

การประเมินผลระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และแบตเตอรี่แบบวีอาร์เอฟภายหลังการติดตั้งสำหรับ
การรักษาเสถียรภาพและลดค่าไฟฟ้า : กรณีศึกษาโรงพยาบาลทั่วไป



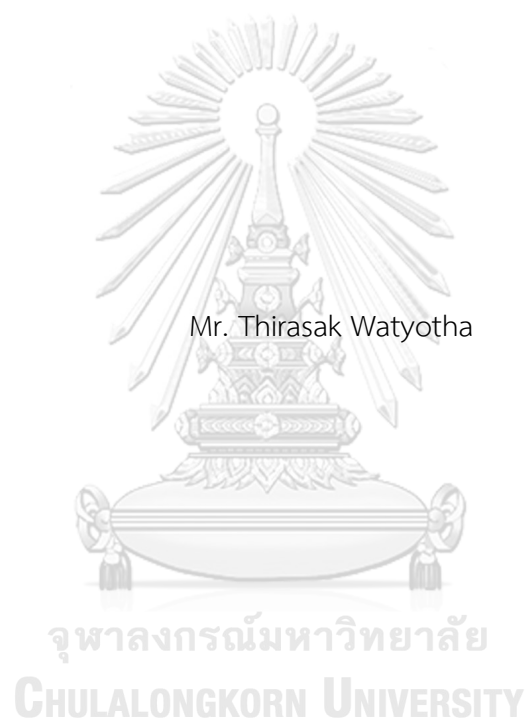
สารนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน สหสาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2563

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Post Installation Performance Assessment of Solar PV and Vanadium Redox Flow
Battery (VRF) System for Power Stabilizing and Cost Saving
: A case of general hospital.



An Independent Study Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Energy Technology and Management
Inter-Department of Energy Technology and Management
GRADUATE SCHOOL
Chulalongkorn University
Academic Year 2020
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อสารนิพนธ์

การประเมินผลระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และ
แบตเตอรี่แบบวีอาร์เอฟภายหลังการติดตั้งสำหรับการรักษา
เสถียรภาพและลดค่าไฟฟ้า : กรณีศึกษาโรงพยาบาลทั่วไป
นายธีระศักดิ์ วาทโยธา
เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์

โดย

สาขาวิชา

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับสารนิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบสารนิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.พิชญ รัชฎาวงศ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ธีระศักดิ์ วาทยโธธา : การประเมินผลระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และแบตเตอรี่แบบวีอาร์
 เอฟภายหลังการติดตั้งสำหรับการรักษาเสถียรภาพและลดค่าไฟฟ้า : กรณีศึกษาโรงพยาบาล
 ทั่วไป. (Post Installation Performance Assessment of Solar PV and Vanadium
 Redox Flow Battery (VRF) System for Power Stabilizing and Cost Saving: A case
 of general hospital.) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ผศ. ดร.ฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์

โดยทั่วไปการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และแบตเตอรี่เพื่อสำรองไฟฟ้านั้น
 มักจะมีการประเมินโครงการก่อนการติดตั้งเสมอ ในส่วนของงานศึกษานี้จะเป็นการประเมินผลการทำงาน
 ที่เกิดขึ้นภายหลังการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาของโรงพยาบาล เพื่อลดภาระ
 ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าและการนำแบตเตอรี่ Vanadium Redox Flow (VRF) มาใช้ในการรักษา
 เสถียรภาพของระบบไฟฟ้า ซึ่งโรงพยาบาลที่ศึกษาตั้งอยู่ในพื้นที่ห่างไกลสภาพพื้นที่เป็นภูเขาสูง อยู่ใน
 พื้นที่ปลายระบบสายส่งจึงมีเหตุการณ์ไฟตกไฟดับบ่อย รวมทั้งมีภาระค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าที่สูง
 โรงพยาบาลจึงได้ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาเพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า
 และนำแบตเตอรี่มาใช้กักเก็บพลังงานเพื่อสำรองในยามฉุกเฉินกรณีการเกิดไฟตกไฟดับ โดยแบตเตอรี่จะ
 จ่ายไฟในส่วนที่สำคัญคือ ห้องฉุกเฉิน ห้อง Lab ห้องคลอด ห้องผ่าตัด ในการศึกษาจะทำการจัดเก็บข้อมูล
 จากระบบตรวจวัดและบริหารจัดการพลังงานภายในอาคารของโรงพยาบาลผ่านระบบออนไลน์ ได้แก่
 ข้อมูลผลการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ความเข้มแสงอาทิตย์ สถานะการทำงานของแบตเตอรี่ และ
 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของโรงพยาบาล ตั้งแต่เดือน พฤษภาคม 2561 ถึงเดือน เมษายน 2562 จาก
 การศึกษาพบว่า ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 175,255.1 kWh/ปี สามารถ
 ประหยัดค่าไฟฟ้าที่อัตราค่าไฟเฉลี่ยที่ 4.04 บาท คิดเป็นเงินประมาณ 708,030 บาท คิดเป็นผลประหยัด
 พลังงานเทียบเท่าพื้ดินน้ำมันดิบได้เท่ากับ 0.0151 (ktoe/ปี) ซึ่งช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าของ
 โรงพยาบาลได้ประมาณ 56.2% ของความต้องการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาดังกล่าว และระบบกักเก็บพลังงาน
 ของแบตเตอรี่มีวงรอบการชาร์จและดีสชาร์จทั้งหมด 115 ครั้ง ซึ่งหมายถึงมีเหตุการณ์ไฟตกไฟดับจำนวน
 115 ครั้ง โดยแบตเตอรี่จะทำงานอย่างต่อเนื่องทันทีโดยไม่รู้สึกรู้สึว่าเกิดไฟตกหรือไฟดับ สามารถช่วยรักษา
 เสถียรภาพทางไฟฟ้าให้เกิดความมั่นคงทางไฟฟ้า ในห้องที่มีความสำคัญ ในกรณีไฟตกไฟดับ เพื่อไม่ให้เกิด
 ความเสียหายต่ออุปกรณ์ทางการแพทย์ ยาหรือวัคซีน รวมทั้งการรักษาในกรณีฉุกเฉินได้อย่างต่อเนื่อง

สาขาวิชา	เทคโนโลยีและการจัด	ลายมือชื่อนิสิต
	การพลังงาน	
ปีการศึกษา	2563	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

6087511420 : MAJOR ENERGY TECHNOLOGY AND MANAGEMENT

KEYWORD: SOLAR PV

Thirasak Watyotha : Post Installation Performance Assessment of Solar PV and Vanadium Redox Flow Battery (VRF) System for Power Stabilizing and Cost Saving: A case of general hospital. . Advisor: Asst. Prof. THITISAK BOONPRAMOTE, Ph.D.

Generally, the installations of solar cell electricity generation systems and back-up batteries require project evaluations before installations. This study evaluates the outcomes of installing a solar cell electricity generation system on the rooftop of a hospital to reduce electricity costs. The study also evaluates the usage of Vanadium Redox Flow (VRF) batteries to increase electrical system stability. The case study hospital is located far away from the city on a high mountain at the end of the electrical delivery system, so it faces regular power outages and high electricity costs. The case study hospital, therefore, installed a solar cell electricity generation system on the rooftop to reduce electricity costs and uses batteries to store energy as back-ups during the emergencies of power outages. Wherein the batteries will distribute electricity to important parts of the hospital including the ER, labs, labor rooms, and operation rooms. The study collects data from the hospital's energy measuring and managing systems through online systems. The data collected include electricity production from solar cells, Sun light intensity, batteries' performance status, and the hospital's energy consumption from May 2018 to April 2019. The study's result found that the solar cell energy generation system can produce 175,255.1 kWh/year, can reduce per unit electricity costs by 4.04 Baht, which has the monetary value of 708,030 Baht, and has the ton of oil equivalent equals to 0.0151 ktoe/year. This reduces the hospital's electricity costs by 56.2% of the demanded electricity in the mentioned period. The back-up battery storage system was charged and discharged 115 times, meaning 115 times of power outages wherein the batteries started working instantly, so people in the hospital will not notice the power outages. This helps preserve electrical stability in various important rooms during power outages to prevent damages to medical equipment, medicines or vaccines, and emergency medical procedures.

Field of Study: Energy Technology and Management Student's Signature

Academic Year: 2020 Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. จิตติศักดิ์ บุญปราโมทย์ ที่ได้ให้ความกรุณาให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางในการเขียน การศึกษา รวมทั้งแนวทางในการแก้ไขปัญหา ที่มีประโยชน์เป็นอย่างยิ่ง ในการศึกษาและเขียนสารนิพนธ์นี้

ขอขอบพระคุณ ท่านอาจารย์ผู้สอนในหลักสูตรสาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงานทุกท่านเป็นอย่างสูงยิ่ง ที่ให้ความกรุณาถ่ายทอดวิชาความรู้ด้านพลังงาน ตลอดจนเจ้าหน้าที่ทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือให้คำแนะนำที่มีประโยชน์อย่างมากด้วยดีเสมอมา และต้องขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งสำหรับผู้ประสานงานโครงการที่ได้อนุญาตให้เข้าไปเก็บข้อมูลในระบบและได้ให้ข้อมูลคำแนะนำต่างๆ เป็นอย่างดี จึงขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ธีระศักดิ์ วาทยธา



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.4 ขั้นตอนวิธีการ.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์.....	4
2.1.1 หลักการพื้นฐานของการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์	4
2.1.2 ทฤษฎีพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์	5
2.1.3 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์	6
2.1.4 การนำเอาแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้งาน.....	11
2.1.5 ปัจจัยเบื้องต้นที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	13
2.1.6 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์	15
2.1.8 อุปกรณ์เบื้องต้นสำหรับการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์	19

2.1.9 การวิเคราะห์ผลตอบแทนทางการเงิน.....	23
2.2 ทฤษฎีเบื้องต้นและหลักการทำงานของแบตเตอรี่ Vanadium Redox Flow (VRF).....	24
2.2.1 ปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี ของแบตเตอรี่ VRF	24
2.2.2 ส่วนประกอบของ VANADIUM REDOX FLOW BATERIES.....	26
2.2.3 ลักษณะการใช้งานของแบตเตอรี่ (VRF Applications)	30
2.2.4 ข้อดีข้อเสียของแบตเตอรี่วานาเดียมรีดอกซ์โฟลว์.....	31
2.3 คำนิยามของพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับแบตเตอรี่เบื้องต้น.....	32
2.4 ระบบสำรองไฟฟ้าในโรงพยาบาล.....	34
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	35
บทที่ 3 วิธีการศึกษา	37
3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล	37
3.2 ข้อมูลเบื้องต้นของกรณีโรงพยาบาลที่ทำการศึกษา	38
3.3 ข้อมูลระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ของโรงพยาบาล.....	38
3.4 ประมาณการปริมาณกำลังผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ของโรงพยาบาลในเบื้องต้น.....	40
3.5 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของโรงพยาบาล	41
3.6 การหาผลประโยชน์ที่เกิดขึ้น.....	41
3.7 ข้อมูลระบบแบตเตอรี่ (Vanadium Redox Flow Battery : VRF)	42
3.7.1 ข้อมูลทั่วไปของแบตเตอรี่.....	42
3.7.2 คุณสมบัติของแบตเตอรี่ที่เกี่ยวข้องกับกรณีศึกษา	43
3.7.3 ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง.....	44
บทที่ 4 ผลการศึกษา.....	46
4.1 ปริมาณการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์	46
4.1.1 ปริมาณการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จากการคำนวณประมาณการผลิตเบื้องต้น.....	46

4.1.2 ปริมาณการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จากการเก็บข้อมูลการใช้งานจริง.....	48
4.1.3 การประเมินการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์.....	53
4.2 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของโรงพยาบาล	56
4.2.1 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าก่อนติดตั้งระบบ	56
4.2.2 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าหลังจากการติดตั้งระบบ	56
4.3 ผลการประหยัดไฟฟ้าและผลตอบแทนที่เกิดจากติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์.....	58
4.3.1 การคำนวณผลประหยัดจากการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์.....	58
4.3.2 การวิเคราะห์ผลตอบแทนทางการเงิน.....	58
4.4 สถานะการทำงานของแบตเตอรี่	59
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ	65
5.1 ประมาณการกำลังการผลิตและผลการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์	65
5.2 การประเมินการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์	66
5.3 ผลประหยัดที่ได้จากการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์	68
5.4 ผลตอบแทนทางการเงิน.....	69
5.5 ผลการทำงานของแบตเตอรี่ VRF	69
5.6 ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ	71
บรรณานุกรม.....	72
ภาคผนวก ก การผลิตไฟในแต่ละวันของแต่ละเดือน	74
ภาคผนวก ข เปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้ากับการผลิตไฟฟ้าเดือนพฤษภาคม 2561- เดือนเมษายน 2562	94
ภาคผนวก ค สถานะการทำงานของแบตเตอรี่แสดงการดิสชาร์จและชาร์จ ในแต่ละเดือนตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2561 ถึงเดือน เมษายน 2562	98
ประวัติผู้เขียน.....	111

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3-1 แสดงฐานข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ระดับตำบลสำหรับประเทศไทยในพื้นที่โครงการ 40	
ตารางที่ 4-1 แสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้าในแต่ละเดือนย้อนหลัง.....	56



สารบัญญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2-1 รังสีดวงอาทิตย์บางส่วนที่ผ่านเข้าสู่ชั้นบรรยากาศของโลก	4
รูปที่ 2-2 การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์.....	6
รูปที่ 2-3 เซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์	7
รูปที่ 2-4 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโพลีคริสตัลไลน์	9
รูปที่ 2-5 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบาง (Thin film).....	10
รูปที่ 2-6 ส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์.....	11
รูปที่ 2-7 การต่อเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อนำมาใช้งาน	12
รูปที่ 2-8 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแส แรงดันไฟฟ้า ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสงค่าต่างๆ. 14	
รูปที่ 2-9 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแส แรงดันไฟฟ้า ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิต่างๆ	15
รูปที่ 2-10 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ	16
รูปที่ 2-11 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า.....	17
รูปที่ 2-12 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน	17
รูปที่ 2-13 PWM Solar Charge Controller และ MPPT Solar Charge Controller	22
รูปที่ 2-14 หลักการทำงานของแบตเตอรี่ Vanadium Redox Flow.....	26
รูปที่ 2-15 แผ่น carbon felt สำหรับใช้กับแบตเตอรี่ VRF.....	27
รูปที่ 2-16 สารละลายอิเล็กโทรไลต์และช่องสำหรับเติมสารละลายอิเล็กโทรไลต์แบตเตอรี่ VRF	27
รูปที่ 2-17 ปุ่มที่ติดตั้งในแบตเตอรี่ VRF	28
รูปที่ 2-18 เซลล์สแต็ก (Cell Stack) ของแบตเตอรี่ VRF	29
รูปที่ 2-19 ลักษณะของถังบรรจุสารละลายอิเล็กโทรไลต์	30
รูปที่ 2-20 เครื่องสำรองไฟฟ้าแบบ UPS และ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	35
รูปที่ 3-1 ระบบตรวจวัดและบริหารจัดการพลังงานภายในอาคารของโรงพยาบาล.....	37

รูปที่ 3-2 ระบบติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์และแบตเตอรี่.....	39
รูปที่ 3-3 แสดง Block Diagram การทำงานของแบตเตอรี่ VRF	42
รูปที่ 4-1 แสดงประมาณการกำลังการผลิตไฟฟ้ารายเดือน.....	47
รูปที่ 4-2 แสดงประมาณการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละเดือน.....	50
รูปที่ 4-3 การผลิตไฟฟ้าสะสมโดยเฉลี่ยต่อวันของแต่ละเดือน	51
รูปที่ 4-4 เปรียบเทียบการผลิตไฟฟ้าวันที่ 8 ม.ค. 62 และวันที่ 29 เม.ย. 62.....	52
รูปที่ 4-5 เปรียบเทียบความเข้มแสงอาทิตย์วันที่ 8 ม.ค. 62 และ 29 เม.ย. 62 (W/m ²).....	53
รูปที่ 4-6 แสดงประมาณการใช้ไฟฟ้าในแต่ละเดือน.....	56
รูปที่ 4-7 เปรียบเทียบการใช้และการผลิตไฟฟ้ารายเดือน	57
รูปที่ 4-8 แสดงจำนวนครั้งการดิสชาร์จ.....	61
รูปที่ 4-9 แสดงจำนวนครั้งการชาร์จ	62

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาโดยเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า (PV grid connected system) เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่จะสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าได้ โดยในกรณีศึกษาโรงพยาบาลประสบปัญหาภาระค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า อีกทั้งตั้งอยู่ในพื้นที่ห่างไกล อยู่ปลายระบบสายส่ง ผู้เข้ารับการรักษาเป็นประชาชนในพื้นที่ และชาวเขาซึ่งเป็นผู้มีรายได้น้อยจึงมีโครงการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา ขนาดกำลังการผลิตติดตั้งรวมประมาณ 204.3 kWp โดยเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เพื่อลดภาระค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าของโรงพยาบาล ทั้งนี้เนื่องจากสถานที่ตั้งของโรงพยาบาลอยู่บนภูเขา และอยู่ปลายระบบสายส่งของการไฟฟ้าในพื้นที่ป่าเขา จึงมีเหตุการณ์ไฟตกไฟดับบ่อย เพื่อรักษา รักษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าจึงได้มีการนำแบตเตอรี่มาใช้ในการกักเก็บพลังงานเพื่อสำรองในยามฉุกเฉินกรณีการเกิดไฟตกไฟดับ โดยแบตเตอรี่จะจ่ายไฟในส่วนของห้องที่มีความสำคัญ (Critical load) คือ ห้องฉุกเฉิน ห้อง Lab ห้องคลอด ห้องผ่าตัด โดยแบตเตอรี่ที่ใช้เป็นชนิด Vanadium Redox Flow Battery (VRF) มีขนาด 10 กิโลวัตต์ (kW) ความจุ 100 กิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh) โดยทำหน้าที่เป็นระบบสำรองพลังงานไฟฟ้าหลักลักษณะคล้ายเป็น UPS (Uninterruptible Power Supply) ที่จะทำการจ่ายไฟให้กับโหลดที่มีความสำคัญก่อนเครื่องสำรองไฟฟ้าดีเซลในกรณีที่เกิดไฟฟ้างตก ไฟฟ้าดับ โดยจะเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าภายในอาคาร ที่ตู้เมนไฟฟ้า (MDB) และอุปกรณ์แปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter) สามารถเชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าแรงต่ำได้ แบตเตอรี่ชนิดนี้มีคุณสมบัติที่สามารถอัดประจุไฟฟ้าเข้าไปในแบตเตอรี่ได้ใหม่หลายครั้งอย่างรวดเร็ว มีการตอบสนองการทำงานในการจ่ายไฟฟ้าได้ไวทำให้ไม่รู้สึกถึงการเกิดไฟตกไฟดับ มีการคายประจุด้วยตัวเองที่ต่ำ ความต้องการในการบำรุงรักษาน้อย สามารถใช้งานแทนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบดีเซล (diesel generators) ได้ อย่างไรก็ตามแบตเตอรี่ชนิดนี้ ในปัจจุบันยังมีราคาค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ชนิดอื่นๆ และยังมีการใช้งานน้อยยังไม่เป็นที่แพร่หลายในประเทศไทย

โดยทั่วไปการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และแบตเตอรี่เพื่อสำรองไฟฟ้านั้น มักจะมีการประเมินโครงการก่อนการติดตั้งเสมอ ในส่วนของงานศึกษานี้จะเป็นการประเมินผลการดำเนินงานที่เกิดขึ้นภายหลังการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และระบบกักเก็บพลังงานของ

แบตเตอรี่ Vanadium Redox Flow (VRF) โดยทำการศึกษาจากการเก็บรวบรวมข้อมูลผลที่เกิดขึ้นจริงของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และผลการทำงานจริงของแบตเตอรี่ จากระบบตรวจวัดและบริหารจัดการพลังงานภายในอาคารของโรงพยาบาลผ่านระบบอินเทอร์เน็ต

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 ประเมินผลการทำงานที่เกิดขึ้นภายหลังการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในการผลิตไฟฟ้าเพื่อช่วยในการประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าของโรงพยาบาล

1.2.2 ประเมินผลการทำงานที่เกิดขึ้นภายหลังการติดตั้งระบบกักเก็บพลังงานด้วย แบตเตอรี่ Vanadium Redox Flow (VRF) ในการรักษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าของโรงพยาบาลสำหรับห้องที่มีความสำคัญ (Critical load) ได้แก่ ห้องฉุกเฉิน ห้อง Lab ห้องคลอด และห้องผ่าตัด

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 ปริมาณการผลิตไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจริงจากระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ช่วงเวลาดังแต่เดือนพฤษภาคม 2561 ถึงเดือน เมษายน 2562 รวมระยะเวลา 12 เดือน หรือ 365 วัน

1.3.2 ปริมาณความเข้มแสงอาทิตย์ (w/m^2) ตามช่วงเวลาตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2561 ถึงเดือน เมษายน 2562 รวมระยะเวลา 12 เดือน หรือ 365 วัน

1.3.3 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของโรงพยาบาล ช่วงเวลาดังแต่เดือนพฤษภาคม 2561 ถึงเดือน เมษายน 2562 รวมระยะเวลา 12 เดือน หรือ 365 วัน

1.3.4 สถานะและผลการทำงานของแบตเตอรี่ สำหรับการเป็นเครื่องสำรองไฟฟ้า ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2561 ถึงเดือน เมษายน 2562 รวมระยะเวลา 12 เดือนหรือ 365 วัน

1.3.5 ประเมินผลการทำงานที่เกิดขึ้นภายหลังการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาสำหรับลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า และระบบแบตเตอรี่ Vanadium Redox Flow (VRF) ในการรักษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า

1.4 ขั้นตอนวิธีการ

1.4.1 การทบทวนวรรณกรรม ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเรื่องต่อไปนี้ ได้แก่

- การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาแบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้า

- ทฤษฎีและหลักการทำงานของแบตเตอรี่ VRF ลักษณะการใช้งานในรูปแบบต่างๆ พารามิเตอร์เบื้องต้นและที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของแบตเตอรี่ VRF

1.4.2 เก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ขนาด 204.3 kW ข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์ ข้อมูลสถานะการทำงานของแบตเตอรี่รุ่นที่ติดตั้ง ข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าของโรงพยาบาล จากระบบการจัดการพลังงานของโรงพยาบาล ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2561 ถึงเดือนเมษายน 2562 รวมระยะเวลา 12 เดือน หรือ 365 วัน

1.4.3 นำข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาทำการวิเคราะห์ เพื่อประเมินผลการทำงานที่เกิดขึ้นภายหลังการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา สำหรับลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า และระบบแบตเตอรี่ Vanadium Redox Flow (VRF) ในการรักษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า

1.4.4 สรุปผลประเมินผลการทำงานที่เกิดขึ้นภายหลังการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาสำหรับลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้า และระบบแบตเตอรี่ Vanadium Redox Flow (VRF) ในการรักษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า

1.4.5 สรุปและนำเสนอผลการศึกษา

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ผลการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดขึ้นในสภาพสภาวะแวดล้อมจริง และผลในการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าภายหลังจากการติดตั้งระบบสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าได้

1.5.2 ผลการทำงานของแบตเตอรี่ Vanadium Redox Flow (VRF) ในลักษณะของการใช้งานแบบเป็นเครื่องสำรองไฟฟ้าสำหรับโรงพยาบาลภายหลังการติดตั้งช่วยรักษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าได้ และอาจใช้เป็นแนวทางในการนำแบตเตอรี่ VRF มาประยุกต์ใช้ในลักษณะการใช้งานแบบอื่นๆ

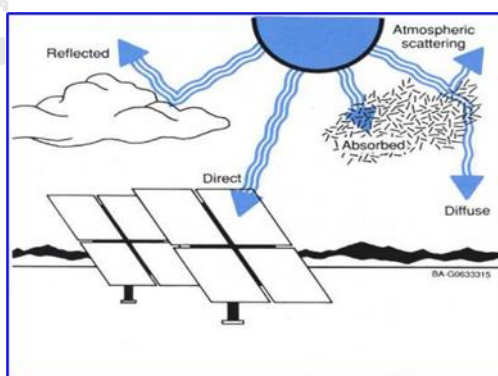
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

2.1.1 หลักการพื้นฐานของการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์ หมายถึงรังสีจากดวงอาทิตย์ที่ส่องมาถึงโลก สามารถเปลี่ยนแปลงเป็น ความร้อนและไฟฟ้าได้โดยอาศัยเทคโนโลยีต่างๆ เช่นการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงาน ไฟฟ้าโดยแผงโซลาร์เซลล์ พลังงานจากแสงอาทิตย์มีข้อดีคือเป็นพลังงานที่ไม่มีหมดไปและเป็นมิตรต่อ สิ่งแวดล้อม สเปกตรัมพลังงานแสงอาทิตย์มีระดับพลังงานที่แตกต่างกัน เช่น สเปกตรัมแสงสีแดงจะมี พลังงานต่ำสุดและแสงสีม่วงพลังงานสูงสุด ดวงอาทิตย์จะปล่อยพลังงานรังสีทั้งหมดออกมาในรูปของ สเปกตรัมของความยาวคลื่นที่อยู่ในช่วงประมาณ 2×10^{-7} ถึง 4×10^{-6} เมตร พลังงานส่วนใหญ่อยู่ในช่วง ของแสงที่มองเห็น แต่ละความยาวคลื่นสอดคล้องกับความถี่และพลังงาน โดยที่ความยาวคลื่นสั้น (ความถี่สูง) จะมีพลังงานสูง ดวงอาทิตย์จะปลดปล่อยพลังงานความร้อนจำนวนมหาศาลออกสู่ระบบ สุริยะ แต่โลกได้รับพลังงานนี้เพียงเล็กน้อย มีค่าเฉลี่ย 1,367 วัตต์ต่อตารางเมตร ชั้นบรรยากาศของโลกและก้อนเมฆปกคลุมจะดูดซับ สะท้อน และกระจาย รังสีดวงอาทิตย์บางส่วนเข้าสู่ชั้นบรรยากาศ อย่างไรก็ตามก็ยังมีพลังงานแสงอาทิตย์ที่ส่องผ่านโดยตรงและแพร่กระจายจำนวนมหาศาลไปถึง พื้นผิวของโลกและสามารถใช้ในการผลิตไฟฟ้าได้ [1] ดังในรูปที่ 2-1



รูปที่ 2-1 รังสีดวงอาทิตย์บางส่วนที่ผ่านเข้าสู่ชั้นบรรยากาศของโลก [1]

ปริมาณแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นโลกนั้นแตกต่างกันไปตาม ภูมิภาค ฤดูกาล ช่วงเวลา ของวัน สภาพภูมิอากาศ และมลพิษทางอากาศ แสงอาทิตย์เมื่อส่องถึงโลกจะมีการกระจายอย่าง

ไม่สม่ำเสมอในแต่ละภูมิภาคเช่น พื้นที่ในบริเวณที่ใกล้เส้นศูนย์สูตรจะได้รับรังสีแสงอาทิตย์มากกว่า บริเวณอื่นๆ แสงแดดจะแตกต่างกันไปตามฤดูกาลในขณะที่แกนหมุนของโลกที่เปลี่ยนไปจะทำให้ระยะเวลาที่มีแสงแดดในแต่ละวันสั้นยาวไม่เท่ากันในฤดูกาลที่เปลี่ยนแปลงไป ปริมาณพลังงานที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ จะขึ้นอยู่กับศักยภาพความเข้มแสงอาทิตย์ที่มีอยู่ของแต่ละพื้นที่ไม่เท่ากัน คุณภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนั้นๆ ที่มีความสามารถแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า ได้มีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใด ซึ่งเรียกว่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ ถูกกำหนดด้วย ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้หารด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่เข้ามาที่แผง

การแผ่รังสีของแสงอาทิตย์จะทำให้เกิดพลังงานขึ้นและหน่วยที่ใช้สำหรับการวัดกำลังคือ วัตต์ (W) ทั้งนี้ปริมาณพลังงานขึ้นอยู่กับความเข้มของรังสีจากดวงอาทิตย์ และขนาดของพื้นที่ผิวที่รับแสง พื้นที่ผิวที่ใหญ่ขึ้นจะได้รับพลังงานมากขึ้น ดังนั้นความเข้มแสงอาทิตย์จึงมีหน่วยวัดเป็นวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2) การวัดพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งวัดพลังงานเป็น Wh (วัตต์-ชั่วโมง) หรือ kWh (กิโลวัตต์-ชั่วโมง) พลังงานแสงอาทิตย์เป็นผลของกำลังงานแสงอาทิตย์และเวลา ซึ่งวัดเป็น Wh/m^2 (วัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตร) หรือเป็น kWh/m^2 (กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตร)

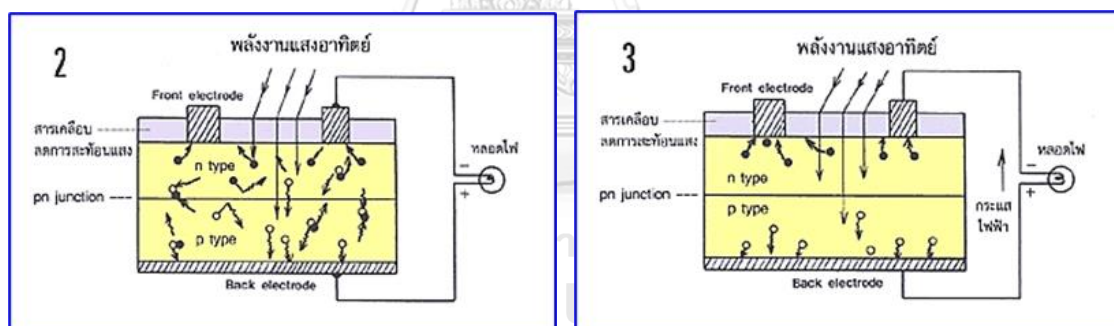
2.1.2 ทฤษฎีพื้นฐานของเซลล์แสงอาทิตย์

หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์เป็นการเปลี่ยนพลังงานแสง ซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและมีพลังงานเป็นกระแสไฟฟ้าโดยตรง อาศัยกระบวนการ Photovoltaic Effect โดยการนำสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิกอน ซึ่งมีราคาถูกและมีมากที่สุดในโลกมาผ่านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เพื่อผลิตให้เป็นแผ่นบางบริสุทธิ์ และเมื่อมีแสงตกกระทบบนแผ่นเซลล์ รังสีของแสงที่มีอนุภาคของพลังงานประกอบที่เรียกว่า โฟตอน (Photon) จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอน (Electron) ในสารกึ่งตัวนำจนมีพลังงานมากพอที่จะกระโดดออกมาจากแรงดึงดูดของอะตอม (atom) และเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ดังนั้นเมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ครบวงจรจะทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสตรงขึ้น สารกึ่งตัวนำแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ ชนิด N-type ซิลิกอน คือสารกึ่งตัวนำที่ได้การเติมสารเจือปน (Doping) ด้วยสารฟอสฟอรัสทำให้เกิดอิเล็กตรอนส่วนเกินจึงเป็นตัวให้อิเล็กตรอนเมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ติดอยู่ด้านหน้าของเซลล์แสงอาทิตย์เป็นขั้วลบ และ P-type ซิลิกอน คือสารกึ่งตัวนำชั้นถัดมาที่ได้การเติมสารเจือปน (Doping) ด้วยสารโบรอนทำให้โครงสร้างของอะตอมสูญเสียอิเล็กตรอน ทำให้เกิดช่องว่าง Hole (โฮล) การขาดอิเล็กตรอนที่เป็นประจุลบ จึงเหมือนเป็น

ชั่วคราว เมื่อรับพลังงานจากแสงอาทิตย์จะทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอน เมื่อนำสารกึ่งตัวนำทั้ง 2 ชนิดมาประกบกันด้วย P-N junction ทำให้เกิดเป็น "เซลล์แสงอาทิตย์"

เมื่ออยู่ในสภาวะที่ยังไม่มีแสง N-type ซิลิคอนที่อยู่ด้านหน้าของเซลล์พร้อมที่จะให้อิเล็กตรอน แต่ก็ยังมี Hole ปะปนอยู่บ้างเล็กน้อยและบริเวณด้านหน้าของ N-type ซิลิคอนจะมีแถบโลหะเรียกว่า Front Electrode ทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอนของ P-type ซิลิคอนซึ่งอยู่ด้านล่างของเซลล์เป็น Hole แต่ยังคงมีอิเล็กตรอนปะปนบ้างเล็กน้อยด้านล่างของ P-type ซิลิคอนจะมีแถบโลหะเรียกว่า Back Electrode ทำหน้าที่รวบรวม Hole

เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบแผงเซลล์จะมีการถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอนและ Hole ทำให้เกิดการเคลื่อนไหว เมื่อมีพลังงานสูงเพียงพอทั้งอิเล็กตรอนและ Hole จะวิ่งเข้าหาเพื่อจับคู่กัน อิเล็กตรอนจะวิ่งไปยังชั้น N-type ส่วน Hole จะวิ่งไปยังชั้น P-type อิเล็กตรอนวิ่งไปรวมกันที่ Front Electrode และ Hole วิ่งไปรวมกันที่ Back Electrode เมื่อมีการต่อวงจรไฟฟ้าจาก Front Electrode และ Back Electrode ให้ครบวงจรก็จะเกิดกระแสไฟฟ้าขึ้น เนื่องจากทั้งอิเล็กตรอนและโฮลจะวิ่งเพื่อจับคู่กัน [1] ดังแสดงในรูปที่ 2-2



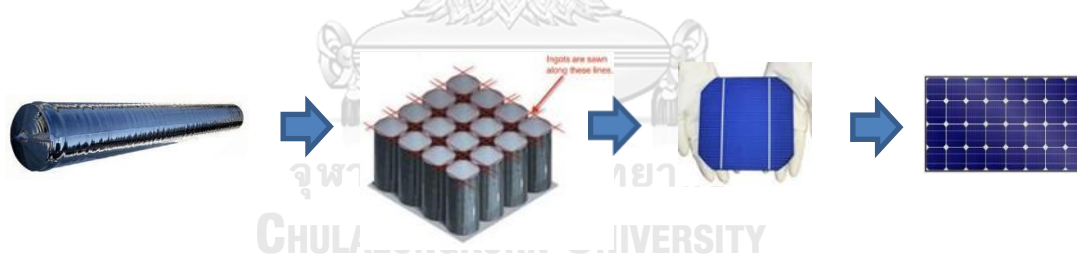
รูปที่ 2-2 การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ [1]

2.1.3 ชนิดของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ แบบที่ใช้สารกึ่งตัวนำซิลิคอน (Silicon Semiconductor) และชนิดหนึ่งที่ใช้สารกึ่งตัวนำแบบผสม (Compound Semiconductor) เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สารกึ่งตัวนำซิลิคอนจะถูกแบ่งออกเป็นสารกึ่งตัวนำเป็นผลึก (Crystal) และไม่เป็นผลึก (Amorphous) สารกึ่งตัวนำชนิดผลึกซิลิคอนมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายมีอัตราการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้าสูงมีความน่าเชื่อถือ สารกึ่งตัวนำ

ชนิดไม่เป็นผลึกทำงานได้ดีแม้ภายใต้หลอดฟลูออเรสเซนต์ จึงมักที่จะใช้เป็นแหล่งพลังงานสำหรับ เครื่องคิดเลขและนาฬิกาข้อมือ สำหรับในระบบผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ จะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยใช้ปรากฏการณ์ที่เรียกว่า ปรากฏการณ์โฟโตวอลเทอิก (Photovoltaic Effect) โดยในท้องตลาดมีเทคโนโลยีของเซลล์แสงอาทิตย์ อยู่ 3 ชนิดหลักๆ คือ โมโนคริสตัลไลน์ (Monocrystalline) โพลีคริสตัลไลน์ (Polycrystalline) และ ฟิล์มบาง (Thin film)

1) แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์ เป็นหนึ่งในเทคโนโลยีที่เก่าแก่ที่สุดและมีราคาแพงกว่า แต่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทนี้มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยทั่วไปแล้วแผงชนิดนี้มีประสิทธิภาพการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ที่มากกระทบกับแผงเซลล์เป็นพลังงานไฟฟ้าได้ถึงร้อยละ 15-20 ทำจากผลึกเดี่ยวของซิลิกอนบริสุทธิ์พิเศษ และหั่นเป็นแผ่นบางๆ เพื่อให้ได้เวเฟอร์วงกลมแล้ว ถูกตัดด้านข้างออกเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสและนำมาเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีเส้นสีเงินเป็นลวดตัวนำซึ่งทำหน้าที่รวบรวมกระแสไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นจากเซลล์เมื่อแสงกระทบกับเซลล์ย่อย แผงเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบด้วยเมทริกซ์ของเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์วางเรียงต่อกันในแนวราบ โดยทั่วไปแล้วเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์มีประสิทธิภาพสูง แต่จะเสียพื้นที่บางส่วนระหว่างเซลล์เมื่อถูกนำมาประกอบเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์ที่มีลักษณะ [1] ดังแสดงในรูปที่ 2-3



รูปที่ 2-3 เซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์ [1]

ผู้ผลิตบางรายจะใช้เทคนิคพิเศษ ในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้สูงขึ้น เช่น สร้างสนามที่พื้นผิวด้านหลังหรือใช้เลเซอร์เจาะร่อง และเทคโนโลยีไฮบริด แผงโมโนคริสตัลไลน์ประสิทธิภาพสูงเหล่านี้จะมีประสิทธิภาพมากกว่าร้อยละ 20 แต่ราคาจะสูงขึ้นประมาณร้อยละ 30 เมื่อเทียบกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์ทั่วไป

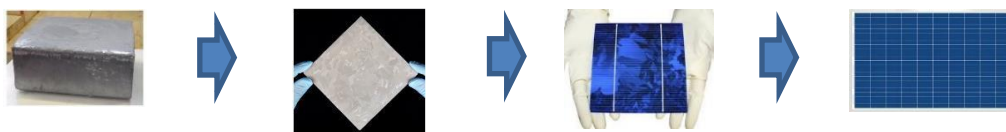
ข้อดีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์

มีประสิทธิภาพสูงสุดเนื่องจากทำจากซิลิคอนเกรดสูงสุด ประสิทธิภาพของแผงแบบโมโนคริสตัลไลน์ โดยทั่วไปจะมีประมาณร้อยละ 15-20 แต่ในบางรุ่นอาจมีการเพิ่มประสิทธิภาพให้สูงขึ้นได้ถึงร้อยละ 20.1-21.5 โดยใช้เทคนิคต่างๆ แผงชนิดนี้ใช้พื้นที่ติดตั้งน้อยกว่าชนิดอื่นๆ เนื่องจากประสิทธิภาพผลิตพลังงานสูง โดยผลิตพลังงานไฟฟ้าได้มากถึง 4 เท่าของปริมาณการผลิตไฟฟ้าเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบาง (พื้นที่เท่ากัน) มีอายุการใช้งานนานที่สุด ผู้ผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ส่วนใหญ่จะรับประกัน 25 ปี และมีแนวโน้มที่จะทำงานได้ดีกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโพลีคริสตัลไลน์ ที่มีพิภักเดียวกันในสภาพแสงน้อย

ข้อเสียของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์

มีราคาแพงที่สุด แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกปกคลุมด้วยร่มเงา ฝุ่น หรืออื่นๆ บางส่วนวงจรทั้งหมดอาจเสียหายได้ แต่สามารถแก้ปัญหาได้โดยใช้ไมโครอินเวอร์เตอร์ขนาดเล็ก (ใช้ติดตั้งเฉพาะแผง) แทนอินเวอร์เตอร์ขนาดใหญ่ ไมโครอินเวอร์เตอร์จะแก้ไขผลกระทบทั้งหมดจากอาเรย์แสงอาทิตย์ เนื่องจากปัญหาการเงาบัง จะได้รับผลกระทบกับ แผงเซลล์แสงอาทิตย์แผงเดียวเท่านั้น ผลึกซิลิคอนของด้านทั้งสี่ที่ถูกตัดออกจากแท่งเพื่อสร้างแผ่นเวเฟอร์ซิลิคอน ซึ่งซิลิคอนที่เหลือจากการตัดจำนวนมากจะกลายเป็นขยะ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้มีแนวโน้มที่จะมีประสิทธิภาพมากขึ้นในสภาพอากาศเย็น ประสิทธิภาพลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

2) แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโพลีคริสตัลไลน์ (เรียกอีกอย่างว่า multi-crystalline) ทำจากซิลิคอนเช่นกัน แต่ชนิดของซิลิคอนที่ใช้นั้นบริสุทธิ์น้อยกว่าแบบโมโนคริสตัลไลน์เล็กน้อย และถูกหล่อเป็นบล็อกแทนที่จะเป็นรูปผลึกเดี่ยว เมื่อก้อนโพลีคริสตัลไลน์ถูกหล่อแล้วจะถูกเลื่อยเป็นบล็อกสี่เหลี่ยม จากนั้นหั่นเป็นเวเฟอร์สี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ถูกเปลี่ยนให้เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ เซลล์แสงอาทิตย์แบบโพลีคริสตัลไลน์คล้ายกับแบบโมโนคริสตัลไลน์ ในด้านประสิทธิภาพและการเสื่อมสภาพ แต่โดยทั่วไปจะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าเล็กน้อย แต่จะไม่มีรอยร้าวที่ระหว่างมุมของเซลล์สี่เหลี่ยมจัตุรัส ซึ่งหมายความว่าเมื่อนำมาสร้างเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จะทำให้มีพื้นที่เพิ่มเติมเล็กน้อยเพื่อดูดซับแสงแดดผลที่ได้คือประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโพลีคริสตัลไลน์นั้นเกือบจะเหมือนกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์ [1] ดังแสดงในรูปที่ 2-4



รูปที่ 2-4 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโพลีคริสตัลไลน์ [1]

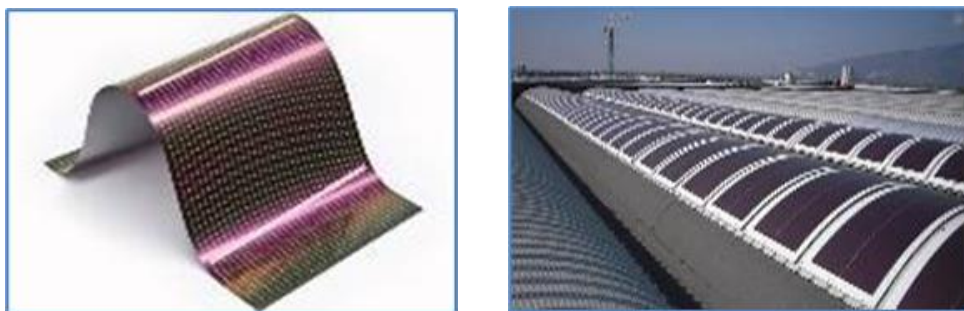
ข้อดีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโพลีคริสตัลไลน์

กระบวนการที่ใช้ในผลิตโพลีคริสตัลไลน์ซิลิคอนนั้นง่ายกว่าและเสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่า ปริมาณของเสียซิลิคอนจะน้อยกว่าแบบโมโนคริสตัลไลน์ มีแนวโน้มที่จะมีค่าความคลาดเคลื่อนจาก ความร้อนต่ำกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์ ในทางเทคนิคหมายความว่าแผงเซลล์ แสงอาทิตย์แบบโพลีคริสตัลไลน์สามารถทำงานได้เย็นน้อยกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโน คริสตัลไลน์ในอุณหภูมิสูง ความร้อนสามารถส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และอายุการใช้งานสั้นลง อย่างไรก็ตามผลกระทบนี้มีเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ข้อเสียของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโพลีคริสตัลไลน์

ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโพลีคริสตัลไลน์อยู่ที่ร้อยละ 13-16 เนื่องจาก ความบริสุทธิ์ของซิลิคอนที่ต่ำกว่า จึงมีประสิทธิภาพน้อยกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโน คริสตัลไลน์ ใช้พื้นที่ในการติดตั้งมากกว่า เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าเท่ากับกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำ จากซิลิคอนโมโนคริสตัลไลน์

3) แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบาง (Thin film) ใช้วิธีการผลิตที่แตกต่างกับแผงเซลล์ แสงอาทิตย์ทั้งสองชนิดข้างต้น โดยการนำฟิล์มที่มีซิลิคอนผสมอยู่จะถูกลบไปยังพื้นผิวซึ่งจะทำให้ กลายเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แม้ว่ากระบวนการผลิตจะมีระยะหนึ่งแล้ว แต่กระบวนการผลิต ฟิล์มบางยังเป็นเทคโนโลยีที่ค่อนข้างใหม่ โดยได้มีการประมาณอายุการใช้งานของแผงชนิดนี้ประมาณ 20 ปี แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากวัสดุเหล่านี้คือ ซิลิคอนที่ไม่เป็นรูปผลึก (a-Si) แคดเมียมเทลลูไรด์ (CdTe) และคอปเปอร์อินเดียมไดเซเลไนด์ (CIGS) [1] มีลักษณะดังรูปที่ 2-5



รูปที่ 2-5 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบาง (Thin film) [1]

ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบาง มีประสิทธิภาพร้อยละ 8-10 ซึ่งหมายความว่าจะมีขนาดใหญ่เป็นสองเท่าของแบบโมโนคริสตัลไลน์และแบบโพลีคริสตัลไลน์ที่ผลิตพลังงานได้เท่ากันและมีน้ำหนักมาก อีกทั้งสามารถเชื่อมสภาพลงได้ถึงร้อยละ 20 ในช่วงปีแรกของการติดตั้งก่อนที่จะคงตัวสู่ระดับการผลิตพลังงานที่กำหนด แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบางมีเพียงสี่เดียวซึ่งมักจะเป็นสีน้ำเงิน สีดำหรือสีน้ำตาล และจะมีอาร์เรย์ขนาดใหญ่เพื่อชดเชยประสิทธิภาพที่ต่ำ

ข้อดีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบาง

การผลิตจำนวนมากนั้นทำได้ง่าย ใช้วัสดุอันน้อยลงในการผลิตแผงทำให้มีราคาถูกกว่าการผลิตกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ผลึก มีผลกระทบต่อการผลิตกำลังไฟเนื่องจากอุณหภูมิสูงน้อยกว่าสามารถโค้งงอเป็นรูปร่างต่างๆ ได้ ทำงานได้ดีในสภาพแสงน้อย หากมีเงาบังบังไม่ดูบางส่วนพลังงานที่ผลิตได้จะลดลงน้อยกว่าแผงแบบที่เป็นผลึก

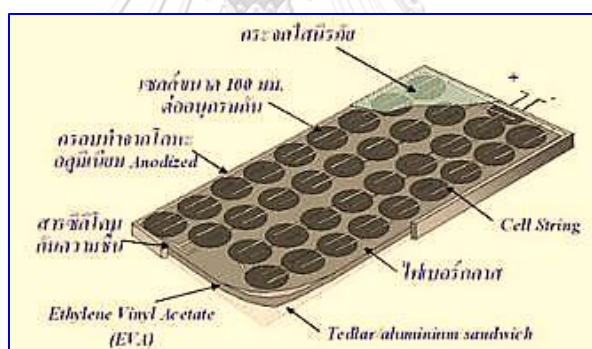
ข้อเสียของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบาง

มีประสิทธิภาพเพียงครึ่งหนึ่งของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบผลึก (ใช้พื้นที่เป็นสองเท่า) ต้องใช้เวลาหกเดือนถึงหนึ่งปีก่อนที่ กำลังการผลิตจะมีเสถียรภาพ ใช้เวลานานกว่าในการติดตั้ง มีข้อจำกัดในการเลือกใช้อินเวอร์เตอร์ ใช้กระบวนการผลิตที่เป็นพิษมากขึ้น

ทั้งนี้ยังมีกลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์บางชนิดที่ทำจากสารประกอบซิลิคอน (Compound Silicon Semiconductor) ที่มีประสิทธิภาพสูงถึงร้อยละ 25 ขึ้นไป แต่มีราคาสูงมากไม่นิยมนำมาใช้บนพื้นโลกนิยมใช้งานสำหรับดาวเทียมและระบบรวมแสงเป็นส่วนใหญ่ ทั้งนี้มีความพยายามพัฒนากระบวนการผลิตสมัยใหม่เพื่อลดต้นทุนจะทำให้มีราคาถูกลง และนำมาใช้มากขึ้นในอนาคต

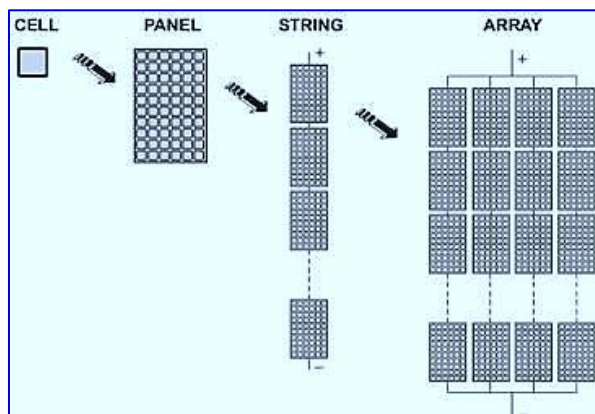
2.1.4 การนำเอาแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้งาน

แรงดันไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นจากเซลล์แสงอาทิตย์เพียงเซลล์เดียวจะมีค่าต่ำมาก การนำมาใช้งานจึงต้องนำเซลล์หลายๆ เซลล์มาต่อกันแบบอนุกรมเพื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้น เซลล์ที่นำมาต่อกันในจำนวนและขนาดที่เหมาะสมประกอบเข้าด้วยกันเป็นแผงเรียกว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar module หรือ Solar panel) เพื่อความสะดวกในการนำไปใช้งาน ด้านหน้าของแผงเซลล์ประกอบด้วย แผ่นกระจกที่มีส่วนผสมของเหล็กดำซึ่งมีคุณสมบัติในการยอมให้แสงผ่านได้ดีและช่วยป้องกันแผ่นเซลล์อีกด้วย แผงเซลล์ต้องมีการป้องกันความชื้นที่ดีมากเพราะจะต้องอยู่กลางแจ้งเป็นเวลายาวนาน ในการประกอบจะต้องใช้วัสดุที่มีความคงทนและป้องกันความชื้นที่ดี เช่น ซิลิโคน และอีวีเอ (Ethylene vinyl acetate) เป็นต้น เพื่อเป็นการป้องกันแผ่นกระจกด้านบนของแผงเซลล์จึงต้องมีการทำกรอบด้วยวัสดุที่มีความแข็งแรงหรือในบางครั้งก็ไม่มีควมจำเป็น ถ้ามีการเสริมความแข็งแรงของแผ่นกระจกให้เพียงพอ ซึ่งก็สามารถทดแทนการทำกรอบได้เช่นกัน ดังนั้นแผงเซลล์จึงมีลักษณะเป็นแผ่นเรียบซึ่งสะดวกในการติดตั้ง [1] ดังแสดงในรูปที่ 2-6



