

บรรณานุกรม

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2554). **หลักสูตรเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ โครงการพัฒนาบุคลากรด้านเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์.** (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ. บริษัท ปัญญาคอนซัลแตนท์ จำกัด.

ความรู้เกี่ยวกับเซลล์แสงอาทิตย์. สืบค้นเมื่อ 12 กันยายน 2560.

จากhttp://www.leonics.co.th/aboutpower/solar_knowledge.php.

โครงสร้างของแผ่นโซลาร์เซลล์. สืบค้นเมื่อ 22 สิงหาคม 2561.

จาก<http://www.sunnergysolar.com>.

ชนิภัทร ยუნนท์. (2549). **การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ระบบบูรณาการเซลล์สุริยะกับอาคารสำหรับในกรุงเทพฯ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน. คณะ : พลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิกอน. ค้นเมื่อ 20 กันยายน 2560.

จากhttp://naturalenergyth.com/solar_tec.htm

ณรงค์ ขอนตะวัน. (2555). **หม้อแปลงไฟฟ้า.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์. สืบค้นเมื่อ 27 สิงหาคม 2560.

จาก<http://www3.egat.co.th/re/Solarcell/Solarcell.htm>.

รัชชัย อัดถวิบูลย์กุล. (2554). **เครื่องกลไฟฟ้า.** สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.

รัชชัย อัดถวิบูลย์กุล. (2540). **ทฤษฎีมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ.** กรุงเทพฯ. เจริญรุ่งเรืองการพิมพ์.

บรรจบ สุขประภาภรณ์. (2551). **พลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์และออกแบบระบบโซลาร์เซลล์.**

มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย.

ประสพ โห้ทองคำ และสุดาพร อร่ามรุณ. (2552). **เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นการนำแสงเซลล์แสงอาทิตย์.** กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยสยาม

ประวัติโซลาร์เซลล์และหลักการทำงาน. สืบค้นเมื่อ 27 สิงหาคม 2560.

จาก<http://www.inventor.in.th/>.

พลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์และการออกแบบโซลาร์เซลล์. สืบค้นเมื่อ 27 สิงหาคม 2560.

จาก<http://www.ind.cru.in.th/>.

พลังงานแสงอาทิตย์จากการตรวจวัด. สืบค้นเมื่อ 27 สิงหาคม 2560.

จาก<http://www.dede.go.th>.

พลังงานแสงอาทิตย์และโซลาร์เซลล์. (2560). ค้นเมื่อ 23 กันยายน 2560.

จาก <http://energyguru.com>.

พุทธพร เศวตสกุลานนท์ และจักรารัฐ เดชวิเศษ. (2550). โคมไฟถนนอัตโนมัติพลังงานแสงอาทิตย์. ครั้งที่ 1. หน้า 1-8. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์. สืบค้นเมื่อ 27 สิงหาคม 2560.

จาก [http://www.cesckmutt.in.th/cssc/cssc_training/doc/operator_CH1 to CH5. Pdf.](http://www.cesckmutt.in.th/cssc/cssc_training/doc/operator_CH1%20to%20CH5.Pdf)

รัตนพงศ์ เสาศิล. (2553). การเปรียบเทียบแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบเคลื่อนที่ 2 แกน ไม่ใช่หลักการความโน้มถ่วงที่สุดกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์อยู่กับที่. ปรินญาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. สาขาวิศวกรรมเครื่องกล. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

ศุภชัย กวินวุฒิภูกุล. (2551). การประยุกต์ใช้ระบบควบคุมแผงโซลาร์เซลล์ให้เคลื่อนที่ตามดวงอาทิตย์. คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.

ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย. สืบค้นเมื่อ 29 สิงหาคม 2560.

จาก http://www3.egat.co.th/re/egat_pv/sun-thand.htm.

สัมพันธ์ หาญชวล. (2530). เครื่องกลไฟฟ้า 2. พิมพ์ครั้งที่ 13. ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สุจิตต์ สอนองคุณ. (2542). ไฟฟ้ารถยนต์(Automotive Electrical). พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ. เม็ดทรายพรีนติ้ง.

สุชาติ เขียวนอก. (2556). ชุดโคมไฟส่องสว่างถนนหลอดแอลอีดีพลังงานแสงอาทิตย์. มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ : เพชรบูรณ์

สาธิต สังข์ทอง และสิทธิชัย. (2556) โคมไฟสนามพลังงานแสงอาทิตย์. ปรินญาณิช สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จังหวัดตาก

สมศักดิ์ มีนคร. (2554). การศึกษาอิทธิพลและปัจจัยในการผสมที่ส่งผลต่อค่าความจุของ Expander Materials. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยสวนสุนันทา.

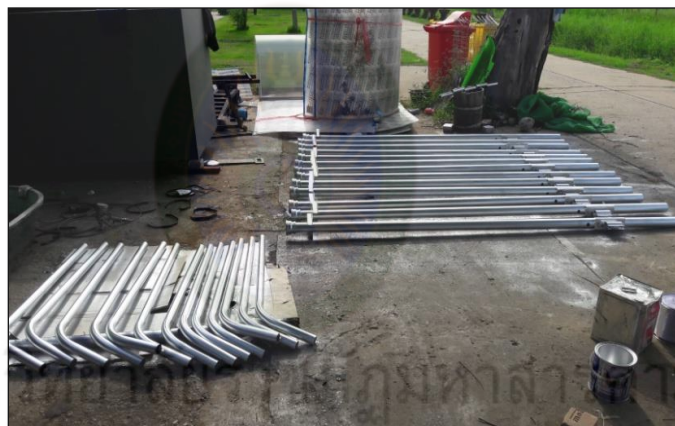
Application of Inverter, Converter-UPS, Motor control. สืบค้นเมื่อ 22 สิงหาคม 2561

จาก <https://www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/power/apps/>.



ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



การเตรียมท่อนเสาไฟ



การเตรียมโครงเหล็กแผงโซล่าเซลล์



การประกอบแผงโซล่าเซลล์ใส่โครงเหล็ก



การประกอบแผงโซล่าเซลล์ใส่โครงเหล็ก



การประกอบเสาไฟเตรียมติดตั้ง



การลงเสาไฟฟ้าติดตั้งเสาไฟบริเวณข้างสนามอธุนปริทัศน์



การลงเสาไฟฟ้าติดตั้งเสาไฟบริเวณหน้า หอประชุม 80 พรรษา



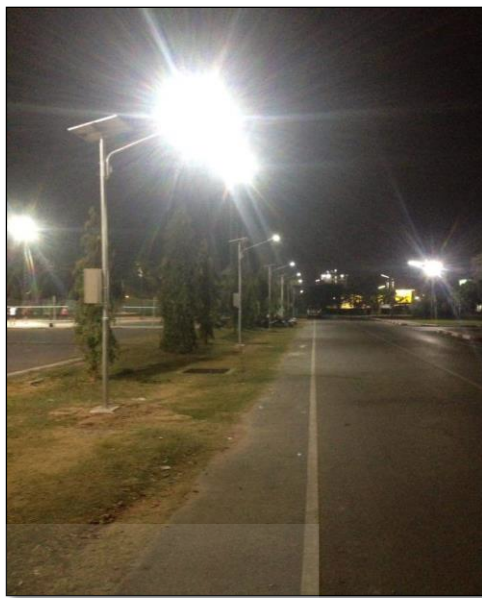
การลงเสาไฟฟ้าติดตั้งเสาไฟ



ติดตั้งเสาไฟฟ้า



ติดตั้งเสร็จ



เสาไฟที่ติดตั้งเสร็จ



รายงานวิจัย

เรื่อง

การวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทน

Research and Development of Renewable Energy

สมสงวน ปัสสาโก

ชลดา ยอดยิ่ง

อัศววัฒน์ ธรรมศิรินิเวศ

วุฒิชัย ข่ายเพชร

วิรุณ โมนะตระกูล

อังศุมา ก้านจักร

บดินทร์ มงคลสิน

ชาญณรงค์ ลีลาเกตุ

ศุภฤกษ์ รี้วดำ

วีระวัฒน์ สามเณร

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

2561

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

(รายงานนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณแผ่นดินด้านการวิจัย ปีงบประมาณ 2560)

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยเรื่อง การวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทน โดยได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจาก
งบประมาณแผ่นดิน ปี พ.ศ. 2560 โดยการพิจารณาทุนอุดหนุนสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
(วช.) คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงยิ่ง

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณรายนาม บุคคลและหน่วยงานต่างๆ ต่อไปนี้ที่มีส่วนช่วยในการทำ
การวิจัยสำเร็จลงด้วยดี อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ขอขอบคุณผู้ช่วยนักวิจัยที่วิเคราะห์
ข้อมูลและจัดทำรูปเล่มงานวิจัยจนเสร็จสมบูรณ์ ขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้ และหวังว่างานวิจัยนี้จะ
เป็นประโยชน์ทางด้านวิชาการต่อผู้ที่สนใจและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

คณะผู้วิจัย

2561



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

หัวข้อวิจัย	การวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทน
ผู้ดำเนินการวิจัย	สมสงวน ปัสสาโก ชลดา ยอดยิ่ง อัศววัฒน์ ธรรมศิรินิเวศ วุฒิชัย ข่ายเพชร วิรุณ โมนะตระกูล อังศุมา ก้านจักร บดินทร์ มงคลสิน ชาญณรงค์ ลีลาเกตุ ศุภฤกษ์ รั้วดำ วีระวัฒน์ สามเณร
หน่วยงาน	สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
ปี พ.ศ.	2560



บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาต้นแบบของไฟส่องสว่างถนน และการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้งานได้ตามถนนภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม โดยทำการออกแบบสร้างชุดไฟส่องสว่างถนนที่ใช้โคมไฟหลอดLED แบบหลังเต่า ขนาด 30 W ความยาวโคมไฟขนาด 120 มิลลิเมตร แผงโซล่าเซลล์ขนาด 80 W ขนาดแบตเตอรี่ขนาด 12 V 45 Ah ออกแบบให้สามารถเปิดปิดไฟได้เองอัตโนมัติ ความสูงของเสาไฟ 6 เมตร ความกว้างของถนน 6 เมตร ระยะห่างระหว่างเสาไฟ 13 เมตร พื้นที่ติดตั้งเสาไฟ 6 โชน (A - F) จำนวนเสาไฟฟ้าจำนวน 60 ต้น

ผลการศึกษาพบว่า แผงโซล่าเซลล์สามารถผลิตแรงดันไฟฟ้า มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 12.06 – 14.08 V และสามารถชาร์จกระแสไฟฟ้าเข้าสู่แบตเตอรี่ มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 0.79 – 4.72 amp สำหรับแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายออกไปสู่หลอดไฟ LED มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 10.04 – 11.95 V และมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านหลอด LED มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 0.18 – 1.22 amp ความส่องสว่างของหลอดไฟ LED มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 186 – 340 lux ปริมาณเก็บพลังงานจากโซล่าเซลล์สูงกว่าปริมาณการใช้งานในเวลากลางวัน ดังนั้นหลอดไฟ LED มีพลังงานเพียงพอในการใช้ส่องสว่างตลอดทั้งคืน

Title	Research and Development of Renewable Energy
Research team	Somsanguan Passago Chonlada YodYing Akkarawat Thamasiriniwet Wuthichai Kanphet Wiroom Monatrakul Angsuma Kanchak Bodin Mongkhonsin Channarong Leelagate Supalerk Ruedum Weerawat Sammaneeal
Organization	RajabhatMahasarakham University
Academic year	2017

Abstract

This research aims to study model of street light and electricity generation from solar cell for street lighting in RajabhatMahasarakham University. The model was designed to make electricity set by 30 Watt 120 mm.-length- LED street lamp. The solar panel included 80 Watt solar cell with 12 V 45 Ah battery. The model was automatic lighting control system. In the research, the height of electricity pole was 6 m., settling on the 6 m.-width – street in 6 areas (A – F zones). Distance between each pole was 13 m., the total amount of the poles used in the research were 60 poles.

The study found that the solar cell panel was able to generate average voltage value from 12.06 – 14.08 V. and the average value of the charging ability into the battery was 0.79 – 4.72 amp. The average voltage value used in the LED was 10.04 - 11.95 V. and the average value of electricity flowed through the LED light was 0.18 – 1.22 amp. Moreover, the average luminance was 186 – 340 lux. And the research also found that quantity of solar cell energy storage was higher than the energy consumption which could be concluded that there would be enough energy for the LED during the night time.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract.....	ค
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูปภาพ.....	ช
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย.....	2
1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	
2.1 พลังงานทดแทนจากแสงอาทิตย์.....	4
2.2 ทฤษฎีเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	6
2.3 ขดลวด (Coil).....	16
2.4 ทฤษฎีเซลล์แสงอาทิตย์.....	17
2.5 แบตเตอรี่ (Battery).....	42
2.6 อินเวอร์เตอร์ (Inverter).....	56
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	61

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 ขั้นตอนดำเนินการศึกษาวิจัย.....	63
3.2 การออกแบบหาขนาดอุปกรณ์.....	64
3.3 การออกแบบและการดำเนินการสร้างระบบต้นแบบ ของชุดคอมพิวเตอร์พลังงานแสงอาทิตย์.....	65
3.4 การทดสอบการทำงานของระบบไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์.....	67
3.5 การรวบรวมข้อมูล.....	71
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1 การทดสอบวงจร และอุปกรณ์.....	72
4.2 ผลการทดสอบแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า อุณหภูมิ ความต้านทาน และความส่องสว่างของหลอดไฟ LED	86
4.3 ผลการทำงานของแผงโซลาร์เซลล์ และผลการทำงานของจ่ายโหลด (หลอดไฟ LED) ในระบบไฟส่องถนน.....	100
บทที่ 5 สรุปอภิปรายผลและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผล และอภิปรายผล.....	107
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	107
บรรณานุกรม.....	108
ภาคผนวก.....	110

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การต่อขดลวดแบบสตาร์และเดลต้า.....	17
2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดีไอทีกับค่าเอสไอซี.....	49
4.1 ผลการทดลองอัดประจุโซล่าเซลล์แสงอาทิตย์ โชนA (เวลา 13:00 น.).....	73
4.2 ค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า อุณหภูมิ ความต้านทาน และความส่องสว่างของหลอดไฟ LED (เวลา 20:00 น.).....	87
4.3 ค่าการเก็บประจุของแบตเตอรี่ในเวลากลางวัน และค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของหลอดไฟLED.....	100



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ตัวเก็บรังสีแบบรางพาราโบลิก (Parabolic Trough Collector).....	6
2.2 แสดงหัวแม่เหล็ก.....	6
2.3 แสดงสนามแม่เหล็ก.....	8
2.4 แสดงการอธิบายกฎของฟาราเดย์.....	9
2.5 แสดงกฎของมือขวาเฟลมมิ.....	10
2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มสนามแม่เหล็ก (H) กับกระแส (i).....	10
2.7 คุณสมบัติเส้นโค้งทำแม่เหล็ก B-H.....	12
2.8 เส้นโค้งการทำแม่เหล็ก.....	13
2.9 แสดงหลักการเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง.....	14
2.10 แสดงหลักการเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ.....	14
2.11 แสดงสนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ไปมาภายในขดลวดจะให้กำเนิด แรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับ	15
2.12 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึก (Crystalline Solar Cells).....	18
2.13 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง.....	18
2.14 การตอบสนองต่อสเปกตรัมแสงอาทิตย์ของเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทต่างๆ.....	20
2.15 ผลกระทบต่างๆ ต่อรังสีอาทิตย์ในบรรยากาศโลก.....	21
2.16 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับประเทศไทยจัดทำในปี พ.ศ. 2542 (หน่วย: กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตร-วัน).....	23
2.17 มุมซันนิซ (θ_z , Zenith Angle) มุมเดคลิเนชัน (α , Solar Declination Angle).....	24
2.18 (ก) ไฟรานอมิเตอร์ (ข) เครื่องบันทึกแดดแบบลูกแก้ว.....	25
2.19 การต่อวงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์.....	27
2.20 ลักษณะกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ (IV-curve).....	27
2.21 ผลของอุณหภูมิแรงดันวงจรเปิดและกระแสลัดวงจร.....	28
2.22 ผลของความต้านทานอนุกรมต่อลักษณะกระแสและแรงดัน.....	28
2.23 ผลของความต้านทาน Shunt ต่อลักษณะกระแสและแรงดัน.....	29

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.24 ลักษณะทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกนำมาประกอบเป็นแผงเซลล์.....	29
2.25 การต่อเซลล์ (ก) แบบอนุกรม (ข) แบบอนุกรม-ขนาน (ค) แบบอนุกรม-ขนาน-อนุกรม.....	31
2.26 วัสดุประกอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึก.....	30
2.27 เซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอน.....	31
2.28 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอ่อนตัว.....	31
2.28 สัญลักษณ์ของเซลล์แสงอาทิตย์.....	32
2.29 สัญลักษณ์ของเซลล์แสงอาทิตย์.....	33
2.30 กราฟกระแสกับแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ (I-V Curve).....	33
2.31 ไดอะแกรมการทดสอบวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้า.....	34
2.32 แบบจำลองคุณลักษณะทางสถิติของเซลล์แสงอาทิตย์.....	35
2.33 กราฟกระแสและแรงดันที่อุณหภูมิและความเข้มแสงค่าต่างๆ.....	35
2.34 ปัจจัยการลดทอนกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์.....	36
2.35 ลักษณะของผิวหนังของเซลล์ซึ่งผ่านการทำ surface texturing.....	36
2.36 แผนภาพการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อไม่มีเงาบังที่เซลล์.....	37
2.37 ภาพแสดงการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อมีใบไม้บัง.....	37
2.38 แผนภาพการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อมีใบไม้บัง Bypass Diode.....	38
2.39 การเปรียบเทียบ I-V curve ที่มีและไม่มี Bypass Diode เมื่อมีการเกิดเงาบัง.....	39
2.40 กล่องรวมสายไฟฟ้าที่มีการติดตั้ง Bypass Diode.....	39
2.41 แผนภาพของระบบที่มีการติดตั้ง Bypass Diode.....	40
2.42 การเปรียบเทียบไฟฟ้าที่ผลิตได้ของระบบที่มีและไม่มี Bypass Diode.....	41
2.43 แสดงแบตเตอรี่รีขนาด 125 Ah.....	42
2.44 ส่วนประกอบของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดชนิด Stationary tubular plate.....	50
2.45 ส่วนประกอบของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดชนิดบล็อก.....	51
2.46 ความสามารถในการคายประจุกับเวลาในการคายประจุ.....	52
2.47 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับ charge cut-off voltage.....	53
2.48 ลักษณะแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ ในช่วงเวลาเกิดกระบวนการอัดคายประจุ.....	54

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.49 Inverter.....	56
2.50 Converter.....	56
2.51 UPS.....	57
2.52 หลักการทำงานของ Inverter.....	58
2.53 แหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ จ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ.....	58
2.54 สวิตช์ 4 ตัว และทำการเปิด-ปิด สวิตช์ทั้ง 4.....	59
2.55 ความเป็นจริงแล้วอินเวอร์เตอร์จะใช้ทรานซิสเตอร์แทนสวิตช์.....	59
2.56 การเปิดสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์.....	60
2.57 วงจรเบรกคั้นพลังงาน.....	61
3.1 แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	63
3.2 โครงสร้างของชุดโครงไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์.....	65
3.3 แสดงระยะห่างการวางแนวต้นเสา.....	66
3.4 แบบโคมไฟ LED หลังเต่า 30 วัตต์ (a) แผงโซลาร์เซลล์ (b).....	66
3.5 แผนผังรวมในการติดตั้งชุดโคมไฟพลังงานแสงอาทิตย์ภายในมหาวิทยาลัย ราชภัฏมหาสารคาม จำนวน 60 ต้น.....	67
3.6 ติดตั้งต้นเสาไฟฟ้า.....	68
3.7 ติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์และโคมไฟ LED.....	69
3.8 ติดตั้งระบบกล่องคอนโทรล.....	69
3.9 ทดสอบการทำงานของระบบไฟถนน.....	70
3.10 ทดสอบการทำงานของระบบไฟถนน.....	71
4.1 ค่าแรงดันไฟฟ้าที่แผงโซลาร์เซลล์ และกระแสไฟฟ้าที่ชาร์จเข้าสู่แบตเตอรี่ (โชนA).....	79
4.2 ค่าแรงดันไฟฟ้าที่แผงโซลาร์เซลล์ และกระแสไฟฟ้าที่ชาร์จเข้าสู่แบตเตอรี่ (โชนB).....	80
4.3 ค่าแรงดันไฟฟ้าที่แผงโซลาร์เซลล์ และกระแสไฟฟ้าที่ชาร์จเข้าสู่แบตเตอรี่ (โชนC).....	81
4.4 ค่าแรงดันไฟฟ้าที่แผงโซลาร์เซลล์ และกระแสไฟฟ้าที่ชาร์จเข้าสู่แบตเตอรี่ (โชนD).....	82

สารบัญญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5 ค่าแรงดันไฟฟ้าที่แผงโซลาร์เซลล์ และกระแสไฟฟ้าที่ชาร์จเข้าสู่แบตเตอรี่ (โซนE).....	83
4.6 ค่าแรงดันไฟฟ้าที่แผงโซลาร์เซลล์ และกระแสไฟฟ้าที่ชาร์จเข้าสู่แบตเตอรี่ (โซนF).....	84
4.7 ค่าแรงดันไฟฟ้าที่โหลด ค่ากระแสไฟฟ้าที่โหลด และค่าความส่องสว่าง (โซนA).....	93
4.8 ค่าแรงดันไฟฟ้าที่โหลด ค่ากระแสไฟฟ้าที่โหลด และค่าความส่องสว่าง (โซนB).....	94
4.9 ค่าแรงดันไฟฟ้าที่โหลด ค่ากระแสไฟฟ้าที่โหลด และค่าความส่องสว่าง (โซนC).....	95
10 ค่าแรงดันไฟฟ้าที่โหลด ค่ากระแสไฟฟ้าที่โหลด และค่าความส่องสว่าง (โซนD).....	96
4.11 ค่าแรงดันไฟฟ้าที่โหลด ค่ากระแสไฟฟ้าที่โหลด และค่าความส่องสว่าง (โซนE).....	97
4.12 ค่าแรงดันไฟฟ้าที่โหลด ค่ากระแสไฟฟ้าที่โหลด และค่าความส่องสว่าง (โซนF).....	98
4.13 เปรียบเทียบการทำงานของแผงโซลาร์เซลล์ในเวลากลางวัน และกลางคืน(โซน A).....	103
4.14 เปรียบเทียบการทำงานของแผงโซลาร์เซลล์ในเวลากลางวัน และกลางคืน(โซน B).....	103
4.15 เปรียบเทียบการทำงานของแผงโซลาร์เซลล์ในเวลากลางวัน และกลางคืน(โซน C).....	104
4.16 เปรียบเทียบการทำงานของแผงโซลาร์เซลล์ในเวลากลางวัน และกลางคืน(โซน D).....	104
4.17 เปรียบเทียบการทำงานของแผงโซลาร์เซลล์ในเวลากลางวัน และกลางคืน(โซน E).....	105
4.18 เปรียบเทียบการทำงานของแผงโซลาร์เซลล์ในเวลากลางวัน และกลางคืน(โซน F).....	105

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

นับเป็นเวลาหลายศตวรรษแล้วที่มนุษย์ได้ให้ความสนใจที่จะหาพลังงานทดแทนในรูปแบบต่างๆ มาใช้แทนพลังงานน้ำมัน ที่นับวันจะมีราคาที่สูงขึ้นเรื่อยๆ และในอนาคตก็จะต้องหมดไปในที่สุดสิ่งที่พยายามคิดค้นกัน ก็คือการใช้พลังงานสะอาดที่จะไม่ก่อให้เกิดมลภาวะ หรือมลพิษต่อส่วนรวม และมีปริมาณหรือระยะเวลาที่ใช้ได้นานที่สุด ดังนั้นพลังงานธรรมชาติ เช่นพลังงานลม และพลังงานแสงอาทิตย์ จึงถูกนำมาใช้มากที่สุด พลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งมาจากดวงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานขนาดใหญ่ ให้พลังงานแก่โลกมานานหลายพันล้านปีแล้ว และยังคงจะให้พลังงานอย่างนี้อีกต่อไปอีกหลายพันล้านปีเช่นกัน ซึ่งเราสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ และนับว่าเป็นพลังงานสะอาด ที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แม้จะไม่มากพอที่จะใช้ทดแทนพลังงานที่ได้จากน้ำมันทั้งหมดก็ตาม แต่เมื่อนำมาใช้พร้อมกับพลังงานอื่นๆ และถ้าได้มีการพัฒนา นำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้เพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุด ก็สามารถลดการขาดแคลนได้ในอนาคต เซลล์แสงอาทิตย์ เป็นสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานอิเล็กทรอนิกส์เป็นพลังงานไฟฟ้า ไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อต่อพลังงานแสงอาทิตย์นั้นกับโหลดที่เหมาะสม (รัตนพงศ์ เสาศิลา, 2553)

โซล่าเซลล์ หรือ เซลล์พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นสิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นอุปกรณ์สำหรับการเปลี่ยนพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยการนำสารกึ่งตัวนำเช่น ซิลิคอนซึ่งมีราคาถูกที่สุดนำมาผ่านกระบวนการผลิตให้เป็นเซลล์แสงอาทิตย์การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ในทันทีที่มีแสงตกกระทบบนแผ่นเซลล์รังสีดวงอาทิตย์ซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จะถ่ายเทพลังงานให้แก่อิเล็กตรอนในเซลล์แสงอาทิตย์หากมีพลังงานมากพอก็จะกระโดดออกมาจากแรงดึงดูดของอะตอมและสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระเมื่ออิเล็กตรอนมีการเคลื่อนที่ผ่านรอยต่อของสารกึ่งตัวนำจนครบวงจรก็จะทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสตรงขึ้นซึ่งเซลล์พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทดแทนหมุนเวียนที่สามารถใช้แล้ว เกิดขึ้นใหม่ได้ตามธรรมชาติ เป็นพลังงานสะอาดที่ไร้มลพิษ ไม่มีมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม และเป็นพลังงานที่มีศักยภาพสูง ซึ่งสามารถผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีได้ไม่จำกัดจึงเป็นทางเลือกใหม่ของแหล่งพลังงานที่อยู่ในความสนใจและถูกกล่าวถึงมากที่สุดในปัจจุบัน (ศุภชัย กวินวุฒิกุล, 2551)

ไฟส่องสว่างถนนมีความจำเป็นต่อความปลอดภัยในการสัญจรให้กับผู้ใช้รถใช้ถนนในเวลากลางคืน ไฟฟ้าส่องสว่างทำให้ผู้ขับขี่มีทัศนวิสัยในการมองเห็นที่ชัดเจนมากขึ้นหรือเทียบเท่ากับในเวลากลางวัน ช่วยป้องกันมิให้เกิดอุบัติเหตุ ช่วยป้องกันและลดอาชญากรรมให้นักศึกษาที่สัญจรและเดินเท้าเกิดความปลอดภัยมากขึ้น ไฟฟ้าส่องสว่างจึงมีความจำเป็นต่อผู้ใช้รถใช้ถนนเป็นอย่างมาก

ในการวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทน ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในนำไฟฟ้าส่องสว่างจากโซล่าเซลล์หรือจากพลังงานแสงอาทิตย์มาติดตั้งภายในบริเวณมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม โดยทำการศึกษาค้นคว้า

ชุดไฟส่องสว่างถนนพลังงานแสงอาทิตย์ ตัวโคมหลอดสว่างทำจาก ไดโอดเปล่งแสง (Light-emitting diode) พลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นพลังงานสะอาด เกิดประโยชน์ในด้านการประหยัดพลังงาน ด้านความปลอดภัย และเป็นการนำพลังงานทดแทนมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อศึกษาระบบต้นแบบของไฟส่องสว่างถนนที่ใช้พลังงานทดแทนจากพลังงานแสงอาทิตย์ ภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

1.2.2 เพื่อศึกษาการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อใช้ในระบบไฟถนนสำหรับส่องสว่าง ภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 ออกแบบและสร้างชุดไฟส่องสว่างถนนที่ความกว้างของถนน เมตร ด้วยหลอดแอลอีดีจากเซลล์แสงอาทิตย์

1.3.2 ออกแบบระบบการใช้งานให้สามารถเปิด-ปิดได้อัตโนมัติ

1.3.3 ออกแบบให้ระบบชุดไฟส่องสว่างถนนหลอดแอลอีดีจากเซลล์แสงอาทิตย์ใช้ระบบไฟฟ้ากระแสตรง

1.3.4 ทดสอบและเก็บข้อมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น แรงดันไฟฟ้าที่จุดต่างๆ และตัวแปรอื่นๆ ที่ อาจส่งผลกระทบต่อระบบไฟถนนโดยใช้พลังงานทดแทน

1.4 นิยามศัพท์เฉพาะ

พลังงานแสงอาทิตย์ หมายถึง พลังงานตามธรรมชาติที่เกิดจากการนำแสงอาทิตย์มาเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อใช้งาน

เซลล์แสงอาทิตย์ หมายถึง ชุดแผงโซลาร์เซลล์ สำหรับเก็บพลังงานในรูปแบบไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อบรรจุให้กับแบตเตอรี่

ไฟส่องถนน หมายถึง โคมไฟหลอดแอลอีดีที่ให้แสงสว่างตามถนนภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม โดยใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงาน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้ระบบต้นแบบของไฟถนนที่ใช้พลังงานทดแทนจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่สามารถใช้งานได้ตามถนนภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

1.5.2 ทราบถึงการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อใช้ในระบบไฟถนนสำหรับส่องสว่าง

1.5.3 เพื่อให้พื้นที่ที่ไฟฟ้าไม่สามารถเข้าถึงได้มีแสงสว่างใช้ในเวลากลางคืน

1.5.5 เพื่อลดปัญหาด้านมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม

1.5.6 เพื่อลดการใช้พลังงานเชื้อเพลิงที่มีอยู่อย่างจำกัด และนำพลังงานจากแสงอาทิตย์มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บทที่ 2

ทบทวนวรรณกรรม

2.1 พลังงานทดแทนจากแสงอาทิตย์

พลังงานทดแทน หมายถึง พลังงานที่นำเข้ามาใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิงสามารถแบ่งได้ตามต้นกำเนิดที่ได้มาเป็น 2 ประเภท คือพลังงานที่ใช้แล้วหมดไปอาจเรียกว่าพลังงานสิ้นเปลือง ได้แก่ ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ นิวเคลียร์ หินน้ำมัน และทรายน้ำมัน เป็นต้น และพลังงานทดแทนอีกประเภทหนึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วสามารถหมุนเวียนมาใช้ได้อีกเรียกว่าพลังงานหมุนเวียน ได้แก่ แสงอาทิตย์ ลม ชีวมวล น้ำ และไฮโดรเจน เป็นต้น

แม้ว่าในอดีตประเทศไทยเองจะเคยผ่านสภาวะวิกฤตเกี่ยวกับราคาน้ำมันมาแล้วหรือที่เรียกว่า Oil Shock ประมาณเมื่อ 20 ปีที่แล้ว แต่ก็ยังไม่ส่งผลกระทบต่อราคาน้ำมันขายปลีกในประเทศเท่ากันครั้งนี้ สถานการณ์ เช่นนี้เป็นสัญญาณเตือนว่าไทยควรจะมีการเตรียมการให้พร้อม สำหรับการหาพลังงานทางเลือกอื่นๆ เช่นเดียวกับประเทศต่างๆ ทั่วโลกที่ตื่นตัวและให้ความสำคัญต่อการแสวงหาพลังงานทางเลือกต่างๆ เพื่อชดเชยและลดการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีราคาพุ่งขึ้นไม่หยุด ตลอดจนเป็นการลดมลภาวะจากการใช้พลังงานที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและมีปริมาณมากเพียงพอ ต่อความต้องการแหล่งพลังงานที่มีอยู่ในธรรมชาติ และสามารถผลิตทดแทนได้ไม่มีวันหยุด ซึ่งเป็นนิยามของพลังงานหมุนเวียนประกอบด้วยแสงอาทิตย์ น้ำ ลม ความร้อนใต้พิภพ และชีวมวล เป็นต้น หากกล่าวถึงชีวมวล เป็นมวลของอินทรีย์ที่ได้จากซากพืชและสัตว์ ขยะชุมชนที่ผ่านการคัดเลือกแล้ว กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำทิ้งด้วยวิธีทางชีววิทยา หรือกากวัสดุที่เหลือใช้จากการเกษตร เช่น แกลบ ฟางข้าว ชานอ้อย กากมันสำปะหลัง เศษไม้ เศษยางพารา และอื่นๆ ที่มีปริมาณมากพอที่จะนำมาใช้ประโยชน์เป็นแหล่งพลังงานทดแทนได้ (พลังงานแสงอาทิตย์และโซลาร์เซลล์ , <https://ienergyguru.com>)

2.1.1 พลังงานจากดวงอาทิตย์

ใน 1 ชั่วโมง โลกได้รับพลังงานจากดวงอาทิตย์ประมาณ 174 petawatts ซึ่ง 30% ของพลังงานนี้ถูกสะท้อนกลับไปสู่อวกาศ ที่เหลือถูกดูดซับโดยเมฆ มหาสมุทรและพื้นดิน คิดเป็น 3,850,000 exajoules ต่อปี พลังงานนี้เป็นต้นกำเนิดของวัฏจักรของสิ่งมีชีวิตในโลก ทำให้เกิดการหมุนเวียนของน้ำและธาตุต่าง ๆ เช่น คาร์บอน เป็นต้น พลังงานแสงอาทิตย์จัดเป็นหนึ่งในพลังงานทดแทน หรือ พลังงานหมุนเวียนที่มีศักยภาพสูง ปราศจากมลพิษ อีกทั้งเกิดใหม่ได้ไม่สิ้นสุด และยังเป็นต้นกำเนิดของพลังงานน้ำ (จากการทำให้น้ำกลายเป็นไอ และลอยตัวขึ้นสูง พลังงานน้ำที่ตกกลับลงมาถูกนำไปผลิตกระแสไฟฟ้า) เป็นต้นกำเนิดของพลังงานเคมีในอาหาร (พืชสังเคราะห์แสง เปลี่ยนแร่ธาตุให้เป็นแป้งและน้ำตาล ซึ่งสามารถให้พลังงานแก่มนุษย์และสัตว์ชนิดต่าง ๆ) เป็นต้นกำเนิดของพลังงานลม (ทำให้เกิดความกดอากาศและทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศ) และเป็นต้นกำเนิด พลังงานคลื่น (ทำให้น้ำขึ้น-ลง)

พลังงานแสงอาทิตย์แบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ พลังงานที่เกิดจากแสง และ พลังงานที่เกิดจากความร้อน

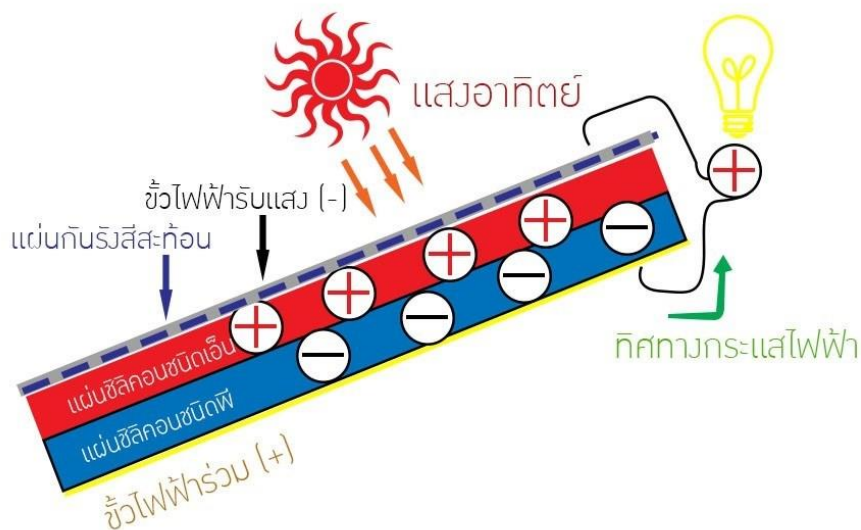
1. พลังงานที่เกิดจากแสง รูปแบบการนำพลังงานของแสงอาทิตย์มาใช้งาน แบ่งอย่างกว้าง ๆ เป็น 2 รูปแบบ ขึ้นอยู่กับวิธีการในการจับพลังงานแสง การแปรรูปให้เป็นพลังงานอีกรูปหนึ่ง และการแจกจ่ายพลังงานที่ได้ใหม่นั้น รูปแบบแรกเรียกว่า แอคทีฟโซลาร์ เป็นการใช่วิธีการของ โฟโตโวลตาอิกส์ หรือ solar thermal เพื่อจับและเปลี่ยนพลังงานของแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าหรือพลังงานความร้อนโดยตรงอีกรูปแบบหนึ่งก็คือ พาสซีฟโซลาร์ เป็นวิธีการใช้ประโยชน์ทางอ้อม ได้แก่ การออกแบบอาคารในประเทศหนาวให้รับแสงแดดได้เต็มที่ หรือ การติดตั้งวัสดุที่ไวต่ออุณหภูมิ thermal mass เพื่อปรับสมดุลของอากาศในอาคาร หรือติดตั้งวัสดุที่มีคุณสมบัติกระจายแสง หรือการออกแบบพื้นที่ว่างให้อากาศหมุนเวียนโดยธรรมชาติ

2. พลังงานที่เกิดจากความร้อน เช่นพลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานคลื่น เป็นต้น

2.1.2 การประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์ สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลากหลายรูปแบบ เช่น เพื่อเพิ่มสุขอนามัยในพื้นที่ห่างไกล เช่น การฆ่าเชื้อโรคที่มากับน้ำโดยการให้น้ำสัมผัสกับแสงอาทิตย์โดยตรง การเลี้ยงสาหร่ายในการปรับสภาพน้ำโดยการเพิ่มออกซิเจน การติดตั้งเครื่องสูบน้ำพลังแสงอาทิตย์เพื่อแจกจ่ายน้ำสะอาดเพื่อการบริโภค การพัฒนาเชื้อเพลิงทางเลือก เช่น การเลี้ยงสาหร่ายบางชนิดเพื่อนำมาสกัดเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ การติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อสร้างพลังงานให้รถไฟฟ้า การพัฒนาการเกษตร เช่น การปลูกต้นไม้เช่นพืชผักสวนครัวดอกไม้ในเรือนกระจกในประเทศหนาว เป็นต้น เรือนกระจกจะป้องกันอากาศหนาวจากภายนอกและเก็บกักความร้อนจากแสงอาทิตย์เพื่อให้พืชเจริญเติบโตได้ การติดตั้งไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ในพื้นที่ห่างไกลเพื่อสูบน้ำเข้าไร่นาเพื่อการเกษตร การผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านทั่วไปแล้วต่อเข้ากับสายส่งของผู้ผลิตไฟฟ้างกลาง เพื่อใช้เองและขายส่วนเกินให้ผู้ผลิตกลาง การผลิตน้ำร้อนจากพลังแสงอาทิตย์เพื่อการพาณิชย์ ปัจจุบัน มีการผลิตทั่วโลกถึง 196 GW (ปี 2010)การผลิตเสไฟฟ้าสองถนพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น

พลังงานแสงอาทิตย์ถูกใช้งานอย่างมากในหลายส่วนของโลก และมีศักยภาพในการผลิตพลังงานมากกว่าการบริโภคพลังงานของโลกในปัจจุบันหลายเท่าหากใช้ประโยชน์อย่างเหมาะสม พลังงานแสงอาทิตย์สามารถใช้โดยตรงเพื่อผลิตไฟฟ้าหรือสำหรับทำความร้อน หรือแม้แต่ทำคามเย็น มีวิธีการมากมายที่สามารถนำพลังงานจากแสงอาทิตย์มาใช้งานได้ อย่างไรก็ตามคำว่า "พลังงานแสงอาทิตย์" หมายถึงการเปลี่ยนแสงอาทิตย์โดยตรงมากกว่าเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อนหรือพลังงานไฟฟ้าสำหรับใช้งาน ประเภทพื้นฐานของพลังงานแสงอาทิตย์ คือ "พลังงานความร้อนแสงอาทิตย์" และ "เซลล์แสงอาทิตย์" (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2557)



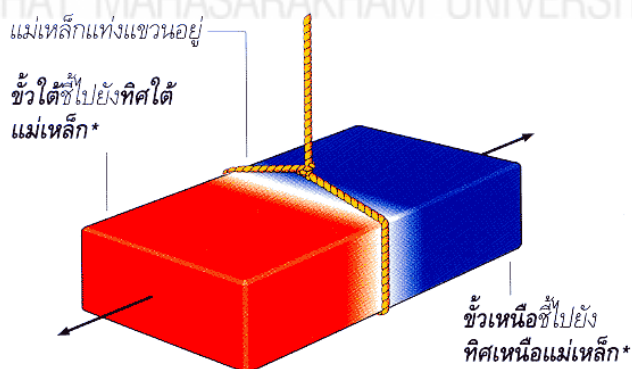
รูปที่ 2.1 ตัวเก็บรังสีแบบรางพาราโบลิก (Parabolic Trough Collector)

ที่มา : http://naturalenergyth.com/solar_tec.htm

2.2 ทฤษฎีเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

2.2.1 แม่เหล็ก (Magnet)

แม่เหล็กทุกชนิดมีสนามแม่เหล็กรอบๆแท่ง และมีแรงแม่เหล็กกระทำกันระหว่างแม่เหล็ก 2 แท่ง เนื่องจากแรงปฏิกิริยาภายในสนามแม่เหล็กวัตถุใดๆ ที่ถูกทำให้เป็นแม่เหล็กได้ ก็กลายเป็นแม่เหล็ก และจะกลายเป็นแม่เหล็กเมื่อวางไว้ในสนามแม่เหล็ก การเคลื่อนที่ของประจุ (ปกติคืออิเล็กตรอน) ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กเช่นเดียวกัน



รูปที่ 2.2 แสดงขั้วแม่เหล็ก

ที่มา : สัมพันธ์ พาญชาล (2530)

แม่เหล็กมี 2 ขั้ว ขั้วเหนือและขั้วใต้ (ระบุโดยให้แท่งแม่เหล็กวางตัวในสนามแม่เหล็กโลก) แท่งแม่เหล็กทั้งหมดมีขั้วแต่ละชนิดเท่ากัน กฎข้อแรกของแม่เหล็กกล่าวว่าขั้วต่างกันดูดกัน และขั้วเหมือนกันผลักกัน

- 1) Magnetic axis: แกนแม่เหล็ก เป็นเส้นที่ลากผ่านขั้วเหนือและขั้วใต้ของแท่งแม่เหล็กแบ่งให้เห็นความสมดุลของสนามแม่เหล็ก
- 2) Ferromagnetic: สารแม่เหล็ก หมายถึงวัตถุที่เป็นแม่เหล็กอย่างแรง (ทำให้เป็นแม่เหล็กได้ง่าย) ได้แก่ เหล็ก นิกเกิล โคบอลต์ และสารประกอบของโลหะเหล่านี้ แบ่งเป็นสารแม่เหล็กถาวร และสารแม่เหล็กชั่วคราว แม่เหล็กผสมทำด้วยสารแม่เหล็กหลายชนิดดังกล่าว ทำให้เป็นของแข็งด้วยความร้อนและความกดดัน สามารถทำให้เป็นเหล็กถาวรมากขึ้น หรือเป็นสารแม่เหล็กชั่วคราวมากขึ้นโดยการเปลี่ยนส่วนผสมเป็นของสารใช้
- 3) Hard: สารแม่เหล็กถาวร เป็นสารแม่เหล็กที่ไม่เสียอำนาจแม่เหล็กง่ายหลังจากถูกทำให้เป็นแม่เหล็กถาวรแล้ว เช่น เหล็กกล้า แม่เหล็กที่ทำจากสารเหล่านี้เรียกว่า แม่เหล็กถาวร
- 4) Soft: สารแม่เหล็กชั่วคราว เป็นสารแม่เหล็กที่ไม่สามารถรักษาอำนาจแม่เหล็กได้นานหลังจากถูกทำให้เป็นแม่เหล็กแล้ว เช่น เหล็กธรรมดา แม่เหล็กที่ทำด้วยสารแม่เหล็กประเภทนี้เรียกว่า แม่เหล็กชั่วคราว สภาพแม่เหล็กที่หลงเหลือในสารแม่เหล็กชั่วคราวเรียกว่า แม่เหล็กค้าง
- 5) Susceptibility: สภาพรับไว้ได้ เป็นการวัดความสามารถของสาร ในการเปลี่ยนสภาพเป็นแม่เหล็ก สารแม่เหล็กมีสภาพรับไว้ไม่ได้สูง จากพจนานุกรมฟิสิกส์ฉบับภาพประกอบ แปลโดยสมาคมครูวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย

2.2.2 แม่เหล็กและแม่เหล็กไฟฟ้า

ความสำคัญของแม่เหล็กและแม่เหล็กไฟฟ้า อุปกรณ์ไฟฟ้าส่วนใหญ่ที่ให้กำลังงานและแสงสว่างนั้น ส่วนใหญ่เป็นอุปกรณ์ที่ใช้แม่เหล็กไฟฟ้าเป็นส่วนประกอบ เช่น มอเตอร์ไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้า เป็นต้น การแบ่งชนิดของแม่เหล็ก แบ่งได้เป็น

- 1) แม่เหล็กธรรมชาติหมายถึงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ ส่วนใหญ่จะเป็นออกไซด์ของเหล็ก (Fe_3O_4) ลักษณะของแม่เหล็ก
- 2) แม่เหล็กประดิษฐ์ ได้แก่ แม่เหล็กที่มนุษย์สร้างขึ้น ซึ่งจำแนกออกเป็น 2 ชนิด คือ แม่เหล็กถาวร และแม่เหล็กชั่วคราว
 - ก) แม่เหล็กถาวร หมายถึง แม่เหล็กที่แสดงอำนาจการเป็นแม่เหล็กนาน รูปร่างลักษณะแล้วแต่ลักษณะการทำงาน
 - ข) แม่เหล็กชั่วคราว หมายถึง แท่งแม่เหล็กที่แสดงจำนวนการเป็นแม่เหล็กในช่วงระยะเวลาที่ต้องการจะให้ป็นแม่เหล็กเท่านั้น

