษาที่มีความซับซ้อนมากกว่าภาษาซีภาษาซีพลัสพลัสได้รับการออกแบบเพื่อเข้ากันได้กับภาษาซีในเกือบทุกกรณี

มาตรฐานของภาษาซีพลัสพลัส ถูกออกแบบมาเพื่อไม่ให้เกิดการเจาะจงแพลตฟอร์มคอมพิวเตอร์ ภาษาซีพลัสพลัสถูกออกแบบมาให้รองรับรูปแบบการเขียนโปรแกรมที่หลากหลาย (Pinmanas As, 2556: ออนไลน์)

ตัวอย่างโคด

```
#include <iostream>
int main ()
{
    std::cout<< "hello, world\n";
    return 0;
}
```

2) โครงสร้างของโปรแกรมที่เขียนด้วยภาษาซีพลัสพลัส

โครงสร้างของโปรแกรมที่เขียนด้วยภาษาซีพลัสพลัสแบ่งย่อยได้เป็น 3 ส่วนดังนี้

- (1) ส่วนเรียกใช้ไฟล์อื่นๆ ส่วนใหญ่มักจะเป็นไฟล์ที่มีนามสกุลเป็น .h
- (2) ส่วนกำหนดชื่อในโปรแกรม เป็นส่วนที่ใช้กำหนดค่าคงที่ ตัวแปร และค่าอื่นๆ ที่

ต้องการ

- (3) ส่วนคำสั่ง- จะประกอบด้วยคำสั่งต่างๆ หรือฟังก์ชันอื่นๆ ที่ใช้ในการทำงานของโปรแกรม

ตัวอย่าง

โครงสร้างโปรแกรมที่เขียนด้วยภาษาซีพลัสพลัส

```
#include <iostream.h>          ส่วนเรียกใช้ไฟล์อื่น
```

```

char ch;
int main(void)          ส่วนกำหนดชื่อ
{
    ch = 'A';
    cout<<"Hello world";    ส่วนคำสั่ง
    return 0;
}

```

ข้อดีของภาษา C++

- 1) ภาษา C++ จะมีการทำงานที่ค่อนข้างเร็วมากเมื่อเทียบกับภาษาอื่น และยังสามารถดำเนินการกับ Hardware ได้ โดยที่โปรแกรมภาษาบางโปรแกรมอาจจะไม่สนับสนุนคุณลักษณะนี้
- 2) ภาษา C++ สามารถเขียนโปรแกรมภาษา C ได้ทั้งหมด ใช้ง่ายกว่าภาษา C
- 3) สามารถทำงานได้บนเครื่องคอมพิวเตอร์ต่างประเภทกัน โดยอาศัยการคอมไพล์โปรแกรมใหม่

4) ภาษา C++ มีความเป็น Object Oriented Programming และยังเป็น Structure Programming ซึ่งเหมาะที่จะใช้ ศึกษาเกี่ยวกับการเขียนโปรแกรมสำหรับผู้เริ่มต้น และนอกจากนั้น ถ้าหากเราจะเรียนเรื่อง Data Structure หรือ ทางด้านอัลกอริทึม ในต่างประเทศจะนิยมใช้ C++ ในการสอน รวมถึงการเรียนรู้ถึงระบบการทำงานของระบบปฏิบัติการ ตำราส่วนใหญ่ก็จะใช้ C++ ในการสอน ซึ่งถ้าเราสามารถอ่าน Source code C++ รู้เรื่องก็จะทำให้เราเรียนรู้เกี่ยวกับการเป็นโปรแกรมเมอร์ได้ง่ายขึ้น

ข้อเสียของภาษา C++

- 1) ภาษา C++ เวลาสร้าง function แล้วต้องสร้างไว้ตรงข้างบนไม่อย่างนั้นก็จะมองไม่เห็น
- 2) เป็นภาษาที่เรียนรู้ยาก
- 3) การตรวจสอบโปรแกรมทำได้ยาก
- 4) ไม่เหมาะกับการเขียนโปรแกรมที่เกี่ยวข้องกับการออกรายงานที่มีรูปแบบซับซ้อนมากๆ