รูปที่ 2-6 ส่วนประกอบของเซลล์แสงอาทิตย์[1]

แผ่น Crystalline silicon (C-Si) โซลาร์เซลล์ 1 ชิ้นถูกเรียกว่าเซลล์ (Cell) เมื่อมีการนำเซลล์หลายๆ เซลล์มาต่ออนุกรมกันจะเรียกว่า พาเนล (Panel) เมื่อมีการนำพาเนลหลาย ๆ พาเนล มาต่ออนุกรมกันเรียกว่า สตริง (String) และเมื่อนำสตริงหลาย ๆ สตริงมาต่อขนานกันเรียกว่าอาร์เรย์ (Array) [1] ดังแสดงในรูปที่ 2-7



รูปที่ 2-7 การต่อเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อนำมาใช้งาน [1]

การต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นอาร์เรย์ พลังงานทั้งหมดจากอาร์เรย์ คือผลรวมของพลังงานของแต่ละแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ในการเชื่อมต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อสร้างอาร์เรย์สามารถทำได้ 3 วิธี ดังนี้

1) การต่อแบบอนุกรม เพื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าขาออกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะได้แรงดันไฟฟ้าขาออกที่สูงขึ้น แรงดันไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นจะมีค่าเท่ากับผลรวมของแรงดันไฟฟ้าที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละแผง และกระแสไฟฟ้าขาออกของแต่ละแผงจะมีค่าเท่ากัน

2) การต่อแบบขนาน เพื่อเพิ่มกระแสไฟฟ้าขาออกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ กระแสไฟฟ้าขาออกจะสูงขึ้น โดยจะเพิ่มขึ้นเท่ากับผลรวมของกระแสของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละแผง และแรงดันไฟฟ้าขาออกของแต่ละแผงจะมีค่าเท่ากัน

3) การต่อแบบผสม เพื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าขาออกของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ กรณีการต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นอาร์เรย์โดยแผงมีกำลังไฟฟ้าไม่เท่ากันกำลังไฟฟ้าขาออกจากอาร์เรย์จะได้น้อยกว่าผลรวมของกำลังไฟฟ้าของแต่ละโมดูล กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียไปนั้นขึ้นอยู่กับแบบของการต่อ ความแตกต่างระหว่างโมดูล และโหมดการทำงาน เมื่อต่อโมดูลที่มีกระแสต่างกันแบบอนุกรมกับโหลด (ตัวควบคุมการประจุและแบตเตอรี่) โมดูลที่มีกระแสไฟต่ำจะกลายเป็นตัวต้านทานหรือโหลดในวงจร โมดูลที่มีกระแสสูงจะสร้างกระแสที่ไหลผ่านวงจร กระแสจะลดลงเนื่องจากความต้านทานของโมดูลกระแสต่ำและสร้างแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมโมดูลกระแสต่ำ แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมนี้มีชื่อไฟฟ้าในทิศทางตรงกันข้ามดังนั้นจึงลดแรงดันไฟฟารวมของการเชื่อมต่ออนุกรมของโมดูลทั้งหมด นอกจากนี้ยังใช้พลังงานของโมดูลอื่นๆ ตัวอย่างเช่น แรงดันตกคร่อมโมดูลกระแสต่ำปรับตัวลดลงคือ 17 โวลต์ ดังนั้นแรงดันไฟฟารวมของวงจรคือ (2x20) โวลต์ - 17 โวลต์

= 23 โวลต์ กำลังทั้งหมดนี้น้อยกว่ากำลังของโมดูลที่กระแสสูงรวมกันหรือหากนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่เหมือนกัน แต่มีแรงดันไฟฟ้าเท่ากันต่อขนานกัน กำลังไฟฟ้ารวมจะเท่ากับผลรวมของกำลังไฟฟ้าของแต่ละโมดูลซึ่งจะไม่มีกระแสสูญเสียกำลังไฟฟ้าแต่เมื่อต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่เหมือนกัน มีแรงดันเอาต์พุตต่างกันต่อขนานกัน โมดูลที่มีแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าจะทำหน้าที่เป็นโหลดในวงจรหากไม่มีการเชื่อมต่อโหลดเข้าก็บวงจร ดังนั้นกระแสของโมดูลที่มีแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าจะไหลเข้าสู่โมดูลที่มีแรงดันไฟฟ้าต่ำ ถ้ากระแสที่ไหลสูงอาจทำให้โมดูลที่มีแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าเสียหายได้

2.1.5 ปัจจัยเบื้องต้นที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

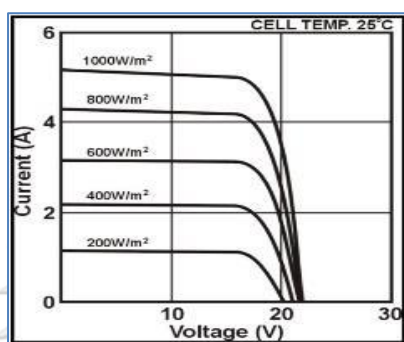
ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์หรืออัตราการแปลงผัน หมายถึงจำนวนพลังงานแสงอาทิตย์ที่เข้ามาจะถูกแปลงผันเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยทั่วไปแล้วประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เชิงพาณิชย์จะอยู่ในช่วงร้อยละ 11-15 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในปัจจุบัน ใช้การตัวรวมหลายจุดต่อ (multijunction concentrator) และแปลงผันพลังงานได้ร้อยละ 44.0 (วัสดุนี้คือแผ่นผลิตพลังงานจากแสงอาทิตย์ที่ประกอบด้วยชั้นฟิล์มบางๆ หลายชั้น) ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับปัจจัยดังนี้

- ประเภทของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากซิลิคอนที่มีความบริสุทธิ์สูงสุดจะมีประสิทธิภาพดีกว่า เช่นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ซิลิคอนโพลีคริสตัลไลน์มีประสิทธิภาพดีกว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบโมโนคริสตัลไลน์ แต่ก็ไม่แตกต่างกันมากนัก แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบฟิล์มบางในปัจจุบันค่อนข้างมีประสิทธิภาพต่ำแต่ก็มีราคาต่ำกว่า

- การติดตั้งแผง การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะต้องคำนึงถึง แผงควรจะต้องติดตั้งให้มีความชันและความลาดเอียงจากพื้นท้องฟ้าและหันหน้าไปทางทิศใด (โดยทั่วไปในประเทศไทยจะติดตั้งให้ระนาบแผงเซลล์แสงอาทิตย์หันไปทางทิศใต้ โดยมีความชันประมาณ 15 องศาจากพื้นดิน) การยึดและติดตั้งแผงนั้นมียผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพโดยรวมของแผงหรือทั้งระบบ ถ้าติดตั้งไปผิดทิศหรือความชันแผงจากพื้นไม่เหมาะสม กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ก็จะลดลงไปอย่างมาก

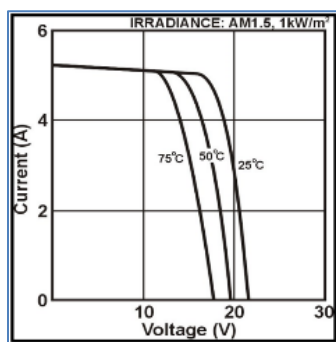
- ความเข้มของแสง กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสง หมายความว่าเมื่อมีความเข้มของแสงสูง กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะสูงขึ้นหรืออีกนัยหนึ่งจะกล่าวว่า กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จะสูงขึ้นแต่แรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้แทบจะไม่แปรไปตามความเข้มของแสงมากนัก ความเข้มของแสงที่ใช้วัดเป็นมาตรฐานคือความเข้มของแสงที่วัดบนพื้นโลกในสภาพอากาศปลอดโปร่ง ปราศจากเมฆหมอกและวัดที่ระดับน้ำทะเลในสภาพที่

แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลก ตัวอย่างเช่น ความเข้มแสงมีค่าเท่ากับ 100 เมกะวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร หรือ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM 1.5 (Air Mass 1.5 คือพลังงานแสงที่ตกกระทบ 1,000 วัตต์/ตร.ม สเปกตรัมของแสงที่ผ่านชั้นบรรยากาศหนา 1.5 เท่า) กรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะใช้ค่า AM 1.5 เป็นมาตรฐานในการวัดประสิทธิภาพของแผง ความสัมพันธ์ระหว่างกระแส แรงดันไฟฟ้า ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสงค่าต่างๆ [1] ดังแสดงในรูปที่ 2-8



รูปที่ 2-8 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแส แรงดันไฟฟ้า ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสงค่าต่างๆ [1]

- อุณหภูมิ กระแสไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะไม่แปรผันตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าจะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วทุกๆ 1 องศาเซลเซียส ที่เพิ่มขึ้นจะทำให้แรงดันไฟฟ้าลดลงร้อยละ 0.5 และในกรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาตรฐานที่ใช้กำหนดประสิทธิภาพของแผงแสงอาทิตย์คือ ณ อุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส เช่น กำหนดไว้ว่าแผงแสงอาทิตย์มีแรงดันไฟฟ้าที่วงจรเปิด (Open Circuit Voltage หรือ Voc) ที่ 21 โวลต์ ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ก็จะหมายความว่าแรงดันไฟฟ้าที่จะได้จากแผงแสงอาทิตย์ เมื่อยังไม่ได้ต่อกับอุปกรณ์ไฟฟ้า ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จะเท่ากับ 21 โวลต์ ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 25 องศาเซลเซียส เช่น อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จะทำให้แรงดันไฟฟ้าของแผงแสงอาทิตย์ลดลงร้อยละ 2.5 (ร้อยละ 0.5 x 5 องศาเซลเซียส) นั่นคือ แรงดันของแผงแสงอาทิตย์ที่ Voc จะลดลง 0.525 โวลต์ (21 โวลต์ x ร้อยละ 2.5) เหลือเพียง 20.475 โวลต์ (21 โวลต์ - 0.525 โวลต์) สรุปได้ว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นแรงดันไฟฟ้าก็จะลดลง ซึ่งมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงแสงอาทิตย์ลดลงด้วยดังแสดง ความสัมพันธ์ระหว่างกระแส แรงดันไฟฟ้า ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิต่างๆ [1] ในรูปที่ 2-9



รูปที่ 2-9 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแส แรงดันไฟฟ้า ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิต่างๆ [1]

- วัสดุประกอบแผง วัสดุที่ใช้ในการประกอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น กระจกก็มีผลต่อประสิทธิภาพเช่นเดียวกัน กระจกที่ใช้จะต้องลดการสะท้อนของแสงให้น้อยที่สุดก่อนที่แสงจะผ่านไปถึงเซลล์ด้านใน

- เงาบังแสง ที่บังแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในบางส่วนก็มีผลต่อประสิทธิภาพโดยรวมของทั้งระบบเนื่องจากส่วนใหญ่ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะต่อวงจรเป็นแบบอนุกรมแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้าด้วยกัน เพื่อให้ได้แรงดันที่ออกแบบไว้ เมื่อมีเงาบางส่วนบังแสงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพียงแค่หนึ่งแผงก็จะทำให้กระแสไฟฟ้าในระบบหยุดไหลได้ ดังนั้นการติดตั้งแผงต้องไม่มีร่มเงาบังการรับแสงของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ไมโครอินเวอร์เตอร์ที่ติดตั้งที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละแผงสามารถช่วยแก้ปัญหานี้ได้ โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ถูกเงาบังจะใช้ไม่ได้เพียงแผงเดียวเท่านั้นแต่แผงอื่นจะยังสามารถใช้งานได้อยู่

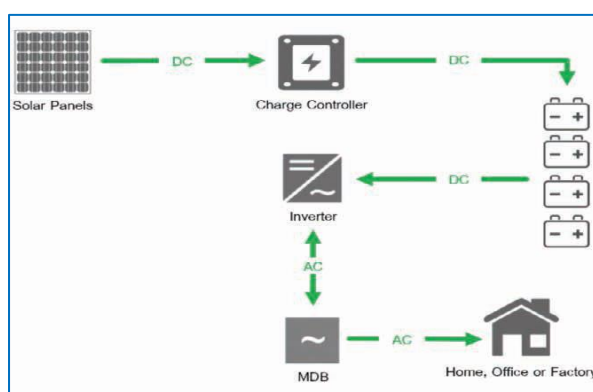
- อายุการใช้งาน ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะค่อยๆ ลดลงตามอายุการใช้งาน โดยทั่วไปแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะผลิตพลังงานไฟฟ้าลดลงร้อยละ 0.5 ทุกๆ ปี ผู้ผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์จึงมักเสนอการรับประกันว่าการจ่ายพลังงานจะสูงกว่าร้อยละ 80 หลังจาก 25 ปี

2.1.6 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

การผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์สามารถแบ่งออกได้ดังต่อไปนี้

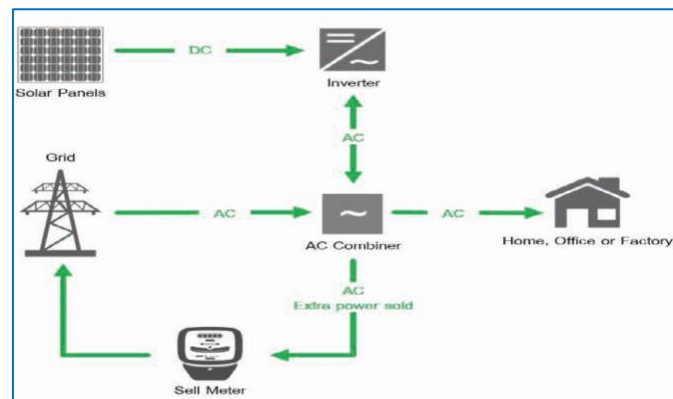
1) ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV stand alone system) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่มีการออกแบบสำหรับใช้งานในพื้นที่ชนบทหรือในพื้นที่ที่ไม่มีระบบสายส่งไฟฟ้า หรืออาจเป็นการติดตั้งโดยที่ไม่มีการเชื่อมต่อกับระบบสายส่งไฟฟ้าหรือระบบออฟกริด (Off Grid) อุปกรณ์ของระบบจะประกอบไปด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อใช้งานโดยตรงกับโหลดไฟฟ้ากระแสตรง

และอีกรูปแบบหนึ่งคือนำมาใช้งานร่วมกับแบตเตอรี่โดยต่อให้ได้แรงดันตามความต้องการของอุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ (Solar charge controller) และจ่ายกำลังไฟฟ้าตามที่ต้องการใช้งานของโหลด ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากอุปกรณ์ควบคุมการประจุสามารถนำไปใช้งานโดยการต่อกับโหลดไฟฟ้ากระแสตรงได้และในขณะเดียวกัน ถ้ากำลังไฟฟ้าเหลือก็สามารถนำไปประจุกระแสไฟฟ้าเข้าแบตเตอรี่เพื่อใช้งานร่วมกับอุปกรณ์แปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (Inverter) แบบอิสระโดยโหลดที่ใช้จะเป็นอุปกรณ์ที่ใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับ ดังแสดงในรูปที่ 2-10



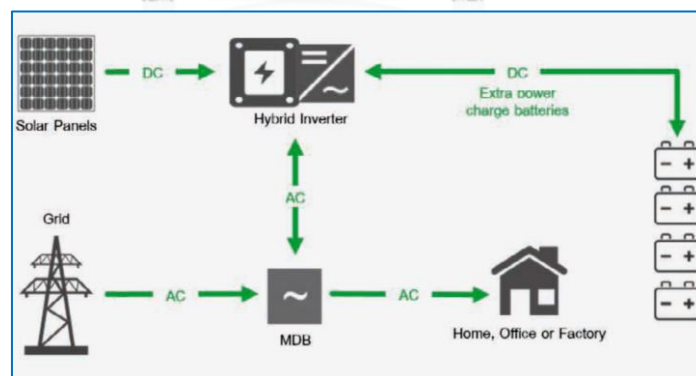
รูปที่ 2-10 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ [2]

2) ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า (PV grid connected system) อุปกรณ์ของระบบประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยต่อให้ได้แรงดันตามความต้องการของอุปกรณ์แปลงผันไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับหรืออินเวอร์เตอร์ (Inverter) โดยต่อผ่านกล่องวงจรควบคุมไฟฟ้ากระแสตรงและได้กำลังไฟฟ้าตามที่ต้องการใช้งานของโหลดซึ่งแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้สามารถนำไปใช้งานได้โดยตรงโดยการต่อกับโหลดไฟฟ้ากระแสตรง หรือแปลงไฟฟ้ากระแสตรง ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งสามารถนำไปใช้กับโหลดไฟฟ้ากระแสสลับและในขณะเดียวกันก็สามารถเชื่อมต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้า ผ่านสวิตช์ตัดตอนและมิเตอร์กิโลวัตต์-ชั่วโมง ใช้ผลิตไฟฟ้าในเขตเมืองหรือพื้นที่ที่มีระบบโครงข่ายไฟฟ้าเข้าถึง ดังแสดงในรูปที่ 2-11



รูปที่ 2-11 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า [2]

3) ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV Hybrid system) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ออกแบบสำหรับการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ร่วมกับอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าชนิดอื่นๆ อุปกรณ์ของระบบประกอบไปด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งนำมาต่อกันให้ได้แรงดันตามความต้องการของอุปกรณ์แปลงผันพลังงานแบบผสมผสาน (Hybrid inverter) โดยสามารถใช้งานร่วมกับแบตเตอรี่ โดยไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้สามารถนำไปใช้กับโวลต์ไฟฟ้ากระแสสลับ 220 Vac และในขณะเดียวกันก็สามารถต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 2-12



รูปที่ 2-12 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน [2]

2.1.7 การคำนวณเบื้องต้นเกี่ยวกับการออกแบบติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

ในการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์จำเป็นต้องมีการคำนวณเพื่อออกแบบระบบเบื้องต้นดังนี้

1) การประเมินความต้องการพลังงานของระบบไฟฟ้า ขึ้นอยู่กับโหลดภายในระบบโหลดคือ อุปกรณ์ไฟฟ้าหรือเครื่องใช้ไฟฟ้าใดๆ ที่ใช้ในบ้านหรือสำนักงานหรือในระบบ สิ่งสำคัญที่ต้องรู้คือ โหลดไฟฟ้าชนิดต่างๆ และกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ในระบบ สิ่งที่ต้องพิจารณาในการออกแบบระบบอีกอย่าง คือ ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า หมายถึงไฟฟ้าจริงที่สามารถใช้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เช่น อินเวอร์เตอร์ นอกจากนี้ยังหมายถึงปริมาณพลังงานที่จำเป็นสำหรับการใช้งานโหลด เช่น หลอดไฟ หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ

2) การหาขนาดแบตเตอรี่ที่เหมาะสม จำเป็นต้องรู้ถึงความต้องการใช้พลังงานทั้งหมด เพื่อที่จะคำนวณหาพลังงานที่จะต้องเก็บไว้ในแบตเตอรี่ โดยที่แบตเตอรี่จะจ่ายพลังงานเมื่อมีความต้องการใช้พลังงาน ค่าความต้องการใช้พลังงานหารด้วยค่าประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ จะบอกถึงว่าแบตเตอรี่ที่จะนำมาใช้งานจะต้องให้พลังงานไม่น้อยกว่าค่านี้ ในส่วนการกำหนดความจุพลังงานแบตเตอรี่ต้องคำนึงถึงค่า DOD เพื่ออายุการใช้งานที่นานขึ้นด้วย เช่น

$$\text{ความจุพลังงานของแบตเตอรี่ที่ต้องการ} = \frac{\text{ค่าความต้องการใช้พลังงาน}}{\text{ค่าร้อยละการปล่อยประจุแบบลึก (DOD)}}$$

ขนาดความจุของแบตเตอรี่จะขึ้นอยู่กับความต้องการพลังงานของโหลดในระบบไฟฟ้า ขนาดของแบตเตอรี่โดยทั่วไปผู้ผลิตมักจะกำหนดในหน่วย แอมแปร์-ชั่วโมง (Ah) แต่ในแบตเตอรี่บางชนิดผู้ผลิตอาจกำหนดเป็น วัตต์-ชั่วโมง (Wh) ซึ่งในการแปลง วัตต์-ชั่วโมง เป็น แอมแปร์-ชั่วโมง ทำได้โดยการหารค่าวัตต์-ชั่วโมง ด้วยค่าแรงดันไฟฟ้าแบตเตอรี่ (ระบบ) ขนาดความจุของแบตเตอรี่ หาได้ดังนี้

$$\text{ขนาดความจุแบตเตอรี่ (C)} = \frac{\text{ความจุพลังงานของแบตเตอรี่ที่ต้องการ (Wh)}}{\text{แรงดันไฟฟ้าของระบบ (V)}}$$

จะได้ขนาดความจุแบตเตอรี่ (C) มีหน่วยเป็น แอมแปร์-ชั่วโมง (Ah)

3) การประมาณค่าพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นการคำนวณพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีอยู่ ณ สถานที่ใดๆ โดยอ้างอิงจากชั่วโมงที่มีแสงอาทิตย์สูงสุด (Peak Sun Hour, PSH) แสดงถึงจำนวนชั่วโมงที่มีค่าแสงแดดดีมากและไม่มีเมฆต่อหนึ่งวัน เช่น 5 PSH คือ โดยเฉลี่ยแล้วพื้นที่นั้นจะมีชั่วโมงที่แดดดีและไม่มีเมฆบดบังเป็นเวลา 5 ชั่วโมงต่อวัน เป็นต้น

4) การกำหนดขนาดของอาร์เรย์แสงอาทิตย์ สามารถทำได้ดังนี้

- การหาความต้องการใช้พลังงานรายวันตามอัตราส่วนประสิทธิภาพของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ โดยความต้องการพลังงาน คือ ความต้องการใช้พลังงานของโหลดในระบบไฟฟ้าทุกรายการ รวมถึงประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ ในความเป็นจริงประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์อาจไม่ได้เป็นไปตามที่ผู้ผลิตกำหนด พลังงานที่ผลิตได้อาจจะลดลงเนื่องจากอุณหภูมิที่ร้อน และฝุ่นบนแผง และเนื่องจากความต้านทานสายไฟ เป็นต้น

- การหาขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมด โดยการหารค่าพลังงานข้างต้นด้วยค่า PSH ที่เหมาะสมสำหรับตำแหน่งที่ติดตั้งแผง เช่น ขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Wh) = ค่าความต้องการใช้พลังงาน (Wh) หารด้วย จำนวนชั่วโมงที่มีแสงอาทิตย์สูงสุด (PSH)

- จำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถทำได้โดยเอาขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้งหมดที่เพียงพอต่อความต้องการ หารด้วยขนาดของแผงตามประเภทที่ต้องการ เช่น จำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ = ขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Wh) หารด้วย ขนาดของแผงตามประเภทที่ต้องการ (Wp)

- การกำหนดขนาดตัวควบคุมการชาร์จประจุ เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญในการพิจารณา คือ พิกัดกระแส ตัวควบคุมการชาร์จประจุจะถูกกำหนดขนาดพิกัดตามกระแสไฟฟ้าขาเข้าสูงสุด ตัวควบคุมการชาร์จประจุอาจจะทำงานที่แรงดันไฟฟ้าหลายขนาด แต่กระแสไฟฟ้าสูงสุดจะถูกกำหนดและไม่ขึ้นกับแรงดันไฟฟ้า

2.1.8 อุปกรณ์เบื้องต้นสำหรับการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

2.1.8.1 ป้ายแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell Nameplate) คือป้ายที่แสดงคุณลักษณะทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Electrical Characteristics Solar Module) หรือสเปคของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีข้อมูลพื้นฐานได้แก่

- ยี่ห้อ หมายถึง แผงเซลล์แสงอาทิตย์ยี่ห้อใดๆ
 - SOLAR MODULE หมายถึง แผงเซลล์แสงอาทิตย์
 - รุ่นการผลิต หมายถึง รุ่นของแผงเซลล์แสงอาทิตย์
 - NOMINAL RATINGS หมายถึง พิกัดทั่วไปคุณสมบัติทางไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถผลิตไฟฟ้าได้จริง
 - MAXIMUM POWER (Pmax) หมายถึงค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์
 - OPEN CIRCUIT VOLTAGE (Voc) หมายถึง ค่าแรงดันเปิดวงจรของแผงเซลล์แสงอาทิตย์
- เมื่อวัดโดยไม่ได้ต่อภาระระหว่างขั้วบวกและลบโดยไม่ต่อโหลดใดๆ

- SHORT CIRCUIT CURRENT (Isc) หมายถึง ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อวัดโดยการลัดวงจรขั้วบวกและลบเข้าหากันโดยที่ไม่มีโหลด
- MAXIMUM POWER VOLTAGE (Vmpp) หมายถึง ค่าแรงดันไฟฟ้า ขณะที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์จ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผง
- MAXIMUM POWER CURRENT (Impp) หมายถึง ค่ากระแส ขณะที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์จ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผง
- MAXIMUM SYSTEM VOLTAGE หมายถึงค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์จะต่อในระบบได้ (หมายถึงต่อพ่วงกันได้หลายๆ แผง)
- IRRADIANCE หมายถึง ที่สภาวะทดสอบมาตรฐาน (Standard Test Condition, STC) ขณะพลังงานแสงที่ตกกระทบ $1,000 \text{ W/m}^2$ สเปกตรัมของแสงที่ผ่านชั้นบรรยากาศหนา 1.5 เท่า (Air mass = 1.5) และที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส
- Ser. No. ย่อมาจาก Serial Number เลขนี้จะมีแผงเดียวเนื่องจากบริษัทผู้ผลิตได้กำหนดไว้ในระบบ DATA ของบริษัทสามารถตรวจสอบย้อนกลับได้ในกรณีที่มีปัญหาหรือกรณีอื่นๆ
- ASSEMBLED IN ... แสดงถึงสถานที่ประกอบแผงในประเทศหรือสถานที่แหล่งประกอบแผงต่างๆ

2.1.8.2 อุปกรณ์แปลงกระแสไฟฟ้า (อินเวอร์เตอร์)

อินเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรง (DC) เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) เนื่องจากเครื่องใช้ไฟฟ้าส่วนใหญ่ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ โดยด้านขาเข้าของอินเวอร์เตอร์นั้นเชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายไฟ DC เช่น ต่อตรงกับแบตเตอรี่ หรืออาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ ด้านขาออกจ่ายไฟ AC ให้กับโหลด

ชนิดของอินเวอร์เตอร์ สามารถแบ่งออกด้วยเกณฑ์กว้างๆ ได้ดังนี้

1) อินเวอร์เตอร์ตามรูปแบบแรงดันไฟฟ้าขาเข้า ซึ่งสามารถแบ่งได้ 2 ประเภท ได้แก่

1.1) กริดไทร์อินเวอร์เตอร์ (Grid Tie Inverter) เป็นอุปกรณ์ที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรงจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้ากระแสสลับในระบบออนกริด (On-Grid System) โดยมีขนาดต่างๆ ในพิคัดเป็นกิโลวัตต์ (kW) เพื่อให้ตรงกับกำลังไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ กริดไทร์อินเวอร์เตอร์ทำหน้าที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับผู้ใช้โดยตรง และไม่สามารถชาร์จแบตเตอรี่ได้ และไม่สามารถทำงานเป็นอุปกรณ์อิสระได้โดยจำเป็นต้องต้องเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า

1.2) อินเวอร์เตอร์แบบเตอรี ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรงจากแบตเตอรี่เป็นไฟฟ้ากระแสสลับซึ่งเป็นระบบที่แยกตัวอิสระจากกริด (Stand Alone System) สามารถใช้กับโหลดเครื่องใช้ไฟกระแสสลับทั่วไป มีหลายขนาดให้เลือก ตามค่าแรงดันไฟฟ้าขาเข้าของระบบ (แรงดันระบบ) ขนาดของอินเวอร์เตอร์ที่ต้องการขึ้นอยู่กับแรงดันไฟฟ้าของแบตเตอรี่ด้วย เช่น อินเวอร์เตอร์

ขนาด 0.8 kVA ควรมีแรงดันระบบที่ 12 V อินเวอร์เตอร์ขนาด 1.5 หรือ 2.0 kVA ควรมีแรงดันระบบที่ 24 V เป็นต้น

2) อินเวอร์เตอร์ตามรูปแบบของคลื่นสัญญาณขาออก โดยอินเวอร์เตอร์ที่พบส่วนใหญ่ รูปแบบของสัญญาณเอาต์พุตจะมีอยู่ 3 แบบคือ

2.1) รูปแบบคลื่นสี่เหลี่ยม (Square wave) คลื่นสัญญาณมีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยม ส่วนใหญ่จะพบในอินเวอร์เตอร์ที่มีราคาถูก โดยส่วนใหญ่ใช้งานกับเครื่องใช้ไฟฟ้าประเภทหลอดไฟ

2.2) รูปแบบคลื่นไซน์ (Pure sine wave) ให้รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าขาออกที่คล้ายกับรูปคลื่นของเอาต์พุตจากระบบโครงข่ายไฟฟ้า สามารถใช้ได้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าทุกชนิด อินเวอร์เตอร์ชนิดนี้จะมีราคาสูงกว่าชนิดอื่น

2.3) รูปแบบคลื่นไซน์ดัดแปลง (Modified sine wave) เป็นคลื่นไซน์ที่มีลักษณะเป็นขั้นบันได โดยอินเวอร์เตอร์ชนิดนี้ไม่สามารถใช้งานได้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าได้ทุกประเภทแต่มีข้อดีคือราคาถูก

2.1.8.3 เครื่องควบคุมการชาร์จประจุ (Charger controllers)

เครื่องควบคุมการชาร์จประจุจะควบคุมการจ่ายพลังงานจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งใช้ในการชาร์จแบตเตอรี่ โดยการรับแรงดันไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไปยังแบตเตอรี่ โดยมีหน้าที่ดังนี้

- ควบคุมให้การชาร์จประจุแบตเตอรี่เป็นไปอย่างปลอดภัย รวดเร็ว และสมบูรณ์
- ตัวควบคุมการชาร์จที่มีฟังก์ชันโวลต์คอนโทรลเลอร์ เพื่อป้องกันแบตเตอรี่จากการคายประจุที่ลึกได้
- ป้องกันแบตเตอรี่จากการชาร์จประจุมากเกินไป
- ป้องกันกระแสไฟฟ้าไหลย้อนกลับจากแบตเตอรี่ไปยังแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ตัวควบคุมการชาร์จประจุส่วนใหญ่สามารถทำหน้าที่เป็นตัวควบคุมโวลต์ได้ สำหรับโวลต์ DC ควรมีการปลดวงจรเมื่อเกิดแรงดันไฟฟ้าต่ำ (Low Voltage Directive (LVD)) เพื่อป้องกันแบตเตอรี่จากการคายประจุลึกเกินไป ตัวควบคุมการชาร์จจะมีฟังก์ชันบางอย่าง สามารถกำหนดให้มีการยกเลิกการเชื่อมต่อตามกำหนดเวลาและฟังก์ชันเปิด/ปิดได้ตามระดับความเข้มแสง ฟังก์ชันนี้สามารถใช้สำหรับเป็นสวิตช์อัตโนมัติสำหรับความเข้มแสงที่ปลอดภัยในตอนเย็นที่มีความเข้มแสงน้อยได้ ตัวควบคุมการชาร์จประจุขั้นสูงจะกำหนดเวลาการ equalization ของแบตเตอรี่ได้โดยอัตโนมัติ ซึ่งเป็นการบำรุงรักษาเพื่อยืดอายุแบตเตอรี่ เทคโนโลยีตัวควบคุมการชาร์จประจุมี 2 แบบตามลักษณะการทำงาน ได้แก่

1) การปรับความกว้างพัลส์ (Pulse Width Modulation, PWM) มีหลักการทำงานคือ ควบคุมความถี่ของคลื่นไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ให้คงที่ ด้วยระบบดิจิทัล (Digital) เพื่อให้ประหยัดพลังงาน และสามารถควบคุมการประจุไฟเข้าสู่แบตเตอรี่ได้เป็นอย่างดี ทำให้แบตเตอรี่ไม่เสื่อมเร็ว มีฟังก์ชันไฟแสดงสถานะการทำงานที่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ต่างๆ เช่น การทำงานของแผงโซลาร์เซลล์ /ระดับการเก็บประจุของแบตเตอรี่ (ไฟเต็ม/ไฟกลาง/ไฟน้อย หรือใกล้หมด)/การจ่ายไฟ DC ให้เครื่องใช้ไฟฟ้า DC ที่กำลังต่อเชื่อมวงจร มีระบบการตัดไฟอัตโนมัติ ในกรณีไฟแบตเตอรี่ใกล้หมด เพื่อป้องกันแบตเตอรี่เสีย/เสื่อมสภาพ เนื่องจากการใช้ไฟเกินกำลัง (Over Charge/ Over Discharge Protection) มีขนาดต่างๆ ตามความต้องการใช้งานตามระดับปริมาณกระแสไฟใช้งาน เช่น 10A 20A 30A 40A 50A 60A และเลือกตามแรงดัน Input ได้แก่ 12V 24V 48V หรือ 96V

2) การติดตามกำลังสูงสุด (Maximum Power Point Tracking, MPP หรือ MPPT) มีหลักการทำงานคือมีระบบไมโครโพรเซสเซอร์ หรือตัวจับสัญญาณ สำหรับควบคุมดูแลสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากแผงโซลาร์เซลล์ เปรียบเทียบกับแรงดันกระแสในแบตเตอรี่ และเลือกสัญญาณไฟฟ้าที่สูงที่สุดจากแผงเพื่อประจุลงในแบตเตอรี่ให้เต็มที่ตลอดเวลา มีขนาดต่างๆ ตามความต้องการใช้งานตามระดับปริมาณกระแสไฟใช้งาน เช่น 10A 20A 30A 40A 50A 60A และเลือกตามแรงดัน Input ได้แก่ 12V 24V 48V หรือ 96V ตัวควบคุมชนิดนี้มีราคาแพงกว่า และส่วนใหญ่จะใช้กับการผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีขนาดใหญ่ ดังในรูปที่ 2-13



รูปที่ 2-13 PWM Solar Charge Controller และ MPPT Solar Charge Controller [3]

2.1.8.4 อุปกรณ์ป้องกันระบบไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์

1) สวิตช์ตัดตอนหรือสวิตช์ตัดการเชื่อมต่อ จะถูกติดตั้งระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์กับอุปกรณ์ควบคุมการชาร์จ โดยใช้ที่แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงตั้งแต่ 60 โวลต์ขึ้นไป มีหน้าที่การทำงานสำหรับตัดต่อไฟฟ้ากระแสตรงและมีฟังก์ชันกระแสเท่ากับกระแสสูงสุดของอาร์เรย์แสงอาทิตย์ ซึ่งไม่ใช่สวิตช์ตัดการเชื่อมต่อที่ใช้สำหรับไฟฟ้ากระแสสลับทั่วไป เนื่องจากทุกครั้งที่ทำการตัดการเชื่อมต่อในขณะที่จ่ายโหลดจะเกิดประกายไฟ ประกายไฟจากไฟฟ้ากระแสตรงจะทำให้เกิดความ

เสียหายมากกว่าประกายไฟฟ้ากระแสสลับและสามารถทำความเสียหายกับอุปกรณ์ตัดการเชื่อมต่อที่ไม่ได้ออกแบบมาเพื่อจัดการกับประกายไฟจากไฟฟ้ากระแสตรงได้

2) ฟิวส์และเซอร์กิตเบรกเกอร์ ทำหน้าที่ป้องกันการลัดวงจรไฟฟ้าควรมีการป้องกันด้วยฟิวส์กระแสตรง (DC) หรือเบรกเกอร์กระแสตรงด้วยขนาดของอุปกรณ์ที่เหมาะสม โดยที่ฟิวส์กระแสสลับ (AC) ไม่สามารถใช้กับไฟฟ้ากระแสตรงได้ การต่อวงจรเดินสายระหว่างแบตเตอรี่และเครื่องควบคุมการชาร์จประจุต้องใส่เบรกเกอร์กระแสตรง หรือฟิวส์กระแสตรง และระหว่างขาออกของอินเวอร์เตอร์และผู้ใช้ไฟฟ้า ต้องใส่เบรกเกอร์กระแสสลับ ระบบขนาดใหญ่จะใช้กล่องต่อสายร่วม (Combiner Box) เป็นกล่องที่รวมจุดต่อวงจรของการเชื่อมต่อแผงเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อสร้างเป็นอาร์เรย์ กล่องต่อสายร่วมจะประกอบด้วยสวิตช์ตัดการเชื่อมต่อหรือเบรกเกอร์ตัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับวงจรแสงอาทิตย์แต่ละอาร์เรย์ และกล่องแยก (Junction Box) หรือกล่องรวมสัญญาณใช้เป็นกล่องหุ้มที่สายไฟและสายเคเบิลของวงจรต่าง ๆ เชื่อมต่อกัน

3) ระบบสายดิน การต่อลงดินของอุปกรณ์ต่างๆ สามารถป้องกันแรงดันไฟฟ้าที่เป็นอันตราย เนื่องจากการทำงานที่ผิดพลาดของอุปกรณ์ ช่วยป้องกันอุปกรณ์จากแรงดันไฟฟ้าที่เป็นอันตรายในกรณีที่เกิดฟ้าผ่า การต่อลงดินของอุปกรณ์หมายถึงการเชื่อมต่อตัวโลหะและโครงโลหะทั้งหมดของอุปกรณ์เข้าด้วยกันและต่อเข้ากับขั้วสายดิน โครงโลหะเหล่านี้ประกอบด้วย กรอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์, อินเวอร์เตอร์, กล่องของตัวควบคุมชาร์จประจุ, กล่องแยกสายที่เป็นโลหะ รวมถึงตัวนำอิเล็กทรอนิกส์ (PE) ที่ด้านกระแสสลับ การต่อสายดินทำให้ชิ้นส่วนโลหะของส่วนประกอบทั้งหมดของระบบอยู่ในแรงดันไฟฟ้าเท่ากันและมีศักย์เป็นศูนย์เมื่อเทียบกับโลก เมื่อเกิดฟ้าผ่า กระแสไฟฟ้าไหลผ่านอุปกรณ์ จะไม่ก่อให้เกิดความเสียหาย การต่อสายดินของระบบจำเป็นต่อการทำงานของอุปกรณ์ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ บางประเภทที่จะต้องต่อสายดิน เพื่อไม่ให้สูญเสียพลังงานเนื่องจากการสะสมของประจุไฟฟ้าสถิต เป็นต้น

2.1.9 การวิเคราะห์ผลตอบแทนทางการเงิน

การหาระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB)

ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB) หมายถึง ระยะเวลาของการลงทุนที่กระแสเงินสดรับสุทธิจากโครงการเท่ากับกระแสเงินสดจ่ายสุทธิพอดี

ดังนั้น ระยะเวลาคืนทุน = เงินสดจ่ายลงทุนสุทธิเมื่อเริ่มโครงการ - กระแสเงินสดรับสุทธิรายปีสะสมไปเรื่อยๆ จนเงินจ่ายลงทุนสุทธิเมื่อเริ่มโครงการเท่ากับศูนย์ ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period : PB) คือ ระยะเวลา (เป็นจำนวนปี/เดือนหรือวัน) ที่กระแสเงินสดรับจากโครงการสามารถ

ชดเชยกระแสเงินสดจ่ายลงทุนสุทธิตอนเริ่มโครงการพอดีเนื่องจากโครงการของโรงพยาบาลจะมีลักษณะการลงทุนเพียงครั้งเดียวในปีแรกและให้ผลตอบแทนที่เท่ากันทุกปี [4]

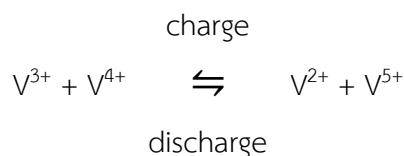
$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินสดจ่ายในการลงทุนสุทธิ (Total Investment)}}{\text{มูลค่าพลังงานที่ประหยัดได้ต่อปี (Annual Energy Cost Saving)}}$$

ค่า PB จะแสดงให้เห็นว่าต้องใช้เวลานานเพียงใดในการได้ทุนคืน ถ้าสามารถได้ทุนคืนเร็วโครงการก็จะมีที่น่าสนใจ วิธีดังกล่าวจะมีข้อเสียคือ วิธีนี้จะไม่ให้ความสนใจถึงเงินเข้าสู่สุทธิในส่วนที่ได้หลังจากช่วงเวลาคืนทุนแล้ว ซึ่งอาจจะมีผลตอบแทนภายหลังมากกว่าโครงการที่มี PB เร็วกว่าได้แต่ PB สำหรับการประเมินโครงการที่นำมาใช้พิจารณาเนื่องจากการคาดการณ์ว่าโครงการจะให้ผลการประหยัดพลังงานที่เท่ากันตลอดอายุของโครงการ ซึ่งในการผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ไม่สามารถคาดการณ์ว่าจะผลิตไฟฟ้าได้เท่ากันทุกอาจมากขึ้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างในแต่ละปี ดังนั้นการหาเวลาคืนทุนนี้จึงเป็นเพียงฐานการคิดอย่างง่ายในเบื้องต้น

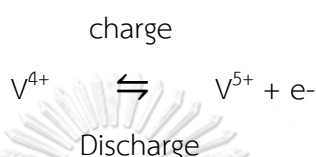
2.2 ทฤษฎีเบื้องต้นและหลักการทำงานของแบตเตอรี่ Vanadium Redox Flow (VRF)

2.2.1 ปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี ของแบตเตอรี่ VRF

แบตเตอรี่ Vanadium Redox Flow ประกอบด้วยเซลล์ครึ่งเซลล์บวก และครึ่งเซลล์ลบที่บรรจุ อิเล็กโทรไลต์ของไอออนวานาเดียมที่มีค่าออกซิเดชันต่างกัน ถูกแยกกันด้วยเมมเบรนแลกเปลี่ยนโปรตอน (Proton exchange membrane) ซึ่งอิเล็กโทรไลต์ทั้งสองที่ใช้ในเซลล์เป็นสารชนิดเดียวกันคือวานาเดียม โดยครึ่งเซลล์บวกนั้นบรรจุสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่มีไอออนคือ V^{5+} และ V^{4+} ส่วนครึ่งเซลล์ลบนั้นมีไอออน V^{3+} และ V^{2+} ซึ่งสารละลายอิเล็กโทรไลต์นั้นสามารถเตรียมได้หลายวิธี รวมถึงการละลายวานาเดียมเพนทอกไซด์ (V_2O_5) ในกรดซัลฟูริกด้วยไฟฟ้า สารละลายนี้จะมีความเป็นกรดสูงมาก ใน Vanadium Redox Flow แบตเตอรี่นั้น สารละลายอิเล็กโทรไลต์จะบรรจุอยู่ในถังเก็บขนาดใหญ่ 2 ถัง และสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะถูกหมุนเวียนโดยปั๊ม 2 ตัว ผ่านเซลล์เพื่อผลิตไฟฟ้า เมื่อแบตเตอรี่เข้าสู่สถานะการอัดประจุ (Charged) พลังงานไฟฟ้าจากภายนอกถูกเชื่อมต่อกับ Cell Stack ผ่านขั้วไฟฟ้าอิเล็กโทรดบวกและลบ ในครึ่งเซลล์บวกที่ผิวของขั้วอิเล็กโทรดบวก V^{4+} ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะปล่อยอิเล็กตรอนให้กับคาร์บอนแล้วกลายเป็น V^{5+} แล้วถูกปั๊มไปเก็บในถังเก็บสารละลายที่อยู่ข้างนอกเซลล์แบตเตอรี่ ในขณะเดียวกันนั้น ในครึ่งเซลล์ลบ V^{3+} ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ก็รับอิเล็กตรอนจากขั้วไฟฟ้าอิเล็กโทรดลบกลายเป็น V^{2+} แล้วถูกปั๊มให้ไหลเวียนออกจากแบตเตอรี่ไปเก็บไว้ในถังบรรจุอีกถังหนึ่งเช่นเดียวกัน การเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีสามารถเขียนได้ดังนี้

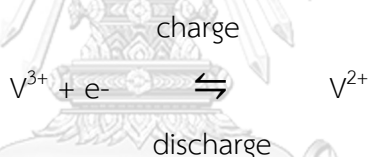


ที่ขั้วไฟฟ้าอิเล็กโทรดบวกที่ทำจากแผ่นคาร์บอนพื้นผิวสูง การเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีอาจเขียนได้ดังนี้



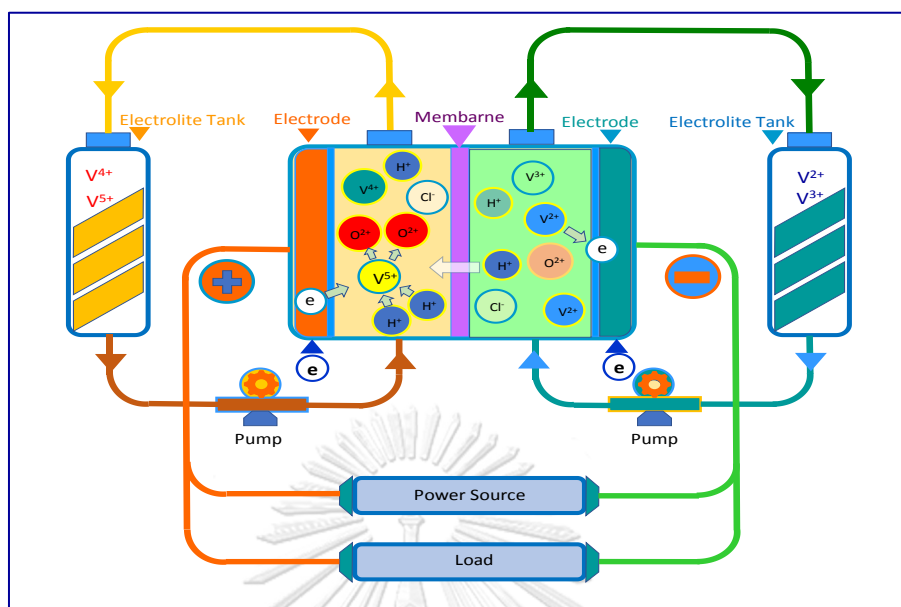
(ศักย์มาตรฐาน $E_0 = +1.0$ V ณ ความเข้มข้นของสารละลาย วาเนเดียม 1 โมลาร์)

ที่ขั้วไฟฟ้าอิเล็กโทรดลบที่ทำจากแผ่นคาร์บอนพื้นผิวสูง การเกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีอาจเขียนได้ดังนี้



(ศักย์มาตรฐาน $E_0 = -0.26$ V ณ ความเข้มข้นของสารละลายวาเนเดียม 1 โมลาร์)

ศักย์มาตรฐานของเซลล์ ณ ความเข้มข้นของวาเนเดียม 1 โมลาร์ ที่อุณหภูมิ $25\text{ }^{\circ}\text{C} = 1.26$ V และเมื่อแบตเตอรี่เข้าสู่สถานะการคายประจุ (Discharged) สารละลายอิเล็กโทรไลต์ V^{5+} และ V^{2+} ที่ถูกปั๊มไปเก็บไว้ที่ถังบรรจุทั้ง 2 ถัง จะถูกปั๊มให้ไหลเวียนเข้าไปในแบตเตอรี่และเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับแล้วปล่อยกระแสไฟฟ้าออกมา V^{2+} ในครึ่งเซลล์ลบจะปล่อยอิเล็กตรอนคืนไปให้กับขั้วไฟฟ้าอิเล็กโทรดลบกลายเป็น V^{3+} อิเล็กตรอนจะออกจากขั้วไฟฟ้าอิเล็กโทรดลบไปยังโหลดไฟฟ้า และจะกลับมาที่ขั้วไฟฟ้าอิเล็กโทรดบวก V^{5+} ในครึ่งเซลล์บวกได้รับอิเล็กตรอนเปลี่ยนเป็น V^{4+} และสารละลายอิเล็กโทรไลต์ V^{3+} และ V^{4+} จะถูกปั๊มไปเก็บในถังเก็บสารละลายต่อไป [5] หลักการทำงานของแบตเตอรี่ VRF ดังที่แสดงในรูปที่ 2-14



รูปที่ 2-14 หลักการทำงานของแบตเตอรี่ Vanadium Redox Flow

2.2.2 ส่วนประกอบของ VANADIUM REDOX FLOW BATERIES

1. ขั้วไฟฟ้า (Electrodes)

ขั้วไฟฟ้าของแบตเตอรี่ ทำหน้าที่เป็นวัสดุที่นำไฟฟ้าโดยอาศัยการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในเซลล์ไฟฟ้าปกติจะประกอบด้วยขั้วไฟฟ้า 2 ขั้วเสมอ ได้แก่ ขั้วแอโนด (Anode) คือขั้วที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และขั้วแคโทด (Cathode) คือ ขั้วที่เกิดปฏิกิริยารีดักชัน ซึ่งในแบตเตอรี่ VRFB โดยพื้นฐานส่วนมากมักจะเป็นขั้วไฟฟ้าที่ทำจากวัสดุประเภทคาร์บอนชนิดต่างๆ เช่น แผ่นคาร์บอนที่มีพื้นผิวสูง (carbon felt) แผ่นกราฟไฟต์ที่มีพื้นผิวสูง (graphite felt) แผ่นกระดาษคาร์บอน (carbon paper) ซึ่งสามารถนำไฟฟ้าได้ดี ทำให้การเกิดปฏิกิริยาเคมี มีความเสถียร มีศักยภาพในการใช้งานที่หลากหลาย ตัวอย่างแผ่น carbon felt ดังรูปที่ 2-15



รูปที่ 2-15 แผ่น carbon felt สำหรับใช้กับแบตเตอรี่ VRF [6]

2. อิเล็กโทรไลต์ (Electrolytes)

อิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) คือ สารที่เมื่อละลายในน้ำแล้วจะนำไฟฟ้าได้ เนื่องจากมีไอออนซึ่งอาจจะเป็นไอออนบวกหรือไอออนลบ เคลื่อนที่อยู่ในสารละลาย สารละลายอิเล็กโทรไลต์นั้นอาจเป็นสารละลายกรด เบส หรือเกลือก็ได้ เช่น สารละลายกรดเกลือ (HCl) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และสารละลายของเกลือ KNO_3 โดยในสารละลายดังกล่าวประกอบด้วยไอออน H^+ , Cl^- , OH^- , K^+ และ NO_3^- ตามลำดับ ในแบตเตอรี่ VRF จะใช้วาเนเดียมเป็นอิเล็กโทรไลต์ 2 ชนิด คือ V^{3+}/V^{2+} และ V^{5+}/V^{4+} สำหรับแลกเปลี่ยนไฮโดรเจนไอออน (H^+) สารละลายอิเล็กโทรไลต์มีความสำคัญต่อความหนาแน่นของพลังงานในแบตเตอรี่ รวมทั้งปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีที่เกิดขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารละลายวาเนเดียม โดยจะละลายอยู่ในกรดซัลฟูริกเป็นสารละลายวาเนเดียมไอออนซึ่งสารละลายอิเล็กโทรไลต์จะถูกเก็บไว้ในถังบรรจุสองถังแยกจากกันโดยครึ่งเซลล์บวกคือ V^{5+} และ V^{4+} บรรจุอยู่ในถังหนึ่งส่วนครึ่งเซลล์ลบนั้นมีไอออน V^{3+} และ V^{2+} บรรจุอยู่อีกถังหนึ่ง สารละลายอิเล็กโทรไลต์สามารถหมุนเวียนในระบบและนำกลับมาใช้ใหม่หรือสามารถเติมใหม่ได้ช่วยประหยัดค่าใช้จ่าย ดังในรูปที่ 2-16