2.2.3 คุณสมบัติของแม่เหล็ก

- 1) ถ้าแขวนแท่งแม่เหล็กให้เคลื่อนที่อย่างอิสระเมื่อหยุดนิ่งแล้วจะชี้ตามแนวทิศเหนือ ทิศใต้
- 2) สามารถดูดสารแม่เหล็กได้
- 3) ขั้วเหมือนกันเข้าใกล้กันจะเกิดแรงผลักกันและขั้วต่างกันเมื่อเข้าใกล้กันจะเกิดแรงดูด
- 4) อำนาจแรงดึงดูดจะมีมากที่สุดที่บริเวณขั้วทั้งสองแม่เหล็ก
- 5) เส้นแรงแม่เหล็กมีทิศทางออกจากขั้วเหนือไปยังขั้วใต้

นักวิทยาศาสตร์ชาวสวีเดนชื่อ ฮันส์ คริสเตียน เออร์สเตด (Hans Christian Oersted) ได้ค้นพบความสัมพันธ์อย่างหนึ่งโดยบังเอิญ ขณะที่เขาทำการทดลองปล่อยกระแสผ่านเข้าไปในเส้นลวดตัวนำเส้นหนึ่ง และมีเข็มทิศวางอยู่ใกล้ๆ กับเส้นลวดที่มีกระแสไหลผ่านเข็มทิศมีการบ่ายเบนไปจากแนวเดิม เออร์สเตดทดลองกับทิศทางของกระแสเข็มทิศก็เกิดการบ่ายเบนไปอีกเช่นกัน โดยมีทิศทางตรงกันข้ามกับครั้งแรก

เออร์สเตดสรุปผลการทดลองครั้งนี้ว่า “เมื่อมีกระแสไหลผ่านเส้นลวดตัวนำจะเกิดเส้นแรงแม่เหล็กขึ้นมารอบๆ เส้นลวดตัวนำนั้น” ลักษณะเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบเส้นลวดตัวนำเกิดขึ้นเป็นลักษณะวงกลมล้อมรอบเส้นลวดตัวนำลักษณะการเกิดเส้นแรงแม่เหล็กรอบเส้นลวดตัวนำแสดงดังรูป



รูปที่ 2.3 แสดงสนามแม่เหล็ก

ที่มา : รัชชัย อรรถวิบูลย์กุล (2540)

สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นแต่ละขั้วของแม่เหล็กที่มีคุณสมบัติตรงข้ามกัน ดังนั้นแม่เหล็กที่ต่างกันสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะมีอำนาจแม่เหล็กที่ดูดกันและขั้วแม่เหล็กที่เหมือนกันสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะมีอำนาจแม่เหล็กที่ผลักกัน คุณสมบัติดังกล่าวเหมือนกับคุณสมบัติของประจุไฟฟ้า การดึงดูดและการผลักกันของขั้วแม่เหล็ก

หลักการเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) เป็นเครื่องกลไฟฟ้าที่เปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าจากกฎของฟาราเดย์ ถ้าเกิดการเปลี่ยนแปลงฟลักซ์แม่เหล็กจะเกิดแรงดันเหนี่ยวนำขึ้น ดังสูตร

$$e = N \frac{d\phi}{dt} \quad 2.1$$

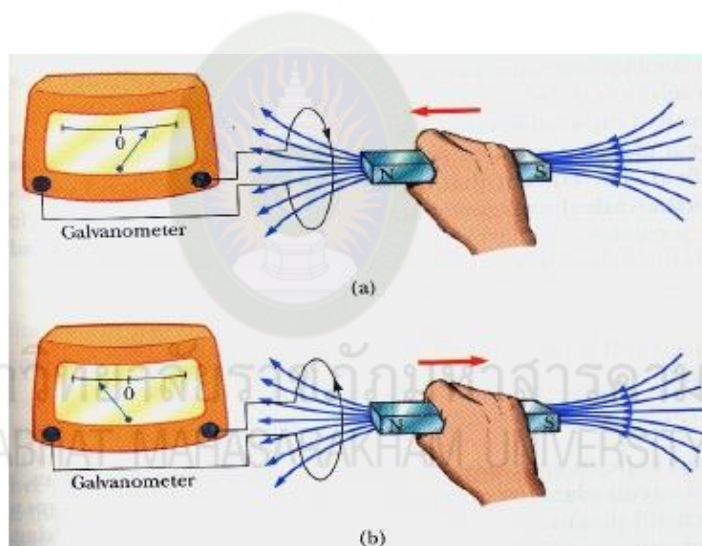
เมื่อ

e = แรงเคลื่อนไฟฟ้า (v)

N = จำนวนรอบของขดลวด (รอบ)

ϕ = เส้นแรงแม่เหล็ก (W_b)

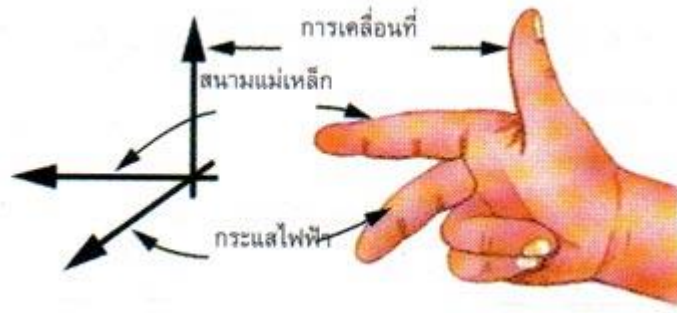
t = เวลา (s)



รูปที่ 2.4 แสดงการอธิบายกฎของฟาราเดย์

ที่มา : วัชชัย อรรถวิบูลย์กุล (2540)

จากรูปที่ 2.4 อธิบายการเกิดกระแสไฟฟ้าตามกฎของฟาราเดย์ โดยเมื่อเคลื่อนแท่งแม่เหล็กเข้าหรือออกจากขดลวดจะเกิดกระแสไฟฟ้าในขดลวด หรือถ้าให้แท่งแม่เหล็กอยู่นิ่งแล้วเคลื่อนขดลวด ก็จะได้ผลการทดลองเช่นเดียวกัน แต่ทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะมีทิศทางตรงข้ามกันเมื่อเคลื่อนแม่เหล็กเข้าออก โดยปกติจะเรียกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในขดลวดนี้ว่า “กระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ (induced current)”



รูปที่ 2.5 แสดงกฎของมือขวาเฟลมมิง
ที่มา : ธวัชชัย อรรถวิบูลย์กุล (2540)

จากรูปที่ 2.5 อธิบายตามกฎมือขวาของเฟลมมิง เมื่อตัวนำเคลื่อนที่ที่ตัดผ่านสนามแม่เหล็กจะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำและเกิดกระแสไหลในตัวนำนั้นในทิศทางตั้งฉากดังนี้ จากหลักการดังกล่าวเป็นหลักเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง (D.C. Generator) และกระแสสลับ (A.C. Generator)

2.2.4 วงจรแม่เหล็ก

1) ความสัมพันธ์ระหว่างกระแส (i) และความเข้มข้นสนามแม่เหล็ก (H) โดยที่ความเข้มข้นของสนามแม่เหล็กคำนวณได้ตามสมการที่ 2.2

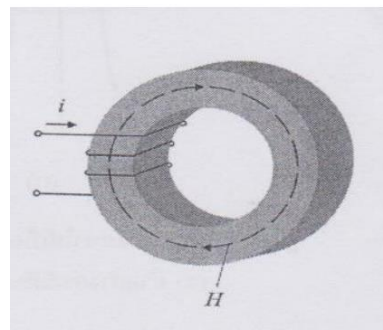
$$\oint Hdl = \sum i = i_1 + i_2 - i_3 \quad 2.2$$

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

เมื่อ

H คือ ความเข้มข้นของจุดบนเส้นรอบวงสนามแม่เหล็ก

DL คือ ความยาวของสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นสนามแม่เหล็ก (H) กับกระแส (i)
ที่มา : ธวัชชัย อรรถวิบูลย์กุล (2540)

$$H = \frac{i}{2\pi r} \quad 2.3$$

2) ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและความเข้มสนามแม่เหล็ก ความเข้มสนามแม่เหล็กทำให้เกิดความหนาแน่นเส้นแรงทุกๆ จุดที่มีค่า H ดังนั้น ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์แสดงได้ตามสมการที่ 2.4 นั่นคือ

$$B = \mu_r \mu_v H \text{ Wb/m}^2 \quad 2.4$$

โดยที่

μ คือ คุณสมบัติของตัวกลาง

μ_0 คือ สภาพความซึมซาบใน free space ($4\pi \times 10^{-7}$ H/m)

μ_r คือ สภาพความซึมซาบสัมพัทธ์ของตัวกลาง

3) วงจรแม่เหล็กสมมูลย์ (Magnetic Equivalent Circuit) การพิจารณาทางเดินเส้นแรงแม่เหล็กที่รัศมี r ค่าความเข้มสนามแม่เหล็ก (H) คำนวณได้จากกฎของแอมแปร์ นั่นคือ

$$\oint H dl = Ni$$

ดังนั้น

$$H = \frac{N}{l} i \text{ At/m} \quad 2.5$$

โดย

$$mmf = F = Hl = Ni \quad 2.6$$

ดังนั้น

$$B = \frac{\mu Ni}{l} T \quad 2.7$$

เส้นแรงแม่เหล็กตัวขวาง (flux crossing) บนพื้นที่หน้าตัดคำนวณได้ดังนี้ คือ

$$\phi = \int B da = BA \text{ Wb} \quad 2.8$$

เมื่อกำหนดให้ B คือ ความหนาแน่นเส้นแรงเฉลี่ยในแกน และ A คือ พื้นที่หน้าตัดของทอรรอย

$$\phi = \frac{\mu Ni}{l} A = \frac{Ni}{l/\mu A} Wb \quad 2.9$$

$$\mathfrak{R} = \frac{l}{\mu A} = \frac{1}{P} \quad 2.10$$

โดยที่

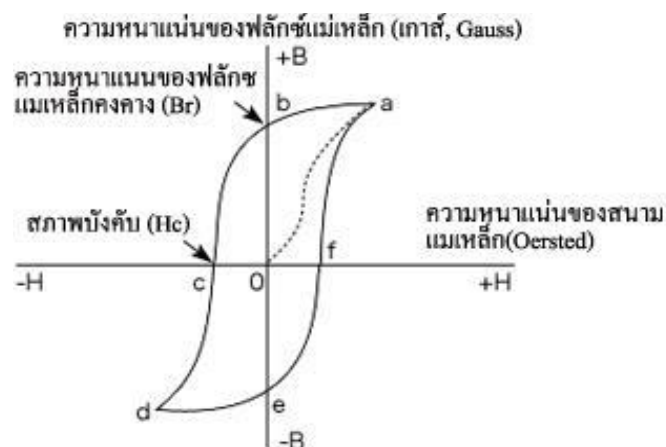
R คือ ความต้านทานแม่เหล็ก (Reluctance of magnetic)

P คือ ความนำแม่เหล็ก (Permeance of magnetic)

2.2.5 เส้นโค้งการทำแม่เหล็ก (Magnetization Curve)

จากรูปที่ 2.7 ถ้าป้อนกระแสให้กับวงจรเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่าความเข้มข้นเส้นแม่เหล็กในแกนมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย และยังส่งผลให้ค่าความหนาแน่นเส้นแรงแม่เหล็กในแกนเปลี่ยนแปลงอีกด้วย การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้จะแบ่งการพิจารณาออกเป็น 3 ส่วนด้วยกัน ซึ่ง จะเห็นได้ว่าส่วนที่ 1 นั้นเป็นช่วงเริ่มต้นการทำแม่เหล็ก ความต้านทานแม่เหล็ก R และความเข้มข้นเส้นแรง H จะมีค่าต่ำ

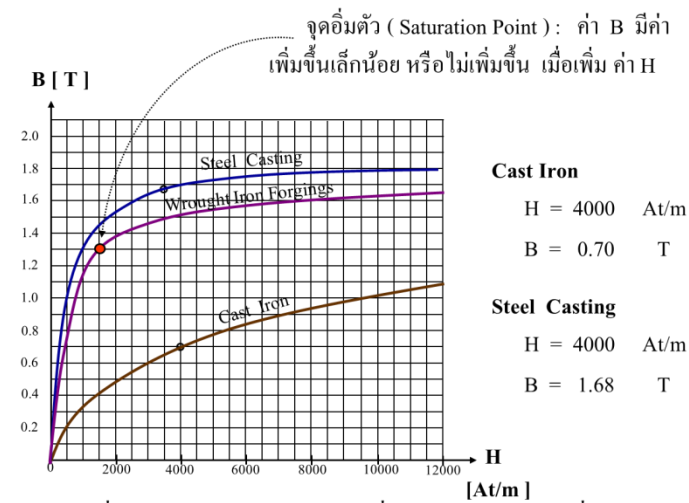
สำหรับส่วนที่ 2 ของเส้นโค้งแสดงคุณลักษณะ B-H การเปลี่ยนแปลงของค่าความหนาแน่น เส้นแรง B และค่าความเข้มข้นเส้นแรง H เพิ่มขึ้นอย่างเป็นเชิงเส้น และส่วนที่ 3 การเปลี่ยนแปลงของความหนาแน่นเส้นแรง B ไม่เป็นแบบเชิงเส้น ซึ่งจุดดังกล่าวนี้ วงจรแม่เหล็กเกิดการอิ่มตัว (ความต้านทานแม่เหล็ก R และความเข้มข้นเส้นแรง H สูง) เห็นได้ว่าความต้านทานแม่เหล็ก R ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นเส้นแรง (R มีค่าต่ำ ถ้า B ต่ำ R มีค่าสูงเมื่อ B สูง)



รูปที่ 2.7 คุณลักษณะเส้นโค้งทำแม่เหล็ก B-H

ที่มา : รัชชัย อรรถวิบูลย์กุล (2540)

การพิจารณาคุณลักษณะสมบัติเส้นโค้งคุณลักษณะ B-H ของแกนแม่เหล็ก (Magnetic cores) 3 ชนิดดังรูปที่ 2.8



เหล็กชนิดที่ให้ B สูง ในช่วง H น้อยๆ จะอิ่มตัวเร็วกว่าเหล็กชนิดที่ให้ B น้อย

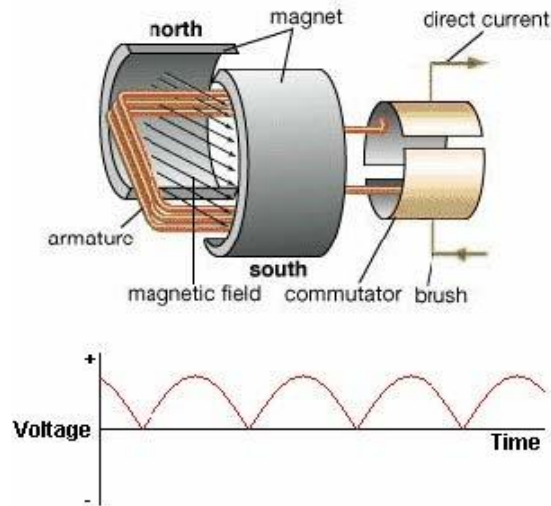
รูปที่ 2.8 เส้นโค้งการทำแม่เหล็ก

ที่มา : ธวัชชัย อรรถวิบูลย์กุล (2540)

2.2.6 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

สามารถแบ่งตามประเภทการใช้งานได้ 2 ประเภท ได้แก่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงและเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งเครื่องกำเนิดทั้งสองแบบนี้โดยหลักการใช้กระแสไฟฟ้าออกมาใช้งานนั้นจะคล้ายกันคือ ใช้หลักการแรงเคลื่อนไฟฟ้าจากกฎของฟาราเดย์เป็นหลัก แต่สิ่งที่แตกต่างกันคือส่วนประกอบ

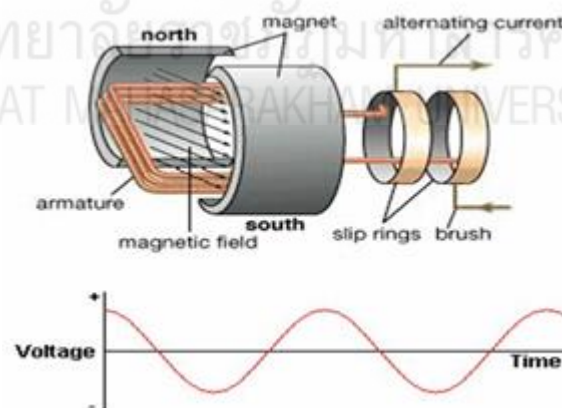
1) เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง หลักการเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงประกอบด้วยขดลวดเพียงขดเดียว (2 ตัวนำ) ซึ่งปลายทั้งสองต่อเข้ากับซีทองแดงของคอมมิวเตเตอร์เมื่อทำให้หมุนในสนามแม่เหล็ก N-S จะเกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับบนตัวนำทั้งสองขดลวด ตามกฎมือขวาของเฟลมมิง และอาจจะเปลี่ยนเป็นกระแสตรงเมื่อผ่านซีทองแดงของคอมมิวเตเตอร์



รูปที่ 2.9 แสดงหลักการเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง
ที่มา : ธวัชชัย อรรถวิบูลย์กุล (2540)

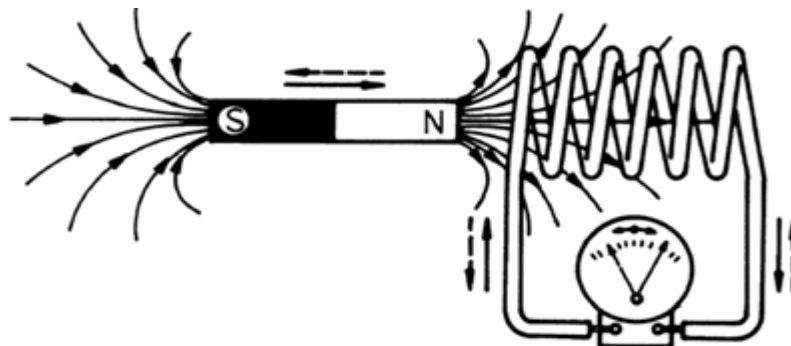
ดังนั้นเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงต้องนำกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบนขดลวดตัวนำไปใช้งานด้วยการต่อผ่านซี่คอมมิวเตเตอร์ (Commutator)

2) เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับมีลักษณะเดียวกันกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงต่างกันตรงที่ปลายเส้นของขดลวดต่อเข้ากับแหวนทองแดง หรือ สลิปริง (Slip Ring) จึงนำกระแสสลับที่ให้อำนาจบนตัวนำไปใช้โดยตรง ด้วยการต่อผ่านสลิปริง



รูปที่ 2.10 แสดงหลักการเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ
ที่มา : ธวัชชัย อรรถวิบูลย์กุล (2540)

3) สนามแม่เหล็กหมุนในขดลวด ให้ขดลวดอยู่กับที่ ต่อกับปลายทั้งสองเข้ากับขั้วของ กัลวาอิมิเตอร์เมื่อทำให้ขั้วสนามแม่เหล็กกลับไปมาภายในขดลวด จะพบว่าเข็มของกัลวาอิมิเตอร์แกว่งกลับไปกลับมาเช่นเดียวกันแสดงว่ามีกระแสสลับเกิดขึ้นในขดลวด



รูปที่ 2.11 แสดงสนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ไปมาภายในขดลวดจะให้กำเนิดแรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับ
ที่มา : ธวัชชัย อรรถวิบูลย์กุล (2540)

การเหนี่ยวนำแม่เหล็กด้วยวิธีนี้ตรงข้ามกับวิธีแรก (ขดลวดหมุน) คือขดลวดอยู่กับที่ ให้สนามแม่เหล็กเป็นตัวหมุนตัดขดลวด แรงเคลื่อนไฟฟ้ากระแสสลับจะเกิดขึ้นกับขดลวดซึ่งอยู่กับที่ การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าลักษณะนี้เป็นการเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternator) ขนาดใหญ่ที่ให้กำเนิดแรงดันและกำลังไฟฟ้าสูง

4) การคำนวณแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ให้กำเนิดขดลวดอาร์เมเจอร์ สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$E_{av} = B \cdot l \cdot v \quad (v)$$

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

โดยที่

E_{av} = แรงเคลื่อนไฟฟ้า (v)

B = ความหนาแน่นของสนามแม่เหล็ก ($Wb\ m^{-2} = Vsm^{-2} = T$)

l = ความยาวตัวนำ

v = อัตราความเร็วในการเปลี่ยนค่าสนามแม่เหล็ก (m/s)

5) ส่วนประกอบสำคัญของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า มีส่วนประกอบ 2 ส่วน คือ

(1) ส่วนที่อยู่กับที่ (Stator)

(1.1) เปลือกหุ้มของโครง (Field Frame หรือ York)

(1.2) แกนขั้วแม่เหล็ก (Pole Core)

(1.3) ขดลวดสนามแม่เหล็ก (Field Coil หรือ Field Winding)

(1.4) แปรงถ่านแบรริง (Brushes and Bearing)

(2) ส่วนที่เคลื่อนที่ (Rotor)

- (2.1) แกนเหล็กอาร์เมเจอร์ (Armature core)
- (2.2) ขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature Winding)
- (2.3) สลิปริง (Slip Ring)
- (2.4) คอมมิวเตเตอร์ (Commutator)

2.3 ขดลวด (Coil)

ขดลวดอาร์เมเจอร์ (Armature Winding) เป็นขดลวดทองแดงที่ต้องการให้กำเนิดพลังงานไฟฟ้า เมื่อให้หมุดตัดสนามแม่เหล็กด้วยการใส่ไว้ในสล็อตของแกนอาร์เมเจอร์ขณะที่แกนอาร์เมเจอร์หมุนขดลวดที่ใส่ในสล็อตจะตัดสนามแม่เหล็กที่ทำให้กำเนิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า

คือ เส้นลวดที่นำมาพันจนเป็นวง เพื่อใช้งานเฉพาะอย่าง ได้แก่

1. พลังงานที่เกิดจากสนามแม่เหล็กที่เกิดจากการส่งกระแสไฟฟ้าสลับไหลผ่านขดลวดจะสามารถเหนี่ยวนำทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าสลับในขดลวดอีกอันที่อยู่ใกล้เคียงได้ ซึ่งเป็นหลักการที่เรานำมาใช้ทำหม้อแปลง
2. เราใช้ขดลวดมาเป็นเสาอากาศวิทยุ A.M. ในการรับสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าได้
3. ขดลวด จะทำหน้าที่หน่วงหรือต้านการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว (Rapid Change) ของสัญญาณกระแสสลับที่ไหลผ่านตัวมัน แต่จะยอมให้ไฟฟ้ากระแสตรงไหลผ่านสะดวก
4. ถ้าเราให้ความต้านทานระหว่างขั้วทั้งสองของขดลวดมีค่าสูง ขดลวดจะเพิ่มสัญญาณริงกิ้ง (Ringling) เข้ากับคลื่นสี่เหลี่ยมที่ไหลผ่านตัวมัน
5. นอกจากนี้เรายังใช้ขดลวดเป็นตัวกรองสัญญาณเพื่อความถี่ให้ผ่านได้เฉพาะย่านความถี่ที่เราต้องการ

2.3.1 การต่อขดลวดแบบสตาร์

การต่อขดลวดแบบสตาร์มีการต่อเป็นลักษณะที่นำปลายของขดลวดที่ 3 ขดต่อรวมกัน (Star Point) ส่วนต้นของขดลวดทั้งหมดจะต่อเข้ากับระบบสายส่งหรือสายจำหน่ายเพื่อจ่ายโหลดต่อไป

2.3.2 การต่อขดลวดแบบเดลต้า

การต่อขดลวดแบบเดลต้ามีลักษณะการต่อของขดลวดเป็นปลายต่อกับต้น แล้วมาบรรจบที่ขดลวดเดิมเป็นวงรอบ

บทสรุปในการต่อขดลวดแบบสตาร์และเดลต้า

ตารางที่ 2.1 การต่อขดลวดแบบสตาร์และเดลต้า

การต่อขดลวดแบบสตาร์	การต่อขดลวดแบบเดลต้า
1. การกำเนิดแรงดันมี 2 ระดับ คือ แรงดัน (E_p) และแรงดันระหว่างสาย (E_L)	1. การกำเนิดแรงดันมีระดับเดียว
2. แรงดันระหว่างสายมีค่าเท่ากับ หนึ่งในห้าของแรงดันที่เฟส	2. แรงดันระหว่างสายมีค่าเท่ากับแรงดันระหว่างเฟส
3. กระแสที่สายมีค่ากับกระแสที่เฟส	3. กระแสที่สายมีค่าเท่ากับ หนึ่งในห้าของกระแสที่เฟส

ที่มา : ณรงค์ ขอนตะวัน (2555)

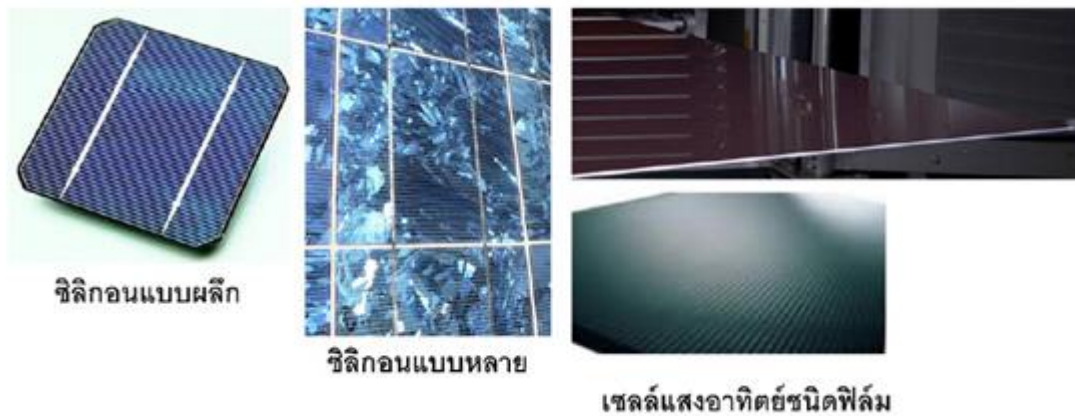
2.4 ทฤษฎีเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์(Solar Cell) หรือเซลล์โฟโตโวลติก (photovoltaic cell-VP) มีชื่อเรียกกันหลายอย่าง เช่น เซลล์แสงสุริยะหรือเซลล์โฟโตโวลติก ต่างก็มีที่มาจากคำว่าแสงอาทิตย์โดยปรากฏการณ์โฟโตโวลติก (photovoltaic effect) แยกออกเป็น Photo หมายถึงแสงและ Volt หมายถึงแรงดันไฟฟ้า เมื่อรวมคำแล้วบ่งชี้ถึงกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าจากการตกกระทบของแสงบนวัตถุที่มีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรงแนวความคิดนี้ได้ถูกค้นพบมาตั้งแต่ ปี ค.ศ. 1839 โดยเอ็ดมันด์ เบคเควเรล (Edmund Becquerel) นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศสแต่เซลล์แสงอาทิตย์ก็ยังไม่ถูกสร้างขึ้น จนกระทั่ง ปี ค.ศ. 1954 [2] จึงมีการประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์เป็นครั้งแรกโดยกลุ่มนักวิทยาศาสตร์ที่ห้องปฏิบัติการเบลล์(Bell Laboratory) ในประเทศสหรัฐอเมริกาและได้มีการพัฒนามาจนถึงปัจจุบัน

2.4.1 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์

การพัฒนาด้านเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อลดต้นทุนด้านวัสดุในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งทำให้ราคาถูกลงแต่เพิ่มให้มีประสิทธิภาพสูงด้วยการแบ่งประเภทเซลล์แสงอาทิตย์ตามเทคโนโลยีกระบวนการผลิตแสงอาทิตย์สามารถแบ่งออกได้ 3 กลุ่ม ได้แก่

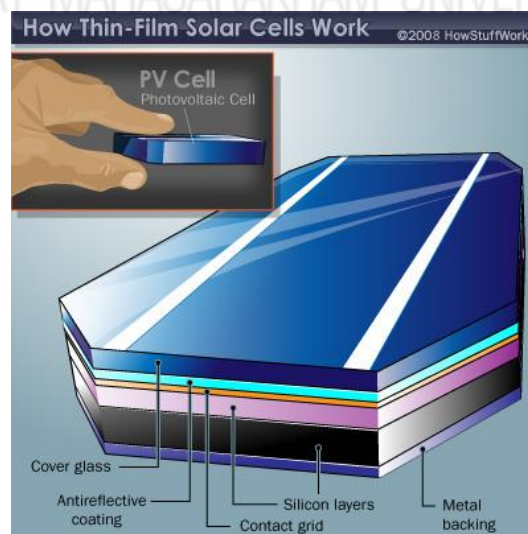
1) เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึก (Crystalline Solar Cells) ในกลุ่มของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกมีความแตกต่างกันตามชนิดของวัสดุสารกึ่งตัวนำตั้งต้น (Semiconductor Material) เช่น ซิลิกอน (Si) และแกเลียมอาร์เซไนด์ (GaAs) เป็นต้น ปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์จากซิลิกอนมีกรรมวิธีในการผลิตอยู่หลายวิธีจึงมีวิธีให้เลือกใช้ตามความเหมาะสม ได้แก่ซิลิกอนแบบผลึกเดี่ยว (Monocrystalline silicon cells) ซิลิกอนแบบแผ่นฟิล์มบาง (Silicon ribbon cells) ซิลิกอนแบบหลายผลึก (Polycrystalline silicon cells) ซิลิกอนแบบแผ่นบางหลายผลึก (Polycrystalline thin film silicon cells) เป็นต้น ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของราคาและวัตถุประสงค์การใช้งานมีการพัฒนาเป็นลำดับซึ่งได้รับการยอมรับในเชิงพาณิชย์และมีประสิทธิภาพ 10 -15 เปอร์เซ็นต์ แต่ยังคงมีต้นทุนของวัสดุค่อนข้างสูง



รูปที่ 2.12 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึก (Crystalline Solar Cells)

ที่มา : http://www.leonics.co.th/html/th/aboutpower/solar_knowledge.php

2) เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง (Thin film Solar cells) ในกลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางสามารถแบ่งออกตามเทคโนโลยีการผลิต ได้แก่ เซลล์ที่ผลิตจากอะมอร์ฟัสซิลิกอน เซลล์ที่ผลิตจากแคดเมียมเทลลูไรด์ (CdTe) และ เซลล์ที่ผลิตจากคอปเปอร์อินเดียมไดเซเลเนียม (CIGS) การศึกษาวิจัยและพัฒนาให้มีประสิทธิภาพอยู่ระหว่าง 6-10% ซึ่งได้รับการยอมรับและผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบางสำหรับใช้ในเชิงพาณิชย์ ถึงแม้ว่าประสิทธิภาพของเซลล์แบบนี้จะน้อยกว่าเซลล์ชนิดผลึกซึ่งมีข้อดีคือช่วยแก้ปัญหาทางด้านราคาได้ แต่ยังคงมีข้อสงสัยด้านการติดตั้งใช้งานในสภาวะจริง อายุการใช้งานและการเสื่อมสภาพแผงโซลาร์เซลล์ในระยะยาว



รูปที่ 2.13 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง

ที่มา : http://www.leonics.co.th/html/th/aboutpower/solar_knowledge.php

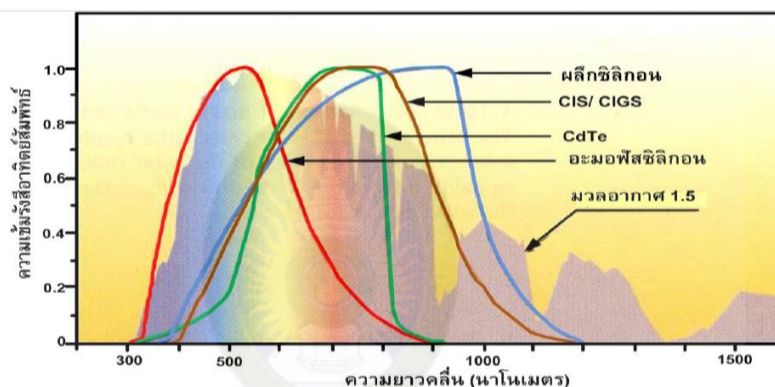
3) กลุ่มที่พัฒนาขึ้นมาจากสองแบบแรก กลุ่มสุดท้ายเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่พัฒนาอย่างต่อเนื่องจากชนิดผลึก และชนิดฟิล์มบางเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ลดการสร้างมลพิษและเพิ่มอายุการใช้งานของเซลล์แสงอาทิตย์ หากแบ่งตามการพัฒนาเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ เซลล์แสงอาทิตย์ประเภททรงกลม (Spherical Micro Solar Cells) แสงอาทิตย์ประเภทตายเซนซิไทซ์ (Dye-sensitized Solar Cells) และเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทควอนตัมดอต (Quantum Dot Solar Cells) นั่นคือเซลล์แสงอาทิตย์ประเภททรงกลมแบบทรงกลมจะสามารถรับแสงได้ 3 มิติ จึงเพิ่มประสิทธิภาพในการรับแสงเพิ่มขึ้น และยังมีข้อดีในเรื่องของน้ำหนักเบากว่าแบบแผ่นราบเมื่อนำไปประกอบเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เนื่องจากปริมาณของซิลิกอนตั้งต้นน้อยกว่ามากทำให้ลดต้นทุนได้เซลล์แสงอาทิตย์แบบทรงกลมดังกล่าวปัจจุบันมีการผลิตเชิงพาณิชย์แล้ว แต่ยังไม่เป็นการแพร่หลายนักเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดตายเซนซิไทซ์ มีจุดเด่นในการเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมโดยมีหลักการออกแบบเซลล์จากกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืช ซึ่งมีกระบวนการเปลี่ยนแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำเป็นคาร์โบไฮเดรตและแก๊สออกซิเจน จากแนวคิดดังกล่าวจึงได้เคลื่อนผิงวัสดุกิ่งตัวนำไทเทเนียมออกไซด์ให้คล้ายกับคลอโรฟิลในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้ ได้มีการผลิตขายในเชิงพาณิชย์บ้างและมีประสิทธิภาพ 3-5 เปอร์เซ็นต์

เซลล์แสงอาทิตย์ประเภทควอนตัมดอต (Quantum Dot Solar Cell:QD) ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานเทอร์โมไดนามิกส์ของโปรตอนให้มีค่ามากที่สุดนับเป็นการพัฒนาจากข้อจำกัดของเซลล์ชนิดผลึกโดยเพิ่มประสิทธิภาพทางเทอร์โมไดนามิกส์เป็น 66% (จากเดิมของวัสดุสารกึ่งตัวนำทั่วไปอยู่ที่ 31-33%) ยังไม่มีการผลิตเชิงพาณิชย์ แต่ก็ประกอบด้วยหลายหน่วยงานทั้งในและต่างประเทศที่ให้ความสนใจและดำเนินการศึกษาในเรื่องดังกล่าวซึ่งในประเทศไทยโดย Semiconductor Device Research Laboratory จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยได้ทำการวิจัยพัฒนา Multi-Stacked High Density InAs Quantum Dot Molecule Solar Cells

2.4.2 การตอบสนองต่อสเปกตรัมแสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ทำงานโดยผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานแสง (Photovoltaic effect) ดังนั้น ในการใช้งาน รวมถึงการออกแบบระบบจำเป็นต้องทราบความสัมพันธ์ระหว่างสเปกตรัมแสงอาทิตย์กับเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละชนิดจะให้ความเข้าใจในความแตกต่างของประสิทธิภาพของระบบ และสารนำไปประกอบการเลือกออกแบบระบบและการบำรุงรักษาระบบได้ ทั้งนี้การอธิบายโดยใช้รูปภาพประกอบทำให้เข้าใจในเรื่องนี้ได้ง่ายขึ้น จากรูปที่ 2.14 แสดงการตอบสนองต่อสเปกตรัมแสงอาทิตย์ของแสงอาทิตย์ประเภทผลึกซิลิกอน อะมัลฟัสซิลิกอน CdTe และ CIS หรือ CIGS การตอบสนองประกอบด้วย แสงอัลตราไวโอเล็ต แสงที่มองเห็น และแสงอินฟราเรด

หากต้องการพิจารณาองเซลล์ถึงประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ต้องคำนึงถึงสเปกตรัมแสงและการตอบสนองต่อสเปกตรัม ในพื้นที่ซึ่งกราฟทั้งสองซ้อนทับกันจะแสดงถึงประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทนั้น โดยรูปที่ 2.14 แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ซ้อนทับกันระหว่างสเปกตรัมของแสงอาทิตย์กับการตอบสนองต่อสเปกตรัม ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์ผลึกซิลิกอนจะสามารถทำงานได้ในช่วงแสงที่มองเห็นและอินฟราเรดคลื่นสั้น ถึงแม้ว่าเซลล์แสงอาทิตย์ดังกล่าวจะมีการตอบสนองต่อสเปกตรัมในช่วงค่อนข้างกว้างตั้งแต่ 380-1100 นาโนเมตร แต่ด้วยข้อจำกัดของความเข้มแสงอาทิตย์บนพื้นส่วนใหญ่เป็นแสงที่มองเห็นและแสงอินฟราเรด ดังนั้นช่วงเซลล์แสงอาทิตย์ผลึกซิลิกอนจึงทำงานจริงในช่วงความยาวคลื่นที่แคบลง ในรูปที่ 2.15 แสดงเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่แตกต่างกันของเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทต่างๆ กล่าวคือเซลล์แสงอาทิตย์อะมัลฟัสซิลิกอนมีประสิทธิภาพน้อยกว่าผลึกซิลิกอน



รูปที่ 2.14 การตอบสนองต่อสเปกตรัมแสงอาทิตย์ของเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทต่างๆ

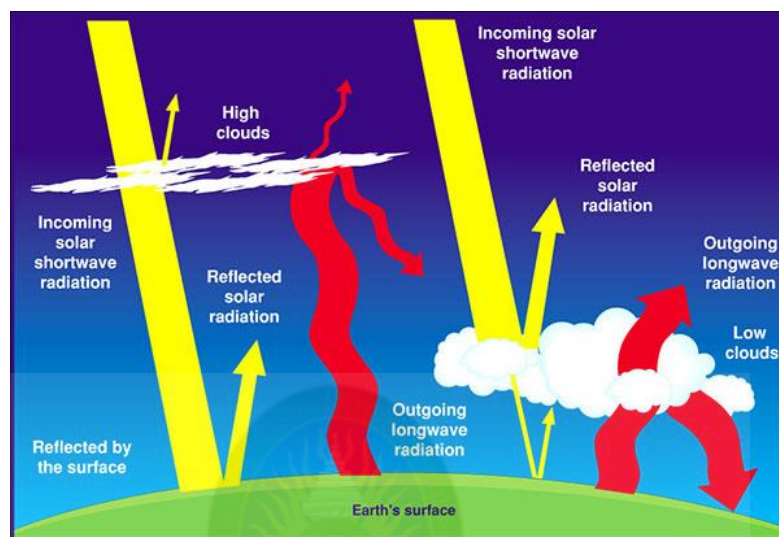
ที่มา : http://www.leonics.co.th/html/th/aboutpower/solar_knowledge.php

ช่วงต้นของแสงที่มองเห็นประมาณ 350-650 นาโนเมตร การพัฒนาการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ ได้เป็นเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบางที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเดิม ตัวอย่างเช่น CdTe และ CIS หรือ CIGS จะมีช่วงการตอบสนองต่อสเปกตรัมแสงที่มองเห็นได้มากกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ผลึกซิลิกอนโดยมีช่วงสูงสุดของกราฟเป็นแถบที่กว้างขึ้น และทิศทางการพัฒนาการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์เป้าหมายเพื่อให้ได้เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีช่วงการตอบสนองต่อแสงได้ตลอดช่วงสเปกตรัมแสงอาทิตย์

1) ภูมิศาสตร์ของโลก มีลักษณะเป็นทรงกลมรี วิธีเพื่อบอกตำแหน่งบนพื้นโลกจะบ่งชี้โดยเส้นแนวตั้งและเส้นแนวนอนเรียกว่า เส้นเมริเดียน (Meridian) และเส้นศูนย์สูตร (Equator) ทางภูมิศาสตร์กำหนดเส้นศูนย์สูตรคือ เส้นสมมติรอบดาวเคราะห์ที่ตั้งฉากกับแกนหมุนของดาวเคราะห์ และมีระยะห่างจากขั้วใต้เท่ากัน โดยเส้นศูนย์สูตรจะแบ่งดาวเคราะห์เป็นซีกเหนือและซีกใต้ โดยมีละติจูดเท่ากับศูนย์องศา พื้นที่บนเส้นศูนย์สูตรนี้ช่วงเวลาของกลางวันและกลางคืนยาวนาน

เกือบเท่ากันตลอดทั้งปี นอกจากนี้พื้นที่ซึ่งอยู่บนตำแหน่งเส้นละติจูดจะมีสภาพอากาศ (Climate) และการอากาศ (Weather) แตกต่างกัน เส้นละติจูดมีตั้งแต่ 0 ถึง 90 องศาได้

2) รังสีอาทิตย์บนพื้นโลก รังสีอาทิตย์บนพื้นโลกได้ผ่านกระบวนการดูดกลืนและการแผ่รังสีอาทิตย์โดยก๊าซในบรรยากาศเป็นผลให้สเปกตรัมแสงอาทิตย์เปลี่ยนไป ซึ่งโมเลกุลของก๊าซฝุ่นละอองและเมฆ ทำให้รังสีอาทิตย์กระจัดกระจาย (Scatter) และสะท้อน (Reflect) ในรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 ผลกระทบต่างๆ ต่อรังสีอาทิตย์ในบรรยากาศโลก

ที่มา : http://www3.egat.co.th/re/egat_pv/sun_thailand.htm

แสดงผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของรังสีอาทิตย์เมื่อเข้าสู่บรรยากาศโลกและพื้นโลก เมื่อเปรียบเทียบกับรังสีเหนือบรรยากาศเกิดการเปลี่ยนแปลงดังนี้ ความเข้มรังสีรวม ความเข้มรังสีที่ความยาวคลื่นใดๆ องค์ประกอบของสเปกตรัมและทิศทาง ประเภทของรังสีอาทิตย์บนพื้นโลกที่ควรทราบ

รังสีตรง (Beam or Direct Radiation) เป็นรังสีที่มาจากดวงอาทิตย์โดยตรงและตกบนผิวรับแสงด้วยทิศทางที่แน่นอน ณ เวลาหนึ่งเวลาใด ซึ่งทิศทางของรังสีตรงอยู่ในแนวลำแสงอาทิตย์ เนื่องจากรังสีตรงมีทิศทางแน่นอนและมีลำแสงขนานจึงสามารถรวมแสงหรือโฟกัสรังสีตรงได้

รังสีกระจาย (Diffuse Radiation) เป็นรังสีอาทิตย์ส่วนที่ถูกสะท้อนและกระจายโดยก๊าซและฝุ่นละอองรวมถึงวัตถุต่างๆ ที่อยู่ในทางเดินของแสงก่อนตกกระทบผิวรับแสงรังสีกระจายนี้มาจากทุกทิศทางในท้องฟ้าจึงไม่สามารถรวมแสงหรือโฟกัสรังสีกระจายได้

รังสีรวม (Total หรือ Global Radiation) เป็นผลรวมของรังสีตรงและรังสีกระจายซึ่งจำกัดเฉพาะคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าคลื่นสั้น (ไม่เกิน 4 ไมโครเมตร) ไม่รวมพลังงานคลื่นยาวจากการแผ่รังสีของพื้นโลกและบรรยากาศ โดยกรณีผิวรับแสงเป็นพื้นเอียง (Incline Plane) รังสีรวม

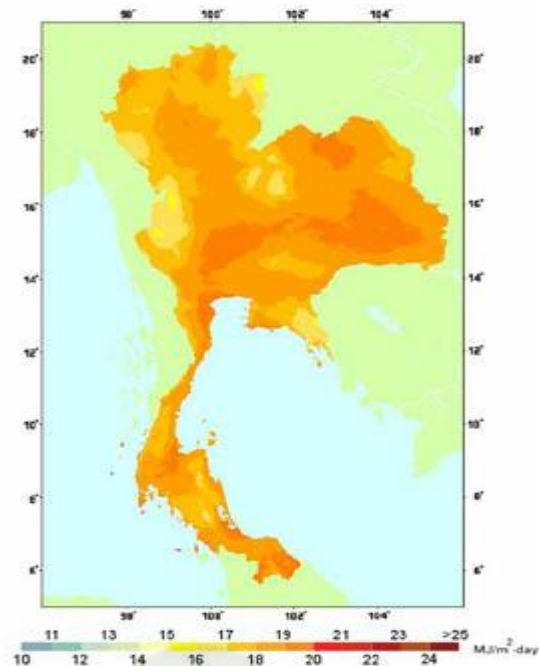
จะประกอบด้วย รังสีจากท้องฟ้า รังสีกระจายจากท้องฟ้า และรังสีกระจายจากพื้นโลก อาคาร บ้านเรือน ซึ่งเกิดจากพื้นโลก อาคารบ้านเรือน ซึ่งเกิดจากส่วนที่สะท้อนกลับจากพื้นโลก ในกรณีนี้เรียกว่า Total Radiation แต่กรณีผิวรับแสงเป็นพื้นแนวราบ (Horizontal Plane) รังสีรวมบนพื้นราบ ประกอบด้วยรังสีตรงและรังสีกระจายที่มาจากครึ่งทรงกลมท้องฟ้า ไม่มีรังสีกระจายที่มาจากพื้นโลก เรียกรวมพื้นแนวราบว่า Global Radiation

การเปลี่ยนแปลงของรังสีรวม รังสีตรงและรังสีกระจาย ในวันที่ฟ้ากระจ่างและวันที่ฟ้ามีเมฆเนื่องจากปริมาณเมฆ ฝุ่นละออง และหมอกควันมีแตกต่างกันตามฤดูกาล ดังนั้นปริมาณรังสีรวมรังสีกระจาย และรังสีตรงเปลี่ยนแปลงไปตลอดทั้งปี สำหรับประเทศไทย ฤดูแล้งมีค่ารังสีรวมและรังสีตรงสูงเพราะท้องฟ้าโปร่ง แต่ฤดูฝนจะมีรังสีส่วนมากเป็นรังสีกระจายและรังสีรวมน้อย

3) ปริมาณรังสีอาทิตย์ในประเทศไทย โดยทั่วไปศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของพื้นที่แห่งหนึ่งจะสูงหรือต่ำจะขึ้นอยู่กับรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบในพื้นที่นั้น การศึกษาเพื่อทราบปริมาณรังสีอาทิตย์บนพื้นโลก ซึ่งจะใช้เป็นแนวทางการส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งนำเสนอในรูปแบบที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ สำหรับประเทศไทยมีแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน) จัดทำขึ้นในปี พ.ศ. 2542 โดยมหาวิทยาลัยศิลปากร รูปที่ 2.16 แสดงศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยรายปี ในแต่ละเดือนนั้นการกระจายความเข้มรังสีอาทิตย์ตามบริเวณต่างๆ ของประเทศได้รับอิทธิพลสำคัญจากลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศได้รับรังสีอาทิตย์สูงสุดระหว่างเดือนเมษายน และเดือนพฤษภาคม โดยมีค่าอยู่ในช่วง 5.54 ถึง 6.65 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตร-วัน