2.14 โปรแกรมที่ใช้ในการพัฒนาระบบ

2.14.1 โปรแกรม Arduino IDE

Arduino IDE คือ เครื่องมือการเขียนโปรแกรมที่มีใช้งานได้กับอาduino ได้ทุกรุ่น โดยภายในจะมีเครื่องมือที่จะเป็นสำหรับติดต่ออาduino เช่น การค้นหาอาduino ที่ติดต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ การเลือกรุ่นอาduinoที่อยู่เพื่อนตรวจสอบว่าขนาดของโปรแกรมที่เขียน หรือไบนารีต่างๆ ซัพพอร์ตกับอาduinoรุ่นนั้นๆ ไหม อีกทั้งยังมีโปรแกรมติดต่อผ่านซีเรียลโดยตรงสำหรับคอมพิวเตอร์

```

Fade | Arduino 1:1.0.5+dfsg2-2
File Edit Sketch Tools Help

Fade

int led = 9;           // the pin that the LED is attached to
int brightness = 0;    // how bright the LED is
int fadeAmount = 5;    // how many points to fade the LED by

// the setup routine runs once when you press reset:
void setup() {
  // declare pin 9 to be an output:
  pinMode(led, OUTPUT);
}

// the loop routine runs over and over again forever:
void loop() {
  // set the brightness of pin 9:
  analogWrite(led, brightness);

  // change the brightness for next time through the loop:
  brightness = brightness + fadeAmount;

  // reverse the direction of the fading at the ends of the fade:
  if (brightness == 0 || brightness == 255) {
    fadeAmount = -fadeAmount ;
  }
  // wait for 30 milliseconds to see the dimming effect
  delay(30);
}

Done compiling.

Binary sketch size: 1,276 bytes (of a 32,256 byte maximum)

1 Arduino Uno on /dev/ttyACM0

```

ภาพที่ 2.29 แสดง Arduino IDE
ที่มา: MINDPHP (2560: ออนไลน์)

โปรแกรมอาduinoไอดีอี เป็นโปรแกรมโอเพ่นซอสสามารถนำไปใช้งานได้ฟรีๆ อีกทั้งมีซอสโค้ดตัวอย่างให้ทดสอบกับเซ็นเซอร์ต่างๆ เช่น โปรแกรมไฟกระพริบ โปรแกรมวัดอุณหภูมิ และสามารถโหลดได้ฟรีจาก (<https://www.arduino.cc/en/Main/Software>) (MINDPHP, 2560: ออนไลน์)

2.15 การวัดประสิทธิภาพ

ประสิทธิภาพ (Efficiency) หมายถึง ความสามารถที่ทำให้เกิดผลในการทำงาน (Boonlert Aroonpiboon, 2556: ออนไลน์)

2.15.1 ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (\bar{x})

ค่าเฉลี่ยเลขคณิต เป็นค่าที่มีความสำคัญมากในวิชาสถิติ เพราะค่าเฉลี่ยเลขคณิตเป็นค่ากลางหรือเป็นตัวแทนของข้อมูลที่ดีที่สุด เนื่องจากเป็นค่าที่ไม่เอนเอียงมีความคงเส้นคงวามีความแปรปรวนต่ำที่สุด และมีประสิทธิภาพสูงสุด แต่ค่าเฉลี่ยเลขคณิตก็มีข้อจำกัดในการใช้ เช่น ถ้าข้อมูลมีการกระจายมาก หรือข้อมูลบางตัวมีค่ามากหรือน้อยจนผิดปกติ หรือข้อมูลมีการเพิ่มขึ้นเป็นเท่าตัว ค่าเฉลี่ยเลขคณิตจะไม่สามารถเป็นค่ากลางหรือเป็นตัวแทนที่ดีของข้อมูลได้

การหาค่าเฉลี่ยเลขคณิตเมื่อข้อมูลไม่ได้มีการแจกแจงความถี่ (\bar{x}) ในกรณีที่ข้อมูลไม่ได้มีการแจกแจงความถี่ ค่าเฉลี่ยเลขคณิตสามารถหาได้โดย

$$\text{สูตร} \quad \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} \quad \text{หรือ} \quad \bar{x} = \frac{\sum X}{N}$$

เมื่อ $\sum_{i=1}^N X_i$ แทนผลรวมข้อมูลตัวที่ 1 ถึง n

$\sum X$ แทนผลรวมข้อมูลทั้งหมด

X_i แทนค่าสังเกตของข้อมูลลำดับที่ i

N แทนจำนวนตัวอย่างข้อมูล

นิยาม ค่าเฉลี่ยเลขคณิต คือ ผลรวมของค่าสังเกตหรือค่าของตัวอย่างที่ได้จากการสำรวจทุกค่าของข้อมูล แล้วหารด้วยจำนวนตัวอย่างของข้อมูล