รูปที่ 2-16 สารละลายอิเล็กโทรไลต์และช่องสำหรับเติมสารละลายอิเล็กโทรไลต์แบตเตอรี่ VRF

3. แผ่นเยื่อแบบแลกเปลี่ยนประจุ (Ion Exchange Membrane Separator)

แผ่นเยื่อแบบแลกเปลี่ยนประจุ (Ion Exchange Membrane Separator) คือส่วนประกอบที่สำคัญของแบตเตอรี่ VRF มีลักษณะเป็นแผ่นพอลิเมอร์บางๆ ที่มีความสามารถแยกและแลกเปลี่ยนอนุภาคที่มีประจุได้ ซึ่งเยื่อชนิดนี้จะยอมให้อนุภาคที่มีประจุชนิดตรงข้ามกับตัวเอง ผ่านจากฟากหนึ่งไปอีกฟากหนึ่งได้ และจะผลกอนุภาคที่มีประจุชนิดเดียวกันออกไปไม่ให้เข้าใกล้ ซึ่งในแบตเตอรี่ VRF นั้นจะทำหน้าที่กั้นสารละลายอิเล็กโทรไลต์ และเป็นตัวกั้นการแลกเปลี่ยนประจุไอออนระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสอง ทั้งนี้แผ่นเมมเบรนแลกเปลี่ยนไอออนจะต้องมีคุณสมบัติที่สามารถนำไอออนสูงเพื่อลดค่าศักย์ไฟฟ้าสูญเสียจากความต้านทานไฟฟ้า (Ohmic loss) มีคุณสมบัติความเลือกเฉพาะ (Selectivity) มีความจำเพาะเจาะในการคัดแยกไอออนที่ดีเพื่อป้องกันการไหลเข้าไปผสมกันของสารละลายอิเล็กโทรไลต์ และทำให้เกิดความเสถียรของปฏิกิริยาเคมี ในสภาพพื้นฐานที่สารละลายอิเล็กโทรไลต์มีความเข้มข้นและเป็นกรดสูง ซึ่งเยื่อแบบแลกเปลี่ยนประจุนี้เป็นส่วนประกอบสำคัญที่ทำให้แบตเตอรี่ VRF มีราคาแพง ปัจจุบันได้มีความพยายามศึกษาวัสดุที่มีประสิทธิภาพสูงและราคาไม่แพงเพื่อลดราคาของแบตเตอรี่ VRF ให้ถูกลง

4. ปั๊ม (Pumps)

ปั๊มเป็นส่วนประกอบที่ทำหน้าที่ในการหมุนเวียนสารละลายอิเล็กโทรไลต์จากถังเก็บผ่านขั้วไฟฟ้า (Electrolytes) เข้าไปในเซลล์ของแบตเตอรี่ (Cell Stack) การทำงานของปั๊มอาจมีผลทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมของแบตเตอรี่ลดลงได้ ทั้งนี้ใช้ปั๊มจำนวน 2 ตัวติดตั้งในระบบของแบตเตอรี่ VRF ดังในรูปที่ 2-17



รูปที่ 2-17 ปั๊มที่ติดตั้งในแบตเตอรี่ VRF

5. Cell Stack

เซลล์สแต็กทำหน้าที่เป็นกลไกที่สำคัญของแบตเตอรี่ VRF ประกอบด้วยเซลล์ตั้งแต่ 2 เซลล์ขึ้นไปอยู่ระหว่างถังบรรจุสารละลายอิเล็กโทรไลต์ทั้ง 2 ถัง แบตเตอรี่ VRF มีศักยภาพให้แรงดันไฟฟ้าได้ที่ 1.255 V ดังนั้นหากต้องการให้แรงดันไฟฟ้าสูงขึ้นจึงจำเป็นต้องมีการเพิ่มจำนวนเซลล์ให้มากขึ้นด้วย เซลล์สแต็กประกอบด้วยกรอบที่ครอบคลุมขั้วไฟฟ้า (Electrodes) ทั้ง 2 ขั้วยึดด้วยแผ่นปิดทั้ง 2 ด้าน แต่ละเซลล์จะมีแผ่นเยื่อแบบแลกเปลี่ยนประจุ (Ion Exchange Membrane Separator) กั้นอยู่เพื่อไม่ให้อาหารละลายอิเล็กโทรไลต์ไหลเข้าผสมกันได้แต่สามารถให้ไฮโดรเจนไอออนผ่านไปได้ ดังในรูปที่ 2-18



รูปที่ 2-18 เซลล์สแต็ก (Cell Stack) ของแบตเตอรี่ VRF

6. ถังบรรจุสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Storage Tanks)

ถังบรรจุสารละลายอิเล็กโทรไลต์ (Storage Tanks) คือส่วนประกอบที่ทำหน้าที่บรรจุสารละลายอิเล็กโทรไลต์ มีจำนวน 2 ถังทำจากวัสดุที่มีความทนทานต่อการกัดกร่อนของกรดเนื่องจากสารละลายอิเล็กโทรไลต์มีสภาพความเข้มข้นของกรดสูง ทั้งนี้แบตเตอรี่ VRF การเพิ่มความจุของแบตเตอรี่สามารถทำได้ง่ายโดยการเพิ่มขนาดความจุของถังให้มีขนาดใหญ่ขึ้นได้ ลักษณะของถังบรรจุสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ดังในรูปที่ 2-19



รูปที่ 2-19 ลักษณะของถังบรรจุน้ำสารละลายอิเล็กโทรไลต์

2.2.3 ลักษณะการใช้งานของแบริเตอร์ (VRF Applications)

แบริเตอร์ VRF สามารถใช้งานได้หลากหลายโดยเฉพาะเป็นแหล่งสะสมพลังงานขนาดใหญ่ซึ่งการใช้งานส่วนใหญ่สามารถทำได้ [7] ดังนี้

- ใช้เป็นระบบเก็บสะสมพลังงานไฟฟ้าและสำรองกระแสไฟฟ้า โดยการสะสมกำลังไฟฟ้าเก็บเอาไว้ใช้ในเวลาที่ต้องการหรือใช้เป็นระบบไฟฉุกเฉิน เพื่อจ่ายไฟเมื่อเกิดกรณีไฟฟ้าดับ การรักษาความถี่ในวงจรไฟฟ้าในเวลาที่เกิดไฟตก ซึ่งสามารถจ่ายไฟได้ทันทีเมื่อมีความต้องการใช้ไฟฟ้า เช่นการใช้งานในลักษณะเป็น UPS (Uninterruptible Power Supply) ในโรงพยาบาล โรงแรม เป็นต้น

- การจัดการระดับของโหลด (Load Leveling) เป็นการรักษาระดับของโหลดในช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าที่แตกต่างกัน ในกรณีที่มีความต้องการสูงจะช่วยจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปเสริมในระบบให้เพียงพอ ช่วยในการลดการใช้ไฟฟ้าในช่วงที่มีอัตราค่าไฟสูง (On Peak) โดยการชาร์จเก็บกำลังไฟฟ้าไว้ในช่วงที่มีค่าไฟราคาถูก (Off Peak) แล้วนำมาใช้ในช่วงเวลาที่ค่าไฟสูงกว่า การใช้งานในลักษณะ (Peak Shaving) เป็นการลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าในช่วงที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดช่วยทำให้เกิดความมั่นคงในระบบไฟฟ้าได้

- ช่วยปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้า (Power Quality) ช่วยในการลดความผันผวนของแรงดันไฟฟ้า เช่นการทำงานขัดข้องของอุปกรณ์ ความแปรปรวนของระบบที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานหมุนเวียน เช่นโซลาร์เซลล์ กังหันลม ซึ่งอาจทำให้เกิดปัญหาไฟตกจนทำให้อุปกรณ์ของระบบขัดข้องได้ ทำให้ระบบมีความเสถียรมากขึ้น

- การใช้ร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน ซึ่งไม่มีความแน่นอนในการผลิตไฟฟ้าโดยช่วยสะสมพลังงานไฟฟ้าเก็บเอาไว้ใช้เองหรือจ่ายเข้าระบบในช่วงเวลาที่พลังงานหมุนเวียนไม่สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ การใช้งานในระบบสมาร์ทกริด

- การใช้งานในระบบยานยนต์ไฟฟ้า โดยการใช้งานเป็นสถานีชาร์จรถไฟฟ้าร่วมกับพลังงานจากแสงอาทิตย์ พลังงานลม

นอกจากนี้ยังมีการใช้งานที่หลากหลายตามความต้องการอื่นๆได้อีก เช่นการใช้งานในระบบโทรคมนาคมการสื่อสารในพื้นที่ไม่มีไฟฟ้า เป็นต้น

2.2.4 ข้อดีข้อเสียของแบตเตอรี่วานาเดียมรีดอกซ์โพลาร์

แบตเตอรี่ VRF สามารถใช้งานได้หลากหลายโดยมีข้อดีข้อเสียดังนี้

ข้อดี

- เป็นแบตเตอรี่ที่มีความสามารถในการเก็บสะสมพลังงานไฟฟ้าได้จำนวนมาก มีพื้นฐานการทำงานที่ง่ายไม่ซับซ้อนมากมีอายุการใช้งานที่ยาวนานเนื่องจากสามารถประจุไฟฟ้าและคายประจุไฟฟ้าซ้ำได้หลายรอบไม่จำกัดโดยไม่ทำให้เสื่อมประสิทธิภาพ

- มีระดับความลึกของการคายประจุ (DOD) สูงโดยไม่เสื่อมประสิทธิภาพลง สามารถคายประจุได้ถึง 100%

- ด้านความปลอดภัย มีสารละลายอิเล็กโทรไลต์เป็นของเหลวที่ไม่ติดไฟและแบตเตอรี่ทำงานในอุณหภูมิห้องจึงไม่มีแนวโน้มที่จะติดไฟหรือระเบิดได้ โดยปกติแล้วสารละลายอิเล็กโทรไลต์ของแบตเตอรี่ VRF มีความเป็นกรดที่รุนแรงความเข้มข้นสูงแต่ถูกบรรจุในถังที่มีความปลอดภัยเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม วัสดุสามารถใช้ซ้ำได้เมื่อมีการเปลี่ยนใหม่

- สามารถเพิ่มความจุในการเก็บพลังงานไฟฟ้าได้ง่ายโดยการเพิ่มความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ ตามขนาดของสแต็คเซลล์แบตเตอรี่ หรือเพิ่มขนาดของถังบรรจุอิเล็กโทรไลต์ให้มีขนาดความจุสารละลายมากขึ้นได้ เนื่องจากอิเล็กโทรไลต์ถูกบรรจุอยู่ในถังภายนอกเซลล์แบตเตอรี่ จึงสามารถออกแบบได้อย่างอิสระมีความยืดหยุ่นสูง โดยขึ้นอยู่กับความต้องการกำลังไฟฟ้าและค่าใช้จ่าย

- สามารถทำงานได้ดีในระดับช่วงอุณหภูมิที่กว้าง ทำงานได้ดีทั้งอุณหภูมิต่ำและสูง (ประมาณ -40°C ถึง 50°C) ในการบำรุงรักษาสามารถทำได้ง่ายต้องการการบำรุงรักษาน้อย เนื่องจากบรรจุอยู่ในตู้คอนเทนเนอร์ที่สะดวกในการดูแลรักษา

- มีการตอบสนองต่อการใช้งานที่รวดเร็วมากในระดับ milliseconds (ms) ทำให้ไม่รู้สึกถึงไฟตกหรือไฟดับเมื่อแบตเตอรี่ทำงาน

- อัตราการคายประจุด้วยตัวเองในขณะที่ไม่มีการทำงานต่ำมากเนื่องจากถังบรรจุอิเล็กโทรไลต์ถูกแยกไว้ภายนอกต่างหาก

ข้อเสีย

- เนื่องจากต้องการให้ความจุของแบตเตอรี่สูง ดังนั้นถึงบรรจุอิเล็กโทรไลต์จึงต้องมีขนาดใหญ่เพื่อบรรจุสารละลายอิเล็กโทรไลต์ความเข้มข้นสูงปริมาณมากๆ ทำให้อัตราความหนาแน่นของพลังงานต่ำกว่าแบตเตอรี่ชนิดอื่น กล่าวคือในแบตเตอรี่ที่มีขนาดกำลังไฟฟ้าเท่ากัน แบตเตอรี่ VRF จะมีขนาดใหญ่กว่าชนิดอื่นมากทำให้ใช้พื้นที่ในการติดตั้งเพื่อใช้งานมากกว่าแบตเตอรี่ชนิดอื่น
- การใช้ปั๊มเพื่อหมุนเวียนสารละลายอิเล็กโทรไลต์เข้าไปในเซลล์สแต็กอาจทำให้เกิดการสูญเสียภายในระบบขึ้นได้ และถ้าหากปั๊มชำรุดหรือเสียอาจทำให้ระบบแบตเตอรี่ไม่สามารถทำงานได้
- ต้นทุนของอุปกรณ์บางอย่างมีความจำเพาะเจาะจงและมีราคาแพงเช่น แผ่นเยื่อแบบแลกเปลี่ยนประจุ (Ion Exchange Membrane Separator)
- สารละลายอิเล็กโทรไลต์มีความเป็นกรดเข้มข้นสูงมาก หากเกิดเหตุการณ์ไม่คาดคิดที่ทำให้ถึงบรรจุอิเล็กโทรไลต์เสียหายจนออกมาสู่ภายนอกได้ อาจเกิดอันตรายสูง

2.3 คำนิยามของพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับแบตเตอรี่เบื้องต้น

ค่าพารามิเตอร์ที่แสดงถึงความสามารถในการใช้งานแบตเตอรี่ชนิดใดๆ นั้นโดยทั่วไปมีดังต่อไปนี้

1) ความจุของแบตเตอรี่

ความจุของแบตเตอรี่ คือค่าที่แสดงถึงปริมาณกระแสไฟฟ้าที่แบตเตอรี่สามารถจ่ายออกไปได้ที่แรงดันไฟฟ้าที่กำหนดได้มากน้อยแค่ไหนเป็นเวลานานเท่าใด โดยบอกอัตราการจ่ายกระแสไฟฟ้าเป็นต่อชั่วโมง (แอมป์ต่อชั่วโมง- Ah) หรือบอกเป็นกำลังไฟฟ้าต่อชั่วโมง (วัตต์ต่อชั่วโมง -Wh) เช่นถ้ากำหนดให้แบตเตอรี่มีความจุ 100 Ah แสดงว่าแบตเตอรี่สามารถจ่ายกระแสคงที่ 100 A ได้ภายในระยะเวลา 1 ชั่วโมง สามารถจ่ายกระแสคงที่ 10 A ได้ภายใน 10 ชั่วโมง หรือสามารถจ่ายกระแสคงที่ 5 A ได้ภายใน 20 ชั่วโมง เป็นต้น ส่วนความจุของแบตเตอรี่ที่เวลาใด ๆ ขึ้นอยู่กับอัตราการปล่อยประจุ (C) เช่นแบตเตอรี่มีความจุ 100 Ah หากปล่อยประจุในอัตรา (C) แบตเตอรี่จ่ายกระแสที่ 100 A โดยใช้ระยะเวลา 1 ชั่วโมง แต่ถ้ากำหนดให้เป็นอัตรา 0.1C หรือ C/10 แบตเตอรี่นั้นจะจ่ายกระแสที่ 10 A โดยใช้ระยะเวลา 10 ชั่วโมงและถ้ากำหนดให้เป็นอัตรา 2C แบตเตอรี่จะสามารถจ่ายกระแส 200 A ได้ด้วยระยะเวลาเพียง 0.5 ชั่วโมง หรือ 30 นาที เป็นต้น

2) สถานะของการคายประจุ (state of charge, SOC)

สถานะของการคายประจุ (state of charge, SOC) เป็นค่าที่แสดงถึงพลังงานที่เก็บสะสมอยู่ในแบตเตอรี่ หรือเป็นค่าที่แสดงถึงความจุของแบตเตอรี่ในแต่ละช่วงเวลาต่างๆ มีค่าเท่ากับ

อัตราส่วนของความจุแบตเตอรี่ในช่วงเวลานั้นๆ ต่อความจุของแบตเตอรี่เมื่อประจุเต็ม แสดงค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ (%) เช่นแบตเตอรี่มีค่า SOC 50% แสดงว่า แบตเตอรี่มีความจุเหลืออยู่ 50% ณ เวลานั้นๆ

3) ความลึกของการปล่อยประจุ (depth of discharge, DOD)

ความลึกของการปล่อยประจุ (depth of discharge, DOD) เป็นค่าที่แสดงถึงเปอร์เซ็นต์ของความจุของแบตเตอรี่ที่ถูกใช้งานออกไปหรือมีการปล่อยประจุออกไปเปรียบเทียบกับความจุทั้งหมดของแบตเตอรี่ ค่า DOD จะบอกถึงความสามารถในการปล่อยประจุหรือกระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่ โดยที่แบตเตอรี่ที่มีค่า DOD สูงแสดงว่าสามารถปล่อยประจุไฟฟ้าได้มาก ค่า DOD มีผลต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่เช่น ถ้าแบตเตอรี่ที่กำหนดค่า DOD ไว้ที่ 40% หากมีปล่อยประจุหรือใช้งานเกินค่านี้อาจจะทำให้อายุแบตเตอรี่สั้นลงได้ แบตเตอรี่ทั่วไปอาจมีค่า DOD ไม่สูงแต่สำหรับบางชนิดเช่นแบตเตอรี่ชนิดวัฏจักรลึก (deep-cycle) อาจมีค่า DOD มากกว่า 80% ความสัมพันธ์ระหว่าง SOC และ DOD สามารถแสดงได้ดังนี้คือ

$$DOD = 1 - SOC$$

4) สถานะของสุขภาพแบตเตอรี่

สถานะของสุขภาพ (state of health, SOH) เป็นอัตราส่วนระหว่างค่าสูงสุดของความจุแบตเตอรี่ที่ใช้งานแล้วต่อค่าสูงสุดของความจุแบตเตอรี่ใหม่ เป็นค่าที่ใช้ในการบ่งชี้การเสื่อมสภาพและอายุการใช้งานที่เหลืออยู่ของแบตเตอรี่ สมการคำนวณ SOH คือ

$$SOH = \frac{\text{ความจุแบตเตอรี่ที่ใช้งานแล้ว}}{\text{ความจุพิกัดแบตเตอรี่ใหม่}}$$

5) จำนวนวัฏจักร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จำนวนวัฏจักรคือจำนวนครั้งของการอัดประจุ-ปล่อยประจุของแบตเตอรี่ในเงื่อนไขที่กำหนดค่า DOD ก่อนที่แบตเตอรี่จะสิ้นสภาพการใช้งานได้ สิ่งที่มีผลต่อจำนวนวัฏจักรคืออัตราการอัดประจุ-ปล่อยประจุ DOD และอุณหภูมิ แบตเตอรี่ที่มีค่า DOD สูงกว่าจะมีจำนวนวัฏจักรน้อยกว่า ดังนั้นการใช้งานแบตเตอรี่ภายใต้เงื่อนไขค่า DOD ต่ำจะช่วยให้จำนวนวัฏจักรของแบตเตอรี่มีค่าสูงขึ้น

6) พลังงานจำเพาะ หรือ ค่าความหนาแน่นของพลังงาน (Energy Density)

พลังงานจำเพาะของแบตเตอรี่ คือปริมาณพลังงานที่แบตเตอรี่สามารถสะสมได้ต่อหนึ่งหน่วยของมวล (Wh/kg) เนื่องจากปริมาณของพลังงานที่สะสมขึ้นอยู่กับอัตราการปล่อยประจุของแบตเตอรี่ ดังนั้นพลังงานจำเพาะจึงมีค่าไม่คงที่ ค่าพลังงานจำเพาะของแหล่งพลังงานที่แตกต่างกัน

2.4 ระบบสำรองไฟฟ้าในโรงพยาบาล

ระบบสำรองไฟฟ้าในโรงพยาบาลถือว่าเป็นสิ่งที่สำคัญมาก เนื่องจากระบบไฟฟ้าในของประเทศไทยอาจจะยังไม่มีเสถียรภาพมากนัก เกิดปัญหาไฟฟ้าดก ไฟฟ้าดับ ทำให้จำเป็นต้องใช้เครื่องสำรองไฟฟ้า เพื่อป้องกันความเสียหายแก่อุปกรณ์ไฟฟ้าและเครื่องมือแพทย์ จากปัญหาทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้น นอกจากนั้น ห้องผ่าตัด ห้องฉุกเฉินหรือห้อง ICU ต่างๆ ยังจำเป็นที่จะต้องมิไฟใช้ตลอดเวลา ดังนั้นโรงพยาบาลจึงจำเป็นที่จะต้องมึระบบสำรองไฟไว้ใช้เมื่อยามจำเป็น

ระบบสำรองไฟในโรงพยาบาลสามารถแบ่งได้ 2 ประเภท คือ

1. เครื่องสำรองไฟแบบ UPS (Uninterruptable Power Supply) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เพื่อจ่ายไฟฟ้าสำรองจากแบตเตอรี่ให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าในระหว่างที่เกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าตกหรือดับ ซึ่งมักจะใช้สำรองไฟเพื่อรอให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำงานจนสามารถจ่ายไฟให้กับระบบได้ก่อน โดยที่ UPS จะมีอยู่ 3 ประเภท คือ

1.1 Off Line UPS มีคุณสมบัติสำรองกระแสไฟฟ้า (ป้องกันไฟฟ้าดดับ) ได้เพียงอย่างเดียว มีราคาถูก

1.2 Line Interactive UPS with Stabilizer มีคุณสมบัติสำรองกระแสไฟฟ้า (ป้องกันไฟฟ้าดดับ) และควบคุมแรงดันกระแสไฟฟ้า ในกรณีที่เกิดปัญหาไฟฟ้าดดับหรือตก พัฒนามาจากแบบแรกนิยมใช้งานมากที่สุดในปัจจุบัน ราคาปานกลาง

1.3 On Line UPS มีคุณสมบัติสำรองกระแสไฟฟ้า (ป้องกันไฟฟ้าดดับ) ควบคุมแรงดันกระแสไฟฟ้าในกรณีที่เกิด ปัญหาไฟฟ้าดก ไฟฟ้าเกิน เป็น UPS ที่มีคุณภาพสูงกว่าชนิดอื่น มีการจ่ายกระแสไฟตลอดเวลา มีความเชื่อถือได้สูง ป้องกันสัญญาณรบกวนต่าง ๆ มีการออกแบบป้องกันการไหลต่ออย่างสมบูรณ์ มีราคาสูงกว่าแบบอื่น ๆ

2. เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยอาศัยการเหนี่ยวนำของแม่เหล็ก การเคลื่อนที่ของขดลวดตัวนำผ่านสนามแม่เหล็ก หรือการเคลื่อนที่แม่เหล็กผ่านขดลวดตัวนำ จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นในขดลวดตัวนำนั้น ซึ่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามี 2 ชนิด คือชนิดกระแสตรงเรียกว่า ไดนาโม (Dynamo) และชนิดกระแสสลับเรียกว่า อัลเตอร์เนเตอร์ (Alternator) สำหรับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้งานในโรงพยาบาลจะเป็นเครื่องกำเนิดแบบ 3 เฟส เนื่องจากสามารถผลิตและจ่ายกำลังไฟฟ้าได้มาก

ในระบบสำรองไฟต้องมีอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับโอนย้ายโหลด (Load) ในกรณีที่ไฟจากการไฟฟ้าดดับหรือมีปัญหาเรียกว่า “Automatic Transfer Switch” หรือ ATS คือ อุปกรณ์ที่ใช้เลือกทางเดินไฟ

หรือแหล่งจ่ายไฟ ระหว่างแหล่งจ่าย 2 แหล่ง โดยส่วนใหญ่มักจะใช้เลือกกระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กับหม้อแปลง หรือเลือกกระหว่างหม้อแปลงกับหม้อแปลง โดยที่ในโรงพยาบาลมักจะใช้เลือกกระหว่าง หม้อแปลงไฟฟ้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ATS Controller และ Gen set Controller เป็นอุปกรณ์อีก ตัวหนึ่งที่สำคัญสำหรับระบบสำรองไฟ

เปรียบเทียบ ข้อดี – ข้อเสีย ของการใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) และ UPS โดยที่แต่ละรูปแบบก็จะมี ข้อดี – ข้อเสีย ต่างกันไป เช่น

- เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) สามารถใช้กับระบบสำรองไฟที่มีขนาดใหญ่ได้ เช่น ใช้สำรองไฟทุกตึกของโรงพยาบาล แต่มีข้อเสียคือ จะมีการขาดช่วงของการจ่ายกระแสไฟชั่วคราว

- UPS มีข้อดี คือ สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง เมื่อเกิดไฟกระพริบหรือไฟดับ แต่มีข้อด้อยคือ ราคาแพงมากเมื่อโหลด (load) มีขนาดใหญ่หรือต้องจ่ายโหลดเป็นระยะเวลานานหลายชั่วโมง ดังนั้นในการเลือกระบบสำรองไฟจึงต้องพิจารณาถึงความจำเป็นของการจ่ายโหลดด้วยเช่นกัน เนื่องจากโหลดบางประเภทอาจไม่จำเป็นต้อง สำรองไฟในกรณีที่ไฟดับ โดยอาจสำรองเฉพาะ โหลดที่จำเป็นเท่านั้น เช่น ห้องฉุกเฉิน, ห้องผ่าตัด, ห้อง ICU ฯลฯ ระบบนี้จะใช้ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ขนาดเล็กกว่าและใช้ UPS สำรองไฟฟ้าในช่วงที่ไฟขาดตอน เครื่องสำรองไฟฟ้าทั้งสองแบบ [8] ดังแสดง ในรูปที่ 2-20



รูปที่ 2-20 เครื่องสำรองไฟฟ้าแบบ UPS และ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า [8]

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้ศึกษามีจุดมุ่งหมายที่จะประเมินผลการดำเนินงานที่เกิดขึ้นภายหลังการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจาก เซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาของโรงพยาบาล เพื่อลดภาระค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าและการนำ แบตเตอรี่ Vanadium Redox Flow (VRF) มาใช้ในการรักษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าสำหรับ

สำรองพลังงานเอาไว้ใช้ในเวลาที่เกิดเหตุการณ์ไฟตกไฟดับ โดยจะทำการจ่ายไฟให้กับโหลดที่มีความสำคัญก่อนเครื่องสำรองไฟฟ้าดีเซลในกรณีที่เกิดไฟดับ

ผู้ศึกษาได้ศึกษาระบบกักเก็บพลังงานโดยใช้แบตเตอรี่ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ สำหรับผู้ใช้ไฟที่มีการคิดอัตราค่าไฟตามช่วงเวลาการใช้งาน โดยธีระภัทร์ แมนมิตร และ ปานจิต ดำรงกุลกำจร [9] เกี่ยวกับเงื่อนไขในการทำงานของแบตเตอรี่ เช่นอายุของแบตเตอรี่ ระดับของปริมาณพลังงานในแบตเตอรี่ สถานะการทำงานของแบตเตอรี่ อัตราการชาร์จและดิสชาร์จ รวมทั้งปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ ปริมาณการใช้ไฟฟ้าสุทธิ ซึ่งพบว่าการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำเอาแบตเตอรี่มาช่วยในการจัดการพลังงานจะสามารถช่วยให้ผู้ใช้ไฟได้รับผลตอบแทนทางการเงินมากขึ้น

ผู้ศึกษาได้ศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพกำลังการผลิตไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ รวมถึงการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เพื่อประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เพื่อประเมินความคุ้มค่าในการลงทุนโดย สุรกิจ ทองสุก และ อรรถพล เกาพิทักษ์กุล, การศึกษาประสิทธิภาพและความคุ้มค่าของระบบไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา [10] ที่ได้ศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อการติดตั้งระบบดังกล่าว เช่น ต้นทุนในการติดตั้ง ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้สำหรับคำนวณระยะเวลาคืนทุน และอัตราผลตอบแทน พบว่าการปริมาณการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างที่มีผลต่อการผลิตเช่น ความเข้มของแสงอาทิตย์ อุณหภูมิและอื่นๆ ผลการศึกษาทางเศรษฐศาสตร์พบว่ามีอัตราการคืนทุนที่เหมาะสมสำหรับการลงทุน

ผู้ศึกษาได้ศึกษาการวิเคราะห์ประสิทธิภาพและสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับสายส่งขนาด 300 kW โดยเอกพันธ์ ผัดศรี ,คณภรณ์ ก้อนแก้ว และ อัครินทร์ อินทนิเวศน์ วิเคราะห์สมรรถนะและประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับสายส่ง พบว่าวันที่ฟ้าโปร่งจะผลิตไฟฟ้าได้มากกว่า วันที่ฟ้าครึ้ม มีฝนตก และพบว่าสมรรถนะของระบบในวันที่ฟ้าครึ้ม จะมีค่ามากกว่าวันที่ฟ้าโปร่งเนื่องจากวันที่ฟ้าโปร่งมีการสูญเสียในระบบสูง จึงทำให้สมรรถนะลดลงอันเป็นผลมาจากค่ารังสีแสงอาทิตย์ที่สูงขึ้น [11]

บทที่ 3 วิธีการศึกษา

3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากระบบตรวจวัดและบริหารจัดการพลังงานภายในอาคารของโรงพยาบาล ดังแสดงในรูปที่ 3-1 โดยข้อมูลที่ทำการเก็บรวบรวม ได้แก่ ข้อมูลการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ข้อมูลความเข้มแสง ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของโรงพยาบาล ข้อมูลสถานะการทำงานของแบตเตอรี่ โดยช่วงเวลาที่ทำการเก็บข้อมูลตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2561 ซึ่งเป็นช่วงระยะเวลาเริ่มต้นของการใช้งานระบบจริงหลังจากแล้วเสร็จโครงการ ถึงเดือน เมษายน 2562 รวมระยะเวลา 12 เดือนหรือ 365 วัน โดยมีวิธีการเก็บข้อมูลดังนี้



รูปที่ 3-1 ระบบตรวจวัดและบริหารจัดการพลังงานภายในอาคารของโรงพยาบาล

1. ข้อมูลการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ทำการเก็บปริมาณการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ (kW) ตามช่วงเวลาในแต่ละวัน ตั้งแต่เวลา 06.00 น. ถึง 19.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่เซลล์แสงอาทิตย์เริ่มต้นผลิตและสิ้นสุดการผลิตไฟฟ้า โดยระบบจะแสดงข้อมูลการผลิตไฟฟ้าทุกๆ เวลา 15 นาที
2. ข้อมูลความเข้มแสง (w/m^2) เก็บข้อมูลความเข้มแสงตามช่วงเวลาที่เซลล์แสงอาทิตย์เริ่มผลิตกระแสไฟฟ้า ตั้งแต่เวลา 06.00 น. ถึง 19.00 น. โดยระบบจะแสดงข้อมูลทุกๆ เวลา 15 นาที

3. ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของโรงพยาบาล ทำการเก็บข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากระบบตามช่วงเวลาในแต่ละวันของแต่ละเดือนรวมเป็นปริมาณการใช้ไฟฟ้าในแต่ละเดือน เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับปริมาณการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

4. ข้อมูลสถานะการทำงานของแบตเตอรี่ ทำการจัดเก็บสถานะชาร์จและดิสชาร์จ ซึ่งมีหน่วยเป็น kW ค่าความจุของแบตเตอรี่ มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ ค่ากำลังไฟฟ้าตามช่วงเวลาในแต่ละวันตั้งแต่เวลา 00.00 น. ถึง เวลา 23.45 น. ซึ่งระบบจะแสดงข้อมูลทุกๆ 15 นาที

3.2 ข้อมูลเบื้องต้นของกรณีโรงพยาบาลที่ทำการศึกษา

ข้อมูลเบื้องต้นของโรงพยาบาลที่ทำการศึกษาในงานศึกษานี้เป็นโรงพยาบาลที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ห่างไกลอยู่ปลายระบบสายส่งของการไฟฟ้า สภาพพื้นที่เป็นภูเขา เป็นโรงพยาบาลขนาดเล็กขนาด 60 เตียง โดยตั้งอยู่บนละติจูด (Latitude) ที่ 18.5 องศาเหนือ และ ลองจิจูด (Longitude) ที่ 98.4 องศาตะวันออก ระดับความสูง 542 เมตร อุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปี 24 องศาเซลเซียส ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ประมาณ 1,844 kWh/m² ต่อปี (อ้างอิงข้อมูลจากการใช้ โปรแกรม PVSYST ในการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ของโครงการ)

พื้นที่ในบริเวณโรงพยาบาล มีอาคารประกอบด้วย อาคารอำนวยการ (ผู้ป่วยนอก) อาคารพระราชทาน 7 และ 8 อาคารอุบัติเหตุ อาคารระบบบำบัดน้ำเสีย บ้านพักข้าราชการ จำนวน 4 หลัง อาคารหอพักแพทย์ จำนวน 3 อาคาร โรงรถ โรงพัสดุ โรงนึ่งกลาง โดยพื้นที่ที่ทำการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ได้ทำการติดตั้งบนพื้นที่หลังคาของอาคารอำนวยการ อาคารพระราชทาน 7 และ 8 จำนวน 3 Arrays คิดเป็นกำลังการผลิตติดตั้งรวม 204.3 kWp และระบบสำรองไฟฟ้าด้วยแบตเตอรี่ ได้ติดตั้งในอาคารโรงคลุมสำหรับแบตเตอรี่โดยเฉพาะ

3.3 ข้อมูลระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ของโรงพยาบาล

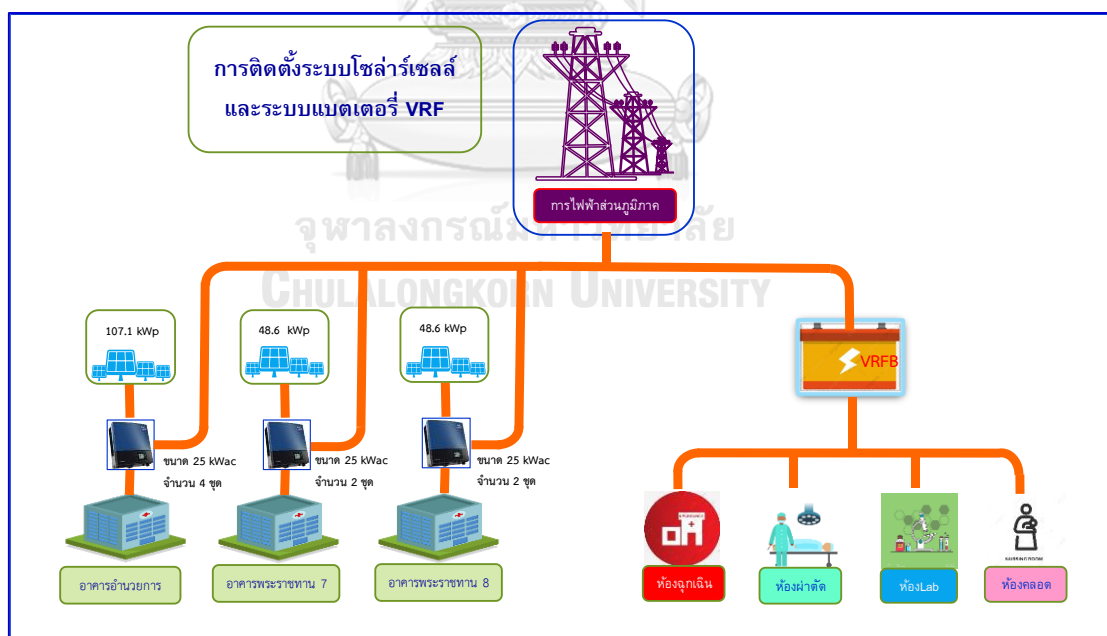
การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ของโรงพยาบาลมีรายละเอียดการติดตั้งดังนี้

1.1 อาคารอำนวยการ ติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์แบบ Polycrystalline ขนาด 300 Wp จำนวน 357 แผง ประกอบด้วย การต่ออนุกรม 17 แผง เป็น 1 strings และต่อขนานกัน 19 strings คิดเป็นกำลังการผลิตติดตั้ง 107.1 kWp

1.2 อาคารพระราชทาน 7 ติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์แบบ Polycrystalline ขนาด 300 Wp จำนวน 162 แผง ประกอบด้วย การต่ออนุกรม 18 แผง เป็น 1 strings และต่อขนานกัน 9 strings คิดเป็นกำลังการผลิตติดตั้ง 48.6 kWp

1.3 อาคารพระราชทาน 8 ติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์แบบ Polycrystalline ขนาด 300 Wp จำนวน 162 แผง ประกอบด้วย การต่ออนุกรม 18 แผง เป็น 1 strings และต่อขนานกัน 9 strings คิดเป็นกำลังการผลิตติดตั้ง 48.6 kWp

1.4 การติดตั้งอินเวอร์เตอร์สามเฟส ขนาด 25 kWac แรงดันไฟฟ้า 390-800 V จำนวน 8 ชุด โดยติดตั้งที่ อาคารอำนวยการ จำนวน 4 ชุด อาคารพระราชทาน 7 และ 8 อาคารละ 2 ชุด โดยมีคุณสมบัติคือ ป้องกันแรงดันต่ำ/แรงดันเกิน ป้องกันความถี่ต่ำ/ความถี่เกิน ป้องกันกระแสเกิน ด้านเฟสและกราวด์ ระบบการชิ่งโครโนซ์ การป้องกันไม่ให้เกิดการจ่ายไฟแบบระบบไฟฟ้าแยกโดด (Anti-Islanding Protection) อินเวอร์เตอร์มีการติดตั้ง Control Cluster ควบคุมและป้องกันไม่ให้เกิดการจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบ กฟภ. รวมทั้งหมดกำลังการผลิตติดตั้ง 204.3 kWp จำนวนแผงทั้งหมด 681 แผง พื้นที่ติดตั้งรวม 1,307 ตารางเมตร รูปที่ 3-2 ระบบติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์และแบตเตอรี่



รูปที่ 3-2 ระบบติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์และแบตเตอรี่

3.4 ประมาณการปริมาณกำลังผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ของโรงพยาบาลในเบื้องต้น

การคำนวณหาปริมาณการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในเบื้องต้นจะใช้วิธีการคำนวณจากการนำข้อมูลแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ฉบับใหม่สำหรับประเทศไทย (ปรับปรุง 2560) ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งจะมีฐานข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ระดับตำบลปี 2560 ประกอบกับข้อมูลการออกแบบติดตั้งระบบด้วยโปรแกรม PVSYST ของโครงการโดยข้อมูลดังกล่าวจะนำมาคำนวณปริมาณกำลังผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ของโรงพยาบาลซึ่งจะเป็นค่าการคำนวณทางทฤษฎี และนำไปเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการเก็บข้อมูลจริงจากระบบตรวจวัดและบริหารจัดการพลังงานภายในอาคารของโรงพยาบาล เพื่อประเมินผลการทำงานของระบบต่อไป โดยข้อมูลศักยภาพรังสีแสงอาทิตย์ในพื้นที่ของโครงการในระดับตำบลมีดัง ตาราง 3-1 แสดงฐานข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ระดับตำบลสำหรับประเทศไทยในพื้นที่โครงการ

ตารางที่ 3-1 แสดงฐานข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ระดับตำบลสำหรับประเทศไทยในพื้นที่โครงการ

ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	เฉลี่ย
16.140	18.780	20.010	21.100	18.040	14.770	12.990	13.140	15.100	16.180	15.870	15.080	16.430(±2.56)

ในการประมาณการผลิตจะสามารถคำนวณหา กำลังการผลิตในเบื้องต้นได้ ดังนี้

กำลังการผลิตไฟฟ้าคิดได้จาก

$$\text{กำลังการผลิตไฟฟ้า} = \text{ค่าพลังงานต่อพื้นที่ (kWh/m}^2\text{-วัน)} \times \text{จำนวนพื้นที่ที่ติดตั้งแผงทั้งหมด} \times \text{จำนวนวัน} \times \text{ค่าประสิทธิภาพของแผง} \times \text{ค่าความสูญเสียของระบบ}$$

โดยที่ - ค่าพลังงานต่อพื้นที่ (kWh/m²-วัน คือค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ (kWh/m)

(ที่ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร ณ สภาวะมาตรฐาน (STC : Standard Test Condition))

- จำนวนพื้นที่ๆ ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งทั้งหมด
- จำนวนวันในแต่ละเดือน
- ค่าประสิทธิภาพของแผง ที่ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร ณ สภาวะมาตรฐาน (STC : Standard Test Condition)
- ค่าความสูญเสียของระบบ คือค่าบอกถึงความสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบที่เกิดจากสภาวะแวดล้อม เช่นการสูญเสียเนื่องอุณหภูมิ การเดินสายไฟ ตัวแผง PV ระดับรังสีแสงอาทิตย์ คุณภาพของแผง และอื่นๆ เช่น การบดบัง ฝุ่น เป็นต้น

3.5 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของโรงพยาบาล

การใช้ไฟฟ้าของโรงพยาบาลจะมาจากแหล่งจ่ายไฟฟ้าหลักสองส่วนที่เชื่อมต่อกันคือ ส่วนที่ผลิตจากเซลล์แสงอาทิตย์ และระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของโรงพยาบาลสุทธิจะสามารถดูได้จากระบบตรวจวัดและบริหารจัดการพลังงานภายในอาคารของโรงพยาบาล จะทำการตรวจวัดและบันทึกข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอาคารต่างๆ ในโรงพยาบาล รวมทั้งปริมาณการใช้ไฟฟ้ารวมทั้งหมดของโรงพยาบาล ซึ่งสามารถเรียกดูข้อมูลผ่านระบบออนไลน์ได้ ดังนั้นในการศึกษาจะใช้ข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากระบบตรวจวัดและบริหารจัดการพลังงานเพื่อนำมาเปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าในแต่ละวัน หรือในแต่ละเดือน เพื่อเอาไปใช้หาผลประหยัดที่เกิดขึ้นจากระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ต่อไป

3.6 การหาผลประหยัดที่เกิดขึ้น

ในการหาผลประหยัดที่เกิดจากระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังนี้

- 1) ผลประหยัดที่เกิดขึ้นเป็นจำนวนเงิน โดยที่

ผลประหยัดที่ได้ = ปริมาณการผลิตไฟฟ้าที่ผลิตได้ (kWhต่อปี) x ราคาพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย (บาท)
(ราคาพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วย (บาท) ดูจากใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้า)

ซึ่งปริมาณการผลิตไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละวัน แต่ละเดือน และผลการผลิตไฟฟ้าเป็นรายปี จะสามารถเก็บข้อมูลได้จากระบบตรวจวัดและบริหารจัดการพลังงาน

- 2) ผลประหยัดเทียบเท่าตันน้ำมันดิบ (ktoe/ปี)

ในการคิดเป็นตันเทียบเท่าตันน้ำมันดิบ (tons of oil equivalent ; toe) ซึ่งหมายถึงพลังงานที่ได้จากการเผาไหม้ของน้ำมันดิบ 1 ตัน หรือประมาณ 42 จิกะจูล (GJ) สำนักงานพลังงานสากล (International Energy Association ; IEA) และสหประชาชาติ (UN) ได้กำหนดให้ 1 ตันน้ำมันดิบ = 41.868 GJ หรือ = 11,630,000,000 kWh หรือ =10 Gcal

จะสามารถหาผลประหยัดเทียบเท่าตันน้ำมันดิบ (ktoe/ปี) ได้คือ

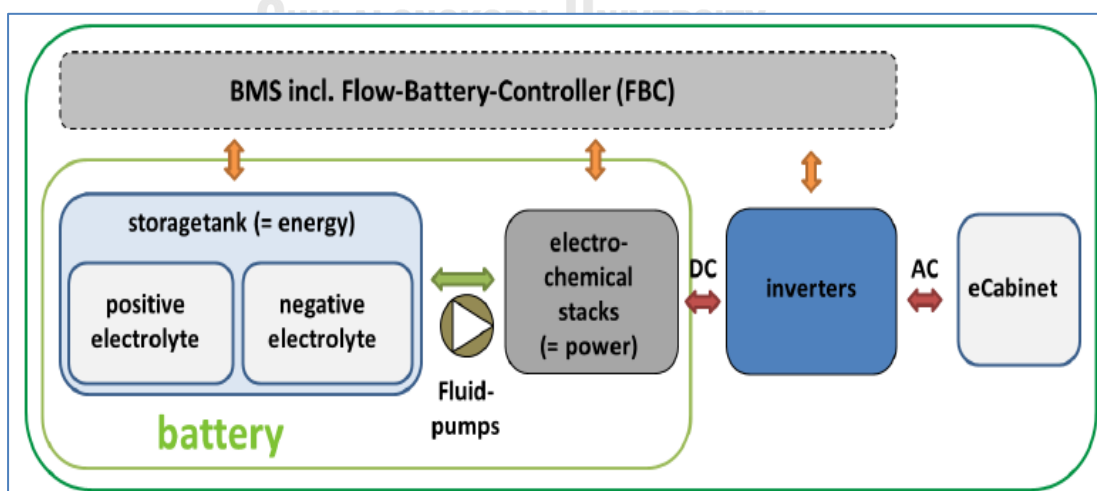
$$\text{ผลประหยัดเทียบเท่าตันน้ำมันดิบ (ktoe/ปี)} = \frac{\text{ปริมาณการผลิตไฟฟ้าที่ผลิตได้ (kWhต่อปี)}}{11,630,000,000}$$

3.7 ข้อมูลระบบแบตเตอรี่ (Vanadium Redox Flow Battery : VRF)

3.7.1 ข้อมูลทั่วไปของแบตเตอรี่

แบตเตอรี่มีขนาด 10 kW ความจุ 100 kWh โดยทำหน้าที่เป็นระบบสำรองพลังงานหลักที่จะทำการจ่ายไฟให้กับโหลดที่มีความสำคัญก่อนเครื่องสำรองไฟฟ้าดีเซลในกรณีที่เกิดไฟฟ้าดับช่วยสำรองไฟและจ่ายไฟกรณีเกิดไฟตกไฟดับ ได้แก่ ห้องฉุกเฉิน ห้อง Lab ห้องคลอด ห้องผ่าตัดโดยแบตเตอรี่ VRF มีชุดอุปกรณ์ย่อยประกอบด้วย ขั้วไฟฟ้าเคมี (Cell Stack), ถังเก็บสารละลายอิเล็กโทรไลต์ชนิดผนังสองชั้น ที่บรรจุสารวานาเดียมเหลวที่มีประจุบวกและประจุลบแยกออกจากกันเป็นสองถัง, ป้อนดูดสารละลาย, ชุดอุปกรณ์ควบคุมการทำงานของระบบ (Charged-Controller) ซึ่งอุปกรณ์ทั้งหมดต้องถูกติดตั้งไว้ในห้องเก็บชนิดตู้คอนเทนเนอร์ (Container Type Cabinet) ที่มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น สามารถระบายความร้อนได้ดี และเมื่อติดตั้งชุดอุปกรณ์ต่างๆ ภายในห้องเก็บเรียบร้อยแล้ว สามารถเคลื่อนย้ายและนำไปติดตั้งใช้งานได้ทันที

แบตเตอรี่ VRF ถูกออกแบบให้สามารถเก็บพลังงานไฟฟ้าได้โดยใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ผลิตจากสารผสมวานาเดียม (Liquid Vanadium Electrolyte) ซึ่งบรรจุอยู่ในภาชนะจัดเก็บที่แยกเป็นสองส่วน โดยมีประจุบวกและประจุลบเท่าๆ กัน สารละลายอิเล็กโทรไลต์จะถูกดูดผ่านขั้วไฟฟ้าเคมี (Electro-chemical Cells) และเกิดการแลกเปลี่ยนประจุไฟฟ้าผ่านปฏิกิริยารีดอกซ์ในระหว่างการประจุไฟฟ้า (Charge) และการจ่ายพลังงานไฟฟ้า (Discharge) เมื่อต้องการใช้งาน กระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จะถูกแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับโดยอุปกรณ์แปลงไฟฟ้า (Inverter) ก่อนถูกนำไปใช้งานดังในรูปที่ 3-3



รูปที่ 3-3 แสดง Block Diagram การทำงานของแบตเตอรี่ VRF [12]

ลักษณะการติดตั้งชุดอุปกรณ์ต่างๆ ภายในตู้คอนเทนเนอร์ แบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ ด้านหลังจะเป็นส่วนบรรจุระบบเก็บพลังงาน (Energy Unit) ประกอบด้วย ระบบการไหลเวียนสารละลายและขั้วไฟฟ้าเคมี (Power Unit/Fluid Circuit/Cell Stacks) และส่วนด้านหน้าจะเป็นส่วนบรรจุระบบควบคุมกำลังไฟฟ้า ชุดควบคุม พร้อมอินเวอร์เตอร์ และที่ผนังด้านข้างของห้องเก็บชนิดตู้คอนเทนเนอร์จะมีตู้ควบคุมและเชื่อมต่อระบบไฟฟ้ากำลังของแบตเตอรี่ไปยังจุดต่อโหลดภายในห้องผ่าตัด 1 และ 2 ห้องกลุ่มงานเทคนิคการแพทย์ และห้องฉุกเฉิน

3.7.2 คุณสมบัติของแบตเตอรี่ที่เกี่ยวข้องกับกรณีศึกษา

ในกรณีศึกษาใช้แบตเตอรี่ที่ใช้เป็นแบตเตอรี่แบบ Vanadium Redox Flow (VRF) ซึ่งมีคุณสมบัติเบื้องต้นตามสเปคของผู้ผลิต ได้แก่