บริเวณที่รับรังสีอาทิตย์สูงสุดเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือโดยครอบคลุมบางส่วนของจังหวัดนครราชสีมา บุรีรัมย์ สุรินทร์ ศรีสะเกษ ร้อยเอ็ด ยโสธร อุบลราชธานี และบางส่วนของภาคกลางที่จังหวัดสุพรรณบุรี ชัยนาท อัญญา และลพบุรี โดยได้รับรังสีอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปี 5.26 ถึง 5.54 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตร-วัน พื้นที่ดังกล่าวคิดเป็น 14.3% ของพื้นที่ทั้งหมดของประเทศ นอกจากนี้ยังพบว่า 50.2% ของพื้นที่ทั้งหมดรับรังสีอาทิตย์เฉลี่ยทั้งปีเท่ากับ 4.99 ถึง 5.26 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตร-วัน จากการคำนวณรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศ มีค่าเท่ากับ 5.04 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตร-วันกิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตร-วัน แสดงให้เห็นว่าประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง

ปี พ.ศ. 2543 ได้มีการพัฒนาเครือข่ายสถานีวัดความเข้มรังสีอาทิตย์ มีทั้งหมด 37 สถานีทั่วประเทศ เพื่อให้ประเทศไทยมีข้อมูลความเข้มรังสีที่ละเอียดและถูกต้อง สามารถนำไปใช้เพื่อประโยชน์ด้านการวิจัยพัฒนา และการประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์อย่างมีประสิทธิภาพ ปัจจุบันสามารถทราบข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์ ทั้งข้อมูลจากการตรวจวัดจากสถานีระหว่างปี พ.ศ. 2545-2550 และข้อมูลดาวเทียมเป็นข้อมูลเฉลี่ยรายเดือนของจังหวัด และอำเภอระหว่างปี พ.ศ. 2536-2541



รูปที่ 2.16 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับประเทศไทยจัดทำในปี พ.ศ. 2542
(หน่วย : กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตร-วัน)

ที่มา : http://www3.egat.co.th/re/egat_pv/sun_thailand.htm

4) ตำแหน่งดวงอาทิตย์และมวลอากาศ บรรยากาศของโลกมีอิทธิพลต่อสเปกตรัมแสงอาทิตย์ ถ้าลำแสงผ่านบรรยากาศในทิศทางต่างกัน เป็นผลให้สเปกตรัมแสงอาทิตย์ทั้งพลังงานรวมและความเข้มต่างกัน โดยอิทธิพลของบรรยากาศแสดงด้วยดัชนีที่เรียกว่า มวลอากาศ (Air mass, AM) กำหนดไว้ในสมการที่ 2.12

$$AM = 1/\cos \theta_z \quad 2.12$$

โดยที่ θ_z เป็นค่ามุมระหว่างแนวตั้งเหนือศีรษะและแนวลำแสงอาทิตย์ หรือ มุมซีนิช (Zenith Angle) ดังแสดงในรูปที่ 2.17

เมื่อดวงอาทิตย์อยู่เหนือศีรษะ	$\theta_z = 0^\circ$	AM = 1
เมื่อดวงอาทิตย์ทำมุม 60° กับแนวตั้ง	$\theta_z = 60^\circ$	AM = 2
นอกบรรยากาศกำหนดว่ามวลอากาศมีค่าศูนย์		AM = 0

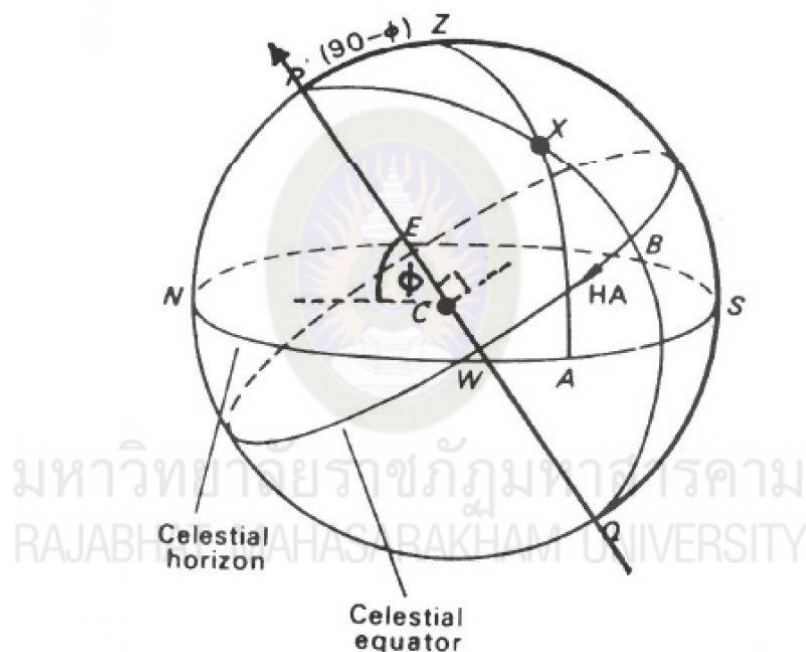
เมื่อดวงอาทิตย์อยู่ใกล้ขอบฟ้า หรือทำมุมซิมิค่าสูง ($\theta_z > 70^\circ$, $AM > 3$) ส่วนโค้งของโลกจะมีผลต่อมวลอากาศ ซึ่งสมการทั่วไปของมวลอากาศจะเขียนไว้ในสมการที่ 2.13 หรือสมการที่ 2.14 มวลอากาศที่

กำหนดโดยสมการที่ 2.12, 2.13 และ 2.14 เป็นค่ามวลอากาศที่ระดับน้ำทะเล

$$AM = AM_h = \left[1229 + (614 \sin a)^2 \right]^{1/2} - 614 \sin a \quad 2.13$$

หรือ

$$AM_h = \left[\sin a + 0.15(a + 3.9)^{-1.253} \right]^{-1} \quad 2.14$$



รูปที่ 2.17 มุมซิมิซ (θ_z , Zenith Angle) มุมเดคลิเนชัน (α , Solar Declination Angle)

ที่มา : <http://www3.egat.co.th/re/solarcell/solarcell.htm>

เมื่อ α เป็นมุมระหว่างพื้นโลกกับลำดับ ลำแสงหรือมุมเดคลิเนชัน (Solar Declination Angle) และ $\alpha + \theta_z$ เท่ากับ 90 องศา (รูปที่ 2.17) สำหรับสถานที่ซึ่งอยู่สูงกว่าระดับน้ำทะเล K1 กิโลเมตร หรือมีความดันบรรยากาศ P มิลลิบาร์ มวลอากาศ ณ ที่นั้นจะเป็นดังสมการที่ 2.15

$$AM = \begin{cases} AM_h \left(\frac{P}{1000} \right) \\ AM_h (1 - 0.1K_1) \end{cases} \quad 2.15$$

อีกมุมอ้างอิงที่สำคัญ ได้แก่ อะซิมูท (Azimuth, A) มุมวัดจากจุดเหนือไปจุด ตะวันออกตามระนาบวงกลมมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 360 องศา บางครั้งค่ามุมอะซิมูทอาจจะวัดจากจุดเหนือ ไปจุดตะวันออก 180 องศา แล้ววัดจากจุดใต้มาจุดตะวันออก 180 องศา



รูปที่ 2.18 (ก) ไพรานอมิเตอร์ (ข) เครื่องบันทึกแดดแบบลูกแก้ว
ที่มา : <http://www3.egat.co.th/re/solarcell/solarcell.htm>

2.4.3 อุปกรณ์วัดรังสีแสงอาทิตย์

เครื่องมือการวัดพลังงานแสงอาทิตย์ ได้แก่ ไพรานอมิเตอร์ (Pyranometer) และ ไพร์เฮลิโอมิเตอร์โดยหลักการวัดกำลังของความร้อนซึ่งเกิดจากรังสีแสงอาทิตย์ แต่แตกต่างกันตาม ประเภทของการวัดรังสีแสงอาทิตย์ กล่าวคือ ไพรานอมิเตอร์ (Pyranometer) ดังแสดงในรูปที่ 2.18 (ก) สำหรับวัดรังสีรวม (Global solar radiation) และรังสีกระจาย ไพร์เฮลิโอมิเตอร์ (Pyrheliometer solar radiation) สำหรับวัดรังสี (Direct solar radiation)

พลังงานแสงอาทิตย์มีวิธีการโดยวัดค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ (Irradiance) โดยที่ค่า ความเข้มสูงพอที่จะกระตุ้นตัวบันทึก โดยทั่วไปประมาณ 200 มิลลิวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร (mW/cm^2) การวัดแบบนี้มีความถูกต้องน้อยกว่าด้วยราคาที่ไม่แพงนัก ในรูป 2.18 (ข) แสดงเครื่อง บันทึกแดด (Sunshine recorder) มีช่วงเวลาที่ยาวที่สุดในการวัดได้ คือ 0.1 ชั่วโมง ความแตกต่าง ของค่าความเข้มรังสีอาทิตย์กับพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar radiation) คือความเข้มรังสีอาทิตย์เป็น ปริมาณความเข้มของกำลังงานที่ได้จากรังสีอาทิตย์ แต่ว่าพลังงานแสงอาทิตย์เป็นความเข้มรังสี อาทิตย์รวมตลอดเวลาที่ทำการวัด บ่งบอกด้วยกิโวลต์-ชั่วโมงตารางเมตร (kWh/m^2) นอกจากนี้ พลังงานแสงอาทิตย์ยังทราบได้จากข้อมูลปริมาณเมฆ (Cloud cover) จากภาพถ่ายดาวเทียม

2.4.4 ลักษณะกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์

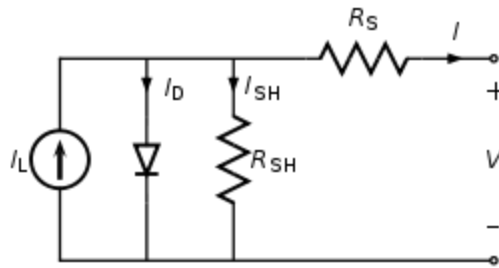
โดยทั่วไปสมบัติทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์แสดงในรูปความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้า เริ่มต้นที่วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ดังรูปที่ 2.19 เป็นการต่อระหว่างกำเนิดแสงไดโอด (รอยต่อพี-เอ็น) และความต้านทาน Shunt และต่ออนุกรมกับความต้านทานอนุกรมตามลำดับ เขียนเป็นสมการได้สมการที่ 2.16 นั่นคือผลลัพธ์ของกระแสที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์เกิดจากแหล่งพลังงานแสงที่กลับด้วยกระแสที่ไหลผ่านไดโอดและผ่านความต้านทาน Shunt ขณะกระแสไฟฟ้าไหลผ่านทำให้เกิดค่าแรงดันไฟฟ้าที่ขาออกบวกด้วยผลคูณระหว่างกระแสไฟฟ้ากับความต้านทานอนุกรม

$$I = I_L - I_D - I_{SH} \quad 2.16$$

$$V_i = V + IR_S \quad 2.17$$

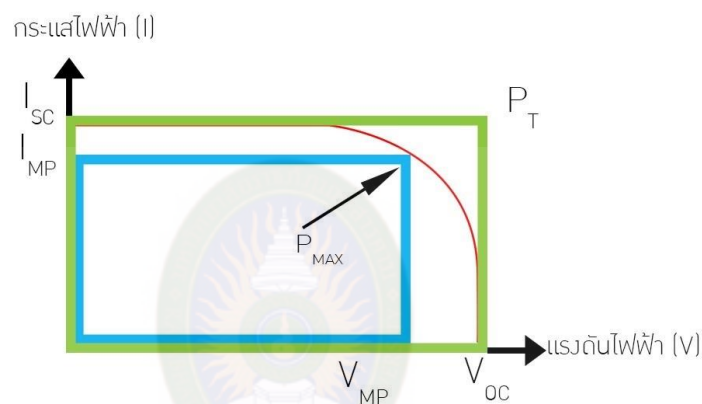
โดยที่	I	กระแสไฟฟ้าขาออก มีหน่วยเป็นแอมแปร์
	I_L	กระแสไฟฟ้าที่เกิดจากแหล่งพลังงานแสง มีหน่วยเป็นแอมแปร์
	I_D	กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านไดโอด มีหน่วยเป็นแอมแปร์
	I_{SH}	กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านความต้านทาน Shunt มีหน่วยเป็นแอมแปร์
	V	แรงดันไฟฟ้าขาออก มีหน่วยเป็นโวลต์
	I	กระแสไฟฟ้าขาออก มีหน่วยเป็นแอมแปร์
	R_S	ความต้านทานอนุกรม มีหน่วยเป็นโอห์ม

พารามิเตอร์ที่บ่งบอกประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบด้วย กระแสลัดวงจร (I_{SC}) แรงดันวงจรเปิด (V_{OC}) และฟิลด์แฟกเตอร์ (FF) รูปที่ 2.20 แสดงกระแสลัดวงจรและแรงดันวงจรเปิดคือ กระแสไฟฟ้าที่ขณะแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเป็นศูนย์ เป็นค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดและแรงดันไฟฟ้าขณะไม่มีกระแสเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด ส่วนฟิลด์แฟกเตอร์เป็นสัดส่วนระหว่างผลคูณแรงดันกับกระแสที่จุดทำงานสูงสุดและผลคูณของกระแสลัดวงจรเปิดซึ่งมีค่าน้อยกว่าหนึ่ง นอกจากนี้มีพารามิเตอร์เกี่ยวกับความต้านทานในเซลล์แสงอาทิตย์เป็นประโยชน์ต่อการติดตามพฤติกรรมของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยคิดจากสัดส่วนระหว่างค่าแรงดันที่สูงสุดต่อกระแสที่จุดทำงานอย่างสูงสุดหรืออาจใช้สัดส่วนระหว่างค่าแรงดันที่จุดสูงสุดต่อกระแสที่จุดทำงานสูงสุดหรืออาจใช้สัดส่วนระหว่างค่าแรงดันวงจรเปิดต่อกระแสลัดวงจร



รูปที่ 2.19 การต่อวงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์

ที่มา : http://www.cssckmutt.in.th/cssc/cssc_training/doc/Operator_CH1toCH5.pdf



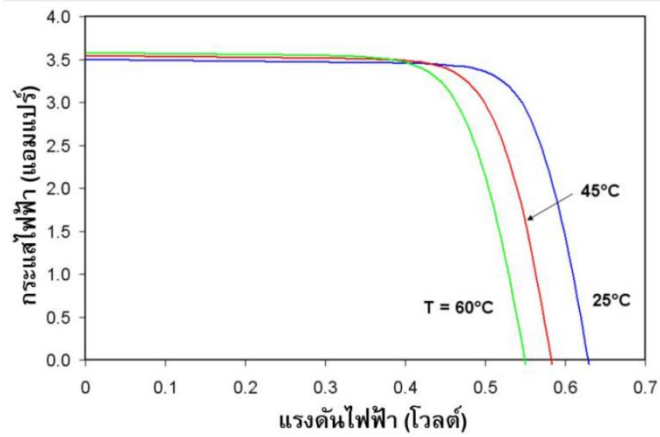
รูปที่ 2.20 ลักษณะกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ (IV-curve)

ที่มา : http://www.cssckmutt.in.th/cssc/cssc_training/doc/Operator_CH1toCH5.pdf

ปัจจัยที่ลดทอนประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

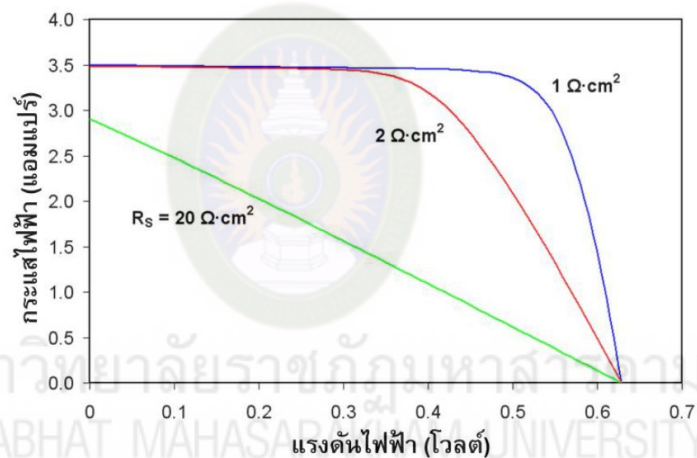
ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นกับทั้งปัจจัยภายนอกและสมบัติของเซลล์ ได้แก่ อุณหภูมิความเข้มรังสีอาทิตย์ ความต้านทาน Shunt และความต้านทานอนุกรม เป็นต้น โดยประสิทธิภาพลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น นั่นคือสถานะที่อุณหภูมิสูงระยะห่างของแถบพลังงานจะลดลง เป็นผลให้แรงดันขาออกของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าน้อยลงแต่ไม่ทำให้กระแสลัดวงจรเปลี่ยนแปลงนัก รูปที่ 2.21 ทั้งนี้ กระแสลัดวงจรหรือกระแสสูงสุดจะลดลงเมื่อความเข้มรังสีอาทิตย์มีค่าน้อย เช่น ในวันที่ท้องฟ้ามีเมฆครึ้ม มีเมฆบดบัง การบังเงาเนื่องจากเงาต้นไม้ เป็นต้น

ความต้านทานอนุกรมเพิ่มขึ้นจะทำให้แรงดันขาออกมีค่าลดลงไม่มีต่อค่าแรงดันวงจรเปิดหรือกล่าวได้ว่า ความต้านทานอนุกรมทำให้ค่าฟิลต์แฟกเตอร์ลดลง หากค่านี้มีมาก ๆ จะทำให้กระแสลัดวงจรลดลงและ IV-curve เป็นเส้นตรงดังรูปที่ 2.22 ค่าความต้านทาน Shunt ลดลงมากจะเป็นผลทำให้แรงดันวงจรเปิดและกระแสลัดวงจรมีค่าลดลงดังรูปที่ 2.23 และค่าฟิลต์แฟกเตอร์ลดลง เช่นเดียวกับกรณีของความต้านทานอนุกรม



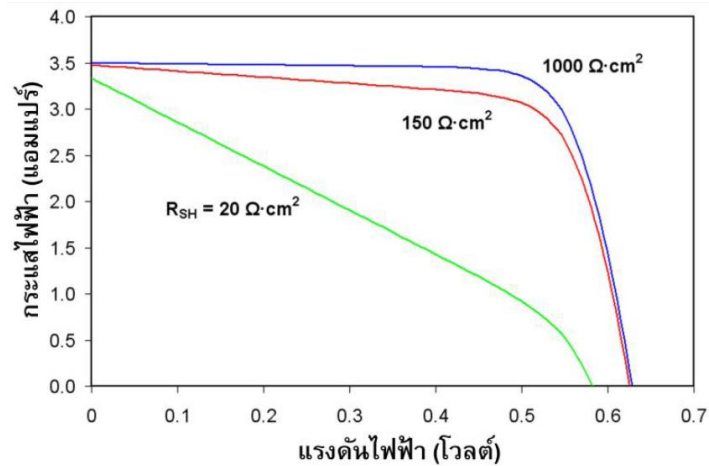
รูปที่ 2.21 ผลของอุณหภูมิแรงดันวงจรเปิดและกระแสลัดวงจร

ที่มา : http://www.cssckmutt.in.th/cssc/cssc_training/doc/Operator_CH1toCH5.pdf



รูปที่ 2.22 ผลของความต้านทานอนุกรมต่อลักษณะกระแสและแรงดัน

ที่มา : http://www.cssckmutt.in.th/cssc/cssc_training/doc/Operator_CH1toCH5.pdf

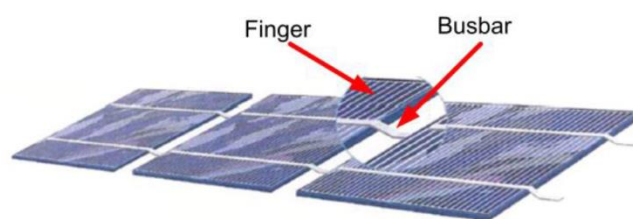


รูปที่ 2.23 ผลของความต้านทาน Shunt ต่อลักษณะกระแสและแรงดัน

ที่มา : http://www.cssckmutt.in.th/cssc/cssc_training/doc/Operator_CH1toCH5.pdf

2.4.5 ลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์นำไปใช้งานในรูปของแผงเซลล์ (Module) การเพิ่มกำลังไฟฟ้าให้สูงขึ้นโดยนำแผงเซลล์มาเชื่อมต่อกันในรูปแบบของสตริง (String) หรืออะเรย์ (Array) รูปที่ 2.24 แสดงลักษณะทั่วไปของการเชื่อมต่อเซลล์ชนิดผลึกกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ถูกดึงไปที่ตัวนำไฟฟ้าด้านหน้าและด้านหลังเซลล์ โดยด้านหน้ามีตัวนำเรียกว่า ฟิงเกอร์ (Fingers) ทำหน้าที่กระแสส่งต่อไป บัสบาร์ (Busbar) และไหลผ่านไปยังเซลล์ที่เชื่อมต่อกันถึง ฟิงเกอร์และบัสบาร์จะต้องบังเซลล์น้อยที่สุดและรับกระแสไฟฟ้าได้สูง เพื่อให้เซลล์รับแสงได้มากที่สุด และด้านรับแสงของเซลล์จะต้องเคลือบสารลดการสะท้อนแสง



รูปที่ 2.24 ลักษณะทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกนำมาประกอบเป็นแผงเซลล์

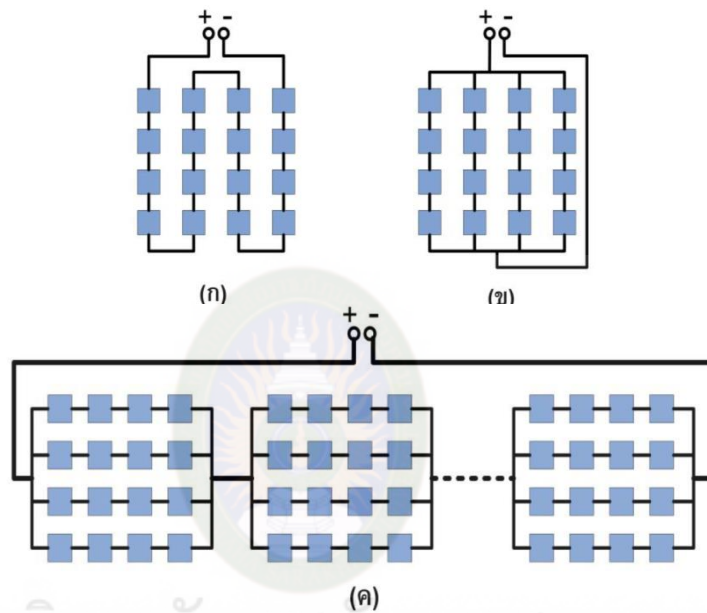
ที่มา : <https://solarsmileknowledge.com/solar-cell>

ส่วนของกล่องต่อสายไฟ และบายพาสไดโอด ทำหน้าที่เชื่อมต่อทางไฟฟ้าระหว่างแผงเซลล์และป้องกันการเกิดโหนดที่ตัวเซลล์ ลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์จะเปลี่ยนแปลงตามแสงแดดและอุณหภูมิ มีลักษณะเดียวกับเซลล์แตกต่างกันที่ขนาดแรงดันและกระแสไฟฟ้า

1. ลักษณะของแผงเซลล์ชนิดผลึกซิลิกอน รูปแบบการเชื่อมต่อเซลล์เพื่อทำเป็นแผงเซลล์มีอยู่ 3 แบบ คือ

1.1) แบบอนุกรม คือ นำแต่ละเซลล์มาต่ออนุกรมเป็น 1 แถว หรือ 1 สตริงใน 1 แผง ดังรูปที่ 2.25 (ก) เพื่อเพิ่มแรงดันวงจรเปิด (V_{oc}) ประมาณ 0.6 โวลต์เท่ากับทุกเซลล์และกระแสเท่ากัน แผงเซลล์จะมีแรงดัน (V_{oc}) เท่ากับจำนวนเซลล์ที่ต่ออนุกรมคูณกับแรงดัน (V_{oc}) ของเซลล์กรณีนี้เท่ากับ 9.6 โวลต์ ส่วนกระแสที่ไหลผ่านจะไหลเท่ากับกระแสของหนึ่งเซลล์เท่านั้น

1.2) แบบอนุกรม-ขนาน คือ นำแต่ละสตริงที่เซลล์ต่ออนุกรม เพื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้า แล้วนำมาต่อขนานเพื่อเพิ่มกระแสไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.25 (ข) แต่ละสตริงมีเซลล์ต่ออนุกรม 4 เซลล์ซึ่งทำให้มีแรงดันที่แต่ละสตริงเท่ากับ 2.4 โวลต์ สมบัติให้กระแสแต่ละสตริงเท่ากับ 5 แอมป์ ทำให้กระแสที่ได้จากแผงนี้มีค่าเท่าผลรวมค่ากระแสของทุกสตริงที่ต่อขนาน ในที่นี้เท่ากับ 20 แอมป์



รูปที่ 2.25 การต่อเซลล์ (ก) แบบอนุกรม (ข) แบบอนุกรม-ขนาน(ค) แบบอนุกรม-ขนาน-อนุกรม
ที่มา : <http://www.ind.cru.in.th>

1.3) แบบอนุกรม-ขนาน-อนุกรม คือ นำแต่ละกลุ่มที่เื่อมต่อกันแบบที่ 2 มาต่ออนุกรมดังรูปที่ 2.25 (ค) เพื่อเพิ่มทั้งแรงดันและกระแสไฟฟ้าโดยส่วนใหญ่ส่วนประกอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับชนิดผลึกซิลิกอนมี 4 ส่วนประกอบด้วย วัสดุประกบผิวหน้าเซลล์วัสดุสำหรับห่อหุ้มเซลล์ (Encapsulant) วัสดุแผ่นหลัง (Back Sheet) และเฟรม

วัสดุประกบผิวหน้า ทำหน้าที่กันน้ำ ไล่น้ำ ฝุ่นละอองและสิ่งสกปรกรวมถึงแรงกระแทกสมบัติของวัสดุ คือ แสงสามารถส่องผ่านได้ดี โดยทั่วไปวัสดุที่เป็นผิวหน้าจะเป็นผิวหน้าจะเป็นกระจกชนิด tempered low-iron ซึ่งมีราคาไม่สูง

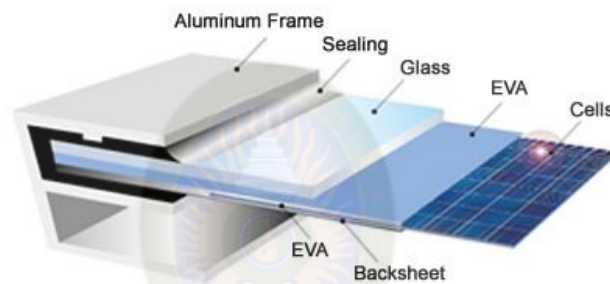
วัสดุห่อหุ้มเซลล์ ช่วยในการจับยึดกันระหว่างวัสดุผิวหน้าตัวเซลล์และวัสดุประกบแผ่นหลังของเซลล์ซึ่งต้องทนทานต่อความร้อนสูง และรังสีอัลตราไวโอเล็ต รวมทั้งให้แสงส่องผ่านได้ดีและระบายความร้อนได้ดี โดยส่วนใหญ่ใช้วัสดุจำพวกโพลีเมอร์ที่เรียกว่า EVA ย่อมาจาก Ethyl vinyl acetate

วัสดุประกบแผ่นหลัง ทำหน้าที่ป้องกันและเป็นแผ่นหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ต้องมีสารสามารถระบายความร้อนได้ดี ป้องกันน้ำ และไอน้ำ โดยส่วนมากวัสดุที่นำมาใช้เป็นจำพวกโพลีเมอร์แผ่นบางที่มีชื่อว่า Tedlar

เฟรม(Frame) ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างของเซลล์ให้เพิ่มความแข็งแรงกับแผงเซลล์และเป็นส่วนป้องกันแรงกระแทกต่างๆ โดยทั่วไปวัสดุที่ใช้เป็นอลูมิเนียม

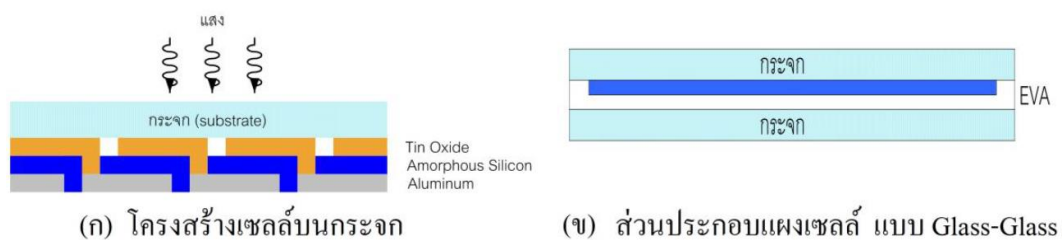
2. ลักษณะของแผงเซลล์ชนิดฟิล์มบาง แผงเซลล์บางแบ่งได้ 2 แบบ คือ โครงสร้างแข็งและ แบบอ่อนตัว

2.1) แผงเซลล์แบบโครงสร้างแข็งเซลล์ถูกสร้างลงบนกระจกโดยตรงจากนั้นทำการเชื่อมต่อทางไฟฟ้า แล้วจึงนำไปลานินตด้วยวัสดุห่อหุ้มทั้งด้านหน้าและด้านหลัง รูปที่ 2.26 แสดงส่วนประกอบของเซลล์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอน (a-Si) ซึ่งกระจกทำหน้าที่ซับสเตรทเทคโนโลยี



รูปที่ 2.26 วัสดุประกอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึก

ที่มา : <https://solarsmileknowledge.com/solar-cell>



รูปที่ 2.27 เซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิกอน

ที่มา : <https://solarsmileknowledge.com/solar-cell>

เซลล์ที่ใช้กระบวนการผลิตแบบนี้คือ CdTe, a-Si เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางซิลิกอนแบบเซลล์ซ้อนระหว่างอะมอร์ฟัสซิลิกอน/อะมอร์ฟัสซิลิกอน หรือ อะมอร์ฟัสซิลิกอน/ไมโครคริสตัลไลน์ซิลิกอน หรือเรียกว่า Tandem, และ CIGS โดยที่ EVA หุ้มเฉพาะด้านหลัง

2.2) แผงเซลล์แบบอ่อน มีลักษณะของการเกาะติด (Deposit) บนซับสเตรทที่อ่อนตัว ส่วนการเชื่อมต่อทางไฟฟ้าขึ้นกับชนิดของซับสเตรท ถ้าวัสดุจำพวกฉนวนไฟฟ้า เช่น Polyester หรือ Polyimide สามารถให้วิธีเดียวกับซับสเตรทที่เป็นกระจก แต่วัสดุจำพวกตัวนำไฟฟ้าต้องใช้วิธีการอื่นจากนั้นก็จะถูกนำไปลามิเนตด้วยวัสดุพอลิเมอร์ที่ไม่มีและยอมให้แสงผ่านได้เช่น ETFE หรือ FEP

นอกจากนี้ การแบ่งแผงเซลล์สามารถแบ่งตามลักษณะการประกอบหรือวัสดุประกอบแผงเซลล์ เช่น

- วัสดุประกอบแผง เช่น แผงเทฟลอน แผง PVB และแผงเรซิน เป็นต้น
- เทคโนโลยีประกอบแผง เช่น กระจกลามิเนต เป็นต้น
- วัสดุซับสเตรท เช่น พิล์มบาง กระจกกับเทตลาร์ โหละกับฟิล์ม อะคิลิพลาสติก และ กระจกกับกระจก เป็นต้น
- โครงสร้างเฟรม ได้แก่ แบบมีเฟรม และแบบไม่มีเฟรม
- การเพิ่มโครงสร้างพิเศษ เช่น toughened safety glass (TSG) กระจกนิรภัยหลายชั้น (laminated safety glass, LSG) และกระจกฉนวน (insulating glass) เป็นต้น

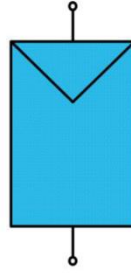


รูปที่ 2.28 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบอ่อนตัว
ที่มา : <https://www.sunnergysolar.com>

ความหลากหลายของแผงเซลล์ได้เอื้ออำนวยต่อการสร้างสรรค์ในเชิงสถาปัตยกรรมทำให้การพิจารณาเพื่อเลือกให้ต้องควบคู่กันไปทั้งด้านของประสิทธิภาพของแผงเซลล์ ความกลมกลืนกับตัวอาคารและเป็นไปตามกฎข้อบังคับการก่อสร้างหรือต่อเติมอาคาร เช่น

- สีสัมพันธ์อยู่กับชนิดของเซลล์ การผลิตแผ่นหลังเซลล์ การเชื่อมต่อเซลล์และชนิดของกระจก
- ความโปร่งแสง ขึ้นกับการจัดเรียงเซลล์และคุณลักษณะความโปร่งแสงของเซลล์
- สามารถในการยืดหยุ่นขึ้นอยู่กับชนิดของซับสเตรท

การใช้สัญลักษณ์ส่วนใหญ่จะใช้ดังรูปที่ 2.29 กำหนดเป็นเซลล์ หรือแผงเซลล์ หรือ ระบบแผงเซลล์ทั้งสตริง หรืออะเรย์



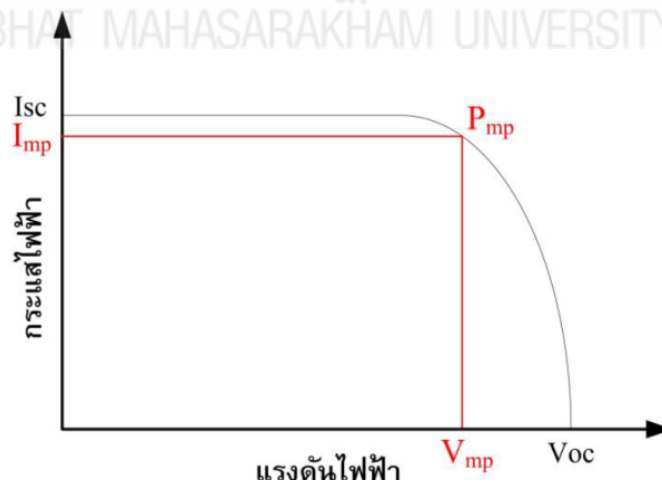
รูปที่ 2.29 สัญลักษณ์ของเซลล์แสงอาทิตย์

ที่มา : <http://www.ind.cru.in.th>

3. สมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

3.1) กระแสและแรงดันไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าเป็นกระแสตรง โดยที่แรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ขึ้นกับความเข้มรังสีอาทิตย์ และอุณหภูมิแผงเซลล์ รูปที่ 2.30 แสดงกราฟกระแสกับแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อต่อกับโหลดที่แปรค่าตั้งแต่สภาวะวงจรถัด (Short circuit) ถึงสภาวะวงจรเปิด (Open circuit) โดยตัดแกนตั้งที่แรงดันเป็นศูนย์ จะได้ค่ากระแสที่สภาวะวงจรถัด (Short circuit current : I_{sc}) ส่วนจุดตัดแกนนอนที่กระแสเท่ากับศูนย์จะได้ค่าแรงดันขณะวงจรเปิด (Open circuit voltage : V_{oc}) เมื่อนำค่ากระแสคูณกับแรงดันก็จะกำลังของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งต้องมีจุดเดียวเป็นค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด เรียกว่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (Power at Maximum Point : P_{MP})

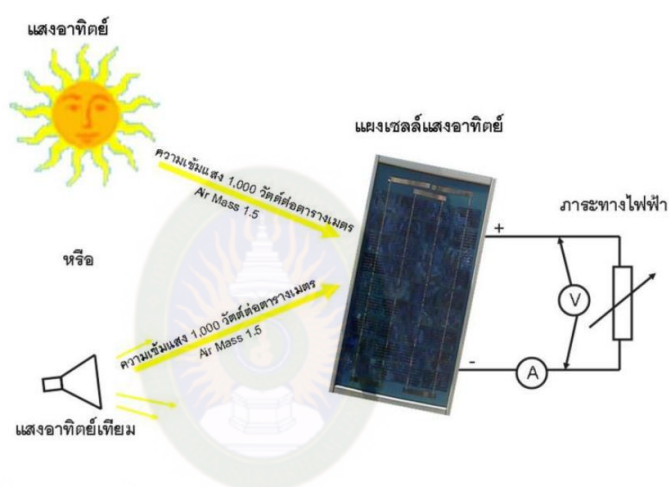
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



รูปที่ 2.30 กราฟกระแสกับแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ (I-V Curve)

ที่มา : <http://www.inventer.in.th>

การระบุค่าสมรรถนะทางไฟฟ้าของแผงเซลล์ได้จากการทดลองวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้า (I-V Curve) โดยต่อภาระทางไฟฟ้าที่สามารถแปรค่าได้ตั้งแต่สภาวะวงจรถัดไปจนถึงสภาวะวงจรถัดเข้ากับแผงเซลล์ แล้วให้แสงแก่แผงเซลล์ดังรูปที่ 2.31 โดยควบคุมสภาพแวดล้อมที่สภาวะมาตรฐาน(Standard Test Condition, STC) คือ ความเข้มรังสีอาทิตย์ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร สเปกตรัมของแสงที่ Air Mass (AM) 1.5 และอุณหภูมิด้านหลังแผงเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส นอกจากนี้การแสดงเครื่องหมายรับรองคุณภาพจากหน่วยงานต่างๆ และการอ้างอิงมาตรฐานการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาตรฐานหลักที่ใช้ในการรับรองคุณภาพ คือ IEC1646 สำหรับชนิดฟิล์มบาง ยังมีมาตรฐานในความปลอดภัย เช่น IEC61730 สำหรับแผงทั้งสองชนิด TUV Safety Class II และUL1703 เป็นต้น

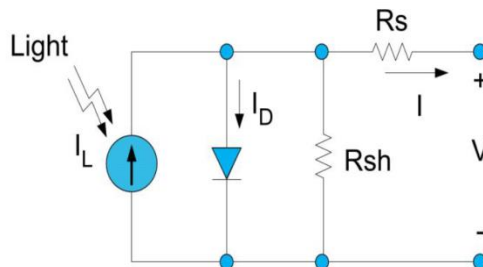


รูปที่ 2.31 ไดอะแกรมการทดสอบวัดกระแสและแรงดันไฟฟ้า
ที่มา : <http://www.inventer.in.th>

3.2) วงจรสมมูลของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เซลล์แสงอาทิตย์สามารถแทนด้วยวงจรสมมูล (Equivalent circuit) ดังรูปที่ 2.32 ประกอบด้วย แหล่งจากกระแสไฟฟ้าต่อขนานกับไดโอด (รอยต่อพี-เอ็น) และ RSH โดยกำหนดแหล่งจ่ายกระแสเป็นแบบกระแสคงที่ ซึ่งแปรผันตามความเข้มแสง ความต้านทานอนุกรม (R_s) เป็นค่าความต้านทานที่เกิดขึ้นจากจุดเชื่อมต่อ (Wiring contact) ระหว่างตัวนำไฟฟ้ากับเซลล์ ส่วนตัวต้านทานขนาน (R_{SH}) เกิดขึ้นเมื่อให้แรงดันไฟฟ้าในลักษณะไบอัสย้อนกลับให้ไดโอด

ทางอุดมคติจะไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลย้อนกลับ ตรงกันข้ามกับความเป็นจริงจะมีกระแสไฟฟ้าไหลย้อนกลับในระดับต่ำ นั่นแสดงให้เห็นว่ามีเส้นทางที่กระแสไฟฟ้าสามารถไหลผ่านได้ ดังนั้นจึงแทนด้วยความต้านทานขนาน ซึ่งมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับความต้านทานอนุกรมที่มีค่าต่ำมาก สมการที่ 2.18 เป็นสมการทางสถิติของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งมีพื้นฐานจากทฤษฎีโซลิดสเตทฟิสิกส์ (Solid-state theory)

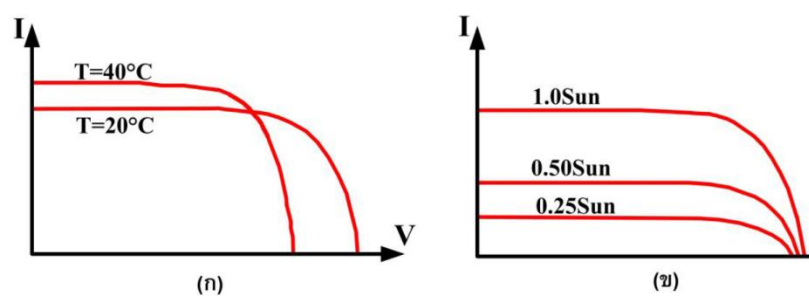
$$I = I_L - I_0 \left\{ \exp \left[\frac{e(V - IR_S)}{AkT} \right] - 1 \right\} - \frac{V}{R_{SH}} \quad 2.18$$



รูปที่ 2.32 แบบจำลองคุณลักษณะทางสถิติของเซลล์แสงอาทิตย์

ที่มา : <http://www.inventer.in.th>

3.3) ผลกระทบจากความเข้มรังสีอาทิตย์และอุณหภูมิ เซลล์แสงอาทิตย์ทำงานที่สถานะแวดล้อมต่างๆ จะได้กราฟ I-V Curve ที่ระดับต่างๆ ดังแสดงรูปที่ 2.33 (ก) เป็นกรณีที่มีความเข้มรังสีอาทิตย์คงที่แต่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น มีผลทำให้แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง แต่กระแสไฟฟ้าวงจรลัดกลับมีค่าสูงขึ้น แต่กรณีจากรูปที่ 2.33 (ข) มีความเข้มแสงเพิ่มขึ้นโดยที่อุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลงจะทำให้กระแสวงจรลัดเพิ่มขึ้น และแรงดันวงจรเปิดมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อย

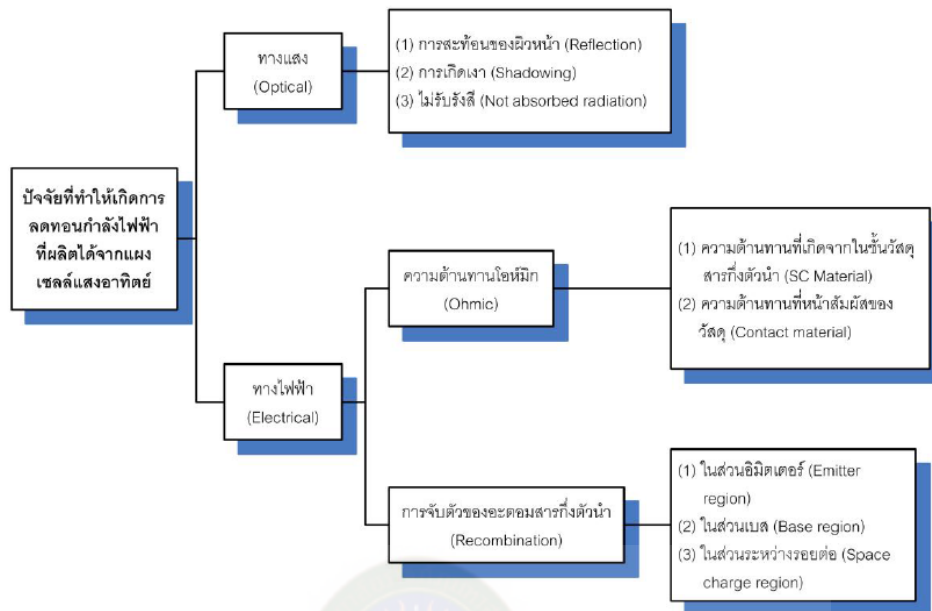


รูปที่ 2.33 กราฟกระแสและแรงดันที่อุณหภูมิและความเข้มแสงค่าต่างๆ

ที่มา : <http://www.inventer.in.th>

3.4) ปัจจัยลดทอนกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ การลดทอนกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ของแผงเซลล์มาจากสาเหตุหลัก 2 ประการ คือ ทางแสง (Optical) และทางไฟฟ้า (Electrical) สำหรับทางแสงปัจจัยที่มีผลต่อการรับแสงได้แก่การสะท้อน (Reflection) การบังเงา

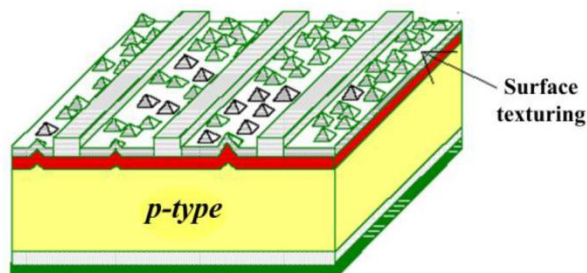
(Shadowing) และไม่รับรังสี (not absorbed radiation) ซึ่งการลดการสะท้อนแสงนั้นทำโดยการเคลือบสารป้องกันการเงาบบังแสงเซลล์



รูปที่ 2.34 ปัจจัยการลดทอนกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ที่มา : http://www.cssckmutt.in.th/cssc/cssc_training/doc/Operator_CH1toCH5.pdf

ทางไฟฟ้าแบ่งการสูญเสียเป็น 2 ส่วน คือ โอห์มิก (Ohmic losses) และการจับตัวของอะตอมสารกึ่งตัวนำ (Recombination) ซึ่งการสูญเสียอันเนื่องมาจากการออกแบบและกระบวนการผลิตเซลล์โดยที่ โอห์มิก เป็นผลที่เกิดขึ้นจาดั้ววัสดุสารกึ่งตัวนำ และความต้านทานที่หน้าสัมผัสของวัสดุได้แก่ รอยต่อระหว่างโลหะตัวนำกับสารกึ่งตัวนำ ส่วนการสูญเสียจากการจับตัวของอะตอมสารกึ่งตัวนำเกิดได้ทั้งในชั้นอิมิตเตอร์ (Emitter layer) ส่วนเบส และระหว่างรอยต่อของสารกึ่งตัวนำ