2.15.2 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) เป็นค่าสถิติตัวหนึ่งที่สามารถนำมาวัดการกระจายของข้อมูลได้ โดยใช้อธิบายคู่กับ ค่าเฉลี่ยเลขคณิต จะช่วยให้อธิบายข้อมูลได้อย่างถูกต้อง สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ดังจะแสดงในตัวอย่างต่อไป ข้อมูลที่ใช้หาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นข้อมูลที่มีลักษณะเช่นเดียวกับการหาค่าเฉลี่ยเลขคณิต ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน เป็นการวัดการกระจายวิธีหนึ่งซึ่งนักสถิตินิยมใช้กันมาก เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการกระจายแบบอื่น ทั้งนี้เนื่องจาก

- 1) เป็นวิธีการวัดการกระจายของข้อมูลซึ่งใช้ค่าในข้อมูลทุกค่ามาคำนวณ
- 2) มีความละเอียดถูกต้อง น่าเชื่อถือได้ดีที่สุดและสามารถนำไปใช้ในทางสถิติขั้น สูงต่อไปได้
- 3) ขจัดปัญหาเรื่อง การใช้ค่าสมบูรณ์
- 4) มีวิธีลัดในการคำนวณ ทำให้การคำนวณทำได้สะดวกและรวดเร็ว

ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน คือรากที่สองที่ไม่เป็นจำนวนลบ ของค่าเฉลี่ยของกำลังสอง ของผลต่างระหว่างค่าในข้อมูลกับค่าเฉลี่ยเลขคณิตของข้อมูลนั้น หรือถ้าให้ ความหมายที่ง่าย ต่อการเข้าใจ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานหมายถึง ผลรวมของทุกค่าที่ห่างจากค่ากลางของข้อมูล ($x - \bar{x}$) ที่ยกกำลังสอง หารด้วยจำนวนข้อมูล แล้วนำค่าที่ได้มาหารากที่สอง

สัญลักษณ์ที่ใช้แทน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน คือ S หรือ S.D. กรณีเป็นกลุ่มตัวอย่าง และ σ (ซิกมา (Sigma)) ในกรณีที่เป็นประชากร สูตรการคำนวณมีดังนี้

ก. ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร (σ)

$$\text{สูตร } \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}{N}} \quad \text{หรือ} \quad \text{สูตร } \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N x_i^2}{N} - (\mu)^2}$$

$$\text{เขียนอย่างง่าย } \sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \mu)^2}{N}} \quad \text{เขียนอย่างง่าย } \sigma = \sqrt{\frac{\sum x_i^2}{N} - (\mu)^2}$$

ข. ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่าง (S หรือ S.D.)

$$\text{สูตร S.D.} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N}} \quad \text{หรือ} \quad \text{สูตร S.D.} = \sqrt{\frac{n\sum x^2 - (\sum x)^2}{n(n-1)}}$$

2.15.3 ค่าร้อยละ (Percentage; %)

ค่าร้อยละ เป็นค่าที่แสดงการเปรียบเทียบต่อหนึ่งร้อยในการวิเคราะห์ข้อมูลระดับนามบัญญัติ (Nominal Scales) ซึ่งเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพ คือข้อมูลที่ไม่สามารถวัดออกมาเป็นค่าของตัวเลขได้โดยตรง แต่จะเป็นข้อมูลที่บรรยายคุณสมบัติหรือลักษณะของสิ่งที่กำลังสนใจ และข้อมูลเชิงคุณภาพนั้นได้ถูกแจกแจงนับเป็นความถี่ ซึ่งบางครั้งในการสรุป อภิปราย เปรียบเทียบข้อมูลตั้งแต่ 2 กลุ่มขึ้นไป เมื่อจำนวนข้อมูลไม่เท่ากันทำให้การเปรียบเทียบทำได้ยาก ไม่สะดวกในการสรุปผล จึงจำเป็นต้องปรับจำนวนโดยใช้ฐานให้เท่ากันฐานจำนวนที่นิยมใช้กัน คือฐานจำนวน 100 หรือเป็นอัตราส่วน ที่มีส่วนเป็น 100 นั่นเองดังนั้น ค่าที่ได้จึงเป็นค่าที่เรียกว่าร้อยละหรือเปอร์เซ็นต์ (Phichsinee, มปป.: ออนไลน์)

$$\text{สูตร} \quad \text{การหาร้อยละ} = \frac{\square}{\square} \times 100$$

เมื่อ n หมายถึง จำนวนที่สนใจ

N หมายถึง จำนวนทั้งหมด

ผลการสรุปข้อมูลที่เป็นร้อยละ ต้องแสดงจำนวนข้อมูลทั้งหมด ให้ทราบด้วย เนื่องจากบางครั้งข้อมูลในแต่ละชุด มีจำนวนข้อมูลทั้งหมดแตกต่างกันมาก