- มีขนาด 10 kW ความจุ 100 kWh แรงดันไฟฟ้าขาออกสามารถเลือกได้ดังนี้ 48 VDC, 120 VAC, 230 VAC (1 เฟส) และ 400 VAC (3 เฟส)
- เวลาตอบสนองในการทำงาน น้อยกว่า 60 msec
- สามารถควบคุมการทำงานสถานะ (SoC) Charge/ Discharge ได้ผ่านระบบออนไลน์
- ประสิทธิภาพการ Charge/ discharge มากกว่า 80% สามารถ Discharge ได้ 10 ชั่วโมงต่อเนื้อที่ 8 kW ในสภาวะ Off-Grid
- มีอัตราการคายประจุด้วยตัวเอง (Self discharge in standby mode) 150 W และ Self discharge in the tank น้อยกว่า 1%
- ขนาดของแบตเตอรี่บรรจุอยู่ในตู้คอนเทนเนอร์ กว้าง 2.2 เมตร ยาว 4.5 เมตร สูง 2.4 เมตร น้ำหนักรวมทั้งหมด 10,300 กิโลกรัม
- สภาวะแวดล้อมในการทำงาน สามารถทำงานได้ในทุกสภาวะอุณหภูมิ มีระบบควบคุมอุณหภูมิภายในอัตโนมัติให้อยู่ระหว่าง 25 – 30 องศาเซลเซียส
- อายุการใช้งานไม่น้อยกว่า 20 ปี วงรอบการใช้งาน (Cycle) ไม่จำกัด

สำหรับการใช้งานในกรณีศึกษานั้น ใช้สำหรับสำรองไฟและจ่ายไฟในกรณีเกิดไฟตกไฟดับ ให้กับโหลดสำคัญ ได้แก่ ห้องฉุกเฉิน ห้อง Lab ห้องคลอด ห้องผ่าตัด โดยทำหน้าที่เป็นระบบสำรองพลังงานหลักที่จะทำการจ่ายไฟให้กับโหลดที่มีความสำคัญก่อนเครื่องสำรองไฟฟ้าดีเซลในกรณีที่เกิดไฟดับ

3.7.3 ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

ค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการแบตเตอรี่ในกรณีศึกษา ได้แก่

1) ความจุของแบตเตอรี่ โดยปกติจะพิจารณาจากค่า ซีเรท (C-Rate) คือ ค่ากระแสหรือกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการอัด (charge) หรือคายประจุ (discharge) ของแบตเตอรี่ โดยเทียบกับความจุ (capacity) ของแบตเตอรี่ เช่นในกรณีนี้ แบตเตอรี่มีขนาดความจุ 100 kWh ถ้ากำหนดให้แบตเตอรี่คายประจุ (discharge) ที่ค่า ซีเรท (C-Rate) เท่ากับ 1C แบตเตอรี่จะจ่ายไฟที่กำลังไฟฟ้า 100 kWh ได้ 1 ชั่วโมง หรือ ถ้ากำหนดให้แบตเตอรี่คายประจุ (discharge) ที่ค่า ซีเรท (C-Rate) เท่ากับ 2C แบตเตอรี่จะจ่ายไฟที่กำลังไฟฟ้า 200 kWh ได้ 30 นาที หรือ ถ้ากำหนดให้แบตเตอรี่คายประจุ (discharge) ที่ค่า ซีเรท (C-Rate) เท่ากับ 0.1C หรือ C/10 แบตเตอรี่จะจ่ายไฟที่กำลังไฟฟ้า 10 kWh ได้ 10 ชั่วโมง ดังนั้นจากการตั้งค่าการทำงานของแบตเตอรี่ในโครงการที่ discharge ไฟขนาด 5 kWh ค่า ซีเรท (C-Rate) เท่ากับ 0.2C สามารถจ่ายไฟได้ 20 ชั่วโมง แบตเตอรี่ VRF ของโครงการมีการวัดขนาดความจุของแบตเตอรี่เป็นกิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh)

2) สถานะการคายประจุของแบตเตอรี่ (State of Charge, SoC) แสดงถึงระดับพลังงานที่ถูกสะสม อยู่ในแบตเตอรี่ เช่น เมื่อประจุไฟฟ้าแบตเตอรี่จนเต็มจะหมายถึง ค่า SoC เท่ากับ 100% และเมื่อใช้งานแบตเตอรี่ มีการจ่ายพลังงาน ระดับพลังงานที่สะสมของแบตเตอรี่จะลดลง นั่นคือ ค่า SoC จะลดลงจนหมดพลังงานซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 0% ในขณะที่มีการอัดประจุไฟฟ้าเข้าไป SoC จะเพิ่มจาก 0% เป็น 100% เมื่อทำการอัดประจุไฟฟ้าจนเต็มอีกครั้ง ค่า SoC ในช่วงเวลานั้นๆ ดังนี้

$$\text{SoC} = Q_t/Q \text{ มีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (\%)}$$

โดยที่ Q_t = ความจุของแบตเตอรี่ในช่วงเวลาใดๆ

Q = ความจุของแบตเตอรี่เมื่อประจุเต็ม

ยกตัวอย่างเช่น ถ้าหากมีการจ่ายไฟออกที่ค่า SoC 50% หมายถึง แบตเตอรี่จะปล่อยกระแสไฟฟ้าออกไป 50% ของความจุของแบตเตอรี่ หรือปล่อยกระแสออกไปสูงสุดจนเหลือความจุ 50% หรือ 50 kWh นั่นเอง

3) ความลึกของการปล่อยประจุ (Depth of Discharge ,DoD) ค่า DoD จะบอกถึงความสามารถในการปล่อยประจุไฟฟ้าของแบตเตอรี่ ถ้ามีค่าสูงแสดงว่าสามารถปล่อยประจุได้มาก แต่ค่า DoD มีผลต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ ถ้ามีการ Discharge เกินค่า DoD ของแบตเตอรี่จะทำให้อายุสั้นลง ความสัมพันธ์ของค่า SoC และ DoD มีความสัมพันธ์กันดังนี้ คือ

$$\text{DoD} = 1 - \text{SoC}$$

ตัวอย่างเช่น ถ้าหากสมมติว่ากำหนดค่า SoC = 50% จะทำให้ค่า DoD มีค่า 50% กล่าวคือ เมื่อมีการจ่ายไฟให้กับโหลดจนความจุแบตเตอรี่ลดลงเหลือ 50% แบตเตอรี่จะทำการ Charge อีกครั้ง สำหรับแบตเตอรี่ VRF ในกรณีศึกษาตามสเปคของอุปกรณ์พบว่า ค่าความลึกของการปล่อยประจุสามารถทำได้ 100%



บทที่ 4 ผลการศึกษา

4.1 ปริมาณการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

4.1.1 ปริมาณการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จากการคำนวณประมาณการผลิตเบื้องต้น

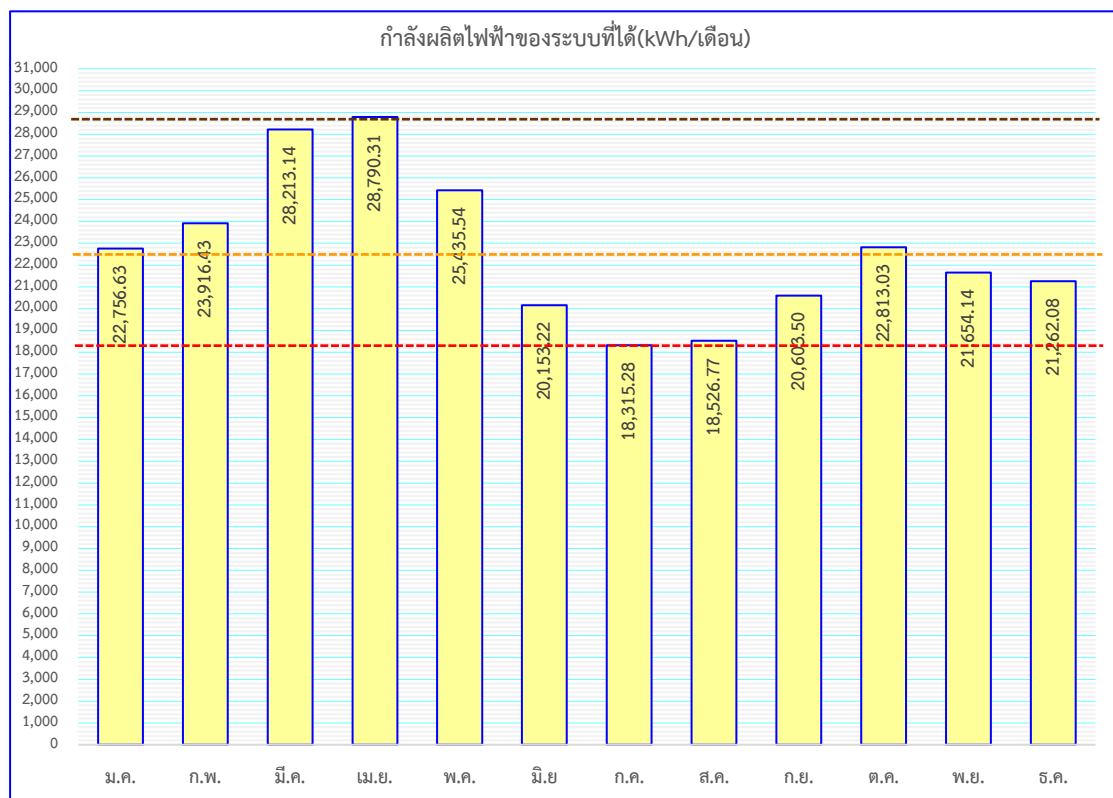
ในการประมาณการกำลังการผลิตของระบบ ผู้ศึกษาได้อ้างอิงข้อมูลจากฐานข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ระดับตำบลสำหรับประเทศไทย ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน จากตารางที่ 3-1 เพื่อใช้ในการคำนวณโดยจะประมาณการกำลังการผลิตได้โดยการแปลงค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ในหน่วย MJ ให้เป็นหน่วย kWh โดยที่ $1 \text{ kWh} = 3,600,000 \text{ จูล}$ หรือ 3.6 MJ และเมื่อแปลงค่าแล้วจะได้เป็น $1 \text{ MJ} = 0.277778 \text{ kWh}$ จากการศึกษาที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับการทดสอบที่อุณหภูมิกำลังการผลิต 25 องศาเซลเซียส โดยมีปริมาณรังสีแสงอาทิตย์ตกกระทบบนที่ $1,000 \text{ วัตต์ต่อตารางเมตร}$ ณ สภาวะมาตรฐาน (STC : Standard Test Condition) จากข้อมูลเบื้องต้นของระบบ มีการติดตั้งแผงชนิด Polycrystalline ขนาดของแผงในโครงการ มีขนาด 300 วัตต์ จำนวนแผงทั้งหมด 681 แผง พื้นที่ติดตั้งรวม $1,307 \text{ ตารางเมตร}$ รวมทั้งหมดกำลังการผลิตติดตั้ง 204.3 kWp และข้อมูลจากโปรแกรม PVSYST จะพบว่าแผงโซลาร์เซลล์ มีค่าประสิทธิภาพของแผง (efficiency at STC) = 15.64% และระบบมีค่าความสูญเสียโดยรวมอยู่ที่ 0.199 จากข้อมูลข้างต้นสามารถหาลำกำลังการผลิตได้ ดังนี้

$$\begin{aligned} & \text{กำลังการผลิต จะได้} \\ & = \text{ค่าพลังงานต่อพื้นที่ (kWh/m}^2\text{-วัน)} \times \text{จำนวนพื้นที่ที่ติดตั้งแผงทั้งหมด} \times \text{จำนวนวัน} \\ & \quad \times \text{ค่าประสิทธิภาพของแผง} \times \text{ค่าความสูญเสียของระบบ} \end{aligned}$$

โดยที่

- ค่าพลังงานต่อพื้นที่ ($\text{kWh/m}^2\text{-วัน}$) คือค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ (kWh/m) (ที่ $1,000 \text{ วัตต์ต่อตารางเมตร}$ ณ สภาวะมาตรฐาน (STC : Standard Test Condition)) (ฐานข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ระดับตำบลสำหรับประเทศไทย)
- จำนวนพื้นที่ที่ ติดตั้งแผงทั้งหมด = $1,307 \text{ ตารางเมตร}$
- จำนวนวันในแต่ละเดือน (พฤษภาคม 2561 ถึง เมษายน 2562 รวม 365 วัน)
- ค่าประสิทธิภาพของแผง = 15.64% ที่ $1,000 \text{ วัตต์ต่อตารางเมตร}$ ณ สภาวะมาตรฐาน (STC : Standard Test Condition) (โปรแกรม PVSYST)
- ค่าความสูญเสียของระบบ = 0.199 (โปรแกรม PVSYST)

ผลจากการคำนวณจะสามารถประมาณการกำลังการผลิตไฟฟ้าในเบื้องต้นได้ 272,440.06 kWh/ปี โดยในแต่ละเดือนมีประมาณการความสามารถในการผลิตไฟฟ้าของระบบได้ดังแสดงใน รูปที่ 4-1 แสดงประมาณการกำลังการผลิตไฟฟ้ายรายเดือน



รูปที่ 4-1 แสดงประมาณการกำลังการผลิตไฟฟ้ายรายเดือน

จากรูปที่ 4-1 แสดงประมาณการผลิตไฟฟ้ายรายเดือน ที่ได้จากการคำนวณเบื้องต้น จะเห็นได้ว่าในช่วงเดือนกรกฎาคม ผลิตได้ 18,315.28 kWh และจะมีเดือนสิงหาคมที่ผลิตได้ใกล้เคียงกันที่ 18,526.77 kWh จะเป็นช่วงที่ผลิตไฟฟ้าได้น้อยที่สุด มากที่สุดในช่วงเดือน เมษายน ที่ 28,790.31 kWh และรองลงมาช่วงเดือน มีนาคม ที่ 28,213.14 โดยมีค่าเฉลี่ยที่ 22,703.34 kWh ต่อเดือน ($\pm 3,399.86$) จะเห็นว่าค่าสูงสุดและต่ำสุดมีความแตกต่างกันมากซึ่งเป็นไปตามค่าความเข้มแสงจากฐานข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ระดับตำบลสำหรับประเทศไทย ในแต่ละช่วงเวลาตามช่วงเดือนที่ต่างกันส่งผลให้การผลิตไฟฟ้ามีความแปรปรวนตามไปด้วยเช่นกัน ทั้งนี้มี 6 เดือนสูงกว่าค่าเฉลี่ยและ 6 เดือนที่ต่ำกว่าค่าเฉลี่ย ช่วงเดือน มิถุนายน ถึงเดือนกันยายนซึ่งเป็นช่วงหน้าฝนจะต่ำกว่าค่าเฉลี่ยซึ่งอาจเกิดจากสภาพอากาศที่มีฟ้าครึ้มหรือฝนตกทำให้มีแสงแดดน้อยกว่าช่วงเวลาอื่นๆ และในช่วง

เดือนมีนาคม ถึงเดือน พฤษภาคม ที่เป็นช่วงหน้าร้อนจะผลิตไฟฟ้าได้มากที่สุดอาจเนื่องมาจาก มีช่วงเวลากลางวันที่ยาวนานแสงแดดดีกว่าช่วงเวลาอื่นๆ ส่วนช่วงเดือนพฤศจิกายนซึ่งเป็นหน้าหนาว ปรากฏว่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ย ซึ่งอาจเกิดจากปัจจัย เช่น ช่วงวันในหน้าหนาวสั้นกว่าในหน้าร้อน ดังนั้น ค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์จึงมีผลต่อการผลิตไฟฟ้าโดยตรง และค่าที่ได้จากการคำนวณประมาณการ ทางทฤษฎีนี้จะเอาไปเปรียบเทียบกับผลที่เกิดขึ้นจริงที่เก็บข้อมูลจากระบบตรวจวัด เพื่อประเมินผล ต่อไป

4.1.2 ปริมาณการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จากการเก็บข้อมูลการใช้งานจริง

จากการรวบรวมข้อมูลจากระบบตรวจวัดฯ พบว่าในการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษการผลิตไฟฟ้าที่ได้มีความแตกต่างกันในแต่ละวันและแต่ละเดือน ซึ่งเป็น เรื่องปกติของการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายๆอย่างเช่น ความเข้มแสง ที่แตกต่างกันออกไปตามวันเวลาฤดูกาลสภาพภูมิอากาศแสงแดดอุณหภูมิแวดล้อม และหมอกควัน เป็นต้น โดยผลการผลิตไฟฟ้า ที่ได้จากระบบ ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2561 ถึงเดือนเมษายน 2562 จำนวน 12 เดือน หรือ 365 วัน พบว่าระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตไฟฟ้าสะสม ได้ทั้งหมดจำนวน 175,255.1 kWh จากพื้นที่ติดตั้งรวม 1,307 ตารางเมตร คิดเป็น 134.09 kWhต่อ ตารางเมตรต่อปี ค่าเฉลี่ยของการผลิต ในช่วงเวลาดังกล่าวผลิตได้เฉลี่ย 14,604.59 kWhต่อเดือน ($\pm 2,609.25$) โดยเดือนที่มีการผลิตไฟฟ้าได้น้อยที่สุดคือเดือน ธันวาคม 2561 ผลิตไฟฟ้าสะสมได้ 10,514 กิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh) และในเดือนที่สามารถผลิตไฟฟ้าสะสมได้สูงสุดคือเดือน เมษายน 2562 ผลิตไฟฟ้าได้ 19,713 กิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh) จากข้อมูลการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2561 ถึงเดือนเมษายน 2562 จำนวน 12 เดือน หรือ 365 วัน สามารถสรุป การผลิตไฟฟ้าในแต่ละเดือนได้ดังต่อไปนี้ (รายละเอียดในภาคผนวก ก. การผลิตไฟฟ้าในแต่ละวันของแต่ละ เดือน)

1) ในเดือนพฤษภาคม 2561 สามารถผลิตไฟฟ้าสะสมได้ทั้งหมดรวม 17,539.3 kWh โดยใน วันที่ 16 พฤษภาคม ผลิตไฟฟ้าสะสมได้สูงสุด 942.1 kWh และผลิตไฟสะสมได้น้อยที่สุดในวันที่ 29 พฤษภาคม จำนวน 268 kWh จากพื้นที่ติดตั้งรวม 1,307 ตารางเมตร คิดเป็น 13.42 kWh ต่อตารางเมตร

2) ในเดือนมิถุนายน 2561 สามารถผลิตไฟฟ้าสะสมได้ทั้งหมดรวม 13,688.5 kWh โดยใน วันที่ 20 มิถุนายน ผลิตไฟฟ้าสะสมได้สูงสุด 731.8 kWh และผลิตไฟสะสมได้น้อยที่สุดในวันที่ 1 มิถุนายน จำนวน 223.9 kWh จากพื้นที่ติดตั้งรวม 1,307 ตารางเมตร คิดเป็น 10.47 kWh ต่อตารางเมตร

3) ในเดือนกรกฎาคม 2561 สามารถผลิตไฟฟ้าสะสมได้ทั้งหมดรวม 14,320.9 kWh โดยในวันที่ 6 กรกฎาคม ผลิตไฟฟ้าสะสมได้สูงสุด 778.5 kWh และผลิตไฟฟ้าสะสมได้น้อยที่สุดในวันที่ 22 กรกฎาคม จำนวน 238.9 kWh จากพื้นที่ติดตั้งรวม 1,307 ตารางเมตร คิดเป็น 10.96 kWh ต่อตารางเมตร

4) ในเดือนสิงหาคม 2561 สามารถผลิตไฟฟ้าสะสมได้ทั้งหมดรวม 13,044.7 kWh โดยในวันที่ 16 สิงหาคม ผลิตไฟฟ้าสะสมได้สูงสุด 619.5 kWh และผลิตไฟฟ้าสะสมได้น้อยที่สุดในวันที่ 21 สิงหาคม จำนวน 171.6 kWh และในเดือนนี้มี 1 วันที่ไม่มีการผลิตไฟฟ้าอาจเนื่องจากระบบขัดข้อง ไม่มีการบันทึกข้อมูล จากพื้นที่ติดตั้งรวม 1,307 ตารางเมตร คิดเป็น 9.98 kWh ต่อตารางเมตร

5) ในเดือนกันยายน 2561 สามารถผลิตไฟฟ้าสะสมได้ทั้งหมดรวม 16,068.7 kWh โดยในวันที่ 26 กันยายน ผลิตไฟฟ้าสะสมได้สูงสุด 855.8 kWh และผลิตไฟฟ้าสะสมได้น้อยที่สุดในวันที่ 29 กันยายน จำนวน 310.5 kWh จากพื้นที่ติดตั้งรวม 1,307 ตารางเมตร คิดเป็น 12.29 kWh ต่อตารางเมตร

6) ในเดือนตุลาคม 2561 สามารถผลิตไฟฟ้าสะสมได้ทั้งหมดรวม 15,228.8 kWh โดยในวันที่ 1 ตุลาคม ผลิตไฟฟ้าสะสมได้สูงสุด 729.5 kWh และผลิตไฟฟ้าสะสมได้น้อยที่สุดในวันที่ 21 ตุลาคม จำนวน 265.4 kWh จากพื้นที่ติดตั้งรวม 1,307 ตารางเมตร คิดเป็น 11.65 kWh ต่อตารางเมตร

7) ในเดือนพฤศจิกายน 2561 สามารถผลิตไฟฟ้าสะสมได้ทั้งหมดรวม 13,698.4 kWh โดยในวันที่ 20 พฤศจิกายน ผลิตไฟฟ้าสะสมได้สูงสุด 607.9 kWh และผลิตไฟฟ้าสะสมได้น้อยที่สุดในวันที่ 11 พฤศจิกายน จำนวน 332.1 kWh จากพื้นที่ติดตั้งรวม 1,307 ตารางเมตร คิดเป็น 10.48 kWh ต่อตารางเมตร

8) ในเดือนธันวาคม 2561 สามารถผลิตไฟฟ้าสะสมได้ทั้งหมดรวม 10,514 kWh ซึ่งเป็นเดือนที่ผลิตไฟฟ้าสะสมได้น้อยที่สุดในช่วงเวลาที่เก็บข้อมูล โดยในวันที่ 26 ธันวาคม ผลิตไฟฟ้าสะสมได้สูงสุด 462.8 kWh และผลิตไฟฟ้าสะสมได้น้อยที่สุดในวันที่ 30 ธันวาคม จำนวน 207.1 kWh จากพื้นที่ติดตั้งรวม 1,307 ตารางเมตร คิดเป็น 8.04 kWh ต่อตารางเมตร

9) ในเดือนมกราคม 2562 สามารถผลิตไฟฟ้าสะสมได้ทั้งหมดรวม 11,706.8 kWh โดยในวันที่ 31 มกราคม ผลิตไฟฟ้าสะสมได้สูงสุด 527.8 kWh และผลิตไฟฟ้าสะสมได้น้อยที่สุดในวันที่ 8 มกราคม จำนวน 168.6 kWh จากพื้นที่ติดตั้งรวม 1,307 ตารางเมตร คิดเป็น 8.96 kWh ต่อตารางเมตร

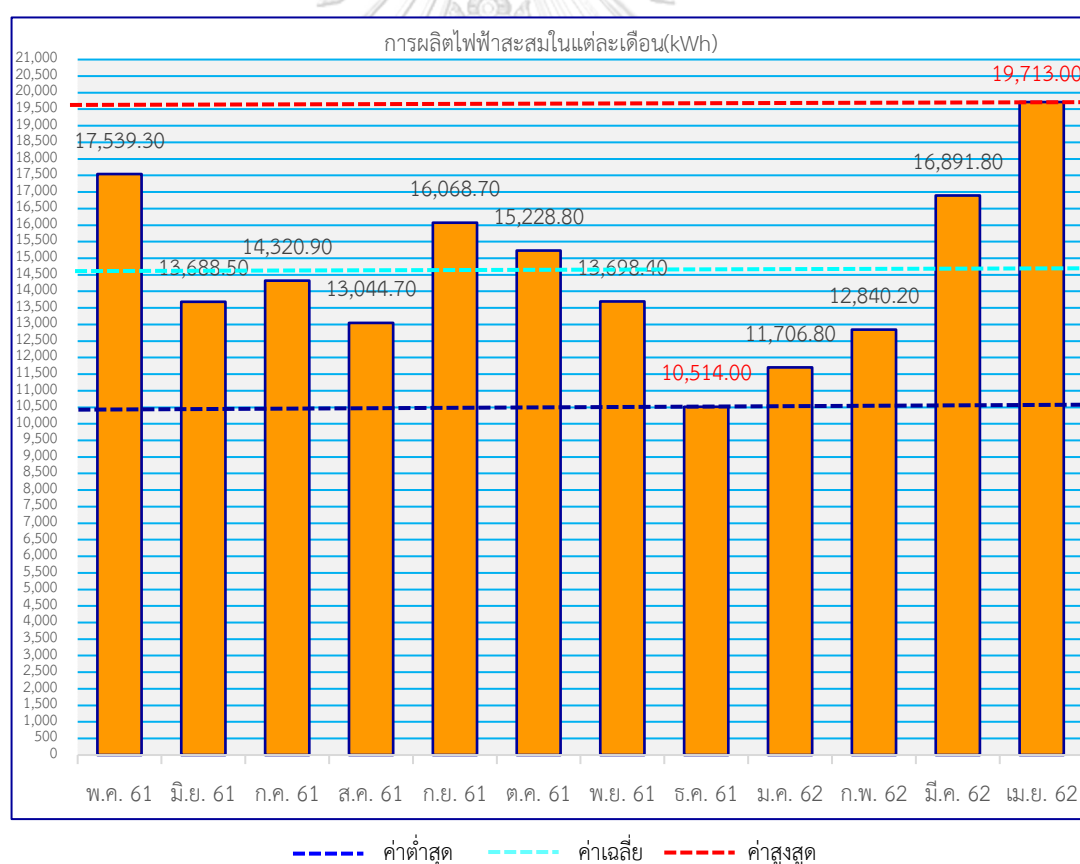
10) ในเดือนกุมภาพันธ์ 2562 สามารถผลิตไฟฟ้าสะสมได้ทั้งหมดรวม 12,840.2 kWh โดยในวันที่ 26 กุมภาพันธ์ ผลิตไฟฟ้าสะสมได้สูงสุด 596.4 kWh และผลิตไฟฟ้าสะสมได้น้อยที่สุด

ในวันที่ 23 กุมภาพันธ์ จำนวน 307.2 kWh จากพื้นที่ติดตั้งรวม 1,307 ตารางเมตร คิดเป็น 9.82 kWh ต่อตารางเมตร

11) ในเดือนมีนาคม 2562 สามารถผลิตไฟฟ้าสะสมได้ทั้งหมด 16,891.8 kWh โดยในวันที่ 21 มีนาคม ผลิตไฟฟ้าสะสมได้สูงสุด 786.6 kWh และผลิตไฟฟ้าสะสมได้น้อยที่สุดในวันที่ 10 มีนาคมจำนวน 318.8 kWh จากพื้นที่ติดตั้งรวม 1,307 ตารางเมตร คิดเป็น 12.92 kWh ต่อตารางเมตร

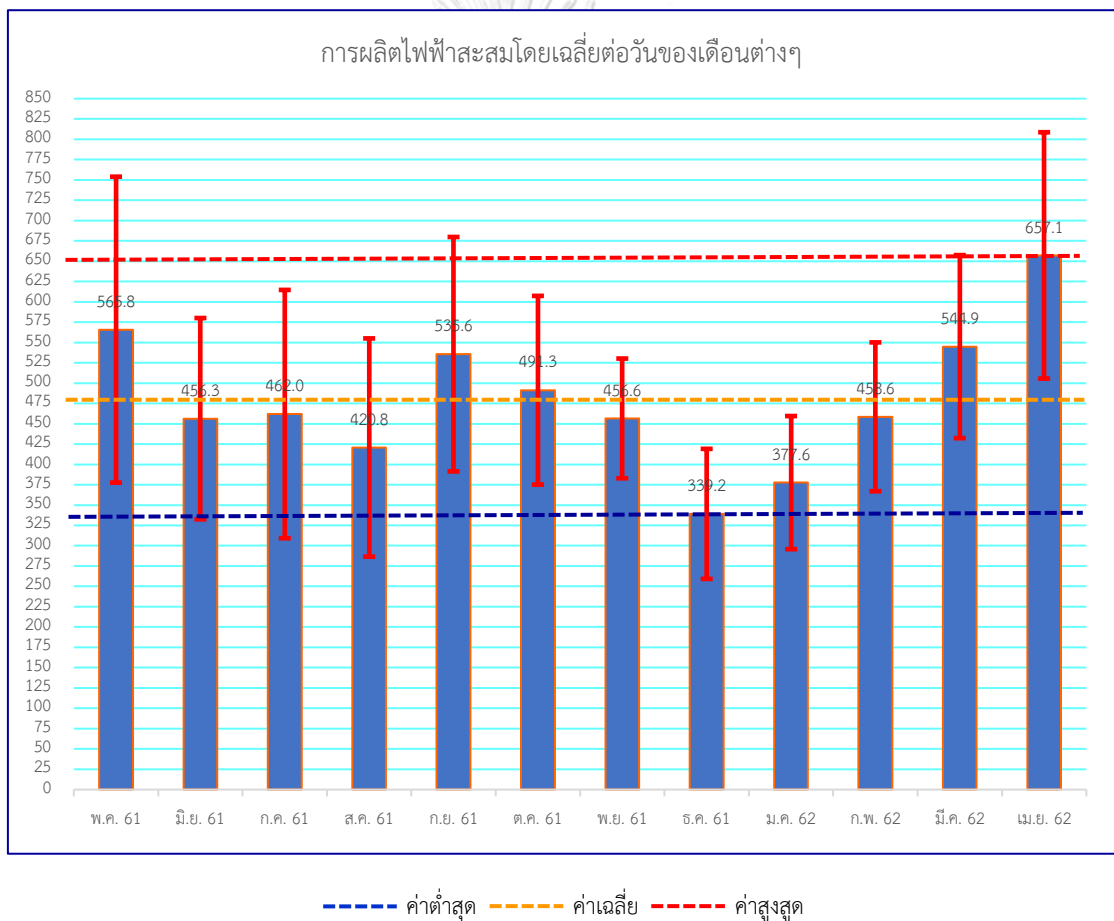
12) และในเดือนเมษายน 2562 สามารถผลิตไฟฟ้าสะสมได้ทั้งหมดรวม 19,713 kWh ซึ่งในเดือนนี้มีการผลิตไฟฟ้าสะสมได้มากที่สุดในช่วงเวลาดังกล่าว โดยในวันที่ 29 เมษายน ผลิตไฟฟ้าสะสมได้สูงสุด 964.1 kWh และผลิตไฟฟ้าสะสมได้น้อยที่สุดในวันที่ 15 เมษายน จำนวน 435.1 kWh จากพื้นที่ติดตั้งรวม 1,307 ตารางเมตร คิดเป็น 15.08 kWh ต่อตารางเมตร

การผลิตไฟฟ้าสะสมในแต่ละเดือนสามารถแสดงได้ดังในรูปที่ 4-2 แสดงปริมาณการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละเดือน



รูปที่ 4-2 แสดงปริมาณการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละเดือน

จากข้อมูลการผลิตของระบบไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ แสดงให้เห็นว่าในแต่ละเดือนจะมีการผลิตไฟฟ้าสะสมได้ไม่เท่ากัน ทั้งนี้มีปัจจัยหลายอย่างที่ทำให้การผลิตไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาแตกต่างกันเช่น อุณหภูมิ สภาพอากาศตามฤดูกาล หรืออาจเกิดจากแผงโซลาร์เซลล์มีสิ่งบดบังแสง เช่น เมฆ หมอกควัน เป็นต้น รวมทั้งความเข้มของแสงอาทิตย์ที่มีผลต่อการผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์เป็นอย่างมาก เพราะความเข้มแสงมีผลโดยตรงส่งผลให้โซลาร์เซลล์เริ่มทำงานและหยุดทำการผลิตไฟฟ้าในแต่ละวันเริ่มต้นและหยุดไม่เท่ากัน จำนวนชั่วโมงการทำงานในแต่ละวันจึงแตกต่างกันด้วย และจากข้อมูลสามารถหาค่าเฉลี่ยการผลิตไฟฟ้าสะสมในแต่ละวันของเดือนต่างๆ ได้ดังแสดงในรูปที่ 4-3 การผลิตไฟฟ้าสะสมโดยเฉลี่ยต่อวันของแต่ละเดือน

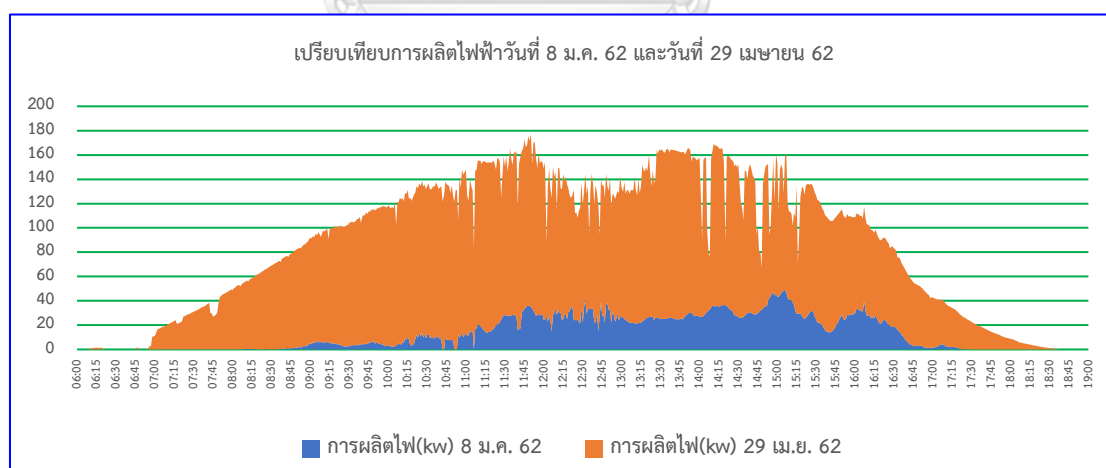


รูปที่ 4-3 การผลิตไฟฟ้าสะสมโดยเฉลี่ยต่อวันของแต่ละเดือน

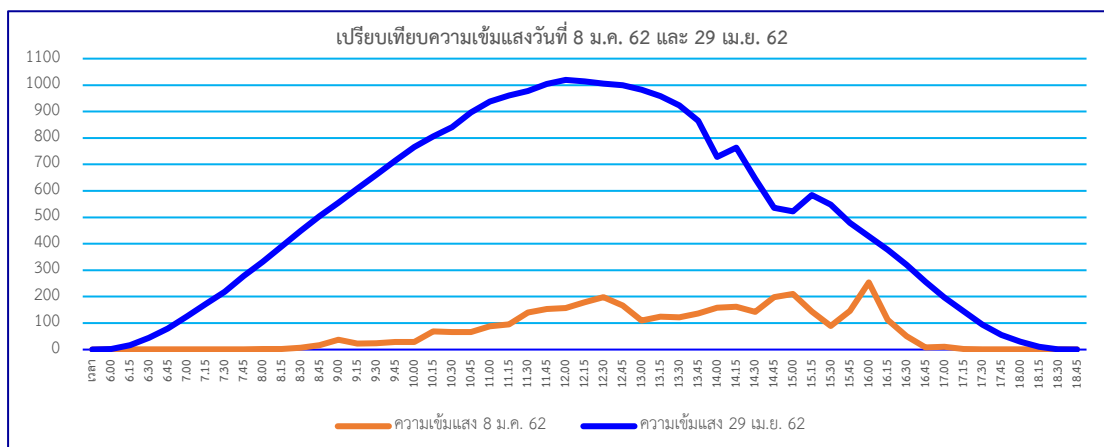
จากรูปที่ 4-3 การผลิตไฟฟ้าสะสมโดยเฉลี่ยต่อวันของเดือนต่างๆ จะมีค่าการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยต่อวันในแต่ละเดือนอยู่ที่ 480.5 kWh(± 35.15)ต่อวัน จะเห็นว่ามีค่าแตกต่างกันมากค่าต่ำสุดอยู่ที่เดือนธันวาคม 2561 อยู่ที่ 339.16 kWh/วัน (± 80) โดยวันที่ผลิตได้น้อยที่สุดในวันที่ 30 ธันวาคม

2561 อยู่ที่ 207.1 kWh (± 13.32) ค่าสูงสุดจะอยู่ในวันที่ 26 ธันวาคม 2561 อยู่ที่ 462.8 kWh (± 27.15) ส่วนเดือนที่ผลิตไฟฟ้าโดยเฉลี่ยต่อวันได้สูงสุดคือเดือน เมษายน 2562 อยู่ที่ 657.1 kWh/วัน (± 151.5) ซึ่งมีวันที่ผลิตได้น้อยที่สุดวันที่ 15 เมษายน 2562 อยู่ที่ 435.1 kWh (± 23.82) ค่าสูงสุดจะอยู่ที่ 964.1 kWh (± 46.45) ในวันที่ 29 เมษายน 2562 ซึ่งจะเห็นว่าในเดือนธันวาคมถึงจะผลิตไฟสะสมได้น้อยกว่าจะมีความสม่ำเสมอมากกว่าเดือนเมษายน

ในที่นี้ผู้ศึกษาได้ยกตัวอย่าง การผลิตไฟฟ้าตามช่วงเวลาที่เกี่ยวข้องทั้งหมด 365 วัน โดยมีวันที่ผลิตไฟฟ้าได้น้อยที่สุด ในวันที่ 8 มกราคม 2561 โดยในวันดังกล่าวผลิตไฟฟ้าสะสมได้ 168.6 kWh (± 13.64) และในวันที่ผลิตไฟฟ้าได้มากที่สุดในวันที่ 29 เมษายน 2562 ผลิตไฟฟ้าสะสมรวมได้ประมาณ 964.1 kWh (± 46.45) จะเห็นได้ว่ามีความแตกต่างกันมาก ทั้งในเรื่องของช่วงเวลาที่เราจะเริ่มผลิตและสิ้นสุดการผลิตไฟ โดยในวันที่ผลิตได้น้อยนั้นระบบจะเริ่มผลิตไฟฟ้าได้ช้ากว่าวันที่ผลิตไฟมากที่สุดและสิ้นสุดการทำงานไวกว่า ซึ่งอาจเกิดจากปัจจัยหลายๆ อย่างเช่น ฤดูกาลที่เดือนมกราคมอยู่ในช่วงหน้าหนาว ซึ่งช่วงเวลากลางวันจะสั้นกว่าเดือนเมษายน ที่อยู่ในหน้าร้อนที่ช่วงเวลากลางวันยาวกว่า และมีความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ที่สูงกว่า หรืออื่นๆเช่นมีเมฆหมอกมีฝนตก ฯลฯ เป็นต้น และเมื่อเปรียบเทียบความเข้มแสงก็จะเห็นได้ว่ามีความแตกต่างกันมาก การผลิตไฟยังอาจจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิอีกด้วย ซึ่งจะเห็นว่าในวันที่ผลิตไฟได้สูงสุดในช่วงเวลาประมาณ 12.00 น ถึง 13.00 น. ผลผลิตไฟที่ได้ลดลงโดยที่ความเข้มแสงยังสูงอยู่อาจเกิดจากอุณหภูมิในสภาพแวดล้อมเวลานั้นสูง จึงทำให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าลดลงได้ ดังในรูปที่ 4-4 และ 4-5



รูปที่ 4-4 เปรียบเทียบการผลิตไฟฟ้าวันที่ 8 ม.ค. 62 และวันที่ 29 เม.ย. 62



รูปที่ 4-5 เปรียบเทียบความเข้มแสงอาทิตย์วันที่ 8 ม.ค. 62 และ 29 เม.ย. 62 (W/m²)

จากข้อมูลข้างต้น จะเห็นว่าการผลิตไฟฟ้าด้วยระบบพลังงานแสงอาทิตย์ มีความผันผวนหรือแปรปรวนค่อนข้างสูง และไม่สามารถควบคุมการผลิตได้เพราะปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อกำลังการผลิตขึ้นอยู่กับปัจจัยที่เกิดจากธรรมชาติ ซึ่งขึ้นอยู่กับช่วงเวลานั้นๆมีความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ที่เข้มข้นมากน้อยเพียงใด เช่นขึ้นอยู่กับฤดูกาลที่ช่วงฤดูหนาวช่วงเวลากลางวันที่สั้นกว่าจะเริ่มผลิตได้ช้ากว่าและจำนวนชั่วโมงการผลิตจะน้อยกว่า ในฤดูร้อนที่ช่วงเวลากลางวันยาวกว่าและมีความเข้มแสงที่ดีกว่า ทั้งนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆอีกหลายอย่างไม่ว่าจะเป็นสภาพดินฟ้าอากาศที่หน้าฝนจะผลิตได้น้อยกว่าหน้าร้อนเนื่องจากมีฝนตกฟ้าครึ้ม รวมทั้งเมฆหมอก ปัญหาฝุ่นละออง หรือการเผาเศษซากพืชทำให้เกิดปัญหาหมอกควันปกคลุมในพื้นที่ดังกล่าวในบางช่วงเวลา เป็นต้น

CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.1.3 การประเมินการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

ในงานศึกษาี้ ผู้ศึกษาได้ศึกษาเพื่อประเมินการทำงานของระบบระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์จากค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อดูว่าผลของค่าพารามิเตอร์เบื้องต้นของระบบดังต่อไปนี้

4.1.3.1 Capacity Factor (CF) คืออัตราส่วนของพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง ต่อค่าพลังงานไฟฟ้าจากกำลังการผลิตติดตั้ง ที่ผลิตไฟฟ้าได้ต่อเนื่องในช่วงเวลาเดียวกัน โดยพิจารณาจากช่วงเวลาที่ผลิตได้จริงเป็นชั่วโมงคือ 720 ชั่วโมงต่อ 1 เดือน หรือ 8,760 ชั่วโมงต่อ 1 ปี [13]

$$CF = \frac{E_{ac}}{P_o \times h}$$

โดยที่ Eac คือ ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง

Po คือ พลังงานไฟฟ้าที่ประเมินได้จากค่ากำลังการผลิตติดตั้ง

h คือ จำนวนชั่วโมงใน 1 ปี

$$\begin{aligned} \text{จะได้} &= \frac{175,255.10 \text{ (kWh)}}{204.3 \text{ (kWh)} \times 8,760 \text{ (ชม.)}} \\ &= 0.0979 \text{ หรือ } 9.8\% \end{aligned}$$

ดังนั้นจะได้ว่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงในรอบ 365 วันที่ทำการศึกษานี้ มีค่าเท่ากับ 9.8% เมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตเต็มกำลังการผลิตติดตั้ง ซึ่งโดยปกติแล้วโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีความสามารถในการผลิตไฟฟ้าเฉพาะเวลาที่มีแสงแดดประมาณวันละ 4-5 ชั่วโมง ดังนั้นถ้าผลิตไฟฟ้าได้สูงสุด 5 ชั่วโมงต่อวัน จะได้ 1,825 ชั่วโมงต่อปี Capacity factors จะได้ประมาณไม่เกิน 20.8% (ข้อมูล IEA ค่า CF โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยอยู่ที่ 10-21% ในปี ค.ศ. 2020 [14] จะเห็นว่าระบบนี้ มีค่า CF ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่พอสมควร แต่ก็ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยต่ำสุดอยู่เพียงเล็กน้อยหรือเกือบเท่ากัน ซึ่งเป็นปกติโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะมีค่าต่ำกว่าโรงไฟฟ้าพลังงานทดแทนชนิดอื่นและขึ้นอยู่กับแต่ละพื้นที่ซึ่งมีความแตกต่างกันตามสภาพภูมิอากาศด้วย

4.1.3.2 System Yield คือ ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อช่วงเวลา (kWh-period) ต่อกำลังการผลิตติดตั้ง (kWp) เป็นค่าที่แสดงถึงจำนวนชั่วโมงที่ระบบมีการจ่ายไฟฟ้าได้ ซึ่งจะบอกได้ว่าระบบสามารถจ่ายไฟฟ้าในหนึ่งวันได้กี่ชั่วโมง [13] สามารถคำนวณได้จาก

$$\text{System Yield} = Eac / Po$$

โดยที่ Eac คือ ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงในช่วงระยะเวลาหนึ่งๆ ในที่นี้ คือ 365 วัน

Po คือ ขนาดของกำลังการผลิตติดตั้งทั้งหมด

$$\begin{aligned} \text{จะได้ว่า} \quad \text{System Yield} &= \frac{\text{ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง/ จำนวนวัน } 365 \text{ วัน}}{\text{กำลังการผลิตติดตั้ง}} \\ &= \frac{(175,255.1 \text{ (kWh)}/365(\text{วัน}))}{204.3 \text{ (kWh)}} \\ &= 2.35 \text{ ชั่วโมงต่อวัน} \end{aligned}$$

ดังนั้นจากกำลังการผลิตติดตั้งทั้งหมดต่อพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงในช่วงเวลานั้น ระบบนี้สามารถจ่ายไฟฟ้าได้ในหนึ่งวันตามกำลังการผลิตติดตั้งเท่ากับ 2.35 ชั่วโมง หมายถึงว่าในหนึ่งวันระบบสามารถผลิตและจ่ายพลังงานไฟฟ้าสะสมรวมกันทั้งวันเมื่อคิดตามกำลังการผลิตติดตั้งจะได้เท่ากับ 2.35 ชั่วโมง จะเห็นว่าความสามารถในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าในหนึ่งวันของระบบการผลิตไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์นี้มีค่าไม่มากนัก ซึ่งค่าที่ได้เป็นเกิดจากค่าที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่ศึกษาเท่านั้น ในความเป็นจริงการผลิตไฟฟ้าถ้าขยับเวลาเป็นช่วงเวลาอื่นอาจมีค่าที่สูงกว่านี้ก็ได้ขึ้นอยู่กับช่วงเวลาที่ต่างกันหาก

เป็นช่วงระยะเวลาอื่นอาจมีค่ามากกว่าช่วงเวลาที่ศึกษาก็ได้ ทั้งนี้เนื่องจากปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการผลิตไฟฟ้าในช่วงนี้เช่น ฤดูกาลสภาพดินฟ้าอากาศ ที่มีผลให้ค่าความเข้มรังสีแสงอาทิตย์จริงต่ำกว่าค่าเฉลี่ยที่ได้จากฐานข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ระดับตำบลสำหรับประเทศไทย ทำให้การผลิตไฟฟ้าช่วงนี้ลดต่ำลง และเป็นปัจจัยธรรมชาติที่ไม่สามารถควบคุมได้

4.1.3.3 Reference Yield คืออัตราส่วนระหว่างค่าพลังงานแสงอาทิตย์รวมบนระนาบแผงเซลล์ (H) ต่อความเข้มรังสีแสงอาทิตย์มาตรฐาน (G) ซึ่งเท่ากับ $1,000 \text{ W/m}^2$ มีหน่วยเป็นชั่วโมงหรือ kWh/m^2 - วัน แสดงถึงจำนวนชั่วโมงที่มีแดดสูงสุดในช่วงเวลานั้นๆ [13]

$$\text{Reference Yield} = H/G$$

จากข้อมูลความเข้มแสงรวมที่ได้จากระบบในช่วงเวลาดังกล่าวค่าพลังงานแสงอาทิตย์รวมเฉลี่ยในช่วงเวลาดังกล่าว คือ $4,026.56 (\pm 85.73) \text{ W/m}^2$ จะได้ค่า เท่ากับ 4.027 kWh/m^2 -วัน หรือมีจำนวนชั่วโมงที่มีแดดสูงสุด 4 ชั่วโมงต่อวัน

4.1.3.4 Performance Ratio คือ อัตราส่วนระหว่าง System Yield ต่อ Reference Yield ซึ่งค่านี้จะบอกถึงประสิทธิภาพโดยรวมของระบบรวมทั้งผลกระทบจากการสูญเสียต่างๆในระบบ เช่นการสูญเสียกำลังไฟฟ้าในอินเวอร์เตอร์ การสูญเสียกำลังในสายไฟฟ้า อุณหภูมิ รวมทั้งช่วงเวลาที่ไม่ผลิตไฟออกมาเป็นต้น [13] จะได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{Performance Ratio} &= 2.35/4.027 \\ &= 0.58 \end{aligned}$$

ดังนั้นระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์นี้จะเกิดการสูญเสียจากปัจจัยต่างๆอยู่ที่ 0.58

จากการประเมินระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ของโรงพยาบาล จะเห็นได้ว่าค่าผลการผลิตไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงในช่วงระยะเวลาที่ศึกษามีค่าต่ำกว่าค่าประมาณการก่อนการติดตั้ง ซึ่งจากการประมาณการโดยการคำนวณเชิงทฤษฎีพบว่าระบบจะผลิตไฟฟ้าได้ 272,440.06 kWh แต่จากการประเมินหลังติดตั้งผลิตไฟฟ้าได้ 175,255.1 kWh ในช่วงระยะเวลา 365 วัน จากเดือนพฤษภาคม 2561 ถึงเดือนเมษายน 2562 ซึ่งเป็นช่วงระยะเวลาในการประเมินเท่านั้น ถ้ามีการประเมินในช่วงเวลาอื่นๆ ผลผลิตไฟฟ้าอาจได้แตกต่างจากนี้ อาจมากขึ้นหรือน้อยลงก็ได้ เนื่องจากการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์มีความผันผวนแปรปรวนตามความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ และจากปัจจัยทางธรรมชาติที่ไม่แน่นอนและไม่สามารถควบคุมได้ทำให้ค่า จากการประเมินในเบื้องต้นของระบบผลิตไฟฟ้าแตกต่างกันตามศักยภาพของแต่ละพื้นที่หรือความเข้มแสงอาทิตย์ในแต่ละแห่ง การผลิตไฟฟ้าจึงไม่สามารถผลิตได้เต็มกำลังผลิตหรือคาดหมายได้อย่างแน่นอนว่าจะผลิตได้เท่าไรและจะจ่ายไฟฟ้าได้ในเวลาใดบ้าง แต่การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ก็สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ในการช่วยลดภาระค่าใช้จ่ายค่าไฟฟ้าของโรงพยาบาลได้

4.2 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของโรงพยาบาล

4.2.1 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าก่อนติดตั้งระบบ

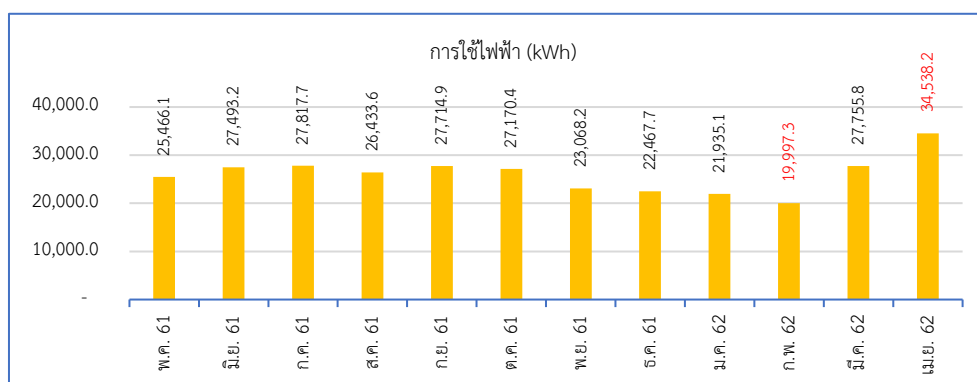
ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของโรงพยาบาลจากข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของบิลค่าไฟฟ้าของโรงพยาบาลที่สามารถรวบรวมได้ในช่วงเวลาก่อนการติดตั้งระบบผ่านมาจำนวน 7 เดือน ก่อนการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ จะได้ว่าค่าไฟต่อหน่วยของโรงพยาบาลโดยเฉลี่ยจะอยู่ที่ประมาณ 4.04 บาทต่อหน่วย ปริมาณการใช้ไฟเฉลี่ย 30,449.14 หน่วยต่อเดือน ดังแสดงในตารางที่ 4-1 แสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้าในแต่ละเดือนย้อนหลัง