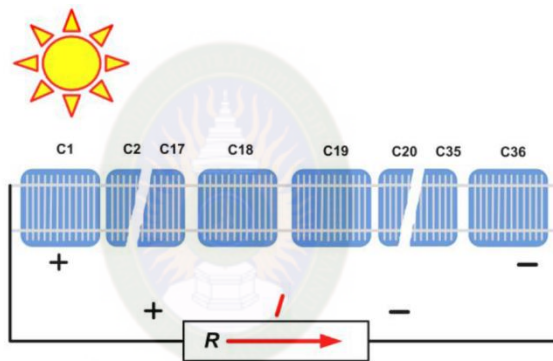


รูปที่ 2.35 ลักษณะของผิวหน้าของเซลล์ซึ่งผ่านการทำ surface texturing

ที่มา : http://www.cssckmutt.in.th/cssc/cssc_training/doc/Operator_CH1toCH5.pdf

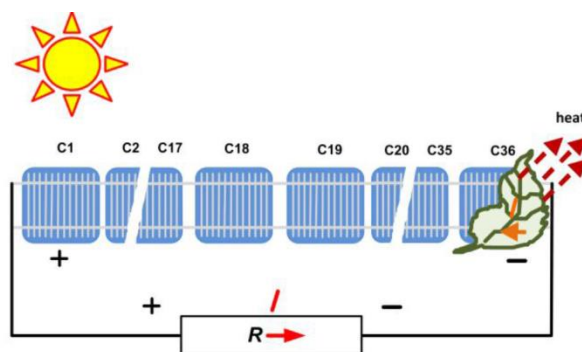
3.5) Junction Box, Bypass Diode และ Blocking diode การต่อเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อให้ได้ค่าแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิกอนจะมีค่าแรงดันวงจรเปิดหรือค่าความต่างศักย์แต่ละเซลล์ประมาณ 0.6 โวลต์และสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางซิลิกอนประมาณ 0.6-0.9 โวลต์ และค่ากระแสไฟฟ้า (ขึ้นอยู่กับพื้นที่เซลล์) หลังการต่อเซลล์เป็นแผงเซลล์จะรวมสายไฟฟ้าเข้าด้วยกันโดยแยกเป็นขั้วบวกและขั้วลบไปยังกล่องรวมสายเรียกว่า Junction Box เพื่อนำไฟฟ้าไปใช้งานต่อ

การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในสภาวะไม่มีเงาบังแสดงได้ดังรูปที่ 2.36 แต่ถ้าเงาบังจากกรณีต่างๆ เช่น ใบไม้ และสิ่งปลูกสร้าง เป็นต้น จะทำให้แผงเซลล์มีค่ากระแสไฟฟ้าน้อยลงเป็นผลทำให้กำลังไฟฟ้าโดยรวมของแผงเซลล์ลดลงอย่างมาก นอกจากนี้แล้วเมื่อเกิดเงาบังกับแผงเซลล์ ทำให้เกิดความร้อนที่ตัวเซลล์มากขึ้น เนื่องจากเซลล์ที่ถูกบังจะทำหน้าที่เป็นภาระทางไฟฟ้าแทนที่จะเป็นแหล่งจากพลังงาน



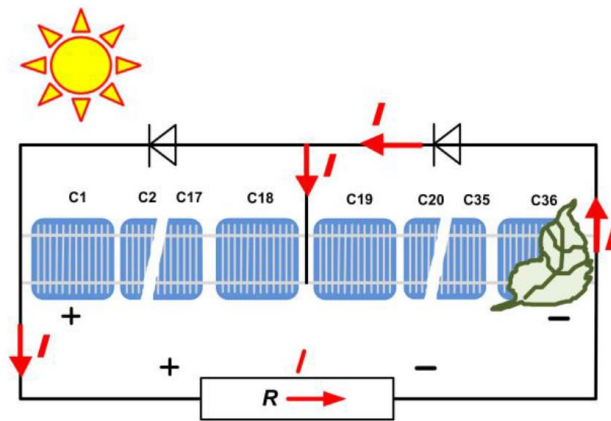
รูปที่ 2.36 แผนภาพการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อไม่มีเงาบังที่เซลล์

ที่มา : http://www.cssckmutt.in.th/cssc/cssc_training/doc/Operator_CH1toCH5.pdf



รูปที่ 2.37 ภาพแสดงการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อมีใบไม้บัง

ที่มา : http://www.cssckmutt.in.th/cssc/cssc_training/doc/Operator_CH1toCH5.pdf

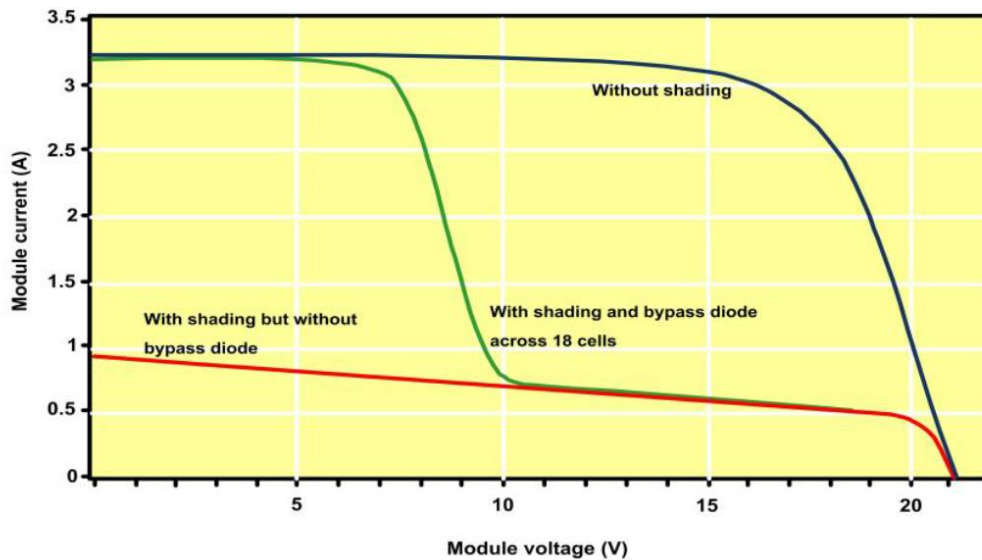


รูปที่ 2.38 แผนภาพการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อมีใบไม้บัง Bypass Diode

ที่มา : http://www.cssckmutt.in.th/cssc/cssc_training/doc/Operator_CH1toCH5.pdf

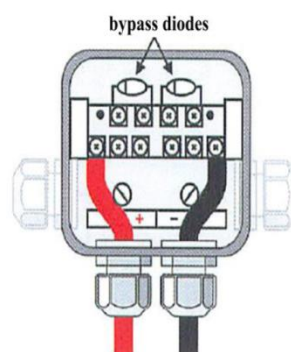
ในการปฏิบัติการต่อเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแผงเซลล์นั้นจะต้องมี Bypass Diode เข้าไปในแผงเซลล์ เพื่อทำหน้าที่ให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านช่วงขณะในกรณีที่เกิดเงาบังหรือแม้กระทั่งกรณีที่เซลล์เสียหายถาวร แนวเส้นลูกศร ในรูปที่ 2.38 แสดงทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าผ่าน Bypass Diode เมื่อมีใบไม้มาบัง และจะเห็นว่าถ้ามี Bypass Diode จะทำให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลในแผงเซลล์เป็นปกติเนื่องจากกระแสไฟฟ้าจะไม่ไหลผ่านส่วนของแผงเซลล์ที่เกิดเงาบัง เป็นผลให้มีค่ากำลังไฟฟ้าโดยรวมจากแผงเซลล์การลดลงเพียงเล็กน้อย

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิกอนจะนำเซลล์มาต่ออนุกรมกันเพื่อเพิ่มค่าแรงดันวงจรเปิดให้เหมาะกับการใช้งานจำนวนเซลล์ในหนึ่งแผงประมาณ 36-40 เซลล์ และใช้ Bypass Diode ประมาณ 2 ตัว และรูปที่ 2.39 เปรียบเทียบกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่เกิดจากแผงที่มี Bypass Diode และไม่มี Bypass Diode โดยที่เส้นสีน้ำเงินแสดงกระแสและแรงดัน แต่เมื่อไม่มีเงาบังพื้นที่เซลล์หนึ่งเซลล์ถึง 75 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่เซลล์ กรณีไม่มี Bypass Diode (เส้นสีแดง) กระแสไฟฟ้าลดลงจากปกติเป็นอย่างมาก เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่เหลือ 25 เปอร์เซ็นต์จากพื้นที่เซลล์ทั้งหมดถ้ามี Bypass Diode จะทำให้กระแสไฟฟ้าวงจรลัด และแรงดันวงจรเปิดเท่าเดิม (กราฟสีเขียว) เพียงแต่กำลังไฟฟ้าทั้งหมดลดลงเท่านั้น



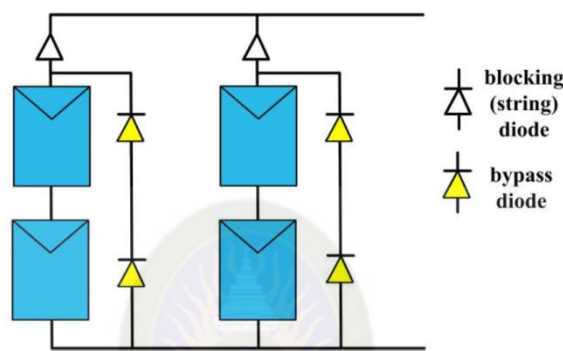
รูปที่ 2.39 การเปรียบเทียบ I-V curve ที่มีและไม่มี Bypass Diode เมื่อมีการเกิดเงาบัง
ที่มา : http://www.cssckmutt.in.th/cssc/cssc_training/doc/Operator_CH1toCH5.pdf

การติดตั้ง Bypass Diode จะติดตั้งที่บริเวณกล่องรวมสาย (Junction Box) หนึ่งแผงเซลล์โดยเชื่อมต่อสายไฟฟ้าหลัก (Busbar) ซึ่งสายไฟฟ้าทั้งหมดจะถูกรวมที่กล่องรวมสายโดยแยกเป็นชุดเซลล์ย่อยๆ แล้วทำการเชื่อมต่อ Bypass Diode คร่อมลงไปตามแสดงในรูปที่ 2.39 ภายในกล่องรวมสายจะมีขั้วไฟฟ้าทั้งขั้วบวกและขั้วลบที่พร้อมใช้งานและ Bypass Diode อยู่ด้วยกันจึงสะดวกในการดูแลรักษาและซ่อมแซมหากเกิดการชำรุดขึ้นหลังจากการใช้งาน หรือมีการปรับปรุงในอนาคต



รูปที่ 2.40 กล่องรวมสายไฟฟ้าที่มีการติดตั้ง Bypass Diode
ที่มา : <http://www.dede.go.th>

ในอีกกรณีสำหรับการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นระบบขนาดเล็กไปจนถึงขนาดใหญ่ จำเป็นต้องคำนึงถึงผลกระทบของการผลิตกระแสไฟฟ้าที่ไม่เท่ากันของแต่ละสตริงของระบบโดยรวม คุณสมบัติของแผงเซลล์เองที่ไม่เท่ากันมุมเอียงของการติดตั้งไม่อยู่ในระนาบเดียวกันทั้งหมด ด้วยปัจจัยต่างๆ ที่กล่าวมาเป็นผลให้ระบบผลิตไฟฟ้าอาจจะปรากฏการณ์ของความไม่เท่ากันในแต่ละสตริง ซึ่งจะทำให้สตริงมีค่ากำลังไฟฟ้าต่ำสุดกลายเป็นภาระทางไฟฟ้าชั่วคราวและมีการถ่ายเทพลังงานจากสตริงที่ยังคงผลิตกำลังไฟฟ้าได้ตามยังสตริงที่มีค่าต่ำซึ่งทำให้กำลังไฟฟ้าโดยรวมมีค่าลดลงดังนั้นเพื่อป้องกันภาวะดังกล่าว จึงจำเป็นต้องติดตั้ง Bypass Diode ที่บริเวณปลายสายของทุกสตริงเพื่อทำหน้าที่เป็นตัวป้องกันไม่ให้สตริงตัวต่ำเกิดความเสียหายเนื่องจากสภาวะกระแสไฟฟ้าไหลย้อนกลับ

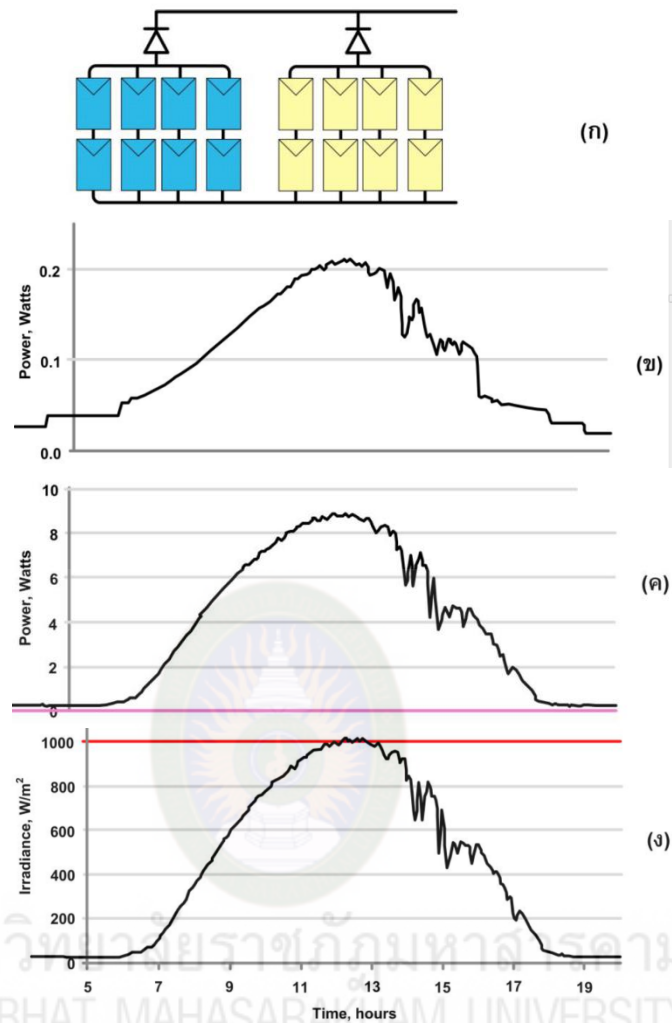


รูปที่ 2.41 แผนภาพของระบบที่มีการติดตั้ง Bypass Diode

ที่มา : <http://www.dede.go.th>

ปรากฏการณ์ดังกล่าวข้างต้น จะเห็นได้ว่าการติดตั้ง Bypass Diode ระหว่างแผงเซลล์เพื่อทำหน้าที่เป็นตัวผ่านของกระแสไฟฟ้าเวลาเกิด Hot Spot ในแต่ละแผงภายในสตริงและการติดตั้ง Bypass Diode เพื่อป้องกันกระแสไฟฟ้าไหลย้อนเข้าสู่สตริง (รูปที่ 2.41) จะทำให้ระบบมีความคงที่ในการผลิตไฟฟ้าตลอดทั้งวันโดยที่ไดโอดแต่ละตัวจะทำหน้าที่ในเวลาเกิดปรากฏการณ์ต่างๆ ที่คาดไม่ถึง ซึ่งทำให้การผลิตไฟฟ้ามีความสม่ำเสมอตลอดเวลา

อย่างไรก็ตาม การติดตั้ง Bypass Diode ในระบบต้องคำนึงถึงผลการสูญเสียแรงดันตกคร่อมของไดโอดที่เกิดขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้และจะทำให้กำลังไฟฟ้าของระบบลดทอนไปส่วนหนึ่ง นอกจากนี้ในรูปที่ 2.43 เปรียบเทียบขนาดเล็กลงที่มีขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้าเท่ากันที่ประกอบด้วยระบบที่ไม่มี Bypass Diode รูป (ข) และระบบที่มี Bypass Diode รูป (ค) โดยที่สตริงด้านซ้ายของรูป (ก) แสดงสถานะที่สตริงเกิดเงาบัง และเมื่อเปรียบเทียบกราฟระหว่างที่มีและไม่มี Bypass Diode จะให้ค่ากำลังไฟฟ้าต่ำมากทั้งนี้เนื่องจากผลของการเกิดสภาวะทางไฟฟ้าและมีการไหลย้อนกลับสตริงที่มีเงาบังบางส่วนระบบที่มี Bypass Diode คงสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้โดยมีกำลังไฟฟ้าโดยรวมเท่ากับสตริงที่ไม่ถูกบัง



รูปที่ 2.42 การเปรียบเทียบไฟฟ้าที่ผลิตได้ของระบบที่มีและไม่มี Bypass Diode
ที่มา : <http://www.dede.go.th>

2.5 แบตเตอรี่ (Battery)

แบตเตอรี่ทำหน้าที่เป็นตัวเก็บประจุพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานกักหน้ลมไว้ใช้เวลาที่ต้องการ เช่น เวลาที่ไม่มีลมพัดหรือนำแบตเตอรี่ไปประยุกต์ใช้งานอื่นๆ แบตเตอรี่มีหลายชนิดและหลายขนาดให้เลือกใช้ตามความเหมาะสมตามความต้องการแต่ลักษณะของงานที่จะนำแบตเตอรี่ไปใช้



รูปที่ 2.43 แสดงแบตเตอรี่รีไซเคิลขนาด 125 Ah
ที่มา : สุจิตต์ สอนองคุณ (2542)

2.5.1 การแบ่งชนิดของแบตเตอรี่

เป็นอุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานเคมีที่เก็บไว้เป็นพลังงานไฟฟ้า ได้มีการค้นพบว่าการใช้แบตเตอรี่ตั้งแต่สมัยบาบิโลเนียน เมื่อประมาณ 500ปี ก่อนคริสตกาล แต่แบตเตอรี่ที่ใช้ในปัจจุบัน เป็นการค้นคว้าของนักวิทยาศาสตร์เมื่อ 200 ปีที่แล้ว ซึ่งแบ่งตามลักษณะของการใช้งานได้เป็น 4ชนิดดังนี้

1) แบตเตอรี่ปฐมภูมิ (Primary Cell) เซลล์แบบนี้ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นขณะทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าจะกระทำต่ออิเล็กโทรดอันหนึ่งจนสึกกร่อนไป ปกติแล้วจะเกิดขึ้นกับขั้วลบ (Negative) เป็นแบตเตอรี่ที่เมื่อผ่านการใช้งานแล้วไม่สามารถนำกลับมาชาร์จประจุเพื่อกลับมาใช้ใหม่ได้หรือเรียกว่า “ถ่าน” มีอยู่หลายชนิด เช่น ถ่านอัลคาไลน์ ถ่านลิเทียม เป็นต้น แบตเตอรี่แบบนี้มีหลายขนาด ใช้ในวิทยุ นาฬิกา เก็บพลังงานได้สูง อายุการใช้งานสูง แต่เมื่อถูกใช้จนหมดจะกลายเป็นขยะมลพิษ

2) แบตเตอรี่ทุติยภูมิ (Secondary Cell) เซลล์ชนิดนี้ขณะทำการจ่ายกระแสไฟฟ้า ออกปฏิกิริยาเคมีจะทำให้อิเล็กโทรดเปลี่ยนสภาพไปจากเดิม แต่เมื่อทำประจุไฟฟ้าตัวใหม่ โดยการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงผ่านเข้าไปในเซลล์ในทิศทางตรงกันข้ามกับการจ่ายกระแสไฟฟ้า ออกจากเซลล์ ทำให้แผ่นอิเล็กโทรดกลับคืนสู่สภาพเดิมได้ และพร้อมที่จะจ่ายกำลังไฟฟ้าออกเพื่อใช้งานได้ต่อไป เป็นแบตเตอรี่ที่เมื่อผ่านการใช้งานแล้วสามารถนำกลับมาชาร์จประจุเพื่อกลับมาใช้ใหม่ได้ เช่น แบตเตอรี่รถยนต์ แบตเตอรี่มือถือ และถ่านรุ่นใหม่ๆ เป็นต้น

3) แบตเตอรี่เชิงกล เป็นแบตเตอรี่ที่เมื่อผ่านการใช้งานแล้วนำกลับมาชาร์จประจุเพื่อกลับมาใช้ใหม่ได้โดยการเปลี่ยนขั้วอิเล็กโทรดขั้วลบของแบตเตอรี่ที่ใช้งานแล้ว ซึ่งทำให้มีการชาร์จประจุอย่างรวดเร็ว เช่น แบตเตอรี่ชนิดอลูมิเนียม-อากาศ

4) แบตเตอรี่ผสม เป็นแบตเตอรี่ที่มีเซลล์ของเชื้อเพลิงผสมอยู่ โดยขั้วอิเล็กโทรดข้างหนึ่งเป็นก๊าซและอีกข้างหนึ่งเป็นตัวของมันเอง เช่น แบตเตอรี่ชนิดซิงค์/โบรมีนปัจจุบันนิยมใช้งาน ทั้งแบตเตอรี่แบบปฐมภูมิและทุติยภูมิ ซึ่งส่วนใหญ่มีตะกั่วเป็นส่วนประกอบที่มีคราบเป็นพิษและผลเสีย

ต่อสภาพแวดล้อม แบตเตอรี่ที่เข้ามาแทนแบตเตอรี่ตะกั่วในอนาคต สามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภทได้แก่

A แบตเตอรี่ชนิดนิกเกิล-แคดเมียม (NiCd) แบตเตอรี่ชนิดนี้มีราคาแพงกว่า แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วแต่สามารถชาร์จประจุได้มากกว่า และอายุการใช้งานยาวนาน

B แบตเตอรี่ชนิดโซเดียม-ซัลเฟอร์ (NaS) เป็นแบตเตอรี่ที่มีความหนาแน่นของพลังงานต่ำ ราคาแพง สามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิสูงถึง 350°C

C แบตเตอรี่ชนิดซิงค์-โบรมีน (ZnBr) เป็นแบตเตอรี่ที่ให้แรงดันไฟฟ้าสูง ราคาถูก อายุการใช้งานที่ยาวนาน เหมาะสำหรับใช้กับรถไฟฟ้ แต่ยังมีปัญหาจากการรั่วของประจุที่เก็บ และก๊าซโบรมีนเป็นก๊าซที่อันตราย

D แบตเตอรี่ชนิดวานาเดียม-รีดอกซ์ (Vanadium-Redox) แบตเตอรี่แบบนี้สามารถชาร์จประจุได้ทันทีเพียงแค่เปลี่ยนอิเล็กโทรไลต์ มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน อัตราการรั่วของประจุต่ำ

2.5.2 การต่อวงจรไฟฟ้าของแบตเตอรี่

ต้องพยายามออกแบบให้ขนาดสายไฟที่ใช้ภายในอาคารเก็บแบตเตอรี่เล็กที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ การออกแบบอาจไม่ต้องพิจารณาค่าแรงดันไฟฟ้าลดลงที่เกิดจากสายไฟและการเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้าระหว่างกันหั่นลมเราอาจคำนวณค่ากระแสสูงสุดได้โดยตรงแต่การคำนวณค่าแรงดันไฟฟ้าลดลงจะมีความซับซ้อนมากกว่าเนื่องจากเราไม่สามารถหาค่าความต้านทานไฟฟ้าที่เกิดจากการต่อสายไฟเข้ากับขั้วต่อสายไฟได้ ปัญหาที่เกิดขึ้นคือ ความยาวของสายไฟระหว่างสตริงของเซลล์แบตเตอรี่หรือการต่อวงจรไฟฟ้าของระบบแบตเตอรี่ขนาดเข้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าเพื่อใช้ประจุไฟฟ้า การประจุไฟฟ้าแก่แบตเตอรี่หรือเซลล์ที่มีขนาดไม่เท่ากันอาจทำให้เกิดประจุไฟฟ้าเกินหรือต่ำกว่าค่าพิกัดของแบตเตอรี่ที่ติดตั้งประกอบอยู่ในระบบการประจุไฟฟ้าเกินพิกัดทำให้น้ำที่อยู่ในแบตเตอรี่ระเหยไปและเกิดแก๊สไฮโดรเจนขึ้น ซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายแก่แบตเตอรี่เกิดไฟลุกไหม้หรือแบตเตอรี่ระเบิดการประจุไฟฟ้าต่ำกว่าพิกัดจะทำให้เกิดซัลเฟชัน และความจุของไฟฟ้าของแบตเตอรี่ลดต่ำลง แบตเตอรี่ไม่สามารถจ่ายพลังงานได้เพียงพอต่อความต้องการของโหลด

2.5.3 ข้อควรระวังของการใช้งานแบตเตอรี่

โดยปกติแบตเตอรี่ มักเป็นแบตเตอรี่ตะกั่วกรดแบบมีฝาปิดและแบตเตอรี่ตะกั่วแบบมีวาล์วควบคุม (Valve-Regulated Lead-Acid Battery , VALA) แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์เก็บสะสมพลังงานในรูปแบบไฟฟ้าเคมี ภายในประกอบด้วยสารละลายกรดซัลฟริกแบบเจือจางแบตเตอรี่อาจจะเปิดได้ซึ่งมีสาเหตุจากการสะสมของแก๊สไฮโดรเจนกับออกซิเจนกระแสไฟฟ้าลัดวงจรของแบตเตอรี่มีค่าสูงหลายพันแอมป์ การใช้งานแบตเตอรี่ควรระมัดระวังอันตรายที่เกิดจากศักย์ไฟฟ้าของแบตเตอรี่การออกแบบระบบควรมีการติดตั้งเครื่องมือวัดอย่างเหมาะสมเพื่อความปลอดภัยความสะดวกต่อการใช้งานติดตั้งแบตเตอรี่แบบตะกั่วกรดควรกำหนดสัญลักษณ์ของอาคารระบบไฟฟ้า และระบบป้องกัน

เพลิงไหม้ให้ความสัมพันธ์กับระบบของสาธารณะ อาคารของรัฐ หรืออาคารในท้องถิ่นผู้ผลิตแบตเตอรี่ ควรแนะนำเกี่ยวกับการติดตั้งและการซ่อมบำรุงแบตเตอรี่

ข้อควรระวังเกี่ยวกับอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบแบตเตอรี่อันตรายที่เกิดกับระบบแบตเตอรี่ อาจเกิดจากสาเหตุต่างๆ คือ อันตรายจากไฟฟ้า สารเคมีและเพลิงไหม้ ซึ่งสามารถลดอันตรายเหล่านี้ ได้ด้วยวิธีการออกแบบและการทำงานของแบตเตอรี่อย่างเหมาะสมมีรายละเอียดดังนี้

- 1) การแสดงเครื่องหมายความปลอดภัยชนิดต่างๆ คือ อาคาร ไฟฟ้า และเพลิงไหม้โดยกำหนดเครื่องหมายตามข้อกำหนดของรัฐและท้องถิ่นนั้นๆ ซึ่งต้องกำหนดให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน
- 2) กำหนดระยะช่องว่างระหว่างแบตเตอรี่ให้ได้เหมาะสม มีพื้นที่ระบายลมอย่างเพียงพอเพื่อป้องกันการสะสมของแก๊สไฮโดรเจนและกระจายความร้อนได้อย่างรวดเร็ว
- 3) การออกแบบเพื่อป้องกันการลัดวงจรไฟฟ้าของสายไฟที่ต่อกับจุดเชื่อมต่อ สตรีงจ์ของแบตเตอรี่ที่ต่อขนานกัน
- 4) มีช่องระบายอากาศเล็กๆ สำหรับแบตเตอรี่
- 5) มีการชดเชยอุณหภูมิด้วยวิธีการควบคุมแรงดันไฟฟ้าสำหรับการประจุไฟฟ้า แบตเตอรี่
- 6) ระบบตัดกระแสไฟฟ้าสำหรับประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่เมื่ออุณหภูมิของ แบตเตอรี่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศหรืออุณหภูมิของแบตเตอรี่สูงกว่าอุณหภูมิ สูงสุดสำหรับประจุแบตเตอรี่ที่กำหนดโดยบริษัทผู้ผลิตแบตเตอรี่
- 7) คุ้มครองพื้นที่บริเวณตั้งแต่แบตเตอรี่ เพื่อลดโอกาสที่จะเกิดความเสียหาย ต่อสายกราวด์และติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับความบกพร่องของสายกราวด์ ภาชนะที่ใช้กับแบตเตอรี่ควรเป็นฉนวนไฟฟ้าและมีการต่อสายกราวด์ของชั้น วางแบตเตอรี่ที่เป็นโลหะเพื่อความปลอดภัยของเจ้าหน้าที่
- 8) การบำรุงรักษาแบตเตอรี่ต้องดำเนินการตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตและ จะต้องดำเนินการกำจัดสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่หกและซังอยู่ในพื้นที่ออก ให้หมด
- 9) ภาชนะบรรจุแบตเตอรี่ต้องทนทานต่อการกัดกร่อนของสารที่ใช้ทำความ สะอาด
- 10) จัดเตรียมอุปกรณ์รักษาความปลอดภัยแก่เจ้าหน้าที่ ได้แก่ ภาชนะที่ใส่ สารละลายที่หกฝักบัวอาบน้ำ อ่างล้างหน้า และอุปกรณ์ดับเพลิงเครื่องมือที่ ใช้ในการติดตั้งและการซ่อมบำรุงควรมีฉนวน

2.5.4 การทำงานของแบตเตอรี่

แบตเตอรี่เป็นแหล่งกำลังไฟฟ้ากระแสตรงค่าสูงมากกระแสไฟฟ้าที่แบตเตอรี่จ่ายได้ขณะเกิดความเสียหายจะขึ้นอยู่กับความต้านทานไฟฟ้าของแบตเตอรี่และความต้านทานไฟฟ้าของวงจรไฟฟ้าอยู่กับแบตเตอรี่ ถ้าความต้านทานไฟฟ้าของวงจรไฟฟ้ามีค่าต่ำมากและระบบแบตเตอรี่มีขนาดใหญ่อาจจ่ายกระแสไฟฟ้าได้สูงถึง 4000 แอมแปร์ ในเวลาไม่กี่วินาทีแบตเตอรี่จะเก็บสะสมพลังงานไฟฟ้าในรูปของการเกิดปฏิกิริยาเคมีขั้วไฟฟ้า(แผ่นเพลท)ของแบตเตอรี่และความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานเคมีเป็นพลังงานไฟฟ้าของแบตเตอรี่การลัดวงจรไฟฟ้าของแบตเตอรี่จะทำให้ค่ากระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นและค่าแรงดันไฟฟ้าลดลงอย่างรวดเร็วในสภาวะนี้ ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจนถึงระดับสภาวะคงตัวสิ่งที่เกิดขึ้นตามมาในภาวะเงื่อนไขการลัดวงจรมีดังนี้

- 1) การเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้าเคมีของแบตเตอรี่
- 2) ความต้านทานไฟฟ้าภายในและภายนอกแบตเตอรี่
- 3) ค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้าของแบตเตอรี่และวงจรไฟฟ้า
- 4) ค่าความจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่

2.5.4.1 การทำงานของแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด ควรแยกส่วนที่ทำให้เกิดการลัดวงจรของแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด ออกจากกันกระแสไฟฟ้าเอาท์พุทของแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรดจะขึ้นอยู่กับความต้านทานไฟฟ้าของแบตเตอรี่และตัวแปรอื่นๆ ที่ใช้สำหรับการออกแบบแบตเตอรี่ ประกอบด้วย

- 1) ชนิดวัสดุและลักษณะรูพรุนของแผ่นกั้นขั้วไฟฟ้าของแบตเตอรี่
- 2) ระยะห่างระหว่างแผ่นเพลท
- 3) ค่าความถ่วงจำเพาะของสารละลายอิเล็กโทรไลต์
- 4) ขนาดพื้นที่หน้าตัดของแผ่นเพลท
- 5) ค่าความนำไฟฟ้าของแผ่นเพลท สายรัดขั้วไฟฟ้า ตำแหน่งของขั้วไฟฟ้า และ

การเชื่อมต่อวงจรไฟฟ้าภายในเซลล์

2.5.4.2 การทำงานของแบตเตอรี่แบบนิเกิลแคดเมียม แบตเตอรี่แบบนิเกิลแคดเมียมจะมีกระแสไฟฟ้ลัดวงจรเหมือนกับแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด คือ ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรไฟฟ้าขึ้นอยู่กับความต้านทานไฟฟ้าภายในเซลล์แบตเตอรี่และเกิดขึ้นกับตัวแปรการออกแบบต่างๆ ดังนี้

- 1) การกั้นแผ่นเพลท
- 2) ขนาดพื้นที่หน้าตัดของแผ่นเพลท
- 3) การเหนี่ยวนำไฟฟ้าของแผ่นเพลท การต่อสายรัดขั้วไฟฟ้า ตำแหน่งของขั้วไฟฟ้าและการเชื่อมต่อภายในเซลล์

ความแตกต่างระหว่างแบตเตอรี่แบบนิเกิลแคดเมียมกับแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด ได้แก่ สารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้โดยปกติแบตเตอรี่จะทำตัวเหมือนตัวนำไฟฟ้าแบบอ

อนิกที่มีความต้านทานไฟฟ้าภายในสม่ำเสมอ ค่าความถ่วงจำเพาะไม่เปลี่ยนแปลงตามสถานการณ์ ประจุไฟฟ้า และขณะที่แบตเตอรี่จ่ายไฟค่าความต้านทานไฟฟ้าจะไม่เพิ่มขึ้นเหมือนกับเซลล์แบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด นั่นคือ เมื่อจ่ายไฟฟ้าจนหมด แบตเตอรี่แบบนิเกิลแคดเมียมยังคงสภาพการจ่ายกระแสไฟฟ้าลัดวงจรค่าสูงมากได้

2.5.5 ความเสียหายและการเสื่อมสภาพของแบตเตอรี่

การบำรุงรักษาและกำหนดเงื่อนไขการทำงานของแบตเตอรี่อย่างเหมาะสม ทำให้ความเชื่อมั่นต่อการทำงานของแบตเตอรี่มีค่าสูงขึ้นและแบตเตอรี่สามารถทำงานอิสระได้ (กลไกการเสื่อมสภาพภายในจะพิจารณาเกี่ยวกับแบตเตอรี่แบบติดตั้งคงที่เท่านั้นโดยเกิดขึ้นในเซลล์ของแบตเตอรี่) แบตเตอรี่ถูกใช้งานแตกต่างกันพิจารณาความเสื่อมสภาพที่แตกต่างกัน เช่น ในอุตสาหกรรม โทรคมนาคมจะพิจารณาการเสื่อมสภาพของสวิตช์ในระบบรวมเข้ากับความเสียหายทางฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ทำให้ต้องหยุดจ่ายไฟแก่ระบบ การออกแบบระบบควรรวมค่าใช้จ่ายของการเสื่อมสภาพ และการซ่อมบำรุงเข้ากับเงินลงทุนของระบบ

การเสื่อมสภาพของระบบจ่ายไฟกระแสตรงอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อการใช้งานจริง หรือเกิดความเสียหายต่อระบบความปลอดภัย นอกจากนี้ความเสียหายของแบตเตอรี่ในสถานีไฟฟ้า ย่อยทำให้ระบบต้องหยุดจ่ายไฟกระแสสลับ นักออกแบบกระแสไฟฟ้ากระแสตรงควรกำหนดการทำงานและการบำรุงระบบก่อนที่จะทำการออกแบบการป้องกันระบบตัวแปรอื่นๆ ที่นำมาพิจารณา ออกแบบแบตเตอรี่เป็นเซลล์แบบหุติยภูมิทำหน้าที่เก็บสะสมพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงเป็นแบตเตอรี่ที่นิยมใช้ทั่วไป โดยทั่วไปมักนำแบตเตอรี่แบบตะกั่ว-กรด ที่ใช้ติดตั้งรถยนต์มาใช้กับระบบกักเก็บ เนื่องจากหาซื้อง่ายในท้องตลาด การต่อแบตเตอรี่เข้ากับกักเก็บจะต้องมีไดโอดปิดกั้นเพื่อป้องกันกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ไหลผ่านแผงเซลล์ในตอนกลางคืนเครื่องควบคุมการประจุไฟฟ้าเกิน และการจ่ายไฟฟ้าลิกของแบตเตอรี่และในบางเครื่องอาจมีการติดตามจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดประกอบอยู่ ระบบที่ต้องการไฟฟ้าสลับเครื่องผกผันกระแสไฟฟ้ามีสองแบบคือ แบบผลิตความถี่ไฟฟ้าได้ด้วยตนเอง และแบบใช้สัญญาณจากสายส่งควบคุมความถี่ของไฟฟ้า โดยทั่วไปพลังงานที่ได้จากกักเก็บอาจเก็บไว้ในอุปกรณ์การเก็บพลังงานในรูปแบบอื่น ระบบสูบน้ำด้วยกักเก็บลมทำการสูบน้ำไว้ในถังเก็บน้ำในที่สูง เพื่อเก็บสะสมพลังงานในรูปแบบพลังงานศักย์หรือระบบทำความเย็นเก็บสะสมพลังงานความเย็นในรูปแบบของ ถังน้ำแข็งการเก็บสะสมพลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์ในแบตเตอรี่เป็นการเก็บพลังงานในรูปแบบของไฟฟ้าเคมี (Electrochemical) ซึ่งพลังงานที่สะสมอยู่ในรูปแบตเตอรี่ คือ การต่อตรงระหว่างแผงเซลล์กับ แบตเตอรี่ (ขั้วบวกต่อเข้ากับขั้วบวกและขั้วลบต่อเข้ากับขั้วลบ) การใช้งานระบบกักเก็บลมแบตเตอรี่จะเป็นจุดอ่อนที่สำคัญของระบบเนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่มีอายุการใช้งานสั้นที่สุดที่ประกอบอยู่ในระบบ กักเก็บลม

1) แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ที่ประกอบด้วยเซลล์ไฟฟ้า (Electric Cell) หลายเซลล์ต่อกัน เพื่อให้สามารถจ่ายแรงดันไฟฟ้าได้คงที่และสามารถจ่ายไฟฟ้าและประจุไฟฟ้าได้

2) เซลล์สะสมไฟฟ้าของแบตเตอรี่ (Accumulator Cell) คือ ส่วนที่เก็บสะสมพลังงานไฟฟ้าซึ่งเป็นผลจากกระบวนการไฟฟ้าเคมี

3) เซลล์ปฐมภูมิ (Primary) เป็นเซลล์ไฟฟ้าที่ไม่สามารถประจุไฟฟ้าใหม่ได้ได้แก่ แบตเตอรี่ อัลคาไลต์ (Alkaline) ปัจจุบันมีขายอยู่ในท้องตลาดมักเรียกว่า ถ่านไฟฉายขนาดแรงดันไฟฟ้า 1.5 โวลต์

4) เซลล์ (Cell) เป็นหน่วยที่เล็กที่สุดของแบตเตอรี่ เซลล์อาจเป็นส่วนของแบตเตอรี่ที่ประจุไฟฟ้าใหม่ได้หรือเป็นไฟฟ้าแบบประจุไฟฟ้าใหม่ได้หรือแบบประจุไฟฟ้าใหม่ไม่ได้

2.5.6 สมรรถนะของแบตเตอรี่และคำจำกัดความ

การใช้งานแบตเตอรี่ต้องมีความเข้าใจเกี่ยวกับศัพท์ทางเทคนิคและความหมาย บอกให้ทราบคุณสมบัติของแบตเตอรี่นั้นๆ เพื่อประกอบการพิจารณาเลือกใช้งาน ดังนี้

2.5.6.1 ประสิทธิภาพ ค่าความจุ และการประจุไฟฟ้ามากเกินไป พลังงานในแบตเตอรี่สามารถวัดได้ในหน่วยวัตต์-ชั่วโมง หรือกิโลวัตต์-ชั่วโมง คำนวณหาประสิทธิภาพพลังงาน หรือ energy efficiency โดยใช้สมการที่ 2.19 ซึ่งแบตเตอรี่ทั่วไปมีค่าในช่วง 70-80%

$$\text{ประสิทธิภาพของพลังงาน(\%)} = \frac{\text{พลังงานที่คายประจุ (วัตต์-ชั่วโมง)} \times 100}{\text{พลังงานที่ต้องการใช้ในการอัดประจุจนเต็มพิกัด}}$$

ส่วนค่าความจุของแบตเตอรี่ (Capacity) สามารถวัดได้ในหน่วยของแอมป์-ชั่วโมง (Ah) และประสิทธิภาพของการอัดประจุ (charge efficiency) หรือเรียกว่า ประสิทธิภาพของแอมแปร์-ชั่วโมง (Ah-efficiency) คำนวณได้จากสมการที่ 2.20 แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด จะมีค่าประมาณ 95% แต่ในแบตเตอรี่แบบนิเกิล-แคดเมียม จะมีค่าน้อยกว่านี้โดยทั่วไปค่าประสิทธิภาพของพลังงานน้อยกว่าประสิทธิภาพของแอมแปร์-ชั่วโมง เนื่องจากการคายประจุของแบตเตอรี่ใช้แรงดันต่ำกว่าการอัดประจุ

$$\text{ประสิทธิภาพของแอมแปร์-ชั่วโมง (\%)} = \frac{\text{แอมแปร์-ชั่วโมงของการคายประจุ} \times 100}{\text{แอมแปร์-ชั่วโมงที่ต้องการใช้ในการอัดประจุจนเต็มพิกัด}}$$

2.20

แอมแปร์-ชั่วโมงที่ต้องการใช้ในการอัดประจุจนเต็มพิกัด

การอัดประจุหรือการอัดประจุเกิน ปฏิกริยาเคมีซึ่งเกิดขึ้นในแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด และแบตเตอรี่แบบนิเกิล-แคดเมียมนั้นจะเกิดก๊าซออกซิเจนและก๊าซไฮโดรเจนจากการแตกตัวของน้ำที่ขั้วลบ

2.5.6.2 อัตราการคายประจุ (Discharge rate) และอัตราการอัดประจุ (Charge rate) จะสัมพันธ์กับ Rated Capacity ในหน่วยของ Ah ที่อัตราการคายประจุจำเพาะค่าหนึ่งๆ อาทิ แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ความจุ 200Ah (อัตรา 10(10 hour rate) แสดงว่า แบตเตอรี่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้า 20 แอมแปร์ เป็นเวลา 10 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิคงที่ 25 องศาเซลเซียส เป็นต้น กระแสที่ใช้คำนวณนี้คำนวณโดยใช้สมการที่ 2.21 จากความจุของแบตเตอรี่ หารด้วยจำนวนชั่วโมง

$$C/\text{ชั่วโมง} = \text{กระแสที่จ่าย (แอมแปร์)} = \frac{\text{ค่าความจุ (แอมแปร์-ชั่วโมง)}}{\text{เวลา (ชั่วโมง)}} \quad 2.21$$

ตัวอย่างเช่น แบตเตอรี่ 200 Ah มีอัตราการคายประจุ C/10 จากสมการที่ 2.21 ค่ากระแสที่จ่ายหรืออัตราการคายประจุเท่ากับ 20 แอมแปร์ เป็นต้น

2.5.6.3 ความลึกของการคายประจุและการอัดประจุค่าดีโอดี (DOD, Depth of Discharge) เป็นสัดส่วนหรือ % ของความจุซึ่งถูกใช้งานจากการอัดประจุเต็มพิกัด ในทางส่วนกลับของค่า

ดีโอดี คือ ค่าเอสโอซี (SOC, State of Charge) เป็นสัดส่วนหรือ % ของความจุที่คงใช้งานได้ค่าดีโอดี หรือเอสโอซีจะใช้เพื่ออ้างอิงความจุปกติ (Nominal Capacity) ตารางที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์อย่างง่ายของค่าดีโอดีและค่าเอสโอซี

ตารางที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าดีโอดีกับค่าเอสโอซี

เอสโอวี (%SOC)	ดีโอดี (%DOD)
100	0
75	25
50	50
25	75
0	100

ที่มา: สุจิตต์ สอนองคุณ (2542)

อย่างไรก็ตามอาจพิจารณาคล้ายแก้วน้ำซึ่งมีน้ำอยู่ระดับหนึ่งซึ่งจะมีส่วนที่ว่างเปล่าหรือส่วนจะต้องเติมให้เต็ม ค่าดีโอดี และค่าเอสโอซี คือ ความสูงของส่วนที่ว่างเปล่าไม่มีน้ำในแก้วและความสูงของน้ำที่มีอยู่ในแก้ว ตามลำดับ ตัวอย่างเช่น ความจุอัตรา 10 ชั่วโมง (10 hour rate) การจ่าย

กระแสต่ำจะให้ค่าดีโอติ่มากกว่า 100% ซึ่งมีความหมายอย่างง่ายคือ แบตเตอรี่มีความจุในการใช้งานได้มากกว่า 100% เมื่ออัตราการคายประจุปกติ

2.5.6.4 อัตราการคายประจุด้วยตนเอง การคายประจุด้วยตนเองเป็นการสูญเสียประจุของแบตเตอรี่ ถ้าหากปล่อยทิ้งไว้ที่วงจรเปิดหรือไม่มีการจ่ายกระแสในระยะเวลาหนึ่ง เช่น แบตเตอรี่ปฐมภูมิที่ถูกวางบนชั้นจำหน่ายในร้านค้าเมื่อผ่านไปหลายๆปี จะพบว่าค่าความจุจะเหลืออยู่ไม่เท่ากับค่าความจุตั้งต้น แต่สำหรับแบตเตอรี่ทุติยภูมิ อัตราการคายประจุด้วยตนเองจะอ้างอิงเปอร์เซ็นต์ความจุที่หายไปต่อเดือนโดยตั้งต้นที่ค่าความจุเต็มพิกัด แต่ต้องคำนึงถึงอุณหภูมิของแบตเตอรี่ควบคู่ไปด้วยกัน ในหลายๆ กรณีค่าจะเป็นสองเท่าเมื่ออุณหภูมิแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นทุกๆ 10 องศาเซลเซียส

2.5.6.5 วงจรอายุ (Cycle Life) ความหมายของคำว่า ไซเคิล (Cycle) คือ การทำซ้ำๆ เพื่อการคายประจุและการอัดประจุหนึ่งครั้งตามด้วยการอัดประจุหนึ่งครั้ง ในวงจรอายุของแบตเตอรี่เป็นการวัดจำนวนไซเคิลของการคายประจุและค่าดีโอติ (DOD) รวมถึงสัดส่วนของค่าความจุก่อนที่จะลดลงไปต่อค่าความจุตั้งต้น (ปกติใช้ค่า 80%)

วงจรอายุขึ้นอยู่กับความลึกของแต่ละไซเคิล หากทดสอบโดยวัดที่ค่าดีโอติสูงและค่าดีโอติต่ำลง แล้วให้นำผลจำนวนไซเคิลคูณด้วยค่าดีโอติแล้วพบว่ามีค่าค่อนข้างคงที่แสดงว่ามีกรเปลี่ยนแปลงความจุมีค่าเช่นเดียวกับค่าดีโอติที่ลดลง