2.16 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.16.1 เครื่องควบคุมแผงโซลาร์เซลล์ตามทิศทางแสงอาทิตย์

โดยทำการออกแบบให้แผงโซลาร์เซลล์สามารถหมุนหาทิศทางของแสงอาทิตย์ได้โดยอัตโนมัติ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานของมอเตอร์เพื่อหมุนปรับทิศทางของแผงโซลาร์เซลล์ตามทิศทางของแสงอาทิตย์เพื่อให้รับพลังงานได้อย่างเต็มที่และคุ้มค่าที่สุดที่สุด เครื่องควบคุมแผงโซลาร์เซลล์ตามทิศทางแสงอาทิตย์ ประกอบด้วยวงจรที่สำคัญ ได้แก่ วงจรชาร์จแบตเตอรี่ วงจรแปลงแรงดันกระแสตรง วงจรเปรียบเทียบแรงดัน และวงจรขับสเต็ปมอเตอร์ โดยที่วงจรเปรียบเทียบแรงดันจะทำหน้าที่เปรียบเทียบแรงดันที่รับมาจากเซนเซอร์แสงแต่ละตำแหน่งที่ติดตั้งไว้ โดยที่เอาต์พุตจากวงจรเปรียบเทียบแรงดันจะมีสถานะเป็น ON และ OFF ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการประมวลผล จากเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบแรงดันนี้ เพื่อทำการขับสเต็ปมอเตอร์ให้หมุนแผงโซลาร์เซลล์ไปตามทิศทางของแสงอาทิตย์ (นราธิป ศรีละโคตร, สมโชค จากรณ์ และวราภรณ์ พรหมมาศ, 2550: ออนไลน์)

2.16.2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์กับการติดตั้งแบบหมุนตามดวงอาทิตย์

หลักการทำงานของ การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบหมุนตามดวงอาทิตย์นี้ เป็นการติดตั้งที่ให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถหมุนตามดวงอาทิตย์ เพื่อรับความเข้มของแสงได้สูงสุดตลอดวัน โดยการหมุนจะถูกควบคุมด้วยระบบเซ็นเซอร์หรือการตั้งเวลา เพื่อควบคุมตำแหน่งของแผงให้หมุนไปตามการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์ตามช่วงเวลาระหว่างวัน ซึ่งจะทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เก็บ

พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น นั่นคือ จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าได้มากกว่าการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบคงที่ประมาณ 20% (EGCO Grop, 2560: ออนไลน์)

2.16.3 วงจรควบคุมการเคลื่อนที่ของแผงโซลาร์เซลล์ตามความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์

โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อที่จะทำการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าระหว่างแผงโซลาร์เซลล์ที่มีการเคลื่อนที่ตามความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์กับแผงโซลาร์เซลล์ที่ตั้งตามมาตรฐาน และศึกษาความคุ้มค่าในการลงทุนของวงจรควบคุมการเคลื่อนที่ตามความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์ โดยจะใช้ไมโครคอนโทรเลอร์รับค่าจาก LDR 2 ตำแหน่งแล้วทำการเปรียบเทียบเพื่อขับเคลื่อนแผงโดยใช้มอเตอร์กระแสตรงขนาด 12 โวลต์ ทำให้แผงหันไปยังด้านที่มีความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์มากที่สุด โดยจะติดตามในระบบหนึ่งแกน นั่นคือ แกนวัน และจะทำการเก็บกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ผ่านตัวควบคุมการชาร์จชนิด MPPT (Maximum Power Point Tracking) เพื่อหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดในขณะนั้น และนำไปเก็บสะสมเป็นพลังงานภายในแบตเตอรี่

ผลการทดลองของการผลิตกำลังไฟฟ้าของโซลาร์เซลล์ทั้ง 2 แบบพบว่า โซลาร์เซลล์ที่มีวงจรควบคุมการเคลื่อนที่ตามความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยได้มากกว่าแบบติดตั้งตามมาตรฐาน 4.19 วัตต์ และใช้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยในการขับเคลื่อนแผงโซลาร์เซลล์ด้วยมอเตอร์ 3.63 วัตต์ เมื่อทำการหักกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการขับเคลื่อนแล้ว จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตกำลังไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์ที่มีการควบคุมการเคลื่อนที่ตามความเข้มแสงจากดวงอาทิตย์ได้ 5.35 เปอร์เซ็นต์ (จิตริน แพทอง, รณวรรณ เพ็งเอี่ยม และดารรงค์ดี เมืองกลาง, 2558: ออนไลน์)