ตารางที่ 4-1 แสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้าในแต่ละเดือนย้อนหลัง

	ม.ค. 59	ก.พ. 59	มี.ค. 59	เม.ย. 59	พ.ค. 59	มิ.ย. 59	ก.ค. 59
P	9,372.00	10,548.00	15,732.00	18,744.00	20,508.00	16,920.00	16,584.00
OP	5,520.00	5,904.00	6,684.00	7,248.00	8,616.00	7,608.00	7,548.00
H	6,348.00	5,796.00	6,420.00	11,964.00	10,104.00	7,188.00	7,788.00
total	21,240.00	22,248.00	28,836.00	37,956.00	39,228.00	31,716.00	31,920.00
ค่าไฟ	82,359.65	91,228.72	125,701.32	159,398.99	155,302.20	123,948.56	123,881.75
ค่าไฟ- หน่วย	3.88	4.10	4.36	4.20	3.96	3.91	3.88

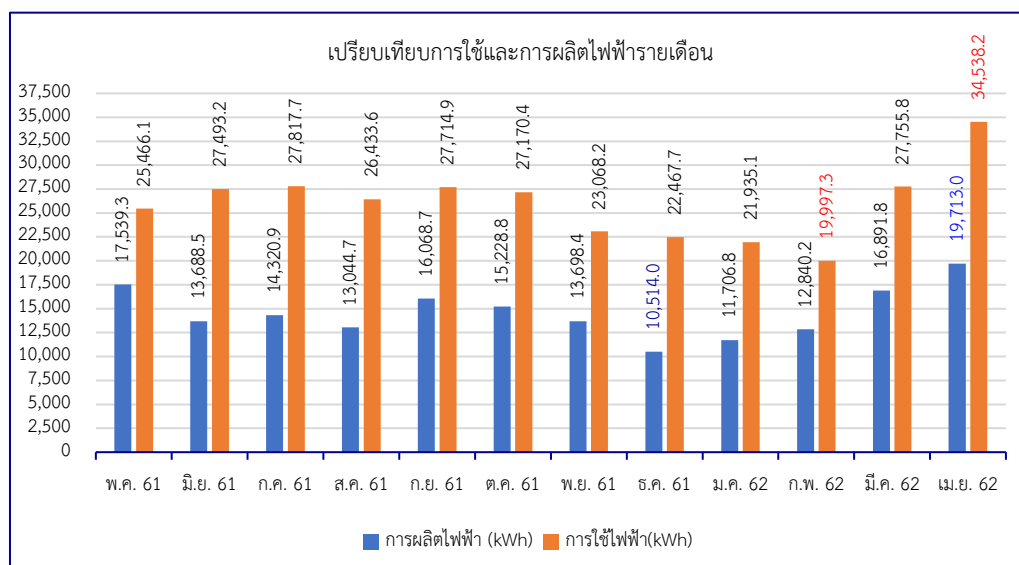
4.2.2 ปริมาณการใช้ไฟฟ้าหลังจากการติดตั้งระบบ

ปริมาณการใช้ไฟฟ้าหลังจากการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ จำนวน 12 เดือนจากเดือน พฤษภาคม 2561 ถึง เดือน เมษายน 2562 เฉลี่ย 25,988.18 kWhต่อเดือน จากการเก็บข้อมูลสรุปได้ดังใน รูปที่ 4-6 แสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้าในแต่ละเดือน



รูปที่ 4-6 แสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้าในแต่ละเดือน

จากข้อมูลสามารถเปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าของโรงพยาบาล กับปริมาณการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในแต่ละวันของแต่ละเดือนได้ ดังรายละเอียดในภาคผนวก ข. เปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้ากับการผลิตไฟฟ้าเดือนพฤษภาคม 2561 - เดือนเมษายน 2562 และเมื่อเปรียบเทียบข้อมูลการใช้ไฟฟ้ากับการผลิตไฟฟ้าในช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษาศาสามารถเปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าโดยรวมในแต่ละเดือนได้ดังใน รูปที่ 4-7 เปรียบเทียบการใช้และการผลิตไฟฟ้ารายเดือน



รูปที่ 4-7 เปรียบเทียบการใช้และการผลิตไฟฟ้ารายเดือน

จากการศึกษาพบว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าจะสูงกว่าปริมาณการผลิตไฟฟ้าที่ได้ เนื่องจากการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้ามีขนาดเพียง 204.3 kW ซึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้ไฟฟ้าของโรงพยาบาลทั้งหมด ดังนั้นจากข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา 365 วัน ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2561 ถึง เดือน เมษายน 2562 พบว่ามีการใช้ไฟฟ้ารวม 311,858.2 kWh โดยมีเดือนที่มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าน้อยที่สุดในเดือนกุมภาพันธ์ 2562 จำนวน 19,997.3 kWh และใช้ไฟฟ้ามากที่สุดในเดือนเมษายน 2562 จำนวน 34,538.2 kWh ส่วนการผลิตไฟฟ้าได้ทั้งหมดรวม 175,255.1 kWh ผลิตได้มากที่สุดเดือนเมษายน 2562 จำนวน 19,713 kWh และน้อยที่สุดในเดือนธันวาคม 2561 จำนวน 10,514 kWh ซึ่งจะเห็นว่าการผลิตไฟฟ้าผลิตได้ประมาณครึ่งหนึ่งหรือประมาณร้อยละ 56.2 ของความต้องการใช้ไฟฟ้าทั้งหมดของโรงพยาบาล

4.3 ผลการประหยัดไฟฟ้าและผลตอบแทนที่เกิดจากการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

4.3.1 การคำนวณผลประหยัดจากการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

1) จากผลการผลิตไฟฟ้าที่ได้เมื่อนำมาคิดเป็นผลประหยัดค่าไฟฟ้าโดยเฉลี่ยค่าไฟที่ได้จากบิลไฟฟ้าเฉลี่ยประมาณ 4.04 บาท จะประหยัดค่าไฟฟ้าได้เท่ากับ

$$175,255.1 \times 4.04 = 708,030.60 \text{ บาท}$$

ดังนั้นในช่วงระยะเวลา 365 วันดังกล่าว ระบบสามารถช่วยประหยัดค่าไฟฟ้าได้ 708,030.60 บาท

2) การคำนวณเป็นผลประหยัดพลังงานเทียบเท่าพีดันน้ำมันดิบ (ktoe) ได้จาก

$$1 \text{ ตันน้ำมันดิบ} = 11,630,000,000 \text{ kWh}$$

$$\text{จะได้ผลประหยัด} = 175,255.1 \div 11,630,000,000$$

$$= 0.0151 \text{ ktoe/ปี}$$

4.3.2 การวิเคราะห์ผลตอบแทนทางการเงิน

การคำนวณผลตอบแทนทางการเงินในโครงการนี้เป็นเพียงการคำนวณเบื้องต้นอย่างง่ายเท่านั้น โดยตั้งสมมุติฐานว่าระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิตได้และให้ผลตอบแทนด้านการประหยัดไฟฟ้าเท่ากันทุกปีและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาทำความสะอาดและอื่นๆ อยู่ในการรับประกันการติดตั้งตลอดอายุการใช้งานโดยการบำรุงรักษามีการฝึกอบรมเจ้าหน้าที่ของโรงพยาบาลซึ่งมีช่างประจำโรงพยาบาลเป็นผู้บำรุงรักษาขั้นต้น และในค่าดำเนินการจึงไม่ได้นำค่าใช้จ่ายบำรุงรักษามาหักลบออกจากผลประหยัดพลังงานที่เกิดขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากโรงพยาบาลเป็นองค์กรของรัฐที่ไม่ได้มุ่งหาผลกำไรจากการติดตั้งเพื่อซื้อหรือขายไฟ แต่มีวัตถุประสงค์เพื่อการประหยัดพลังงานในการลดค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าที่ค่อนข้างสูง โดยโรงพยาบาลเป็นโรงพยาบาลขนาดเล็กขนาด 60 เตียง ผู้รับการรักษาเป็นชาวบ้านละเขาในพื้นที่ซึ่งมีรายได้น้อย และเงินลงทุนเป็นเงินลงทุนอุดหนุนจากภาครัฐเพื่อส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทนและเกิดการอนุรักษ์พลังงานซึ่งสามารถคำนวณอย่างง่ายในเบื้องต้นได้ดังนี้

การหาระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PB)

ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period : PB) คือ ระยะเวลา (เป็นจำนวนปี/เดือนหรือวัน) ที่เกิดจากผลการผลิตไฟฟ้าของโครงการคิดเป็นผลประหยัดค่าไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาดังกล่าว

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินสดจ่ายในการลงทุนสุทธิ (Total Investment)}}{\text{มูลค่าพลังงานที่ประหยัดได้ต่อปี (Annual Energy Cost Saving)}}$$

จากข้อมูลเงินงบประมาณที่ลงทุนของโครงการในการติดตั้งโซล่าเซลล์ใช้เงินลงทุนติดตั้งทั้งค่าอุปกรณ์ค่าขนส่งรวมทั้งค่าติดตั้งและการรับประกันการใช้งานตลอดอายุโครงการเป็นเงิน 13,440,000 บาท (ราคาที่ได้รับอุดหนุนงบประมาณปี พ.ศ. 2560 การลงทุนติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา รวมหมดทั้งระบบค่าขนส่งค่าติดตั้งมีราคาที่ได้รับการอุดหนุนเงินลงทุนประมาณ 67,000 บาทต่อกิโลวัตต์ หรือ 67 บาท ต่อวัตต์ ทั้งนี้ราคาของการติดตั้งระบบขึ้นอยู่กับสเปคคุณภาพของอุปกรณ์ การขนส่งในพื้นที่ห่างไกล รวมทั้งการรับประกันการบำรุงรักษา) และจากผลประหยัดค่าไฟที่ได้ 708,030.60 บาท จะได้

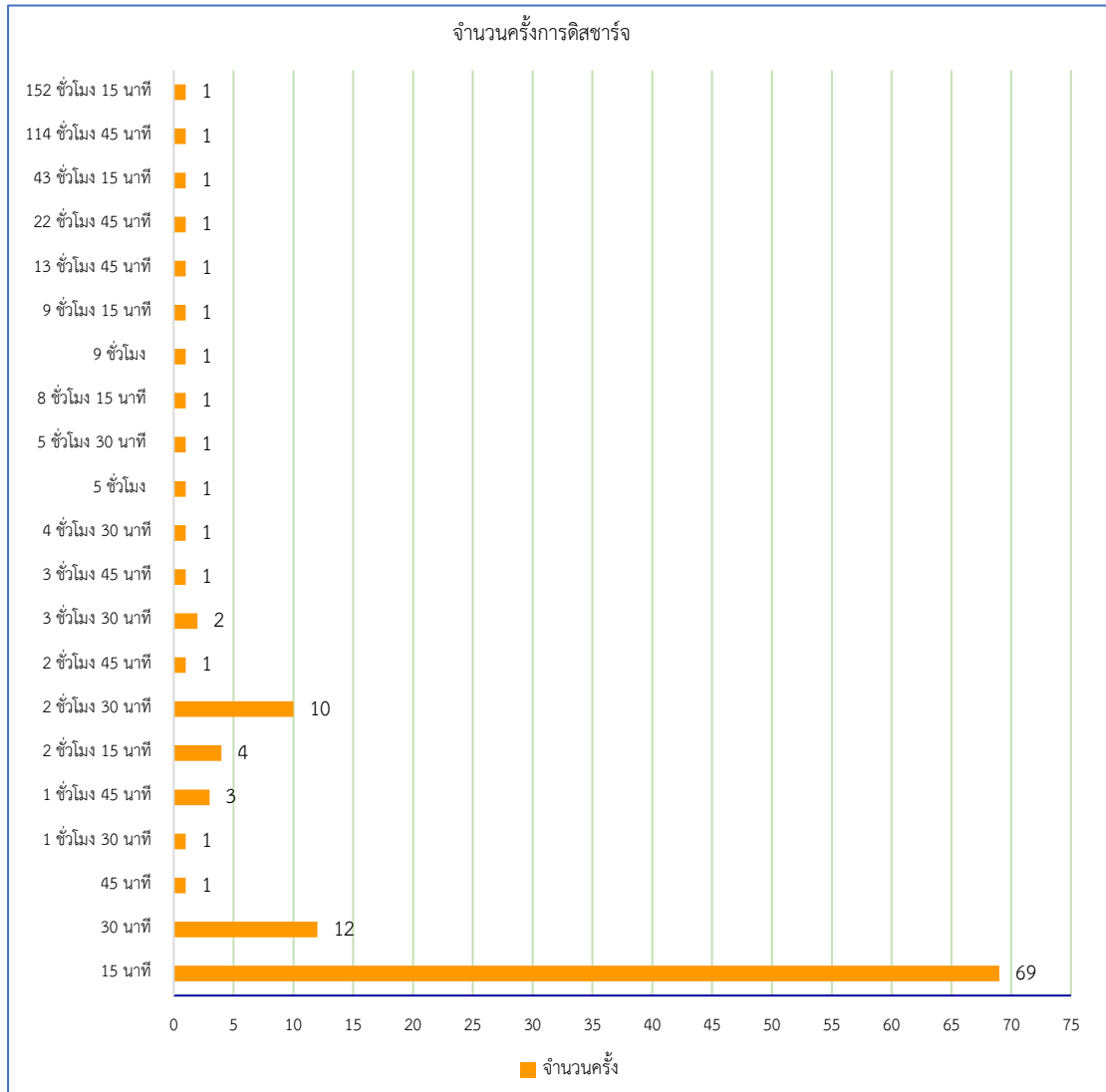
$$\begin{aligned} \text{ระยะเวลาคืนทุน} &= \frac{13,440,000}{708,030.60} \\ &= 18.98 \text{ หรือประมาณ } 19 \text{ ปี} \end{aligned}$$

จากค่า PB จะแสดงให้เห็นว่าโครงการต้องใช้เวลาค่อนข้างนานในการคืนทุน อย่างไรก็ตามเป็นการประเมินในเบื้องต้นอย่างง่าย ๆ เท่านั้น ซึ่งในการผลิตไฟฟ้าจากโซล่าเซลล์จริงๆ อาจจะไม่สามารถกำหนดได้ว่าจะผลิตไฟฟ้าได้ในปริมาณเท่าใดหรือได้เท่ากันตลอดทุกปี ซึ่งอาจมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยทางธรรมชาติหลายอย่างในแต่ละปี ดังนั้นการหาระยะเวลาคืนทุนอย่างง่ายจึงเป็นเพียงสมมุติฐานหนึ่งในการประเมินโครงการขั้นต้น เนื่องจากการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์มีความแปรปรวนไม่สามารถควบคุมอัตราการผลิตได้อย่างสม่ำเสมอไม่สามารถคาดหมายได้แน่นอน ดังนั้นอัตราคืนทุนจึงขึ้นอยู่กับปริมาณที่ผลิตไฟได้ตามช่วงเวลาที่มีความแตกต่างกันตามปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตไฟฟ้า และราคาของระบบที่ติดตั้งในช่วงเวลานั้นๆ และคุณสมบัติของอุปกรณ์ระบบที่ขึ้นอยู่กับคุณภาพสเปคของระบบนั้นด้วย ดังนั้นในการช่วยโรงพยาบาลลดภาระค่าพลังงานไฟฟ้าได้ 708,030.60 บาทในช่วงระยะ 1 ปีหรือ 365 วัน ที่ทำการศึกษาก็ถือว่าช่วยลดภาระดังกล่าวได้มากพอสมควรสำหรับโรงพยาบาลขนาดเล็กในพื้นที่ห่างไกล

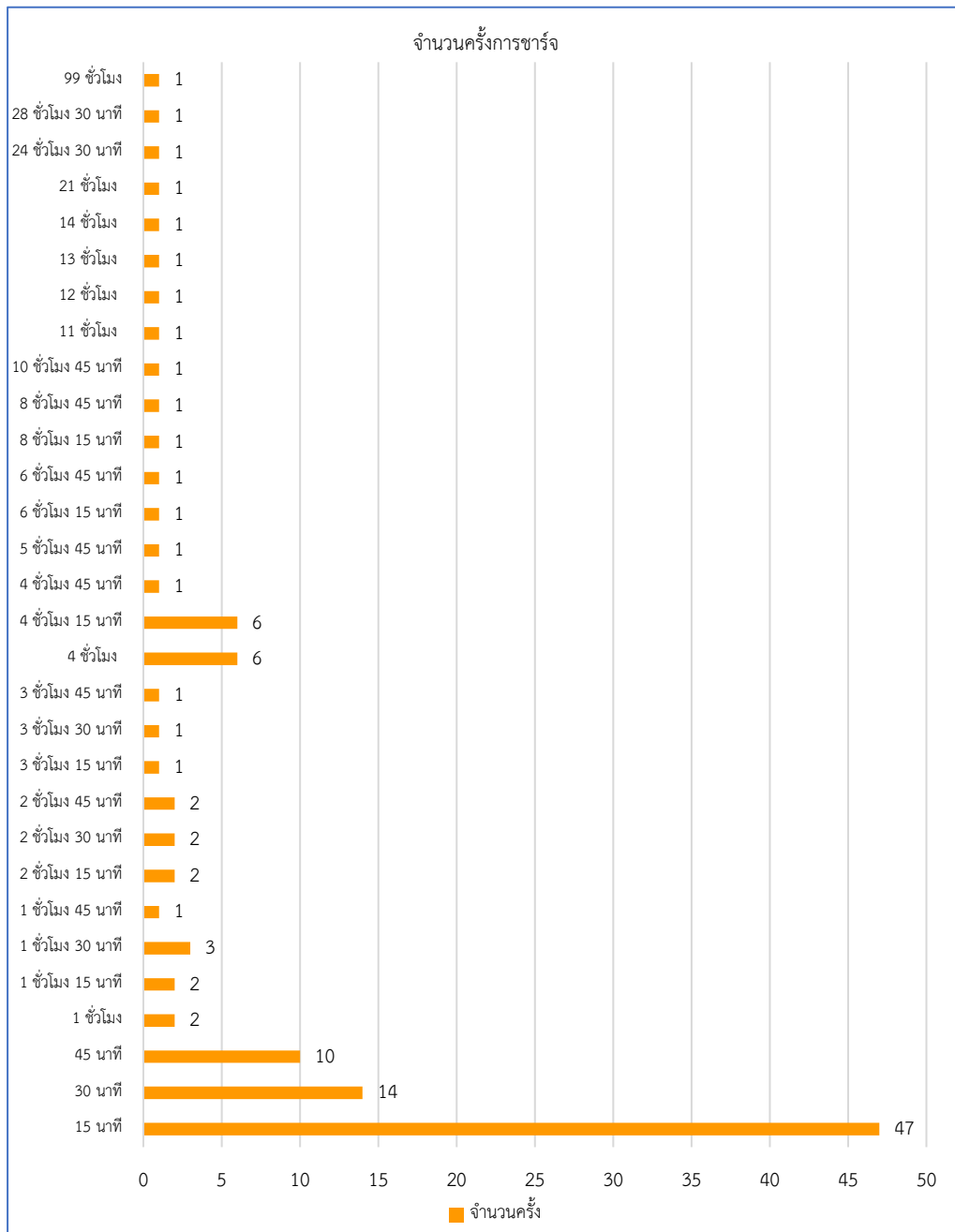
4.4 สถานะการทำงานของแบตเตอรี่

จากผลการศึกษาพบว่าแบตเตอรี่มีการดิสชาร์จไฟออกไปจำนวน 115 ครั้ง ในช่วงระยะเวลา 365 วัน (พฤษภาคม 2561 ถึงเดือน เมษายน 2562) นั้นหมายถึงมีเหตุการณ์ไฟตกไฟดับ 115 ครั้ง โดยการดิสชาร์จไฟเพื่อจ่ายให้กับโหลด ซึ่งส่วนมากเป็นการดิสชาร์จในช่วงเวลาสั้นๆ ไม่เกิน 15 นาที จำนวน 69 ครั้ง และการดิสชาร์จมีช่วงเวลาที่แตกต่างกันแล้วแต่ช่วงเวลาที่เกิดไฟตกไฟดับ และพบว่าความจุของแบตเตอรี่ที่ลดลงในช่วงเวลาที่ดิสชาร์จแต่ละครั้งมีอัตราส่วนไม่เท่ากันเนื่องจากแต่ละ

ช่วงเวลาอาจมีการใช้งานของโหลดไฟฟ้าที่ไม่เท่ากัน ส่วนในการชาร์จไฟคืนสู่แบตเตอรี่นั้น พบว่าระยะเวลาที่ชาร์จกลับคืนใช้เวลาแตกต่างกันขึ้นอยู่กับว่าความจุของแบตเตอรี่ที่เหลืออยู่เป็นกี่เปอร์เซ็นต์ รวมทั้งกำลังไฟฟ้าที่ชาร์จเข้ากลับเข้าไป โดยส่วนใหญ่เวลาที่ชาร์จไฟกลับ ถ้าเป็นการดิสชาร์จช่วงสั้นๆ การชาร์จกลับจะใช้เวลาไม่มาก แต่ถ้าความจุลดลงมากๆ ก็จะใช้เวลาในการชาร์จไฟกลับคืนนานขึ้นเช่นกัน จากการเก็บข้อมูลพบว่าแบตเตอรี่ที่สามารถที่จะจ่ายกระแสไฟฟ้าได้นานสูงสุดถึง 152 ชั่วโมง 15 นาที โดยมีความจุคงเหลือ 11.4 % จากความจุทั้งหมดของแบตเตอรี่ และระยะเวลาที่ชาร์จไฟนานที่สุดใช้เวลาถึง 99 ชั่วโมง โดยเริ่มชาร์จที่ความจุ 36.9 % จนเต็มความจุ แบตเตอรี่ชนิดนี้สามารถที่จะดิสชาร์จไฟออกไปที่ความลึกของการปล่อยประจุ (DOD) ได้สูงเช่นสามารถปล่อยไฟออกไปจนเหลือความจุต่ำสุดที่ 10.2% ได้โดยใช้เวลาในการดิสชาร์จไป 22 ชั่วโมง 45 นาที และทำการชาร์จไฟกลับคืนจากความจุ 10.5% จนเต็มความจุ ใช้เวลา 24 ชั่วโมง 30 นาที จะเห็นว่าในการทำงานของแบตเตอรี่การชาร์จไฟกลับจากความจุหนึ่งๆ อาจใช้เวลาไม่เท่ากันเช่นชาร์จที่ความจุ 36.9 % ใช้เวลาถึง 99 ชั่วโมง และการชาร์จไฟจากความจุ 10.5% จนเต็มความจุใช้เวลา 24 ชั่วโมง 30 นาที ทั้งนี้อาจเกิดจากระบบควบคุมการชาร์จไฟกลับที่ชาร์จไฟด้วยกำลังไฟฟ้าที่น้อยกว่าหรือไม่เท่ากันในแต่ละครั้ง ทำให้ระยะเวลาในการชาร์จไฟกลับมีความแตกต่างกันมากพอสมควร แต่โดยส่วนใหญ่แล้วจะสามารถชาร์จไฟกลับได้ในระยะเวลาที่ไม่ยาวนานมากนัก ส่วนการจ่ายกระแสไฟฟ้าระยะเวลาที่จ่ายไฟนั้น ก็จะมีระยะเวลาที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับว่าในช่วงเวลานั้นมีโหลดไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ทางไฟฟ้าใดกำลังใช้งานอยู่ซึ่งเครื่องใช้ไฟฟ้าต่างๆ ในห้องดังกล่าวจะกินกำลังไฟฟ้าไม่เท่ากัน จึงทำให้อัตราการดิสชาร์จมีกำลังไฟฟ้าที่จ่ายออกไม่เท่ากัน และก็ทำให้ความจุคงเหลือของแบตเตอรี่มีค่าแตกต่างกันไปด้วยถึงแม้ว่าจะมีระยะเวลาในการจ่ายไฟฟ้าเท่ากัน แสดงว่าอัตราการจ่ายกระแสไฟฟ้าของแบตเตอรี่จะขึ้นอยู่กับโหลดที่ใช้งานในช่วงนั้น จากการเก็บข้อมูลจากระบบบริหารจัดการพลังงานในส่วนของสถานะการทำงานแบตเตอรี่ พบว่าเมื่อมีการดิสชาร์จจ่ายกระแสไฟฟ้าออกไปจนสิ้นสุดสถานะการทำงานดิสชาร์จ ระบบจะทำการชาร์จกระแสไฟฟ้ากลับเข้าไปยังแบตเตอรี่ทันที และเมื่อมีเหตุการณ์ไฟตกหรือไฟดับแบตเตอรี่ก็จะมีสถานะดิสชาร์จอีกครั้งทันที ถึงจะมีการชาร์จไฟเข้ายังไม่เต็มความจุก็ตาม และสิ้นสุดเหตุการณ์ก็จะกลับมาชาร์จต่ออีกครั้งทันที ซึ่งในการดิสชาร์จ-ชาร์จ ช่วงเวลา 15 นาที จะมีการทำงานบ่อยครั้งมากที่สุด ซึ่งจำนวนครั้งของสถานะการทำงานการดิสชาร์จและชาร์จโดยรวมดังที่แสดงใน รูปที่ 4-8 แสดงจำนวนครั้งการดิสชาร์จ และในรูปที่ 4-9 แสดงจำนวนครั้งการชาร์จ



รูปที่ 4-8 แสดงจำนวนครั้งการติสซาร์จ



รูปที่ 4-9 แสดงจำนวนครั้งการชาร์จ

โดยในแต่ละเดือนมีวงรอบการดีสชาร์จและชาร์จไฟฟ้าแตกต่างกันออกไปซึ่งสามารถสรุปผลสถานะการทำงานของแบตเตอรี่ได้โดยมีรายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ค. สถานะการทำงานของแบตเตอรี่แสดงการดีสชาร์จและชาร์จ ในแต่ละเดือนตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2561 ถึงเดือน เมษายน 2562 และสรุปได้ดังนี้

11) เดือนมีนาคม 2562 มีวงรอบการทำงานรวม 15 ครั้ง โดยการดิสชาร์จต่ำสุดช่วง 30 นาที จำนวน 1 ครั้ง ดิสชาร์จสูงสุด 3 ชั่วโมง 30 นาที จำนวน 1 ครั้ง โดยมีการดิสชาร์จ 2 ชั่วโมง 15 นาที จำนวน 3 ครั้ง และ 2 ชั่วโมง 30 นาที เท่ากัน 8 ครั้ง แต่แต่ละครั้งเริ่มต้นที่ความจุแตกต่างกัน และคงเหลือความจุที่ไม่เท่ากัน ส่วนการชาร์จช่วง 15 นาที จำนวน 1 ครั้ง มีการชาร์จนานที่สุดช่วง 5 ชั่วโมง 45 นาที จำนวน 1 ครั้ง

12) เดือนเมษายน 2562 มีวงรอบการทำงานรวม 11 ครั้ง โดยการดิสชาร์จต่ำสุดช่วง 15 นาที จำนวน 4 ครั้ง ดิสชาร์จสูงสุด 8 ชั่วโมง 15 นาที จำนวน 1 ครั้ง โดยมีการดิสชาร์จ 15 นาที จำนวน 4 ส่วนการชาร์จช่วง 15 นาที จำนวน 4 ครั้ง มีการชาร์จนานที่สุดช่วง 8 ชั่วโมง 15 นาที จำนวน 1 ครั้ง

สรุปสถานะการทำงานของแบตเตอรี่ จากผลการเก็บรวบรวมข้อมูลสถานะของการคายประจุ (state of charge, SOC) ของแบตเตอรี่จะขึ้นอยู่กับสถานการณ์ที่เกิดไฟตกไฟดับ ซึ่งการดิสชาร์จ กระแสไฟฟ้าออกไปจะมีช่วงเวลาสั้นยาวและความจุที่แตกต่างกันแล้วแต่ในช่วงเวลาขณะนั้นจะมีการใช้ไฟฟ้าของโหลดมากน้อยเพียงใด และความลึกของการปล่อยประจุ (depth of discharge, DOD) ของแบตเตอรี่สามารถปล่อยกระแสไฟฟ้าได้ลึกที่สุดจนเหลือความจุเพียง 10.5% ได้ ทั้งนี้การทำงานของแบตเตอรี่สามารถทำงานต่อเนื่องกันโดยเปลี่ยนสถานะจากการชาร์จเป็นดิสชาร์จได้ทันทีถึงแม้จะกำลังอยู่ในสถานะชาร์จไม่เต็มความจุก็ตาม และจะเปลี่ยนสถานะกลับมาชาร์จทันทีเมื่อสิ้นสุดเหตุการณ์ไฟตกไฟดับ การทำงานที่สามารถเปลี่ยนสถานะได้ทันทีตามเหตุการณ์ไฟตกไฟดับตามคุณลักษณะของแบตเตอรี่รุ่นที่ทำการศึกษานี้ ระบุว่าสามารถตอบสนองได้ที่ความเร็ว 60 มิลลิวินาที (msec) จึงมีผลช่วยให้ไม่มีความรู้สึกถึงไฟตกไฟดับซึ่งจะช่วยลดความเสียหายของอุปกรณ์ทางการแพทย์ วัคซีนหรือยาที่ต้องเก็บในอุณหภูมิต่ำในเครื่องทำความเย็น ช่วยให้การรักษาผู้ป่วยกรณีฉุกเฉินไม่เกิดการสะดุดหรือหยุดชั่วคราวเนื่องจากไฟดับ เช่น คอมพิวเตอร์ในห้องผ่าตัดจะไม่ดับในเวลาแพทย์กำลังทำการผ่าตัด หรือในห้องฉุกเฉิน ในห้องคลอดขณะที่กำลังทำการรักษา เป็นต้น

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ

5.1 ประมาณการกำลังการผลิตและผลการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

จากผลการศึกษาการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ จะเห็นว่าการผลิตไฟฟ้าในแต่ละวัน แต่ละเดือน จะผลิตไฟฟ้าได้ไม่เท่ากันมีความแตกต่างกันตามความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ ในช่วงเวลาในแต่ละฤดูกาล หรือในแต่ละวันหรือเดือนนั้นๆ และอุณหภูมิในช่วงเวลาที่ต่างกันก็มีผลทำให้การผลิตไฟฟ้าลดลงได้ ถึงจะมีความเข้มแสงที่ดีและมีค่าสูงและมีความสม่ำเสมอตลอดทั้งวัน เช่นในช่วงเวลาของวันที่มีการผลิตไฟฟ้าได้มากที่สุด วันที่ 29 เมษายน 2562 ผลิตไฟฟ้าสะสมได้สูงสุด 964.1 kWh ซึ่งช่วงประมาณ เวลา 11.45 น. ถึง 13.30 น. โดยเฉพาะในช่วง 12.00 น. ที่มีความเข้มแสงอาทิตย์สูงสุดแต่กลับพบว่า ปริมาณการผลิตไฟฟ้าได้ลดลง ซึ่งช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงเที่ยงวันอุณหภูมิแวดล้อมตามปกติทั่วไป จะค่อนข้างร้อนและอยู่ในเดือนเมษายนที่เป็นหน้าฤดูร้อน ซึ่งอาจส่งผลให้อุณหภูมิของแผงที่ติดตั้งบน หลังคาเกิดความร้อนทำให้ประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าลดลงทำให้ปริมาณไฟฟ้าที่ได้ในช่วงนี้ลดลงต่ำได้ เป็นต้น ส่วนในวันที่ผลิตไฟฟ้าได้น้อยที่สุด วันที่ 8 มกราคม 2562 ผลิตไฟฟ้าสะสมได้ 168.6 kWh จะมี เวลาที่ระบบเริ่มผลิตไฟฟ้าช้ากว่าวันอื่นๆ และหยุดผลิตไฟฟ้าไวกว่าวันอื่นๆ ความเข้มแสงไม่สม่ำเสมอและ ค่อนข้างต่ำ เป็นต้น ในช่วงระยะเวลาที่ศึกษาเดือนที่ผลิตไฟฟ้าได้น้อยที่สุด 3 เดือนได้แก่ ช่วงเดือน ธันวาคม 2561 เดือนมกราคม 2562 และกุมภาพันธ์ 2562 ซึ่งเป็นช่วงฤดูหนาวจะผลิตไฟฟ้าได้น้อยที่สุด ตามลำดับ และต่ำกว่าค่าเฉลี่ยการผลิตไฟฟ้าตลอดช่วงเวลา ส่วนในหน้าฝนช่วงเดือนมิถุนายน ถึงเดือน สิงหาคม 2561 จะมีเดือนกรกฎาคม ที่ผลิตไฟฟ้าได้มากที่สุด และเดือนสิงหาคม น้อยที่สุด และต่ำกว่า ค่าเฉลี่ยตลอดระยะเวลาที่ศึกษา แต่ยังคงผลิตได้มากกว่าช่วงฤดูหนาว ส่วนช่วงเดือนที่ผลิตไฟฟ้าได้มากที่สุดคือช่วงหน้าร้อนและผลิตได้มากกว่าค่าเฉลี่ย และมีช่วงปลายฝนต้นหนาวในเดือนกันยายน และเดือน ตุลาคม 2561 ที่ผลิตไฟฟ้าได้สูงกว่าค่าเฉลี่ย แต่ต่ำกว่าหน้าร้อน ดังนั้น ในช่วงเวลาที่ศึกษา ช่วงหน้าร้อน สามารถผลิตไฟฟ้าได้มากที่สุด ช่วงหน้าหนาวผลิตไฟได้น้อยที่สุดและได้น้อยกว่าฤดูฝน จากข้อมูลการ ติดตั้งแผงล่าเซลล์แบบ polycrystalline ขนาด 300 วัตต์ จำนวนแผงทั้งหมด 681 แผง พื้นที่ติดตั้งรวม 1,307 ตารางเมตร รวมทั้งหมดกำลังการผลิตติดตั้ง 204.3 kWp เมื่อนำมาคำนวณด้วยข้อมูลจาก ฐานข้อมูลความเข้มรังสีอาทิตย์ระดับตำบลสำหรับประเทศไทย ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและ อนุรักษ์พลังงาน ประกอบกับข้อมูลจากโปรแกรม PVSYST จะได้ค่าประมาณการกำลังการผลิตอยู่ที่ 272,440.06 kWh/ปี และเมื่อดูจากข้อมูลการใช้งานจริงจากระบบตรวจวัดฯ จะพบว่าผลิตไฟฟ้าได้

จริงในช่วงเวลาที่ศึกษาเท่ากับ 175,255.1 kWh คิดเป็นผลผลิตจริงต่อค่าประมาณการ เท่ากับ 64.33% คิดเป็น 134.09 kWhต่อตารางเมตรต่อปี โดยค่าเฉลี่ยของการผลิตไฟฟ้าสะสมในช่วงเวลาดังกล่าว สามารถผลิตได้เฉลี่ย 14,604.59 kWhต่อเดือน ($\pm 2,609.25$) และการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยต่อวันในแต่ละเดือนอยู่ที่ 480.5 kWh(± 35.15)ต่อวันในเดือนที่มีการผลิตไฟฟ้าได้น้อยที่สุดคือเดือนธันวาคม 2561 ผลิตไฟฟ้าสะสมได้ 10,514 กิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh) ซึ่งอยู่ในช่วงหน้าหนาว ในเดือนที่สามารถผลิตไฟฟ้าสะสมได้สูงสุดคือเดือน เมษายน 2562 ผลิตไฟฟ้าได้ 19,713 กิโลวัตต์-ชั่วโมง (kWh) ซึ่งจะเห็นว่าในช่วงเดือน ธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งเป็นช่วงหน้าหนาวที่มีช่วงระยะเวลากลางวันสั้น จะผลิตไฟได้น้อยต่ำกว่าค่าเฉลี่ยรายเดือน และช่วงระยะเดือนมีนาคมถึงพฤษภาคมจะผลิตไฟได้สูงกว่าและมากกว่าค่าเฉลี่ยรายเดือน ส่วนในช่วงเดือนมิถุนายนถึงสิงหาคมที่เป็นฤดูฝนซึ่งอาจจะมีฝนตกบ่อยหรือมีเมฆบดบังแสงอาทิตย์มากกว่าช่วงอื่นก็จะผลิตไฟได้น้อยกว่าค่าเฉลี่ยรายเดือนแต่ก็ยังผลิตได้มากกว่าช่วงหน้าหนาว และในเดือนตุลาคมถึงพฤศจิกายนซึ่งเป็นช่วงปลายฝนต้นหนาวที่มีฝนลดลงแสงแดดดีไม่มีเมฆฝนมากและอุณหภูมิแวดล้อมไม่ร้อนมากก็จะสามารถผลิตได้สูงกว่าช่วงหน้าฝน และในเดือนพฤศจิกายนการผลิตไฟฟ้าจะเริ่มลดลง และจากการเก็บข้อมูล 12 เดือนพบว่าในเดือนที่ผลิตไฟได้สูงกว่าค่าเฉลี่ยรายเดือนเพียง 5 เดือน ส่วนในอีก 7 เดือนที่เหลือต่ำกว่าค่าเฉลี่ยรายเดือนทั้งหมด ดังนั้นจะเห็นว่าสภาพภูมิอากาศในช่วงเวลาในแต่ละปีมีผลต่อปริมาณการผลิตไฟฟ้าที่ผลิตได้ จากภาพรวมการผลิตไฟฟ้าของโครงการผลิตไฟฟ้าได้เกินครึ่งหนึ่งของประมาณการไม่มากนัก ซึ่งเป็นผลมาจากสภาพแวดล้อมดินฟ้าอากาศในช่วงเวลาดังกล่าวทำให้การผลิตไฟฟ้าได้ไม่ถึงค่าประมาณการซึ่งเป็นเรื่องปกติของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีปัจจัยทางธรรมชาติเป็นตัวแปรที่ทำให้การผลิตไฟฟ้าไม่มีความสม่ำเสมอและควบคุมได้ แต่อย่างไรก็ตามการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ยังสามารถลดภาระด้านพลังงานไฟฟ้าให้กับโรงพยาบาลได้ และถ้าหากว่าสภาพแวดล้อมในช่วงเวลาต่อไปมีความเหมาะสมอาจทำให้การผลิตไฟฟ้าได้เพิ่มมากขึ้นและลดภาระค่าไฟฟ้าได้มากขึ้นอีกได้

5.2 การประเมินการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

จากผลการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ผู้ศึกษาได้ทำการประเมินการทำงานของระบบในเบื้องต้น โดยพิจารณาจากค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ ค่า Capacity Factor (CF) ค่า System Yield ค่า Reference Yield และค่า Performance Ratio จะพบว่า

1) ค่า Capacity Factor (CF) ของระบบเท่ากับ 9.8% ซึ่งค่านี้จะแสดงถึงพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงต่อกำลังการผลิตติดตั้งในช่วงเวลาเดียวกัน บ่งบอกความสามารถในการผลิตพลังงาน

ไฟฟ้าได้จริง ณ ช่วงเวลาหนึ่งเปรียบเทียบกับการผลิตเต็มกำลังผลิตติดตั้ง ซึ่งปกติโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จะมีค่าต่ำกว่าโรงไฟฟ้าประเภทอื่นๆ จากค่าที่ได้จะเห็นว่าความสามารถในการผลิตไฟฟ้าจริงมีค่าต่ำกว่า CF โดยทั่วไปของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ทั้งนี้ค่า CF จะขึ้นอยู่กับพื้นที่และสภาพภูมิอากาศของแต่ละพื้นที่ซึ่งจะไม่เท่ากัน จากข้อมูลของ IEA ปี ค.ศ. 2020 จะมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 10- 21% [14] ดังนั้นค่า CF ของโครงการจึงมีค่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยสูงสุดอยู่มากแต่ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยต่ำสุดเล็กน้อยหรือเกือบเท่าๆ กัน อย่างไรก็ตามเป็นค่าที่ได้ในช่วงเวลาที่ศึกษานี้เท่านั้น

2) ค่า System Yield ซึ่งแสดงถึงจำนวนชั่วโมงที่ระบบมีการจ่ายไฟฟ้าได้จริง ซึ่งจะบอกได้ว่าระบบสามารถจ่ายไฟฟ้าได้จริงในหนึ่งวันได้กี่ชั่วโมง พบว่ามีค่า 2.35 ชั่วโมงต่อวัน หมายความว่าเมื่อรวมปริมาณการผลิตไฟฟ้าตลอดทั้งวันแล้วเทียบกับกำลังการผลิตติดตั้งที่ 204.3 kW สามารถจ่ายไฟฟ้า ได้จริง 2.35 ชั่วโมงต่อวันในช่วงเวลาที่ศึกษา ซึ่งเป็นเรื่องปกติของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ขึ้นอยู่กับปัจจัยของธรรมชาติซึ่งไม่สามารถควบคุมได้

3) Reference Yield เป็นค่าอัตราส่วนระหว่างค่าพลังงานแสงอาทิตย์รวมบนระนาบแผงเซลล์ต่อความเข้มรังสีแสงอาทิตย์มาตรฐานซึ่งเท่ากับ $1,000 \text{ W/m}^2$ จากความเข้มแสงรวมที่ได้จากระบบในช่วงเวลาดังกล่าวค่าพลังงานแสงอาทิตย์รวมเฉลี่ยในช่วงเวลาดังกล่าว คือ $4,026.56 (\pm 85.73) \text{ W/m}^2$ เท่ากับ 4.027 kWh/m^2 -วัน หรือมีจำนวนชั่วโมงที่มีแดดสูงสุดประมาณ 4 ชั่วโมงต่อวัน

4) Performance Ratio จะบอกถึงประสิทธิภาพโดยรวมของระบบรวมทั้งผลกระทบจากการสูญเสียต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระบบ เช่น การสูญเสียกำลังไฟฟ้าในอินเวอร์เตอร์ การสูญเสียกำลังในสายไฟฟ้า อุณหภูมิ รวมทั้งช่วงเวลาที่ไม่มีการผลิตไฟฟ้าออกมาในช่วงดังกล่าวและมี 1 วันในเดือนสิงหาคมที่ระบบไม่มีการผลิตไฟฟ้าออกมาเป็นต้น พบว่าระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์นี้มีค่าการสูญเสียอยู่ที่ 0.58

สรุปผลการประเมินเบื้องต้นจะเห็นว่าระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ในระบบที่ทำการศึกษาล้างจากการติดตั้งและใช้งานจริงการผลิตไฟฟ้ามีค่า CF 9.8% ซึ่งไม่สูงนักโดยทั่วไปค่า CF ของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่จะมีค่าประมาณไม่เกิน 21% ทั้งนี้ระบบมีค่า System Yield เท่ากับ 2.35 ชั่วโมงต่อวัน หมายความว่าระบบจ่ายไฟฟ้าออกไปใช้งานได้จริงในหนึ่งวันเพียง 2.35 ชั่วโมง จากค่า Reference Yield อยู่ที่ 4 ชั่วโมงต่อวันซึ่งบอกถึงจำนวนชั่วโมงที่มีแดดสูงสุดต่อวัน ซึ่งใกล้เคียงกับค่าจากฐานข้อมูลความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ ซึ่งมีค่าเฉลี่ย $4.56 (\pm 0.71)$ ในพื้นที่ๆ ติดตั้งระบบ ทั้งนี้ค่าแสงแดดสูงสุด 4 ชั่วโมงต่อวัน ไม่ได้หมายความว่าระบบจะผลิตไฟฟ้าและจ่ายไฟฟ้าได้เต็มกำลังตลอดเวลา ซึ่งต้องดูประกอบกับค่า CF ค่า System Yield และค่า Performance Ratio ด้วยว่าระบบผลิตและจ่ายไฟฟ้าได้จริงเป็นเท่าไร มีความสูญเสียในระบบเท่าไร จากค่าต่างๆ จะเห็นว่าระบบมี System Yield น้อยกว่า Reference Yield เกือบครึ่งหนึ่ง นั่นก็คือระบบมีช่วงเวลาที่ไม่สามารถผลิตและจ่ายกระแสไฟฟ้าได้มาก เพราะความเข้มแสงในช่วงเวลาที่ศึกษาค่อนข้างจะไม่สูงมากเป็นส่วน

ใหญ่และไม่สม่ำเสมออันเกิดจากสภาพแวดล้อมภูมิอากาศในช่วงเวลาที่ศึกษาอาจมีความเหมาะสมในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ไม่มากนัก เช่นเป็นปีที่มีฝนตกบ่อย มีเมฆหมอกบดบังหรือมีปัจจัยทางธรรมชาติที่ไม่เหมาะสมเท่าที่ควรทำให้ผลการผลิตไฟฟ้าได้ไม่เต็มที่มากนัก อย่างไรก็ตามระบบยังสามารถผลิตไฟฟ้าได้เป็นจำนวนพอสมควรซึ่งจะช่วยโรงพยาบาลลดภาระค่าไฟฟ้าได้

5.3 ผลประหยัดที่ได้จากการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

จากการศึกษาระบบสามารถผลิตไฟฟ้าในช่วงเวลาดังกล่าวได้ 175,255.1 kWh(หน่วย) ซึ่งเมื่อนำมาคิดเป็นค่าไฟ โดยค่าไฟประมาณจากบิลค่าไฟฟ้าย้อนหลังอยู่ที่ประมาณ 4.04 บาทต่อหน่วย สามารถช่วยโรงพยาบาลประหยัดค่าไฟฟ้าได้เป็นเงินประมาณ 708,030 บาท ในช่วงเวลา 12 เดือนที่ศึกษาหรือประมาณเดือนละ 59,002 บาท จากค่าไฟฟ้าเฉลี่ยโดยประมาณ 123,117 บาท (จากบิลค่าไฟฟ้าในช่วงก่อนการติดตั้งระบบ) ในส่วนการคำนวณเป็นผลประหยัดพลังงานเทียบเท่าพีด้นน้ำมันดิบ (ktoe) จะช่วยประหยัดได้ 0.0151 ktoe/ปี ดังนั้นการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์อาทิตย์ของโรงพยาบาล ถือว่ามีส่วนช่วยลดภาระค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าได้มากพอสมควร เนื่องจากโรงพยาบาลแห่งนี้เป็นโรงพยาบาลขนาดเล็ก ตั้งอยู่บนพื้นที่ห่างไกล อยู่บนภูเขา ผู้ที่มารักษาคือชาวบ้าน และชาวเขาในพื้นที่ซึ่งส่วนใหญ่เป็นผู้มีรายได้น้อย ทำให้โรงพยาบาลมีปัญหาภาระค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้า จากปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าทั้งหมดในช่วงเวลาดังกล่าวอยู่ที่ 311,858.2 kWh ระบบสามารถช่วยลดการใช้ไฟฟ้าได้ 175,255.1 kWh จากปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าระบบสามารถผลิตไฟฟ้าได้คิดเป็น 56.29% ของความต้องการใช้ไฟฟ้า ทั้งนี้ระบบยังมีศักยภาพสามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงกว่านี้ได้อีก เมื่อดูจากกำลังผลิตติดตั้งซึ่งก็จะช่วยลดค่าไฟลงได้อีก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพดินฟ้าอากาศ ในแต่ละช่วงเวลาซึ่งผลการศึกษาคั้งนี้เป็นเพียงการศึกษาในช่วงระยะเวลาหนึ่งเท่านั้น ซึ่งถ้าหากมีการศึกษาในช่วงเวลาอื่นๆ อาจได้ผลที่แตกต่างได้ ทั้งนี้ผลประหยัดจะดูเป็นช่วงเวลารายปี ดังนั้นถ้าหากปีต่อไปหรือช่วงเวลาต่อไปสภาพภูมิอากาศเหมาะสมอาจทำให้ผลิตไฟฟ้าได้มากขึ้นและทำให้ผลประหยัดการประหยัดไฟฟ้ามากขึ้น หรืออาจลดลงถ้าสภาพภูมิอากาศไม่เหมาะสมก็ได้ จากผลการศึกษาจะพบว่าความเข้มแสงอาทิตย์ในช่วงเวลานี้ไม่สูงมากหรือต่ำกว่าค่าประมาณการความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ อาจเกิดจากมีฝนตกฟ้าครึ้มมีเมฆหมอกบดบัง รวมทั้งมีปัจจัยทางธรรมชาติอื่นซึ่งควบคุมไม่ได้ ซึ่งไม่ได้เกิดจากปัญหาของการติดตั้งหรือระบบอุปกรณ์ การที่ระบบสามารถช่วยประหยัดไฟฟ้าลง 56.29% จึงถือได้ว่าเป็นการบรรลุเป้าหมายวัตถุประสงค์ในขั้นต้นในการประหยัดไฟฟ้าและลดค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าของโรงพยาบาลได้แล้วในระดับหนึ่ง เนื่องจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ไม่สามารถควบคุมกำลังการผลิตให้เพิ่มหรือลดลงได้ เพราะขึ้นกับปัจจัยทางธรรมชาติเป็นหลัก

5.4 ผลตอบแทนทางการเงิน

จากค่าการหา PB ที่ผ่านมานั้น จะแสดงให้เห็นว่าต้องใช้เวลาค่อนข้างนานในการคืนทุนระยะเวลาประมาณ 19 ปี การคำนวณ PB ในงานศึกษานี้เป็นการคิดเบื้องต้นอย่างง่าย ๆ เท่านั้น และช่วงเวลาที่ติดตั้งระบบดังกล่าวราคายังค่อนข้างสูง (ปี 2561) เนื่องจากโรงพยาบาลภาครัฐเป็นองค์กรที่ไม่แสวงหาผลกำไร ได้รับเงินลงทุนติดตั้งจากงบประมาณอุดหนุน ไม่ได้มีวัตถุประสงค์ในการซื้อขายไฟฟ้าเมื่อติดตั้งแล้วเสร็จได้มีการฝึกอบรมเจ้าหน้าที่หน่วยช่างของโรงพยาบาลเป็นผู้บำรุงรักษาขั้นต้น ซึ่งไม่มีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษารายปี ยกเว้นกรณีมีอุปกรณ์ชำรุดเสียหาย มีการรับประกันการใช้งานรวมอยู่ในค่าติดตั้งแล้วตลอดการใช้งาน ซึ่งในการผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์ อาจจะไม่สามารถบ่งบอกได้ว่า จะผลิตไฟฟ้าได้เท่ากันทุกปี โดยอาจมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างในแต่ละปี ดังนั้นการหาระยะเวลาคืนทุนจึงเป็นเพียงสมมุติฐานเบื้องต้นเท่านั้น เนื่องจากการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์มีความไม่แน่นอนไม่สามารถควบคุมอัตราการผลิตได้ ดังนั้นอัตราคืนทุนจึงขึ้นอยู่กับปริมาณที่ผลิตไฟฟ้าได้ตามช่วงเวลาที่มีความแตกต่างกัน ไม่สามารถคาดหมายได้แน่นอน

สรุปในภาพรวมระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาโรงพยาบาล สามารถช่วยลดภาระค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าได้ตามวัตถุประสงค์ของการติดตั้งมากพอสมควร และกำลังการผลิตติดตั้งนี้ ยังสามารถที่จะมีศักยภาพเพิ่มผลผลิตไฟฟ้าได้อีก ขึ้นอยู่กับความเข้มของพลังงานจากรังสีแสงอาทิตย์ ทั้งนี้การศึกษานี้เป็นการศึกษาในช่วงระยะเวลาหนึ่งเท่านั้น ถ้าหากมีการศึกษาในช่วงเวลาถัดไปผลที่ได้ อาจเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพของดินฟ้าอากาศในช่วงเวลานั้นๆ ซึ่งไม่อาจคาดหมายได้ว่าจะเป็นเท่าใด การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ นอกจากจะช่วยลดภาระค่าไฟฟ้าให้กับโรงพยาบาลแล้ว ยังเป็นการส่งเสริมการใช้พลังงานหมุนเวียนจากธรรมชาติที่ไม่มีวันหมดจากแสงอาทิตย์ ลดการใช้พลังงานจากฟอสซิลช่วยลด CO₂ และยังเป็นแหล่งศึกษาหาความรู้ด้านพลังงานทดแทนให้กับผู้ที่สนใจ ทั้งนี้ถ้าราคาการติดตั้งระบบยิ่งถูกลงมากๆ ก็จะช่วยให้การเข้าถึงการใช้ง่ายยิ่งขึ้น การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ของโรงพยาบาลจึงเป็นการสนับสนุนให้เกิดการใช้งานพลังงานทดแทนมากขึ้นอีกทางหนึ่งด้วย

5.5 ผลการทำงานของแบตเตอรี่ VRF

จากผลการศึกษาที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลสถานะการทำงานของแบตเตอรี่จากระบบบริหารจัดการพลังงานของโรงพยาบาล พบว่าแบตเตอรี่มีการดีสชาร์จไปทั้งหมด 115 ครั้ง โดยเป็นการดีสชาร์จ ช่วงเวลาสั้นๆ ไม่เกิน 15 นาที เป็นส่วนใหญ่จำนวน 69 ครั้ง มีระยะเวลาการดีสชาร์จช่วงระยะเวลาสั้นที่สุดถึง 152 ชั่วโมง 15 นาที โดยมีความจุคงเหลือ 11.4 % ส่วนการชาร์จพบว่ามีการชาร์จไปทั้งหมด 115 ครั้ง โดยส่วนใหญ่เป็นการชาร์จในช่วงเวลาสั้นๆ ประมาณ 15 นาที

ตามการทำงานที่มีการดิสชาร์จออกไป จำนวน 47 ครั้ง ระยะเวลาที่ชาร์จนานที่สุดใช้เวลา 99 ชั่วโมง โดยเริ่มชาร์จที่ความจุ 36.9 % จนเต็มความจุ โดยพบว่าระยะเวลาการดิสชาร์จมีช่วงเวลาที่แตกต่างกันซึ่งอาจเกิดจากกรณีไฟตกไฟดับที่มีระยะเวลาไม่เท่ากันและโหลดที่ใช้งานอยู่ในขณะนั้นแตกต่างกัน ส่วนในการชาร์จไฟเข้าพบว่าระยะเวลาชาร์จจนเต็มความจุใช้เวลาไม่เท่ากันตามความจุของแบตเตอรี่ที่ถูกดิสชาร์จออกไป จากข้อมูลการใช้งานที่เก็บรวบรวมได้นั้นจะเห็นได้ว่าแบตเตอรี่ชนิดนี้สามารถที่จะดิสชาร์จไฟออกไปที่ความลึกของการปล่อยประจุ (DoD) ได้สูง เช่นสามารถปล่อยไฟฟ้าออกไปจนเหลือความจุต่ำสุดที่ 10.2% ได้โดยใช้เวลาในการดิสชาร์จไป 22 ชั่วโมง 45 นาที และทำการชาร์จไฟกลับคืน จากความจุ 10.5% จนเต็มความจุ ใช้เวลา 24 ชั่วโมง 30 นาที จะเห็นได้ว่าระยะเวลาในการชาร์จไฟกลับจะมากกว่าการดิสชาร์จไฟออกไปมากนัก อย่างไรก็ตามเมื่อดูจากขนาดของแบตเตอรี่ที่มีขนาดกว้าง 2.2 เมตร ยาว 4.5 เมตร สูง 2.4 เมตร น้ำหนัก รวมทั้งหมด 10,300 กิโลกรัม จะเห็นว่ามีขนาดและน้ำหนักมาก เมื่อเทียบกับความจุของแบตเตอรี่ ซึ่งถ้าหากคำนวณค่าความหนาแน่นของพลังงานหรือค่าพลังงานพลังงานจำเพาะ (Energy Density) ที่แสดงถึงปริมาณพลังงานที่แบตเตอรี่สามารถสะสมได้ต่อหนึ่งหน่วยของมวล (Wh/kg) หรือ ค่าความจุต่อน้ำหนักจากขนาดความจุของแบตเตอรี่ 100 kWh น้ำหนัก 10,300 กิโลกรัม จะได้เท่ากับ $100,000 \div 10,300 = 9.71$ (Wh/kg) และค่าความจุต่อปริมาตร (Wh/l) จากขนาด กว้าง 2.2 เมตร ยาว 4.5 เมตร สูง 2.4 เมตร เท่ากับ 23.76 ลูกบาศก์เมตรหรือเท่ากับ $23.76 \times 1,000$ ลิตร จะได้ $23,760$ ลิตร เมื่อนำมาคำนวณจะได้ $100,000 \div 23,760 = 4.21$ (Wh/l) ซึ่งนั่นหมายความว่า แบตเตอรี่ชนิดนี้ มีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมากหรือมีค่าความหนาแน่นของพลังงานที่ต่ำ

จากการศึกษา ระบบจะมีการดิสชาร์จไฟออกไปเรื่อยๆ ตามช่วงระยะเวลาที่เกิดไฟตกไฟดับซึ่งการดิสชาร์จนั้นไม่ได้ปล่อยไฟในอัตราคงที่ตลอดเวลาแต่ปล่อยตามโหลดที่ใช้งานในขณะนั้น สังเกตได้จากในบางครั้งแบตเตอรี่มีความจุลดลงอย่างมากในช่วงเวลาสั้นๆ หรือลดลงไม่เท่ากันในแต่ละช่วงเวลาที่ดิสชาร์จออกไป ความลึกของการปล่อยประจุ (Dept of Discharge ,DoD) จากการใช้งานจริงพบว่าแบตเตอรี่มีการดิสชาร์จไฟออกจนเหลือความจุต่ำสุดที่ 10.4% และจะกลับมาชาร์จอีกครั้งเมื่อสิ้นสุดไฟตกหรือดับสังเกตได้จากการที่แบตเตอรี่มีการดิสชาร์จและชาร์จติดต่อกันสลับไปมาในช่วงเวลานั้นๆ

ดังนั้นจากการที่แบตเตอรี่มีวงรอบการชาร์จและดิสชาร์จ จำนวน 115 ครั้ง จึงหมายถึงมีการเกิดไฟตกหรือไฟดับจำนวน 115 ครั้งใน 365 วัน การที่แบตเตอรี่สามารถทำงานได้ไวและทำงานแบบต่อเนื่องแบบทันทีที่เกิดไฟตกไฟดับ จึงสามารถเป็นตัวช่วยในการรักษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าของห้องที่มีความสำคัญได้แก่ ห้องฉุกเฉิน ห้อง Lab ห้องคลอด ห้องผ่าตัด ซึ่งเป็นห้องที่มีความสำคัญต่อชีวิตของผู้เข้ารับการรักษา และการทำงานของแพทย์เป็นอย่างมากทำให้สามารถดำเนินการต่อไปได้โดยไม่ต้องหยุดชะงักลงซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อผู้ป่วย ช่วยลดอุปสรรคในการทำงาน

ไม่ให้เกิดเหตุการณ์ไม่พึงประสงค์ขึ้น และจะสามารถช่วยลดความเสียหายกับอุปกรณ์ทางการแพทย์ ในห้องที่สำคัญได้ ช่วยในการเก็บรักษายาหรือวัคซีน ที่ต้องเก็บในอุณหภูมิต่ำตลอดเวลาเพื่อไม่ให้เสื่อมประสิทธิภาพหรือหมดอายุในการใช้งานลง และอาจช่วยให้การรักษาพยาบาลของแพทย์ในกรณีเกิดอุบัติเหตุฉุกเฉิน เป็นไปได้อย่างต่อเนื่องในช่วงเวลาวิกฤติ และยังช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องเจนเนอเรเตอร์หลักลงได้ แบตเตอรี่ชนิดนี้มีการบำรุงรักษาที่ไม่ยุ่งยาก ไม่จำเป็นต้องตรวจสอบอยู่ตลอดเวลา สามารถควบคุมการทำงานด้วยระบบออนไลน์ได้ จึงสามารถช่วยรักษาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าของห้องที่สำคัญนี้ได้เป็นอย่างดี

5.6 ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ

ข้อจำกัดในการศึกษา เนื่องจากการเก็บข้อมูลเป็นการเก็บข้อมูลผ่านระบบบริหารจัดการพลังงานของโรงพยาบาลออนไลน์ผ่านระบบอินเทอร์เน็ต ทำให้การเก็บข้อมูลเกิดอุปสรรคในช่วงที่การสื่อสารถูกตัดขาดเนื่องจากเป็นโรงพยาบาลที่อยู่ในพื้นที่ห่างไกลระบบสื่อสารมีการขัดข้องบ่อย อีกทั้งระบบไม่ได้บันทึกข้อมูลในรูปแบบไฟล์สำหรับข้อมูลในบางส่วนที่สามารถนำออกมาใช้ประโยชน์ได้ทันที ทั้งนี้จึงต้องทำการเก็บข้อมูลด้วยมือจากจอแสดงผลของระบบโดยตรง และการทำงานของเครื่องมือวัดหรือระบบตรวจวัดอาจมีความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นได้

ข้อเสนอแนะสำหรับระบบตรวจวัดฯ ทั้งนี้ระบบมีการนี้มีการตรวจวัดอุณหภูมิ สภาพดินฟ้าอากาศในแต่ละวัน แต่ไม่ได้มีการบันทึกข้อมูลอุณหภูมิสภาพดินฟ้าอากาศในแต่ละวันของช่วงเวลาต่างๆ เอาไว้ด้วย ซึ่งถ้าหากมีการบันทึกข้อมูลไว้จะช่วยให้การศึกษาวិเคราะห์สามารถทำให้เห็นภาพรวมได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น อีกทั้งถ้ามีการรวบรวมข้อมูลในปีต่อๆมาเรื่อยๆ เพื่อให้สามารถทำการเปรียบเทียบผลจากการผลิตไฟฟ้าเพิ่มเติมอีก จะทำให้เห็นภาพรวมของการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ของโรงพยาบาลในแต่ละปีได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

บรรณานุกรม

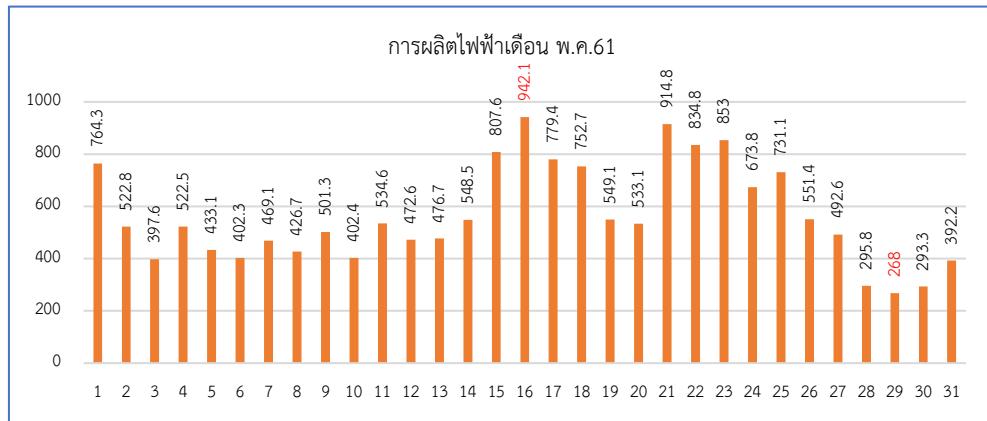
1. กองถ่ายทอดเผยและแพร่เทคโนโลยี. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์. Available from: <http://webkc.dede.go.th/testmax/node/4535>.
2. TIRATHAIJOURNAL. GO/NO GO to Solar rooftop. เมษายน-พฤศจิกายน 2562; Available from: https://www.tirathai.co.th/storage/document/download-center/tirathai-journal/2019/journal_no24-25.pdf
3. หน้าที่หลักการทำงานของคอนโทรลชาร์จโซล่าเซลล์ (Solar Charge Controller) หรือโซล่าชาร์จเจอร์ (Solar Charger). Available from: <https://energynext.co.th/2020/06>.
4. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. การวิเคราะห์ผลตอบแทนทางการเงินและเศรษฐศาสตร์. Available from: <http://www2.dede.go.th/webpage/tools.htm>.
5. ดร.ศุภฤกษ์อัครวิทยาพันธ์. แบตเตอรี่กักเก็บพลังงานแห่งอนาคต. วารสาร METEC ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ตุลาคม-ธันวาคม 2541; Available from: https://www2.mtec.or.th/th/e-magazine/magazine_detail.asp?Run_no=dlkeiadjl. (https://www2.mtec.or.th/th/e-magazine/admin/upload/265_13_21.pdf).
6. graphimaterials. Battery Felt. Available from: <http://www.graphimaterials.com/battery-felt.html>
7. Use your own power grid. Available from: <https://www.cellcubeenergystorage.com/s/CellCube-Use-Your-Own-Power-Grid.pdf>.
8. mall.factomart.com. ระบบสำรองไฟสำหรับโรงพยาบาล มีการทำงานอย่างไร. Available from: <https://mall.factomart.com/backup-power-in-hospital-ep1/>.
9. ชีระภัทร์ แมนมิตร และปานจิต ดำรงกุลกำจร, ระบบกักเก็บพลังงานโดยใช้แบตเตอรี่ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ สำหรับผู้ใช้ไฟที่มีการคิดอัตราค่าไฟตามช่วงเวลาการใช้งาน. วารสารวิจัยพลังงาน. ปีที่ 12 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม 2558.
10. สุรกิจ ทองสุก และอรรถพล เกาพิทักษ์กุล, การศึกษาประสิทธิภาพและความคุ้มค่าของระบบไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา. วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี) ปีที่ 10 ฉบับ 19 มกราคม-มิถุนายน 2561.

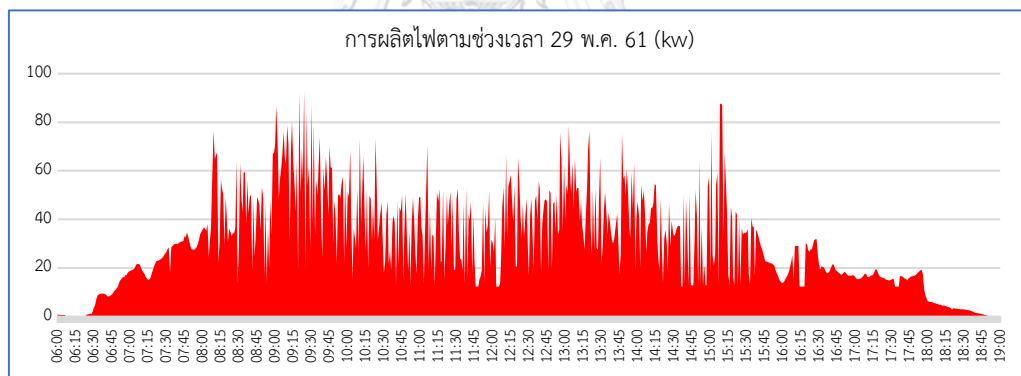
11. เอกพันธ์ ผัดศรี, คณภรณ์ก้อนแก้ว และอัชรินทร์อินทนิเวศน์. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพและสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับสายส่งขนาด 300 kW. การประชุมวิชาการครั้งที่ 13 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ศรีราชา วันที่ 30 สิงหาคม 2561 Available from:
<https://erp.mju.ac.th/openFile.aspx?id=MzE4OTYz>.
12. USER MANUAL Vanadium redox flow battery CELLCUBE. GILDEMEISTER energy storage GmbH. 2015. Available from: <https://www.vsunenergy.com.au/wp-content/uploads/2017/02/Environmental-Controls.pdf>.
13. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. รายงานฉบับสมบูรณ์ติดตามประเมินผลการดำเนินงานโครงการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา (Solar PV Rooftop System). Available from: <http://e-lib.dede.go.th/mm-data/BibA11305.pdf>.
14. International Energy Agency, I. Average annual capacity factors by technology, 2018 (Last updated 6 Mar 2020. Available from: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/average-annual-capacity-factors-by-technology-2018>.

ภาคผนวก ก
การผลิตไฟในแต่ละวันของแต่ละเดือน

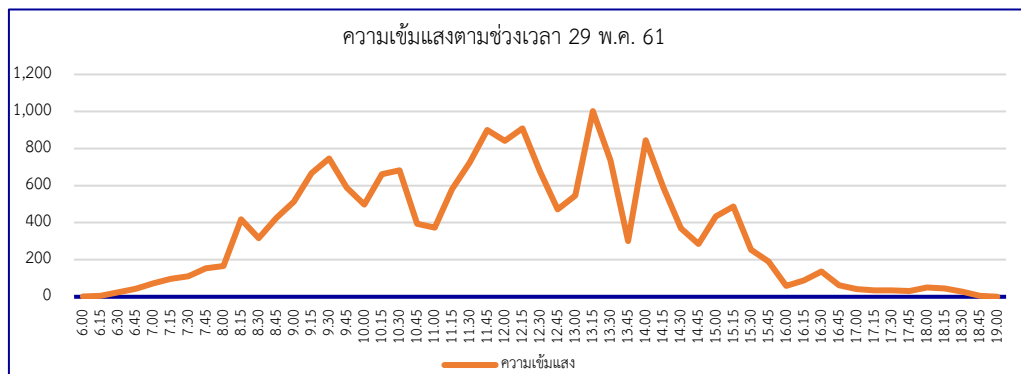
1) การผลิตไฟฟ้าในเดือนพฤษภาคม 2561



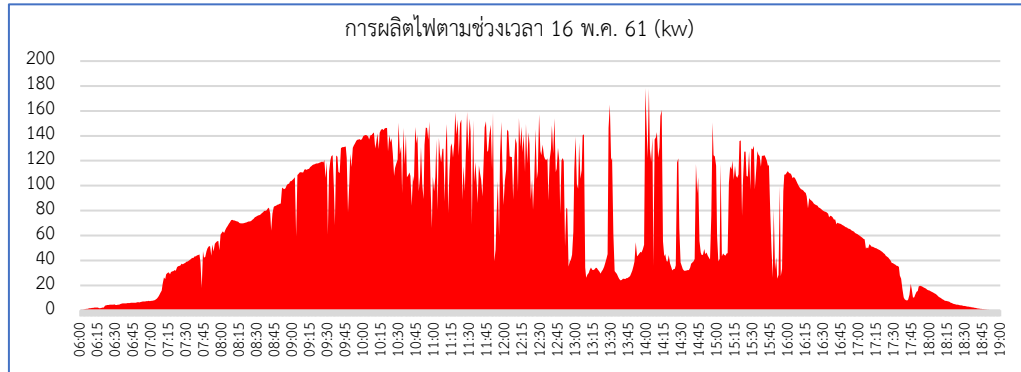
การผลิตไฟตามช่วงเวลาวันที่ผลิตไฟได้น้อยที่สุดในวันที่ 29 พฤษภาคม 2561



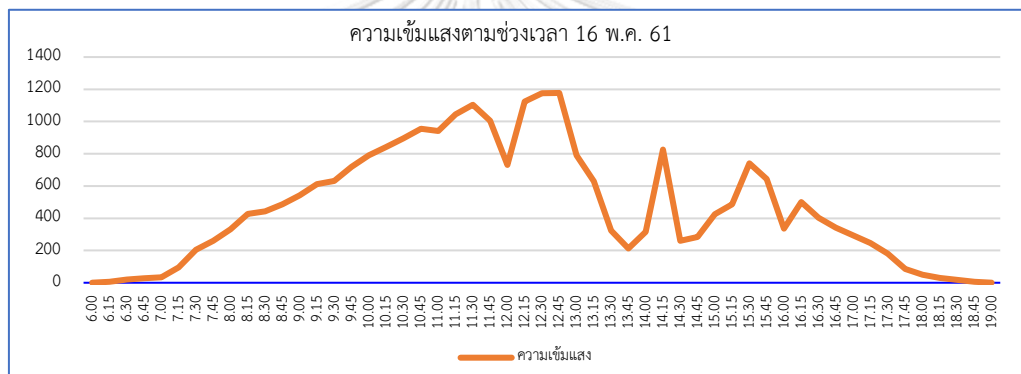
ความเข้มแสงอาทิตย์วันที่ 29 พฤษภาคม 2561 (W/m²)



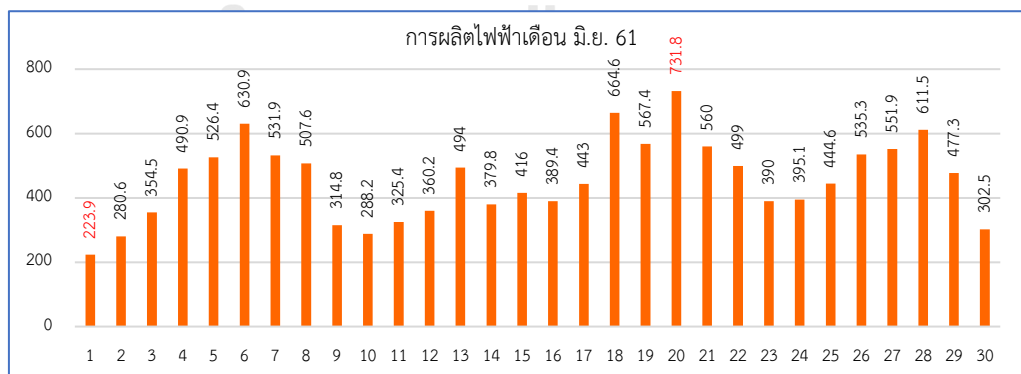
การผลิตไฟตามช่วงเวลาวันที่ผลิตไฟได้มากที่สุดในวันที่ 16 พฤษภาคม 2561



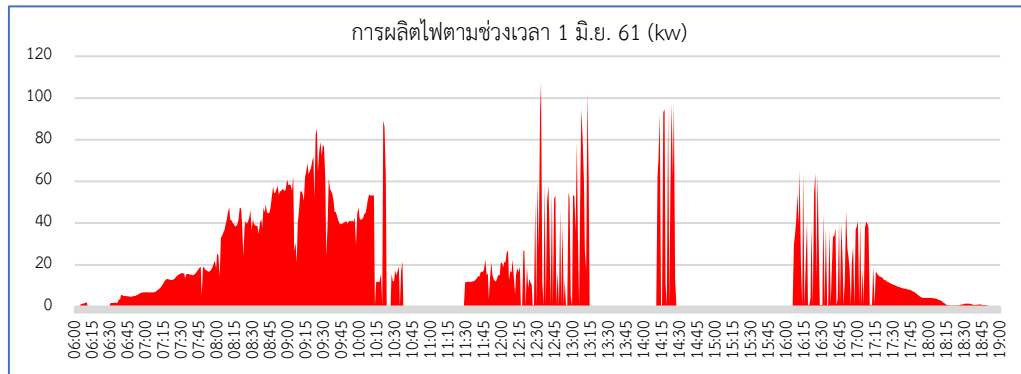
ความเข้มแสงอาทิตย์วันที่ 16 พฤษภาคม 2561 (W/m²)



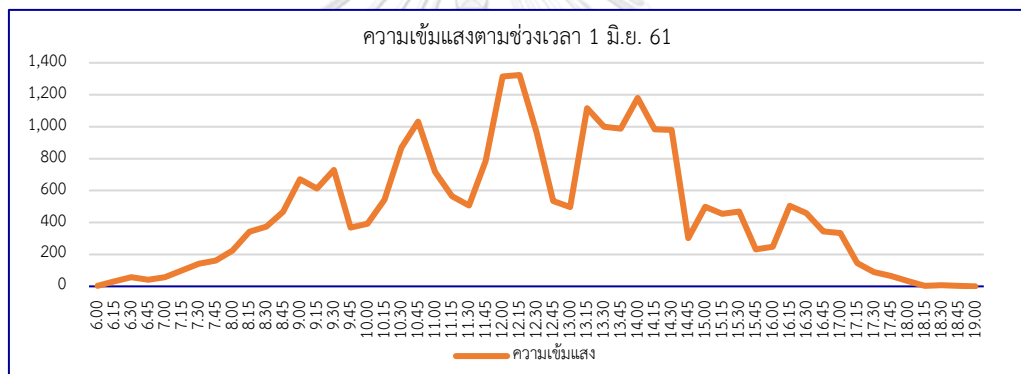
2) การผลิตไฟฟ้าในเดือนมิถุนายน 2561



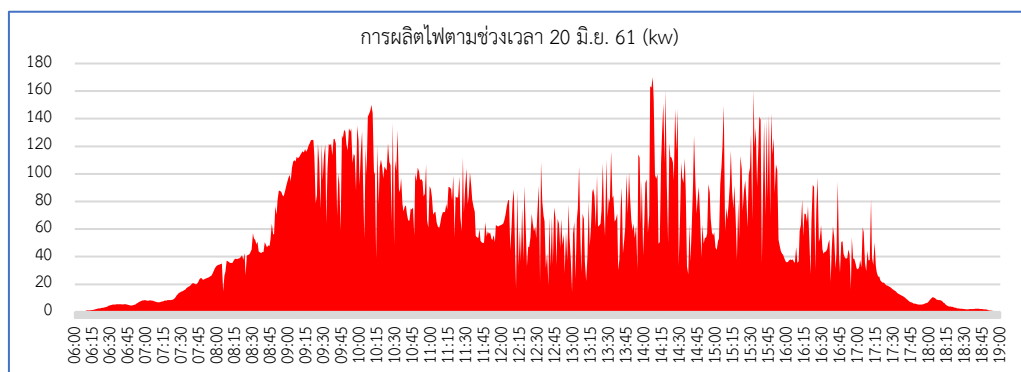
การผลิตไฟตามช่วงเวลาวันที่ผลิตไฟได้น้อยที่สุดในวันที่ 1 มิถุนายน 2561



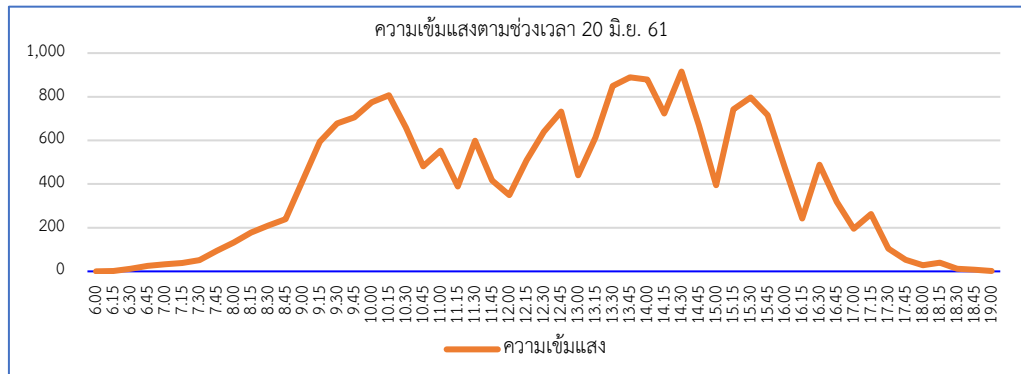
ความเข้มแสงอาทิตย์วันที่ 1 มิถุนายน 2561 (W/m²)



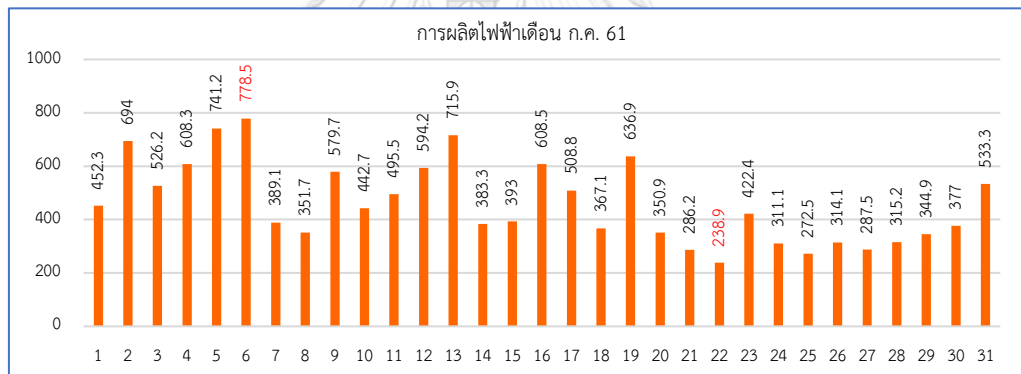
การผลิตไฟตามช่วงเวลาวันที่ผลิตไฟได้มากที่สุดในวันที่ 20 มิถุนายน 2561



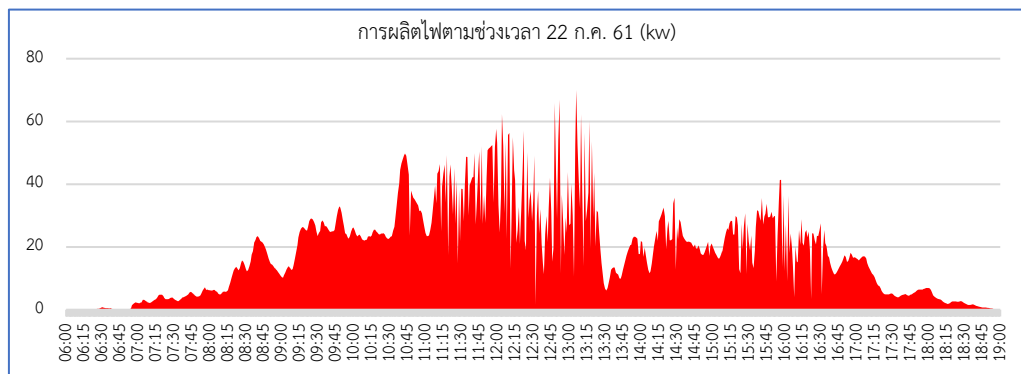
ความเข้มแสงอาทิตย์วันที่ 20 มิถุนายน 2561 (W/m²)



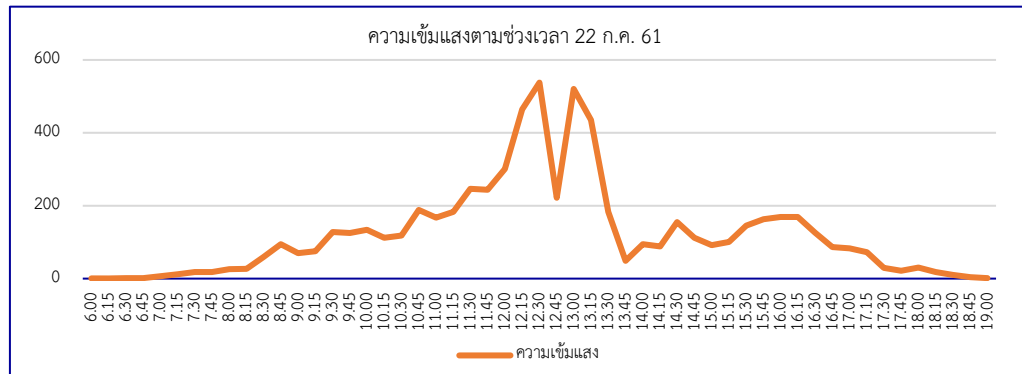
3) การผลิตไฟฟ้าในเดือนกรกฎาคม 2561



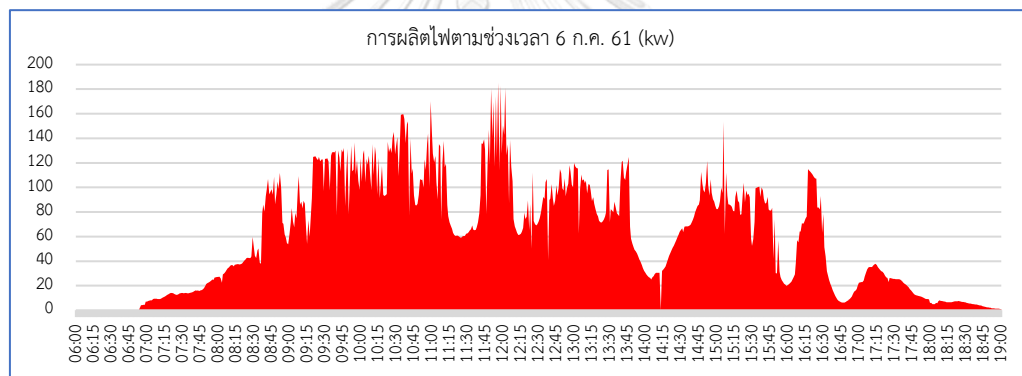
การผลิตไฟฟ้าตามช่วงเวลาวันที่ผลิตไฟได้น้อยที่สุดในวันที่ 22 กรกฎาคม 2561



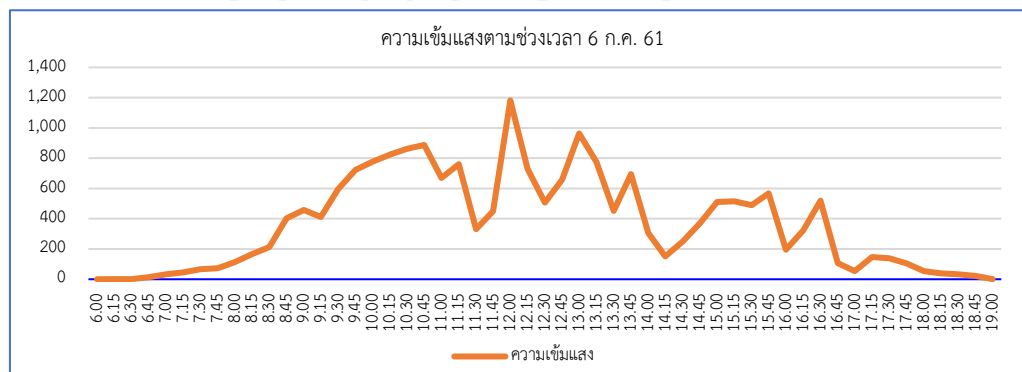
ความเข้มแสงอาทิตย์วันที่ 22 กรกฎาคม 2561 (W/m^2)



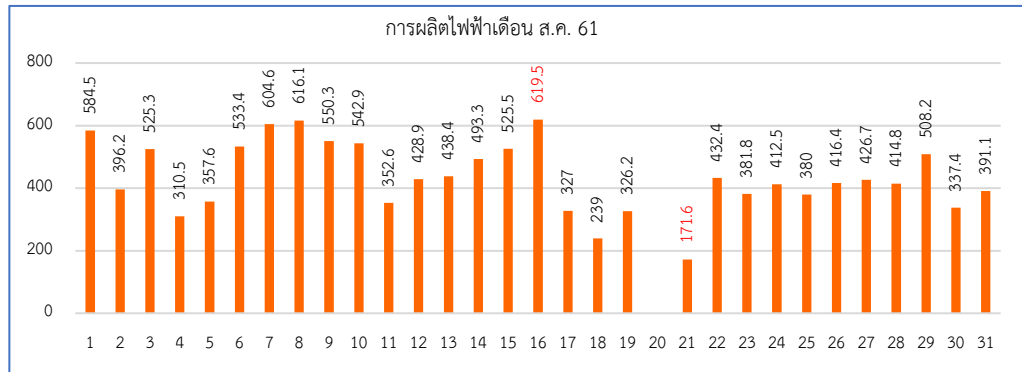
การผลิตไฟตามช่วงเวลาวันที่ผลิตไฟได้มากที่สุดในวันที่ 6 กรกฎาคม 2561



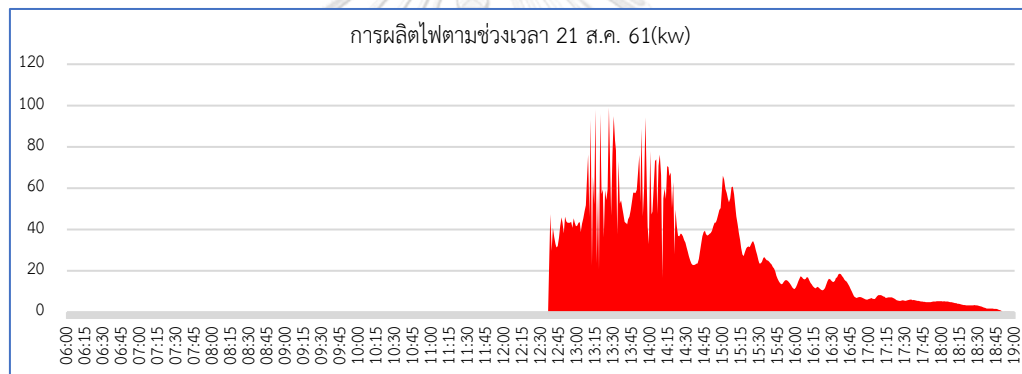
ความเข้มแสงอาทิตย์วันที่ 6 กรกฎาคม 2561 (W/m^2)



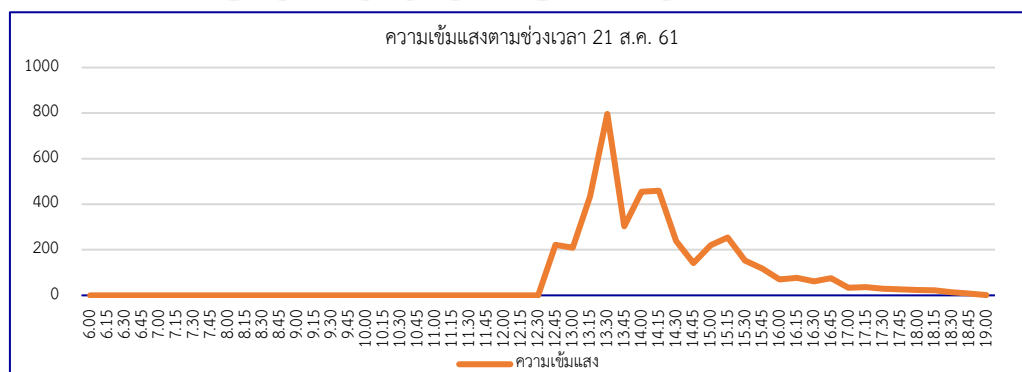
4) การผลิตไฟฟ้าในเดือนสิงหาคม 2561



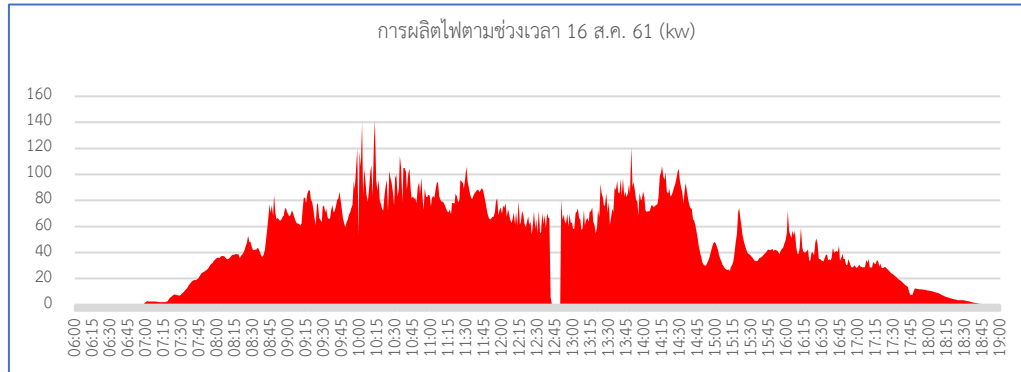
การผลิตไฟฟ้าตามช่วงเวลาวันที่ผลิตไฟได้น้อยที่สุดในวันที่ 21 สิงหาคม 2561



ความเข้มแสงอาทิตย์วันที่ 21 สิงหาคม 2561 (W/m²)



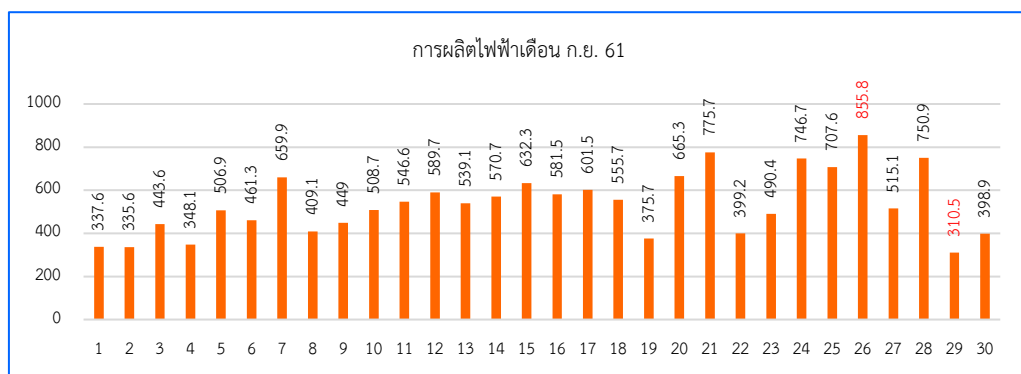
การผลิตไฟตามช่วงเวลาวันที่ผลิตไฟได้มากที่สุดในวันที่ 16 สิงหาคม 2561



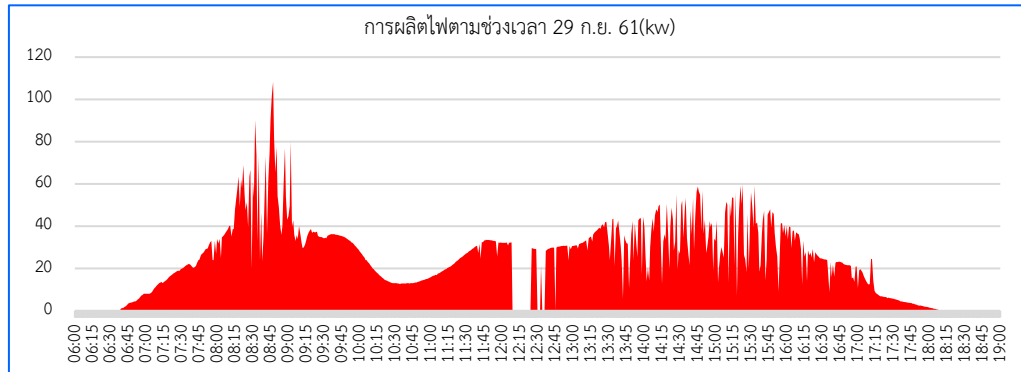
ความเข้มแสงอาทิตย์วันที่ 16 สิงหาคม 2561 (W/m²)



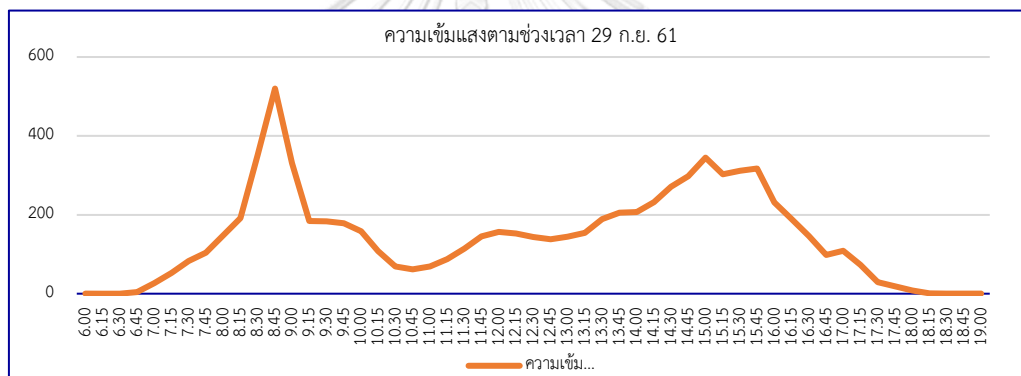
5) การผลิตไฟฟ้าในเดือนกันยายน 2561



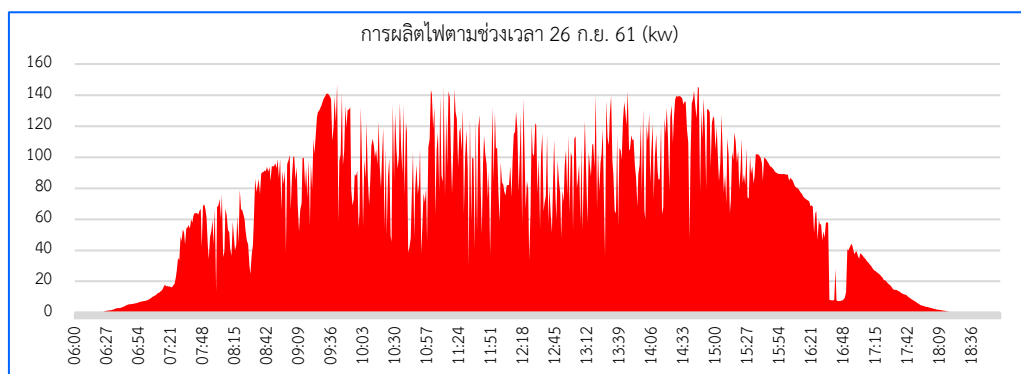
การผลิตไฟตามช่วงเวลาวันที่ผลิตไฟได้น้อยที่สุดในวันที่ 29 กันยายน 2561



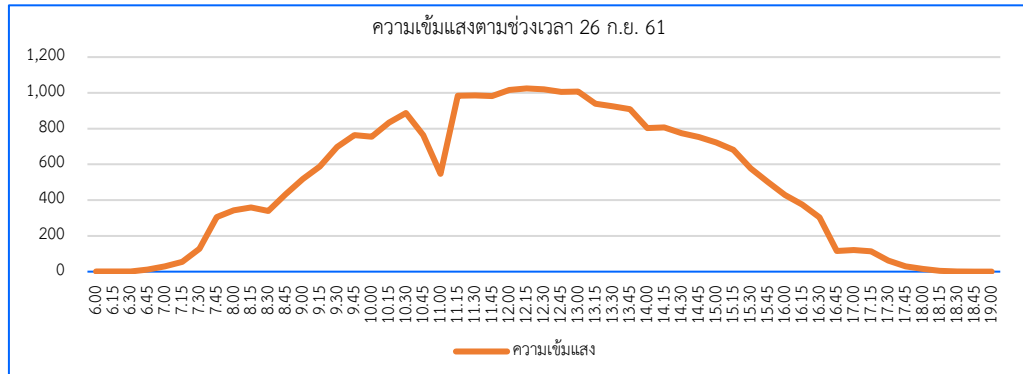
ความเข้มแสงอาทิตย์วันที่ 29 กันยายน 2561 (W/m²)



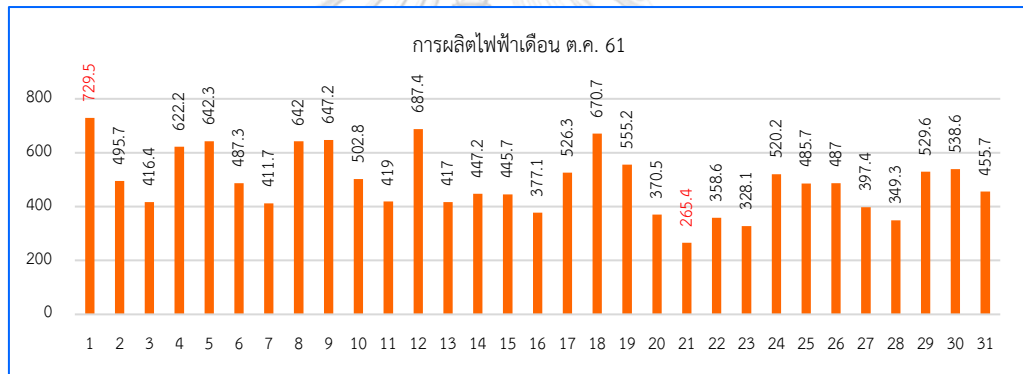
การผลิตไฟตามช่วงเวลาวันที่ผลิตไฟได้มากที่สุดในวันที่ 26 กันยายน 2561



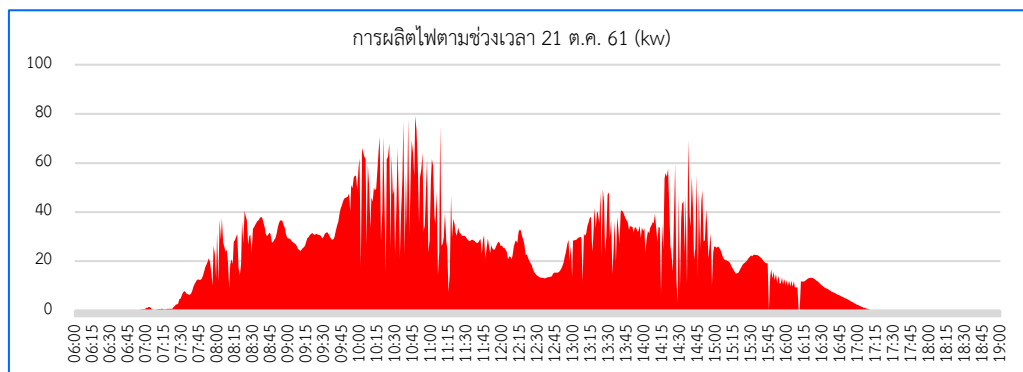
ความเข้มแสงอาทิตย์วันที่ 26 กันยายน 2561 (W/m²)