2.5.6.6 แบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด มีหลายประเภทขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีแผ่นธาตุและชนิดของสารอิเล็กโทรไลต์ โดยทั่วไปแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ที่ใช้สำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ได้แก่ แบตเตอรี่แบบมีแผ่นธาตุเป็นกริด (Grid plate) และมีสารอิเล็กโทรไลต์เป็นของเหลว แบตเตอรี่แบบเจล แบตเตอรี่แบบ Tubular plate และแบตเตอรี่แบบบล็อก (OGi block)

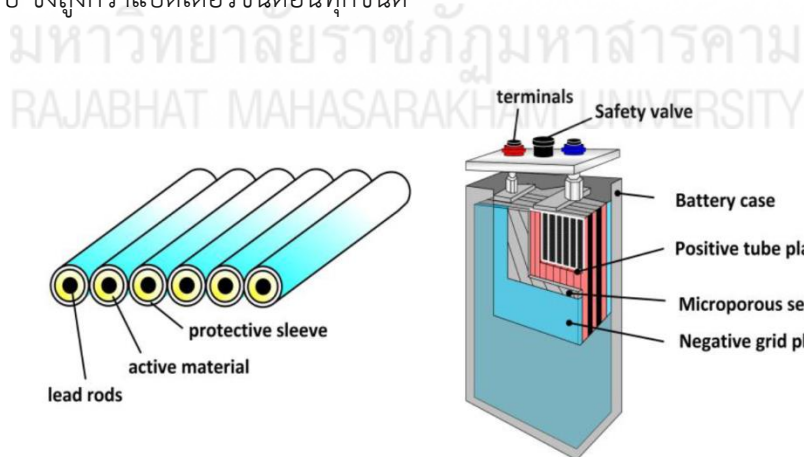
แบตเตอรี่แบบ Grid plate ที่มี Electrolyte เป็นของเหลว (Well cells) แบตเตอรี่ชนิดนี้นิยมใช้งานในรถยนต์ สำหรับการสตาร์ทเครื่องยนต์ซึ่งต้องการกระแสสูงในช่วงเริ่มสตาร์ท โดยการออกแบบให้มีแผ่นธาตุบางจำนวนหลายแผ่นเพื่อเพิ่มกระแสต่อแบตเตอรี่ชนิดนี้เหมาะสำหรับการใช้งานกับการคายและการอัดประจุที่มีกระแสสูงในช่วงสั้นๆ แต่ไม่เหมาะสำหรับลักษณะการทำงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งต้องการคายและอัดประจุที่กระแสไม่สูงนัก แต่รอบเวลาหลายชั่วโมง ดังนั้นจึงต้องมีการดัดแปลงแบตเตอรี่ชนิดนี้เพื่อให้สามารถใช้ได้ดีกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยการเพิ่มความหนาแน่นของแผ่นธาตุเพิ่มสารเคลือบแผ่น กริดและลดความเข้มข้นสารละลายกรด เพื่อป้องกันการกัดกร่อนและยืดอายุการใช้งาน จะพบว่าหากต้องการใช้แบตเตอรี่ที่ใช้งานได้ยาวนานเพียงพอ (400รอบ) ไม่ควรปล่อยให้เกิดการคายประจุมากกว่า 50% แบตเตอรี่ชนิดเจลอิเล็กโทรไลต์แบตเตอรี่ชนิดนี้ถูกทำให้เป็นเจล โดยการเพิ่มสารบางอย่างที่ช่วงในการจับตัว

ประโยชน์ของแบตเตอรี่ชนิดนี้มีดังนี้

- ไม่เกิดปัญหาการเกิดการแบ่งชั้นของกรด (acid stratification) ซึ่งช่วยลดการเกิดซัลเฟชันปลายอายุการใช้งาน
- ไม่มีก๊าซ และลดความเสี่ยงหรืออันตราย
- ไม่มีการรั่วไหลสามารถติดตั้งได้ทุกที่
- ไม่ต้องบำรุงรักษา เช่นไม่ต้องคอยเติมน้ำกลั่น

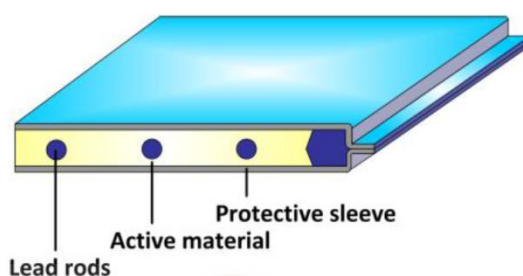
แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากแบตเตอรี่ชนิดนี้มีข้อบกพร่องคือเสียหายได้ง่ายหากมีการอัดประจุเกินพิกัดจำเป็นต้องการควบคุมแรงดันไฟฟ้าอย่างดี โดยไม่ให้เกินค่าที่ทำให้เกิดก๊าซ เนื่องจากไม่สามารถระบายก๊าซออกไปได้ และตรวจสอบสถานะการอัดประจุทำได้วิธีเดียว คือ การวัดแรงดันไฟฟ้า เจลแบตเตอรี่มีอายุการใช้งานยาวนานกว่าแบตเตอรี่ชนิดสารอิเล็กโทรไลต์เป็นของเหลว (wet cells) จะพบว่าที่การคายประจุ 50% จะมีอายุการใช้งานถึง 1000 รอบ แต่จะมีราคาแพงกว่าแบตเตอรี่ชนิดอิเล็กโทรไลต์ เป็นของเหลวประกอบของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรด ชนิดเจลแบตเตอรี่ชนิด Stationary tubular plate (Type Opzs and OPzV)

แบตเตอรี่ชนิดนี้เหมาะสำหรับการทำงานประมาณ 15 ถึง 20 ปี และระบบขนาดใหญ่ที่มีการทำงานตลอดทั้งปี แต่ละแบตเตอรี่จะมีน้ำหนักมากขนาดใหญ่และราคาสูงมากโดยที่ทั้งชนิดอิเล็กโทรไลต์เป็นของเหลว (OPzS) และชนิด (OPzV) ความแตกต่างจากแบตเตอรี่ชนิดอื่นที่การออกแบอิเล็กโทรดด้านขั้วบวก (Positive Electrode) เป็นแบบหลอดดั่งแสดงในรูปที่ 2.45 ซึ่งแข็งแรงทนทาน ทำให้มีอายุการใช้งานยาวนาน จะพบว่าที่การคายประจุ 50% จะมีอายุการใช้งานถึง 4500 รอบ ซึ่งสูงกว่าแบตเตอรี่ชนิดอื่นทุกชนิด



รูปที่ 2.44 ส่วนประกอบของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดชนิด Stationary tubular plate
ที่มา : กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2554)

แบตเตอรี่ชนิดบล็อก (OGi block) แบตเตอรี่ชนิดนี้มีอิเล็กโทรดด้านข้างบวกจะเป็นแผ่นแบนซึ่งเป็นการผสมกันระหว่างแผ่นกริด และแผ่นที่มีลักษณะเป็นท่อ (tubular plate) ดังแสดงในรูปที่ 2.46 เป็นส่วนประกอบของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดชนิดบล็อก ซึ่งสามารถอัดประจุได้กระแสไฟฟ้าที่ต่ำได้และมีประสิทธิภาพการอัดประจุสูงประมาณ 98 ถึง 98% และต้องการการบำรุงรักษาบ่อยเพียง 2-3 ปีต่อครั้ง แบตเตอรี่ชนิดนี้จะมีอายุการใช้งานยาวนาน จะพบว่าที่การคายประจุ 30% มีอายุการใช้งานถึง 3500 รอบซึ่งสูงกว่าแบตเตอรี่ชนิดอื่นยกเว้น แบบ Stationary tubular plate



รูปที่ 2.45 ส่วนประกอบของแบตเตอรี่ตะกั่ว-กรดชนิดบล็อก

ที่มา : กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2554)

2.5.7 พฤติกรรมและลักษณะการทำงานของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด

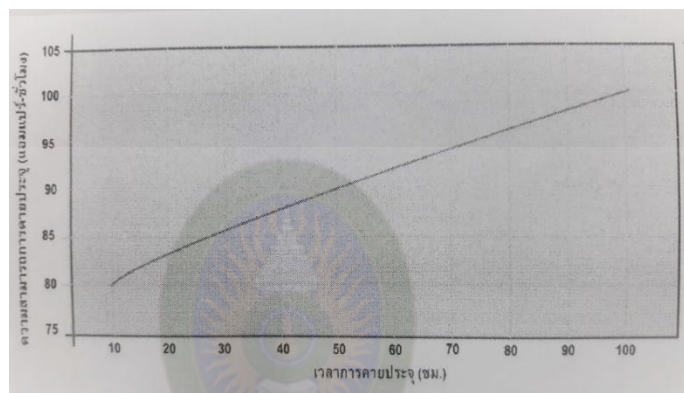
การใช้งานหรือเลือกใช้แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรดอย่างถูกต้องและเหมาะสมนั้น จำเป็นต้องเข้าใจพฤติกรรมและลักษณะการทำงานของแบตเตอรี่ชนิดนี้ก่อน โดยมีประเด็นหลักๆ ที่ควรพิจารณาทั้งหมด 6 ประเด็นได้แก่ 1) ความจุของแบตเตอรี่ 2) กระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่ 3) แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ 4) การคายและการอัดประจุ 5) สภาวะการอัดประจุ 6) ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่

2.5.7.1 ความจุของแบตเตอรี่ (Battery Capacity) คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่แบตเตอรี่สามารถจ่ายออกไปหรือคายประจุได้จนกระทั่งหยุดจ่ายพลังงานหรือหยุดคายประจุ โดยความจุปกติของแบตเตอรี่ (Nominal Capacity, C_n) มีค่าเท่ากับค่ากระแสไฟฟ้าคงที่ขณะคายประจุ (I_n) คูณด้วย เวลาทั้งหมดในการคายประจุทั้งหมด (t_n) ดังสมการที่ 2.22

$$C_n = I_n \times t_n$$

2.22

ค่าความจุของแบตเตอรี่จะไม่คงที่ โดยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ แรงดันไฟฟ้าขณะคายประจุจนหมดและกระแสไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าขณะคายประจุ ทั้งนี้หากกระแสไฟฟ้าขณะคายประจุมีค่าต่ำ จะทำให้กรดซัลฟิวริกค่อยๆ แยกตัวและไปจับกับแผ่นธาตุเกิดการสะสมเป็นชั้นตะกั่วซัลเฟตอย่างช้าๆ ซึ่งช่วยให้การแทรกซึมของกรดซัลฟิวริกทำได้ลึกกว่า แต่ในทางกลับกันหากกระแสไฟฟ้าขณะคายประจุมีค่าสูงจะทำให้เกิดการสะสมเป็นชั้นตะกั่วซัลเฟตอย่างรวดเร็ว และทำให้การแทรกซึมของกรดซัลฟิวริกทำได้ไม่ลึกพอ ดังนั้นในกรณีที่ต้องการกำลังไฟฟ้าของการคายประจุมากจึงต้องพยายามให้กระแสไฟฟ้าขณะคายประจุมีค่าต่ำและใช้เวลานานขึ้น ด้วยเหตุนี้ผู้ผลิตแบตเตอรี่จึงกำหนดค่าพิกัดความจุของแบตเตอรี่ภายใต้สภาวะใดสภาวะหนึ่ง เช่น ค่าความจุแบตเตอรี่ที่กระแสคายประจุค่าหนึ่ง หรือที่เวลาในการคายประจุค่าความสามารถในการคายประจุของแบตเตอรี่



รูปที่ 2.46 ความสามารถในการคายประจุกับเวลาในการคายประจุ

ที่มา : กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2554)

2.5.7.2 กระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่ จากหลักการเดียวกันกับความจุของกระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่ ค่ากระแสไฟฟ้าของกระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่จะขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการอัดหรือคายประจุ โดยค่ากระแสไฟฟ้าทั่วไปซึ่งกระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่สำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ มีดังต่อไปนี้

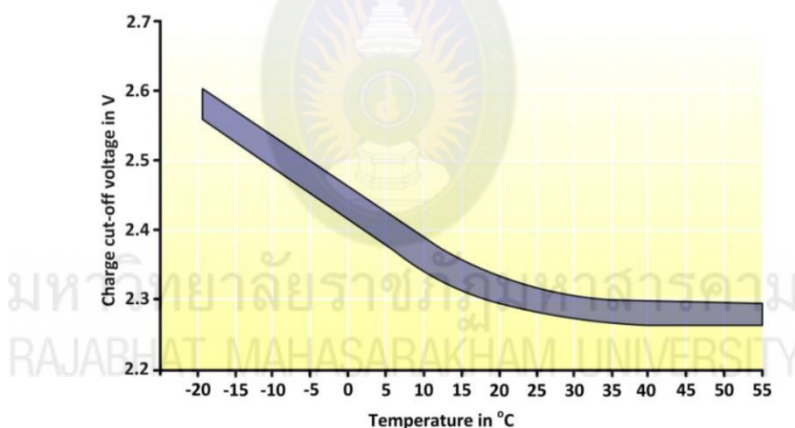
- กระแสไฟฟ้าสูงสุดขณะอัดประจุ (Maximum Charge Current) $I_{20} = C_{20}/20h$
- กระแสไฟฟ้าปานกลางขณะอัดประจุ (Medium Charge Current) $I_{50} = C_{50}/50h$
- กระแสไฟฟ้าปานกลางขณะคายประจุ (Medium Charge Current) $I_{120} = C_{120}/120h$

2.5.7.3 แรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ ค่าแรงดันไฟฟ้าทั่วไปของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด คือ ประมาณ 2 โวลต์ เซลล์ส่วนใหญ่จะมีทั้งหมด 6 เซลล์ โดยที่ต่อกันแบบอนุกรมอยู่ภายในกล่อง และแรงดันรวมประมาณ 16 โวลต์ ต่อแบตเตอรี่หนึ่งตัว ซึ่งค่าแรงดันที่แท้จริงจะเปลี่ยนแปลงเสมอขึ้นอยู่กับสภาวะการทำงาน และเพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้นกับแบตเตอรี่ จำเป็นต้องจำกัดค่าแรงดันไฟฟ้าใน 2 สภาวะต่อไปนี้ คือ จำกัดค่าแรงดันสูงสุดในสภาวะการอัดประจุ

และจำกัดค่าแรงดันต่ำสุดในสภาวะการคายประจุนอกจากนี้ยังจำกัดค่าแรงดันเพื่อป้องกันการเกิดก๊าซในสภาวะการอัดประจุอีกด้วย

ค่าแรงดันไฟฟ้าขณะไม่มีภาระทางไฟฟ้าหรือแรงดันวงจรเปิดของแบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด จะไม่สามารถวัดได้ทันที ภายหลังจากการอัดประจุหรือคายประจุ เนื่องจากกระบวนการทางเคมีและความร้อนยังไม่เข้าสู่สภาวะสมดุล ซึ่งค่าแรงดันวงจรเปิดนี้ขึ้นอยู่กับสภาวะการอัดประจุและชนิดของแบตเตอรี่โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 1.96-2.12 โวลต์ต่อเซลล์หรือแบตเตอรี่ตัวหนึ่งมีค่า 12-12.7 โวลต์

2.5.7.4 การอัดและการคายประจุ (Charging and Discharging) กระบวนการอัดประจุ ค่าแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงค่าหนึ่งที่จะเริ่มเกิดก๊าซ (Gassing voltage) นั่นคือ น้ำถูกแยกตัวออกเป็นออกซิเจนและไฮโดรเจน เรียกว่า oxy-hydrogen gas ซึ่งสามารถจุดติดไฟและระเบิดได้ง่าย ดังนั้นผู้ผลิตเครื่องควบคุมประจุแบตเตอรี่จึงควรจำกัดแรงดันไฟฟ้าตอนอัดประจุไม่เกิดค่าๆหนึ่ง เป็นแรงดันออกเมื่ออัดประจุหรือ charge cut-off voltage นอกจากนี้เนื่องจากค่าแรงดันที่เริ่มเกิดก๊าซขึ้นอยู่กับค่าอุณหภูมิของแบตเตอรี่ ดังนั้นเครื่องคุมการประจุแบตเตอรี่ควรต้องการมีวัดอุณหภูมิเพื่อนำมาคำนวณหาค่า charge cut-off voltage อย่างถูกต้อง ดังแสดงในรูปที่ 2.47



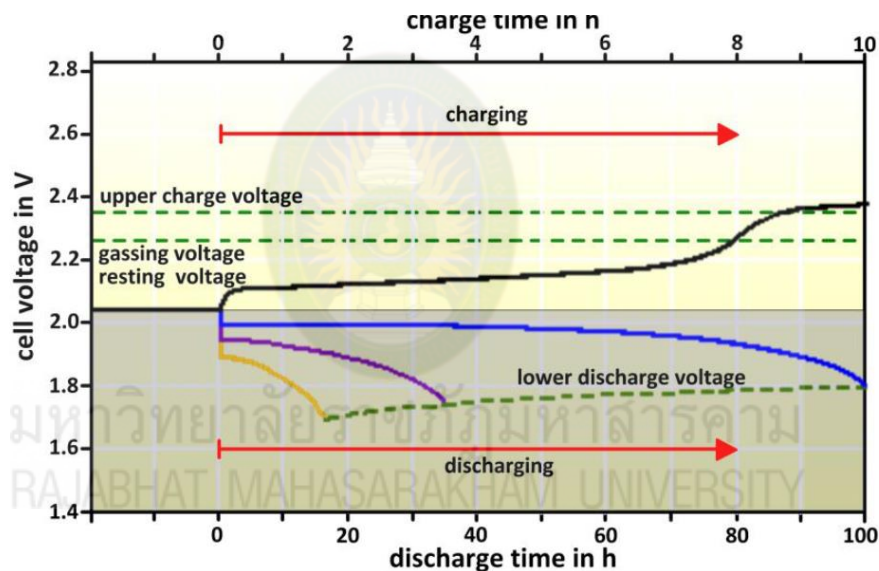
รูปที่ 2.47 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับ charge cut-off voltage

ที่มา : กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2554)

แบตเตอรี่สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์จะทำงานครบรอบ หรือไซเคิลในหนึ่งวัน คือ ช่วงกลางวันเป็นการอัดประจุและกลางคืนเป็นการคายประจุ โดยอาจคายประจุอยู่ระหว่าง 2 ถึง 20% ของความจุแบตเตอรี่ การทำงานของแบตเตอรี่จะขึ้นอยู่กับฤดูกาล เช่น ในฤดูหนาวหรือฤดูฝน แสงแดดมีน้อยทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตพลังงานได้น้อยจึงไม่เพียงพอสำหรับกระอัดประจุให้แก่แบตเตอรี่ให้เต็ม ส่งผลให้แบตเตอรี่ทำงานที่สภาวะการอัดประจุ (State of Charge, SOC) ที่ต่ำมาก อาจประมาณ 20% ของความจุแบตเตอรี่ ขณะในช่วงฤดูร้อน แสงแดดมีมาก แผงเซลล์ผลิตพลังงานได้มากเพียงพอสำหรับอัดประจุ ให้แก่แบตเตอรี่จนเต็มหรือเกือบเต็ม ซึ่งอาจส่งผลให้

แบตเตอรี่ทำงานที่สภาวะการอัดประจุที่สูงคือ อาจถึง 80 หรือ 100% ของค่าความจุของแบตเตอรี่ได้ แต่อาจทำให้เกิดปัญหาการอัดประจุเกินพิกัด ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหานี้ จึงจำเป็นต้องมีการกำหนดค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดของแบตเตอรี่ ซึ่งโดยทั่วไปกำหนดไว้ที่ 2.4 โวลต์ต่อเซลล์ โดยเครื่องควบคุมประจุแบตเตอรี่บางรุ่น อาจกำหนดค่าแรงดันสูงกว่านี้ในช่วงเวลาสั้นๆ เพื่อเหตุผลจำเป็นบางประการ เช่น เพื่อการอัดประจุแบบ Equalization หรือการอัดประจุแบบรวดเร็ว เป็นต้น

กระบวนการคายประจุ เมื่อเริ่มต้นแรงดันไฟฟ้าจะตกลงอย่างทันทีเนื่องจากแรงดันส่วนหนึ่งตกคร่อมบนตัวต้านทานภายในของแบตเตอรี่ เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร จากนั้นแรงดันไฟฟ้าจะค่อยๆ ลดลงอย่างต่อเนื่องและจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อใกล้สิ้นสุดกระบวนการหรือจนถึงค่าแรงดันปลดออก เมื่อคายประจุหรือ discharge cut-voltage หากปล่อยให้แรงดันไฟฟ้าลดลงต่อไปจนกระทั่งต่ำกว่าค่า discharge cut-voltage จะทำให้ความเข้มข้นของกรดจะมีค่าสูงมากจนเกิดเป็นผลึกซัลเฟต หรือ เรียกว่าเฟชัน ซึ่งควรหลีกเลี่ยงไม่เกิดสภาวะนี้



รูปที่ 2.48 ลักษณะแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ ในช่วงเวลาเกิดกระบวนการอัดและคายประจุ
ที่มา : กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2554)

ในรูปที่ 2.48 ลักษณะแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ ในช่วงเวลาเกิดกระบวนการอัดและคายประจุ ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ในกระบวนการอัดและคายประจรรวมทั้ง Discharge cut-voltage หรือ (Upper Charge Voltage), Discharge cut-out Voltage (หรือ Lower discharge voltage) และ gassing voltage

สภาวะการอัดประจุ (State of Charge, SOC) การทำงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระที่มีแบตเตอรี่จำเป็นต้องทราบจำนวนเวลาที่ระบบยังสามารถจ่ายไฟให้แก่ภาระทางไฟฟ้าได้ในเวลาที่ไม่มีแดดเพื่อประมาณการหรือเตรียมมาตรการรองรับหรือป้องกันการขาด

แคลนไฟฟ้า ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทราบเวลาที่เหลืออยู่ในแบตเตอรี่มากน้อยเพียงใด ซึ่งโดยทั่วไปมี 2 วิธีที่จะทำให้ทราบปริมาณที่เหลืออยู่ในแบตเตอรี่ (State of charge)

วิธีที่ 1 สำหรับ unsealed แบตเตอรี่ หรือแบตเตอรี่ที่มีอิเล็กโทรไลต์เป็นของเหลวสามารถทราบได้จากค่าความหนาแน่นของกรด (Acid density) ซึ่งวัดโดยไฮโดรมิเตอร์ (hydrometer) โดยแบตเตอรี่แต่ละชนิดจะมีค่าต่างกัน

วิธีที่ 2 สำหรับ Sealed แบตเตอรี่ หรือแบตเตอรี่ที่มีอิเล็กโทรไลต์ที่เป็นเจลซึ่งไม่สามารถวัดค่าความหนาแน่นของกรด (Acid density) ได้จึงต้องวัดระดับแรงดันไฟฟ้าแทน อย่างไรก็ตามจำเป็นต้องทราบระดับแรงดันวงจรเปิดขณะเริ่มต้น (Resting voltage) ก่อนทุกครั้งเพื่อใช้อ้างอิงเป็นค่าเริ่มต้นที่สภาวะการประจุเป็น 0% และต้องปล่อยแบตเตอรี่ไว้โดยไม่ต้องต่อวงจรไว้อย่างน้อย 4 ชั่วโมงก่อนทำการวัดแรงดัน

2.5.7.6 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ (Ageing Effect) แบตเตอรี่ชนิดตะกั่ว-กรด มีจุดบกพร่องเนื่องจากอายุการใช้งานค่อนข้างสั้น โดยที่การใช้งานระหว่าง 100 ถึง 800 จะมีอายุการใช้งานประมาณ 3 ถึง 8 ปี แต่ในขณะที่แบตเตอรี่แบบ Stationary จะมีอายุการใช้งานประมาณ 10 ถึง 15 ปี สิ่งที่ต้องคำนึงถึงเสมอแม้ว่าจะไม่มีการคายประจุใดๆ จากแบตเตอรี่ กระบวนการทางเคมีก็ยังคงเกิดขึ้นและเป็นให้เกิดการคายประจุภายในตัวแบตเตอรี่เอง ทั้งนี้ไม่ควรเกิดการคายประจุเกิน 30% ต่อเดือน จากกระบวนการทางเคมีที่เกิดขึ้นในแบตเตอรี่ประกอบด้วย การแบ่งชั้นของกรด (Acid stratification) การเกิดซัลเฟชัน (Sulfation) การกัดกร่อน (Corrosion) การเกิดเป็นตะกอน (Sludging) และการสูญเสียน้ำ (Drying out)

- การแบ่งชั้นของกรด หรือ (Acid stratification) เป็นปฏิกิริยาสามารถย้อนกลับ เนื่องจากการที่ กรดมีองค์ประกอบเป็นโลหะหนัก ซึ่งความหนาแน่นของกรดบริเวณด้านล่างของแบตเตอรี่จึงมากกว่าด้านบน ที่ให้เกิดค่าต่างศักย์ระยะกรดชั้นบนและชั้นล่าง เป็นเหตุให้เกิดการคายประจุบางส่วนอยู่ภายในตัวกล่องแบตเตอรี่ กระบวนการนี้เรียกว่า Acid stratification ในกรณีที่ทำให้เกิดก๊าซ ทั้งนี้ในแต่ละช่วงเวลาของการบำรุงรักษาจึงควรช่วยให้เกิดการผสมของกรดชั้นบนและชั้นล่าง และช่วยการคายประจุภายในแบตเตอรี่

- การเกิดซัลเฟชัน Sulfation เป็นปฏิกิริยาที่ไม่สามารถย้อนกลับได้ ในกรณีที่แบตเตอรี่ไม่ได้รับการอัดประจุอย่างเพียงพอหลังจากที่คายประจุแล้ว จะทำให้เกิดผลึกของตะกั่วซัลเฟตตกตะกอนสะสมอยู่ด้านล่าง ซึ่งไม่สามารถละลายกลับเข้าในสารอิเล็กโทรไลต์ได้อีก และการสูญเสียซัลเฟตนี้ทำให้ความสามารถในการอัดประจุครั้งต่อไปลดลง กระบวนการนี้เรียกว่า Sulfation

- การกัดกร่อน Corrosion เป็นปฏิกิริยาที่ไม่สามารถย้อนกลับได้ โดยที่กระบวนการกัดกร่อนจะเกิดขึ้นกับแผ่นธาตุกริดที่ขั้วบวกแบตเตอรี่ เมื่อแรงดันที่ขั้วบวกสูงเกินกว่าปกติจะทำให้ความต้านทานของแผ่นกริดเพิ่มขึ้น จนในที่สุดการกัดกร่อนเป็นบริเวณกว้างจะทำให้เกิดการลัดวงจรภายในระหว่างขั้วบวกกับอิเล็กโทรด

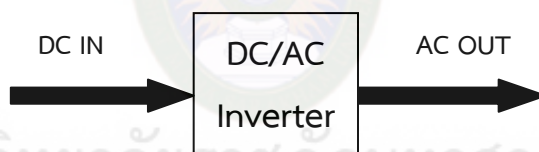
■ การเกิดเป็นตะกอน หรือ Sludgign เป็นปฏิกิริยาที่ไม่สามารถย้อนกลับได้ โดยที่ปริมาตรขององค์ประกอบทางเคมีที่มีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการอัดและการคายประจุจะทำให้ห้องค์ประกอบบางส่วนหายไปหากเกิดก๊าซขึ้นจะทำให้เกิดการ

สะสมเป็นตะกอนของตะกั่ว หรือตะกั่วซัลเฟตที่ด้านล่างแบตเตอรี่และเมื่อสะสมจนสูงมากพอจะทำให้เกิดการลัดวงจรภายใน

2.6 อินเวอร์เตอร์ (Inverter)

2.6.1 หลักการทำงานของอินเวอร์เตอร์

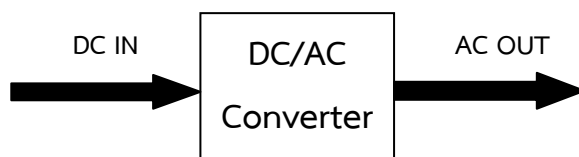
อินเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์ทางไฟฟ้าที่ใช้สำหรับเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรง เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ โดยไฟฟ้ากระแสตรงที่จะนำมาทำการเปลี่ยนนั้นมาจาก แบตเตอรี่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงหรือแผงโซลาร์เซลล์ได้ ไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้มานั้นจะเหมือนกับไฟฟ้า ตามผนังบ้านทุกอย่าง โดย Inverter ทำอุปกรณ์ต่างๆ เช่น มอเตอร์ พัดลม หรืออุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับสามารถใช้ได้กับกระแสตรง



รูปที่ 2.49 Inverter

ที่มา : <https://www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/power/apps/>

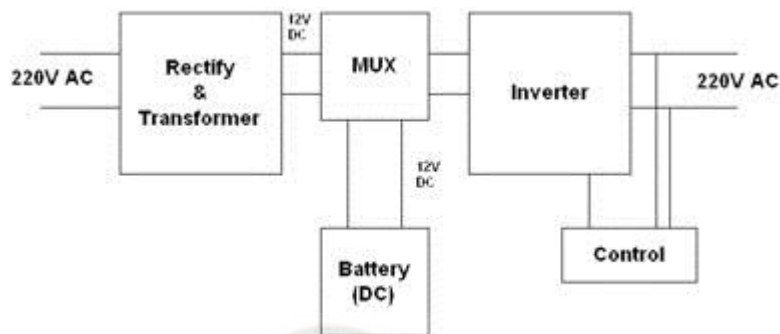
Convreter เป็นอุปกรณ์ทางไฟฟ้าที่ใช้สำหรับเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับ เป็นไฟฟ้ากระแสตรงโดยไฟฟ้ากระแสสลับที่จะนำมาทำการเปลี่ยนนั้น มาจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับทั่วไป



รูปที่ 2.50 Converter

ที่มา : <https://www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/power/apps/>

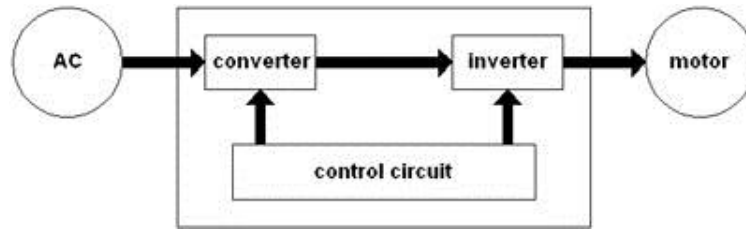
เนื่องจากปัจจุบันกระแสไฟฟ้าที่ใช้อยู่ไม่มีความแน่นอน และในอุปกรณ์ที่ใช้ในธุรกิจที่สำคัญๆ จึงต้องการการป้องกันจาก ความผิดปกติของกระแสไฟฟ้า ซึ่งทำให้เกิดความเสียหายต่อ งานนั้นๆ ได้ US (Uninterruptible Powre Supply) จึงเป็นอุปกรณ์ที่ออกแบบมาเพื่อแก้ปัญหา เหล่านี้ อย่างเช่น ไฟเกิน, ไฟตก, ไฟดับคลื่นรบกวนโดยจะทำงานร่วมกับแบตเตอรี่ที่จะจ่าย กระแสไฟฟ้าสำรองทันที ที่ไฟฟ้าเกิดดับซึ่งแบตเตอรี่นี้จะจ่ายไฟฟ้าที่เพียงพอที่จะทำให้เวลาในการ รักษาข้อมูลและรักษาระบบโดยมีหลักการทำงานดังรูป



รูปที่ 2.51 UPS

ที่มา : <https://www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/power/apps/>

จากรูป 2.51 กระแสไฟฟ้า 220 V AC จะจ่ายเข้าไปยังส่วน Rectify และ transformer ในส่วนนี้จะทำการเปลี่ยนแปลงจาก ไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง แล้วลดระดับ แรงดันไฟฟ้ามาให้เท่ากับแรงดันของแบตเตอรี่ โดยจะมี Multiplexer ซึ่ง ที่สภาวะปกติ MUX ตัวนี้ จะสวิตซ์ให้ไฟจาก Rectify ผ่านออกไปยัง อินเวอร์เตอร์ แต่ถ้ากระแสไฟดับ MUX จะทำ การ สวิตซ์มาใช้ไฟจากแบตเตอรี่โดยทันที ต่อจากนั้นไฟฟ้ากระแสตรงจะเข้าสู่อินเวอร์เตอร์โดย อินเวอร์เตอร์ก็จะเปลี่ยน ไฟกระแสตรงนั้นให้เป็นไฟกระแสสลับซึ่งปรับความถี่ได้โดยไฟกระแสสลับที่ ออกมาจากอินเวอร์เตอร์ก็จะป้อนสู่เครื่อง ไฟฟ้าทั่วไปโดยที่ไฟกระแสสลับที่ได้ออกมาจะถูกนำไป ป้อนกลับมาทำการเปรียบเทียบกับความถี่อ้างอิงค่าหนึ่งแล้วนำ ผลจากการเปรียบเทียบไปควบคุม การกำเนิดความถี่ของอินเวอร์เตอร์เพื่อให้ได้ไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความถี่คงที่และถูกต้อง ตามที่ เครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสสลับต้องการ



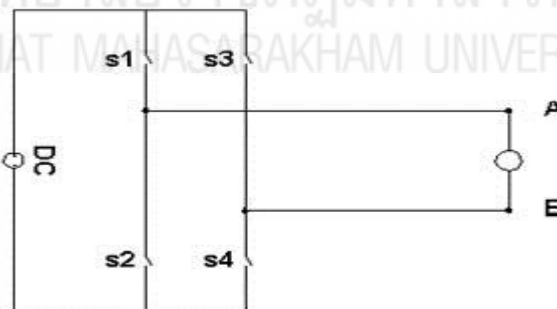
รูปที่ 2.52 หลักการทำงานของ Inverter

ที่มา : <https://www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/power/apps/>

มอเตอร์เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้า ที่ใช้ในการแปลงพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงาน โดยนำพลังงานที่ได้นี้ไปทำ การขับเคลื่อนเครื่องจักร อื่นๆ ต่อไปความเร็วของมอเตอร์ สามารถกำหนดได้ โดยแรงบิดของโหลด, จำนวนขั้วมอเตอร์, ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่ใช้กับมอเตอร์, แรงดันที่จ่ายให้กับมอเตอร์, ความเร็วของมอเตอร์สามารถหาได้จากสูตรต่อไปนี้

$$\text{ความเร็วรอบ } N = \{[120 * \text{ความถี่ } f (\text{Hz})] / \text{จำนวนขั้ว } P\} * (1-S)$$

โดยเทอม 1-S กำหนดโดยโหลด จากสูตรข้างต้นจะพบว่า ถ้าความถี่ของแหล่งจ่ายไฟ เปลี่ยนแปลงไปก็จะมีผลทำให้มอเตอร์ มีความเร็วเปลี่ยนแปลงได้ด้วย แต่เมื่อทำการเปลี่ยนความถี่ โดยให้แรงดันคงที่ จะมีผลทำให้เกิดฟลักซ์ แม่เหล็กเพิ่มมากขึ้นจนอิ่มตัว ซึ่งอาจทำให้มอเตอร์ ร้อนจนเกิดความเสียหายได้ ดังนั้นจึงต้องทำการเปลี่ยน แรงดันควบคู่ไปกับความถี่ด้วย และการที่จะเปลี่ยนแปลง ความถี่ของแหล่งจ่ายไฟ สามารถทำได้โดย การใช้อินเวอร์เตอร์ ซึ่งมีหลักในการทำงาน ดังรูป



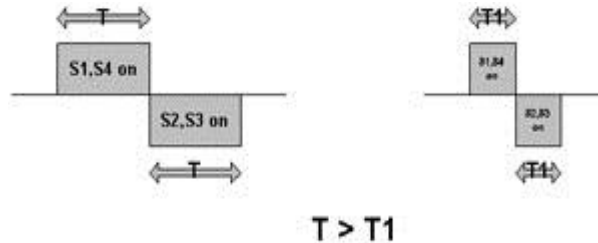
รูปที่ 2.53 แหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ จ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ

ที่มา : <https://www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/power/apps/>

จากรูปข้างต้น แหล่งจ่ายไฟกระแสสลับ จ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ ไปยังคอนเวอร์เตอร์ ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้า กระแสสลับให้เป็น ไฟฟ้ากระแสตรง แล้วนำไฟฟ้ากระแสตรง ที่ได้ต่อเป็น อินพุตเข้าไป ในวงจรอินเวอร์เตอร์ ซึ่งทำหน้าที่เปลี่ยนไฟฟ้ากระแส ตรงนี้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่สามารถเลือกความถี่ได้ เพื่อไปควบคุมมอเตอร์ ให้มีความเร็วตามต้องการได้หลักการทำงานของส่วน อินเวอร์เตอร์ และคอนเวอร์เตอร์ มีรายละเอียดดังนี้

2.6.2 ส่วนอินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์จะเปลี่ยนไฟฟ้า กระแสตรงเป็นกระแสสลับ โดยจะนำไฟฟ้ากระแสตรง ต่อเข้ากับสวิตช์ 4 ตัว และทำการเปิด-ปิด สวิตช์ทั้ง 4 เป็นจังหวะทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสสลับ ดังรูป 2.55



$$T > T1$$

รูปที่ 2.54 สวิตช์ 4 ตัว และทำการเปิด-ปิด สวิตช์ทั้ง 4

ที่มา : <https://www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/power/apps/>

จากรูปที่ 2.54 เมื่อปิดสวิตช์ S1 และ S4 ทำให้เกิดกระแสไหลในทิศทางจากจุด A ไปยังจุด B เมื่อปิดสวิตช์ S2 และ S3 ทำให้เกิดกระแสไหลในทิศทางจากจุด B ไปยังจุด A ดังนั้นถ้า เปิด-ปิดสวิตช์ S1 และ S4 สลับกับสวิตช์ S2 และ S3 จะทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสสลับขึ้นนั่นเอง โดยถ้า มีการควบคุมเวลา ในการเปิด-ปิดสวิตช์ ที่ต่างกัน ก็จะได้ไฟฟ้ากระแสสลับที่มีความถี่แตกต่างกันไป



รูปที่ 2.55 ความเป็นจริงแล้วอินเวอร์เตอร์จะใช้ทรานซิสเตอร์แทนสวิตช์

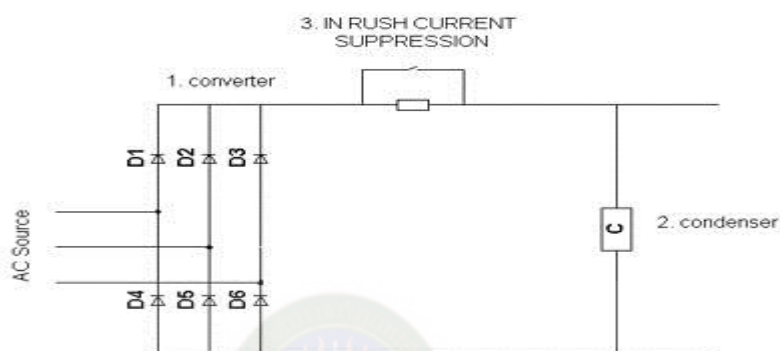
ที่มา : <https://www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/power/apps/>

ในความเป็นจริงแล้ว อินเวอร์เตอร์จะใช้ทรานซิสเตอร์แทนสวิตช์ เนื่องจาก ทรานซิสเตอร์สามารถ เปิด-ปิดได้ในความถี่ที่สูงกว่าสวิตช์ ดังรูป 2.56

2.6.3 ส่วนคอนเวอร์เตอร์

คอนเวอร์เตอร์จะเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง ประกอบไปด้วย

1. ส่วนของคอนเวอร์เตอร์ ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้าจากกระแสสลับเป็นไฟฟ้ากระแสตรง โดยกลุ่มของไดโอด
2. ส่วนของคอนเดนเซอร์ ทำหน้าที่กรองกระแส (ลด ripple) โดยใช้ตัวเก็บประจุ
3. วงจรจำกัดกระแสอินrush (IN RUSH CURRENT SUPPRESSION) ทำหน้าที่จำกัดกระแส ขณะที่มีการเปิดสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์เป็นครั้งแรก ดังรูป 2.56

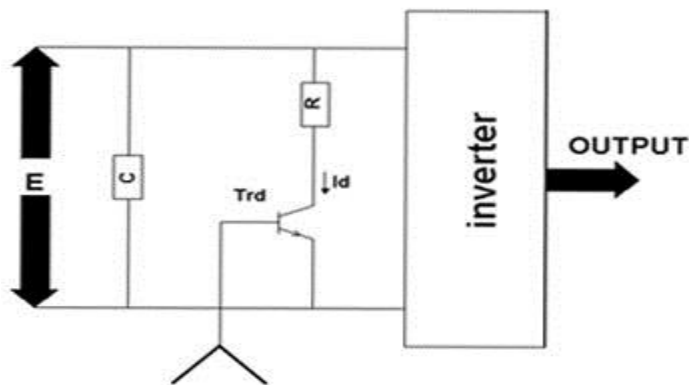


รูปที่ 2.56 การเปิดสวิตช์ของอินเวอร์เตอร์

ที่มา : <https://www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/power/apps/>

2.6.4 การควบคุมมอเตอร์

1. การสตาร์ท ทำได้โดยให้สัญญาณตั้งความถี่แก่อินเวอร์เตอร์ด้วยความถี่สตาร์ท มอเตอร์ก็จะผลิตแรงบิด จากนั้นอินเวอร์เตอร์จะค่อย ๆ เพิ่มความถี่ขึ้นไป จนกระทั่งแรงบิดของมอเตอร์สูงกว่าแรงบิดของ โหลด มอเตอร์จึงเริ่มหมุน
2. การเร่งความเร็วและการเดินเครื่องด้วยความเร็วคงที่ หลังจากสตาร์ทอินเวอร์เตอร์และมอเตอร์แล้ว ความถี่ขา ออกจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้น จนถึงความถี่ที่ต้องการ ช่วงเวลาในการเพิ่มความถี่นี้คือเวลาการเร่งความเร็ว และเมื่อความถี่ขาออกเท่ากับความถี่ที่ต้องการ การเร่งความเร็วก็จบ อินเวอร์เตอร์จะเข้าสู่การทำงานในช่วงเวลาการเดินเครื่อง ด้วยความเร็วคงที่
3. การลดความเร็ว ทำได้โดยตั้งความถี่ให้ต่ำกว่าความถี่ขาออก อินเวอร์เตอร์จะลดความถี่ลงมาเรื่อย ๆ ตามช่วง เวลาการลดความเร็วที่ได้ตั้งไว้ ในขณะที่ลดความถี่ ความเร็วรอบของมอเตอร์จะมีค่ามากกว่าความถี่ขาออกของอินเวอร์เตอร์ มอเตอร์จะทำงาน เหมือนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าผลิตไฟฟ้าจ่ายกลับไปให้อินเวอร์เตอร์ (Regeneration) ทำให้แรงดันไฟตรง (แรงดัน คร่อมคอนเดนเซอร์) มีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นภายในอินเวอร์เตอร์จะมีวงจรที่ทำหน้าที่รับพลังงานที่เกิดจากการ regeneration ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดการเบรคมอเตอร์ วงจรนี้เรียกว่า วงจรเบรคคืนพลังงาน ดังรูป 2.57



รูปที่ 2.57 วงจรเบรกคืนพลังงาน

ที่มา : <https://www.cpe.ku.ac.th/~yuen/204471/power/apps/>

พลังงานที่เกิดจากการ regeneration จะป้อนกลับมาชาร์จประจุที่คอนเดนเซอร์ C ทำให้แรงดัน E มีค่าสูงขึ้น ถ้าแรงดันสูงกว่าค่าที่กำหนด ทรานซิสเตอร์ T ในวงจรเบรกจะทำงาน ทำให้มีกระแส I ไหล ผ่านตัวต้านทานเบรก R ทำให้ตัวต้านทานร้อน เป็นการเผาผลาญพลังงานที่เกิดจากการ regeneration และพลังงานที่เก็บสะสมใน คอนเดนเซอร์ C ก็จะถูกคายออกมาด้วย ทำให้แรงดัน E มีค่าลดลง เมื่อลดลงต่ำกว่าค่าที่กำหนด ทรานซิสเตอร์ T จะหยุดทำงาน กระแสเบรคก็จะหยุดไหล

ในช่วงการลดความเร็วจะทำงานในลักษณะนี้หลาย ๆ ครั้ง ถ้าพลังงานมีค่าน้อย (แรงบิดที่จำเป็นสำหรับการลด ความเร็วมีขนาดเล็ก) อัตราการใช้งานวงจรเบรคก็จะต่ำ บางครั้งอาจจะไม่ทำงานเลยก็มี

อัตราการใช้งานวงจรเบรคนี้ ได้รับการออกแบบโดยการพิจารณาในแง่ของการระบายความร้อนไว้ที่ 2-3 % เท่านั้น ถ้ามีการใช้เบรคบ่อย หรือใช้เบรคนานเกินไป จะทำให้เกิดปัญหาการระบายความร้อนของตัวต้านทาน และอาจ ทำให้ทรานซิสเตอร์เสื่อมได้

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สาธิต สังข์ทอง และสิทธิชัย ดาวเรือง (2556) ศึกษาการสร้างคอมโพสิตนามพลังงานแสงอาทิตย์ โดยใช้ระบบโซลาร์เซลล์เป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้กับคอมโพสิตในสนาม โดยใช้โปรแกรม Homer เป็นตัววิเคราะห์ปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ แล้วนำมาเปรียบเทียบกับปริมาณรังสีแสงอาทิตย์จริง เพื่อหาทิศทางและองศาของแผงโซลาร์เซลล์ และความจุของแบตเตอรี่ จากผลการศึกษาพบว่า ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการประสิทธิภาพพิกัดสูงสุดของอินเวอร์เตอร์ 79 % และการควบคุมค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด 0.63 % ผลการทดสอบการใช้งานจริง ประสิทธิภาพสูงสุดของอินเวอร์เตอร์ 78 % และการคุมค่าแรงดันสูงสุด 1.68 % เมื่อนำค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์เท่ากับ 45 วัตต์ และค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดด้านนอกเท่ากับ 30 วัตต์ มาคำนวณหาประสิทธิภาพ ทำให้ทราบประสิทธิภาพสูงสุด 60 % แบบในตอนกล่าวถึงคอมโพสิตสนามสามารถทำงานได้ไม่ต่ำกว่า 5 ชั่วโมง

สุชาติ เขียวนอก (2556) ศึกษาชุดโคมไฟส่องสว่างถนนหลอด LED พลังงานแสงอาทิตย์ โดยทำการทดสอบระยะเวลาในการชาร์จเข้าแบตเตอรี่ในแต่ละวัน ซึ่งพบว่าในสภาวะที่ท้องฟ้ามีเมฆ บดบังจะได้ค่าเฉลี่ยรวม 6 ชั่วโมง 12 นาที และในสภาวะไม่มีเมฆบดบังได้ค่าเฉลี่ยรวม 4 ชั่วโมง 43 วินาที ทดสอบระยะเวลาในการทำงานของหลอดLED ในช่วงเวลากลางวัน มีเวลาเฉลี่ย 6 ชั่วโมง 9 นาทีที่มีค่าความส่องสว่างที่ 120 ลักซ์ ที่ระยะสูง 3 เมตร

บรรจบ สุขประภาภรณ์ (2551) ได้ทำการวิจัย พลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์และออกแบบระบบโซลาร์เซลล์การใช้พลังงานแสงอาทิตย์โดยการใช้แผงโซลาร์เซลล์ หากมีการนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานหลัก จะมีข้อจำกัดทางด้านพลังงานที่ได้รับอาจไม่คงที่ หรือมีความเสถียรต่ำ การรับแสงอาทิตย์จะไม่คงที่แน่นอน ในวันที่มีฝนตก เมฆหมอกมาก ซึ่งทำให้ได้พลังงานน้อยกว่าปกติ นอกจากนี้การรับแสงอาทิตย์ก็รับได้เพียงตอนกลางวันเท่านั้น หากต้องการความเสถียรของระบบก็จะต้องต่อเชื่อมกับระบบอื่นๆ เป็นระบบไฮบริดจ์ (Hybride System) โดยใช้เป็นผลิตพลังงานร่วมกับระบบอื่นๆ เช่นพลังงานน้ำ พลังงานลม เป็นต้น ในส่วนต้นทุนการผลิตของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ถึงแม้ว่าพลังงานที่ได้รับจะเป็นพลังงานที่ได้จากดวงอาทิตย์ แต่ก็มีปัจจัยที่เข้ามาเกี่ยวข้อง ได้แก่ การลงทุนด้าน อุปกรณ์เซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งมีราคาแพง ถึงกว่าวัตต์ละ 150 บาท อุปกรณ์การติดตั้งต่างๆ รวมทั้งอุปกรณ์ควบคุม ระบบการทำงานชาร์จคอนโทรล และอินเวอร์เตอร์ต่างๆ นอกจากนี้อุปกรณ์ที่สำคัญได้แก่ แบตเตอรี่ ซึ่งอุปกรณ์ทุกชนิดดังที่กล่าวแล้ว ล้วนมีอายุการใช้งาน ที่ต้องมีการซ่อมบำรุงรักษาทั้งสิ้น จึงเป็นค่าใช้จ่ายที่ต้องนำมาคำนวณเป็นต้นทุนของระบบ

ประสพ ให้อ่องคำ และสุดาพร อารามรุณ (2552) ทำการวิจัยเรื่อง เครื่องอัดประจุแบตเตอรี่โดยใช้พลังงานไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นการนำแสงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งมีขนาดแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ได้จากแสงอาทิตย์มีค่าเท่ากับ 12 Vdc ส่งผ่านไปยังวงจร Boost Converter เพื่อทำให้ค่าเท่ากับ 24 Vdc จากนั้นส่งผ่านไปยังแบตเตอรี่เพื่อนำไปอัดประจุ จะเหลือแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อมแบตเตอรี่ค่าประมาณ 12.6 Vdc – 3.3 Vdc เพื่อส่งแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงนี้ไปเป็น Input ให้กับโหลดชนิดต่างๆ ซึ่งระยะเวลาและความยาวนานที่โหลดใช้พลังงานจากแบตเตอรี่นั้นจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ

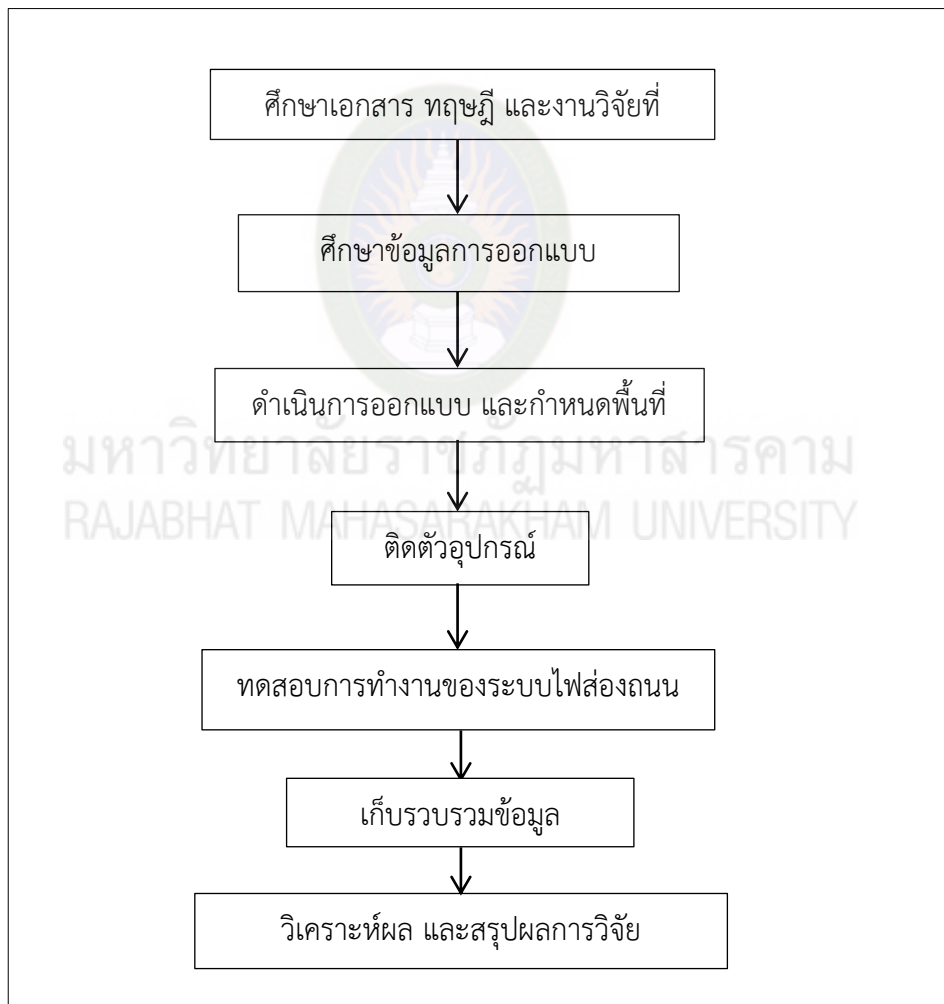
พุทธพร เศวตสกุลานนท์ และจักรวรรุ เดชวิเศษ (2550) ทำวิจัยเรื่อง โคมไฟถนนอัตโนมัติพลังงานแสงอาทิตย์โคมไฟอัตโนมัติพลังงานแสงอาทิตย์ที่ออกแบบสร้างจะเห็นว่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากแผงโซลาร์เซลล์ขึ้นอยู่กับค่าความเข้มแสง ดังนั้น ขนาดของแผงโซลาร์เซลล์จะต้องมีขนาดที่เหมาะสมกับพิกัดโคมไฟถนนซึ่งโคมไฟถนนที่ออกแบบสร้างโดยใช้หลอด LED จะมีความเหมาะสมที่จะพัฒนาใช้แทนโคมไฟถนนที่ใช้ในปัจจุบัน เนื่องจากไม่เกิดความร้อนเมื่อเปิดใช้เป็นเวลานานๆ ทำให้มีอายุใช้งานที่ยาวนานกว่ารวมทั้ง สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าของประเทศได้และสามารถนำไปติดตั้งใช้งานในบริเวณที่ไม่มีไฟฟ้าถึง สำหรับการพัฒนางานวิจัยชิ้นนี้จะพัฒนาในส่วนของระบบควบคุมความสว่างของโคมไฟถนน

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาและพัฒนาพลังงานทดแทน เป็นการศึกษาวิจัยเพื่อศึกษาต้นแบบของไฟส่องสว่างถนนที่ใช้พลังงานทดแทนจากพลังงานแสงอาทิตย์ ที่ใช้งานได้ตามถนนภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม และทำการศึกษาการผลิตกระแสไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ เพื่อใช้ในระบบไฟถนนสำหรับส่องสว่างโดยแสดงขั้นตอนการดำเนินการวิจัยดังนี้

3.1 ขั้นตอนดำเนินการศึกษาวิจัย

ในการดำเนินการวิจัยสามารถเขียนแผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.2 การออกแบบหาขนาดอุปกรณ์

3.2.1 การคำนวณหาขนาดแบตเตอรี่

$$\text{ขนาดของแบตเตอรี่} = \text{กระแสของโหลดตลอดแอลอีดีทั้งหมด} \times \text{ชั่วโมงการใช้งาน} \quad 3.1$$

3.2.2 การคำนวณหาขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

$$P_{in} = \frac{\text{จำนวนวัตต์ของโหลด}}{\text{ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์}} \quad 3.2$$

$$\text{ขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์} = \frac{P_{in} \times \text{ชั่วโมงการใช้งาน}}{\text{จำนวนชั่วโมงในการชาร์จ}} \quad 3.3$$

3.2.3 การคำนวณหาค่าความต้านทานที่ Convertor

$$\text{จากสูตร } R = \frac{E}{I}$$

เมื่อ E = ค่าแรงดันมีหน่วยเป็นโวลต์ (V.)

R = ความต้านทาน มีหน่วยเป็นโอห์ม (Ohm.)

I = กระแสไฟฟ้ามีหน่วยเป็นแอมป์แปร์ (A.)

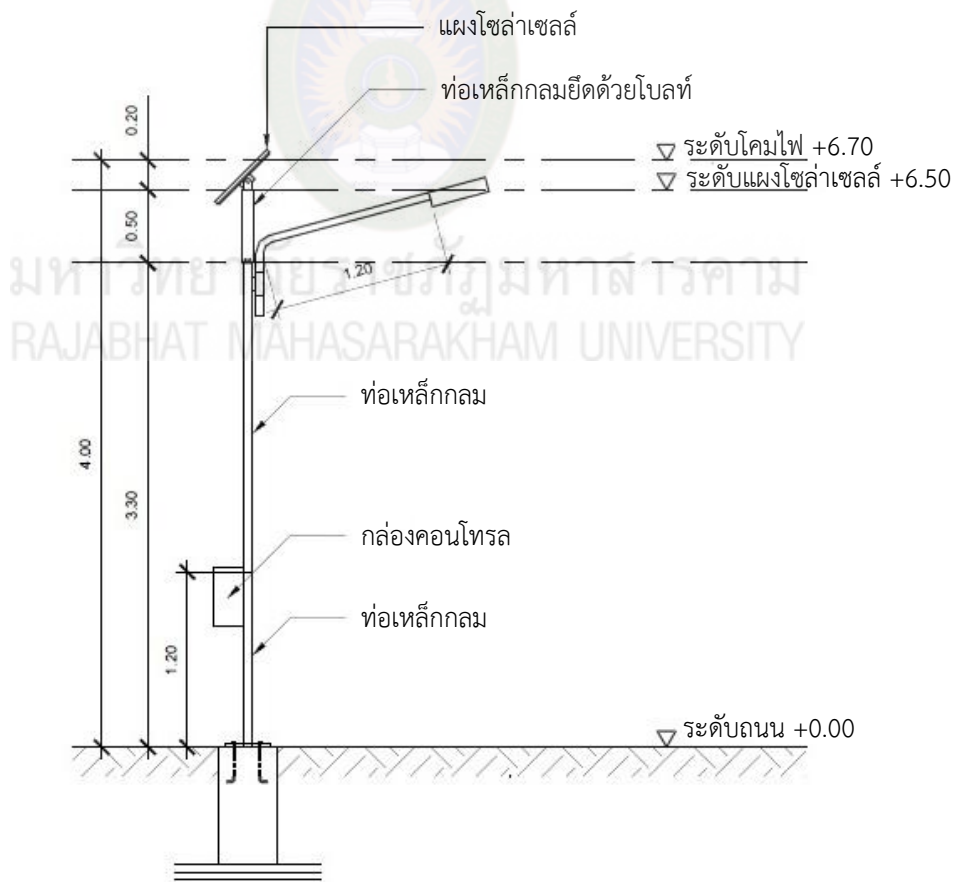
3.2.4 การคำนวณหาประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์

$$\text{จากสูตร} \quad \eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

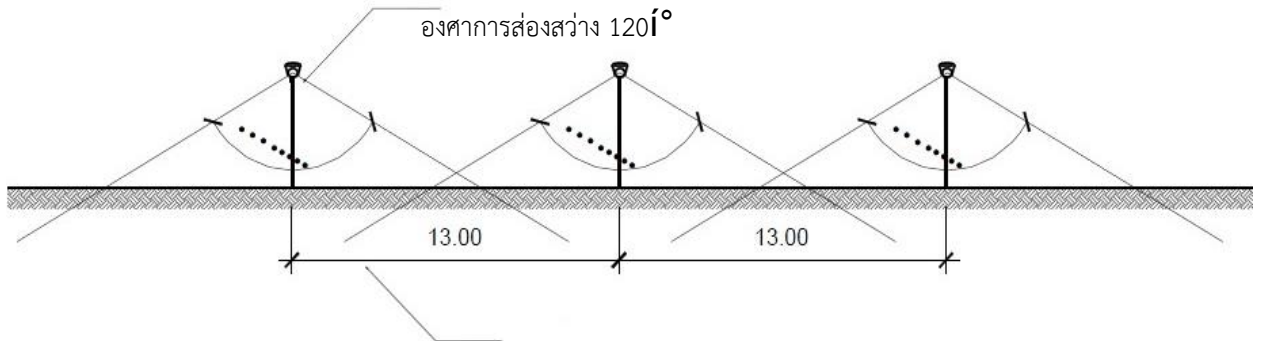
3.3 การออกแบบและการดำเนินการสร้างระบบต้นแบบของชุดโคมไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์

การออกแบบชุดโครงสร้างไฟส่องสว่างถนนพลังงานแสงอาทิตย์แสดงดังภาพที่ 3.2 ประกอบด้วยเสาไฟทำจากท่อเหล็กกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว ความสูง 6 เมตร ใช้โคมไฟ LED แบบหลังเต่า ขนาด 30 วัตต์ ความยาวโคม 120 มิลลิเมตร ค่าความสว่าง 5,000 ลูเมน มีองศาการส่องสว่าง 120 องศา ติดตั้งเสาไฟแต่ละต้นห่างกัน 13 เมตร ดังภาพที่ 3.3 และ 3.4 ส่วนแผงโซลาร์เซลล์ และกล่องคอนโทรลจะมีขนาด 35x45x20 เซนติเมตร การควบคุมแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่ทำงานตอนกลางวันและส่วนที่ทำงานตอนกลางคืน ส่วนที่ทำงานตอนกลางวันจะประกอบด้วยจากแผงโซลาร์เซลล์ทำการอัดประจุกระแสไฟฟ้าให้แก่แบตเตอรี่ ส่วนที่สองทำงานตอนกลางคืน คือการนำเอาไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่ที่ทำการอัดประจุในตอนกลางวันไปใช้งาน โดยจะจ่ายไฟฟ้าให้กับชุดโคมไฟ ใช้แบตเตอรี่สำหรับเก็บกระแสไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์ไปที่ 45 Ah จะทำให้มีกำลังที่ใช้ได้ คือ 540 W/day ซึ่งจะเพียงพอสำหรับการจ่ายโหลดที่เป็น หลอด LED ตลอด 12 ชั่วโมง

3.3.1 โครงสร้างของชุดโครงสร้างไฟส่องสว่างถนนพลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 3.2 โครงสร้างของชุดโครงสร้างไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 3.3 แสดงระยะห่างการวางแนวต้นเสา



รูปที่ 3.4 แบบโคมไฟ LED หลังเต่า 30 วัตต์ (a) แผงโซลาร์เซลล์ (b)

3.3.2 การติดตั้งเสาส่องไฟสว่างถนนภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

ได้ทำการติดตั้งชุดโคมไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม จำนวน 60 ต้น (โซนA-F) โดยติดตั้งบริเวณต่างๆ ดังนี้

- หมายเลข 1 บริเวณข้างอาคารเฉลิมพระเกียรติ 72 พรรษา จำนวน 7 ต้น
- หมายเลข 2 บริเวณองค์พระเจ้าศรีโสภณสถตนาคสิริราชภัฏมหาสารคาม จำนวน 2 ต้น
- หมายเลข 3 บริเวณถนนหน้าองค์พระเจ้าศรีโสภณสถตนาคสิริราชภัฏมหาสารคาม จำนวน 4 ต้น
- หมายเลข 4 บริเวณถนนหน้าสำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ จำนวน 3 ต้น
- หมายเลข 5 บริเวณถนนหน้าอาคาร 4 จำนวน 4 ต้น
- หมายเลข 6 บริเวณถนนข้างอาคาร 5 จำนวน 2 ต้น
- หมายเลข 7 บริเวณถนนหน้าพระวรุณ จำนวน 3 ต้น
- หมายเลข 8 บริเวณรอบอาคารหอประชุมเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา จำนวน 27 ต้น
- หมายเลข 9 ถนนข้างสนาม 2 จำนวน 4 ต้น
- หมายเลข 10 ถนนหลังศูนย์ภาษา จำนวน 4 ต้น

รายละเอียดดังรูปที่3.5



รูปที่ 3.5 แผนผังรวมในการติดตั้งชุดโคมไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม จำนวน 60 ต้น

3.3.3 การออกแบบระบบควบคุมการเปิด-ปิดไฟ

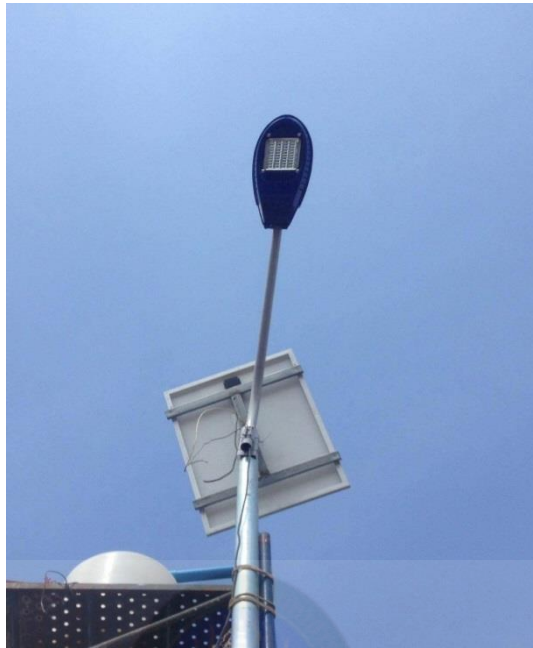
การออกแบบชุดควบคุมการเปิดปิดไฟจะใช้สวิทช์ควบคุมเป็นหลัก โดยที่สวิทช์ควบคุมในการที่ให้แสงจากหลอดไฟถนนทำงานจะใช้เป็นระบบ Auto หรือการควบคุมอัตโนมัติ เช่นเมื่อแสงสว่างน้อยระบบจะทำการเปิดไฟอัตโนมัติ และเมื่อมีแสงสว่างภายนอกจะทำการตัดระบบการจ่ายไฟไปยังโหลดที่เป็นหลอดไฟถนน นอกจากนี้ยังสามารถที่จะควบคุมการเปิด-ปิดด้วยมือได้อีกด้วย

3.4 การทดสอบการทำงานของระบบไฟถนนพลังงานแสงอาทิตย์

การทดสอบการทำงานของเสาไฟถนนนั้นต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์ตามที่ได้ออกแบบไว้ตั้งแต่ระบบรากฐานของเสาไฟถนน การติดตั้งแผงโซล่าเซลล์ และการติดตั้งระบบควบคุมการเปิด-ปิดไฟถนน ซึ่งทำการติดตั้งดังรูปต่อไปนี้



รูปที่ 3.6 ติดตั้งต้นเสาไฟฟ้า



รูปที่ 3.7 ติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์และโคมไฟLED

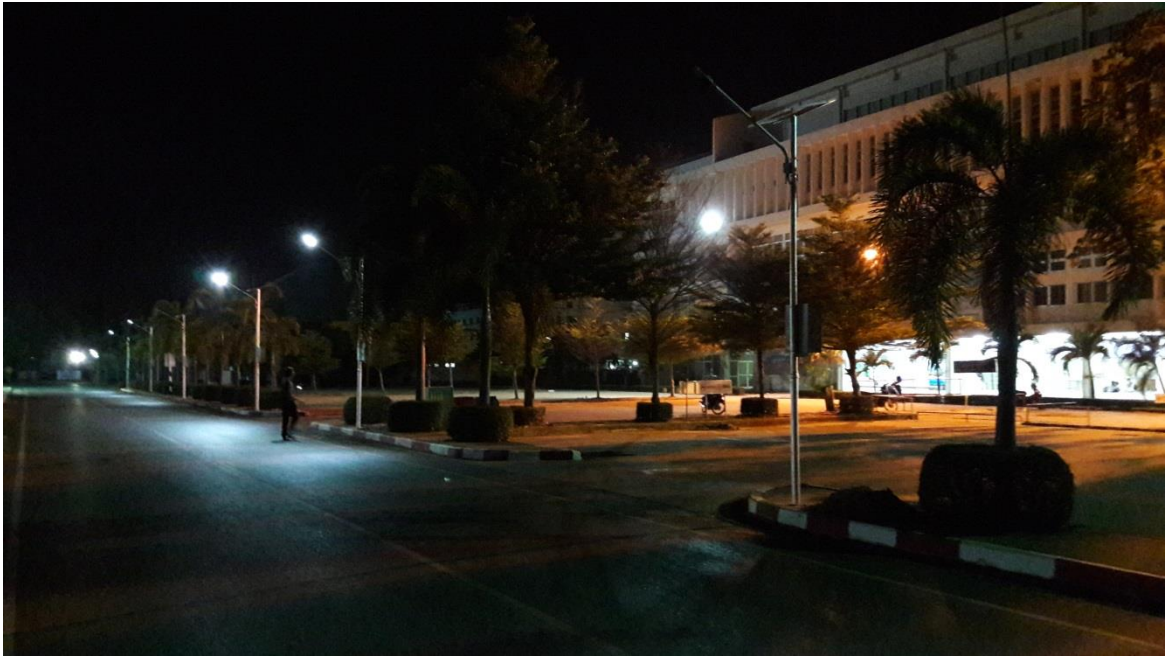


รูปที่ 3.8 ติดตั้งระบบกล่องคอนโทรล

เมื่อทำการติดตั้งระบบเสาไฟถนนเสร็จสิ้นแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะอยู่ในส่วนของการทดสอบการทำงานของเสาไฟถนนว่าสามารถที่จะใช้งานได้หรือไม่ โดยการทดสอบจะทดสอบในช่วงเวลากลางคืน เพื่อที่จะทราบถึงความสว่างของหลอดไฟถนนว่ามีความสว่างมากน้อยเพียงใด จากรูปที่ 3.9 เป็นการทดสอบการทำงานจากระบบไฟถนนในเวลากลางคืนจะสังเกตได้ว่าไฟถนนจากพลังงานทดแทนสามารถที่จะใช้งานเป็นไฟส่องสว่างได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 3.9 ทดสอบการทำงานจากระบบไฟถนน



รูปที่ 3.10 เปรียบเทียบแสงสว่างจุดที่เปิดและปิดหลอดไฟ

3.5 การรวบรวมข้อมูล

การที่จะเก็บข้อมูลต่างๆที่ได้มานั้นจำเป็นต้องมีแผนงานสำหรับเก็บข้อมูลต่างๆ ซึ่งแผนสำหรับการเก็บข้อมูลจะใช้ระยะเวลาในการเก็บข้อมูลตั้งแต่ เดือนสิงหาคม - เดือนตุลาคม โดยจะเก็บผลแรงดันไฟฟ้าใน ส่วนการทำงานของโหลดที่เป็นหลอดไฟถนนและโซล่าเซลล์ โดยขั้นตอนในการเก็บข้อมูลส่วนใหญ่จะใช้ เครื่องมือวัดที่สามารถบันทึกค่าได้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

การวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทน เพื่อศึกษาระบบต้นแบบของไฟส่องสว่างถนนที่ใช้พลังงานทดแทนจากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยการออกแบบเสาไฟส่องถนนที่ทำจากท่อเหล็ก กลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว ความสูง 6 เมตร ใช้โคมไฟ LED แบบหลังเต่า ขนาด 30 วัตต์ ความยาวของโคม 120 มิลลิเมตร ค่าความกว้าง 5,000 ลูเมน มีองศาการส่องสว่างอยู่ที่ 120 องศา ติดตั้งเสาไฟแต่ละต้นห่างกัน 13 เมตร ผลการศึกษา มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 การทดสอบวงจร และอุปกรณ์

เมื่อใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 80 W เพื่อเก็บประจุจนเต็มให้กับแบตเตอรี่ ขนาด 12 Volt 45 Ah เพื่อนำแรงดันที่ได้จ่ายให้กับโคมไฟขนาด 30 W 200 VAC ได้ผลของการชาร์ตการอัดประจุของแรงดัน ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และผลของการจ่ายโหลด ให้กับโคมไฟส่องสว่างถนนในเวลา 13.00 น. ตั้งแต่ เดือนสิงหาคม – เดือนตุลาคม 2560 จำนวน 3 ครั้ง แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4.1



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองอัตราประจุโซล่าเซลล์แสงอาทิตย์ โชนA (เวลา 13:00 น)

หลอดไฟที่	แรงดันไฟฟ้าที่แผงโซล่าเซลล์(V)				กระแสไฟฟ้าซาร์จเข้าสู่แบตเตอรี่ (amp)				อุณหภูมิ (° C)				ความต้านทาน (ohm)			
	ครั้งที่				ครั้งที่				ครั้งที่				ครั้งที่			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
A01	11.77	11.85	12.38	12±0.27	3.68	3.31	3.08	3.35±0.24	31	33.5	31.5	32±1.08	14.8	11.2	14.7	13.56±1.67
A02	13.17	12.57	15.51	13.75±1.26	4.88	4.84	4.46	4.72±0.18	40	36.7	35.7	37.46±1.83	28.3	28	24.3	26.86±1.81
A03	12.71	12.28	12.71	12.56±0.20	4.82	4.36	4.12	4.43±0.29	32	36.6	32.8	33.8±2.00	20.8	20.0	23.3	21.36±1.40
A04	13.61	12.41	12.79	12.93±0.50	4.61	4.66	4.74	4.67±0.05	31	39.1	36.1	35.4±3.34	28.14	23.4	26.4	25.98±1.95
A05	12.44	12.2	12.76	12.46±0.22	4.3	5.09	4.43	4.60±0.34	31	33.9	35.4	33.43±1.48	26.3	25.6	25.4	25.76±0.38
A06	13.21	12.4	12.83	12.81±0.33	4.4	4.21	4.12	4.24±0.11	32	35.2	33.9	33.7±1.31	22.5	23.9	21.8	22.73±0.87
A07	13.06	12.39	12.81	12.75±0.27	4.06	4.43	4.12	4.20±0.16	32	34.4	32.9	33.1±0.98	24	26.4	24.6	25±1.01
A08	12.62	12.14	12.69	12.48±0.24	4.43	4.06	4.12	4.20±0.16	31	32.5	33.3	32.26±0.95	23.6	20.05	22.4	22.01±1.47

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางที่ 4.1(ต่อ)

หลอดไฟที่	แรงดันไฟฟ้าที่แผงโซลาร์เซลล์(V)				กระแสไฟฟ้าขาร์จเข้าสู่แบตเตอรี่ (amp)				อุณหภูมิ (° C)				ความต้านทาน (ohm)			
	ครั้งที่				ครั้งที่				ครั้งที่				ครั้งที่			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
B01	13.36	12.78	13.75	13.29±0.39	2.37	4.28	2.05	2.9±0.98	32	35.2	33.1	33.43±1.32	13.04	24.3	17.6	18.31±4.63
B02	14.14	12.82	13.73	13.56±0.55	2.33	4.26	2.72	3.10±0.83	32	32.5	32.5	32.33±0.23	24.05	25.1	19.21	26.12±6.65
B03	13.59	12.27	13.71	13.19±0.65	2.78	3.99	2.75	3.17±0.57	31	32.2	33.6	32.26±1.06	27.02	27.9	16.03	23.65±5.40
B04	13.41	12.23	13.36	13±0.54	2.39	3.81	2.62	2.94±0.62	31	33.1	33.6	32.56±1.12	13.08	22.3	14.06	16.48±4.13
B05	12.44	11.62	12.17	12.07±0.34	2.06	4.67	2.15	2.96±1.20	31	30.7	33.6	31.76±1.30	19.02	20.7	15.07	18.26±2.35
B06	13.95	12.67	13.64	13.42±0.51	2.06	4.02	2.16	2.74±0.90	32	31.8	32.9	32.23±0.47	29.01	28.9	15.08	24.33±6.54
B07	15.96	12.77	13.52	14.08±1.36	2.94	4.8	2.54	3.42±0.98	31	31.6	31.1	31.23±0.26	29.09	25.1	20.08	24.75±3.68
B08	14.66	13.02	13.67	13.78±0.67	2.85	4.91	2.22	3.32±1.14	32	31.6	32.3	31.96±0.28	19.4	29.9	19.09	22.79±5.02
B09	14.30	13.13	13.68	13.70±0.47	2.39	4.42	2.43	3.08±0.94	31	31	34.6	32.2±1.69	18.3	25.6	19.7	21.2±3.16
B10	13.66	12.58	13.37	13.20±0.45	2.82	4.77	2.15	3.24±1.11	31	32.2	32.9	32.03±0.78	16.1	24.5	8.4	16.33±6.57

RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

หลอดไฟที่	แรงดันไฟฟ้าที่แผงโซลาร์เซลล์(V)				กระแสไฟฟ้าชาร์จเข้าสู่แบตเตอรี่ (amp)				อุณหภูมิ (° C)				ความต้านทาน (ohm)			
	ครั้งที่				ครั้งที่				ครั้งที่				ครั้งที่			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
C01	13.4	12.49	13.21	13.03±0.17	4.56	4.16	4.20	4.30±0.17	31	33.8	33.7	32.83±1.29	32.3	35.8	31.3	33.13±1.92
C02	13.73	12.88	13.69	13.43±0.29	4.78	4.07	4.27	4.37±0.29	31	35.2	31.2	32.46±1.93	30.5	32.5	31.1	31.36±0.83
C03	14.13	12.90	13.39	13.47±0.86	3.17	5.27	4.45	4.29±0.86	31	36.4	32.3	33.23±2.30	34.4	31.7	32.8	32.96±1.10
C04	16.63	12.82	14.16	14.53±0.33	3.28	4.07	3.88	3.74±0.33	31	35.7	32	38.9±2.02	27.6	27.5	27.5	27.53±0.04
C05	13.93	12.31	13.02	13.08±0.14	3.21	3.42	3.07	3.23±0.14	31	34	31.8	32.26±1.26	31.0	36.9	32.8	33.56±2.46
C06	13.81	12.32	12.99	13.04±0.42	3.21	4.06	3.11	3.46±0.42	31	31.9	31.3	31.4±0.37	31.3	29.2	27.9	29.46±1.40
C07	13.95	12.81	13.38	13.38±0.59	3.77	4.66	3.21	3.88±0.59	31	34.8	31	32.26±1.79	27.8	26.8	26.8	27.13±0.47
C08	12.71	12.03	12.28	12.34±0.06	3.64	3.68	3.53	3.61±0.06	31	33.6	31.1	31.9±1.20	26.1	25.3	28.1	26.5±1.17
C09	14.2	13.90	14.34	14.14±0.18	3.58	3.13	3.27	3.32±0.18	31	36	33.7	33.56±2.02	34.8	37.9	29.7	34.13±3.38

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

หลอดไฟที่	แรงดันไฟฟ้าที่แผงโซลาร์เซลล์(V)				กระแสไฟฟ้าชาร์จเข้าสู่แบตเตอรี่ (amp)				อุณหภูมิ (° C)				ความต้านทาน (ohm)			
	ครั้งที่				ครั้งที่				ครั้งที่				ครั้งที่			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
D01	13.73	12.51	13.23	13.15±0.45	3.81	4.29	3.19	3.76±0.45	32	34.1	32.7	32.93±0.87	39.8	27.5	24.4	30.56±6.5
D02	12.93	11.97	12.71	12.53±0.35	3.68	3.98	3.13	3.59±0.35	36	32.3	33.4	33.9±1.55	35.2	28.6	24	29.26±4.59
D03	12.58	11.94	11.93	12.15±0.6	3.25	3.28	3.13	3.22±0.06	31	33.7	32.5	32.4±1.10	36.4	28.5	28	30.96±3.84
D04	12.32	12.09	12.61	12.34±0.68	3.23	4.62	3.13	3.66±0.68	37	36	33.1	35.36±1.65	36.3	27.9	28.1	30.76±3.91
D05	12.87	12.38	13.06	12.77±0.50	3.33	4.43	3.41	3.72±0.50	37	35.2	32.4	34.86±1.89	37.3	25.5	21.2	28±6.80
D06	13.77	12.51	13.44	13.24±0.40	3.76	4.24	3.25	3.75±0.40	35	34.3	32.8	34.03±0.91	38.4	26.6	23.2	29.4±6.51
D07	12.76	12.16	12.77	12.56±0.23	3.23	3.75	3.7	3.56±0.23	32	32.3	30.4	31.56±0.83	37	21.7	29.8	29.5±6.24
D08	12.26	12.40	12.43	12.36±0.30	1.75	1.6	1.05	1.46±0.30	30	29.1	30.6	29.9±0.62	33.6	22.1	20.1	25.26±5.94
D09	11.99	12.86	11.82	12.22±0.32	1.91	1.4	1.13	1.48±0.32	30	29	29.3	29.43±0.41	30.4	21.4	25.9	25.9±3.67

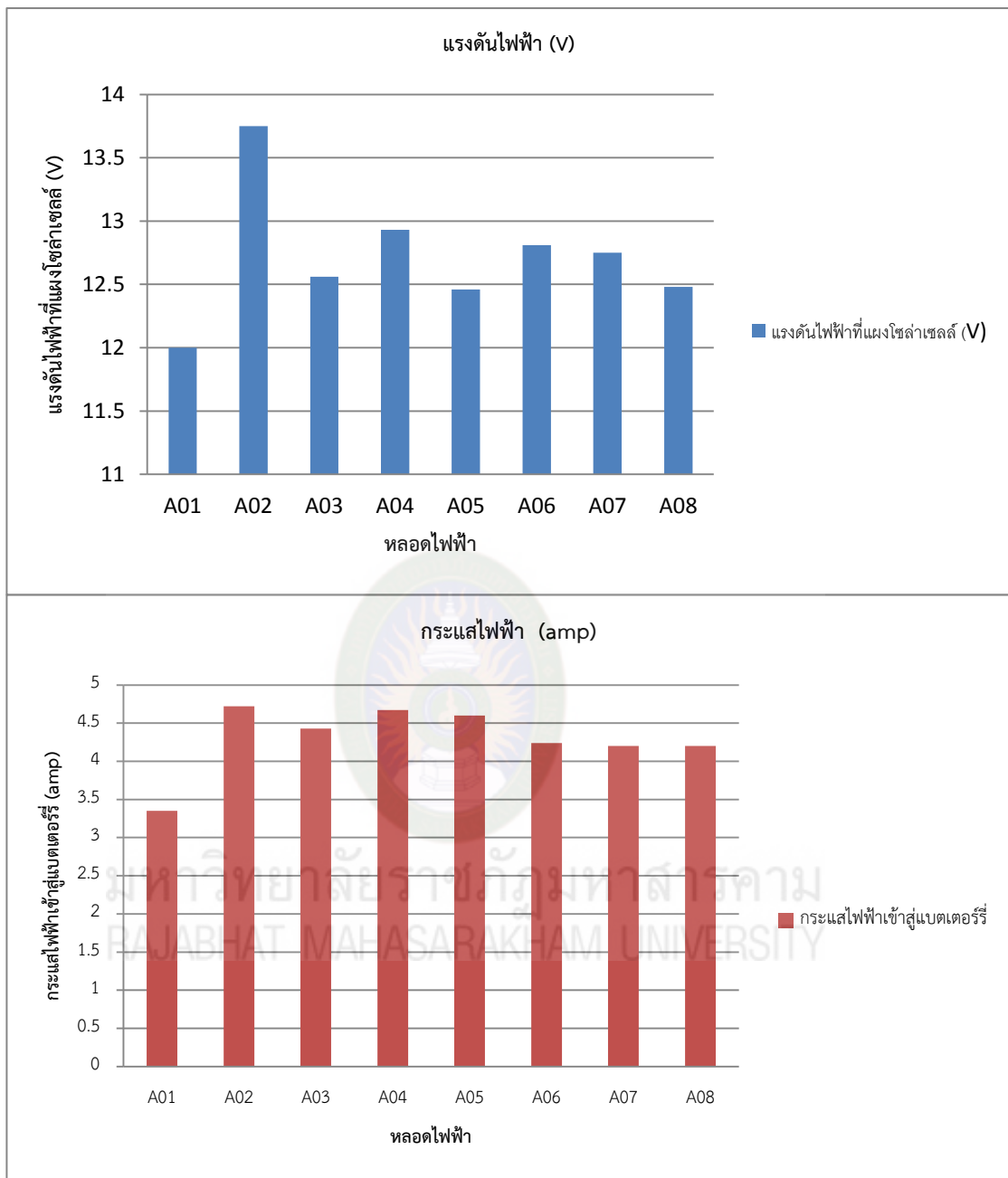
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

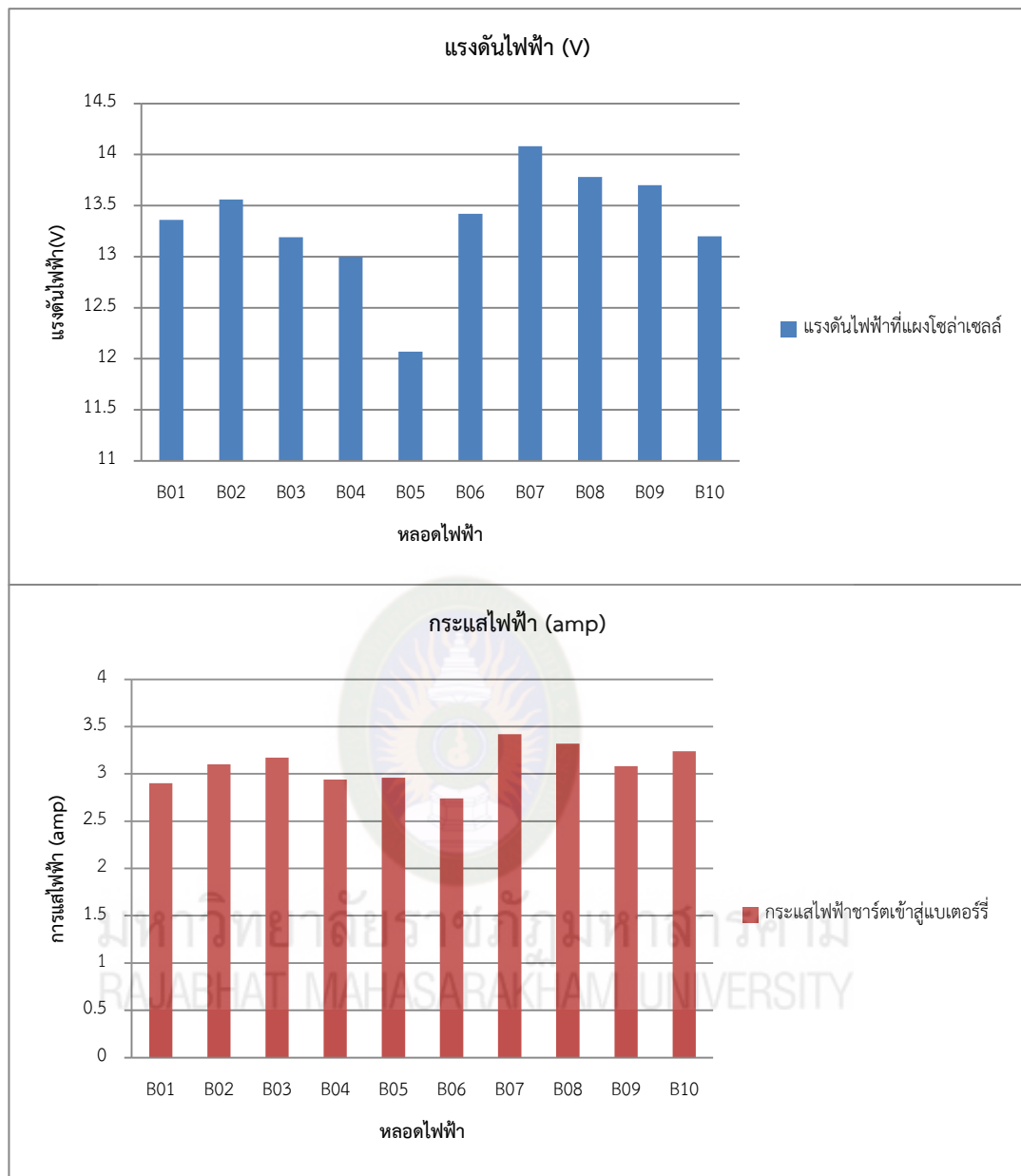
หลอดไฟที่	แรงดันไฟฟ้าที่แผงโซลาร์เซลล์(V)				กระแสไฟฟ้าขาร์จเข้าสู่แบตเตอรี่ (amp)				อุณหภูมิ (° C)				ความต้านทาน (ohm)			
	ครั้งที่				ครั้งที่				ครั้งที่				ครั้งที่			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
E01	12.56	12.08	12.14	12.26±0.21	1.1	4.11	0.45	1.88±1.59	30	33.7	31.3	31.66±1.53	12.5	29.7	11	17.73±8.48
E02	13.73	12.16	12.32	12.736±0.70	2.93	4.4	0.94	2.75±1.41	30	34.1	35	33.03±2.17	38.7	28.8	18.9	28.8±8.08
E03	12.85	12.23	12.69	12.59±0.26	2.21	4.36	1.45	2.67±1.23	30	35.6	30.2	31.93±2.59	18.2	31	12	20.4±7.91
E04	12.65	12.34	13.18	12.723±0.34	1.01	4.66	0.33	2±1.90	31	34.5	34.9	33.46±1.75	10.3	38.5	16.9	21.9±12.04
E05	13.62	12.2	12.49	12.77±0.61	2.56	3.65	0.35	2.18±1.37	31	31.8	34.1	32.3±1.31	31.4	18.9	39.2	29.83±8.36
E06	13.5	12.3	13.59	13.13±0.58	2.13	3.84	1.02	2.33±1.15	31	33.6	36.5	33.7±2.24	27.1	19.4	30.6	25.7±4.67
E07	12.92	12.02	12.43	12.45±0.36	1.76	2.3	0.17	1.41±0.90	32	35.5	33.4	33.63±1.43	30.9	21.3	15.4	22.53±6.38
E08	13.12	12.27	12.94	12.77±0.36	1.77	4.43	0.13	2.11±1.77	33	33.2	33.2	33.13±0.09	27.5	25.3	36.7	29.83±4.93
E09	13.07	12.45	13.32	12.94±0.36	1.82	3.95	1.73	2.5±1.02	32	36.8	34.4	34.4±1.95	30.9	28.8	22.4	27.36±3.16
E10	13.7	12.67	13.95	13.44±0.55	0.7	6.7	1.17	2.85±2.27	32	35.9	36	34.63±1.86	19.7	69.2	25	37.96±22.19
E11	13.85	12.18	12.76	12.93±0.69	1.9	3.55	0.22	1.89±1.35	31	34.1	36.3	33.8±2.17	53	41.4	14.8	36.4±15.99
E12	14.04	12.51	13.45	13.33±0.63	1.2	3.18	1.87	2.08±0.82	33	33.2	36.7	34.3±1.69	37.5	33.3	15.6	28.8±9.48
E13	13.92	12.04	12.33	12.76±0.82	2.09	4.17	0.5	2.25±1.50	32	34.2	34.7	33.63±1.17	36	26.3	13.7	25.33±33.63

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

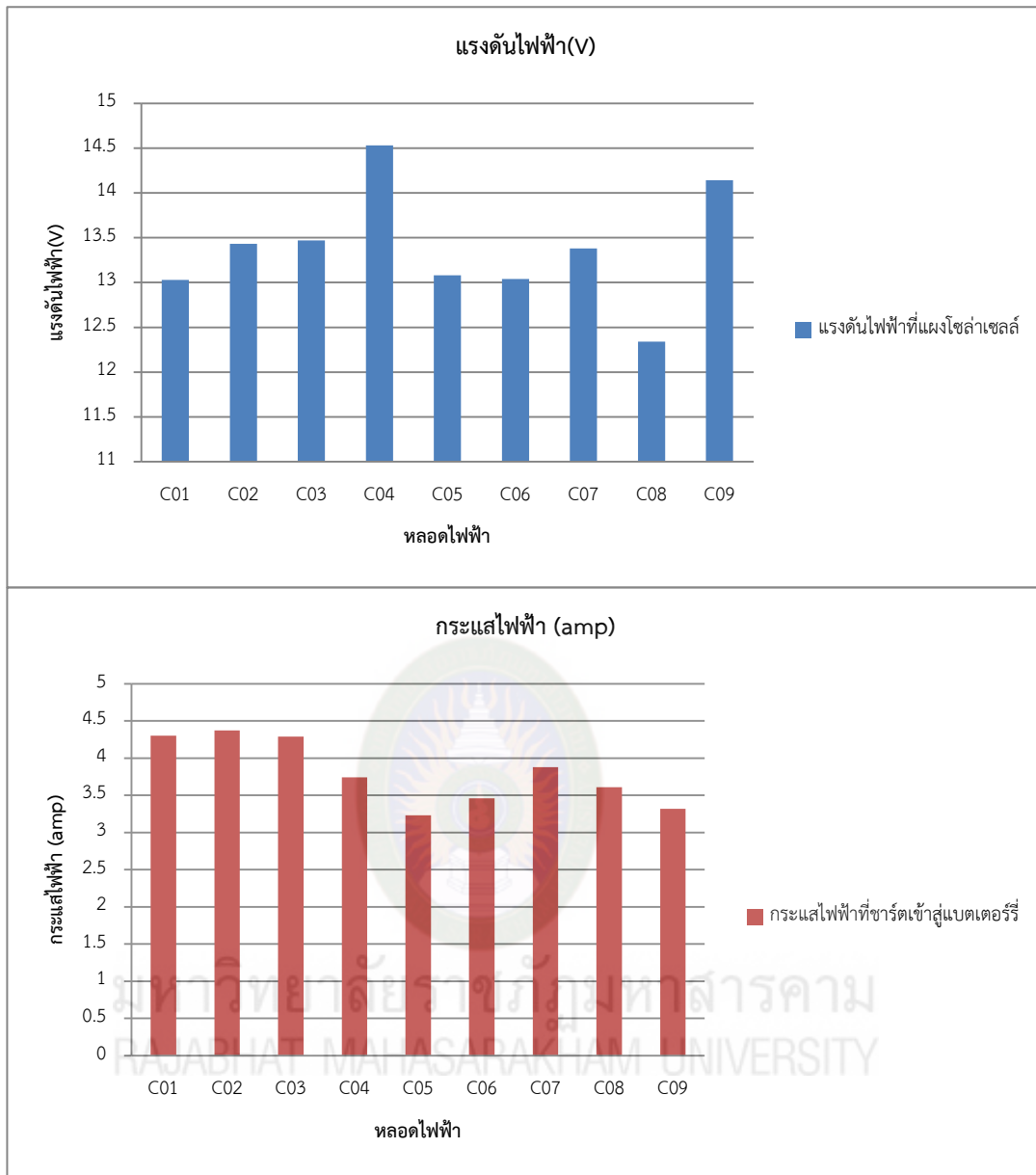
หลอดไฟที่	แรงดันไฟฟ้าที่แผงโซลาร์เซลล์(V)				กระแสไฟฟ้าชาร์จเข้าสู่แบตเตอรี่ (amp)				อุณหภูมิ (°C)				ความต้านทาน (ohm)			
	ครั้งที่				ครั้งที่				ครั้งที่				ครั้งที่			
	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย	1	2	3	เฉลี่ย
F01	12.45	12	11.84	12.09±0.25	0.94	4.16	0.25	1.78±1.70	31	31	30.2	30.73±0.37	10.5	28.7	6.80	15.3±9.57
F02	13.12	12.05	12.34	12.50±0.45	1.26	3.85	1.35	2.15±1.20	30	34	31	31.66±1.69	15.5	23.5	11.1	16.7±5.13
F03	13.12	12.36	12.74	12.74±0.31	2.16	2.75	0.46	1.79±0.97	31	39.8	35	35.26±3.56	35.8	31.4	39.2	35.46±3.19
F04	12.27	12.02	11.89	12.06±0.15	0.58	1.03	0.78	0.79±0.18	31	36.1	32.7	33.26±2.12	8.3	18.2	8.7	11.73±4.57
F05	12.51	12.59	12.56	12.55±0.03	0.73	3.05	0.96	1.58±1.04	31	37.7	32.4	33.7±2.88	8.3	54.3	11.3	24.63±21.01
F06	13.63	13.84	13.99	13.82±0.14	1.72	3.19	0.49	1.8±1.10	31	39.1	36.6	35.56±3.38	19.7	47.6	24.6	30.63±12.16
F07	13.92	12.43	13.57	13.30±0.63	1.05	6.55	0.37	2.65±2.78	35	36.3	30.8	34.03±2.34	42.01	42.7	20.1	34.93±10.49
F08	12.98	12.13	13	12.70±0.40	2.70	3.81	0.82	2.44±1.23	36	32.3	30.6	32.96±2.25	12.02	19.2	10.20	13.80±3.88
F09	13.71	12.34	13.3	13.11±0.57	0.97	3.82	0.18	1.65±1.56	37	34.2	31.3	34.16±2.34	36.03	20.8	9.70	22.17±10.79
F10	13.48	12.16	12.71	12.78±0.54	1.19	3.91	0.9	2±1.35	36	36.5	32.1	34.86±1.96	38.2	19.6	8.90	22.23±12.10
F11	12.32	12.33	13.18	12.61±0.40	0.85	2.95	0.11	1.30±1.20	31	36.5	31.3	32.93±2.52	8.7	33.7	10.1	17.5±11.46



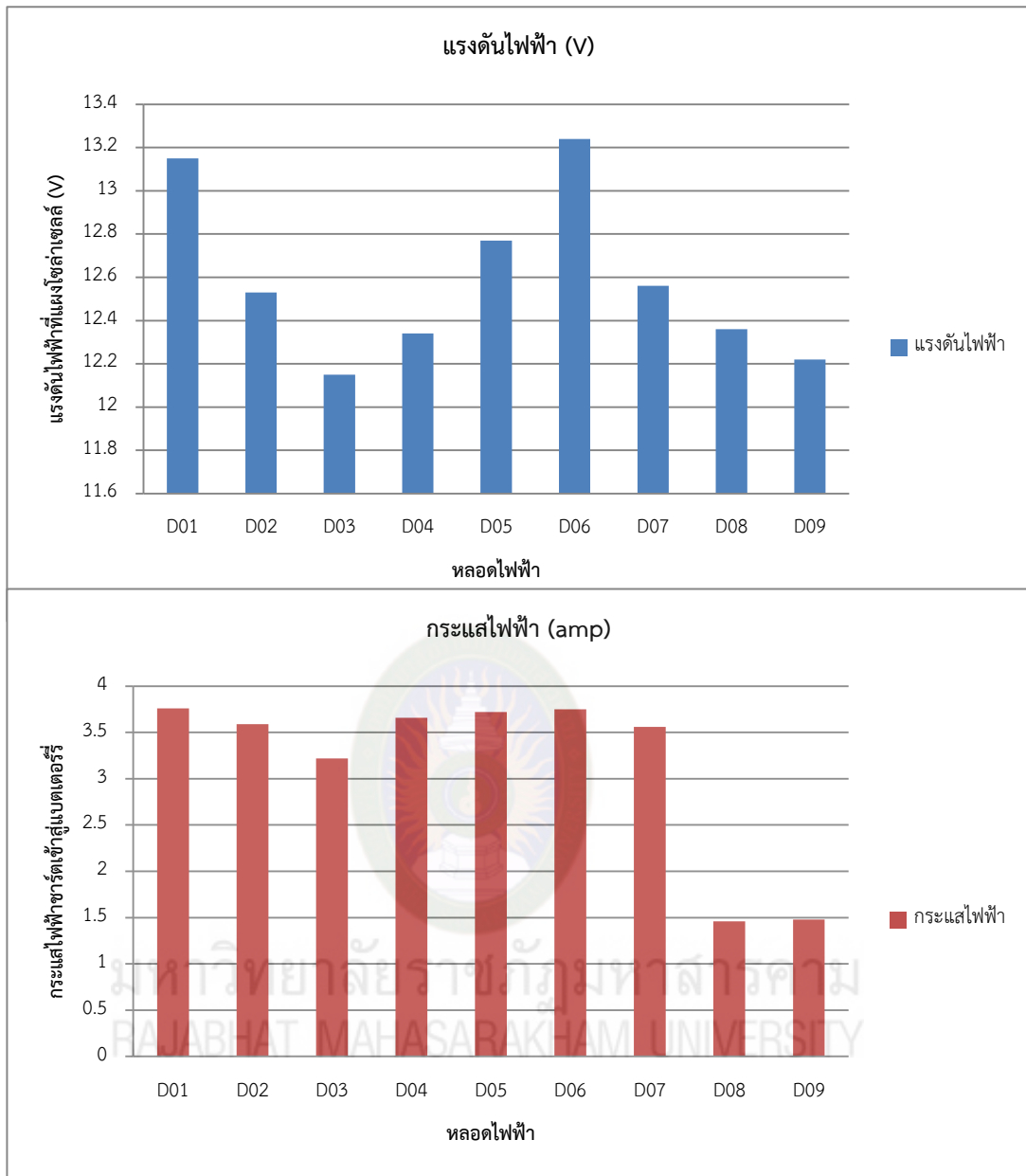
รูปที่ 4.1 ค่าแรงดันไฟฟ้าที่แผงโซลาร์เซลล์ และกระแสไฟฟ้าที่ชาร์จเข้าสู่แบตเตอรี่ (โซนA)



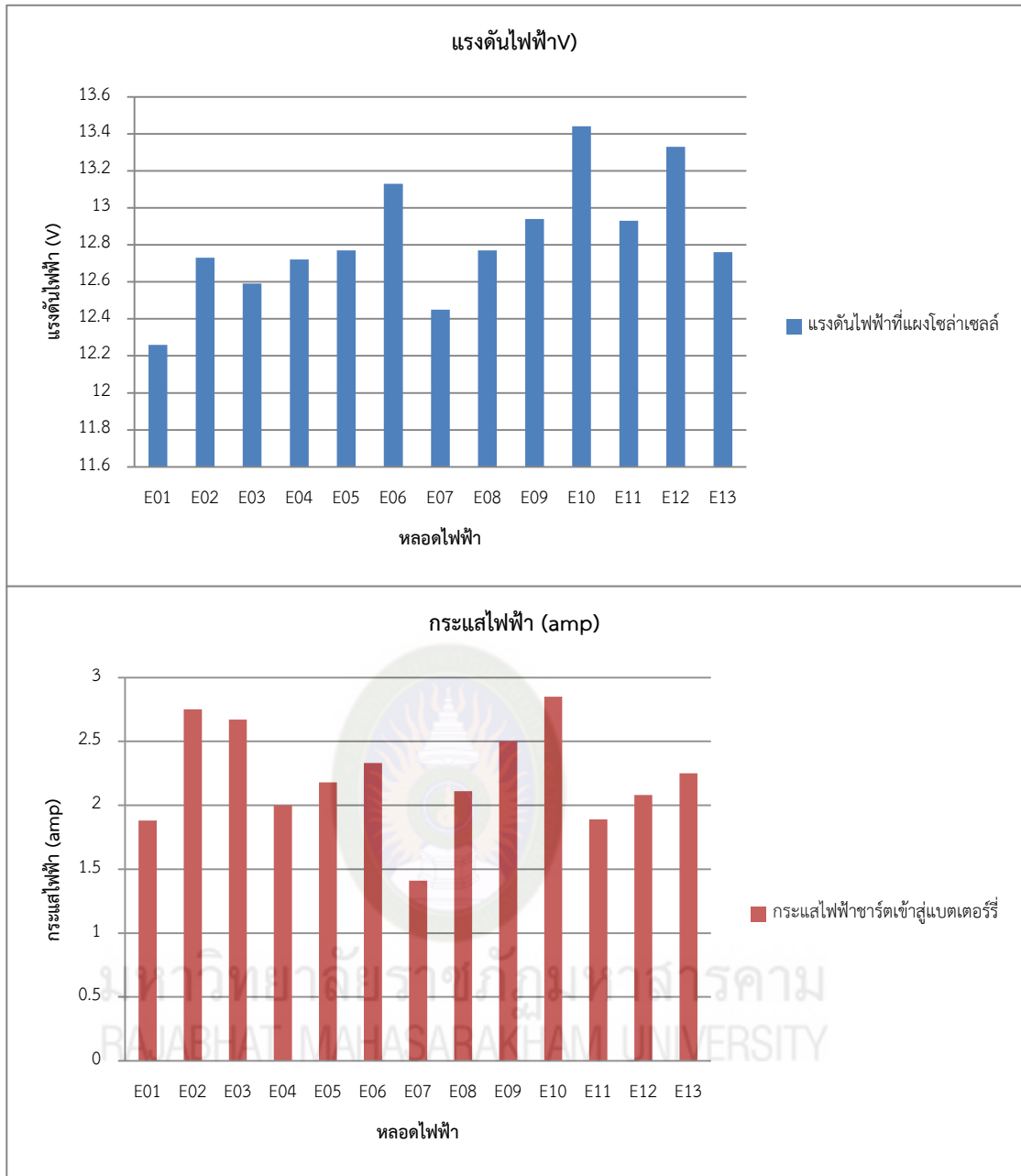
รูปที่ 4.2 ค่าแรงดันไฟฟ้าที่แผงโซลาร์เซลล์ และกระแสไฟฟ้าที่ชาร์จเข้าสู่แบตเตอรี่ (โซนB)



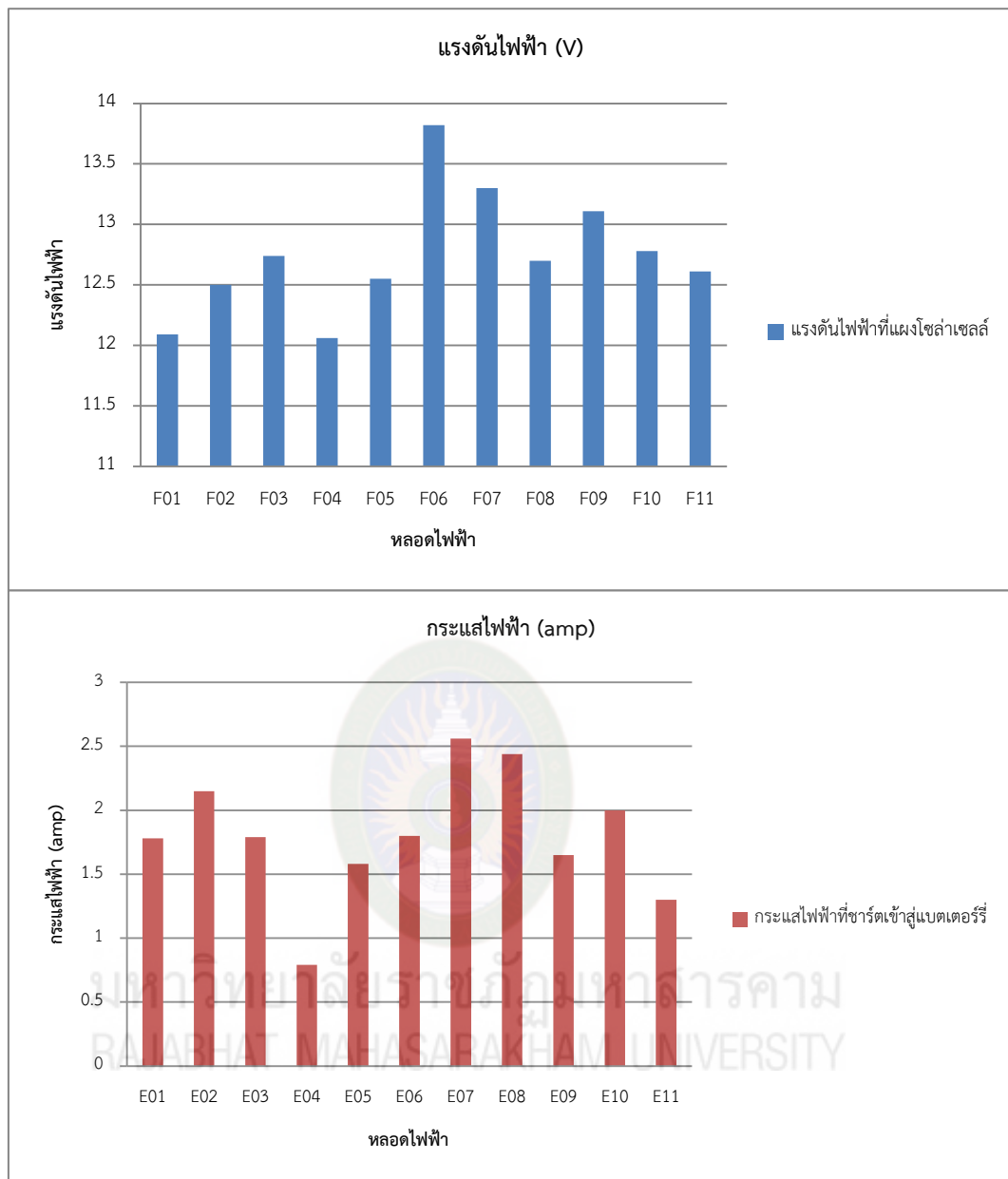
รูปที่ 4.3 ค่าแรงดันไฟฟ้าที่แผงโซลาร์เซลล์ และกระแสไฟฟ้าที่ชาร์จเข้าสู่แบตเตอรี่ (โซน C)



รูปที่ 4.4 ค่าแรงดันไฟฟ้าที่แผงโซลาร์เซลล์ และกระแสไฟฟ้าที่ชาร์จเข้าสู่แบตเตอรี่ (โซนD)



รูปที่ 4.5 ค่าแรงดันไฟฟ้าที่แผงโซลาร์เซลล์ และกระแสไฟฟ้าที่ชาร์จเข้าสู่แบตเตอรี่ (โซนE)



รูปที่ 4.6 ค่าแรงดันไฟฟ้าที่แผงโซลาร์เซลล์ และกระแสไฟฟ้าที่ชาร์ตเข้าสู่แบตเตอรี่ (โซนF)

จากตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.1-4.6 แรงดันไฟฟ้าที่แผงโซลาร์เซลล์ ระหว่าง เดือนสิงหาคม – เดือนตุลาคม 2560 ในโซน A01 - A08 มีค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ 12.93 ± 0.50 Volt แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 12.00 ± 0.27 Volt โซนB01- B10 มีค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดมีค่า 14.08 ± 1.36 Volt แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยต่ำสุดมีค่าเท่ากับ 12.70 ± 0.34 Volt โซนC01 - C09 มีค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 14.53 ± 0.33 Volt แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยต่ำสุดมีค่า 12.34 ± 0.06 Volt โซนD01 - D09มีค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 13.24 ± 0.40 Volt แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยต่ำสุด มีค่า 12.15 ± 0.6 Volt โซน E01 - E13 มีค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 13.44 ± 0.55 Volt แรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 12.26 ± 0.21 Volt โซน F01 - F11ค่าแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 13.82 ± 0.14 Volt และแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 12.06 ± 0.15 Volt

สำหรับกระแสไฟฟ้าที่ซาร์จเข้าสู่แบตเตอรี่ พบว่า โซน A01 - A08 มีค่าเฉลี่ยของกระแสไฟฟ้าที่ซาร์จเข้าสู่แบตเตอรี่สูงสุดเท่ากับ 4.72 ± 0.18 amp ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยที่ซาร์จเข้าสู่แบตเตอรี่ต่ำสุดเท่ากับ 3.35 ± 0.24 amp โซนB01 - B10 มีค่าเฉลี่ยของกระแสไฟฟ้าที่ซาร์จเข้าสู่แบตเตอรี่สูงสุดเท่ากับ 3.42 ± 0.98 amp ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยที่ซาร์จเข้าสู่แบตเตอรี่ต่ำสุดเท่ากับ 2.74 ± 0.90 amp โซนC01 - C09 มีค่าเฉลี่ยของกระแสไฟฟ้าที่ซาร์จเข้าสู่แบตเตอรี่สูงสุดเท่ากับ 4.37 ± 0.29 amp ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยที่ซาร์จเข้าสู่แบตเตอรี่ต่ำสุดที่ 3.32 ± 0.14 amp โซนD01 - D09 มีค่าเฉลี่ยของกระแสไฟฟ้าที่ซาร์จเข้าสู่แบตเตอรี่สูงสุดเท่ากับ 3.75 ± 0.40 amp ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยที่ซาร์จเข้าสู่แบตเตอรี่ต่ำสุดที่ 1.46 ± 0.30 amp โซนE01 - E13 มีค่าเฉลี่ยของกระแสไฟฟ้าที่ซาร์จเข้าสู่แบตเตอรี่สูงสุดเท่ากับ 2.85 ± 2.27 amp มีค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยที่ซาร์จเข้าสู่แบตเตอรี่ต่ำสุดที่ 1.41 ± 0.90 amp โซน F01 - F11 ค่าเฉลี่ยของกระแสไฟฟ้าที่ซาร์จเข้าสู่แบตเตอรี่สูงสุดเท่ากับ 2.65 ± 2.78 amp และค่าเฉลี่ยกระแสไฟฟ้าที่ซาร์จเข้าสู่แบตเตอรี่ต่ำสุดที่ 0.79 ± 0.18

ในการวัดอุณหภูมิของอากาศ พบว่า โซน A01 - A08 มีระดับอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดมีค่าเท่ากับ 37.46 ± 1.83 °C มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดที่ 32.00 ± 1.08 °C โซนB01 - B10 มีระดับอุณหภูมิเฉลี่ยสูงสุดที่ 33.43 ± 1.32 °C มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิต่ำสุดที่ 31.23 ± 0.26 °C โซนC01 - C09 มีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิสูงสุดที่ 38.90 ± 2.02 °C มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิต่ำสุดที่ 31.40 ± 0.37 °C โซนD01 - D09 มีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิสูงสุดที่ 35.36 ± 1.65 °C มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิต่ำสุดที่ 29.43 ± 0.41 °C โซนE01 - E13 มีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิสูงสุดที่ 34.63 ± 1.86 °C มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิต่ำสุดที่ 31.66 ± 1.53 °C และโซนF01 - F11 มีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิสูงสุดที่ 35.56 ± 3.38 °C มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิต่ำสุดที่ 30.73 ± 0.37 °C

ค่าความต้านทานของแผงโซลาร์เซลล์ ที่โซน A01 – A08 มีค่าความต้านทานเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 26.86 ± 1.81 ohm ค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 13.56 ± 1.67 ohm โซน B01 – B10 มีค่าความต้านทานเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 26.12 ± 6.65 ohm ค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 16.33 ± 6.57 ohm โซน C01 – C09 มีค่าความต้านทานเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 34.13 ± 3.38 ohm ค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 26.50 ± 1.17 ohm โซน D01 – D09 มีค่าความต้านทานเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 30.56 ± 6.5 ohm ค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 25.26 ± 5.94 ohm โซน E01 – E13 มีค่าความต้านทานเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 37.96 ± 22.19 ohm ค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 17.73 ± 8.48 ohm และโซน F01 – F11 มีค่าความต้านทานเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 13.82 ± 0.14 ohm ค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 12.09 ± 0.25 ohm

4.2 ผลการทดสอบแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า อุณหภูมิ ความต้านทาน และความส่องสว่างของหลอดไฟ LED

ผลการทดสอบ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า อุณหภูมิ ความต้านทาน และความส่องสว่างของหลอดไฟ LED เวลา 20.00น. ในบริเวณ โซน A – F ผลการศึกษาดังรายละเอียดตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.7 – รูปที่ 4.12



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางที่ 4.2 ค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า อุณหภูมิ ความต้านทาน และความส่องสว่างของหลอดไฟ LED (เวลา 20:00 น.)

หลอดไฟ	แรงดันไฟฟ้าที่โหลด(V)				กระแสไฟฟ้าที่โหลด (amp)				อุณหภูมิ (° C)				ความต้านทาน (ohm)				ความส่องสว่าง(lux)			
	ครั้งที่			เฉลี่ย	ครั้งที่			เฉลี่ย	ครั้งที่			เฉลี่ย	ครั้งที่			เฉลี่ย	ครั้งที่			เฉลี่ย
	1	2	3		1	2	3		1	2	3		1	2	3		1	2	3	
A01	9.30	8.9	11.94	10.04±1.34	1.14	0.87	0.37	0.79±0.31	31	26.30	27.40	28.23±2.00	31.10	34.30	12.40	25.93±9.65	300	100	220	206.66±82. 19
A02	11.88	11.96	11.48	11.77±0.29	0.72	0.56	0.57	0.61±0.07	31	27.30	26.90	28.4±1.87	33.60	34.50	14.25	27.45±9.34	300	100	240	213.33±83. 79
A03	11.82	10.95	11.36	11.37±0.35	0.58	0.74	0.42	0.58±0.13	31	26.40	27.10	28.16±2.02	31.50	35	11.58	26.02±10.3	380	400	240	340±71. 18
A04	11.86	11.10	11.28	11.41±0.32	0.92	0.70	0.58	0.73±0.14	31	26.80	27.80	28.53±1.79	35.20	39.80	11.37	28.79±12.4	360	280	220	286.66±57. 34
A05	11.79	11.10	11.47	11.45±0.28	0.80	0.84	0.23	0.62±0.27	31	26	26.70	27.9±2.21	31.70	34.30	13.48	26.49±9.26	340	260	260	286.66±37. 71
A06	11.90	11.36	11.96	11.74±0.29	0.68	0.58	0.18	0.48±0.21	31	25.30	26.80	27.7±2.41	31.10	35.50	24.66	30.42±4.45	320	280	240	280±32. 65
A07	11.86	11.04	11.94	11.61±0.40	0.98	1.86	0.49	1.11±0.65	31	25.50	26.30	27.6±2.42	35.9	38.70	11.46	28.68±12.2	340	260	240	280±43.204
A08	11.76	11.12	11.41	11.43±0.26	1.08	0.67	0.37	0.70±0.29	31	25.70	27.40	28.03±2.20	34.9	30.40	15.22	26.84±8.41	300	400	220	306.66±73. 63

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

หลอดไฟที่	แรงดันไฟฟ้าที่โหลด(V)				กระแสไฟฟ้าที่โหลด (amp)				อุณหภูมิ (° C)				ความต้านทาน (ohm)				ความส่องสว่าง(lux)			
	ครั้งที่			เฉลี่ย	ครั้งที่			เฉลี่ย	ครั้งที่			เฉลี่ย	ครั้งที่			เฉลี่ย	ครั้งที่			เฉลี่ย
	1	2	3		1	2	3		1	2	3		1	2	3		1	2	3	
B01	12.03	11.93	11.94	11.96±0.04	1.47	0.72	0.58	0.92±0.39	26	24.8	26.90	25.9±0.86	21.10	18.90	11.43	17.14±4.13	300	160	220	226.66±57.34
B02	12.23	12.40	11.38	12.00±0.44	1.81	0.82	0.31	0.98±0.62	26	26	27.50	26.50±0.70	22	20	14.29	18.76±3.26	260	220	220	233.33±18.85
B03	12.14	12.01	11.56	11.90±0.24	1.88	0.72	0.43	1.01±0.62	26	25.7	27.68	26.46±0.81	20.80	18.80	13.56	17.72±3.05	360	320	240	306.66±49.88
B04	12.08	11.94	11.67	11.89±0.17	1.89	0.52	0.57	0.99±0.63	26	26.2	26.9	26.36±0.38	23.9	20.40	12.58	18.96±4.73	260	180	220	220±32.65
B05	10.17	9.83	11.48	10.49±0.71	1.36	0.45	0.49	0.76±0.64	26	26.2	27.20	26.46±0.52	11.70	11	11.69	11.46±0.32	320	240	260	273.33±33.99
B06	12	11.91	11.90	11.93±0.04	2.06	0.91	0.29	1.08±0.73	26	26.5	27.57	26.69±0.65	22.40	20.70	12.67	18.59±4.24	320	320	220	286.66±47.14
B07	12.07	11.94	11.47	11.82±0.25	1.92	0.42	0.78	1.04±0.63	26	26.7	27.23	26.64±0.50	23.30	21.30	12.34	18.98±4.76	240	220	220	226.66±9.4
B08	12.21	12.08	12.89	12.39±0.35	1.90	1.11	0.67	1.22±0.50	26	26.4	26.89	26.43±0.36	21.30	19.30	11.93	17.51±4.02	180	160	220	186.66±24.94
B09	12.27	12.12	11.57	11.98±0.30	1.85	0.29	0.11	0.75±0.78	26	26.2	26.67	26.29±0.28	21.90	19.70	11.28	17.62±4.57	220	320	220	253.33±47.14
B10	12.10	11.85	11.89	11.94±0.10	1.97	0.34	0.65	0.98±0.60	26	25.7	27.33	26.34±0.70	21.10	18.70	11.89	17.23±3.90	260	180	240	226.66±33.99

RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

หลอดไฟที่	แรงดันไฟฟ้าที่โหลด (V)				กระแสไฟฟ้าที่โหลด (amp)				อุณหภูมิ (° C)				ความต้านทาน (ohm)				ความส่องสว่าง (lux)			
	ครั้งที่			เฉลี่ย	ครั้งที่			เฉลี่ย	ครั้งที่			เฉลี่ย	ครั้งที่			เฉลี่ย	ครั้งที่			เฉลี่ย
	1	2	3		1	2	3		1	2	3		1	2	3		1	2	3	
C01	11.91	11.78	11.63	11.77±0.11	1.80	0.48	0.23	0.83±0.68	26	27.3	26.45	26.58±0.53	23.0	10.74	12.76	15.5±5.36	340	220	220	260±56.68
C02	12.09	11.53	11.84	11.82±0.22	1.83	0.57	0.76	1.05±0.55	26	27.2	26.78	26.66±0.49	24.30	14.25	11.45	16.66±5.51	320	240	220	260±43.20
C03	12.03	11.39	11.09	11.50±0.39	1.93	0.25	0.98	1.05±0.68	26	27.5	27.34	26.94±0.67	23.60	12.82	13.57	16.66±4.91	420	240	220	293.3±16.93
C04	11.65	11.84	11.36	11.61±0.19	1.91	0.39	0.56	0.95±0.68	26	26.9	26.78	26.56±0.39	27.5	12.47	14.39	18.12±6.67	320	240	220	260±43.20
C05	11.88	11.34	11.2	11.47±0.29	1.90	0.33	0.67	0.96±0.67	26	27.5	27.9	27.13±0.81	28.4	11.36	14.22	17.99±7.45	280	220	240	246.6±24.20
C06	11.81	11.52	11.39	11.57±0.17	1.82	0.25	0.23	0.76±0.74	26	27.4	26.37	26.59±0.59	22.1	15.09	13.67	16.95±3.68	260	240	240	246.66±9.42
C07	11.99	11.35	11.56	11.63±0.26	1.89	0.98	0.46	1.11±0.59	26	26.7	27.89	26.86±0.78	29.2	12.42	12.68	18.1±7.84	380	220	220	273.33±75.4
C08	10.49	11.28	11.28	11.01±0.37	1.19	0.48	0.83	0.83±0.28	26	26.9	26.7	26.53±0.38	20.7	11.47	14.32	15.49±3.85	260	240	240	246.66±9.42
C09	10.55	10.60	11.59	10.91±0.47	1.90	0.43	0.48	0.93±0.68	26	27	27.45	26.81±0.60	24	12.05	14.56	16.87±5.14	300	160	220	226.6±57.34

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางที่4.2 (ต่อ)

หลอดไฟที่	แรงดันไฟฟ้าที่โหลด(V)				กระแสไฟฟ้าที่โหลด (amp)				อุณหภูมิ (° C)				ความต้านทาน (ohm)				ความส่องสว่าง(lux)			
	ครั้งที่			เฉลี่ย	ครั้งที่			เฉลี่ย	ครั้งที่			เฉลี่ย	ครั้งที่			เฉลี่ย	ครั้งที่			เฉลี่ย
	1	2	3		1	2	3		1	2	3		1	2	3		1	2	3	
D01	11.91	12.08	11.12	11.70±0.41	0.5	0.58	0.84	0.64±0.14	26	29.9	26.78	27.56±1.68	12.1	21.9	12.46	15.48±4.53	300	240	240	260±28.28
D02	11.26	11.63	11.69	11.52±0.19	0.27	0.54	0.64	0.48±0.15	26	28.8	27.13	27.31±1.15	16.6	18.7	13.56	16.28±2.11	220	200	220	213.33±9.24
D03	11.56	10.99	11.40	11.31±0.42	0.24	1.13	2.28	1.21±0.85	26	30.9	26.76	27.88±2.15	18.2	18.3	12.37	16.29±2.77	200	260	220	226.66±24.94
D04	11.53	11.38	11.23	11.38±0.12	0.14	0.88	0.67	0.56±0.31	26	30.3	26.79	27.69±1.86	18.9	17.6	14.22	16.90±1.97	220	200	220	213.33±9.42
D05	11.70	11.86	11.53	11.69±0.13	0.15	0.45	0.29	0.29±0.12	26	30.3	26.89	27.73±1.85	17.8	18	14.36	16.72±1.67	220	240	240	233.33±9.42
D06	12.14	11.93	11.72	11.93±0.17	1.82	0.48	0.12	0.80±0.73	26	28.5	26.76	27.08±1.04	22	19.7	12.78	18.16±3.91	280	240	240	253.33±18.85
D07	11.71	11.53	11.94	11.72±0.16	0.15	0.53	0.47	0.38±0.16	26	27.5	27.11	26.87±0.63	20	18.5	11.89	16.79±3.52	320	240	240	266.66±37.71
D08	12.01	11.43	11.30	11.58±0.30	0.80	0.21	0.65	0.55±0.25	28	29.9	27.09	28.33±1.17	20.8	17.2	12.57	16.85±3.36	260	240	220	240±16.32
D09	10.59	11.94	11.58	11.37±0.75	0.86	1.19	0.40	0.81±0.32	29	29.9	26.78	28.56±1.31	13.6	17.3	12.77	14.55±1.96	200	220	220	213.33±9.42

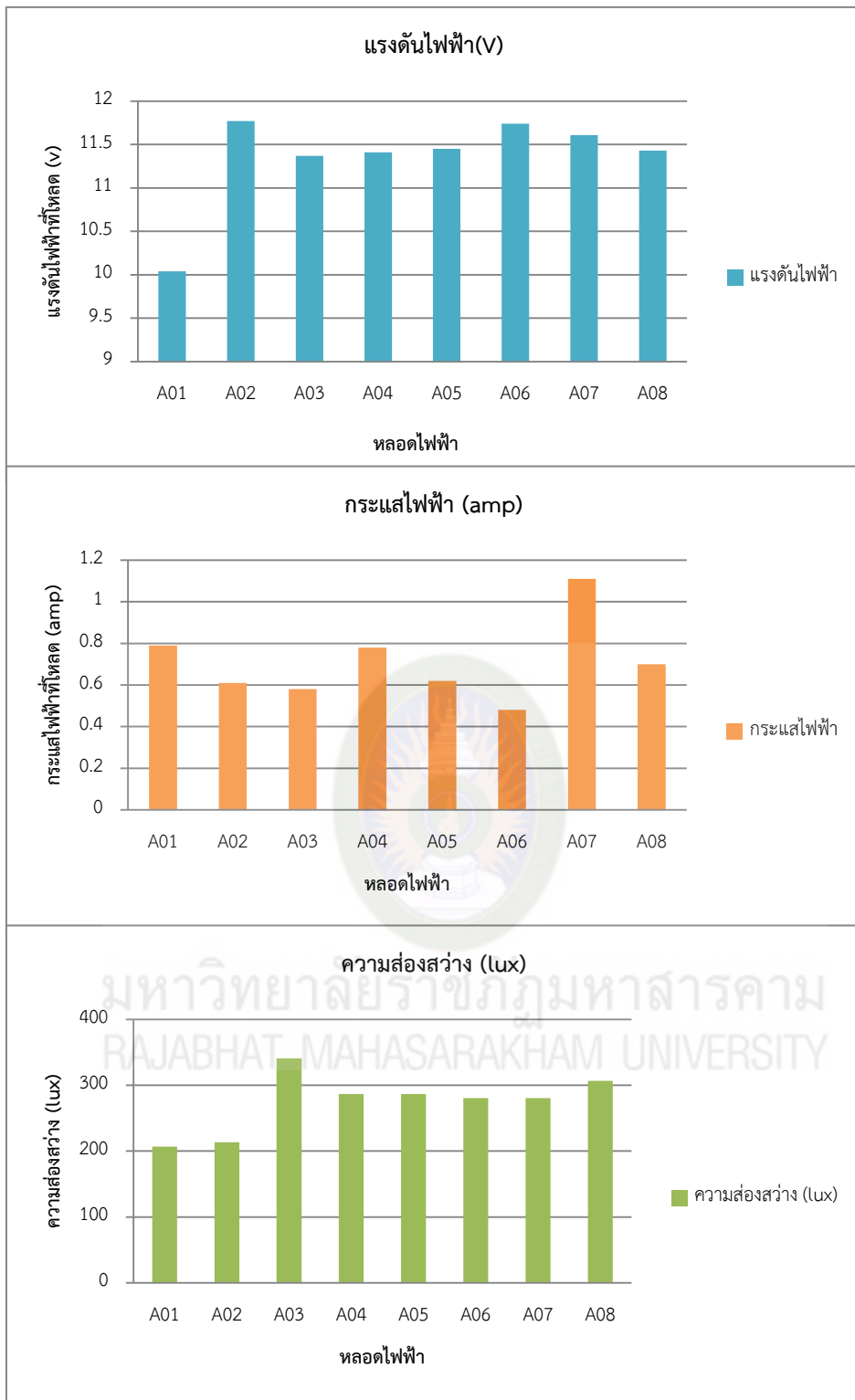
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

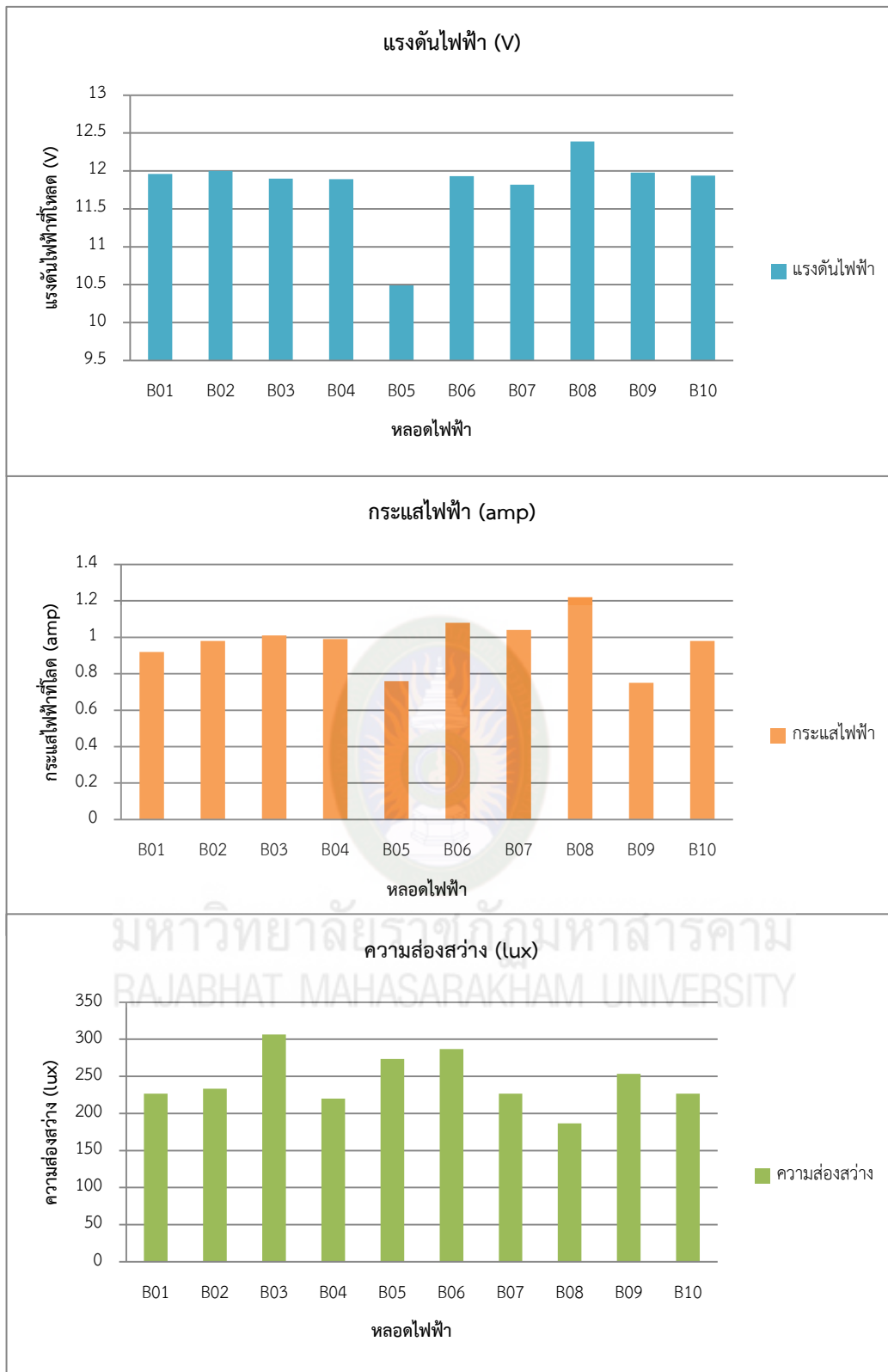
หลอดไฟที่	แรงดันไฟฟ้าที่โหลด(V)				กระแสไฟฟ้าที่โหลด (amp)				อุณหภูมิ (° C)				ความต้านทาน (ohm)				ความส่องสว่าง(lux)			
	ครั้งที่			เฉลี่ย	ครั้งที่			เฉลี่ย	ครั้งที่			เฉลี่ย	ครั้งที่			เฉลี่ย	ครั้งที่			เฉลี่ย
	1	2	3		1	2	3		1	2	3		1	2	3		1	2	3	
E01	11.12	11.98	11.90	11.66±0.38	0.49	0.89	0.89	0.75±0.18	26	27.90	26.77	26.89±0.78	15.30	17.80	12.67	15.25±2.09	220	260	240	240±16.39
E02	10.75	11.73	11.78	11.42±0.47	0.53	0.45	0.56	0.51±0.04	26	26.80	27.89	26.89±0.77	13.10	19.60	12.45	15.05±3.22	280	240	240	253.3±18.85
E03	10.76	11.71	11.46	11.31±0.40	0.48	0.73	0.35	0.52±0.15	26	27.50	26.47	26.65±0.62	13.50	14.20	13.66	13.78±0.29	220	220	220	220±0.00
E04	11.56	11.62	11.45	11.54±0.07	0.24	0.87	0.33	0.48±0.27	26	27.30	26.89	26.73±0.54	18	15.80	12.89	15.56±2.09	220	240	220	226.66±9.42
E05	11.72	11.95	11.49	11.72±0.18	0.27	0.35	0.24	0.28±0.04	26	26.80	27.47	26.75±0.60	18.50	14.50	14.23	15.74±1.95	220	220	220	220±0.00
E06	11.82	11.49	11.49	11.6±0.15	0.21	0.72	0.86	0.59±0.27	26	27.60	26.78	26.79±0.65	18.20	18.20	14.34	16.91±1.81	200	220	220	213.33±9.42
E07	11.76	11.09	11.47	11.44±0.27	0.70	0.98	0.74	0.80±0.12	26	26.80	27.68	26.82±0.68	18	14.50	12.89	15.13±2.13	300	240	220	253.33±33.9
E08	11.83	11.41	11.45	11.56±0.18	0.60	0.72	0.44	0.58±0.11	26	27.30	26.44	26.58±0.52	19	17.20	11.96	16.05±2.98	280	240	220	246.66±24.9
E09	12.24	11.80	11.24	11.76±0.40	0.13	0.23	0.19	0.183±0.04	26	27.90	18.30	24.06±4.15	19.70	18.30	13.67	17.22±2.57	260	240	240	246.66±9.42
E10	11.96	12.05	11.60	11.87±0.19	0.80	0.57	0.29	0.55±0.20	26	28.40	26.45	26.95±1.04	19.40	19.70	12.78	17.29±3.19	260	260	240	253.33±9.42
E11	12.20	11.43	11.58	11.73±0.33	0.20	0.22	0.54	0.32±0.15	26	28.10	27.33	27.14±0.86	19.80	18.60	12.57	16.99±3.16	280	220	240	246.66±24.9
E12	12.32	11.98	11.57	11.95±0.30	0.73	0.54	0.63	0.63±0.07	27	27.80	26.89	27.23±0.40	21	16.4	13.94	17.11±2.92	240	240	240	240±0.00
E13	12.17	11.4	11.90	11.82±0.31	0.75	0.21	0.93	0.63±0.30	27	29.90	27.23	28.04±1.31	20.60	15.9	13.94	16.81±2.79	240	220	220	226.66±9.42

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

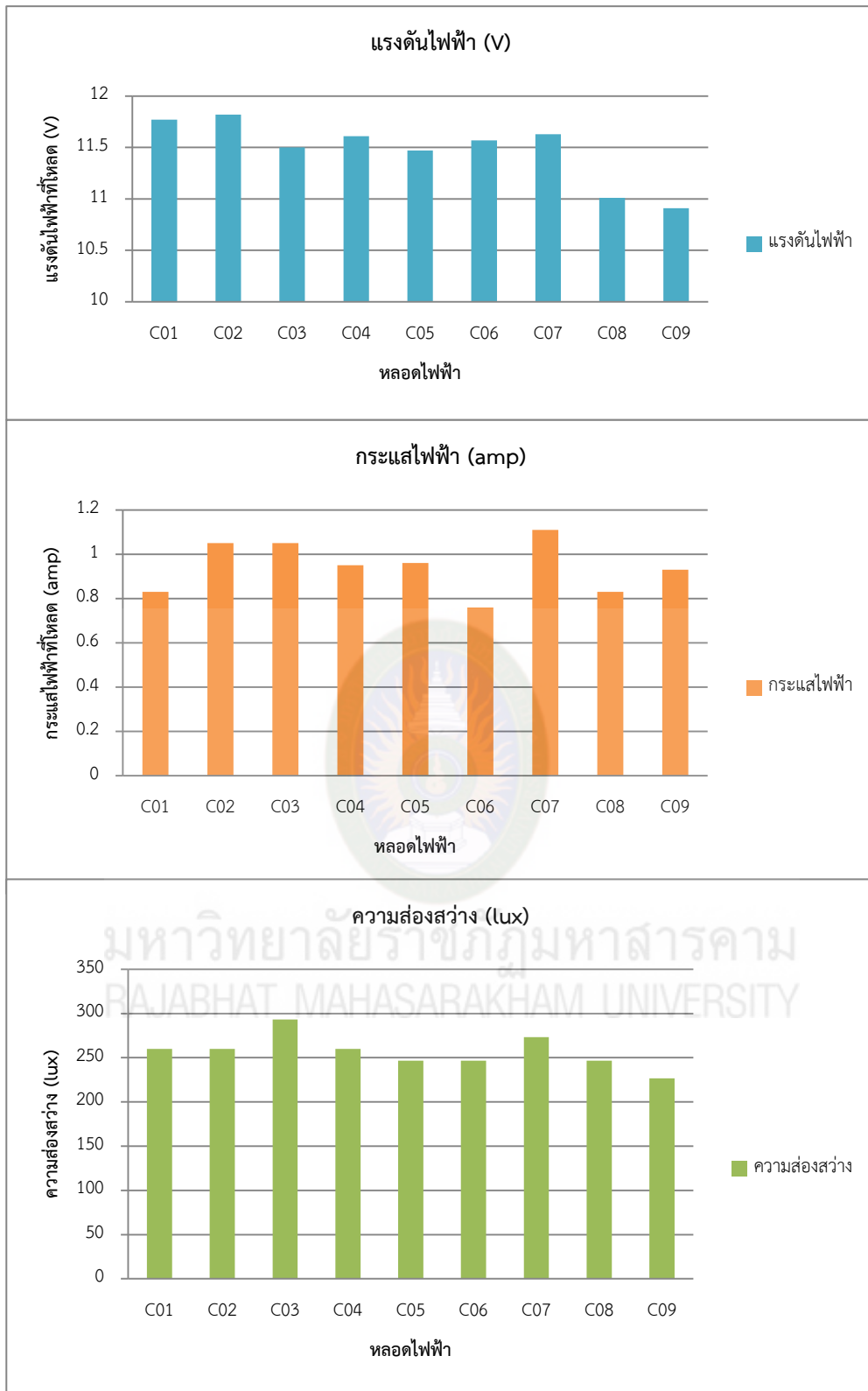
หลอดไฟที่	แรงดันไฟฟ้าที่โหลด(V)				กระแสไฟฟ้าที่โหลด (amp)				อุณหภูมิ (° C)				ความต้านทาน (ohm)				ความส่องสว่าง(lux)			
	ครั้งที่			เฉลี่ย	ครั้งที่			เฉลี่ย	ครั้งที่			เฉลี่ย	ครั้งที่			เฉลี่ย	ครั้งที่			เฉลี่ย
	1	2	3		1	2	3		1	2	3		1	2	3		1	2	3	
F01	11.59	11.61	11.19	11.46±0.19	0.29	0.61	0.85	0.58±0.29	26	26.90	26.09	26.33±0.40	18.30	17.90	12.09	16.09±2.83	220	220	240	226.66±9.42
F02	11.79	11.93	11.75	11.82±0.07	0.25	0.34	0.26	0.28±0.04	26	27.20	27.90	27.03±0.78	19.20	14.80	13.67	15.89±2.38	200	260	240	233.3±24.94
F03	11.15	11.34	11.94	11.47±0.33	0.54	0.25	0.65	0.48±0.16	26	27.10	27.55	26.88±0.65	15.30	19.10	12.96	15.78±2.53	220	200	240	220±16.32
F04	9.79	11.23	11.85	10.95±0.86	0.87	0.87	0.33	0.69±0.25	26	26.80	27.12	26.64±0.47	8.80	14.20	12.69	11.89±2.27	200	220	220	213.33±9.42
F05	11.59	11.43	11.39	11.47±0.86	0.22	0.54	0.75	0.50±0.21	26	26.60	26.49	26.36±0.26	17.30	13.80	13.26	14.78±1.79	260	220	220	233.33±18.8
F06	12.02	11.25	11.96	11.74±0.34	0.14	0.22	0.32	0.22±0.07	26	27.10	26.95	26.68±0.48	19.20	17.90	13.60	16.9±2.39	240	260	240	246.66±9.42
F07	11.96	11.56	11.39	11.63±0.23	0.50	0.29	0.53	0.44±0.10	26	27.20	27.5	26.9±0.64	19.40	17.50	14.68	17.19±1.93	220	220	240	226.66±0.42
F08	11.76	11.66	11.30	11.57±0.19	0.80	0.38	0.22	0.46±0.24	26	27.30	27.11	26.80±0.57	17.90	17.7	14.12	16.57±1.73	280	260	220	253.3±24.94
F09	11.84	11.90	11.94	11.89±0.04	0.90	0.56	0.18	0.54±0.29	26	26.90	26.49	26.46±0.36	18.60	18.6	12.96	15.78±2.82	260	200	220	226.6±24.94
F10	11.79	11.39	11.05	11.41±0.30	0.17	0.11	0.35	0.21±0.19	26	26.90	26.49	26.46±0.36	17.30	15.20	13.84	15.44±1.42	240	200	220	220±16.32
F11	11.35	12.20	11.54	11.69±0.36	0.21	0.88	0.30	0.46±0.29	26	29	26.98	27.32±1.24	13.90	12.13	12.55	12.86±0.75	220	120	240	193.3±52.49



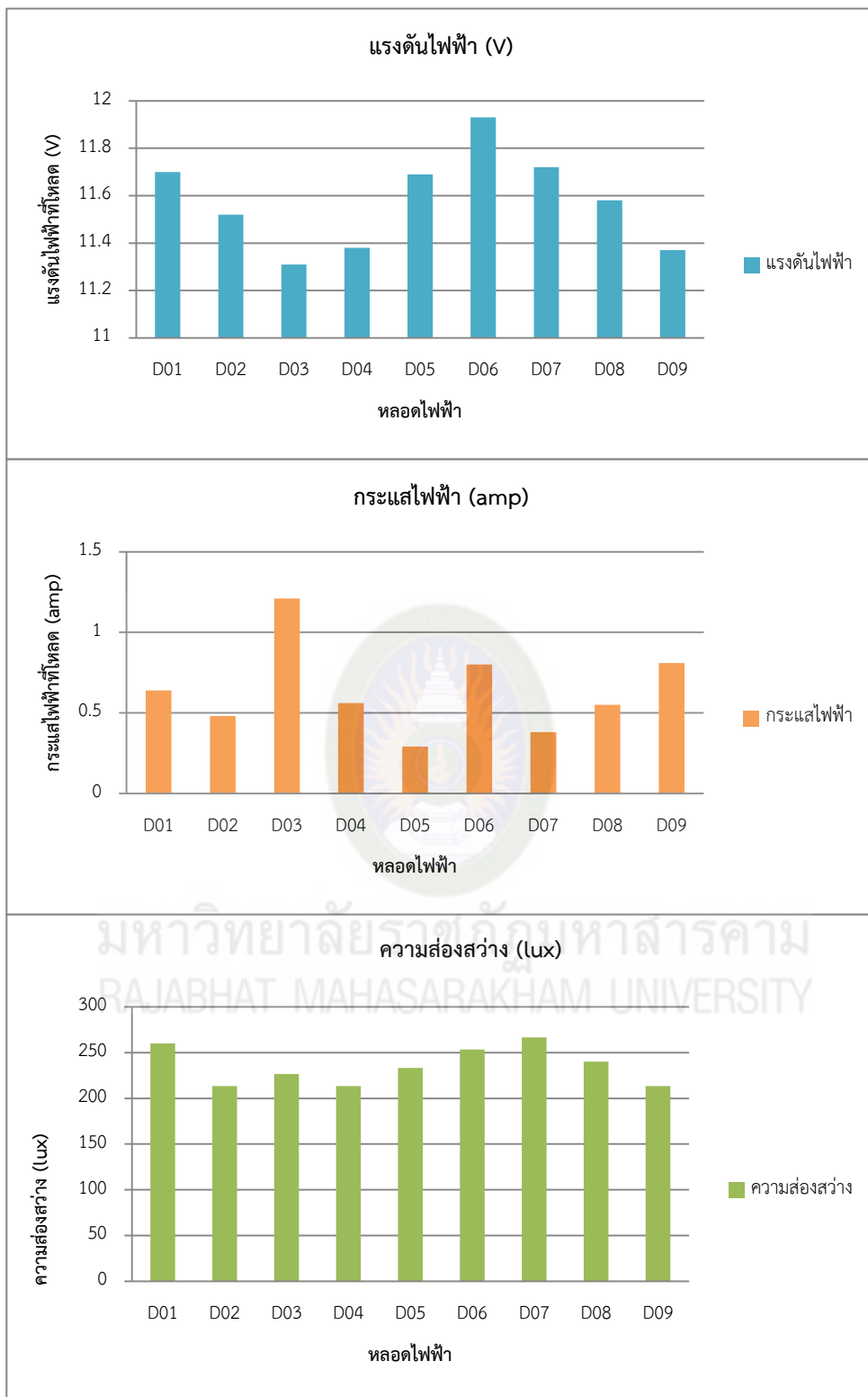
รูปที่ 4.7 ค่าแรงดันไฟฟ้าที่โหลด ค่ากระแสไฟฟ้าที่โหลด และค่าความส่องสว่าง (โซนA)



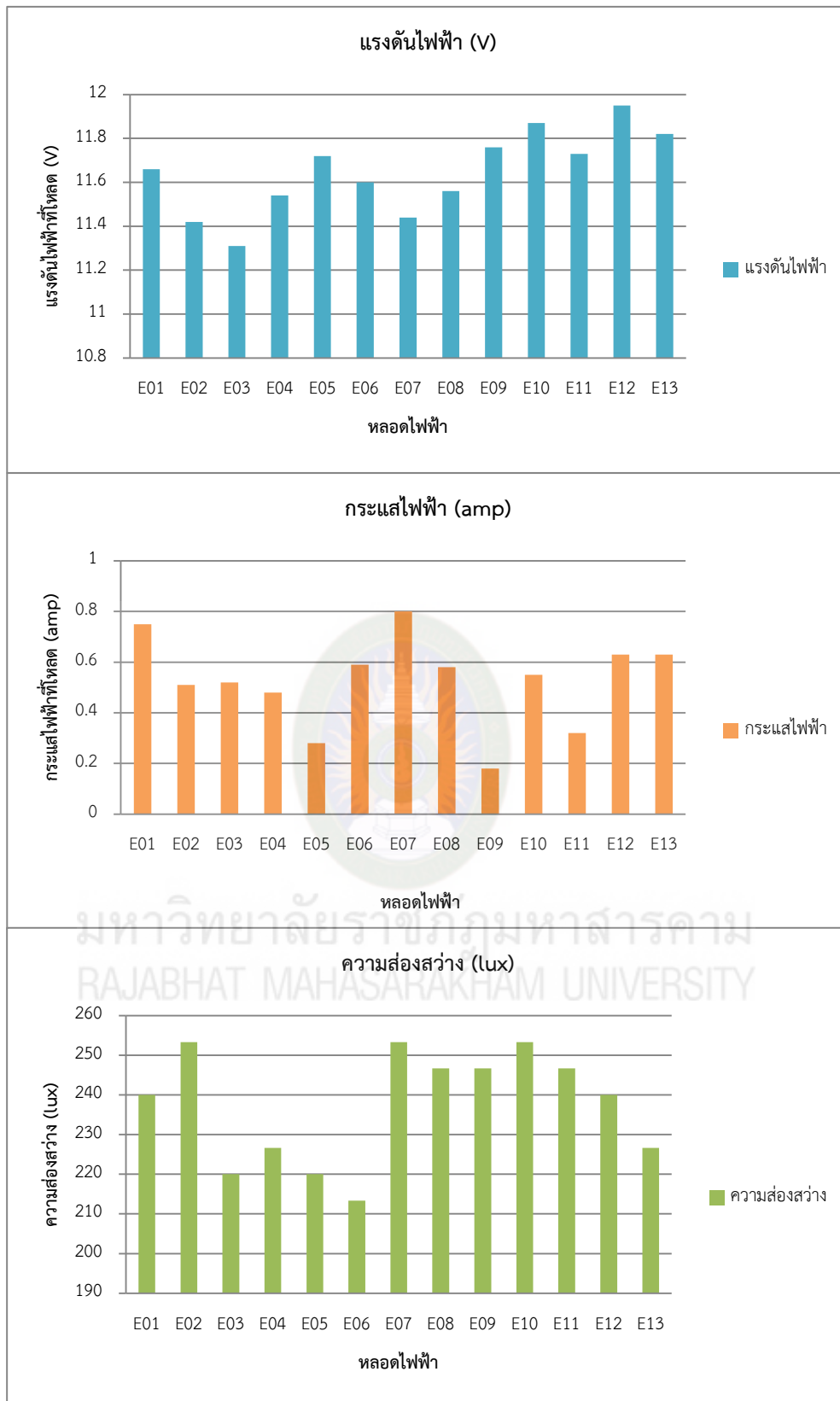
รูปที่ 4.8 ค่าแรงดันไฟฟ้าที่โหลด ค่ากระแสไฟฟ้าที่โหลด และค่าความส่องสว่าง (โซนB)



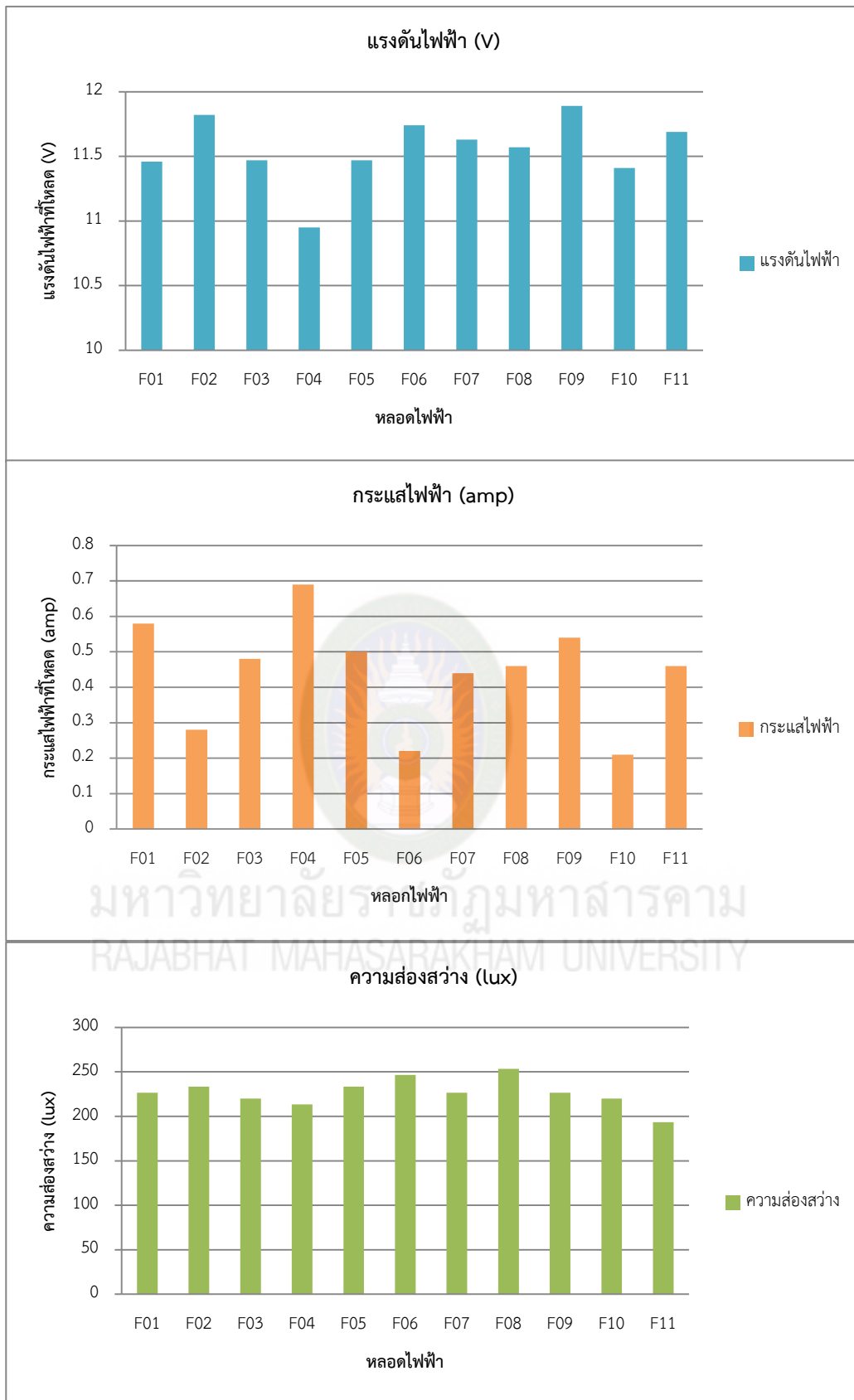
รูปที่ 4.9 ค่าแรงดันไฟฟ้าที่โหลด ค่ากระแสไฟฟ้าที่โหลด และค่าความส่องสว่าง (โซนC)



รูปที่ 4.10 ค่าแรงดันไฟฟ้าที่โหลด ค่ากระแสไฟฟ้าที่โหลด และค่าความส่องสว่าง (โซนD)



รูปที่ 4.11 ค่าแรงดันไฟฟ้าที่โหลด ค่ากระแสไฟฟ้าที่โหลด และค่าความส่องสว่าง (โซนE)



รูปที่ 4.12 ค่าแรงดันไฟฟ้าที่โหลด ค่ากระแสไฟฟ้าที่โหลด และค่าความส่องสว่าง (โซนF)

จากตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.7 – ภาพที่ 4.12 พบว่า บริเวณโซน A01 – A08 แรงดันไฟฟ้าที่ออกไปสู่หลอดไฟ LED มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 11.77 ± 0.29 V มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 10.04 ± 1.34 V โซน B01 – B10 แรงดันไฟฟ้าที่เฉลี่ยสูงสุดมีค่าเท่ากับ 12.39 ± 0.35 V มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 10.49 ± 0.17 V โซน C01 – C09 มีค่าแรงดันไฟฟ้าที่เฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 11.82 ± 0.22 V มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 10.91 ± 0.47 V โซน D01 – D09 มีค่าแรงดันไฟฟ้าที่เฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 11.93 ± 0.17 V มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 11.31 ± 0.42 V โซน E01 – E13 มีค่าเฉลี่ยแรงดันไฟฟ้าที่เฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 11.95 ± 0.30 V มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 11.31 ± 0.40 V และโซน F01 – F11 มีค่าเฉลี่ยแรงดันไฟฟ้าที่เฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 11.89 ± 0.04 V มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 10.95 ± 0.86 V

กระแสไฟฟ้าที่ผ่านหลอด LED พบว่า บริเวณโซน A01- A08 มีค่าเฉลี่ยของกระแสไฟฟ้าที่ผ่านหลอด LED สูงสุดเท่ากับ 1.11 ± 0.65 amp มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 0.48 ± 0.21 amp โซน B01- B10 มีค่าเฉลี่ยของกระแสไฟฟ้าที่ผ่านหลอด LED สูงสุดเท่ากับ 1.22 ± 0.50 amp มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 0.75 ± 0.78 amp โซน C01- C09 มีค่าเฉลี่ยของกระแสไฟฟ้าที่ผ่านหลอด LED สูงสุดเท่ากับ 1.11 ± 0.95 amp มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 0.76 ± 0.74 amp โซน D01- D09 มีค่าเฉลี่ยของกระแสไฟฟ้าที่ผ่านหลอด LED สูงสุดเท่ากับ 1.21 ± 0.85 amp มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 0.29 ± 0.12 amp โซน E01- E13 มีค่าเฉลี่ยของกระแสไฟฟ้าที่ผ่านหลอด LED สูงสุดเท่ากับ 0.80 ± 0.12 amp มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 0.18 ± 0.04 amp และโซน F01- F11 มีค่าเฉลี่ยของกระแสไฟฟ้าที่ผ่านหลอด LED สูงสุดเท่ากับ 0.69 ± 0.25 amp มีค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 0.21 ± 0.19 amp

อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศบริเวณโซน A01 – A08 มีค่าเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 28.53 ± 1.79 °C มีค่าเฉลี่ยต่ำสุด เท่ากับ 27.60 ± 2.42 °C โซน B01 – B10 มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของอากาศสูงสุด เท่ากับ 26.69 ± 0.65 °C ค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 26.29 ± 0.28 °C โซน C01 – C09 มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของอากาศสูงสุด เท่ากับ 27.13 ± 0.81 °C ค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 26.53 ± 0.38 °C โซน D01 – D09 มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของอากาศสูงสุด เท่ากับ 28.65 ± 1.17 °C ค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 26.87 ± 0.63 °C โซน E01 – E13 มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของอากาศสูงสุด เท่ากับ 28.04 ± 1.31 °C ค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 24.06 ± 4.15 °C และโซน F01 – F11 มีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของอากาศสูงสุด เท่ากับ 27.32 ± 1.24 °C ค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 26.33 ± 0.40 °C

ความต้านทานของหลอดไฟ LED โซน A01 – A08 พบว่ามีค่าเฉลี่ยของความต้านทานของหลอดไฟ LED สูงสุดเท่ากับ 30.42 ± 4.45 ohm ค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 25.93 ± 9.65 ohm โซน B01 – B10 พบว่ามีค่าเฉลี่ยของความต้านทานของหลอดไฟ LED สูงสุดเท่ากับ 18.98 ± 4.76 ohm ค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 17.14 ± 4.13 ohm โซน C01 – C09 พบว่ามีค่าเฉลี่ยของความต้านทานของหลอดไฟ LED สูงสุดเท่ากับ 18.12 ± 6.67 ohm ค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 15.49 ± 3.85 ohm โซน D01 – D09 พบว่ามีค่าเฉลี่ยของความต้านทานของหลอดไฟ LED สูงสุดเท่ากับ 18.16 ± 3.91 ohm ค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 14.55 ± 1.96 ohm โซน E01 – E13 มีค่าเฉลี่ยของความต้านทานของหลอดไฟ LED สูงสุดเท่ากับ 17.29 ± 3.19 ohm ค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 13.78 ± 0.29 ohm และโซน F01 – F11 พบว่ามีค่าเฉลี่ยของความต้านทานของหลอดไฟ LED สูงสุดเท่ากับ 17.19 ± 1.93 ohm ค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 11.98 ± 2.27 ohm

ค่าความส่องสว่างของหลอดไฟLED พบว่า โชนA01 – A08 มีค่าเฉลี่ยของความส่องสว่างของหลอดไฟLED สูงสุดมีค่าเท่ากับ 340 ± 71.18 lux ค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 206.66 ± 82.19 lux โชนB01 – B10 มีค่าเฉลี่ยของความส่องสว่างของหลอดไฟLED สูงสุดมีค่าเท่ากับ 306.66 ± 49.88 lux ค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 186.66 ± 24.94 lux โชนC01 – C09 มีค่าเฉลี่ยของความส่องสว่างของหลอดไฟLED สูงสุดมีค่าเท่ากับ 293 ± 16.93 lux ค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 226.66 ± 57.34 lux โชนD01 – D09 มีค่าเฉลี่ยของความส่องสว่างของหลอดไฟLED สูงสุดมีค่าเท่ากับ 266.66 ± 37.71 lux ค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 213.33 ± 9.24 lux

โชนE01 – E13 มีค่าเฉลี่ยของความส่องสว่างของหลอดไฟLED สูงสุดเท่ากับ 253 ± 9.42 lux ค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 213.33 ± 9.42 lux และโชนF01 – F11 มีค่าเฉลี่ยของความส่องสว่างของหลอดไฟLED สูงสุดมีค่าเท่ากับ 253.30 ± 24.94 lux ค่าเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 193.3 ± 52.49 lux

4.3 ผลการทำงานของแผงโซลาร์เซลล์ และผลการทำงานของจ่ายโหลด (หลอดไฟ LED) ในระบบไฟส่องถนน

ผลการทำงานของแผงโซลาร์เซลล์ และผลการทำงานของจ่ายโหลดในระบบไฟส่องถนน รายละเอียด ดังตารางที่ 4.3 และภาพที่13 – ภาพที่18

ตารางที่ 4.3 ค่าการเก็บประจุของแบตเตอรี่ในเวลากลางวัน และค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของหลอดไฟ LED

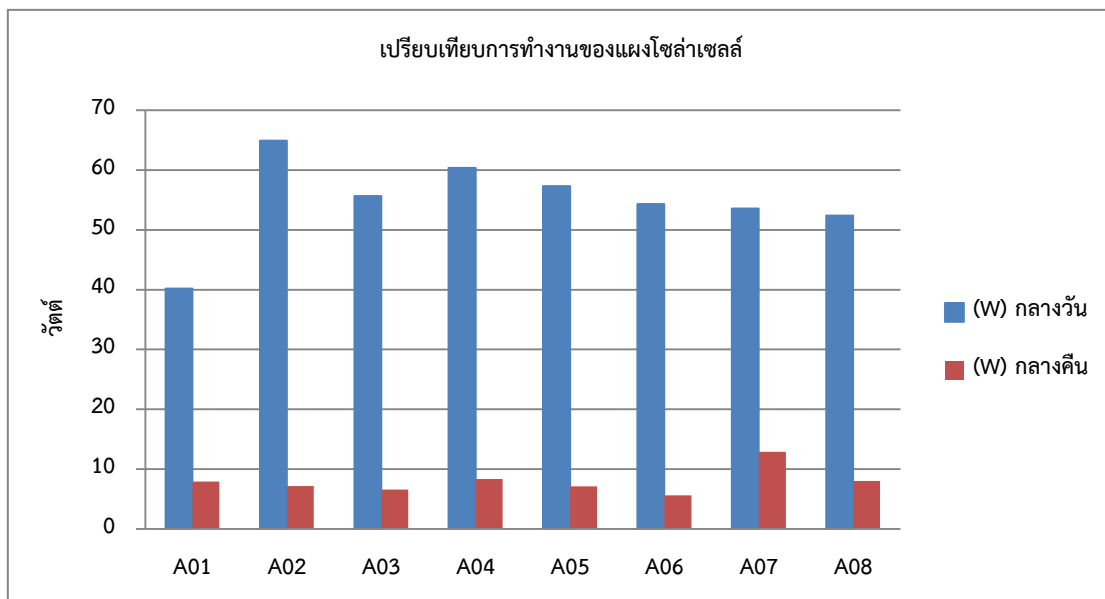
หลอดไฟที่	การเก็บประจุของแบตเตอรี่ในเวลากลางวัน			การใช้พลังงานไฟฟ้าของหลอดไฟ LED ในเวลากลางคืน		
	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (amp.)	กำลังไฟฟ้า (W)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (amp.)	กำลังไฟฟ้า (W)
A01	12.00	3.35	40.2	10.04	0.79	7.93
A02	13.75	4.72	64.9	11.77	0.61	7.17
A03	12.56	4.43	55.64	11.37	0.58	6.59
A04	12.93	4.67	60.38	11.41	0.73	8.32
A05	12.46	4.60	57.31	11.45	0.62	7.09
A06	12.81	4.26	54.31	11.74	0.48	5.63
A07	12.75	4.20	53.55	11.61	1.11	12.88
A08	12.48	4.20	52.41	11.43	0.70	8.00
B01	13.29	2.90	38.54	11.96	0.92	11.00

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

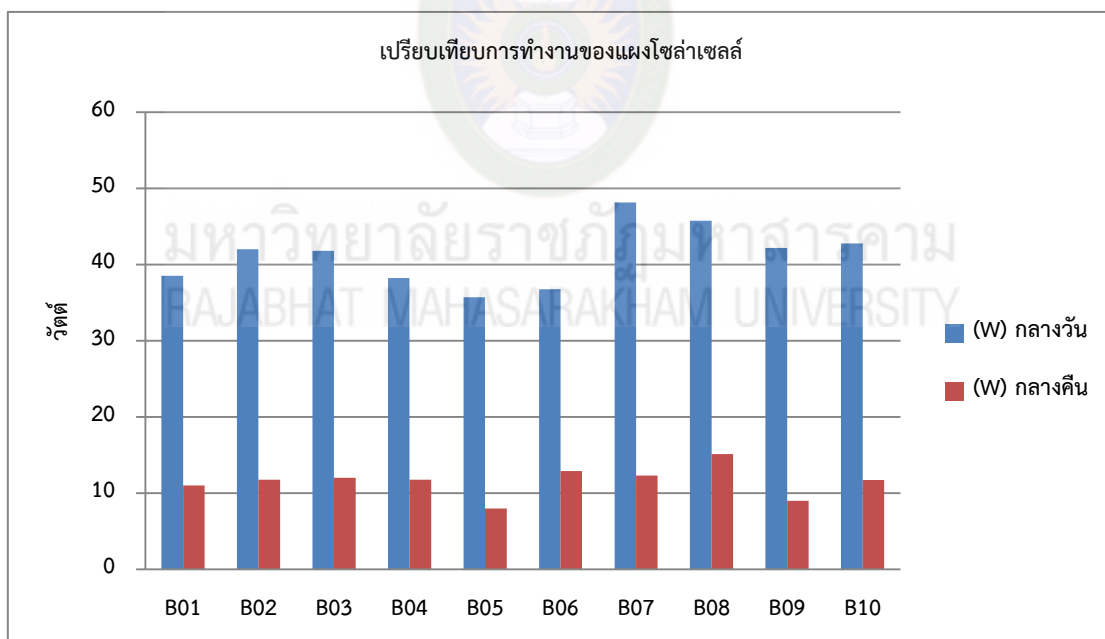
หลอดไฟที่	การเก็บประจุของแบตเตอรี่ในเวลากลางวัน			การใช้พลังงานไฟฟ้าของหลอดไฟ LED ในเวลากลางคืน		
	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (amp.)	กำลังไฟฟ้า (W)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (amp.)	กำลังไฟฟ้า (W)
B02	13.56	3.10	42.03	12.00	0.98	11.76
B03	13.19	3.17	41.81	11.92	1.01	12.01
B04	13.00	2.94	38.22	11.89	0.99	11.77
B05	12.07	2.96	35.72	10.49	0.76	7.97
B06	13.42	2.74	36.77	11.93	1.08	12.88
B07	14.08	3.42	48.15	11.82	1.04	12.29
B08	13.78	3.32	45.75	12.39	1.22	15.11
B09	13.70	3.08	42.19	11.98	0.75	8.98
B10	13.20	3.24	42.76	11.94	0.98	11.70
C01	13.03	4.30	56.02	11.77	0.83	9.76
C02	13.43	4.37	58.68	11.82	1.05	12.41
C03	13.47	4.29	57.78	11.50	1.05	12.07
C04	14.53	3.74	54.34	11.61	0.95	11.02
C05	13.08	3.23	42.24	11.47	0.96	11.01
C06	13.04	3.46	45.11	11.57	0.76	8.79
C07	13.38	3.88	51.91	11.63	1.11	12.90
C08	12.34	3.61	44.54	11.01	0.83	9.13
C09	14.14	3.32	46.94	10.91	0.93	10.14
D01	13.15	3.76	49.44	11.70	0.64	7.48
D02	12.53	3.59	44.98	11.52	0.48	5.52
D03	12.15	3.22	39.12	11.31	1.21	13.68
D04	12.34	3.66	45.16	11.38	0.56	6.37
D05	12.77	3.72	47.50	11.69	0.29	3.39
D06	13.27	3.75	49.65	11.93	0.80	9.54
D07	12.56	3.56	44.71	11.72	0.38	4.45
D08	12.36	1.64	18.04	11.58	0.55	6.36
D09	12.22	1.48	18.08	11.37	0.81	9.20
E01	12.26	1.88	23.04	11.66	0.75	8.74
E02	12.73	2.75	35.00	11.42	0.51	5.82
E03	12.59	2.67	33.61	11.31	0.52	5.88
E04	12.72	2.00	25.44	11.54	0.48	5.53
E05	12.77	2.18	27.83	11.72	0.28	3.28

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

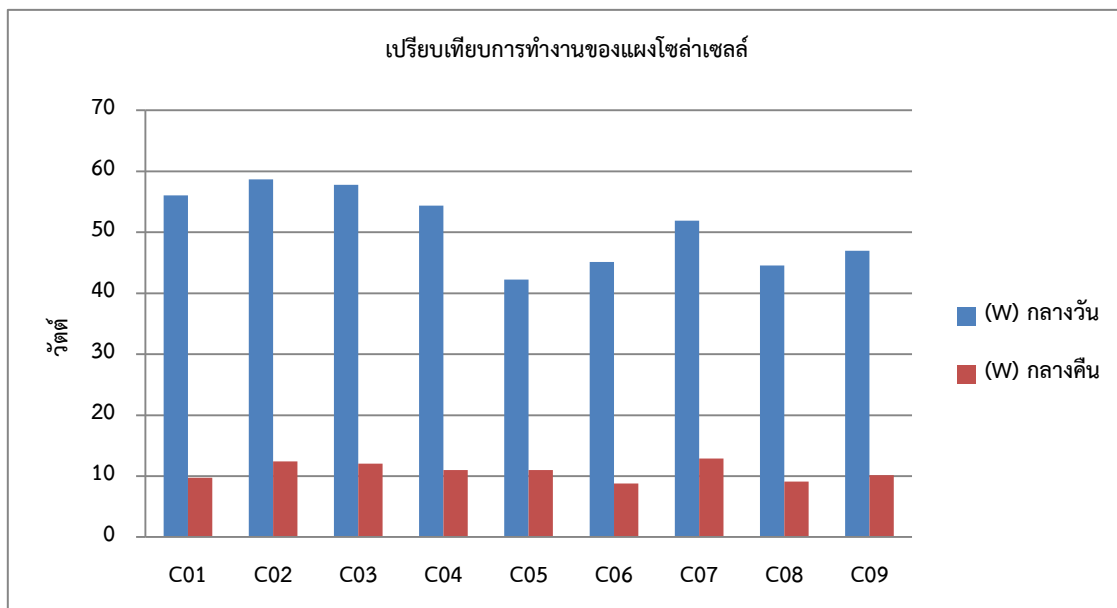
หลอดไฟที่	การเก็บประจุของแบตเตอรี่ในเวลากลางวัน			การใช้พลังงานไฟฟ้าของหลอดไฟ LED ในเวลากลางคืน		
	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (amp.)	กำลังไฟฟ้า (W)	แรงดันไฟฟ้า (V)	กระแสไฟฟ้า (amp.)	กำลังไฟฟ้า (W)
E06	13.13	2.33	30.59	11.60	0.59	6.84
E07	12.45	1.41	17.55	11.44	0.80	9.15
E08	12.77	2.11	26.94	11.56	0.58	6.70
E09	12.94	2.50	32.35	11.76	0.18	2.11
E10	13.44	2.85	38.30	11.87	0.55	6.52
E11	12.93	1.89	24.43	11.73	0.32	3.75
E12	13.33	2.09	27.85	11.95	0.63	7.52
E13	12.76	2.25	28.71	11.82	0.63	7.44
F01	12.09	1.78	21.52	11.46	0.58	6.64
F02	12.50	2.15	26.87	11.82	0.28	3.30
F03	12.74	1.79	22.80	11.47	0.48	5.50
F04	12.06	0.79	9.52	10.95	0.69	7.55
F05	12.55	1.58	19.82	11.47	0.50	5.73
F06	13.82	1.80	24.87	11.74	0.22	2.58
F07	13.30	2.65	35.24	11.63	0.44	5.11
F08	12.70	2.44	30.98	11.57	0.46	5.32
F09	13.11	1.65	21.63	11.89	0.54	6.42
F10	12.78	2.00	25.56	11.41	0.21	2.39
F11	12.61	1.30	16.39	11.69	0.46	5.37



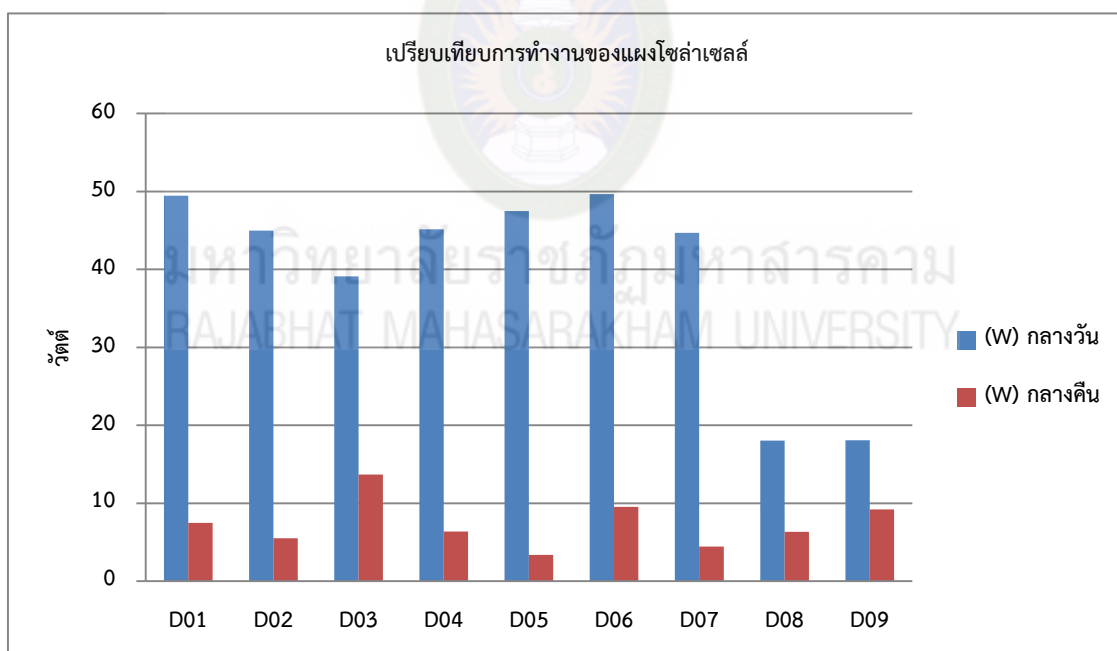
ภาพที่ 4.13 เปรียบเทียบการทำงานของแผงโซลาร์เซลล์ในเวลากลางวัน และกลางคืน(โซน A)



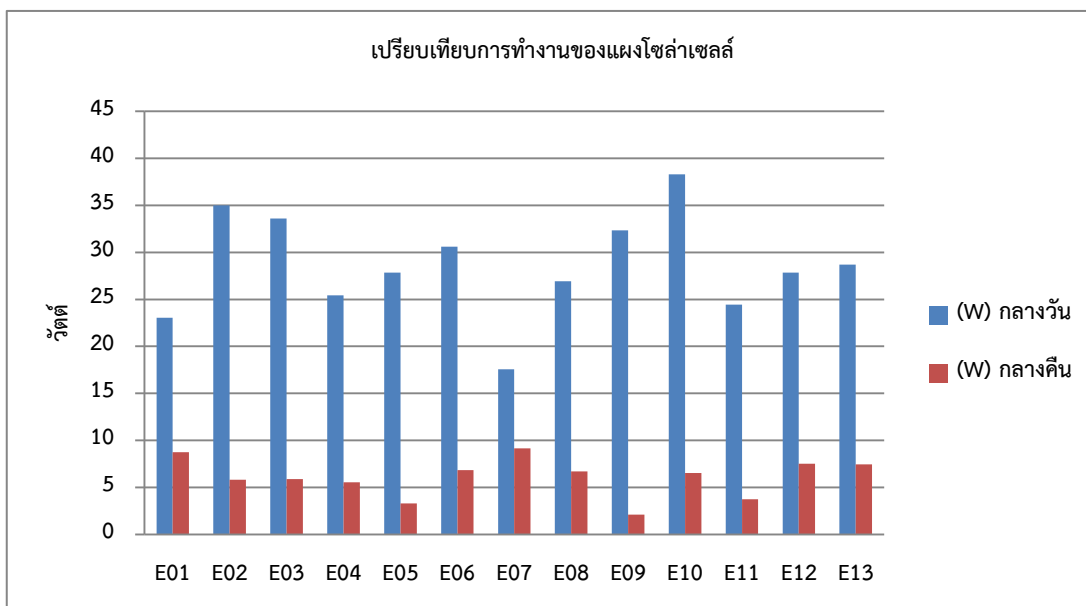
ภาพที่ 4.14 เปรียบเทียบการทำงานของแผงโซลาร์เซลล์ในเวลากลางวัน และกลางคืน(โซน B)



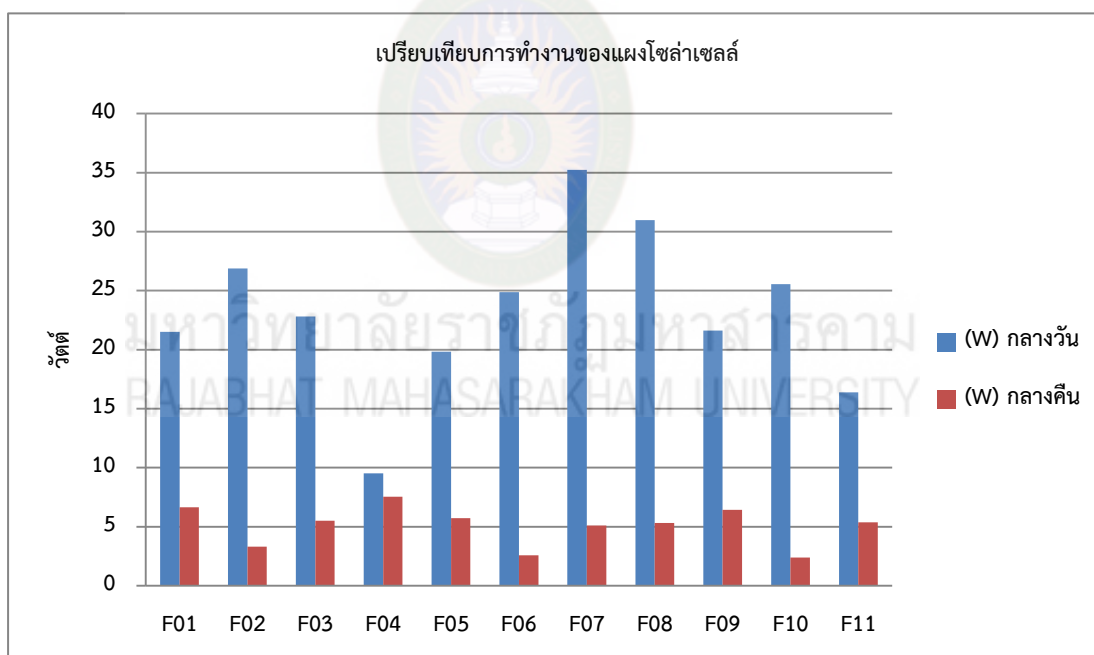
ภาพที่ 4.15 เปรียบเทียบการทำงานของแผงโซลาร์เซลล์ในเวลากลางวัน และกลางคืน(โซน C)



ภาพที่ 4.16 เปรียบเทียบการทำงานของแผงโซลาร์เซลล์ในเวลากลางวัน และกลางคืน(โซน D)



ภาพที่ 4.17 เปรียบเทียบการทำงานของแผงโซลาร์เซลล์ในเวลากลางวัน และกลางคืน (โซน E)



ภาพที่ 4.18 เปรียบเทียบการทำงานของแผงโซลาร์เซลล์ในเวลากลางวัน และกลางคืน (โซน F)

จากตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.13 – ภาพที่ 4.18 แสดงค่าการเก็บประจุของแบตเตอรี่ในเวลา กลางวัน โดยทำการวัดจากค่าแรงดันไฟฟ้าที่แผงโซลาร์เซลล์กับกระแสไฟฟ้าที่ชาร์จเข้าสู่แบตเตอรี่ และค่า การใช้พลังงานไฟฟ้าของหลอด (หลอดLED) ซึ่งได้จากค่าการแรงดันไฟฟ้าออกไปสู่หลอดLED และค่า กระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ที่ออกไปสู่หลอดไฟLED พบว่าในเวลากลางวัน แผงโซลาร์เซลล์สามารถผลิต แรงดัน และชาร์จประจุไฟฟ้าเข้าสู่แบตเตอรี่ ทำให้ได้ค่าปริมาณการเก็บพลังงาน (ค่ากำลังไฟฟ้า W) และ พบว่ามีค่าปริมาณการเก็บพลังงานสูงกว่าค่าปริมาณการใช้พลังงานในเวลากลางคืนในทุกโซน (A-F) จาก ข้อมูลจะพบว่าแผงโซลาร์เซลล์ของเสาไฟฟ้าต้นที่ A02 มีค่ากำลังไฟฟ้าสูงมากที่สุด (64.9 W) และในโซน A โดยส่วนใหญ่จะมีค่าการเก็บพลังงานไฟฟ้าสูงกว่าทุกโซน

สำหรับการใช้พลังงานในเวลากลางคืน ซึ่งสามารถดูข้อมูลได้จากค่า กำลังไฟฟ้า (W) พบว่าเสาไฟ ไฟต้นที่ B08 มีค่าการใช้พลังงานสูงสุด จากภาพที่ 4 จะเห็นได้ว่าการเก็บพลังงานจากแผงโซลาร์เซลล์ของ ทุกแผง จะมีค่าสูงกว่าปริมาณการใช้พลังงานในเวลากลางคืนของหลอดไฟLED ทุกหลอด



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยและพัฒนาพลังงานทดแทน โดยทำการศึกษาระบบต้นแบบของไฟส่องสว่างถนนที่ใช้พลังงานทดแทนจากพลังงานแสงอาทิตย์ และศึกษาการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยโซลาร์เซลล์ เพื่อใช้ในระบบไฟส่องสว่างถนน ภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม บริเวณ โซน A – F จำนวน 60 ต้น สามารถสรุป อภิปรายและข้อเสนอแนะดังนี้

5.1 สรุปผล และอภิปรายผล

แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 80 วัตต์สามารถผลิตแรงดันกระแสไฟฟ้าในทุกโซน A – F มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 12.06 – 14.06 V และสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าเข้าสู่แบตเตอรี่ในช่วงเวลากลางวัน โดยมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 0.97 – 4.72 amp โดยโซน A มีแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ยที่แผงโซลาร์เซลล์สูงสุด เนื่องจากบริเวณโซน A เป็นโซนที่ปลอดโปร่ง ไม่มีต้นไม้ หรือตึกอาคารเรียนบดบังแผงโซลาร์เซลล์ ซึ่งการชาร์จประจุจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมว่ามีต้นไม้ หรืออาคารบดบังแผงโซลาร์เซลล์หรือไม่ และยังขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ ท้องฟ้ามีเมฆหรือไม่ หากมีเมฆบดบังแสงอาทิตย์จะมีผลต่อการชาร์จประจุไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์เข้าสู่แบตเตอรี่ จากการที่แผงโซลาร์เซลล์โซน A สามารถผลิตแรงดันไฟฟ้าได้ค่าเฉลี่ยสูง ส่งผลให้กระแสไฟฟ้าที่ชาร์จเข้าสู่แบตเตอรี่ในโซน A สูงกว่าในโซนอื่น และพบว่าแรงดันไฟฟ้าที่แผงโซลาร์เซลล์มีค่าสอดคล้องกับการชาร์จไฟเข้าสู่แบตเตอรี่

สำหรับไฟฟ้าที่ออกไปสู่หลอดไฟ LED ในทุกโซนมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 10.04 – 11.95 V และมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านหลอดไฟ LED ในทุกโซนมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.18 – 1.22 amp สำหรับความส่องสว่างของหลอดไฟ LED มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 186 – 340 lux ที่ระยะความสูง 3 เมตรซึ่งถือว่าเพียงพอตามหลักวิศวกรรม ในการส่องสว่างถนนในหลอดไฟ LED ทุกหลอดสามารถส่องสว่างถนนได้ตลอดทั้งคืน (12 ชั่วโมง) ซึ่งสามารถดูได้จากปริมาณการเก็บพลังงานจากโซลาร์เซลล์สูงกว่าปริมาณการใช้งานในเวลากลางวัน นั่นคือแสดงว่ามีพลังงานมีพลังงานเพียงพอในการใช้ส่องสว่างในเวลากลางวันได้ตลอดทั้งคืน

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรออกแบบให้แผงโซลาร์เซลล์หมุนตามทิศทางการหมุนของดวงอาทิตย์แบบอัตโนมัติ
2. ควรมีการศึกษาและออกแบบไฟส่องสว่างถนนที่ใช้พลังงานทดแทนอื่นร่วมกับพลังงานแสงอาทิตย์