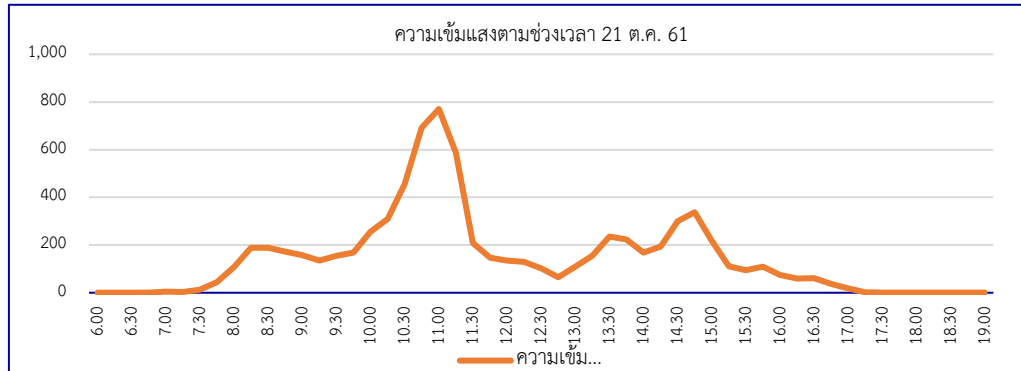
6) การผลิตไฟฟ้าในเดือนตุลาคม 2561



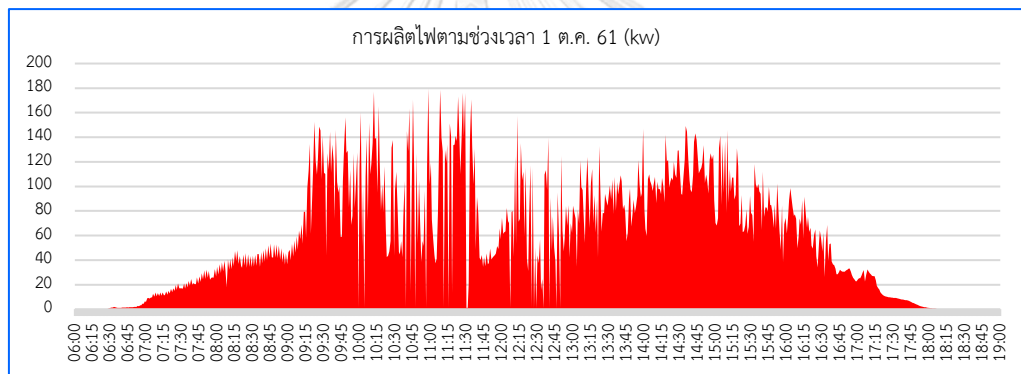
การผลิตไฟตามช่วงเวลาวันที่ผลิตไฟได้น้อยที่สุดในวันที่ 21 ตุลาคม 2561



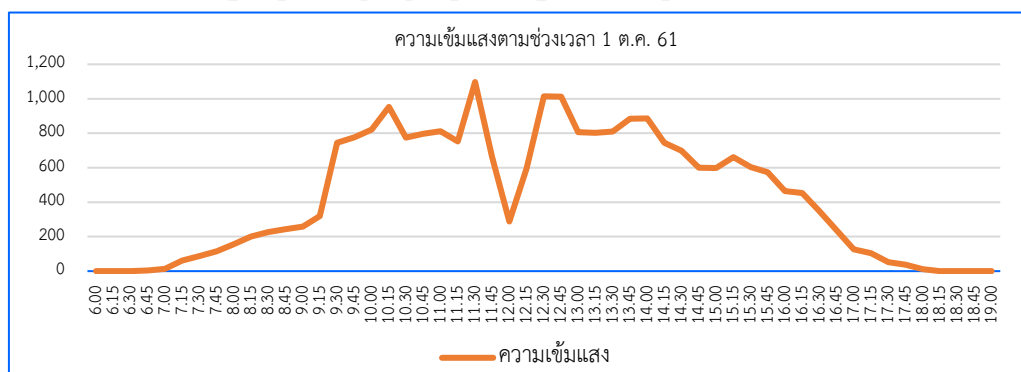
ความเข้มแสงอาทิตย์วันที่ 21 ตุลาคม 2561 (W/m^2)



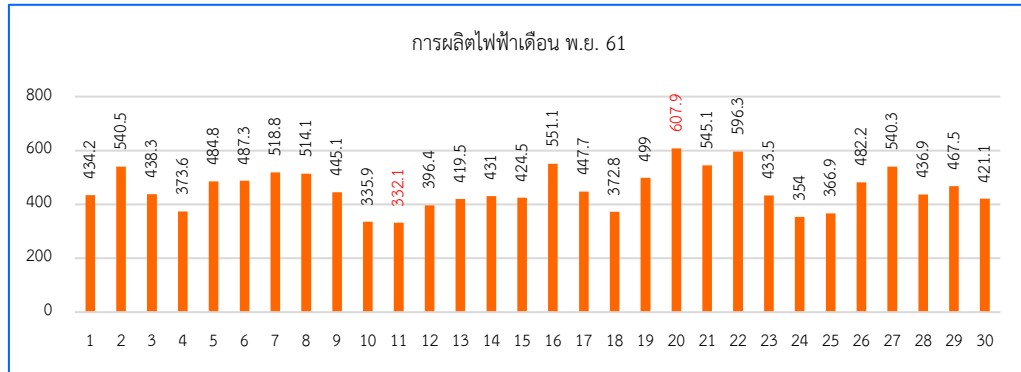
การผลิตไฟตามช่วงเวลาวันที่ผลิตไฟได้มากที่สุดในวันที่ 1 ตุลาคม 2561



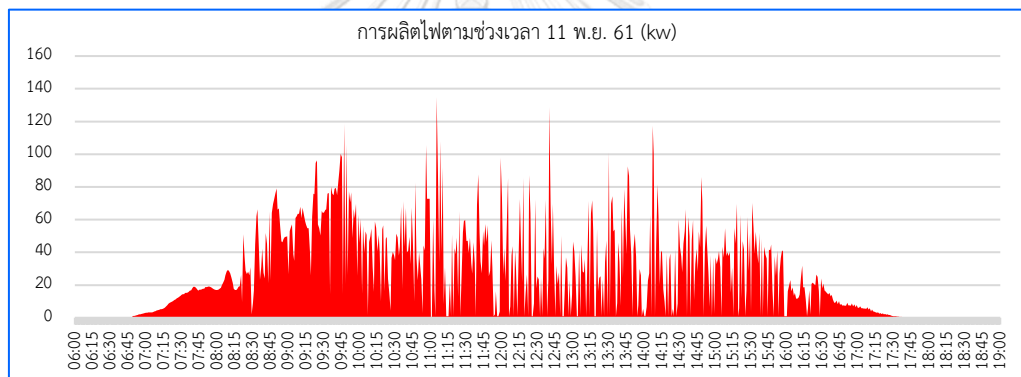
ความเข้มแสงอาทิตย์วันที่ 1 ตุลาคม 2561 (W/m^2)



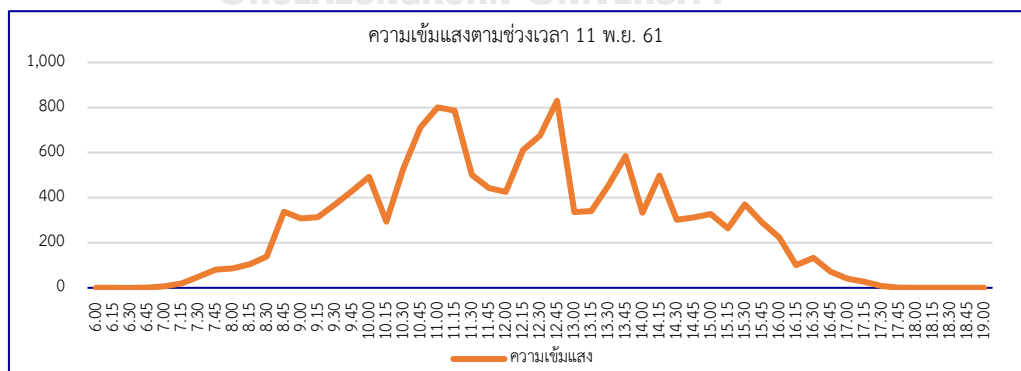
7) การผลิตไฟฟ้าในเดือนพฤศจิกายน 2561



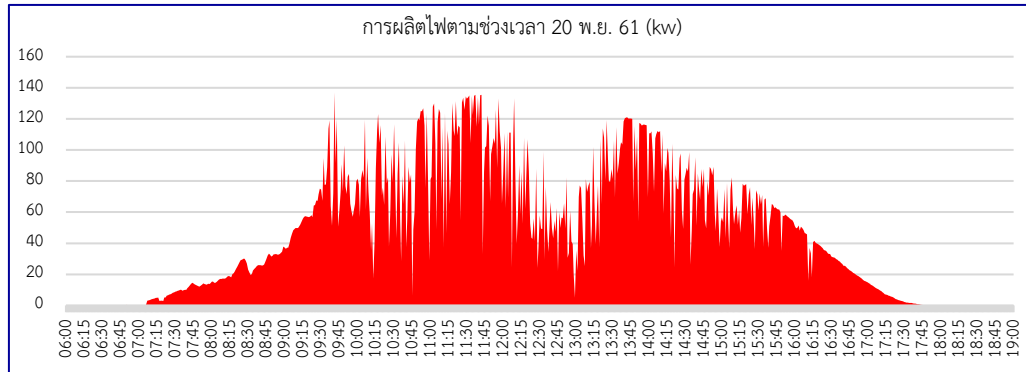
การผลิตไฟตามช่วงเวลาวันที่ผลิตไฟได้น้อยที่สุดในวันที่ 11 พฤศจิกายน 2561



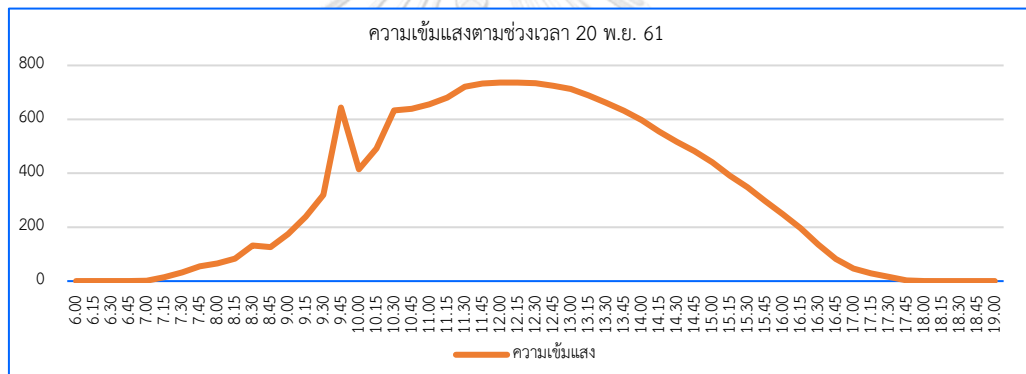
ความเข้มแสงอาทิตย์วันที่ 11 พฤศจิกายน 2561 (W/m²)



การผลิตไฟตามช่วงเวลาวันที่ผลิตไฟได้มากที่สุดในวันที่ 20 พฤศจิกายน 2561

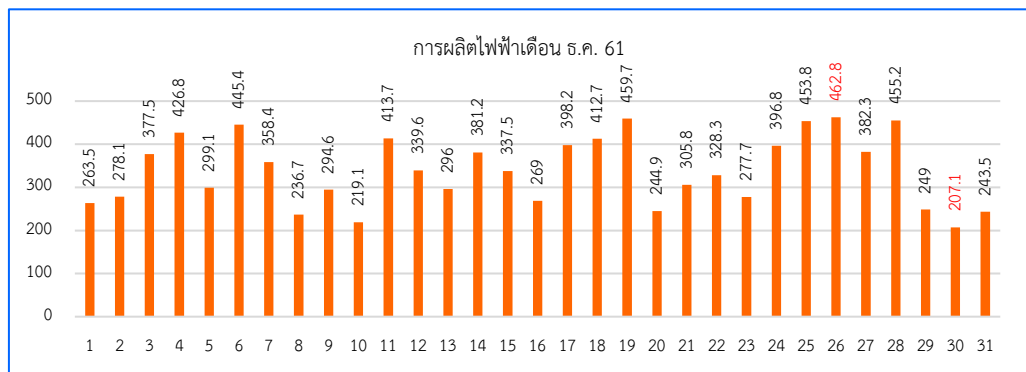


ความเข้มแสงอาทิตย์วันที่ 20 พฤศจิกายน 2561 (W/m²)

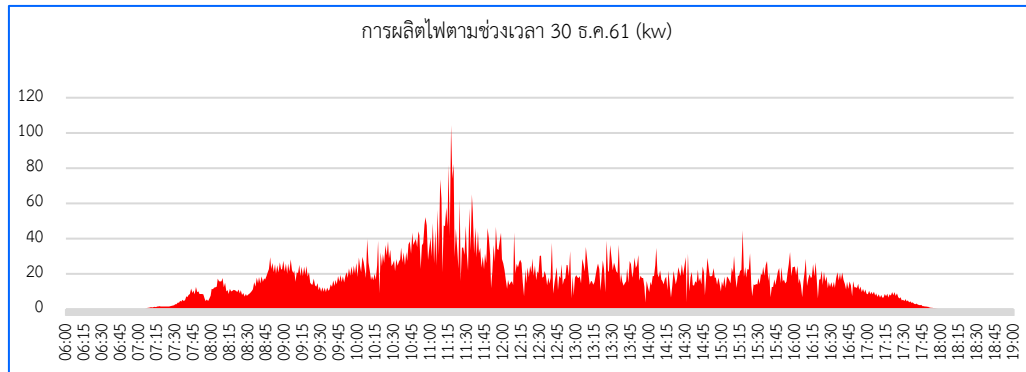


จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

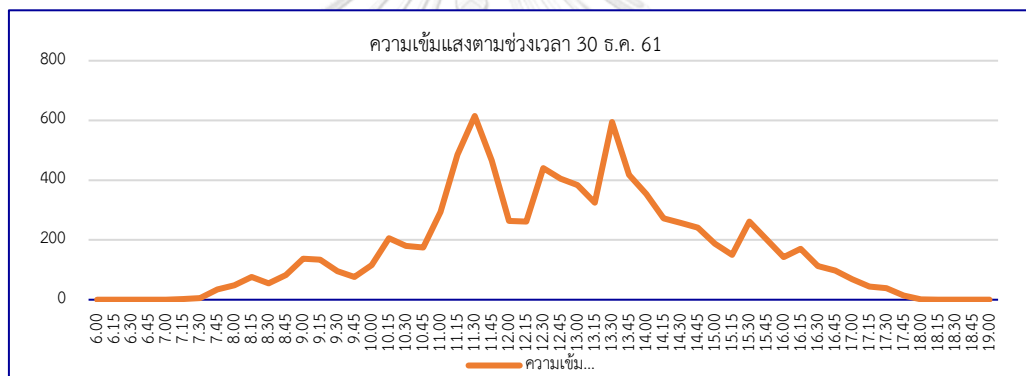
8) การผลิตไฟฟ้าในเดือนธันวาคม 2561



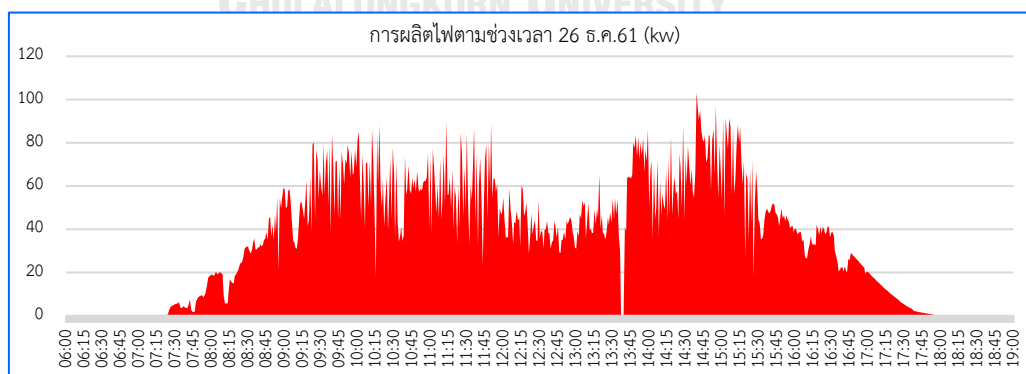
การผลิตไฟตามช่วงเวลาวันที่ผลิตไฟได้น้อยที่สุดวันที่ 30 เดือนธันวาคม 2561



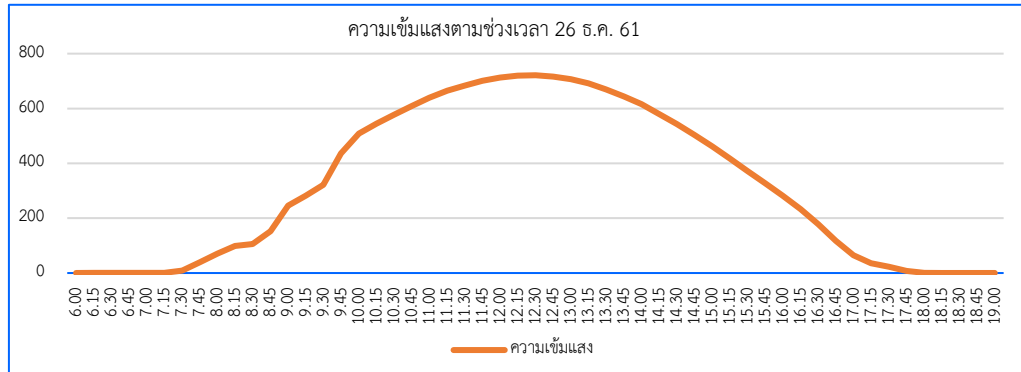
ความเข้มแสงอาทิตย์วันที่ 30 เดือนธันวาคม 2561 (W/m²)



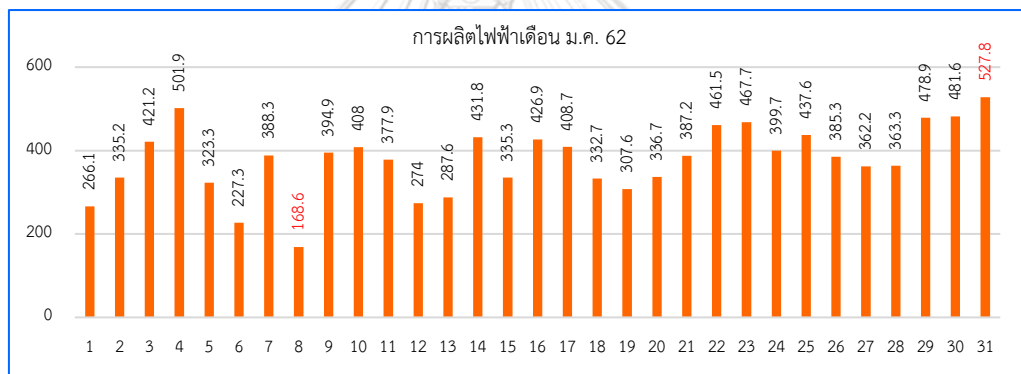
การผลิตไฟตามช่วงเวลาวันที่ผลิตไฟได้มากที่สุดในวันที่ 26 ธันวาคม



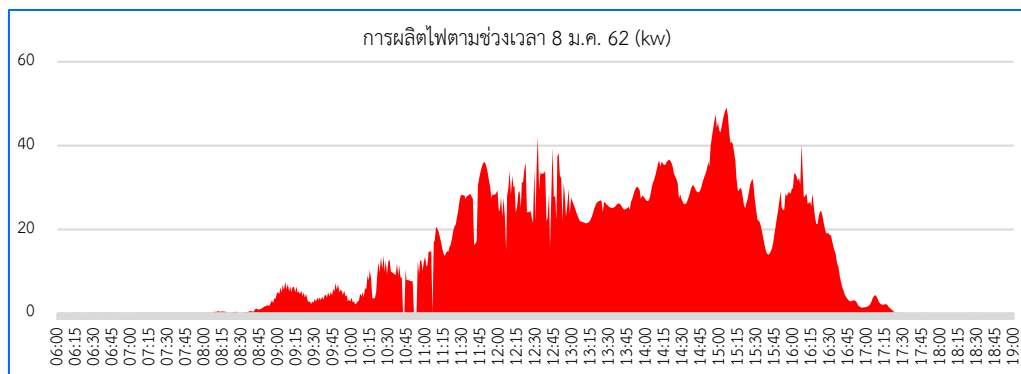
ความเข้มแสงอาทิตย์วันที่ 26 เดือนธันวาคม 2561 (W/m^2)



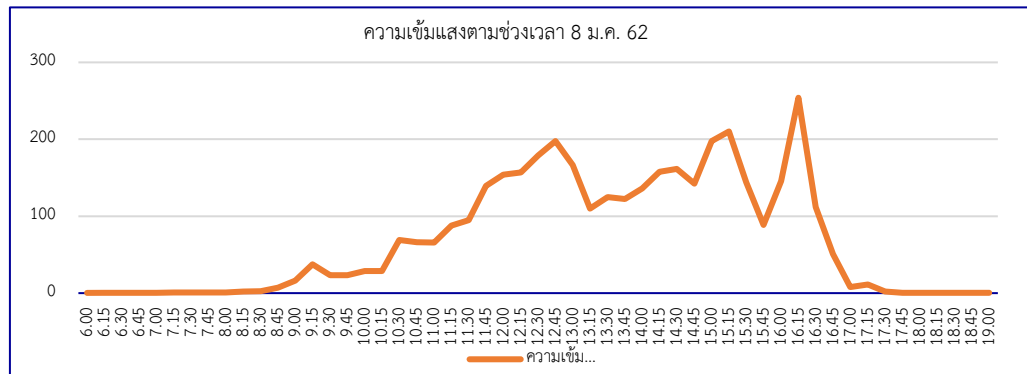
9) การผลิตไฟฟ้าในเดือนมกราคม 2562



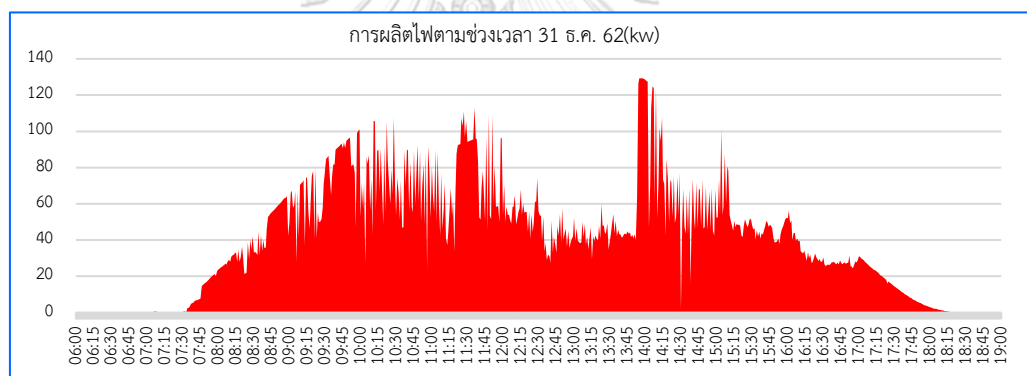
การผลิตไฟตามช่วงเวลาวันที่ผลิตไฟได้น้อยที่สุดในวันที่ 8 มกราคม



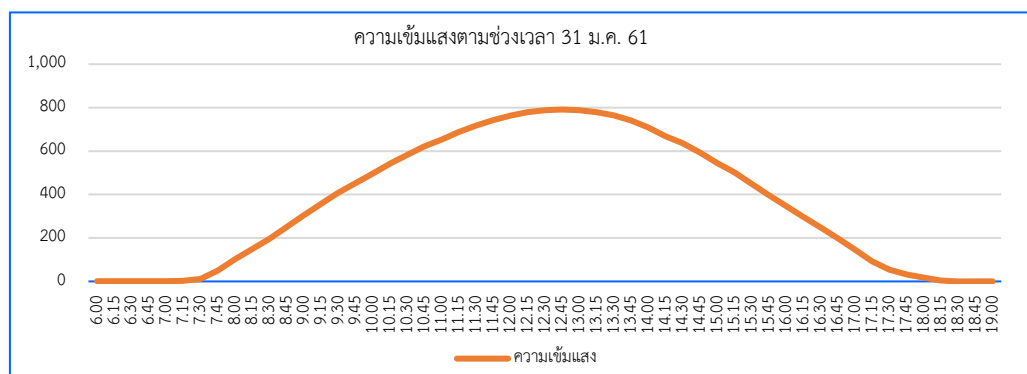
ความเข้มแสงอาทิตย์วันที่ 8 มกราคม 2562 (W/m^2)



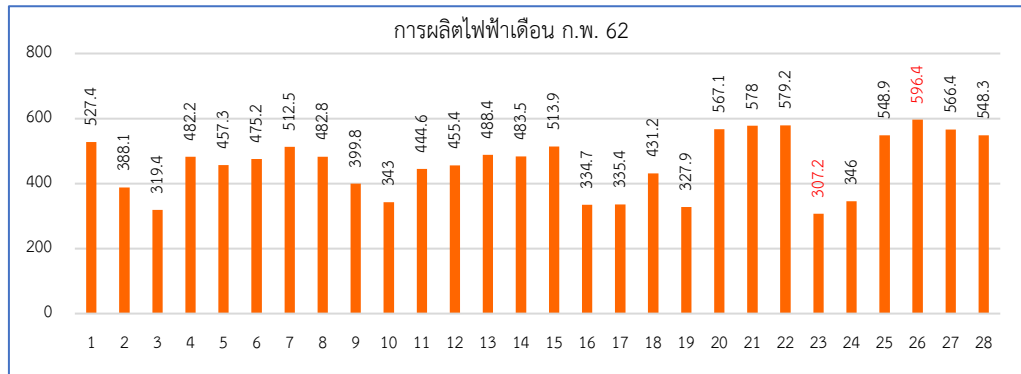
การผลิตไฟตามช่วงเวลาวันที่ผลิตไฟได้มากที่สุดในวันที่ 31 มกราคม



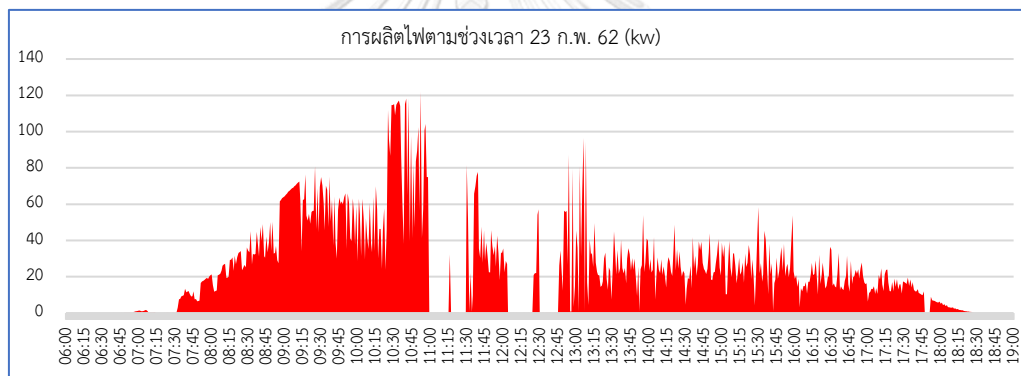
ความเข้มแสงอาทิตย์วันที่ 31 มกราคม 2562 (W/m^2)



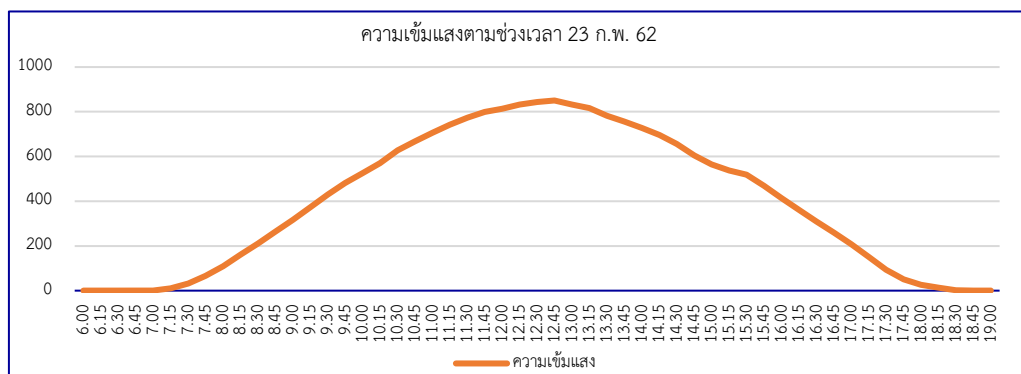
10) การผลิตไฟฟ้าในเดือนกุมภาพันธ์ 2562



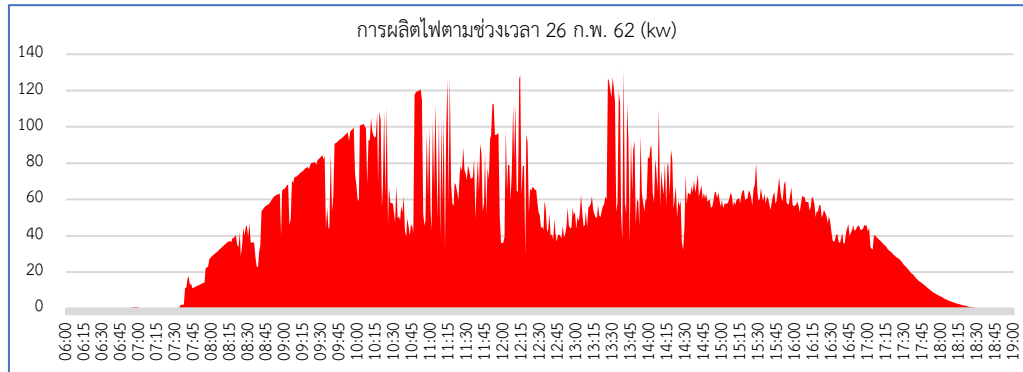
การผลิตไฟตามช่วงเวลาวันที่ผลิตไฟได้น้อยที่สุดในวันที่ 23 กุมภาพันธ์



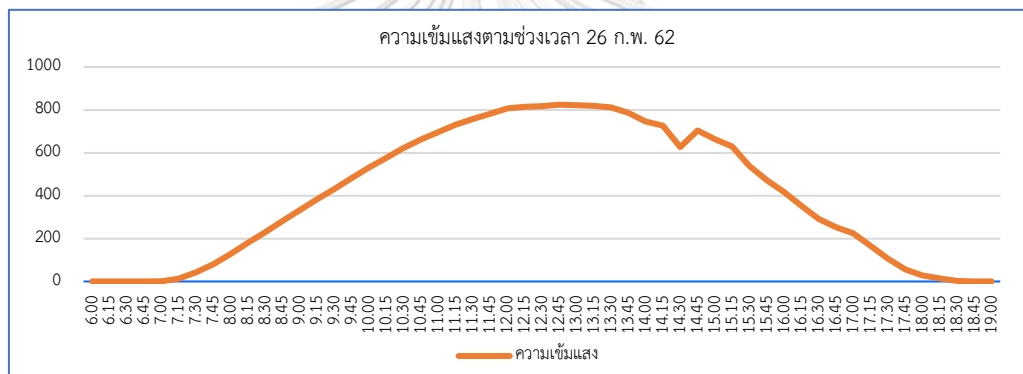
ความเข้มแสงอาทิตย์วันที่ 23 กุมภาพันธ์ 2562 (W/m²)



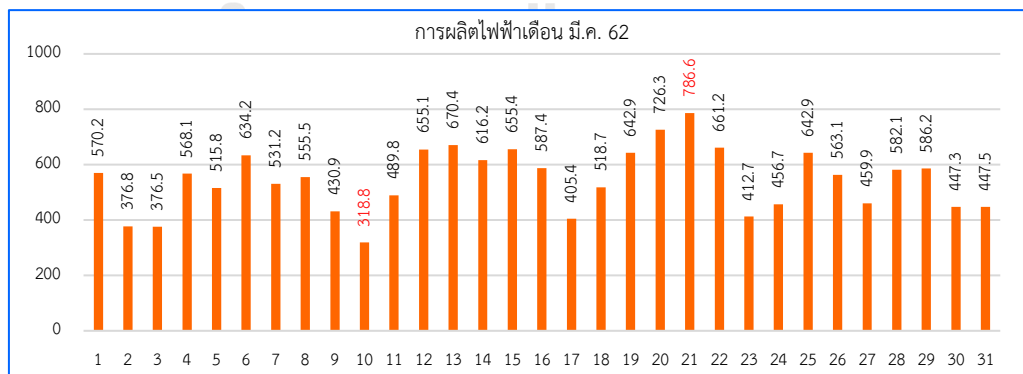
การผลิตไฟตามช่วงเวลาวันที่ผลิตไฟได้มากที่สุดในวันที่ 26 กุมภาพันธ์



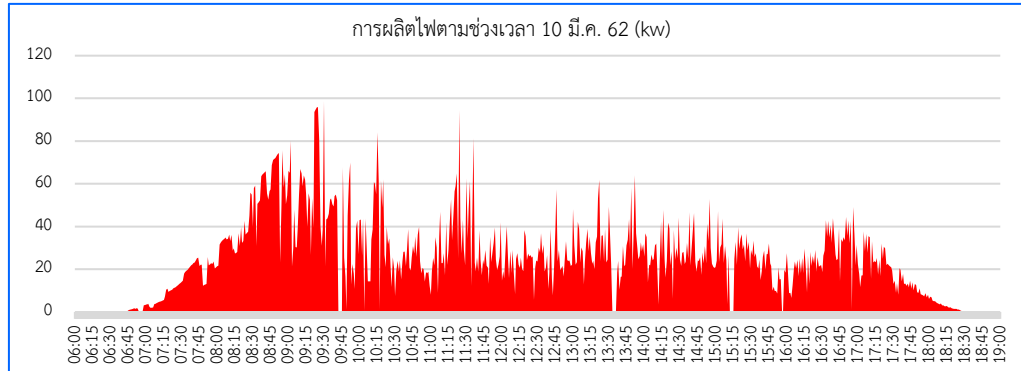
ความเข้มแสงอาทิตย์วันที่ 26 กุมภาพันธ์ 2562 (W/m²)



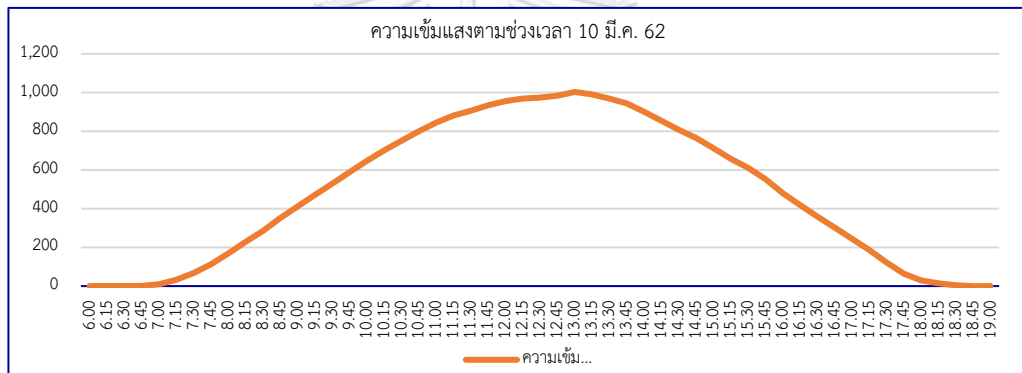
11) การผลิตไฟฟ้าในเดือนมีนาคม 2562



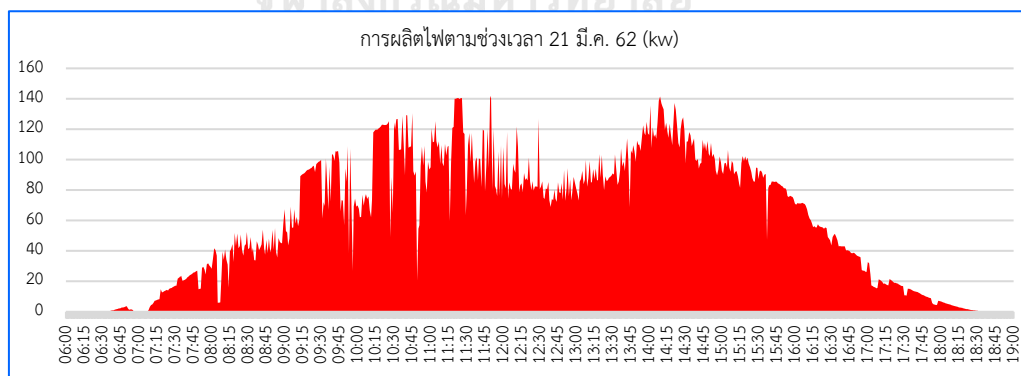
การผลิตไฟตามช่วงเวลาวันที่ผลิตไฟได้น้อยที่สุดในวันที่ 10 มีนาคม



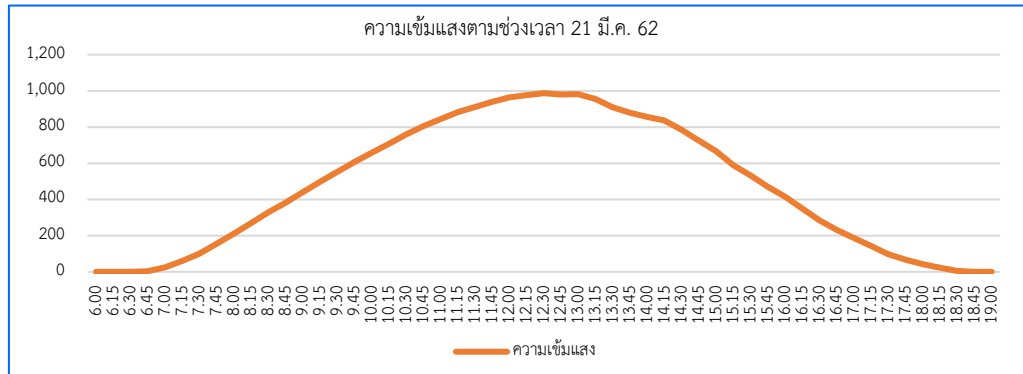
ความเข้มแสงอาทิตย์วันที่ 10 มีนาคม 2562 (W/m²)



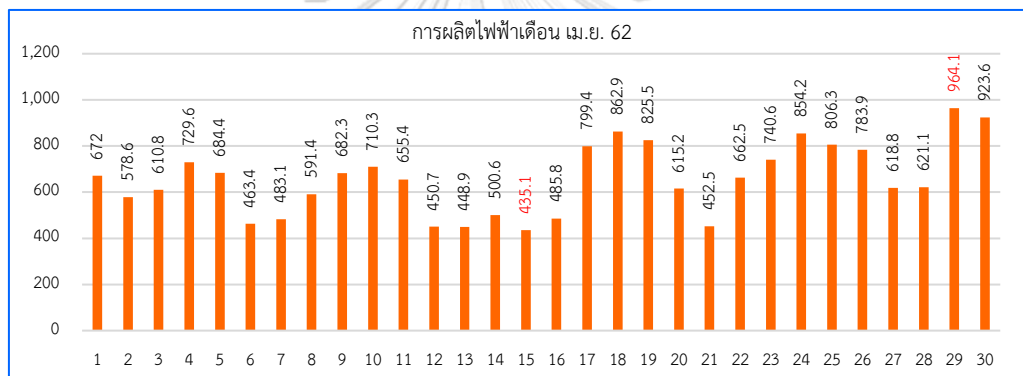
การผลิตไฟตามช่วงเวลาวันที่ผลิตไฟได้มากที่สุดในวันที่ 21 มีนาคม



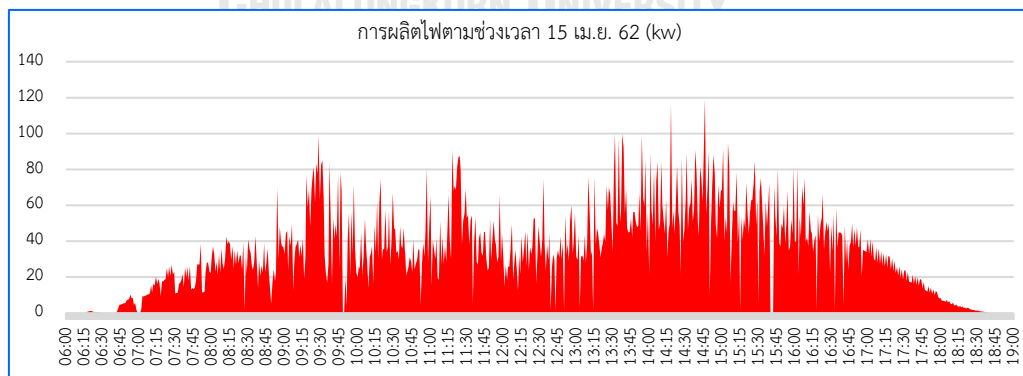
ความเข้มแสงอาทิตย์วันที่ 21 มีนาคม 2562 (W/m²)



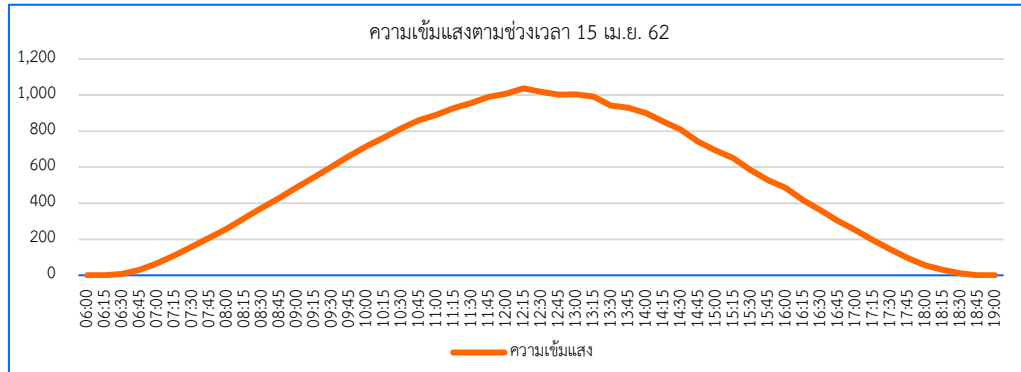
12) การผลิตไฟฟ้าในเดือนเมษายน 2562



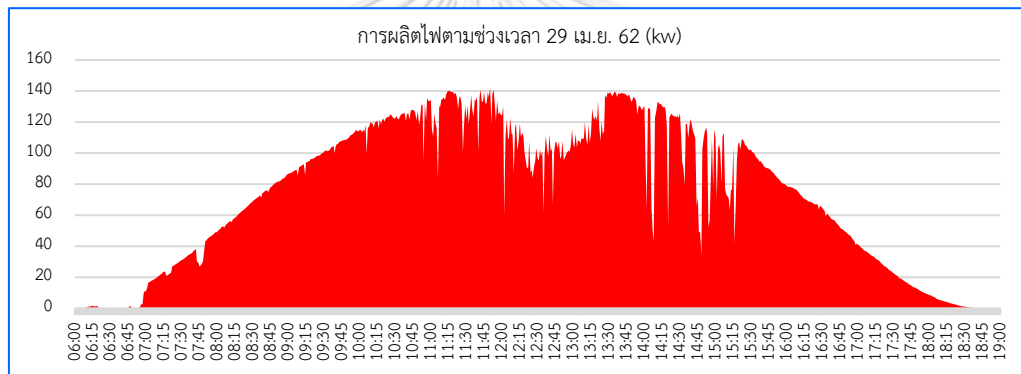
การผลิตไฟฟ้าตามช่วงเวลาวันที่ผลิตไฟได้น้อยที่สุดในวันที่ 15 เมษายน



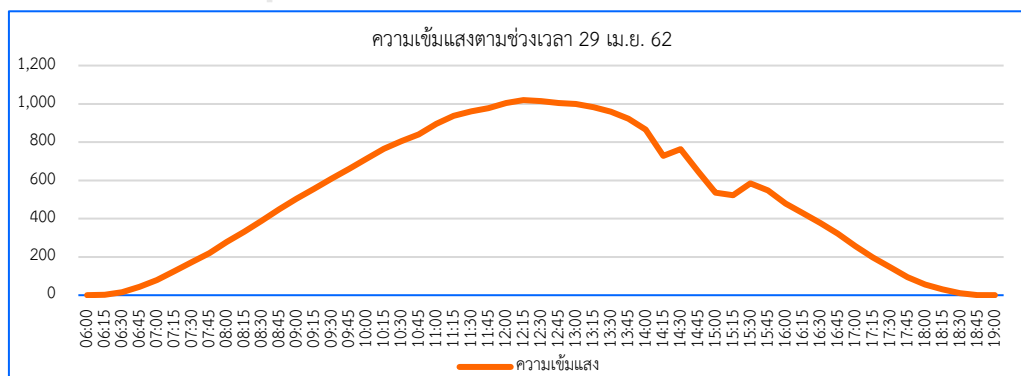
ความเข้มแสงอาทิตย์วันที่ 15 เมษายน 2562 (W/m^2)



การผลิตไฟตามช่วงเวลาวันที่ผลิตไฟได้มากที่สุดในวันที่ 29 เมษายน

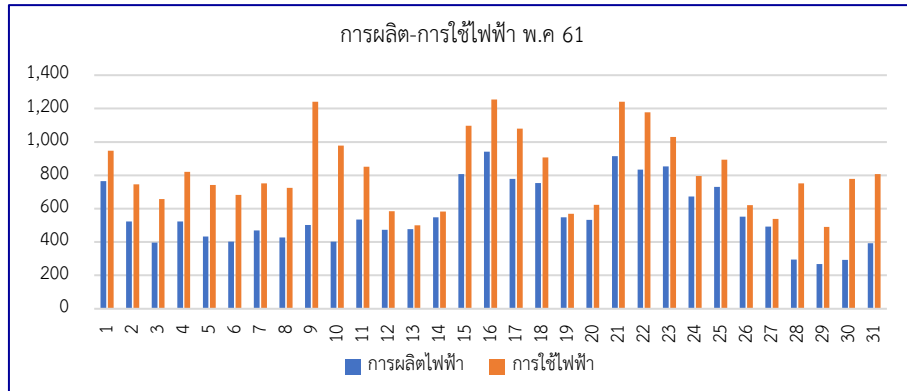


ความเข้มแสงอาทิตย์วันที่ 29 เมษายน 2562 (W/m^2)

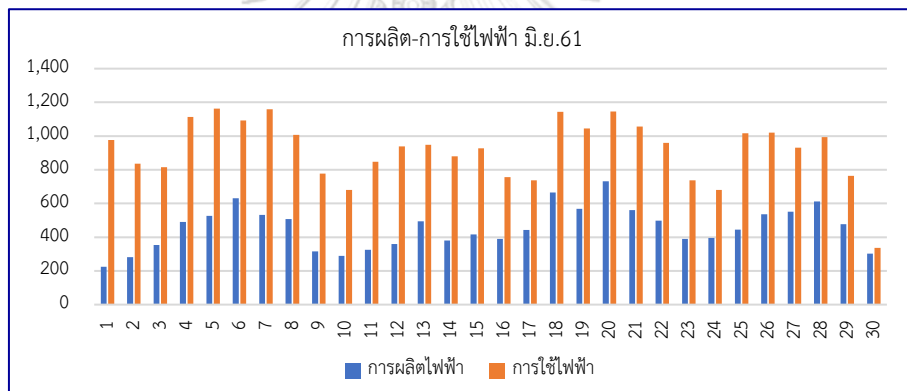


ภาคผนวก ข

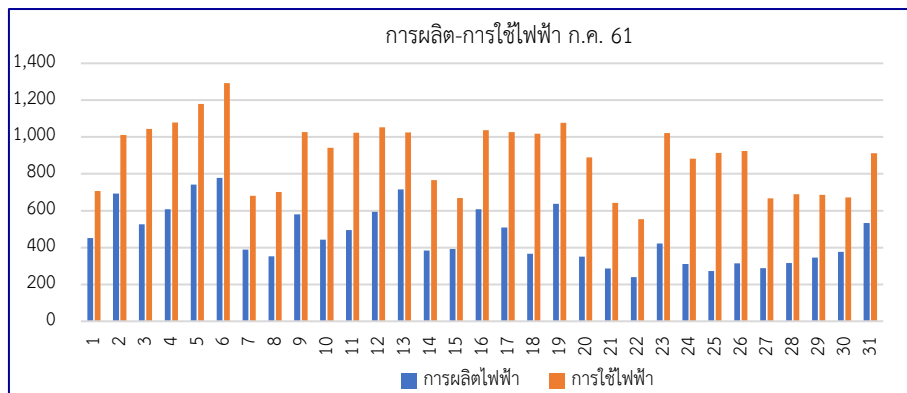
เปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้ากับการผลิตไฟฟ้าเดือนพฤษภาคม 2561- เดือนเมษายน 2562



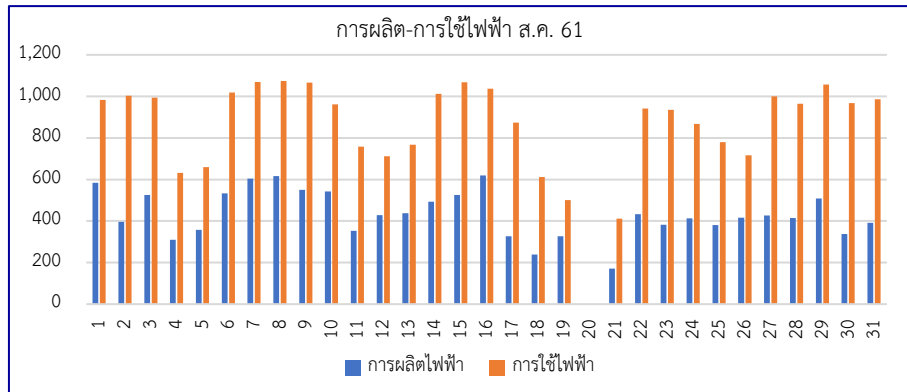
เปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้ากับการผลิตไฟฟ้าของแต่ละวันเดือนพฤษภาคม 2561



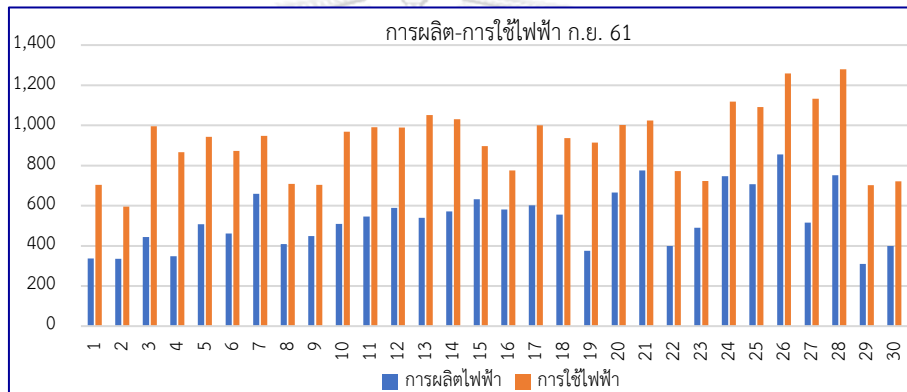
เปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้ากับการผลิตไฟฟ้าของแต่ละวันเดือน มิถุนายน 2561



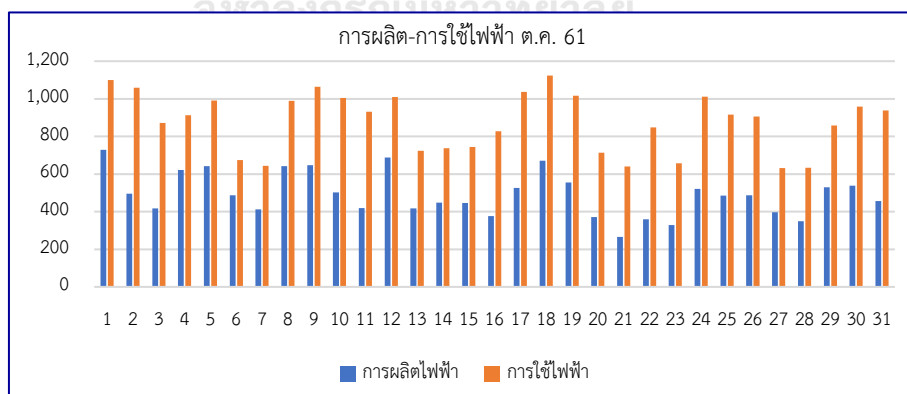
เปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้ากับการผลิตไฟฟ้าของแต่ละวันเดือน กรกฎาคม 2561



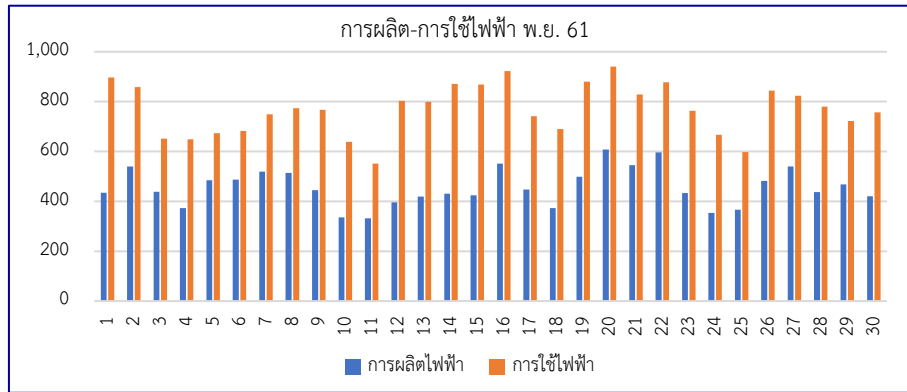
เปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้ากับการผลิตไฟฟ้าของแต่ละวันเดือน สิงหาคม 2561



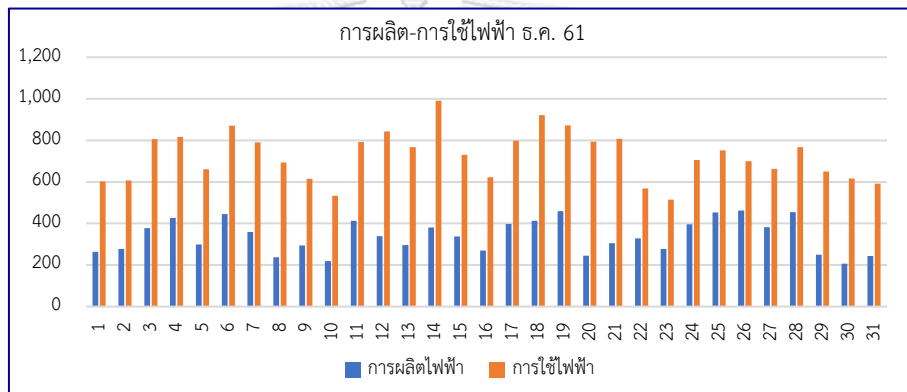
เปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้ากับการผลิตไฟฟ้าของแต่ละวันเดือน กันยายน 2561



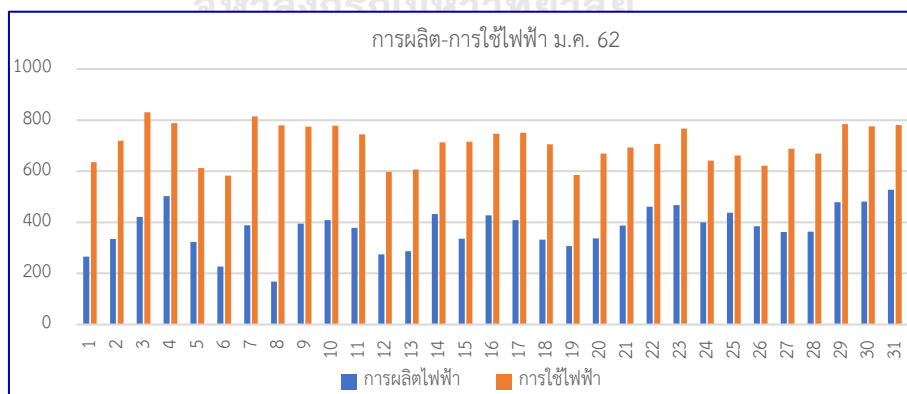
เปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้ากับการผลิตไฟฟ้าของแต่ละวันเดือน ตุลาคม 2561



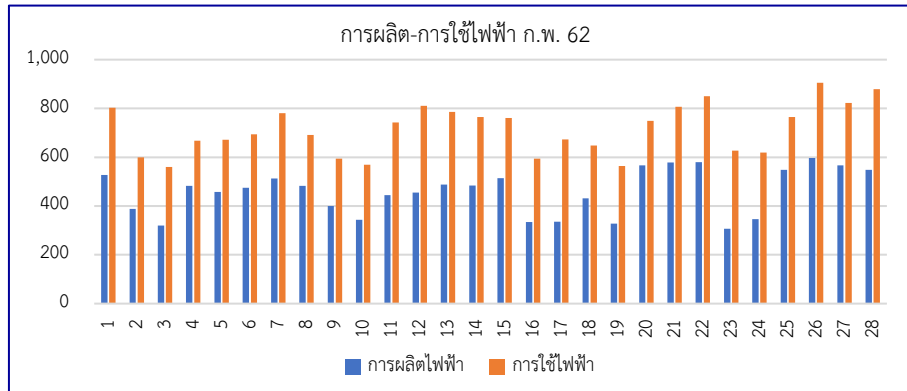
เปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้ากับการผลิตไฟฟ้าของแต่ละวันเดือน พฤศจิกายน 2561



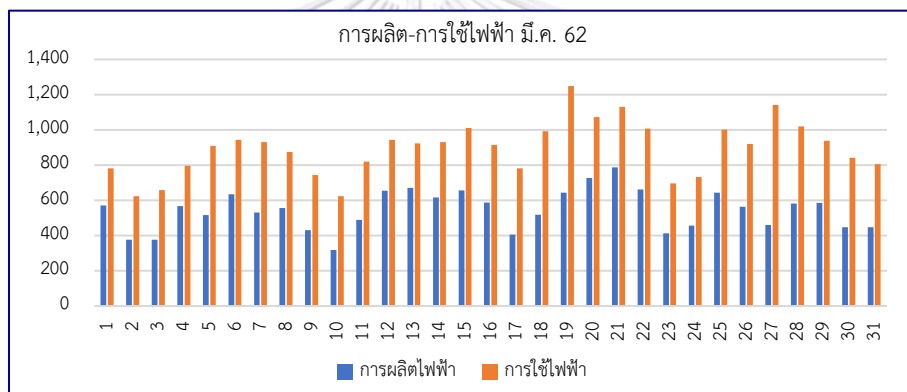
เปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้ากับการผลิตไฟฟ้าของแต่ละวันเดือน ธันวาคม 2561



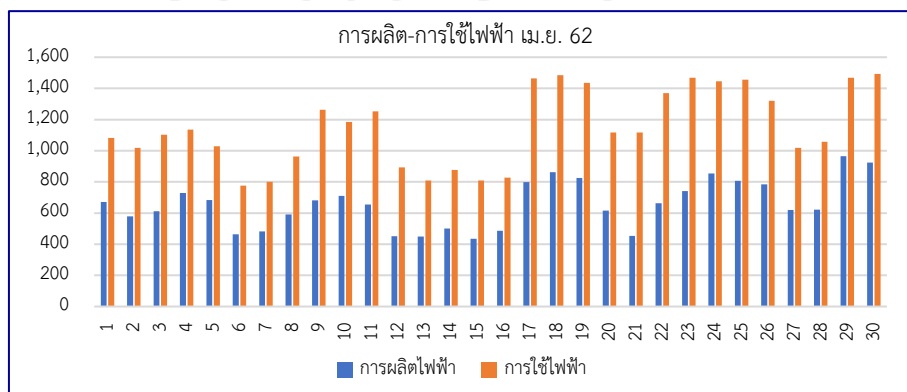
เปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้ากับการผลิตไฟฟ้าของแต่ละวันเดือน มกราคม 2562



เปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้ากับการผลิตไฟฟ้าของแต่ละวันเดือน กุมภาพันธ์ 2562



เปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้ากับการผลิตไฟฟ้าของแต่ละวันเดือน มีนาคม 2562

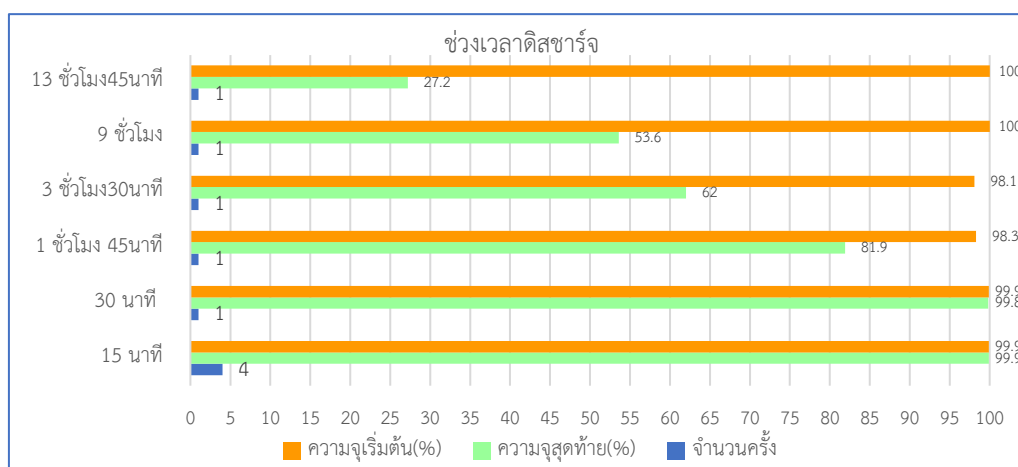


เปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้ากับการผลิตไฟฟ้าของแต่ละวันเดือน เมษายน 2562

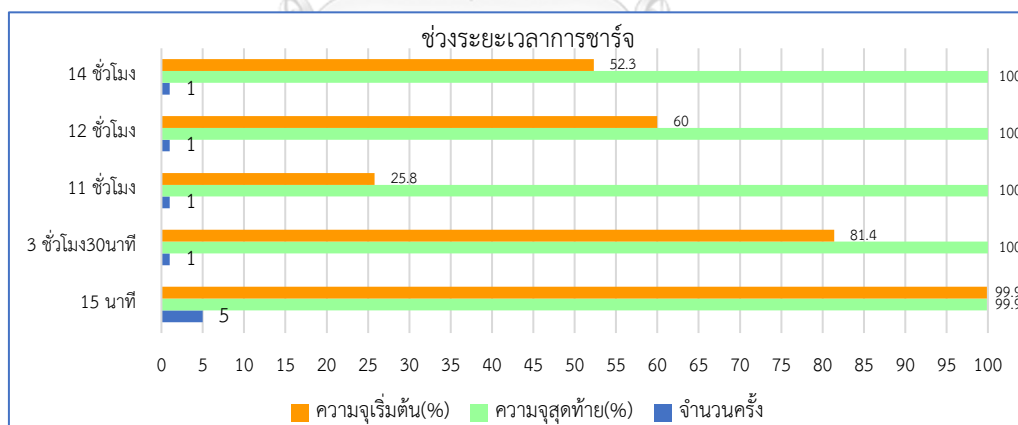
ภาคผนวก ค

สถานะการทำงานของแบตเตอรี่แสดงการดิสชาร์จและชาร์จ ในแต่ละเดือนตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2561 ถึงเดือน เมษายน 2562

1) สถานะการทำงานของแบตเตอรี่วงรอบการดิสชาร์จและชาร์จ ในเดือน พฤษภาคม 2561

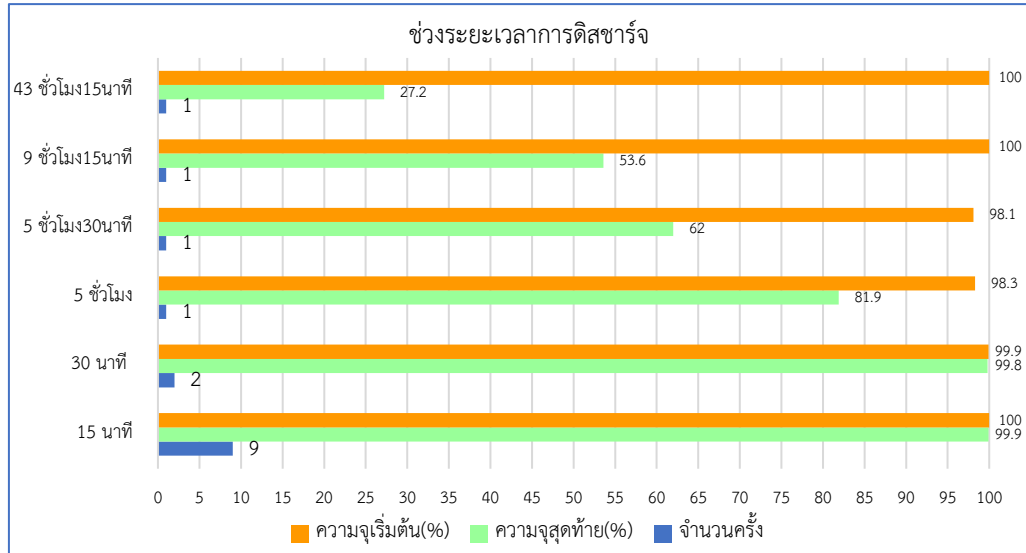


การดิสชาร์จในเดือน พฤษภาคม 2561

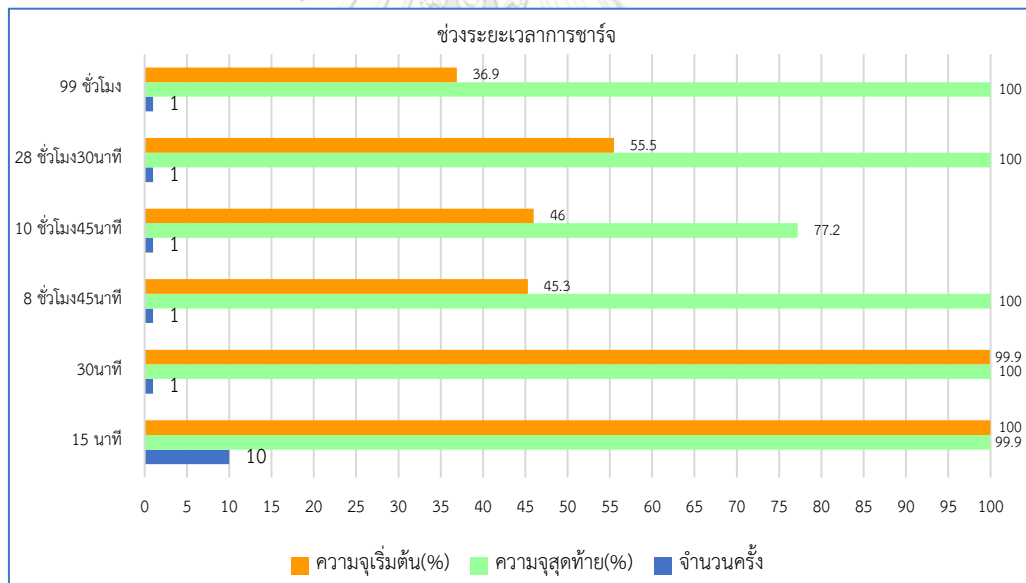


การชาร์จในเดือน พฤษภาคม 2561

2) สถานะการทำงานของแบตเตอรี่วงรอบการดิสชาร์จและชาร์จ ในเดือนมิถุนายน 2561

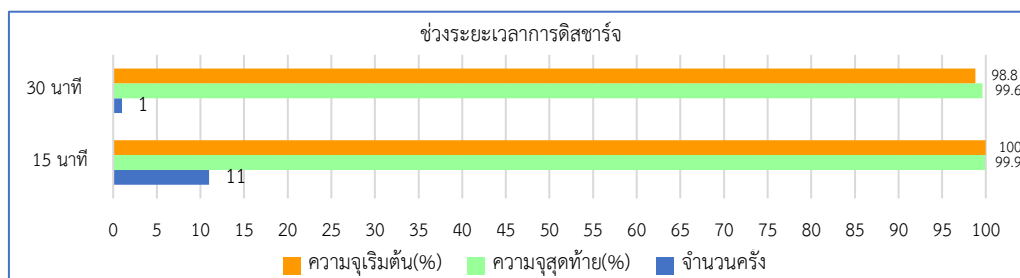


การดิสชาร์จในเดือนมิถุนายน 2561

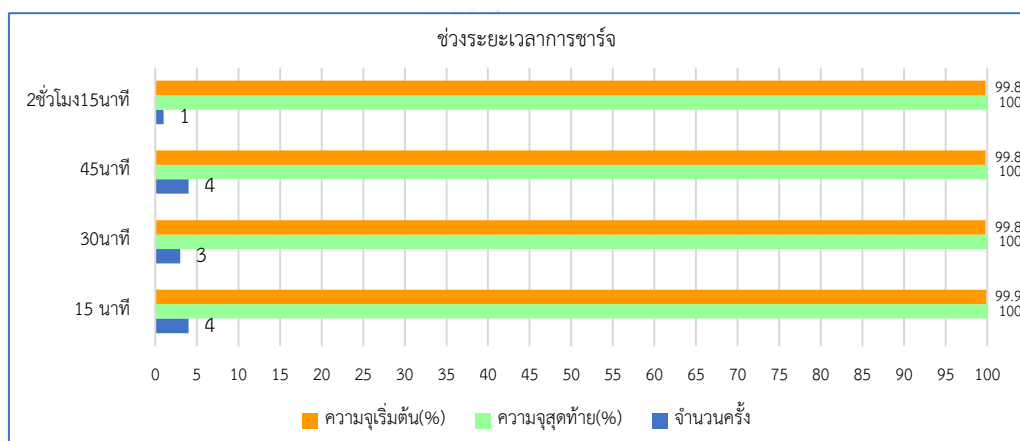


การชาร์จในเดือนมิถุนายน 2561

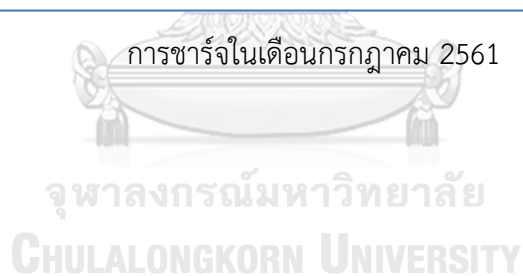
3) สถานะการทำงานของแบตเตอรี่วงรอบการดีสชาร์จและชาร์จ ในเดือนกรกฎาคม 2561



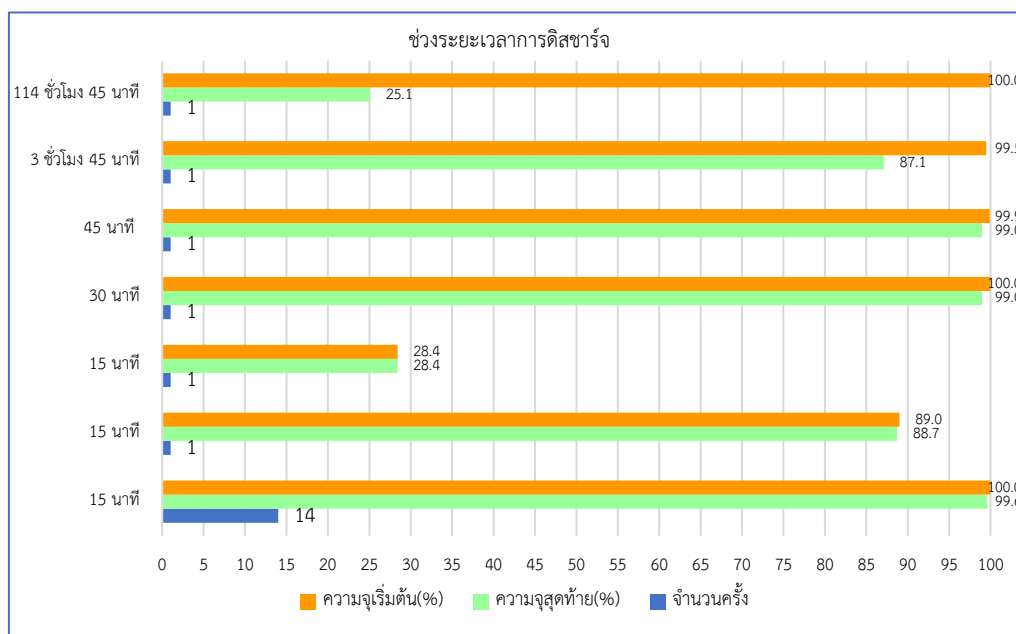
การดีสชาร์จในเดือนกรกฎาคม 2561



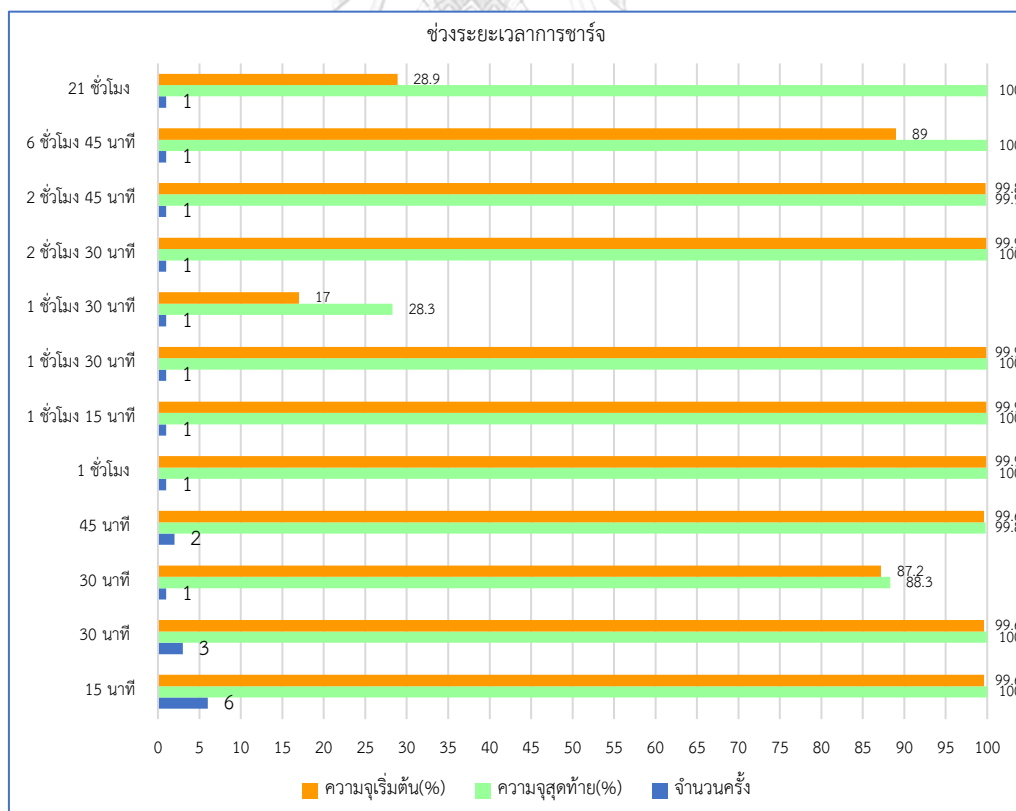
การชาร์จในเดือนกรกฎาคม 2561



4) สถานะการทำงานของแบตเตอรี่วงรอบการดิสชาร์จและชาร์จ ในเดือนสิงหาคม 2561

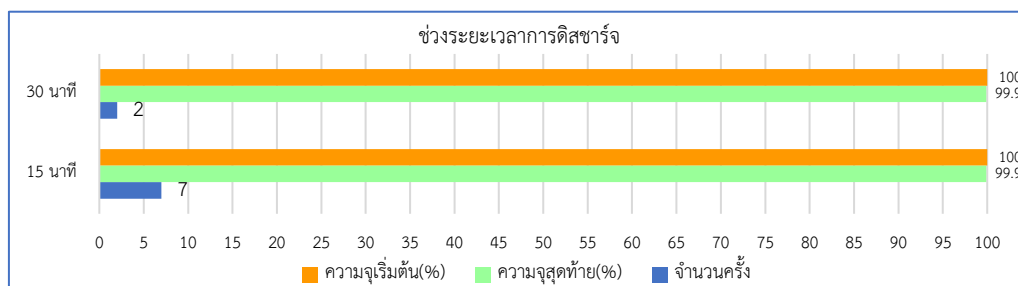


การดิสชาร์จในเดือนสิงหาคม 2561

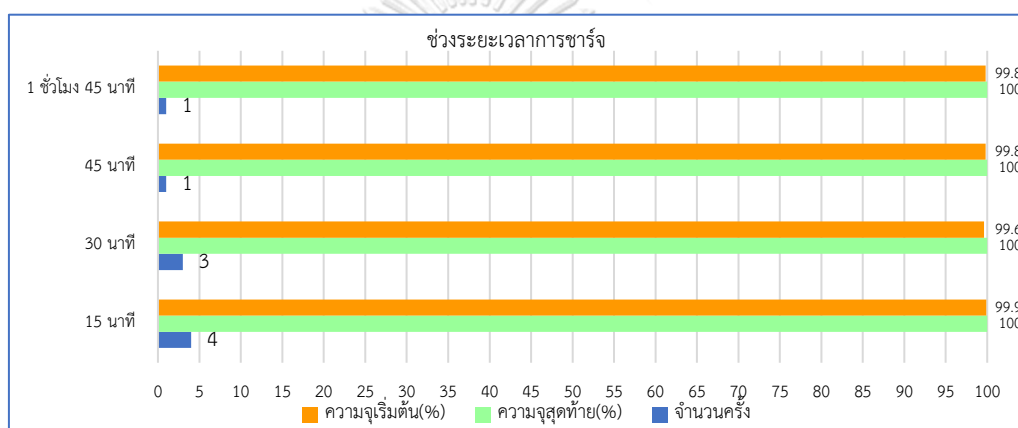


การชาร์จในเดือนสิงหาคม 2561

5) สถานะการทำงานของแบตเตอรี่วงรอบการดิสชาร์จและชาร์จ ในเดือนกันยายน 2561

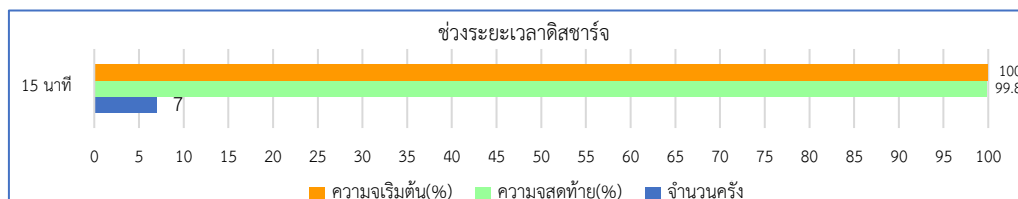


การดิสชาร์จในเดือนกันยายน 2561

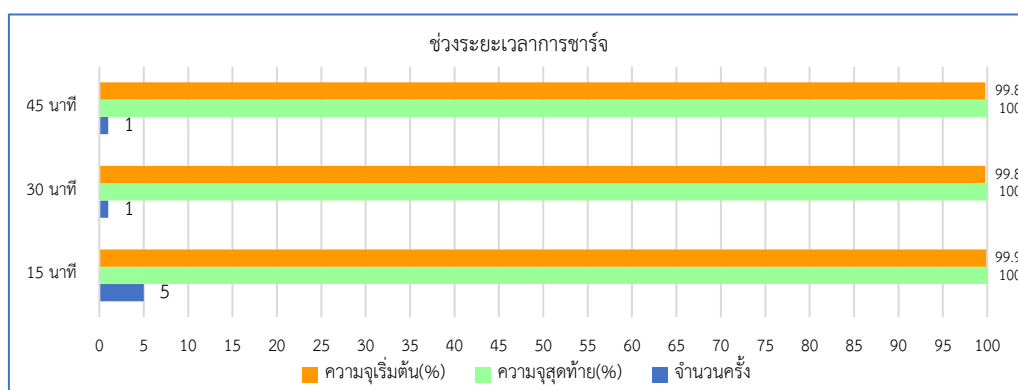


การชาร์จในเดือนกันยายน 2561

6) สถานะการทำงานของแบตเตอรี่วงรอบการดีสชาร์จและชาร์จ ในเดือนตุลาคม 2561

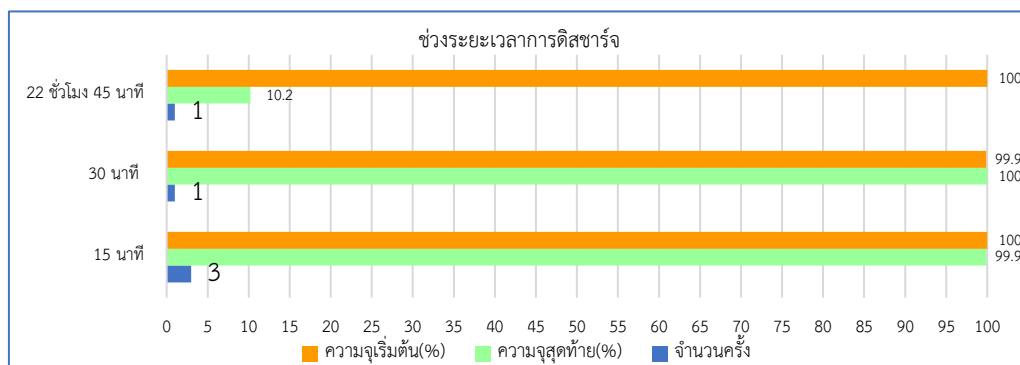


การดีสชาร์จในเดือนตุลาคม 2561

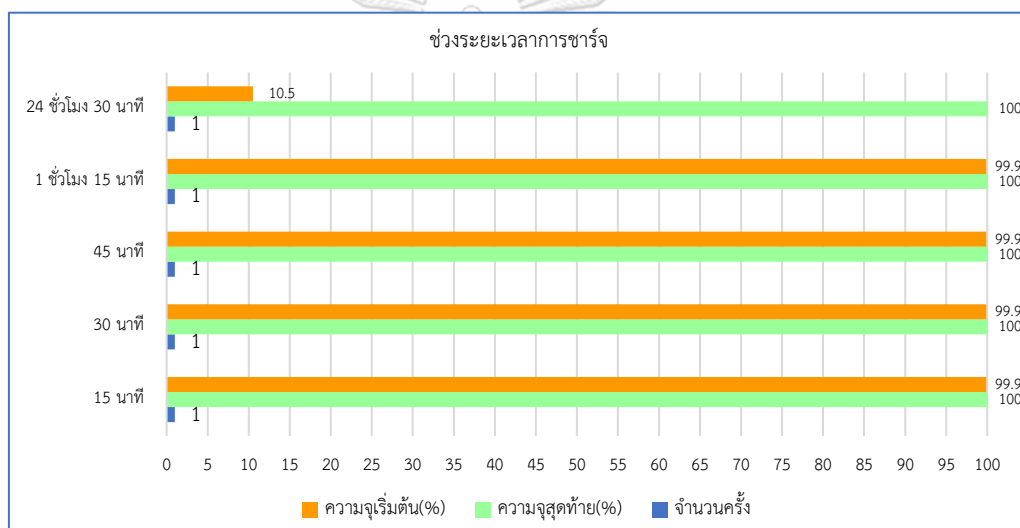


การชาร์จในเดือนตุลาคม 2561

7) สถานะการทำงานของแบตเตอรี่วงรอบการดิสชาร์จและชาร์จ ในเดือนพฤศจิกายน 2561

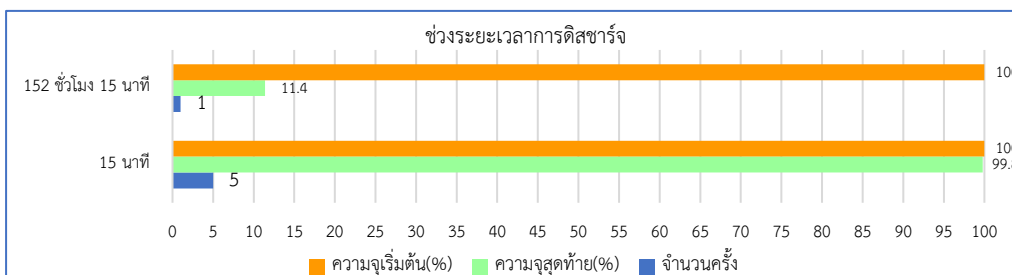


การดิสชาร์จในเดือนพฤศจิกายน 2561

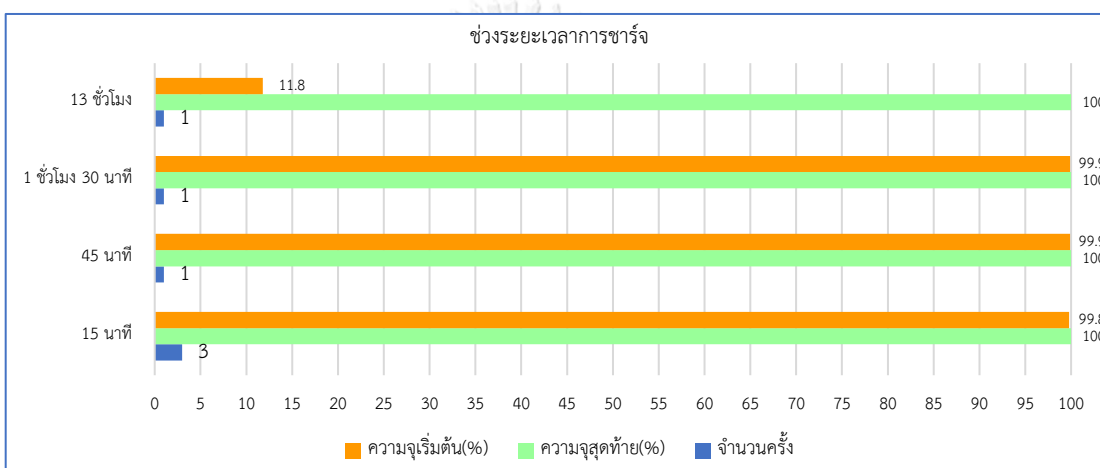


การชาร์จในเดือนพฤศจิกายน 2561

8) สถานะการทำงานของแบตเตอรี่วงรอบการดิสชาร์จและชาร์จ ในเดือนธันวาคม2561

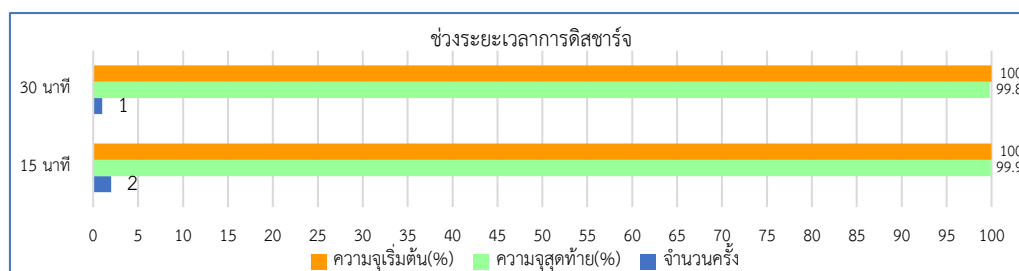


การดิสชาร์จในเดือนธันวาคม2561

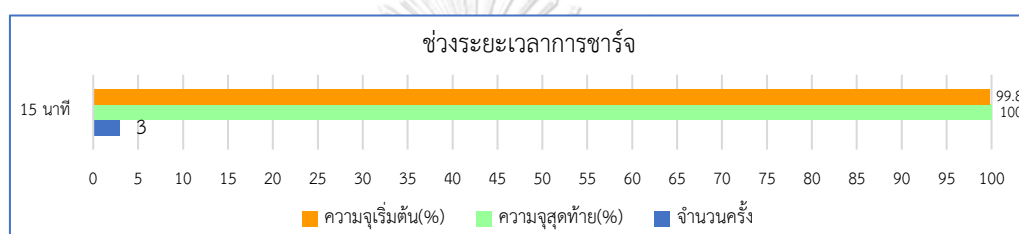


การชาร์จในเดือนธันวาคม2561

9) สถานะการทำงานของแบตเตอรี่วงรอบการดิสชาร์จและชาร์จ ในเดือนมกราคม 2562

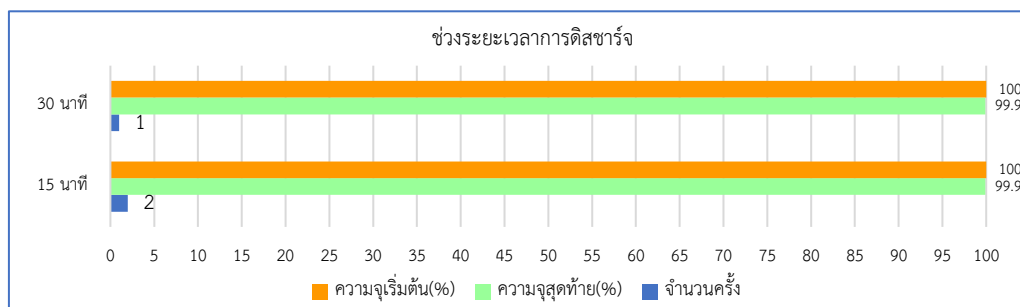


การดิสชาร์จในเดือนมกราคม 2562

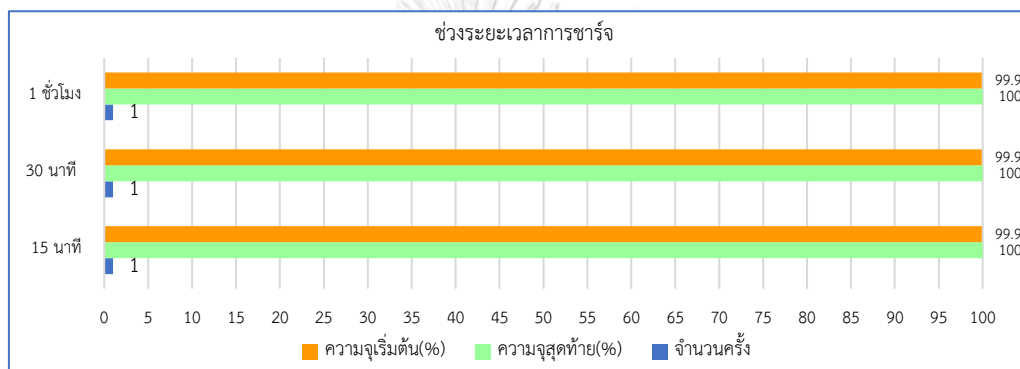


การชาร์จในเดือนมกราคม 2562

10) สถานะการทำงานของแบตเตอรี่วงรอบการดิสชาร์จและชาร์จ ในเดือนกุมภาพันธ์ 2562



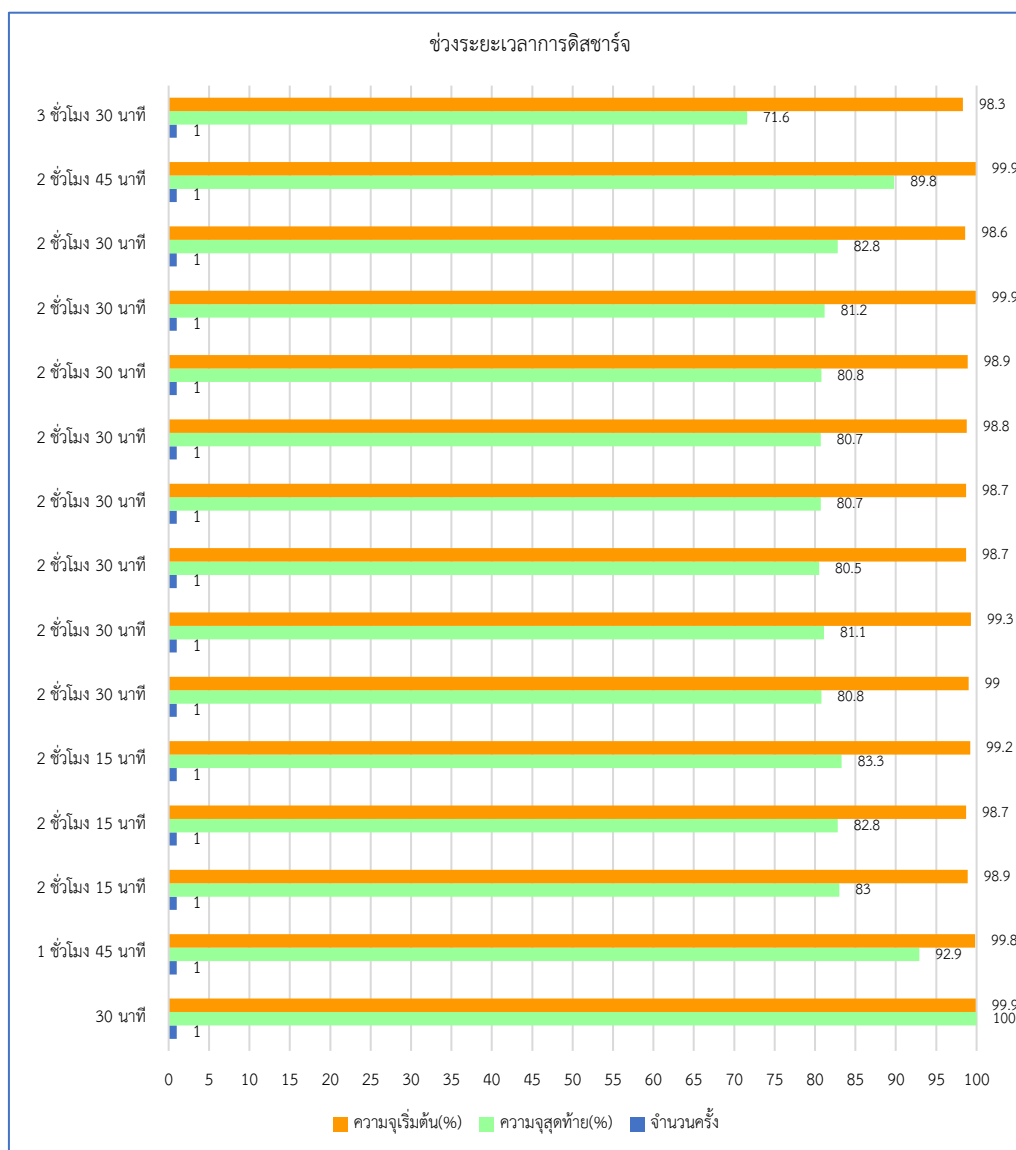
การดิสชาร์จในเดือนกุมภาพันธ์ 2562



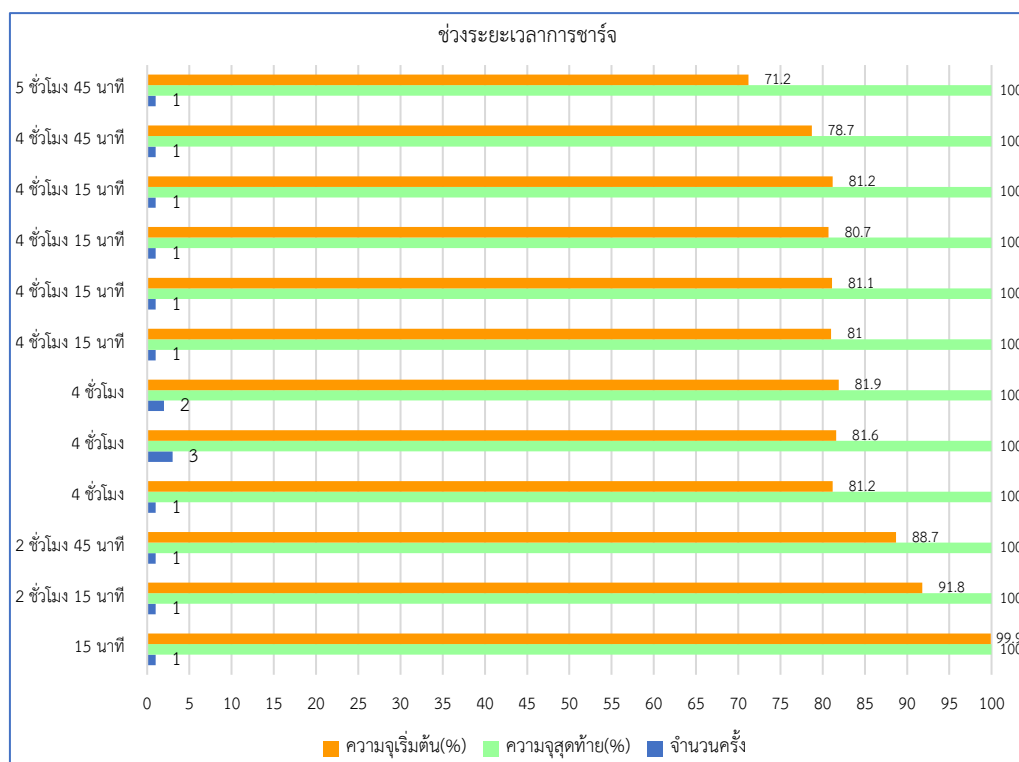
การชาร์จในเดือนกุมภาพันธ์ 2562



11) สถานะการทำงานของแบตเตอรี่วงรอบการดิสชาร์จและชาร์จ ในเดือนมีนาคม 2562



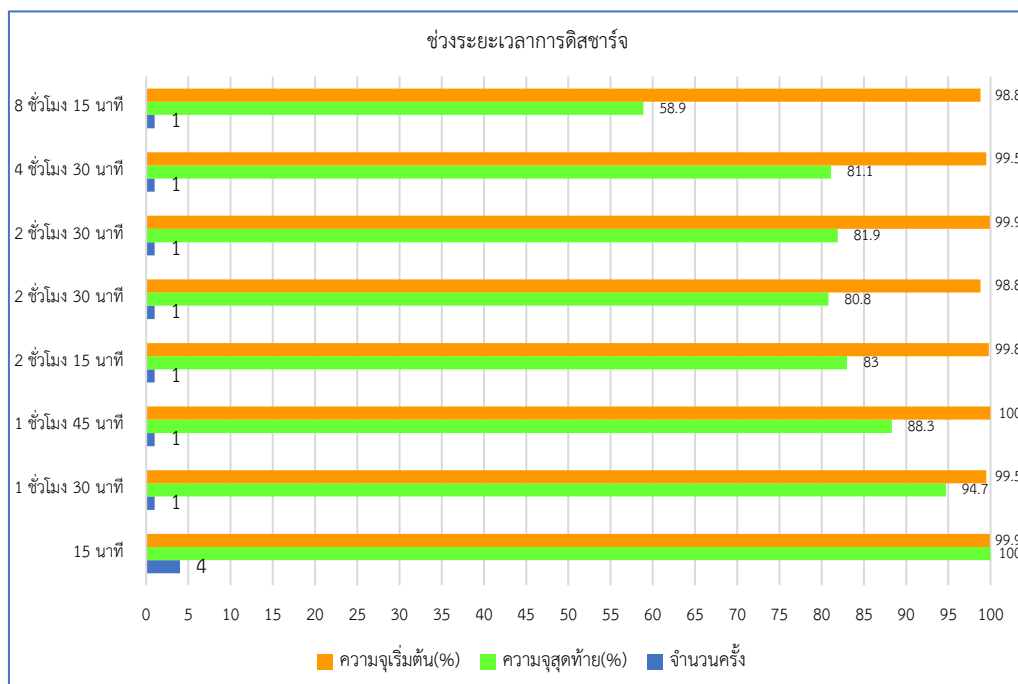
การดิสชาร์จในเดือนมีนาคม 2562



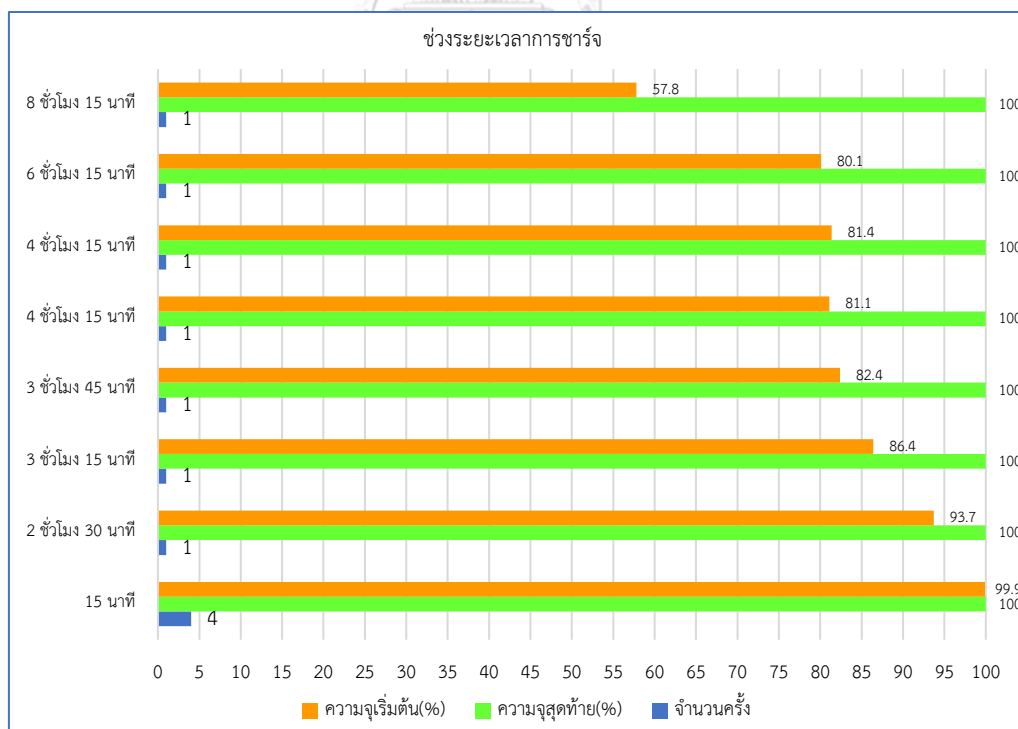
การชาร์จในเดือนมีนาคม 2562

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

12) สถานะการทำงานของแบตเตอรี่วงรอบการดิสชาร์จและชาร์จ ในเดือนเมษายน 2562



การดิสชาร์จในเดือนเมษายน 2562



การชาร์จในเดือนเมษายน 2562

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายธีระศักดิ์ วาทยุธา
วัน เดือน ปี เกิด	22 กรกฎาคม 2518
สถานที่เกิด	ตำบลหนองบอน อำเภอโกสุมพิสัย จังหวัดมหาสารคาม
วุฒิการศึกษา	รัฐศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยรามคำแหง
ที่อยู่ปัจจุบัน	152 หมู่ที่ 9 ตำบลหนองบอน อำเภอโกสุมพิสัย จังหวัดมหาสารคาม



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY