

การพัฒนาระบบเซลล์สุริยะติดตั้งบนหลังคา เพื่อใช้งานในสายการผลิตยางคอมปาวด์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์เพื่ออุตสาหกรรม

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2566

Development of Solar Rooftop System for Compound Rubber Production Lines



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Science for Industry
Faculty Of Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2023

| | |
|---------------------------------|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | การพัฒนาระบบเซลล์สุริยะติดตั้งบนหลังคา เพื่อใช้งานใน สายการผลิตยางคอมปาวด์ |
| โดย | น.ส.อินทอร ธรรมสอน |
| สาขาวิชา | วิทยาศาสตร์เพื่ออุตสาหกรรม |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก | รองศาสตราจารย์ ดร.ธิตี บวรรัตนารักษ์ |
| อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม | รองศาสตราจารย์ ดร.อานันท์วัฒน์ คุณากร ดร.ชาตรี วัฒนศิลป์ |

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ประณัฐ โภธิยะราช)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภกิจ คัจฉาภรณ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธิตี บวรรัตนารักษ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร.อานันท์วัฒน์ คุณากร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(ดร.ชาตรี วัฒนศิลป์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประเสริฐ เรียบร้อยเจริญ)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.รุ่งโรจน์ สงค์ประกอบ)

อินทอร ธรรมสอน : การพัฒนาระบบเซลล์สุริยะติดตั้งบนหลังคา เพื่อใช้งานใน
สายการผลิตยางคอมปาวด์. (Development of Solar Rooftop System for
Compound Rubber Production Lines) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.ธิตี บวรรัตน
รักษ์, อ.ที่ปรึกษาร่วม : รศ. ดร.อานันท์วัฒน์ คุณากร,ดร.ชาตรี วัฒนศิลป์

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษา วิเคราะห์การใช้พลังงานของโรงงาน เพื่อออกแบบระบบเซลล์
สุริยะบนหลังคา การกำหนดแผนงานติดตั้ง ศึกษาปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อการผลิตไฟฟ้า และ
การประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์สุริยะจากการใช้งานเป็นแหล่งพลังงาน
สะอาดสำหรับกระบวนการผลิตยางคอมปาวด์ โดยออกแบบการใช้พลังงานไฟฟ้าให้เกิด
ประสิทธิภาพสูงสุดในอุตสาหกรรมผลิตยางคอมปาวด์ 2 โครงการ ระบบไฟฟ้าเซลล์สุริยะแบบออน
กริดที่มีขนาดกำลังไฟฟ้าติดตั้งขนาด 865 กิโลวัตต์ และ 630 กิโลวัตต์ จากการศึกษาพบว่าทั้ง 2
โรงงานมีการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิตเป็นหลัก และความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าแปร
ผันตามยอดผลิตยางคอมปาวด์ร้อยละ 90 จากการวิเคราะห์ติดตามผลการใช้งานไฟฟ้าเซลล์สุริยะมี
ประสิทธิภาพต่ำกว่าร้อยละ 75 ในช่วงระยะ 5 เดือนหลัง เนื่องจากความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้า
ของโรงงานลดลงและการจัดการโหลดการผลิตไม่เหมาะสมในช่วงกลางวัน และพบฝุ่นที่สะสมบน
เซลล์สุริยะเป็น ผงคาร์บอน แคลเซียมคาร์บอเนต และซิลิกาซึ่งเป็นส่วนผลสมของการผลิตยางคอม
ปาวด์ จากการศึกษาพบว่า ฝุ่นจากกระบวนการผลิตส่งผลกระทบต่อการผลิตไฟฟ้าของเซลล์สุริยะ
ร้อยละ 4 ดังนั้นระยะเวลาการล้างแผงเซลล์สุริยะของทั้ง 2 โครงการที่จุดสมดุลคือ ทุกๆ 3 เดือน
จากการศึกษาข้อมูลการใช้ไฟฟ้าจากระบบเซลล์สุริยะนี้ชี้ให้เห็นว่า การผลิตไฟฟ้าของระบบเซลล์
สุริยะแบบออนกริดนี้ มีปัจจัยหลักต่อการผลิตไฟฟ้าคือความต้องการใช้ไฟฟ้าของโรงงานเป็นหลัก
เนื่องจากทั้ง 2 โรงงานมีการใช้ไฟฟ้าน้อยกว่ากำลังติดตั้งจึงทำให้เซลล์สุริยะผลิตไฟฟ้าน้อย แม้จะมี
ค่ารังสีดวงอาทิตย์สูงก็ตาม อย่างไรก็ตาม ระบบไฟฟ้าเซลล์สุริยะไม่สามารถจ่ายไฟฟ้าได้ตลอดเวลา
ดังนั้นการบริหารจัดการโหลดการผลิตให้เหมาะสมจึงจำเป็นมาก เพื่อการใช้ไฟฟ้าจากเซลล์สุริยะให้
มีประสิทธิภาพสูงสุด

| | | |
|------------|----------------------------|----------------------------------|
| สาขาวิชา | วิทยาศาสตร์เพื่ออุตสาหกรรม | ลายมือชื่อนิสิต |
| ปีการศึกษา | 2566 | ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก |
| | | ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม |
| | | ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม |

6472032023 : MAJOR SCIENCE FOR INDUSTRY

KEYWORD: Energy Loss, Electricity Demand, Solar Rooftop, Carbon Black,
Compound Rubber

Ainthuaon Tammason : Development of Solar Rooftop System for
Compound Rubber Production Lines. Advisor: Assoc. Prof. Dr. THITI
BOVORN RATANARAKS Co- advisor: Assoc. Prof. Dr. ANANTAWAT
KUNAKORN, Dr. CHATREE WATTANASILP

This research analyses the energy usage of the factories. Aims to design solar rooftop systems, plan for installation, study factors that affect electricity production, and evaluate the efficiency of solar power consumption from using clean energy for compound rubber manufacturing. Design of electricity consumption for the highest efficiency in the compound rubber industry composes of 2 projects. Firstly, an on-grid rooftop solar system that has installation power of 868 kilowatts peak (kWp) and 630 kWp. This study indicates that 2 factories mainly use electrical energy inline production. The electricity demand is varied by the compound rubber production by about 90 percent. From analysis following solar energy consumption that efficiency has been lower than 75 percent in the last 5 months. Since the electricity demand of the factory is decreased and load management of production is not suitable in the daytime including met dust aggregate on a solar system panel composed of carbon black, calcium carbonate, and silica that are ingredients of compound rubber production. The dust from production affects electricity production by using solar for about 4 percent. Hence, the period time to clean up the solar panels of both projects at equivalent is every 3 months. Secondly, the data on electricity from a solar system indicates that electricity generation on the grid on a solar rooftop depends on electricity production based on the demand of the factory. As two factories use electricity

Field of Study: Science for Industry

Student's Signature

Academic Year: 2023

Advisor's Signature

Co-advisor's Signature

Co-advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

สารนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ธิตี บวรรัตนารักษ์ อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก รองศาสตราจารย์ ดร.อานันท์วัฒน์ คุณากร และ ดร.ชาติรี วัฒนศิลป์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ องค์กรความรู้ ความใส่ใจ ความห่วงใย ให้คำแนะนำในข้อผิดพลาด และคำชี้แนะแนวทางในการจัดทำสารนิพนธ์ฉบับนี้อย่างดี จึงทำให้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ประจำหลักสูตรสาขาวิชาวิทยาศาสตร์เพื่ออุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้องค์กรความรู้ คำแนะนำ และให้คำปรึกษา ตลอดจนเจ้าหน้าที่ประจำหลักสูตร และเจ้าหน้าที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่เกี่ยวข้อง

ขอขอบพระคุณเครือข่ายการอุดมศึกษาเพื่ออุตสาหกรรมภายใต้แผนงานย่อย “การส่งเสริมและพัฒนาบุคลากรผ่านการเรียนรู้ปฏิบัติจริง” สำนักงานปลัดกระทรวง กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม ที่ให้องค์กรความรู้ แนวคิด ทฤษฎี ประสบการณ์การทำงานจริง ตลอดจนเจ้าหน้าที่ของโครงการที่ให้การสนับสนุนและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ บริษัท อินโนเวชั่น กรุ๊ป (ประเทศไทย) จำกัด บริษัทในเครือ บริษัท พีไอ อินดัสทรี จำกัด และบริษัท คลิเอทีพี พอร์ลิเมอร์ จำกัด ที่ให้คำปรึกษา ประสบการณ์ทำงานจริง และให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลในการทำงานวิจัยทำให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ญาติพี่น้อง เพื่อน และบุคคลท่านอื่นๆ ที่มีได้กล่าวถึงในครั้งนี้ ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ กำลังใจ และความช่วยเหลือจนทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า สารนิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจ ศึกษา และค้นคว้าเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าว หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้วิจัยต้องขออภัยไว้ ณ.ที่นี้ด้วย

อินทอร ธรรมสอน

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ค |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | ง |
| กิตติกรรมประกาศ..... | จ |
| สารบัญ..... | ฉ |
| สารบัญตาราง..... | ฐ |
| สารบัญภาพ..... | ฑ |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์..... | 1 |
| 1.3 ขอบเขตการดำเนินงาน..... | 2 |
| 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ..... | 2 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 3 |
| 2.1 สถานการณ์พลังงานประเทศไทย..... | 3 |
| 2.2 ไฟฟ้าเบื้องต้น..... | 4 |
| 2.2.1 ประเภทของไฟฟ้า..... | 4 |
| 2.2.1.1 ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current : DC)..... | 4 |
| 2.2.1.2 ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current : AC)..... | 5 |
| 2.2.2 วงจรไฟฟ้า..... | 5 |
| 2.2.2.1 แบบอนุกรม (Series Circuit)..... | 5 |
| 2.2.2.2 แบบขนาน (Parallel Circuit)..... | 6 |
| 2.2.2.3 แบบผสม (Compound Circuit)..... | 6 |

| | |
|--|----|
| 2.2.3 หน่วยวัดทางไฟฟ้า..... | 6 |
| 2.2.3.1 แรงดันไฟฟ้า (Voltage)..... | 6 |
| 2.2.3.2 กระแสไฟฟ้า (Current)..... | 6 |
| 2.2.3.3 กำลังไฟฟ้า (Electric Power)..... | 6 |
| 2.2.3.4 พลังงานไฟฟ้า (Electrical Energy)..... | 6 |
| 2.3 เทคโนโลยีพลังงานทดแทนจากเซลล์สุริยะ..... | 7 |
| 2.3.1 การผลิตพลังงานไฟฟ้าของเซลล์สุริยะ..... | 7 |
| 2.3.1.1 แบบโมโนคริสตัลไลน์ (Mono Crystalline)..... | 8 |
| 2.3.1.2 แบบโพลีคริสตัลไลน์ (Poly Crystalline)..... | 8 |
| 2.3.1.3 แผงเซลล์สุริยะประเภทแบบฟิล์มบาง (Thin Film)..... | 8 |
| 2.3.2 ระบบการผลิตพลังงานทดแทนจากเซลล์สุริยะ..... | 9 |
| 2.3.2.1 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์สุริยะแบบอิสระ (PV stand-alone system)... | 9 |
| 2.3.2.2 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์สุริยะแบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า (PV grid connected system)..... | 10 |
| 2.3.2.3 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์สุริยะแบบผสมผสาน (PV Hybrid system).... | 10 |
| 2.3.3 อุปกรณ์หลักของพลังงานทดแทนจากเซลล์สุริยะ..... | 11 |
| 2.3.3.1 แผงเซลล์สุริยะ..... | 11 |
| 2.3.3.2 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter)..... | 11 |
| 2.3.3.2.1 อินเวอร์เตอร์แบบออนกริด..... | 11 |
| ก.) เซนทรัลอินเวอร์เตอร์ (Central Inverter)..... | 11 |
| ข.) สตริงอินเวอร์เตอร์ (String Inverter)..... | 12 |
| ค.) ไมโคร อินเวอร์เตอร์ Micro Inverter..... | 12 |
| 2.3.3.2.2 อินเวอร์เตอร์แบบออฟกริด (Off Grid Inverter)..... | 12 |
| 2.3.3.3 อุปกรณ์กักเก็บไฟฟ้า..... | 13 |

| | | |
|-----------|--|----|
| 2.3.3.3.1 | ฟิวส์และเซอร์กิตเบรกเกอร์..... | 13 |
| 2.3.3.3.2 | สายดิน | 13 |
| 2.3.3.4 | แบตเตอรี่..... | 13 |
| 2.3.3.4.1 | แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (Li-ion)..... | 13 |
| 2.3.3.5 | ตัวควบคุมการชาร์จประจุ (Charger controllers)..... | 14 |
| 2.3.4 | ปัจจัยที่ส่งผลต่อการผลิตพลังงานจากแผงเซลล์สุริยะ | 14 |
| 2.3.4.1 | พื้นที่รับแสงของแผง..... | 14 |
| 2.3.4.2 | ทิศทางแผง..... | 14 |
| 2.3.4.3 | ความร้อน..... | 15 |
| 2.3.4.4 | ความสว่าง..... | 15 |
| 2.3.4.5 | ตัวควบคุมกำลังสูงสุด MPPT..... | 15 |
| 2.3.5 | การประเมินสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์..... | 15 |
| 2.4 | เทคโนโลยีการผลิตยางคอมปาวด์..... | 16 |
| 2.4.1 | กระบวนการผลิตยางคอมปาวด์ของสถานประกอบการ..... | 17 |
| 2.4.2 | วัตถุดิบสารเคมี..... | 17 |
| 2.4.2.1 | ผงคาร์บอน (Carbon Black)..... | 18 |
| 2.4.2.2 | ซิลิกา (silica)..... | 18 |
| 2.4.2.3 | สารตัวเติมอื่นๆ..... | 19 |
| 2.5 | งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 19 |
| บทที่ 3 | วิธีการดำเนินการวิจัย | 21 |
| 3.1 | การรวบรวมข้อมูลของโรงงานและระบบเซลล์สุริยะเพื่อวิเคราะห์ | 22 |
| 3.1.1 | วิเคราะห์ลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งโรงงาน | 22 |
| 3.1.2 | วิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์..... | 22 |
| 3.1.3 | วิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงานในส่วนการผลิต | 22 |

| | | |
|---------|---|----|
| 3.1.4 | วิเคราะห์สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการตรวจวัดจริง..... | 22 |
| 3.1.5 | วิเคราะห์ลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้า 1 วัน..... | 24 |
| 3.1.6 | วิเคราะห์ความต้องการการใช้พลังงานของโรงงานเพื่อการออกแบบ | 24 |
| 3.2 | การออกแบบการติดตั้งเซลล์สุริยะ..... | 24 |
| 3.2.1 | กำลังการติดตั้งเซลล์สุริยะบนหลังคา คำนวณจากความต้องการการใช้ไฟฟ้าที่วิเคราะห์ ในข้อ 3.1..... | 24 |
| 3.2.2 | การประเมินกำลังการผลิตไฟฟ้าของเซลล์สุริยะติดตั้งบนหลังคา โดยใช้โปรแกรม PVsyst | 24 |
| 3.3 | ผลการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์การผลิตไฟฟ้าของระบบเซลล์สุริยะติดตั้งบนหลังคา | 24 |
| 3.3.1 | วิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยความต้องการพลังงานจากเซลล์สุริยะใน 1 วัน | 24 |
| 3.3.2 | ผลดำเนินการเก็บข้อมูลการผลิตไฟฟ้าของระบบเซลล์สุริยะหลังการติดตั้งบนหลังคา 24 | |
| 4.3.2.1 | ผลการเก็บข้อมูลการผลิตไฟฟ้าของระบบเซลล์สุริยะ | 24 |
| 4.3.2.2 | เปรียบเทียบต้นทุนพลังงานกับยอดการผลิตก่อนและหลังการติดตั้งเซลล์สุริยะ | 24 |
| 3.3.3 | สมรรถนะของระบบเซลล์สุริยะ..... | 24 |
| 3.3.4 | กำลังไฟฟ้าที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์ เมื่อเทียบกับกำลังติดตั้ง..... | 24 |
| 3.3.5 | การย้ายการผลิตของโรงงาน เพื่อใช้ไฟฟ้าจากเซลล์สุริยะอย่างมีประสิทธิภาพ..... | 24 |
| 3.3.6 | แหล่งกักเก็บพลังงาน..... | 24 |
| 3.4 | ส่วนการติดตั้งเซลล์สุริยะสำหรับการทดลองผลกระทบจากฝุ่นผงคาร์บอน..... | 25 |
| 3.4.1 | ทดลองการกระจายฝุ่นผงคาร์บอนลงบนแผงเซลล์สุริยะที่ปริมาณฝุ่นไม่เท่ากัน..... | 25 |
| 3.4.2 | ทดลองการกระจายฝุ่นผงคาร์บอนลงบนแผงเซลล์สุริยะที่ปริมาณฝุ่นไม่เท่ากัน ค่าความ เข้มแสงเท่ากับ 404 วัตต์ต่อตารางเมตร..... | 27 |
| 3.4.3 | ผลการวิเคราะห์ฝุ่น เก็บตัวอย่างฝุ่นที่สะสมบนหลังคาส่งวิเคราะห์..... | 27 |
| 3.1.2.1 | วิเคราะห์โครงสร้าง Structural Equation Model : SEM | 27 |

| | |
|---|----|
| 3.1.2.2 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยสเปกโทรเมตรีรังสีแบบกระจายพลังงาน Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy : EDS | 27 |
| 3.5 การล้างแผงเซลล์สุริยะ..... | 27 |
| 3.6 การวิเคราะห์ข้อมูลผลการผลิตไฟฟ้าของระบบเซลล์สุริยะหลังการทำความสะอาดแผง..... | 27 |
| 3.7 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อผลผลิตและการใช้พลังงานจากเซลล์สุริยะของโครงการ..... | 27 |
| 3.8 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ | 27 |
| บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์การทดลอง..... | 28 |
| 4.1 ผลการรวบรวมข้อมูลของโรงงานและระบบเซลล์สุริยะ | 28 |
| 4.1.1 ลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งโรงงาน | 28 |
| 4.1.2 การใช้พลังงานไฟฟ้าเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์..... | 30 |
| 4.1.3 ปริมาณการใช้พลังงานในส่วนของการผลิต..... | 32 |
| 4.1.4 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการตรวจวัดจริง..... | 34 |
| 4.1.5 ลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้า 1 วัน..... | 35 |
| 4.1.6 ความต้องการการใช้พลังงานของโรงงานเพื่อการออกแบบ..... | 36 |
| 4.2 การออกแบบการติดตั้งเซลล์สุริยะ..... | 39 |
| 4.2.1 กำลังการติดตั้งเซลล์สุริยะบนหลังคา..... | 39 |
| 4.2.2 การประเมินกำลังการผลิตไฟฟ้าของเซลล์สุริยะติดตั้งบนหลังคา | 41 |
| 4.3 ผลการเก็บข้อมูลการผลิตไฟฟ้าของระบบเซลล์สุริยะติดตั้งบนหลังคา | 46 |
| 4.3.1 วิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยความต้องการพลังงานจากเซลล์สุริยะใน 1 วัน | 46 |
| 4.3.2 ผลดำเนินการเก็บข้อมูลการผลิตไฟฟ้าของระบบเซลล์สุริยะหลังการติดตั้งบนหลังคา | 49 |
| 4.3.2.1 ผลการเก็บข้อมูลการผลิตไฟฟ้าของระบบเซลล์สุริยะ | 49 |
| 4.3.2.2 เปรียบเทียบต้นทุนพลังงานกับยอดการผลิตก่อนและหลังการติดตั้งเซลล์สุริยะ | 51 |
| 4.3.3 สมรรถนะของระบบเซลล์สุริยะ..... | 53 |

| | | |
|---------|---|----|
| 4.3.4 | กำลังไฟฟ้าที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์ เมื่อเทียบกับกำลังติดตั้ง..... | 56 |
| 4.3.5 | การย้ายการผลิตของโรงงาน เพื่อใช้ไฟฟ้าจากเซลล์สุริยะอย่างมีประสิทธิภาพ..... | 57 |
| 4.3.6 | แหล่งกักเก็บพลังงาน..... | 58 |
| 4.3.6.1 | แบตเตอรี่..... | 58 |
| 4.3.6.2 | การหาแหล่งกักเก็บพลังงานภายในโรงงาน..... | 58 |
| 4.4 | ส่วนการติดตั้งเซลล์สุริยะสำหรับการทดลองผลกระทบจากฝุ่นผงคาร์บอน..... | 60 |
| 4.4.1 | ทดลองการกระจายฝุ่นผงคาร์บอนลงบนแผงเซลล์สุริยะที่ปริมาณฝุ่นไม่เท่ากัน..... | 60 |
| 4.4.2 | ทดลองการกระจายฝุ่นผงคาร์บอนลงบนแผงเซลล์สุริยะที่ปริมาณฝุ่นไม่เท่ากัน ค่าความเข้มแสงเท่ากับ 404 วัตต์ต่อตารางเมตร..... | 63 |
| 4.4.3 | ผลการวิเคราะห์ฝุ่น..... | 63 |
| 4.4.3.1 | วิเคราะห์โครงสร้าง Structural Equation Model : SEM..... | 63 |
| 4.4.3.2 | วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยสเปกโทรเมตรีรังสีแบบกระจายพลังงาน Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy : EDS..... | 64 |
| 4.5 | การล้างแผงเซลล์สุริยะ..... | 65 |
| 4.6 | การวิเคราะห์ข้อมูลผลการผลิตไฟฟ้าของระบบเซลล์สุริยะหลังการทำความสะอาดแผง..... | 67 |
| 4.7 | ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อผลผลิตและการใช้พลังงานจากเซลล์สุริยะของโครงการ..... | 68 |
| 4.7.1 | ค่าความเข้มแสง..... | 68 |
| 4.7.2 | ฝุ่นจากกระบวนการผลิตยางคอมปาวด์..... | 69 |
| 4.7.3 | การส่งผลกระทบต่อการทำงานของอินเวอร์เตอร์..... | 70 |
| บทที่ 5 | สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... | 71 |
| 5.1 | สรุปผลการวิจัย..... | 71 |
| 5.1.1 | จากการวิเคราะห์รูปแบบการใช้พลังงานของโรงงาน..... | 71 |
| 5.1.2 | เพื่อจัดทำข้อมูลความต้องการใช้พลังงานของโรงงานเปรียบเทียบกับข้อมูลพลังงานไฟฟ้าจากระบบเซลล์สุริยะ..... | 71 |
| 5.1.3 | การออกแบบกำลังการติดตั้งระบบพลังงานทดแทนจากเซลล์สุริยะ..... | 72 |

| | | |
|---------|--|----|
| 5.1.4 | จากการเก็บข้อมูลการใช้งานจริงและวิเคราะห์ข้อมูลการใช้งานจริงของระบบเซลล์ สุริยะกับค่าทางทฤษฎีที่ดำเนินการออกแบบไว้..... | 72 |
| 5.1.5 | กำหนดแนวทางการบำรุงรักษาและกำหนดวิธีการปรับปรุงพัฒนาระบบเซลล์สุริยะ... | 72 |
| 5.1.5.1 | การล้างแผงที่เหมาะสมกับโรงงาน..... | 72 |
| 5.1.5.2 | แนวทางการเพิ่มสมรรถนะของระบบเซลล์สุริยะโดยการกำหนดเกณฑ์ตาม แผนการผลิต..... | 72 |
| 5.1.5.3 | แหล่งกักเก็บพลังงาน..... | 73 |
| 5.2 | ข้อเสนอแนะ | 73 |
| | บรรณานุกรม..... | 74 |
| | ประวัติผู้เขียน..... | 77 |



สารบัญตาราง

| | หน้า |
|--|------|
| ตารางที่ 1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง | 25 |
| ตารางที่ 2 ตัวอย่างตารางการเก็บข้อมูลผลการทดลองกระจายฝุ่นแฉงเซลล์สุริยะ PV1 | 26 |
| ตารางที่ 3 ตัวอย่างตารางการเก็บข้อมูลการผลิตไฟฟ้าของแฉงเซลล์สุริยะ PV2 | 27 |
| ตารางที่ 4 ต้นทุนพลังงานกับยอดการผลิตก่อนโครงการที่ 1 ปี 2564 | 29 |
| ตารางที่ 5 ต้นทุนพลังงานกับยอดการผลิตก่อนโครงการที่ 2 ปี 2564 | 30 |
| ตารางที่ 6 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานภายในบริษัทแยกตามระบบของโรงงานที่ 1 | 33 |
| ตารางที่ 7 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานภายในบริษัทแยกตามระบบโรงงานที่ 2 | 33 |
| ตารางที่ 8 ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าในไลน์ผลิตและเครื่องจักรต้นกำลังของไลน์ผลิตโรงงานที่ 1 | 34 |
| ตารางที่ 9 ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าในไลน์ผลิตและเครื่องจักรต้นกำลังของไลน์ผลิตโรงงานที่ 2 | 35 |
| ตารางที่ 10 การใช้พลังงานในแต่ละเดือนของโครงการที่ 1 ปี 2564 | 37 |
| ตารางที่ 11 ความต้องการใช้พลังงานในแต่ละเดือนของโครงการที่ 2 ปี 2564 | 38 |
| ตารางที่ 12 ข้อมูลการผลิตไฟฟ้าของระบบเซลล์สุริยะในแต่ละเดือนของโครงการที่ 1 | 50 |
| ตารางที่ 13 ข้อมูลการผลิตไฟฟ้าของระบบเซลล์สุริยะในแต่ละเดือนของโครงการที่ 2 | 51 |
| ตารางที่ 14 กำลังไฟฟ้าที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์ของโครงการที่ และ 2 1 | 56 |
| ตารางที่ 15 ข้อมูลผลการทดลองกระจายฝุ่นแฉงเซลล์สุริยะ PV1 | 61 |
| ตารางที่ 16 ข้อมูลการผลิตไฟฟ้าของแฉงเซลล์สุริยะ PV2 ใช้เป็นแฉงอ้างอิง | 61 |

สารบัญญภาพ

| | หน้า |
|--|------|
| รูปภาพที่ 1 สัดส่วนการใช้พลังงานในประเทศไทยปี 2564..... | 3 |
| รูปภาพที่ 2 สัดส่วนการการผลิตพลังงานไฟฟ้าในครึ่งปี 2564..... | 4 |
| รูปภาพที่ 3 กราฟแรงดันกระแสตรงเทียบเวลา | 5 |
| รูปภาพที่ 4 กราฟแรงดันกระแสสลับเทียบเวลา | 5 |
| รูปภาพที่ 5 หลักการการทำงานของเซลล์สุริยะ..... | 8 |
| รูปภาพที่ 6 ภาพแผงเซลล์สุริยะชนิด (ก) แบบโมโนคริสตัลไลน์ (ข) แบบโพลีคริสตัลไลน์ และ (ค) แบบฟิล์มบาง | 9 |
| รูปภาพที่ 7 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์สุริยะแบบอิสระ | 9 |
| รูปภาพที่ 8 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์สุริยะแบบต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า..... | 10 |
| รูปภาพที่ 9 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์สุริยะแบบผสมผสาน..... | 11 |
| รูปภาพที่ 10 เซนทรัลอินเวอร์เตอร์ (Central Inverter)..... | 12 |
| รูปภาพที่ 11 สตริงอินเวอร์เตอร์..... | 12 |
| รูปภาพที่ 12 Micro Inverter..... | 12 |
| รูปภาพที่ 13 แบตเตอรี่ลิเธียมไอออน..... | 14 |
| รูปภาพที่ 14 ตัวควบคุมการชาร์จแบบ PWM | 14 |
| รูปภาพที่ 15 การบวนการผลิตยางคอมปาวด์..... | 17 |
| รูปภาพที่ 16 ผงคาร์บอน | 18 |
| รูปภาพที่ 17 ซิลิกา (silica)..... | 19 |
| รูปภาพที่ 18 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน..... | 21 |
| รูปภาพที่ 19 Single line Diagram ของโครงการที่ 1 | 22 |
| รูปภาพที่ 20 Single line Diagram ของโครงการที่ 1 | 23 |

| | |
|---|----|
| รูปภาพที่ 21 Single line Diagram ของโครงการที่ 2 | 23 |
| รูปภาพที่ 22 การติดตั้งโซล่าเซลล์สำหรับการทดลองย่อยการ..... | 26 |
| รูปภาพที่ 23 ภาพแผนภูมิแสดงลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าของตามปริมาณการผลิต โครงการที่ 1 | 31 |
| รูปภาพที่ 24 ภาพกราฟแสดงปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตจากสมการถดถอย โครงการที่ 1..... | 31 |
| รูปภาพที่ 25 ภาพแผนภูมิแสดงลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าของตามปริมาณการผลิต โครงการที่ 2 | 32 |
| รูปภาพที่ 26 แสดงปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตจากสมการถดถอย โครงการที่ 2..... | 32 |
| รูปภาพที่ 27 ภาพกราฟแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นระยะเวลา อาทิตย์ โครงการ1 1..... | 36 |
| รูปภาพที่ 28 ภาพกราฟแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นระยะเวลา อาทิตย์ โครงการ 1..... | 36 |
| รูปภาพที่ 29 ไดอะแกรมระบบไฟฟ้าโครงการที่ 1 865.08 kWp. | 40 |
| รูปภาพที่ 30 ไดอะแกรมระบบไฟฟ้าโครงการที่ 2 865.08 kWp. | 40 |
| รูปภาพที่ 31 ไดอะแกรมการเชื่อมต่อบนระบบเซลล์สุริยะกับระบบเดิมของโรง..... | 41 |
| รูปภาพที่ 32 การประเมินและวิเคราะห์ผลการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ โครงการจาก PVsyst..... | 42 |
| รูปภาพที่ 33 การประเมินและวิเคราะห์การเสี่ยพลังงานไฟฟ้าจาก PVsyst โครงการที่ 1..... | 43 |
| รูปภาพที่ 34 การประเมินและวิเคราะห์ผลการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ โครงการจาก PVsyst..... | 44 |
| รูปภาพที่ 35 การประเมินและวิเคราะห์การเสี่ยพลังงานไฟฟ้าจาก PVsyst โครงการที่ 2..... | 45 |
| รูปภาพที่ 36 ระบบเซลล์สุริยะที่ติดตั้งบนหลังคาโครงการที่ 1..... | 46 |
| รูปภาพที่ 37 ระบบเซลล์สุริยะที่ติดตั้งบนหลังคาโครงการที่ 2..... | 46 |
| รูปภาพที่ 38 ภาพแผนภูมิวงกลมแสดงเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนโครงการ ที่ 1..... | 47 |
| รูปภาพที่ 39 ภาพแผนภูมิวงกลมเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนโครงการที่ 2 | 47 |
| รูปภาพที่ 40 ตัวอย่างการผลิตกำลังไฟฟ้าของเซลล์สุริยะโครงการที่ วันที่ 23 ส.ค. 2565 1..... | 48 |
| รูปภาพที่ 41 ตัวอย่างการผลิตกำลังไฟฟ้าของเซลล์สุริยะโครงการที่ 2 วันที่ ส.ค. 2565 23..... | 48 |

| | |
|---|----|
| รูปภาพที่ 42 กราฟเปรียบเทียบต้นทุนพลังงานกับยอดการผลิตก่อนและหลังการติดตั้งเซลล์สุริยะ โครงการที่ 1..... | 52 |
| รูปภาพที่ 43 กราฟเปรียบเทียบต้นทุนพลังงานกับยอดการผลิตก่อนและหลังการติดตั้งเซลล์สุริยะ โครงการที่ 2..... | 53 |
| รูปภาพที่ 44 ค่าสมรรถนะของระบบเซลล์สุริยะโครงการที่ 1..... | 54 |
| รูปภาพที่ 45 ค่าสมรรถนะของระบบเซลล์สุริยะโครงการที่ 2..... | 54 |
| รูปภาพที่ 46 ความสัมพันธ์ค่าสมรรถนะที่แปรผันตามยอดผลิตโครงการที่ 1..... | 55 |
| รูปภาพที่ 47 ความสัมพันธ์ค่าสมรรถนะที่แปรผันตามยอดผลิตโครงการที่ 2..... | 55 |
| รูปภาพที่ 48 การใช้ไฟฟ้าในช่วงพักเที่ยงจากการย้ายการผลิตของโครงการที่ 1..... | 57 |
| รูปภาพที่ 49 การใช้ไฟฟ้าในช่วงพักเที่ยงจากการย้ายการผลิตของโครงการที่ 2..... | 57 |
| รูปภาพที่ 50 ภาพการเชื่อมต่อแบตเตอรี่..... | 58 |
| รูปภาพที่ 51 ระบบอัตโนมัติของโรงงาน..... | 59 |
| รูปภาพที่ 52 รูปภาพตารางประสิทธิภาพของระบบเครื่องอัตโนมัติ..... | 59 |
| รูปภาพที่ 53 การผลิตไฟฟ้าเซลล์สุริยะกับปริมาณการของฝุ่น..... | 62 |
| รูปภาพที่ 54 ภาพแผงของสถานีประกอบและแผงเซลล์สุริยะของทดลองที่เขม่าดำ PV เขม่าดำ 1 5g/m ² ที่มีความใกล้เคียงกัน..... | 62 |
| รูปภาพที่ 55 ตัวอย่างฝุ่นที่กำลังขยาย 1,000 และ 5,000 เท่า..... | 63 |
| รูปภาพที่ 56 สเปกตรัมจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDS..... | 64 |
| รูปภาพที่ 57 ตารางแสดงปริมาณขององค์ประกอบธาตุ..... | 64 |
| รูปภาพที่ 58 สเปกตรัมจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDS..... | 65 |
| รูปภาพที่ 59 ตารางแสดงปริมาณขององค์ประกอบธาตุ..... | 65 |
| รูปภาพที่ 60 จุดคุ้มทุนในการล้างแผง โครงการที่ 1..... | 66 |
| รูปภาพที่ 61 จุดคุ้มทุนในการล้างแผง โครงการที่ 2..... | 66 |
| รูปภาพที่ 62 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะและค่าความเข้มแสงเดือนเมษายน-พฤษภาคม 2566, โครงการที่ 1..... | 67 |

| | |
|---|----|
| รูปภาพที่ 63 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะและค่าความเข้มแสงเดือนเมษายน-พฤษภาคม 2566โครงการที่ 2..... | 68 |
| รูปภาพที่ 64 ค่าความเข้มแสงประเมินค่าความเข้มแสงที่ตรวจวัดจริงของโครงการที่ 1..... | 69 |
| รูปภาพที่ 65 กำหนดค่าความเข้มแสงประเมินและค่าความเข้มแสงที่ตรวจวัดจริงของโครงการที่ 2... | 69 |



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พลังงานไฟฟ้า คือ ปัจจัยสำคัญในการดำรงชีวิต ณ ปัจจุบัน ทั้งในภาคครัวเรือน ภาคธุรกิจ และภาคอุตสาหกรรม ต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในการขับเคลื่อน จากการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยในปี 2564 มาจากก๊าซธรรมชาติ น้ำมัน ถ่านหิน มากกว่าร้อยละ 80 และจากพลังงานหมุนเวียนร้อยละ 18 การผลิตพลังงานหมุนเวียนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง (การไฟฟ้าแห่งประเทศไทย, 2565)

ปัจจุบันการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์สุริยะ เป็นพลังงานทางเลือกที่ได้รับความนิยมกันอย่างแพร่หลาย ทั้งในและต่างประเทศ ในประเทศไทยก็ได้รับความนิยมมากเช่นกัน ทั้งภาคครัวเรือน ภาครัฐ โดยเฉพาะภาคอุตสาหกรรมที่มีการติดตั้งใช้งานมากขึ้น เนื่องจากการปรับค่า FT ขึ้นอย่างต่อเนื่องเมื่อปี 2564 และปี 2565 และมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอีก ภาคอุตสาหกรรมจึงพิจารณาติดตั้งระบบเซลล์สุริยะเพื่อลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการผลิต และเพื่อการใช้งานระบบเซลล์สุริยะให้มีประสิทธิภาพในภาคอุตสาหกรรม จึงต้องศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์สุริยะพบว่าปัญหาฝุ่นเป็นปัญหาหลักที่มีผลกระทบต่อแผงเซลล์สุริยะมากที่สุด โดยตามที่ปรากฏในงานวิจัยระยะเวลาการสะสมของฝุ่นยิ่งนานมากยิ่งขึ้นทำให้ประสิทธิภาพของแผงเซลล์สุริยะในการผลิตไฟฟ้าลดลง หากการติดตั้งเซลล์สุริยะในพื้นที่โรงงานที่มีฝุ่นกระจายจากกระบวนการผลิต อย่างเช่น โรงงานอุตสาหกรรมยางคอมปาวด์หรือยางผสม ที่มีองค์ประกอบหลักในการให้สีดำของยางอย่างผงคาร์บอน และอาจจะส่งผลกระทบต่อการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์สุริยะ

ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้จึงได้ดำเนินการศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการผลิตไฟฟ้าของระบบเซลล์สุริยะ รวมถึงการออกแบบให้เหมาะสมกับการใช้งาน การวางแผนบำรุงรักษา การใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบเซลล์สุริยะในสายการผลิตให้มีประสิทธิภาพสูงสุด และเกิดประโยชน์กับภาคอุตสาหกรรมยางคอมปาวด์มากที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อวิเคราะห์รูปแบบและการใช้พลังงานของโรงงาน และประสิทธิภาพของระบบเซลล์สุริยะติดตั้งบนหลังคา
- 1.2.2 เพื่อจัดทำข้อมูลความต้องการใช้พลังงานของโรงงานเปรียบเทียบกับข้อมูลพลังงานไฟฟ้าจากระบบเซลล์สุริยะ
- 1.2.3 เพื่อออกแบบระบบพลังงานทดแทนจากเซลล์สุริยะได้อย่างเหมาะสมเพื่อการใช้งานในสายการผลิต

1.2.4 เพื่อทดสอบเก็บข้อมูลการใช้งานจริงและวิเคราะห์ข้อมูลการใช้งานจริงของระบบเซลล์สุริยะกับค่าทางทฤษฎีที่ดำเนินการออกแบบไว้

1.2.5 เพื่อกำหนดแนวทางการบำรุงรักษาและกำหนดวิธีการปรับปรุงพัฒนาระบบเซลล์สุริยะในสายการผลิต

1.3 ขอบเขตการดำเนินงาน

1.3.1 วิเคราะห์รูปแบบการใช้พลังงานในสายการผลิตของโรงงาน

1.3.2 จัดทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบความต้องการใช้พลังงานของโรงงานเปรียบเทียบกับข้อมูลพลังงานไฟฟ้าจากระบบเซลล์สุริยะ

1.3.3 ดำเนินการออกแบบระบบเซลล์สุริยะเพื่อการใช้งานในสายการผลิต

1.3.4 วางแผนการดำเนินการติดตั้งและควบคุมการติดตั้งให้เป็นไปตามแบบที่กำหนด

1.3.5 ทดสอบเก็บข้อมูลการใช้งานจริงและวิเคราะห์ข้อมูลการใช้งานจริงของระบบเซลล์สุริยะกับค่าทางทฤษฎีที่ดำเนินการออกแบบไว้

1.3.6 ออกแบบวางแผนการบำรุงรักษาและกำหนดวิธีการปรับปรุงพัฒนาระบบเซลล์สุริยะในสายการผลิต

1.3.7 วิเคราะห์ผล สรุป และเขียนรายงาน

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1. ได้ทราบถึงข้อมูลในการออกแบบ รายละเอียดในการติดตั้งในการติดตั้งระบบพลังงานทดแทน

1.4.2. ได้ทราบถึงข้อมูลวิเคราะห์ประสิทธิภาพ สมรรถนะของระบบพลังงานทดแทนใช้งานในสายการผลิต

1.4.3. ได้แผนการบำรุงรักษา และเพิ่มประสิทธิภาพของระบบพลังงานทดแทน

1.4.4. สามารถนำเป็นโครงการต้นแบบระบบพลังงานทดแทนจากเซลล์สุริยะบนหลังคา ในอุตสาหกรรมอื่นๆ ได้

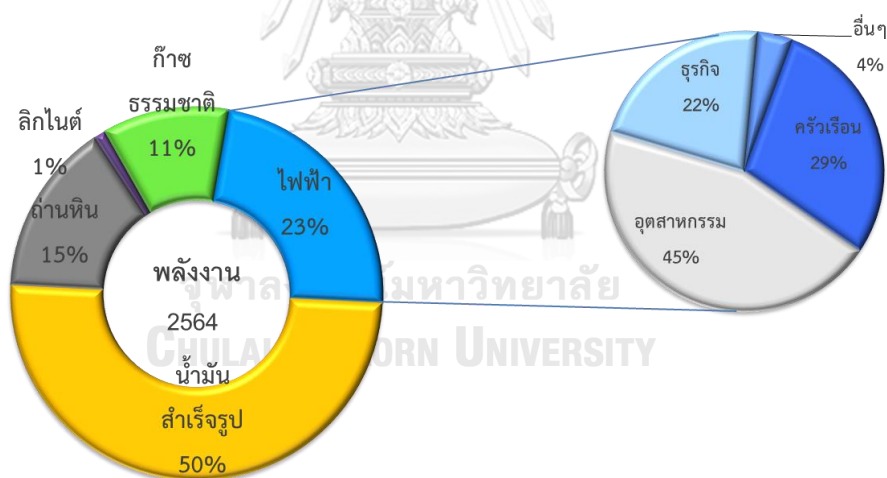
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการศึกษาเกี่ยวกับการติดตั้งระบบพลังงานทดแทนพลังงานเซลล์สุริยะ ติดตั้งบนหลังคาของอุตสาหกรรมยางผสมหรือยางคอมปาวด์ และศึกษาพัฒนาระบบพลังงานเซลล์สุริยะให้เหมาะสมกับการใช้งานในอุตสาหกรรมดังกล่าว โดยจะแบ่งเนื้อหาที่เกี่ยวข้องดังนี้

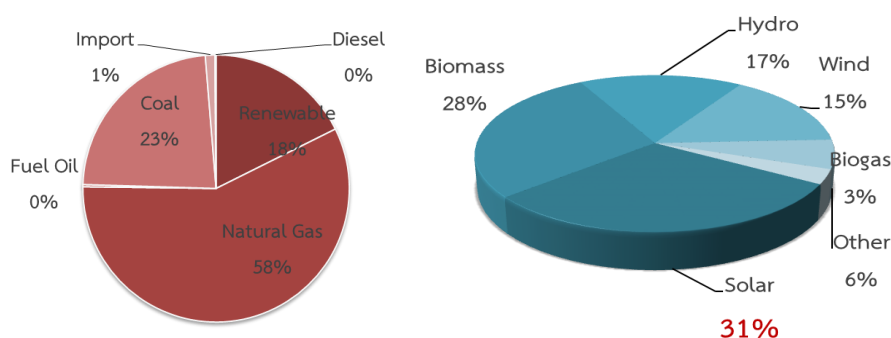
2.1 สถานการณ์พลังงานประเทศไทย

ประเทศไทยมีการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายในปี 2564 มีปริมาณการใช้พลังงานที่ 1,401 พันตัน เทียบเท่าน้ำมันดิบต่อวัน ลดลงจากปี 2563 ร้อยละ 4 เนื่องจากผลกระทบจากสถานการณ์ Covid-19 ในการใช้พลังงานในปี 2564 มีน้ำมันสำเร็จรูปเป็นพลังงานที่มีการใช้งานสูงที่สุด คิดเป็นร้อยละ 50 รองลงมาเป็นไฟฟ้า ถ่านหิน/ลิกไนต์ และก๊าซธรรมชาติ คิดเป็นร้อยละ 23, 16 และ 11 ตามลำดับ โดยจากงานวิจัยนี้พิจารณาการใช้พลังงานไฟฟ้าที่มีความสำคัญในทุกภาคส่วนทั้ง อุตสาหกรรม ธุรกิจ และที่อยู่อาศัยคิดเป็นร้อยละ 45, 29, 22 และอื่นๆ ร้อยละ 4 ตามรูปภาพที่ 1



รูปภาพที่ 1 สัดส่วนการใช้พลังงานในประเทศไทยปี 2564

โดยการผลิตพลังงานไฟฟ้าในครึ่งปี 2564 การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากก๊าซธรรมชาติมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 58 รองลงมาเป็นถ่านหิน พลังงานหมุนเวียน และนำเข้าคิดเป็นร้อยละ 23, 18 และ 1 โดยการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนร้อยละ 18 เป็นพลังงานเซลล์สุริยะร้อยละ 31 ของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน



รูปภาพที่ 2 สัดส่วนการการผลิตพลังงานไฟฟ้าในครึ่งปี 2564

ประเทศไทยมีนโยบายอนุรักษ์พลังงาน ภายใต้แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2561-2580 (AEDP2018) ได้ให้ความสำคัญในการส่งเสริมการผลิตพลังงานจากวัตถุดิบพลังงานทางเลือกที่มีอยู่ภายในประเทศ การพัฒนาศักยภาพการผลิตและการใช้พลังงานทางเลือกด้วยเทคโนโลยีที่เหมาะสม โดยมีเป้าหมาย คือ เพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกในรูปของพลังงานไฟฟ้า ความร้อนและเชื้อเพลิงชีวภาพต่อการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายที่ร้อยละ 30 ในปี พ.ศ. 2580 เป้าหมายการใช้พลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกในรูปของพลังงานไฟฟ้าในปี พ.ศ. 2580 ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้จึงให้ความสำคัญพลังงานทดแทนจากเซลล์สุริยะ โดยพลังงานทดแทนจากเซลล์สุริยะนิยมใช้กันในประเทศไทยมากขึ้นในทุกภาคส่วนโดยเฉพาะภาคอุตสาหกรรม เพื่อลดต้นทุนด้านพลังงานจากการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบจำหน่ายไฟฟ้าและเพื่อการสนับสนุนการใช้พลังงานสะอาด ช่วยลดผลกระทบต่อภาวะโลกร้อน

2.2 ไฟฟ้าเบื้องต้น

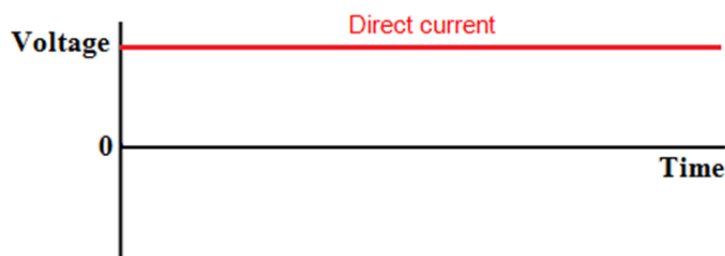
ไฟฟ้า คือพลังงานที่เกิดขึ้นจากพลังงานอื่นๆ เช่น เกิดจากแรงเสียดสี ความกดดัน ความร้อน แสง แม่เหล็ก และปฏิกิริยาทางเคมี คือการเกิดจากอิเล็กตรอนหรือโปรตอนที่เคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังจุดหนึ่ง

2.2.1 ประเภทของไฟฟ้า สำหรับการใช้งานในโรงงานอุตสาหกรรมแบ่งได้ 2 ประเภท คือ ไฟฟ้ากระแสตรง และไฟฟ้ากระแสสลับ

2.2.1.1 ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current : DC)

ไฟฟ้ากระแสตรง คือ ไฟฟ้าที่มีทิศทางการไหลไปในทิศทางเดียวกันตลอดเวลา ดังรูปภาพที่ 3 โดยจะไหลจากขั้วบวกของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าไปยังโหนดหรือภาระทางไฟฟ้าและ

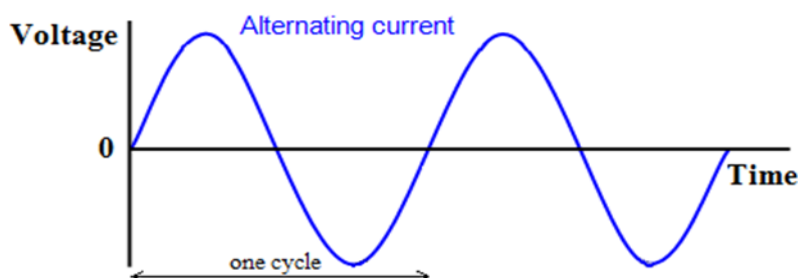
ไหลกลับไปยังขั้วลบของแหล่งกำเนิดไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าไหลทิศทางเดียวกันตลอดแรงดันหรือแรงเคลื่อนเป็นบวกอยู่เสมอ สามารถเก็บประจุไว้ในเซลล์ หรือแบตเตอรี่



รูปภาพที่ 3 กราฟแรงดันกระแสตรงเทียบเวลา

2.2.1.2 ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current : AC)

ไฟฟ้ากระแสสลับ คือการไหลของกระแสไฟฟ้าแบบกลับไปกลับมา และขนาดของกระแสเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา กระแสไฟฟ้าจากเคลื่อนที่จากศูนย์ เพิ่มขึ้นจนถึงจุดสูงสุด และจะเคลื่อนที่ลดลงจนถึงจุดต่ำสุด การเคลื่อนที่ที่ไหลครบ 1 รอบนี้เรียกว่า 1 ลูกคลื่น แสดงให้เห็นดังรูปที่ 4 ไฟฟ้าที่มีทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าไปในทางกลับกัน โดยอัตราการเปลี่ยนทิศทางนี้ เราเรียกว่าความถี่มีหน่วยวัดเป็นเฮิรตซ์(Hz)



รูปภาพที่ 4 กราฟแรงดันกระแสสลับเทียบเวลา

2.2.2 วงจรไฟฟ้า

วงจรไฟฟ้า หมายถึง ทางเดินของกระแสไฟฟ้าซึ่งไหลมาจากแหล่งกำเนิดผ่านตัวนำ และเครื่องใช้ไฟฟ้าหรือโหลด แล้วไหลกลับไปยังแหล่งกำเนิดเดิมโดยการต่อวงจรไฟฟ้า ทั้งกระแสตรง และ กระแสสลับ มีอยู่ด้วยกัน 3 แบบ ดังนี้

2.2.2.1 แบบอนุกรม (Series Circuit)

แบบอนุกรมกระแสไฟฟ้าจะไหลไปทิศทางเดียวเท่านั้น ถ้าเกิดเครื่องใช้ไฟฟ้าตัวใดตัวหนึ่งเปิดวงจรหรือขาด จะทำให้วงจรทั้งหมดไม่ทำงาน คุณสมบัติที่สำคัญของวงจรอนุกรม กระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านเท่ากันและมีทิศทางเดียวกันตลอดทั้งวงจร มีความต้านทานรวมของวงจรจะ

มีค่าเท่ากับผลรวมของความต้านทานแต่ละตัวในวงจรรวมกัน และมีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมส่วนต่างๆ ของวงจร เมื่อนำมารวมกันแล้วจะเท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่แหล่งกำเนิด

2.2.2.2 แบบขนาน (Parallel Circuit)

แบบขนาน กระแสไฟฟ้าที่ไหลจะสามารถไหลได้หลายทางขึ้นอยู่กับตัวของเครื่องใช้ไฟฟ้าที่นำมาต่อขนานกัน ถ้าเกิดในวงจรมีเครื่องใช้ไฟฟ้าตัวหนึ่งขาดหรือเปิดวงจร เครื่องใช้ไฟฟ้าที่เหลือก็ยังสามารถทำงานได้ ในบ้านเรือนที่อยู่อาศัยปัจจุบันจะเป็นการต่อวงจรแบบนี้ทั้งสิ้น คุณสมบัติที่สำคัญของวงจรขนานกระแสไฟฟ้ารวมของวงจรขนาน จะมีค่าเท่ากับกระแสไฟฟ้าย่อยที่ไหลในแต่ละสาขาของวงจรรวมกันมีแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมส่วนต่างๆ ของวงจร จะเท่ากับแรงดันไฟฟ้าที่แหล่งกำเนิด และมีความต้านทานรวมของวงจร จะมีค่าน้อยกว่าความต้านทานตัวที่น้อยที่สุดที่ต่ออยู่ในวงจร

2.2.2.3 แบบผสม (Compound Circuit)

แบบผสม เป็นการต่อวงจรทั้งแบบอนุกรมและแบบขนานเข้าไปในวงจรเดียว ในวงจรจะพบโหนดบางตัวต่ออนุกรมและโหนดบางตัวต่อขนาน ในการต่อแบบผสมนี้ไม่มีลักษณะตายตัวขึ้นอยู่กับความต้องการใช้งาน

2.2.3 หน่วยวัดทางไฟฟ้า

หน่วยวัดทางไฟฟ้า เป็นหน่วยมาตรฐานสากลที่ใช้ในการแยกหน่วยของการระบบไฟฟ้า โดยจะมีอยู่ในหลายหน่วย เช่น แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้า เป็นต้น มารู้จักกับหน่วยวัดทางไฟฟ้าต่าง

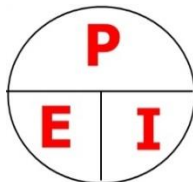
2.2.3.1 แรงดันไฟฟ้า (Voltage) เป็นแรงดันที่ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านความต้านทานของวงจรระหว่างจุดสองจุด ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลในวงจร ใช้สัญลักษณ์ย่อเป็นตัว “V”

2.2.3.2 กระแสไฟฟ้า (Current) การเคลื่อนที่แบบต่อเนื่องของอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่จากอะตอมหนึ่งไปยังอีกอะตอมหนึ่ง จากวัตถุที่มีประจุไฟฟ้าลบ ไปยังวัตถุที่มีประจุไฟฟ้าบวก ใช้สัญลักษณ์แทนกระแสไฟฟ้า คือ “I” และมีหน่วยวัดเป็น แอมแปร์ (Ampere) ใช้สัญลักษณ์เป็น “A”

2.2.3.3 กำลังไฟฟ้า (Electric Power) เป็นค่าที่แสดงถึงอัตราการใช้พลังงานในการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ โดยที่ทุกอุปกรณ์ไฟฟ้ามักจะมีระบุ โดยใช้สัญลักษณ์ตัว “P” และมีหน่วยวัดเป็น วัตต์ ใช้สัญลักษณ์แทนด้วยตัว “W”

2.2.3.4 พลังงานไฟฟ้า (Electrical Energy) เป็นค่าที่แสดงถึงการใช้งานกำลังไฟฟ้าไปในระยะเวลาหนึ่ง โดยจะมีหน่วยเป็น วัตต์ชั่วโมง (KWh) หรือ ยูนิท ซึ่งค่ายูนิทนี้เองจะนำไปคำนวณเป็นค่าไฟฟ้าอีกด้วย

โดยหน่วยวัดไฟฟ้าทั้งหมดนี้มีความสัมพันธ์กันทางไฟฟ้า สามารถคำนวณหาค่าต่าง ๆ ได้โดย ทางไฟฟ้านี้



โดยเขียนได้ 3 สมการดังนี้

$$P = EI \dots\dots\dots(2.1)$$

$$E = \frac{P}{I} \dots\dots\dots(2.2)$$

$$I = \frac{P}{E} \dots\dots\dots(2.3)$$

โดยที่ P คือกำลังไฟฟ้ามีหน่วยเป็น W

E คือกำลังไฟฟ้ามีหน่วยเป็น Wh

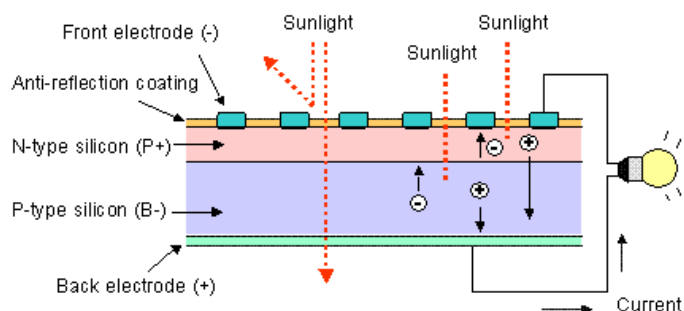
I คือกระแสไฟฟ้ามีหน่วยเป็น A

2.3 เทคโนโลยีพลังงานงานทดแทนจากเซลล์สุริยะ

พลังงานทดแทนจากเซลล์สุริยะหรือพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นสิ่งประดิษฐ์กรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้น เพื่อเป็นอุปกรณ์เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์สุริยะหรือแผงโซลาร์เซลล์ (Solar Cell) โดยเซลล์สุริยะทำมาจากสารกึ่งตัวนำอย่างซิลิคอน (Silicon) และพบว่ากำลังไฟฟ้าจากเซลล์สุริยะจะมีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูงที่สุดในช่วงกลางวัน ซึ่งสอดคล้องและเหมาะสมในการนำเซลล์สุริยะมาใช้ผลิตกำลังไฟฟ้า (เขมณัญญ์ พรหมมินท์, 2562)

2.3.1 การผลิตพลังงานไฟฟ้าของเซลล์สุริยะ

ลักษณะการทำงานของเซลล์การผลิตไฟฟ้าจากแผงเซลล์สุริยะนั้นจะเริ่มต้นเมื่อมีแสงจากดวงอาทิตย์ตกกระทบกับแผงเซลล์สุริยะสารกึ่งตัวนำจะทำหน้าที่ในการดูดกลืนแสงอาทิตย์ที่มีความยาวคลื่นที่เหมาะสม พลังงานที่ดูดกลืนไปจะถูกนำไปใช้ในการกระตุ้นให้เกิดคู่อิเล็กตรอน และโฮลขึ้นภายในสารกึ่งตัวนำจากนั้นสนามไฟฟ้าภายในรอยต่อพีเอ็นจะทำหน้าที่ในการแยกคู่อิเล็กตรอน และโฮลออกจากกันเป็นประจุอิสระ ซึ่งประจุเหล่านี้จะสามารถเคลื่อนที่ผ่านชั้นของสารกึ่งตัวนำไปยังขั้วไฟฟ้า ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าได้แสดงดังรูปภาพที่ 5



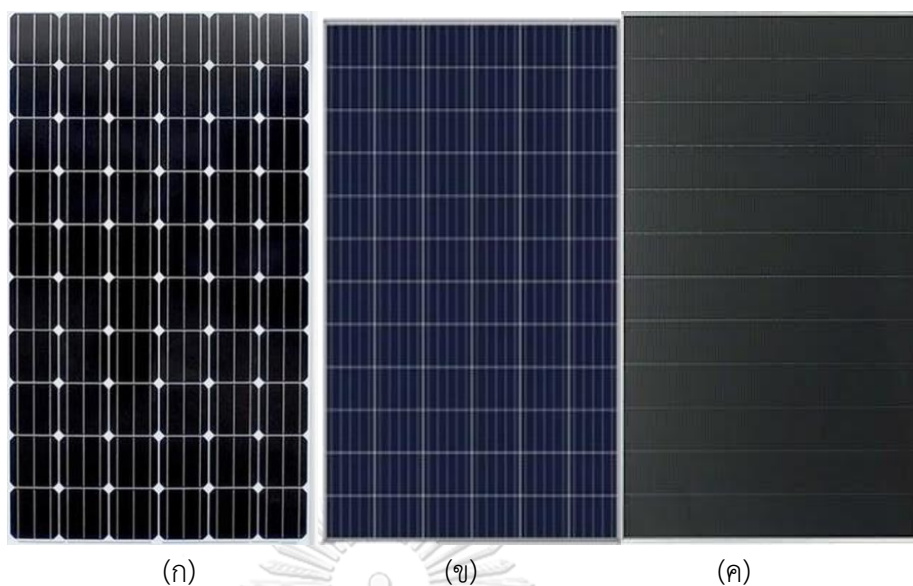
รูปภาพที่ 5 หลักการทำงานของเซลล์สุริยะ

โดยแผงเซลล์สุริยะที่นิยมใช้ แบ่งออกเป็น 3 ประเภทดังนี้

2.3.1.1 แบบโมโนคริสตัลไลน์ (Mono Crystalline) แผงเซลล์สุริยะชนิดนี้เป็นชนิดที่ทำมาจากซิลิคอนที่มีความบริสุทธิ์สูง โดยเริ่มมาจากแท่งซิลิคอนทรงกระบอก เกิดจากกระบวนการกวนให้ผลึกเกาะกันที่แกนกลาง ที่เรียกว่า Czochralski process จึงทำให้เกิดแท่งทรงกระบอก จากนั้นจึงนำมาตัดให้เป็นสี่เหลี่ยม และลบมุมทั้งสี่ออก เพื่อที่จะให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด และลดการใช้วัตถุดิบโมโนซิลิคอนลง ก่อนที่จะนำมาตัดเป็นแผ่นอีกที จึงทำให้เซลล์แต่ละเซลล์หน้าตาเป็น ดังรูปภาพที่ 6 โดยจะมีประสิทธิภาพประมาณ 15-20% สังเกตได้ง่าย โดยเซลล์มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมตัดมุมทั้งสี่มุม และมีสี่เหลี่ยม

2.3.1.2 แบบโพลีคริสตัลไลน์ (Poly Crystalline) หรือมัลติคริสตัลไลน์ (Multi Crystalline) หรือแบบผลึกรวมได้ถูกพัฒนาเพื่อแก้ปัญหาต้นทุนสูงของแบบผลึกเดี่ยว โดยนำซิลิกอนมาหลอมให้เป็นแก้วให้เป็นแท่งแล้วปล่อยให้เย็นตัวช้าๆ ก่อนไปตัดเป็นแผ่นเวเฟอร์ โดยเซลล์แบบโพลีคริสตัลไลน์โดยปกติจะมีประสิทธิภาพประมาณ 13-16% โดยในปี 2558 จึงทำให้เซลล์แต่ละเซลล์เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ไม่มีการตัดมุม สีของแผงจะออก น้ำเงิน ไม่เข้มมาก) ดังรูปภาพที่ 6

2.3.1.3 แผงเซลล์สุริยะประเภทแบบฟิล์มบาง (Thin Film) ดังรูปภาพที่ 6 จะมีความไวแสงมากที่สุดทำให้สามารถรับแสงที่มีความยาวคลื่นต่ำๆ ได้ดี ทำให้สามารถรับในพื้นที่ที่มีเมฆหมอกฝุ่นละอองท้องฟ้าครึ้มๆ มีฝนตกชุก หรือแสงจากหลอดไฟฟ้าได้สามารถทำงานภายใต้อุณหภูมิสูงได้ดี นิยมนำไปใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ แต่มีข้อเสียคือให้กำลังไฟฟ้าต่อพื้นที่ในการติดตั้งไม่สูงมากจึงทำให้ต้องใช้พื้นที่ในการติดตั้งมาก

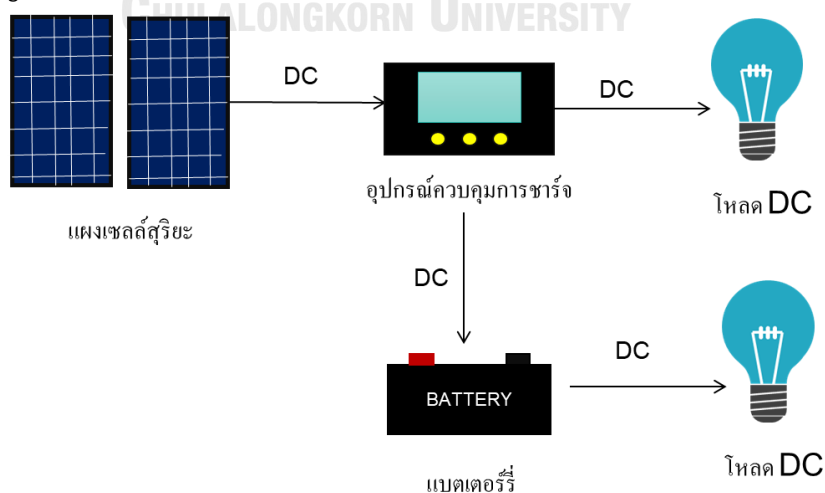


รูปภาพที่ 6 ภาพแผงเซลล์สุริยะชนิด (ก) แบบโมโนคริสตัลไลน์ (ข) แบบโพลีคริสตัลไลน์ และ (ค) แบบฟิล์มบาง

2.3.2 ระบบการผลิตพลังงานทดแทนจากเซลล์สุริยะ

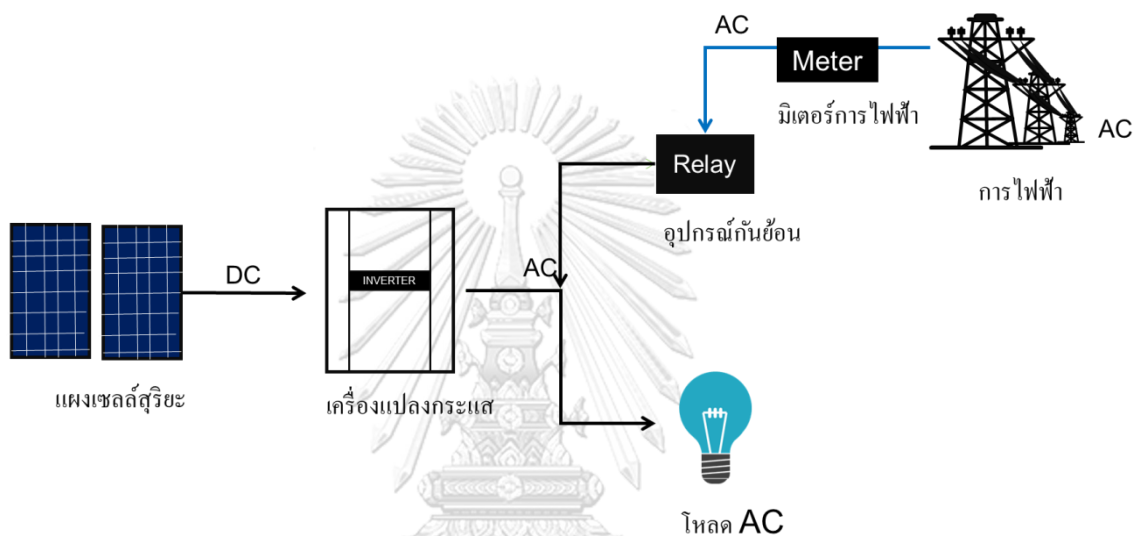
การต่อระบบเซลล์สุริยะให้เหมาะสมกับการใช้งาน สามารถแบ่งออกเป็น 3 ระบบ

2.3.2.1 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์สุริยะแบบอิสระ (PV stand-alone system) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ได้รับการออกแบบสำหรับใช้งานในพื้นที่ชนบทที่ไม่มีระบบสายส่งไฟฟ้าดังแสดงในรูปภาพที่ 7 ประกอบด้วยแผงเซลล์สุริยะต่อใช้งานตรงกับโหลดไฟฟ้ากระแสตรงและอีกรูปแบบหนึ่งคือ นำมาต่อให้ได้แรงดันตามความต้องการของอุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ (Solar charge controller) กำลังไฟฟ้าตามที่ต้องการใช้งานของโหลด



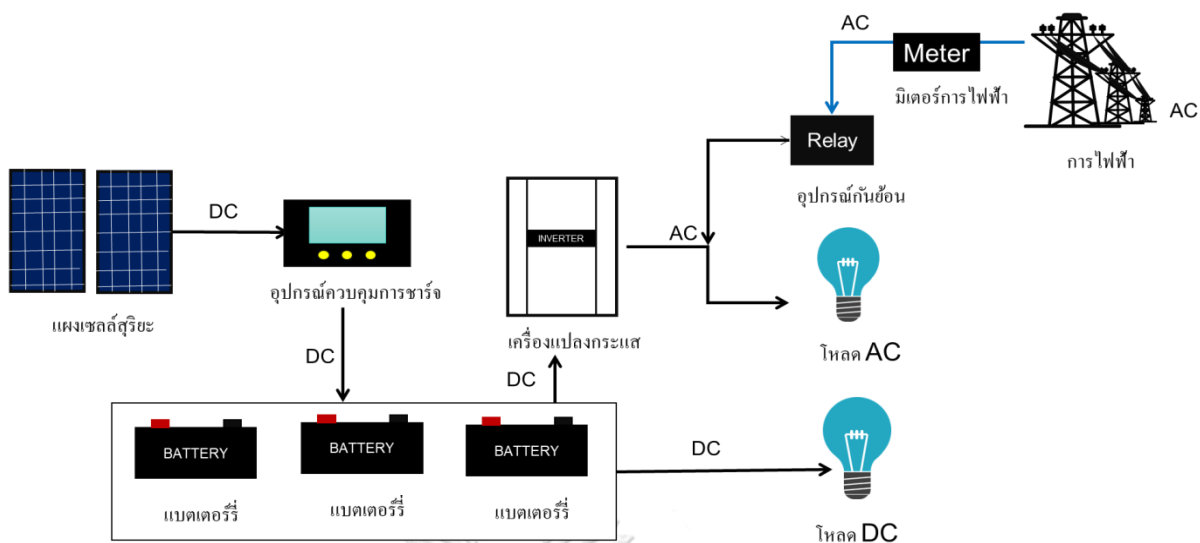
รูปภาพที่ 7 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์สุริยะแบบอิสระ

2.3.2.2 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์สุริยะแบบเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า (PV grid connected system) ระบบผลิตไฟฟ้าที่ถูกออกแบบสำหรับผลิตไฟฟ้าดังแสดงในรูปภาพที่ 8 ประกอบด้วยแผงเซลล์สุริยะ อินเวอร์เตอร์ โดยต่อผ่านกล่องต่อสายและเบรกเกอร์ไฟฟ้า กระแสตรงและกำลังไฟฟ้าตามที่ต้องการใช้งานของโหลด ซึ่งสามารถนำไปใช้กับโหลดไฟฟ้า กระแสสลับและในขณะเดียวกันก็สามารถต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้า ผ่านสวิตช์ตัดตอนและมิเตอร์ กิโลวัตต์-ชั่วโมง ใช้ผลิตไฟฟ้าในเขตเมืองหรือพื้นที่ที่มีระบบโครงข่ายไฟฟ้าเข้าถึง



รูปภาพที่ 8 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์สุริยะแบบต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า

2.3.2.3 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์สุริยะแบบผสมผสาน (PV Hybrid system) ระบบผลิตไฟฟ้าที่ถูกออกแบบสำหรับผลิตไฟฟ้าร่วมกับอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าชนิดอื่น ๆ อุปกรณ์ประกอบด้วยแผงเซลล์สุริยะซึ่งนำมาต่อให้ได้แรงดันตามความต้องการของอุปกรณ์แปลงผันพลังงานแบบผสมผสาน (Hybrid inverter) โดยสามารถใช้งานร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กังหันลมผลิตไฟฟ้าและแบตเตอรี่ดังแสดงในรูปภาพที่ 8 และในขณะเดียวกันก็สามารถต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้า



รูปภาพที่ 9 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์สุริยะแบบผสมผสาน

2.3.3 อุปกรณ์หลักของพลังงานงานทดแทนจากเซลล์สุริยะ

การติดตั้งพลังงานจากเซลล์สุริยะ ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ต่างๆ เช่น แผงเซลล์สุริยะ เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า ขึ้นอยู่กับความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละประเภท โดยการติดตั้งระบบพลังงานเซลล์สุริยะ มีอุปกรณ์ที่สำคัญดังนี้

2.3.3.1 แผงเซลล์สุริยะ แบ่งออกเป็น 3 ชนิด แต่ละชนิด มีความแตกต่าง ข้อดี ข้อเสียแตกต่างกันดังที่ปรากฏในข้อที่ 2.3.1

2.3.3.2 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter) เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ปรับเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ สำหรับใช้งานกับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่โดยทั่วไปอินเวอร์เตอร์จะออกแบบวงจรภายในโดยใช้วงจร Switching แปลงระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับโดยมีสัญญาณความถี่ไฟฟ้า 50 Hz แบ่งประเภทตามการเชื่อมต่อการไฟฟ้า on grid และ off grid ดังนี้

2.3.3.2.1 อินเวอร์เตอร์แบบออนกริด เป็นเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าจำหน่าย มี 3 ประเภทหลักที่ใช้งานดังนี้

ก.) เซนทรัลอินเวอร์เตอร์ (Central Inverter) เป็นขนาดใหญ่ ลักษณะดังภาพที่ 9 ที่มีขนาดตั้งแต่ 100 กิโลวัตต์ - 2,500 กิโลวัตต์ ส่วนใหญ่จะใช้ในระบบเซลล์สุริยะแบบฟาร์มขนาดใหญ่ที่มีการติดตั้งกำลังการผลิตติดตั้งหลายๆเมกะวัตต์ เพื่อความสะดวก

ในการติดตั้งและดูแลระบบใหญ่ๆ แต่อาจมีข้อด้อยคือ หากมีอินเวอร์เตอร์เสีย 1 set ก็จะทำให้กำลังการผลิตไฟฟ้าทั้งระบบลดลงอย่างมาก



รูปภาพที่ 10 เซนทรัลอินเวอร์เตอร์ (Central Inverter)

ข.) สตริงอินเวอร์เตอร์ (String Inverter) เป็นอินเวอร์เตอร์ขนาดเล็กตั้งแต่ 2 - 185 กิโลวัตต์ ซึ่งเป็นอินเวอร์เตอร์ ที่นำมาติดตั้งใช้งานตามบ้าน สำนักงาน หรือโรงงาน ที่ส่วนใหญ่ติดตั้งบนหลังคา ซึ่งทำให้มีความยืดหยุ่นในการออกแบบให้เหมาะสมกับข้อจำกัดด้านพื้นที่ติดตั้ง หรือ พลังงานที่ต้องการใช้ของแต่ละสถานที่นั้นๆได้ และเกิดประโยชน์สูงสุด



รูปภาพที่ 11 สตริงอินเวอร์เตอร์

ค) ไมโคร อินเวอร์เตอร์ Micro Inverter เป็นอินเวอร์เตอร์ขนาดเล็กติดตั้งที่ใต้แผงเซลล์สุริยะ 1-2 แผงต่อ 1 อินเวอร์เตอร์ ทำให้การต่อวงจรที่ระดับแรงดันต่ำกว่าชนิดอื่น



รูปภาพที่ 12 Micro Inverter

2.3.3.2.2 อินเวอร์เตอร์แบบออฟกริด (Off Grid Inverter) เป็นอินเวอร์เตอร์แปลงไฟฟ้าแบบ DC ที่ได้จากเซลล์สุริยะเป็นไฟฟ้า AC จ่ายให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยตรง (ไม่มีการเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าจำหน่าย) ข้อดีของอินเวอร์เตอร์ชนิดนี้ คือ เหมาะสมกับพื้นที่ไม่มี

ระบบไฟฟ้าจำหน่าย ข้อด้อย คือ ไม่เหมาะสมกับการใช้งานแบบต่อเนื่องตลอดเวลา (ต้องเชื่อมต่อระบบกักเก็บพลังงาน)

2.3.3.3 อุปกรณ์กันไฟฟ้า

2.3.3.3.1 ฟิวส์และเซอร์กิตเบรกเกอร์ เป็นอุปกรณ์ป้องกันไฟฟ้า มีหน้าที่ตัดวงจรไฟฟ้าเมื่อเกิดกระแสเกินในวงจรหรือเกิดไฟฟ้าลัดวงจร เพื่อป้องกันสายไฟละลาย ไฟไหม้ และอุปกรณ์อื่นๆ เสียหาย การติดตั้งระบบเซลล์สุริยะก็จะมีจะอยู่ในกล่องต่อสาย (Combiner Box) เป็นจุดรวมวงจรของการเชื่อมต่อระหว่างเซลล์สุริยะที่เป็นอาร์เรย์ ก่อนเข้าเครื่องแปลงกระแส จะประกอบด้วยสวิตช์ตัดการเชื่อมต่อหรือเบรกเกอร์ตัดกระแสไฟฟ้ากระแสตรงสำหรับวงจรเซลล์สุริยะแต่ละแผง

2.3.3.3.2 สายดิน การต่อลงดินของอุปกรณ์ต่างๆ สามารถป้องกันแรงดันไฟฟ้าที่เป็นอันตราย เนื่องจากการทำงานที่ผิดพลาดของอุปกรณ์ ช่วยป้องกันอุปกรณ์จากแรงดันไฟฟ้าที่เป็นอันตรายในกรณีที่เกิดฟ้าผ่า การต่อลงดินของอุปกรณ์หมายถึงการเชื่อมต่อตัวโลหะและโครงโลหะทั้งหมดของอุปกรณ์เข้าด้วยกันและต่อเข้ากับขั้วสายดิน โครงโลหะเหล่านี้ประกอบด้วยกรอบแผงเซลล์สุริยะ, อินเวอร์เตอร์ และอื่นๆ

นอกจากอุปกรณ์หลักของการติดตั้งระบบเซลล์สุริยะข้างต้นแล้ว ยังมีอุปกรณ์เสริม อาทิเช่น แบตเตอรี่และชุดควบคุมการชาร์จ ดังนี้

2.3.3.4 แบตเตอรี่

การผลิตไฟฟ้าของเซลล์สุริยะ ต้องอาศัยแสงอาทิตย์ในการทำงาน ดังนั้นจะสามารถผลิตไฟฟ้าได้เฉพาะช่วงเวลากลางวันเท่านั้น หากต้องการกักเก็บไฟฟ้าจากเซลล์สุริยะใช้ในเวลากลางคืนต้องมีแบตเตอรี่เพื่อกักเก็บพลังงานไฟฟ้า สำหรับแบตเตอรี่ที่ใช้กับระบบไฟฟ้าเซลล์สุริยะมี 2 ประเภท ได้แก่

2.3.3.4.1 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (Li-ion) เป็นเทคโนโลยีล่าสุดในตลาด มักพบในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ระดับสูง ดังแสดงในรูปที่ 12 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน ไม่ได้ถูกใช้ในแอปพลิเคชันเนื่องจากราคาสูง มีอายุการใช้งานที่ยาวนานและความจุพลังงานสูง โดยเฉลี่ย แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน สามารถใช้งานได้นานถึง 5 ปีนับจากวันผลิตขึ้นอยู่กับวิธีการใช้งาน



รูปภาพที่ 13 แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

2.3.3.5 ตัวควบคุมการชาร์จประจุ (Charger controllers)

เครื่องควบคุมการชาร์จประจุจะควบคุมการจ่ายพลังงานจากแผงเซลล์สุริยะซึ่งใช้ในการชาร์จ แบตเตอรี่ทำได้โดยการรับแรงดันไฟฟ้าจากแผงเซลล์สุริยะไปยังแบตเตอรี่ตัวควบคุมการชาร์จมีหน้าที่ควบคุมให้การชาร์จประจุแบตเตอรี่เป็นไปอย่างปลอดภัย รวดเร็ว และสมบูรณ์ ตัวควบคุมการชาร์จที่มีฟังก์ชันโวลต์คอนโทรลเลอร์ จะช่วยป้องกันแบตเตอรี่จากการคายประจุที่ลึกได้ ป้องกันแบตเตอรี่จากการชาร์จประจุมากเกินไป และป้องกันกระแสไฟฟ้าไหลย้อนกลับจากแบตเตอรี่ไปยังแผงเซลล์สุริยะ



รูปภาพที่ 14 ตัวควบคุมการชาร์จแบบ PWM

2.3.4 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการผลิตพลังงานจากแผงเซลล์สุริยะ

การผลิตไฟฟ้าจากเซลล์สุริยะมีปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการผลิตไฟฟ้า

2.3.4.1 พื้นที่รับแสงของแผง แผงเซลล์สุริยะขนาดใหญ่จะผลิตกระแสไฟฟ้าได้มากขึ้น

2.3.4.2 ทิศทางแผง เพื่อให้ผลิตพลังงานไฟฟ้ามากที่สุด แผงเซลล์สุริยะนั้นจะต้องหันหน้าเข้าหา แสงอาทิตย์ในทิศทางตามดวงอาทิตย์

2.3.4.3 ความร้อน การติดตั้งแผงเซลล์สุริยะในที่ที่มีอุณหภูมิสูงจะทำให้ตัวแผงและเซลล์ที่อยู่ในแผงเกิดการเสื่อมสภาพทำให้รับพลังงานความเข้มจากแสงอาทิตย์ได้ลดลง

2.3.4.4 ความสว่าง ยังมีแสงแดดตกกระทบบมากขึ้น แผงยังมีการผลิตกระแสไฟฟ้ามากขึ้น หากมีการบังแดดหรือเงาบนแผง การบดบังแผงนี้รวมถึงฝุ่นที่เกาะบนแผงเซลล์สุริยะด้วยเช่นเดียวกัน จะทำให้แผงผลิตกระแสไฟฟ้าได้ลดลงอย่างมาก

2.3.4.5 ตัวควบคุมกำลังสูงสุด MPPT เป็นทั้งตัวป้องกันและเป็นตัวหริ้การผลิไฟฟ้าของเซลล์สุริยะเช่นเดียวกัน โดยในระบบเซลล์สุริยะขนาดใหญ่ต้องติดตั้งอินเวอร์เตอร์และ MPPT ในอินเวอร์เตอร์จะเป็นตัวกำหนดค่าสูงสุดในการผลิตไฟฟ้าของเซลล์สุริยะ ตามที่กำหนดในประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ตัวนั้นๆ

2.3.5 การประเมินสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์
วิธีการประเมินประสิทธิภาพและสมรรถนะของระบบ ผลิตไฟฟ้าจากแสงสุริยะนั้นจะต้องอ้างอิงตามมาตรฐาน International Electrotechnical Commission หรือ IEC 61724 ถึงแม้ว่าจะมีตัวแปรจำนวนมากที่ใช้ในการคำนวณ แต่จะมีค่าตัวแปรที่สำคัญที่สามารถนำมาใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ และสมรรถนะการผลิตไฟฟ้าของ ระบบที่ติดตั้งกับระบบอื่นๆ ดังต่อไปนี้ ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ คือ อัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้ากระแสตรงที่ผลิตได้จากระบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV) ต่อกำลังแสงอาทิตย์ตกกระทบบสามารถคำนวณ (เอกพันธ์ ผัดศรี, 2561)

ได้จากสมการที่ 2.7

$$\eta_{PV} = \frac{P_{DC}}{GA} \times 100 \dots \dots \dots (2.7)$$

โดยที่ η_{PV} คือ ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (%)

P_{DC} คือ กำลังไฟฟ้ากระแสตรงจากระบบ PV (W)

G คือ ค่ารังสีอาทิตย์ตกกระทบบ (W/m^2)

A คือ พื้นที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์รวม (m^2)

ประสิทธิภาพรวมของระบบ คือ อัตราส่วนระหว่าง กำลังไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้จากอินเวอร์เตอร์ต่อกำลังแสงอาทิตย์ตกกระทบบสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.8

$$\eta_{PV} = \frac{P_{AC}}{GA} \times 100 \dots \dots \dots (2.8)$$

โดยที่ η_{PV} คือ ประสิทธิภาพของระบบ (%)

P_{AC} คือ กำลังไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้จากอินเวอร์เตอร์ (W)

อัตราส่วนประสิทธิภาพของระบบ(Performance Ratio) วิธีการประเมินสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ อ้างอิงตามมาตรฐาน International Electrotechnical Commission : IEC 61724 ซึ่งจะมีค่าพารามิเตอร์เป็นจำนวนมากที่ใช้ในการคำนวณ แต่จะมีค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญที่สามารถนำมาใช้ในการเปรียบเทียบสมรรถนะการผลิตไฟฟ้าของระบบฯ ดังนี้

$$Y_f = \frac{E_{AC}}{P_o} \dots\dots\dots(2.9)$$

$$Y_r = \frac{H_i}{G_{STC}} \dots\dots\dots(2.10)$$

$$PR = \frac{Y_f}{Y_r} \times 100 \dots\dots\dots(2.11)$$

โดยที่ PR คือ สมรรถนะของระบบเซลล์แสงอาทิตย์

Y_f คือ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบต่อกำลังการติดตั้งสูงสุด (kWh/kWp)

Y_r คือ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อกำลังการติดตั้งสูงสุดตามทฤษฎี (kWh/kWp)

E_{AC} คือ ผลรวมพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากระบบ

H_i คือ ค่ารังสีอาทิตย์ (kWh/m²)

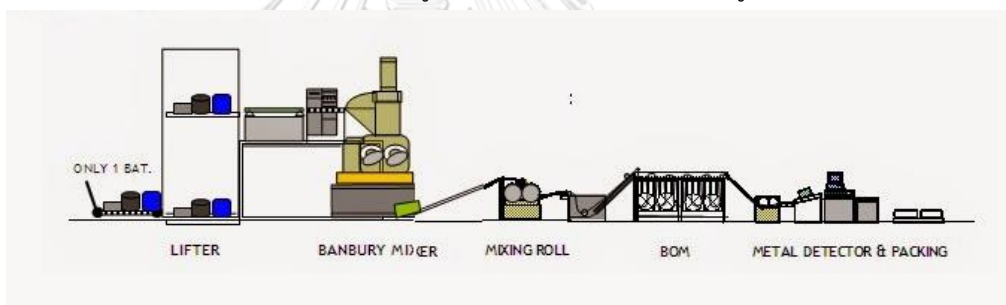
G_{STC} คือ ค่ารังสีอาทิตย์ที่มาตรฐาน STC (1 kW/m²)

2.4 เทคโนโลยีการผลิตยางคอมปาวด์

งานวิจัยฉบับนี้ได้ทำการศึกษาโรงงานอุตสาหกรรมทำการผลิตยางคอมปาวด์ โดยศึกษาขั้นตอนกระบวนการผลิตยางคอมปาวด์ของสถานประกอบการนี้ โดยยางผสมหรือยางคอมปาวด์ (Rubber compound) คือ ยางที่มีการผสมสารเคมีต่างๆ เช่น สารวัลคาไนซ์ สารตัวเร่งปฏิกิริยา สารตัวเติม เป็นต้น พร้อมทั้งจะนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นยางล้อ ถุงมือยาง ถุงยางอนามัย

ยางรองคอสะพาน ท่อยาง ยางรัดของ ฯลฯ การจะผลิตยางคอมปาวด์ต้องอาศัยเทคโนโลยีต่างๆ เพื่อให้ได้ยางคอมปาวด์ที่นำไปขึ้นรูปและคงรูปเป็นผลิตภัณฑ์ยางที่มีสมบัติตามที่ต้องการ โดยทั่วไปใช้วัตถุดิบทั้งหมด 5 ส่วน ได้แก่ Carbon , Filler , Oil , Chemical และ Polymer โดยมีขั้นตอนการผลิตยางคอมปาวด์ดังนี้

2.4.1 กระบวนการผลิตยางคอมปาวด์ของสถานประกอบการนี้ โดยเริ่มจากการทำส่วนผสมได้แก่ ยาง สารเคมี น้ำมัน ส่งมาผสมกันที่เครื่องผสม เครื่องผสมจะทำการผสมส่วนประกอบเข้าเป็นเนื้อเดียวกันตามเงื่อนไข และเวลาที่กำหนดของแต่ละสูตรการผลิต เมื่อเครื่องผสมทำงานเสร็จแล้วจะได้เป็นยางที่ได้ออกมาจะเรียกกว่าคอมปาวด์ จะถูกส่งลงมายังลูกกลิ้งเพื่อทำการบดผสมให้เข้ากันอีกครั้ง และรีดคอมปาวด์ออกมาเป็นแผ่นจากนั้นจะส่งผ่านถังที่มีน้ำแป้งอยู่ เพื่อลดอุณหภูมิแผ่นยางขึ้นต้นและเคลือบผิว และส่งคอมปาวด์ไปลดอุณหภูมิครั้งที่ 2 ที่เครื่องตากยาง ซึ่งภายในจะมีพัดลมอยู่เป็นจำนวนมาก จากนั้นส่งคอมปาวด์ผ่านเครื่องตรวจโลหะ เพื่อตรวจว่ามีเศษโลหะผสมอยู่ในคอมปาวด์หรือไม่ เมื่อตรวจเศษโลหะผ่านแล้ว จะถูกส่งไปตัดเป็นชิ้น หรือ ส่งต่อไปจุดแพ็คเกจสินค้า โดยไม่ต้องตัดเป็นชิ้นแล้วแต่ความต้องการของลูกค้า โดยอธิบายโดยง่าย ดังรูปภาพที่ 14



รูปภาพที่ 15 การบวนการผลิตยางคอมปาวด์

โดยจากกระบวนการผลิตยางคอมปาวด์ข้างต้นทุกขั้นตอนมีการใช้ไฟฟ้าทั้งหมด จากส่วนประกอบวัตถุดิบทั้งหมด ได้แก่ Filler , Oil , Chemical และ Polymer โดยวัตถุดิบอย่างสารตัวเติม (Filler) อาจจะมีผลกระทบต่อระบบเซลล์สุริยะ

2.4.2 วัตถุดิบสารเคมี

สารตัวเติม คือ องค์ประกอบที่เติมเข้าไปในยางเพื่อจุดประสงค์หลายอย่าง เช่น เสริมแรงให้ยางมีสมบัติเชิงกลที่ดีขึ้น เพื่อให้ยางคอมปาวด์มีสมบัติเฉพาะที่เหมาะสมกับกระบวนการผลิต หรือเพื่อลดต้นทุน ฯลฯ โดยสารตัวเติมมีน้ำหนักเบา มีลักษณะเป็นผง ซึ่งจากภาพที่ 2-1 กระบวนการผลิตยางคอมปาวด์จะพบเครื่องตักฝุ่นที่กระบวนการผลิต เพื่อดักจับฝุ่นผงของสารตัวเติมนี่เอง และสารตัวเติมที่ใช้ในอุตสาหกรรมสามารถแบ่งออกตามประสิทธิภาพของการเสริมแรงได้เป็น

2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ 1) สารตัวเติมเสริมแรง ได้แก่ เชม่าดำและซิลิกา 2) สารตัวเติมที่ไม่เสริมแรง ได้แก่ ดินขาว ทัลคัม แคลเซียมคาร์บอเนต ฯลฯ

2.4.2.1 ผงคาร์บอน (Carbon Black)

ผงคาร์บอนเป็นสารตัวเติมเสริมแรงที่ใช้กันมากที่สุดในอุตสาหกรรมยาง มีหลายเกรด โดยแต่ละเกรดจะมีสมบัติพื้นฐานโดยเฉพาะขนาดของอนุภาคปฐมภูมิ พื้นที่ผิว และโครงสร้างที่แตกต่างกัน ดังนั้น ผงคาร์บอนแต่ละเกรดจึงมีความสามารถในการเสริมแรงในยางได้ไม่เท่ากัน การเลือกใช้เกรดของผงคาร์บอนให้เหมาะสมกับกระบวนการผลิตและชนิดของผลิตภัณฑ์จึงเป็นเรื่องที่สำคัญ โครงสร้างของอนุภาคผงคาร์บอนเป็นสารตัวเติมเสริมแรงที่ใช้กันมากที่สุดในอุตสาหกรรมยาง องค์ประกอบหลักของผงคาร์บอนคือธาตุคาร์บอน อนุภาคผงคาร์บอนมีโครงสร้างกิ่งแกรไฟต์ นั่นคืออะตอมของคาร์บอนจะเรียงตัวเป็นชั้นๆ ขนานกัน (โดยเฉพาะชั้นด้านนอก) บางส่วนก็เกิดการเชื่อมล้ำกันเล็กน้อย ทำให้อนุภาคมีโครงสร้างแบบกิ่งแกรไฟต์ เชม่าดำที่ใช้กันอุตสาหกรรมยางส่วนใหญ่จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคปฐมภูมิอยู่ในช่วง 10-100 นาโนเมตร

สมบัติของผงคาร์บอนขนาดอนุภาคและพื้นที่ผิวจำเพาะอนุภาคปฐมภูมิของผงคาร์บอนมีรูปร่างเป็นทรงกลมและจะไม่อยู่อย่างเดี่ยวๆ แต่จะถูกห้อมล้อมอยู่รวมกันเป็นกลุ่มก้อน เรียกว่า แอกรีเกต ขอบเขตการเสริมแรงของผงคาร์บอนจะขึ้นอยู่กับขนาดของแอกรีเกตแต่จะขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคปฐมภูมิ ผงคาร์บอนที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมยางทั่วไปมีขนาดของอนุภาคปฐมภูมิในช่วง 19-95 นาโนเมตร โดยทั่วไป ผงคาร์บอนเกรดที่มีขนาดของอนุภาคปฐมภูมิมีขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง เชม่าดำเกรดนี้ก็จะเสริมแรงให้แก่ยางได้ดี



รูปภาพที่ 16 ผงคาร์บอน

2.4.2.2 ซิลิกา (silica)

ซิลิกาเป็นสารตัวเติมอีกชนิดหนึ่งที่นิยมใช้กันมากในอุตสาหกรรมยาง โดยเฉพาะในการผลิตผลิตภัณฑ์ยางที่มีสีหรือผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความโปร่งแสงและมีสมบัติเชิงกลที่ดี เช่น ยางพื้นรองเท้า เป็นต้น เนื่องจากบนพื้นผิวของซิลิกามีหมู่ไฮดรอกซิล (หมู่ OH) หรือหมู่ซิลานอลอยู่ในปริมาณมาก ทำให้มีความเป็นขี้ผึ้ง ซิลิกาจึงแตกตัวและเข้ากับยางที่ไม่มีขี้ผึ้งได้ยาก นอกจากนี้ หมู่ไฮ

ลานอลดดังกล่าวยังสามารถดูดซับสารกระตุ้นปฏิกิริยา ทำให้ยางเกิดการวัลคาไนซ์ได้ช้าลงและมีระดับของการวัลคาไนซ์ต่ำลง



รูปภาพที่ 17 ซิลิกา (silica)

2.4.2.3 สารตัวเติมอื่นๆ

สารตัวเติมอื่นๆ นอกเหนือจากผงคาร์บอนและ ซิลิกา ได้แก่ ดินขาวหรือเคลล์ (clay) แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ทัลคัม (talcum) ซึ่งสารเหล่านี้ไม่เสริมแรงจนถึงเสริมแรงได้ปานกลางขึ้นกับขนาดของอนุภาค แต่จะช่วยลดต้นทุน และทำให้กระบวนการผลิตเป็นไปได้โดยง่าย

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การประเมินเทคนิคและความถี่ในการทำความสะอาดโซลาร์เซลล์แบบแห้งแบบต่างๆ ของแผงแบบฟิล์มบางประเภทแคดเมียมเทลลูไรด์ CdTe ในสภาพแวดล้อมที่มีฝุ่นมาก พบว่าการทำความสะอาดใบแบบต่างๆ ได้แก่ ผ้าเช็ดไมโครไฟเบอร์ แปรงทำความสะอาดโดยประมาณค่าทำความสะอาดในภาคใต้โดยใช้เทคนิคการทำความสะอาดที่แตกต่างกัน จำนวนต่ำสุดราคาต่อหน่วยพื้นที่ PV โดยใช้ผ้าเช็ดไมโครไฟเบอร์ อยู่ที่ประมาณ 07.21US\$/year/m² ในขณะที่ค่าทำความสะอาดสูงสุดที่คำนวณได้คือ 59.76US\$/year/m² รอบ โดยใช้เทคนิคการดูดแบบผสมผสานทำความสะอาดและแปรง ผ้าไมโครไฟเบอร์ และการรวมไมโครไฟเบอร์กับเครื่องดูดฝุ่น ดำเนินการมีประสิทธิภาพมากที่สุดประมาณ (เมื่อเทียบกับแผงควบคุม) เป็นเวลาหนึ่งสัปดาห์ %6 (Al-Housani et al., 2019)

การทำความสะอาดเซลล์แสงอาทิตย์และการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของอนุภาคฝุ่นสะสมบนแผงโซลาร์เซลล์ในไนจีเรีย กรณีศึกษาตอนเหนือของไนจีเรีย ทำการทดลองการทำความสะอาดในแบบต่างๆ ได้แก่ 2 ใช้น้ำแรงดันสูงกับสปู.1. น้ำกับน้ำยาที่มีสารตึงผิว น้ำกับสารเคลือบแก้ว ที่ความเข้มแสงต่างกันที่ 4.466W/m² และ 8.402W/m² ผลการทดลองพบว่าแผงโซลาร์เซลล์เคลือบด้วยแผ่นบางโครงสร้างนาโนแก้วมีการสร้างพลังงานและประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อสิ้นสุดการทำความสะอาด (Chukwuekum & Oseme, 2020)

อิทธิพลของความถี่การทำความสะอาดของโซลาร์เซลล์โมดูลเกี่ยวกับการสูญเสียพลังงานในสภาพอากาศทะเลทราย ทำการทดลองทำความสะอาดเป็นระยะเวลาดังนี้ 20 วัน 10วัน วัน 30

วัน พบว่าการสูญเสียพลังงานที่เกิดจากฝุ่นยังคำนวณโดยการเปรียบเทียบพลังงานที่ผลิตโดย 90 และ วันทำให้พลังงานไฟฟ้า 10 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สะอาดและแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แผงที่มีฝุ่นมาก 20 ในขณะที่เดียวกัน แผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งเก็บฝุ่นไว้ %3 ลดลงวัน ให้พลังงานน้อยลง %5 การสูญเสียพลังงานของ 13 และ %7% ใน วันตามลำดับ ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยแนะนำช่วง 90 วัน และ 30 วัน เนื่องจากสภาพอากาศเป็นฝุ่นมาก 15 ทำความสะอาดแผงที่ (Shah et al., 2020)

ศึกษาการวิเคราะห์สมรรถนะการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบลอยน้ำพิกัด 50 kWp โดยกาสรทดลองเก็บข้อมูลวิเคราะห์สมรรถนะระบบพลังงานทดแทนแบบลอยน้ำเปรียบเทียบกับ โปรแกรม และเปรียบเทียบค่าตัวแปรและปัจจัยที่มีต่อการผลิตไฟฟ้าของระบบพลังงานระหว่างระบบ พลังงานลอยน้ำและบนพื้นดิน พบว่าการผลิตไฟฟ้าของระบบพลังงานลอยน้ำสูงถึง เมื่อเทียบ %6.7 กับระบบพลังงานติดตั้งบนพื้นดิน(กาญจนศิษฐ์ เวชการ, 2560)

ศึกษาในเรื่องของ The influence of cleaning Frequency of photovoltaic modules on power losses in the desert climate ระยะเวลาการทำความสะอาดแผงโซล่าเซลล์กับการ สูญเสียพลังงานจากผลกระทบภูมิอากาศในทะเลทรายในระยะเวลาต่างๆ โดยทำการวิจัยทำความสะอาดแบ่งเป็นระยะ วัน พบว่าการเว้นระยะการทำความสะอาด 90 วัน และ 30 วัน 20 วัน 10 สัปดาห์ 1 แล % 13 วัน ทำให้สูญเสียพลังงานมากถึง 90 สะอาดนานะจากงานวิจัยพบว่าระยะทำความสะอาดที่ เหมาะสมกับภูมิประเทศทะเลทรายอยู่ที่ วัน จึงจะเหมาะสม 15 (Hosseini et al., 2020)

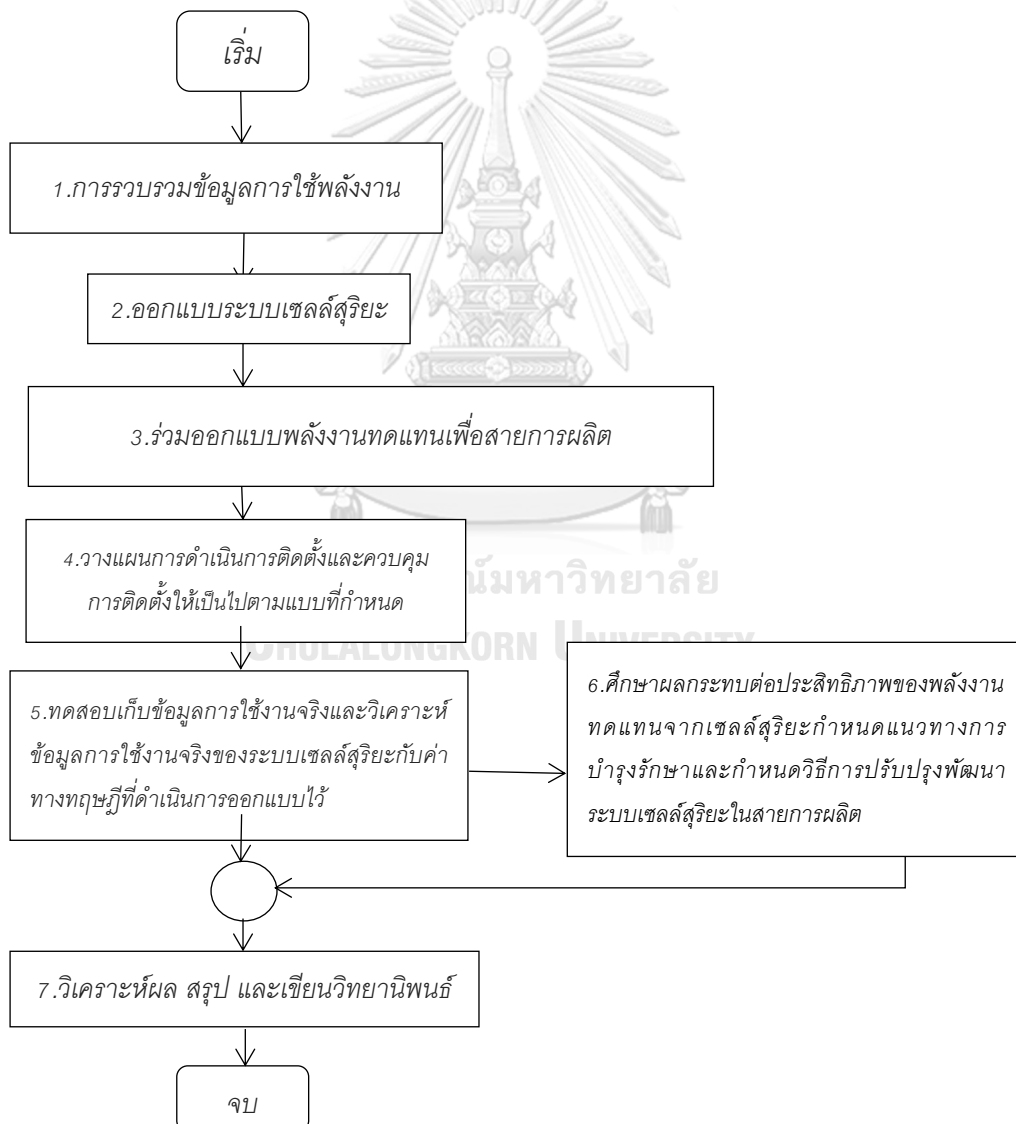
ศึกษาการจำลองแบบประสิทธิภาพของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์สุริยะติดตั้งบน หลังคาขนาด กิโลวัตต์ เพื่อประเมินส 3 มรรถนะของระบบภายใต้อิทธิพลของชนิดโซล่าเซลล์ การหันเห ทิศทางของแผงเซลล์สุริยะ โดยใช้โปรแกรม PVsyst ผลพบว่าพลังงานที่ผลิตได้ต่อวันไม่เกิน 5kWh/kWp/day ในช่วงเดือนเมษายนถึงเดือนมิถุนายน ระบบสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เท่ากับ 9.4 MWh/year อัตราส่วนสมรรถนะ %1.81 และพบว่าการหันแผงเซลล์สุริยะไปทางทิศตะวันออก เฉียงใต้และติดตั้งมุมเอียงที่ องศา จะได้รับความเข้มแสงของดวงอาทิตย์สูงสุดและระบบมี 20 ประสิทธิภาพสูงสุด (ฉัตร และคณะ, 2560)

การประเมินความคุ้มค่าของการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานเซลล์สุริยะที่ติดตั้งบนหลังคา โดยโปรแกรม PVsyst พบว่าการผลิตไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบพลังงานทดแทนเซลล์สุริยะที่ผลิตได้ จริงได้มากกว่าที่คำนวณจากโปรแกรม PVsyst เนื่องจากการบริหารจัดการอย่างเหมาะสมร่วมกับค่า รังสีอาทิตย์ที่ได้ตลอดทั้งปีมากกว่าที่คาดการณ์ จึงส่งผลให้ดัชนีชี้วัดเศรษฐศาสตร์จากพลังงานไฟฟ้าที่ ผลิตได้จริงนั้นดีกว่าการประเมินก่อนการลงทุน และพบว่าพลังงานที่ผลิตได้จะแปรผันตามค่ารังสี อาทิตย์ ณ เวลานั้น ระบบพลังงานจากเซลล์สุริยะจึงเหมาะกับงานเป็นพลังงานเสริม เพื่อช่วย ประหยัดรายจ่ายด้านพลังงานเท่านั้น (เชมณัฏฐ์ พรหมมินท์, 2562)

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยการพัฒนาระบบพลังงานทดแทนจากเซลล์สุริยะติดตั้งบนหลังคาเพื่อใช้งานในสายการผลิตแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การติดตั้งพลังงานทดแทนจากเซลล์สุริยะ เพื่อใช้งานในสายการผลิตยางคอมปาวด์ของโรงงาน และการออกแบบโซล่าเซลล์ขนาดทดลองเก็บตัวอย่างปริมาณฝุ่นที่เกิดจากกระบวนการผลิต ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าของระบบพลังงานทดแทน เพื่อวิเคราะห์ผลประสิทธิภาพและออกแบบการบำรุงรักษาให้เหมาะสมกับโรงงาน โดยขั้นตอนการดำเนินงาน



รูปภาพที่ 18 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้ดำเนินการศึกษาที่โรงงานอุตสาหกรรมยางคอมปาวด์ 2 โครงการด้วยกัน ดังนั้นการเก็บข้อมูลจะแบ่งเป็น 2 ชุด ได้แก่ โครงการที่ 1 และโครงการที่ 2

3.1 การรวบรวมข้อมูลของโรงงานและระบบเซลล์สุริยะเพื่อวิเคราะห์

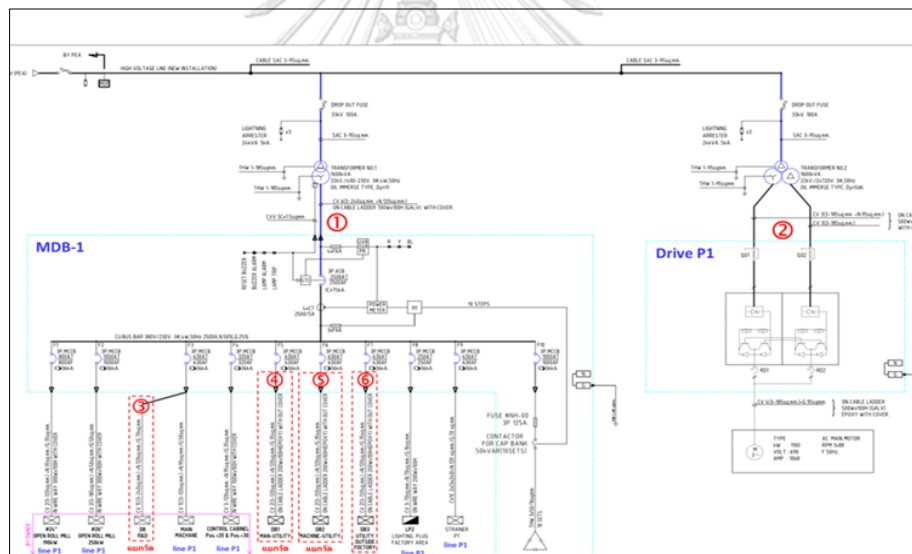
3.1.1 วิเคราะห์ลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งโรงงาน

3.1.2 วิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์

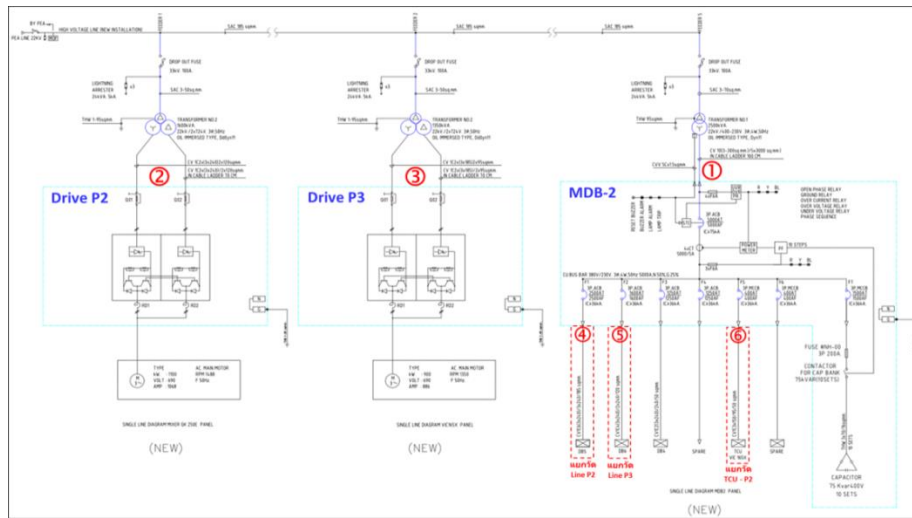
3.1.3 วิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงานในส่วนการผลิต

3.1.4 วิเคราะห์สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการตรวจวัดจริง

ตรวจวัดการใช้ไฟฟ้าของโครงการที่ 1 โดยตรวจวัดในตำแหน่ง Single line Diagram ดังภาพที่ 19 และ ภาพที่ 20 โดยตรวจวัดและวิเคราะห์พลังงานแยกความต้องการไฟฟ้าในแต่ละส่วนการผลิต การดำเนินการตรวจวัดการใช้ไฟฟ้าในแต่ละส่วนการผลิต เพื่อออกแบบการใช้ไฟฟ้าจากเซลล์สุริยะอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยตรวจวัดทั้ง 2 โครงการ

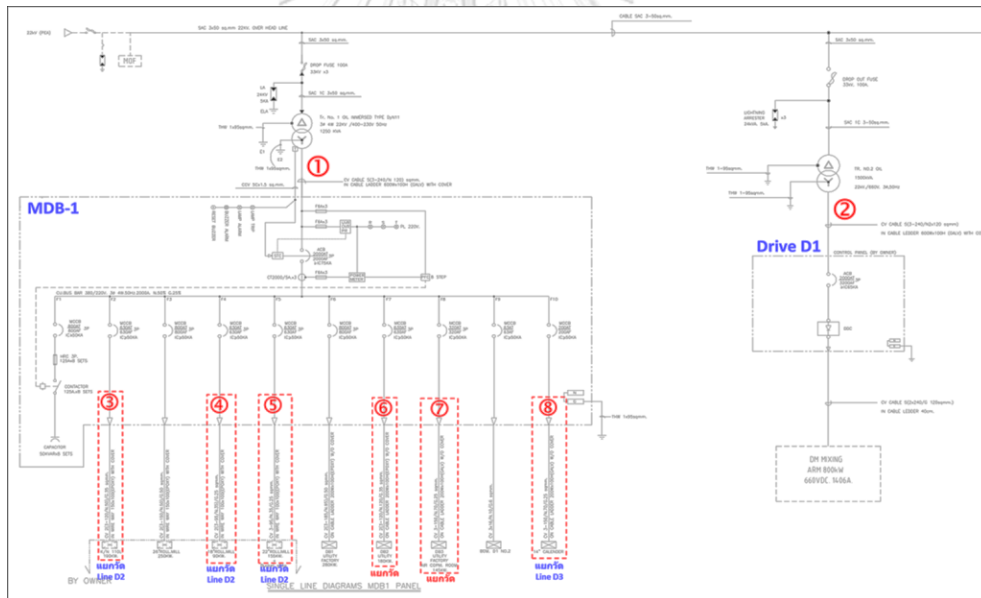


รูปภาพที่ 19 Single line Diagram ของโครงการที่ 1



รูปภาพที่ 20 Single line Diagram ของโครงการที่ 1

ตรวจวัดการใช้ไฟฟ้าของโครงการที่ 2 โดยตรวจวัดในตำแหน่ง Single line Diagram ดังภาพที่ 21 โดยตรวจวัดและวิเคราะห์พลังงานแยกความต้องการไฟฟ้าในแต่ละส่วนการผลิต



รูปภาพที่ 21 Single line Diagram ของโครงการที่ 2

3.1.5 วิเคราะห์ลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้า 1 วัน

3.1.6 วิเคราะห์ความต้องการการใช้พลังงานของโรงงานเพื่อการออกแบบ

3.2 การออกแบบการติดตั้งเซลล์สุริยะ

3.2.1 กำลังการติดตั้งเซลล์สุริยะบนหลังคา คำนวณจากความต้องการการใช้ไฟฟ้าที่วิเคราะห์ในข้อ 3.1

3.2.2 การประเมินกำลังการผลิตไฟฟ้าของเซลล์สุริยะติดตั้งบนหลังคา โดยใช้โปรแกรม PVsyst

3.3 ผลการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์การผลิตไฟฟ้าของระบบเซลล์สุริยะติดตั้งบนหลังคา

3.3.1 วิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยความต้องการพลังงานจากเซลล์สุริยะใน 1 วัน

3.3.2 ผลดำเนินการเก็บข้อมูลการผลิตไฟฟ้าของระบบเซลล์สุริยะหลังการติดตั้งบนหลังคา

4.3.2.1 ผลการเก็บข้อมูลการผลิตไฟฟ้าของระบบเซลล์สุริยะ

4.3.2.2 เปรียบเทียบต้นทุนพลังงานกับยอดการผลิตก่อนและหลังการติดตั้งเซลล์สุริยะ

3.3.3 สมรรถนะของระบบเซลล์สุริยะ

3.3.4 กำลังไฟฟ้าที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์ เมื่อเทียบกับกำลังติดตั้ง

3.3.5 การย้ายการผลิตของโรงงาน เพื่อใช้ไฟฟ้าจากเซลล์สุริยะอย่างมีประสิทธิภาพ

3.3.6 แหล่งกักเก็บพลังงาน

3.4 ส่วนการติดตั้งเซลล์สุริยะสำหรับการทดลองผลกระทบจากฝุ่นผงคาร์บอน

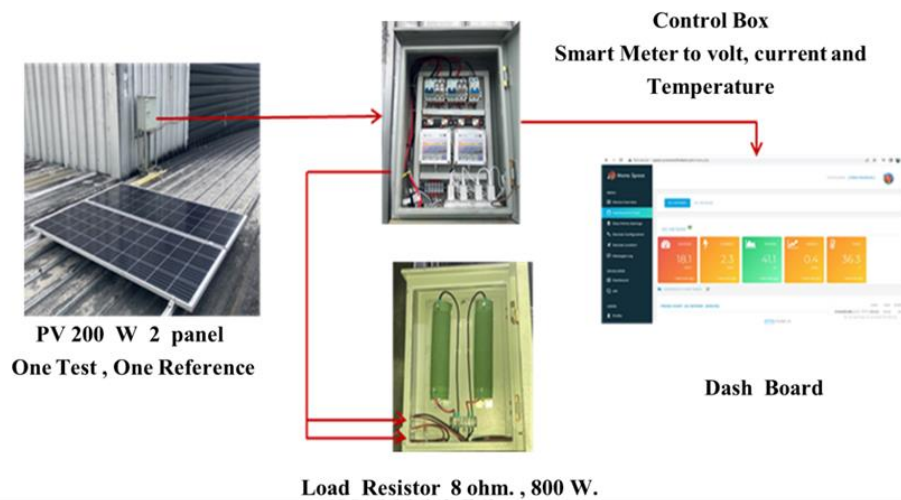
3.4.1 ทดลองการกระจายฝุ่นผงคาร์บอนลงบนแผงเซลล์สุริยะที่ปริมาณฝุ่นไม่เท่ากัน

การออกแบบเซลล์สุริยะขนาดทดลอง (แผงผังรูปภาพที่ 17) เก็บตัวอย่างปริมาณฝุ่น ที่เกิดจากกระบวนการผลิต ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าของระบบพลังงานทดแทน เพื่อวิเคราะห์ผลประสิทธิภาพและออกแบบการบำรุงรักษาให้เหมาะสมกับโรงงาน

ตารางที่ 1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

| อุปกรณ์ | จำนวน |
|--|-----------|
| 1. แผงเซลล์สุริยะ 200 W | 2 แผง |
| 2. สายไฟ DC แดง-ดำ | 10 เมตร |
| 3. ตู้ควบคุม | 1 ตู้ |
| - Fuse 10 A | 4 ตัว |
| - Breaker | 2 ตัว |
| - Smart Logger I,V,P | 2 ตัว |
| - เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ | 2 ตัว |
| 4. ไร้เตอร์อินเทอร์เน็ต | 1 เครื่อง |
| 5. Application เพื่อดึงข้อมูลมาวิเคราะห์ผล | - |
| - Application fusionSolar | - |
| - Application Mono Space | - |
| 6. Load Electronic Resister | 2 ตัว |

ดำเนินการออกแบบการทดลองในการเก็บข้อมูลของการออกแบบการบำรุงรักษาระบบเซลล์สุริยะและทำการติดตั้งเซลล์สุริยะสำหรับการทดลองการ ดังรูปภาพที่ 22



รูปภาพที่ 22 การติดตั้งโซล่าเซลล์สำหรับการทดลองย่อยการ

เก็บข้อมูลการผลิตไฟฟ้าของเซลล์สุริยะที่มีการสะสมของฝุ่นในปริมาณที่แตกต่างกัน และการผลิตไฟฟ้าของเซลล์สุริยะที่ปริมาณฝุ่นเท่ากัน โดยเก็บข้อมูลปริมาณผงคาร์บอน ค่ารังสีดวงอาทิตย์ ค่าแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และคำนวณหาค่าสมรรถนะของ เก็บค่าเป็น 2 ชุด โดย PV1 แผงเซลล์สุริยะที่มีการกระจายฝุ่นดังตารางที่ 2 และ PV2 แผงเซลล์สุริยะที่ไม่มีฝุ่น ตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ตัวอย่างตารางการเก็บข้อมูลผลการทดลองกระจายฝุ่นแผงเซลล์สุริยะ PV1

| ปริมาณ คาร์บอน | Irradiation W/m ² | PV1 | | | |
|-------------------|---------------------------------|----------------|----------------|--------------|-------------|
| | | Voltage (V) | Current (A) | Power (W) | PR Ratio |
| 5 | | | | | |
| 10 | | | | | |
| 20 | | | | | |
| 30 | | | | | |
| 50 | | | | | |

ตารางที่ 3 ตัวอย่างตารางการเก็บข้อมูลการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์สุริยะ PV2

| ปริมาณ คาร์บอน | Irradiation W/m ² | PV2 | | | |
|-------------------|---------------------------------|----------------|----------------|--------------|-------------|
| | | Voltage (V) | Current (A) | Power (W) | PR Ratio |
| 5 | | | | | |
| 10 | | | | | |
| 20 | | | | | |
| 30 | | | | | |
| 50 | | | | | |

3.4.2 ทดลองการกระจายฝุ่นผงคาร์บอนลงบนแผงเซลล์สุริยะที่ปริมาณฝุ่นไม่เท่ากัน ค่าความเข้มแสงเท่ากับ 404 วัตต์ต่อตารางเมตร

3.4.3 ผลการวิเคราะห์ฝุ่น เก็บตัวอย่างฝุ่นที่สะสมบนหลังคาส่งวิเคราะห์

3.1.2.1 วิเคราะห์โครงสร้าง Structural Equation Model : SEM

3.1.2.2 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยสเปกโทรเมตรีรังสีแบบกระจายพลังงาน Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy : EDS

3.5 การล้างแผงเซลล์สุริยะ

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูลผลการผลิตไฟฟ้าของระบบเซลล์สุริยะหลังการทำความสะอาดแผง

3.7 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อผลผลิตและการใช้พลังงานจากเซลล์สุริยะของโครงการ

3.8 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการดำเนินงานทั้งหมด และกำหนดแผนงานการบำรุงรักษาและการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าของการติดตั้งระบบเซลล์สุริยะบนหลังคาของอุตสาหกรรมยางคอมปาวด์

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์การทดลอง

ผลการดำเนินงานร่วมตรวจสอบการออกแบบ ติดตามควบคุมอุปกรณ์ให้เป็นไปตามมาตรฐาน และดำเนินการควบคุมการติดตั้งจนแล้วเสร็จ ร่วมทดสอบ และประเมินประสิทธิภาพของระบบ เมื่อเปรียบเทียบกับกรอกแบบจากโปรแกรม PVSystem เพื่อหาผลประหยัดพลังงานไฟฟ้าจากการติดตั้งแหล่งพลังงานทดแทนจากเซลล์สุริยะต่อความต้องการพลังงานไฟฟ้าของโรงงาน

4.1 ผลการรวบรวมข้อมูลของโรงงานและระบบเซลล์สุริยะ

4.1.1 ลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งโรงงาน

การใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงานทั้ง 2 โรงงานจากการศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าของโครงการโดยการใช้พลังงานไฟฟ้าเทียบกับยอดผลิตหน่วยเป็นต้นในปี 2564 ก่อนการติดตั้งเซลล์สุริยะของโครงการที่ 1 พบว่ามีต้นทุนพลังงานเฉลี่ย 383.95 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตัน ตามตารางที่ 4 ต้นทุนพลังงานกับยอดการผลิตก่อนโครงการที่ 1 ปี 2564 ส่วนโครงการที่ 2 พบว่ามีต้นทุนพลังงานเฉลี่ย 356.85 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตัน ตามตารางที่ 5 ต้นทุนพลังงานกับยอดการผลิตก่อนโครงการที่ 2 ปี 2564

ตารางที่ 4 ต้นทุนพลังงานกับยอดการผลิตก่อนโครงการที่ 1 ปี 2564

| ความต้องการใช้พลังงานในแต่ละเดือนโรงการที่ 1 ปี 2564 | | | |
|--|-----------------------------|------------------------|--------------------------------|
| Month | พลังงานไฟฟ้า (kWh/month) | ยอดผลิต (Ton/month) | SCE_ก่อนติดตั้ง เซลล์สุริยะ |
| January | 421,425.84 | 1,137.52 | 370.48 |
| February | 456,046.33 | 1,248.57 | 365.25 |
| March | 491,367.51 | 1,420.46 | 345.92 |
| April | 487,654.93 | 1,293.07 | 377.13 |
| May | 581,487.65 | 1,575.04 | 369.19 |
| June | 450,902.85 | 1,095.61 | 411.55 |
| July | 529,325.10 | 1,314.61 | 402.65 |
| August | 415,318.13 | 995.56 | 417.17 |
| September | 423,861.34 | 1,041.42 | 407.00 |
| October | 466,094.35 | 1,234.75 | 377.48 |
| November | 475,044.56 | 1,245.00 | 381.56 |
| December | 473,702.89 | 1,240.00 | 382.02 |
| Total | 5,672,231.48 | 14,841.61 | 382.18 |

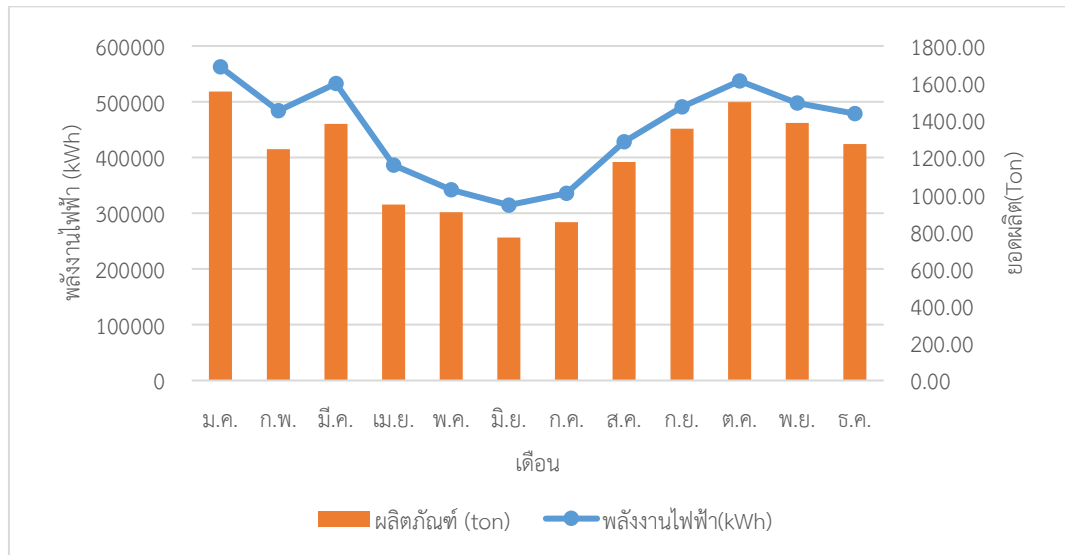
ตารางที่ 5 ต้นทุนพลังงานกับยอดการผลิตก่อนโครงการที่ 2 ปี 2564

| ความต้องการใช้พลังงานในแต่ละเดือนโรงการที่ 1 ปี 2564 | | | |
|--|-----------------------------|------------------------|--------------------------------|
| Month | พลังงานไฟฟ้า (kWh/month) | ยอดผลิต (Ton/month) | SCE_ก่อนติดตั้ง เซลล์สุริยะ |
| January | 308,410.80 | 825.00 | 373.83 |
| February | 256,123.80 | 740.64 | 345.82 |
| March | 259,672.20 | 750.83 | 345.85 |
| April | 273,387.60 | 780.00 | 350.50 |
| May | 266,609.20 | 780.81 | 341.45 |
| June | 281,546.40 | 785.00 | 358.66 |
| July | 268,430.40 | 784.30 | 342.25 |
| August | 230,996.78 | 717.63 | 321.89 |
| September | 251,449.20 | 693.98 | 362.33 |
| October | 253,486.85 | 750.47 | 337.77 |
| November | 252,100.20 | 650.00 | 387.85 |
| December | 239,682.40 | 579.00 | 413.96 |
| Total | 3,141,895.83 | 8,837.66 | 355.51 |

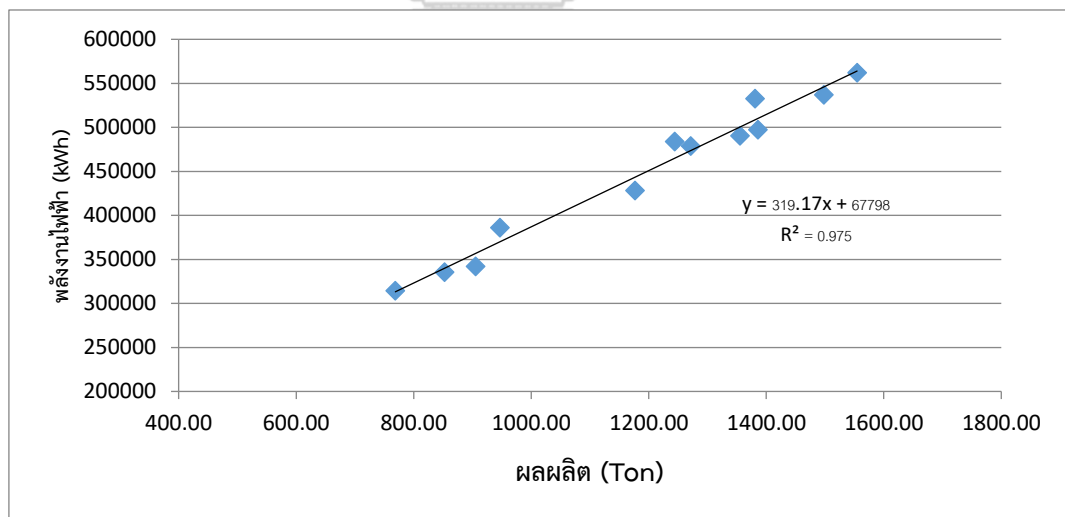
4.1.2 การใช้พลังงานไฟฟ้าเปรียบเทียบกับผลิตถ่าน

จากข้อที่ 4.1 พบว่าต้นทุนการใช้พลังงานของทั้ง 2 โครงการที่ 350 – 380 85 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตัน จึงนำข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าเปรียบเทียบกับผลิตถ่าน ในปี 2563 เนื่องจากเป็นปีที่มีความเสถียรของยอดผลิตมากที่สุด จึงยกค่าพลังงานในปี 2563 มาเพื่อหาความสัมพันธ์ของทั้ง 2 ค่า โดยรูปภาพที่ 23 และ 25 แผนภูมิแท่งแสดงให้เห็นถึงปริมาณไฟฟ้าความแปรผันตามกำลังการผลิต คือ ผลการผลิตมากปริมาณการใช้ไฟฟ้าก็มากตามไปด้วย จึงแสดงให้เห็นเป็นมาณแปรผันได้จากสมการถดถอย ดังรูปภาพที่ 24 และ 26 โดยข้อมูลจากภาพที่ 24 สมการถดถอยที่ได้ของโรงงานที่ 1 $y = 319.17x + 67798$ $R^2 = 0.975$ y คือพลังงานไฟฟ้าที่ใช้แปรผันตามกำลังการผลิต x คือ กำลังการผลิตแต่ละเดือน และ 67798 คือ ค่าปริมาณไฟฟ้าคงที่ จากภาพที่ 26 สมการถดถอยที่ได้ของโรงงานที่ 2 y

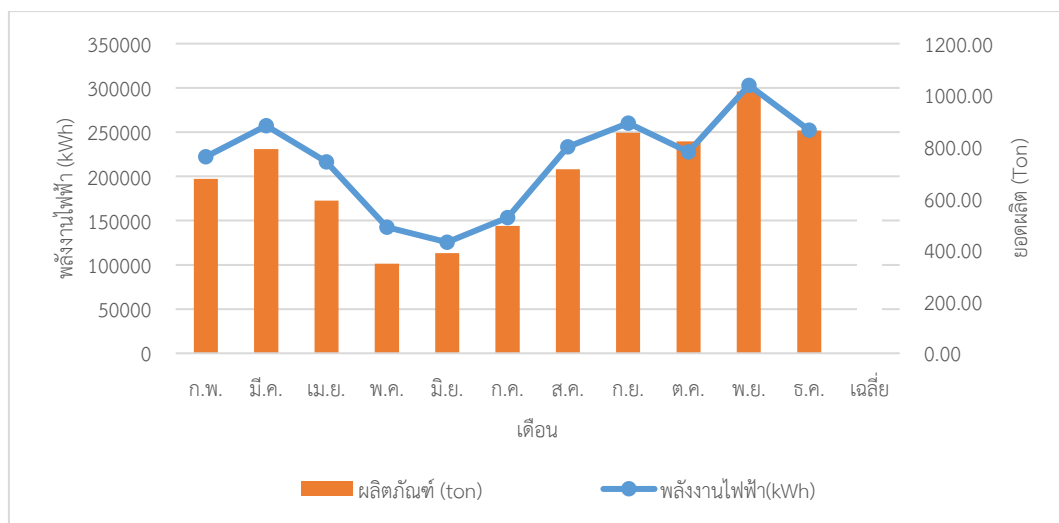
= 249.54x + 46889 R² = 0.9293 y คือพลังงานไฟฟ้าที่ใช้แปรผันตามกำลังการผลิต X คือ กำลังการผลิตแต่ละเดือน และ 46889 คือ ค่าปริมาณไฟฟ้าคงที่ จากข้อนี้พบว่าสามารถนำสมการใช้ในการพยากรณ์ความต้องการใช้ไฟฟ้าของทางสถานณ์ประกอบการล่วงหน้าได้ เพื่อออกแบบการใช้ไฟฟ้า



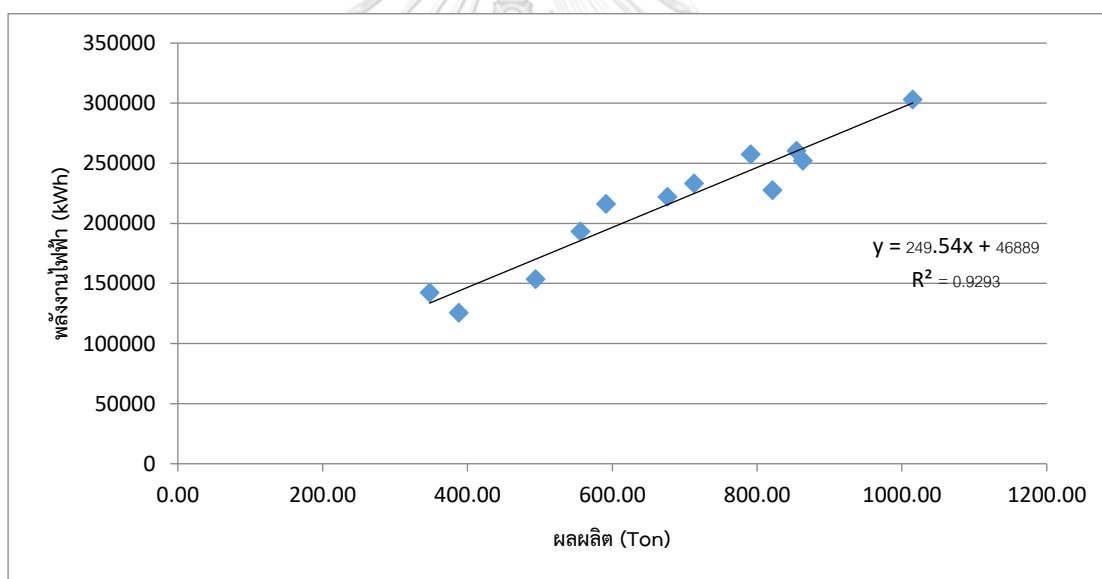
รูปภาพที่ 23 ภาพแผนภูมิแสดงลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าของตามปริมาณการผลิต โครงการที่ 1



รูปภาพที่ 24 ภาพกราฟแสดงปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตจากสมการถดถอย โครงการที่ 1



รูปภาพที่ 25 ภาพแผนภูมิแสดงลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าของตามปริมาณการผลิต โครงการที่ 2



รูปภาพที่ 26 แสดงปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตจากสมการถดถอย โครงการที่ 2

4.1.3 ปริมาณการใช้พลังงานในส่วนการผลิต

สัดส่วนการใช้พลังงานแยกตามระบบเก็บข้อมูลแสดงสัดส่วนการใช้พลังงานภายในโรงงาน ดังตารางที่ 6 และ 7 เพื่อแสดงสัดส่วนการใช้พลังงานในระบบต่างๆ โดยพบว่าทั้ง 2 โรงงานมีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าร้อยละ 72 มาจากระบบการผลิต รองลงมาที่เป็นระบบแสงสว่าง ระบบปรับอากาศสำนักงาน และจากการศึกษานี้พบว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของทั้ง 2 โรงงานนี้จะแปรผันตามการผลิต 72%

ตารางที่ 6 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานภายในบริษัทแยกตามระบบของโรงงานที่ 1

| ระบบ | การใช้พลังงานไฟฟ้า | |
|--------------------|----------------------|----------------|
| | กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี | ร้อยละ |
| แสงสว่าง | 592,930.80 | 11% |
| ปรับอากาศสำนักงาน* | 431,222.40 | 8% |
| ทำความเย็น | 215,611.20 | 4% |
| การผลิต | 3,881,001.60 | 72% |
| อัดอากาศ | 161,708.40 | 3% |
| อื่นๆ | 107,805.60 | 2% |
| รวม | 5,390,280.00 | 100.00% |

ตารางที่ 7 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานภายในบริษัทแยกตามระบบโรงงานที่ 2

| ระบบ | การใช้พลังงานไฟฟ้า | |
|--------------------|----------------------|----------------|
| | กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี | ร้อยละ |
| แสงสว่าง | 116,410.50 | 5% |
| ปรับอากาศสำนักงาน* | 77,607.00 | 3% |
| ทำความเย็น | 388,035.00 | 15% |
| การผลิต | 1,862,568.00 | 72% |
| อัดอากาศ | 90,541.50 | 4% |
| อื่นๆ | 51,738.00 | 2% |
| รวม | 2,586,900.00 | 100.00% |

4.1.4 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการตรวจวัดจริง

เพื่อออกแบบการใช้ไฟฟ้าให้เหมาะสมและเต็มประสิทธิภาพของการใช้ไฟฟ้าจากเซลล์สุริยะ ได้ทำการศึกษาการใช้ไฟฟ้าแต่ละไลน์ผลิตของ ทั้ง 2 โรงงานเพื่อการศึกษาการใช้ไฟฟ้าในแต่ละไลน์ผลิตและ เพื่อออกแบบการผลิตผลิตภัณฑ์ของโรงงานให้สอดคล้องกับการผลิตไฟฟ้าของระบบเซลล์สุริยะของทางโรงงาน พบว่าโรงงานที่ 1 มีไลน์ผลิต 3 ไลน์ได้แก่ P1, P2, P3 โดยจุดเชื่อมต่อของระบบเซลล์สุริยะ โรงงานที่ 1 อยู่ MDB1 เป็นเมนไฟที่การใช้ไฟฟ้ามากที่สุดของโรงงานที่ 1 โดย MDB1 ประกอบไปด้วยการใช้ไฟฟ้าของเครื่องจักรต้นกำลัง ส่วนของสำนักงาน และไลน์ผลิต P1 เมื่อตรวจวัดและวิเคราะห์ผลพบว่าการใช้ไฟฟ้าของไลน์ผลิตเท่ากับ 410, 316, 238 กิโลวัตต์ชั่วโมง P1, P2, P3 ตามลำดับตามตารางที่ 8 โดยไลน์ P1 มีการใช้ไฟฟ้าในการผลิตมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับ การผลิตไฟฟ้าของระบบเซลล์สุริยะที่ผลิตได้ที่ร้อยละ 80 ของกำลังติดตั้งเท่ากับ 690 กิโลวัตต์ชั่วโมง และโรงงานที่ 2 มีไลน์ผลิต 4 ไลน์ได้แก่ D1, D2, D3 และ P4 โดยจุดเชื่อมต่อของระบบเซลล์สุริยะของโรงงานที่ 2 อยู่ MDB1 เป็นเมนไฟที่การใช้ไฟฟ้ามากที่สุดของโรงงานที่ 2 โดย MDB1 ประกอบไปด้วยการใช้ไฟฟ้าของเครื่องจักรต้นกำลัง ส่วนของสำนักงาน และไลน์ผลิต D1, D2, D3 พบว่า การใช้ไฟฟ้าในแต่ละไลน์ผลิตเท่ากับ 118, 91, 2 กิโลวัตต์ชั่วโมง ไลน์ผลิต D1, D2, D3 ตามลำดับ P4 ไม่มีการผลิต ตามตารางที่ 9

ดังนั้นการวางแผนผลิตของโรงงานที่ 1 หากในเดือนที่มียอดผลิตน้อยควรวางแผนผลิตที่ ไลน์ P1 ก่อน และโรงงานที่ 2 ควรวางแผนผลิตได้เต็มกำลัง ทั้ง D1, D2, D3 เพื่อให้เกิดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบเซลล์สุริยะอย่างมีประสิทธิภาพและลดการสูญเสียเนื่องจากไฟฟ้าย้อนไปหม้อแปลงลูกอื่นๆ

ตารางที่ 8 ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าในไลน์ผลิตและเครื่องจักรต้นกำลังของไลน์ผลิตโรงงานที่ 1

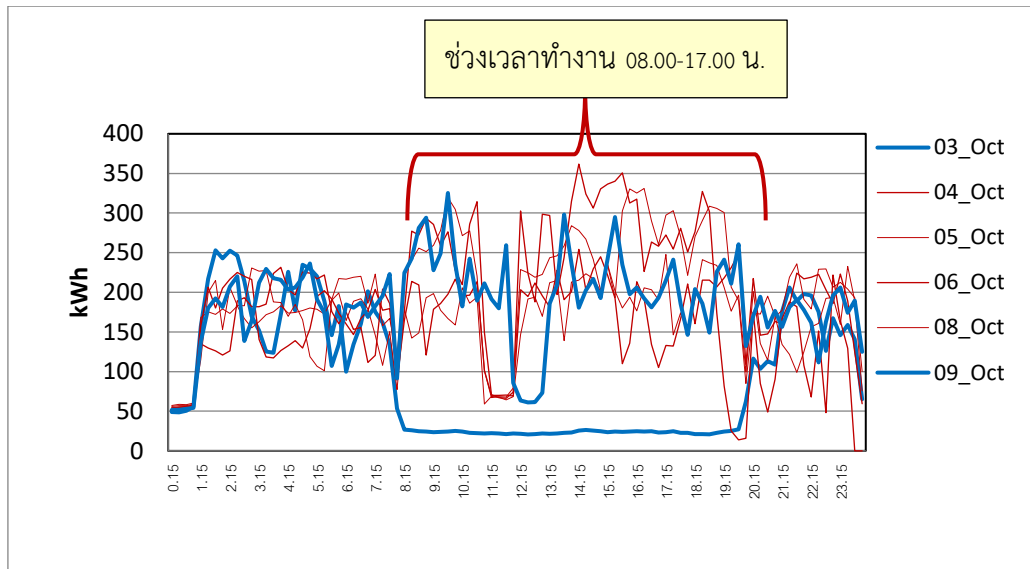
| ระบบ | Production & Utility | Power (kW) | Max. Power (kW) |
|------------|----------------------|------------|-----------------|
| การผลิต | Line P1 | 410 | 626 |
| การผลิต | Line P2 | 316 | 411 |
| การผลิต | Line P3 | 238 | 338 |
| อัดอากาศ | Air Comp.50HP | 44 | 46 |
| ทำความเย็น | Cooling 400RT | 9 | 43 |
| สำนักงาน | Other | 52 | 67 |
| รวม | | 1,095 | 1,531 |

ตารางที่ 9 ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าในไลน์ผลิตและเครื่องจักรต้นกำลังของไลน์ผลิตโรงงานที่ 2

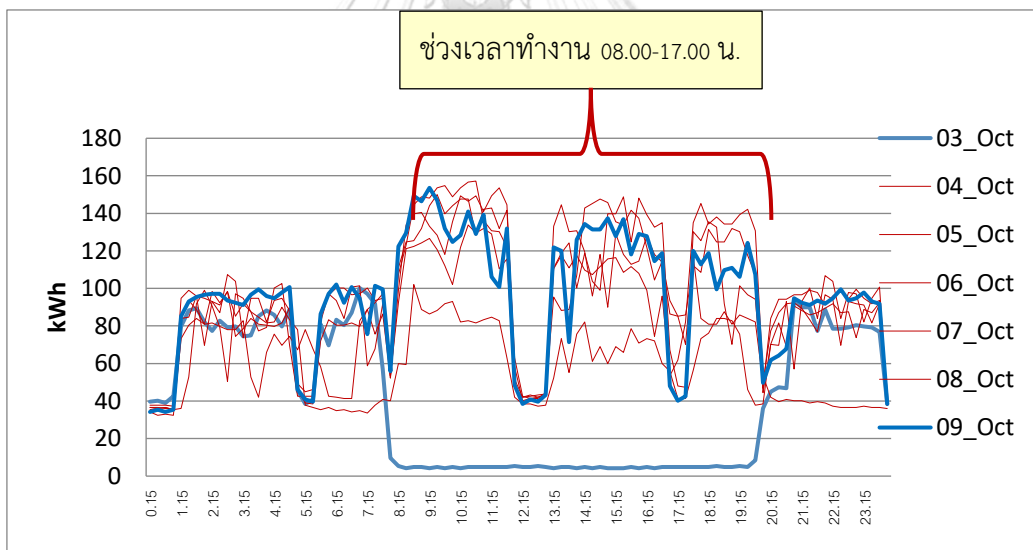
| ระบบ | Production& Utility | Power (kW) | Max. Power (kW) |
|------------|---------------------|------------|-----------------|
| การผลิต | Line D1 | 118 | 202 |
| การผลิต | Line D2 | 91 | 205 |
| การผลิต | Line D3 | 2 | 8 |
| การผลิต | Line P4 | - | - |
| อัดอากาศ | Air Comp.50HP | 5 | 46 |
| ทำความเย็น | Cooling 400RT | 25 | 99 |
| ทำความเย็น | Cooling 225RT | 14 | 14 |
| สำนักงาน | Other | - | - |
| รวม | Total | 255 | 574 |

4.1.5 ลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้า 1 วัน

การเก็บข้อมูลลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าจากการไฟฟ้า (Automatic Meter Reading: AMR) เพื่อให้เห็นลักษณะและปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาในแต่ละวันเป็นระยะเวลา 1 อาทิตย์ ดังรูปภาพที่ 27 และ 28 ภาพกราฟแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นระยะเวลา 1 อาทิตย์ โครงการ 1 และ 2 โดยกราฟเส้นสีแดงคือการใช้ไฟฟ้าวันจันทร์-ศุกร์ และกราฟเส้นสีน้ำเงิน คือ การใช้ไฟฟ้าวันหยุดเสาร์อาทิตย์ ทั้ง 7 วัน แสดงให้เห็นลักษณะการใช้พลังงานชัดเจนยิ่งขึ้นทั้ง 2 โครงการ พบว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าตลอด 24 ชั่วโมง และจะเห็นชัดว่าพลังงานไฟฟ้าช่วง 08.00-17.00 น. มีการใช้ไฟฟ้าที่สูงกว่าช่วงเวลาอื่น และจากการศึกษานี้ก็นำไปสู่การคิดความต้องการพลังงานไฟฟ้าในช่วงกลางวัน เพื่อได้กำลังการผลิตที่เหมาะสมกับโรงงาน



รูปภาพที่ 27 ภาพกราฟแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นระยะเวลา อาทิตย์ โครงการ 1 1



รูปภาพที่ 28 ภาพกราฟแสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นระยะเวลา อาทิตย์ โครงการ 1

4.1.6 ความต้องการการใช้พลังงานของโรงงานเพื่อการออกแบบ

การติดตั้งเซลล์สุริยะใช้งานไฟฟ้าในสายการผลิตของทั้ง 2 โครงการ ดังนั้นการศึกษาค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของโครงการจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก เพื่อการออกแบบกำลังการติดตั้งให้เหมาะสมกับสถานประกอบการ จากการศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าของโครงการโดยการใช้พลังงานไฟฟ้าปี 2564 จากตารางที่ 10 ความต้องการใช้พลังงานในแต่ละเดือนของโครงการที่ 1 ปี 2564

พบว่าค่าความต้องการไฟฟ้าของทางโครงการที่ 1 15,540 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อวัน และมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลา 08.00 – 16.00 น. เฉลี่ย 4,684 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อวัน จากความต้องการดังกล่าวเมื่อนำเวลาที่เซลล์สุริยะผลิตไฟฟ้าได้อย่างเต็มประสิทธิภาพอยู่ที่ 4 – 5 ชั่วโมงต่อวันมาหาร จึงได้ความต้องการพลังงานไฟฟ้าของโครงการที่ 1 1,171 กิโลวัตต์ ส่วนโครงการที่ 2 จากตารางที่ 11 ความต้องการใช้พลังงานในแต่ละเดือนของโครงการที่ 2 ปี 2564 พบว่าค่าความต้องการไฟฟ้าของทางโครงการที่ 1 8,607 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อวัน และมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลา 08.00 – 16.00 น. เฉลี่ย 2,640 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อวัน ความต้องการพลังงานไฟฟ้าของโครงการที่ 2 660.02 กิโลวัตต์

ตารางที่ 10 การใช้พลังงานในแต่ละเดือนของโครงการที่ 1 ปี 2564

| การใช้พลังงานในแต่ละเดือนของโครงการที่ 1 ปี 2564 | | | | |
|--|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Month | หน่วย kWh | | | |
| | Peak | Off Peak | Holiday | Total |
| January | 184,503.60 | 126,792.11 | 110,130.13 | 421,425.84 |
| February | 171,120.22 | 125,859.52 | 159,066.59 | 456,046.33 |
| March | 210,815.35 | 156,492.13 | 124,060.03 | 491,367.51 |
| April | 181,604.99 | 131,279.22 | 174,770.72 | 487,654.93 |
| May | 215,806.07 | 151,101.32 | 214,580.26 | 581,487.65 |
| June | 197,237.58 | 135,283.85 | 118,381.42 | 450,902.85 |
| July | 222,441.08 | 159,289.70 | 147,594.32 | 529,325.10 |
| August | 195,967.74 | 124,482.98 | 94,867.41 | 415,318.13 |
| September | 177,552.89 | 133,088.37 | 113,220.08 | 423,861.34 |
| October | 195,248.66 | 129,425.09 | 141,420.60 | 466,094.35 |
| November | 216,354.75 | 160,625.26 | 98,064.55 | 475,044.56 |
| December | 173,638.26 | 161,938.44 | 138,126.19 | 473,702.89 |
| Total | 2,342,291.19 | 1,695,657.99 | 1,634,282.30 | 5,672,231.48 |

ความต้องการพลังงานต่อวัน
พลังงานไฟฟ้าช่วง 08.00-16.00 น.

15,540 kWh/ day

| | |
|--------------------------------------|----------------|
| พลังงานเฉลี่ยช่วง Paek 9.00-16.00 น. | 3,265 kWh/ day |
| พลังงานเฉลี่ย ช่วง off Paek | 1,419 kWh |
| พลังงานรวม | 4,684 kWh |
| ชั่วโมงการทำงานของเซลล์สุริยะ | 4 h |
| ความต้องการพลังงานต่อวัน | 1,171 kW |

ตารางที่ 11 ความต้องการใช้พลังงานในแต่ละเดือนของโครงการที่ 2 ปี 2564

| ความต้องการใช้พลังงานในแต่ละเดือนของโครงการที่ 2 ปี 2564 | | | | |
|--|--------------|------------|------------|--------------|
| Month | หน่วย kWh | | | |
| | Peak | Off Peak | Holiday | Total |
| January | 128,505.60 | 92,317.80 | 87,587.40 | 308,410.80 |
| February | 99,832.20 | 71,455.20 | 84,836.40 | 256,123.80 |
| March | 121,672.80 | 73,160.40 | 64,839.00 | 259,672.20 |
| April | 108,390.60 | 78,566.40 | 86,430.60 | 273,387.60 |
| May | 103,156.80 | 70,700.80 | 173,857.60 | 266,609.20 |
| June | 119,014.80 | 84,338.40 | 78,193.20 | 281,546.40 |
| July | 116,418.60 | 75,706.80 | 76,305.00 | 268,430.40 |
| August | 109,161.98 | 68,693.80 | 53,141.00 | 230,996.78 |
| September | 106,610.40 | 81,018.00 | 63,820.80 | 251,449.20 |
| October | 113,107.80 | 69,211.85 | 71,167.20 | 253,486.85 |
| November | 125,464.80 | 76,200.60 | 50,434.80 | 252,100.20 |
| December | 101,302.20 | 67,390.20 | 70,990.00 | 239,682.40 |
| Total | 1,352,638.58 | 908,760.25 | 961,603.00 | 3,141,895.83 |

| | |
|--------------------------------------|----------------|
| ความต้องการพลังงานต่อวัน | 8,607 kWh/ day |
| พลังงานไฟฟ้าช่วง 08.0-16.00 น. | |
| พลังงานเฉลี่ยช่วง Paek 9.00-16.00 น. | 1,882 kWh/ day |
| พลังงานเฉลี่ย ช่วง off Paek | 757 kWh |
| พลังงานรวม | 2,640 kWh |

ชั่วโมงการทำงานของเซลล์สุริยะ

4 h

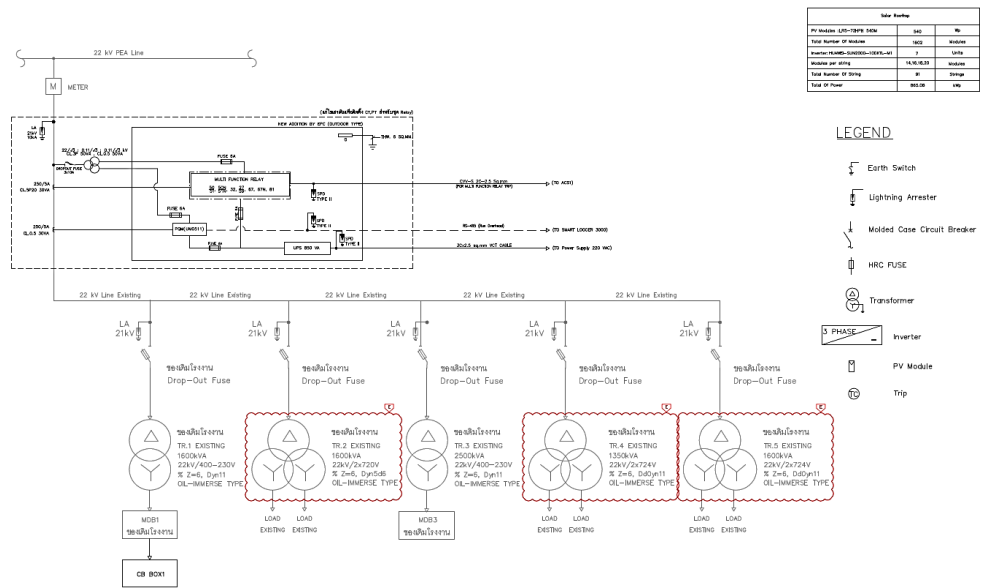
ความต้องการพลังงานต่อวัน

660.02 kW

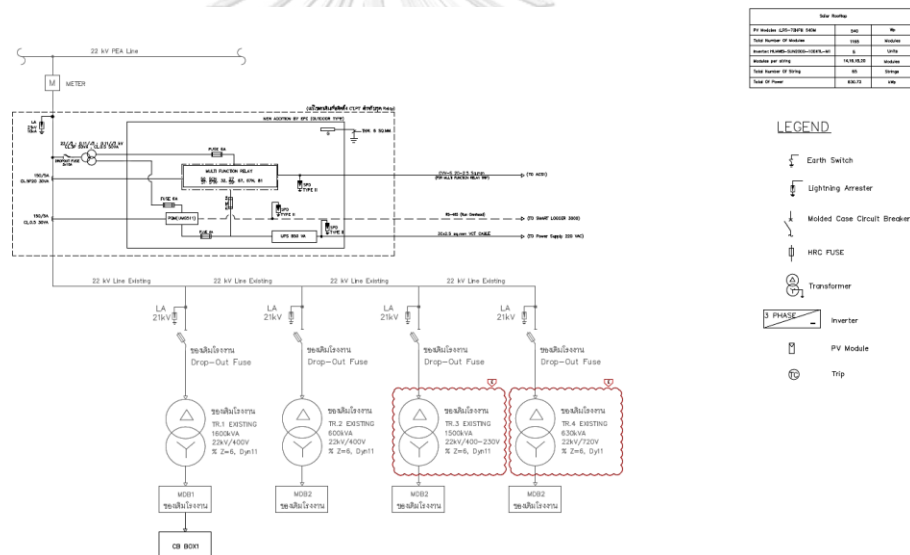
4.2 การออกแบบการติดตั้งเซลล์สุริยะ

4.2.1 กำลังการติดตั้งเซลล์สุริยะบนหลังคา

จากการวิเคราะห์ความต้องการการใช้พลังงานไฟฟ้า พบว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของโครงการที่ 1 ความต้องการพลังงานไฟฟ้าของโครงการที่ 1 เท่ากับ กิโลวัตต์ ดังนั้นจึงได้กำลังติดตั้งเซลล์สุริยะ 1,171 กิโลวัตต์ และโครงการที่ 1,1712 ความต้องการกำลังติดตั้งเซลล์สุริยะเท่ากับ 660.02 กิโลวัตต์ เนื่องจากการติดตั้งเซลล์สุริยะบนหลังคามีข้อจำกัดในเรื่องของพื้นที่การติดตั้งและโครงสร้างของ หลังคาจึงทำให้การติดตั้งไม่เพียงพอต่อความต้องการ โดยงานวิจัยนี้ได้ขนาดกำลังผลิตติดตั้งโครงการ ที่ กิโลวัตต์ และ 08.865 กำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 1 ติดตั้งในโรงงานที่ 1โครงการที่ 2 โรงงานที่ 2 กำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ กิโลวัตต์ โดยใช้แผงเซลล์สุริยะชนิด 72.630Mono-crystalline silicon ขนาด 1 มีจำนวน 1 วัตต์ต่อแผง โดยโครงการที่ 540,-16 แผง ต่ออนุกรมเพื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้า 602) แผง 18String) และต่อขนานเพื่อเพิ่มกระแสไฟฟ้า 14-12String ใน อินเวอร์เตอร์ โดยใช้ 1 กิโลวัตต์สูงสุด จำนวน 110 อินเวอร์เตอร์ขนาด 7 เครื่อง ด้วยมุมการติดตั้งองศาของเซลล์สุริยะที่ ส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าจึงได้เลือกใช้อินเวอร์เตอร์ขนาด 110 กิโลวัตต์ เพียง 7 เครื่อง และโครงการที่ 2มีจำนวน 1,แผงต่อ 18-16 แผง ต่ออนุกรมเพื่อเพิ่มแรงดันไฟฟ้า 168 String และต่อ ขนานเพื่อเพิ่มกระแสไฟฟ้า 14-12String ใน อินเวอร์เตอร์ 1ตัว โดยใช้อินเวอร์เตอร์ขนาด กิโลวัตต์ 110 สูงสุด จำนวน 5 เครื่อง จากนั้นเชื่อมต่อเพื่อจ่ายไฟฟ้าใช้งานเข้าทางด้านแรงดันต่ำของระบบไฟฟ้า เดิมของโรงงานตามรูปภาพที่ 29 , 30 ไดอะแกรมระบบไฟฟ้าโครงการที่ 1 และโครงการที่ 2 โดย ระบบดังกล่าวติดตั้งแล้วเสร็จและเริ่มจ่ายไฟฟ้าเมื่อเดือน กรกฎาคม 2565 (เขมณัญญ์ พรหมมินท์, 2562)

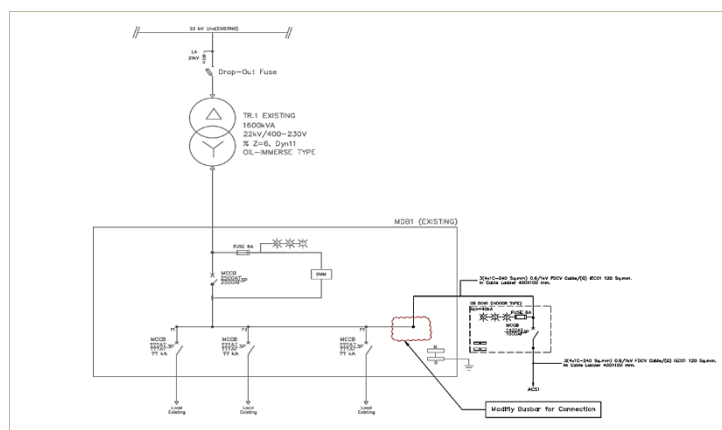


รูปภาพที่ 29 ไดอะแกรมระบบไฟฟ้าโครงการที่ 1 865.08 kWp.



รูปภาพที่ 30 ไดอะแกรมระบบไฟฟ้าโครงการที่ 2 865.08 kWp.

การเชื่อมต่อระบบเซลล์สุริยะ การเชื่อมต่อระบบเซลล์สุริยะกับระบบเดิมของโรงงาน คือการจ่ายไฟจากเซลล์สุริยะเพื่อใช้งานในสายการผลิต โดยจะทำการเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าเดิมของโรงงานที่ตู้ควบคุมไฟฟ้า (Main Distribution Board : MDB) ดังรูปภาพที่ 31



รูปภาพที่ 31 ไดอะแกรมการเชื่อมต่อระบบเซลล์สุริยะกับระบบเดิมของโรง

4.2.2 การประเมินกำลังการผลิตไฟฟ้าของเซลล์สุริยะติดตั้งบนหลังคา

เนื่องจากได้ผลกำลังการผลิตของเซลล์สุริยะ ขนาดของเซลล์สุริยะ ขนาดอินเวอร์เตอร์จากข้อที่ 4.2.1 นำข้อมูลมาใส่ใน โปรแกรม PVsyst เพื่อออกแบบการจัดกรุป string ของแผงเซลล์สุริยะ โดยโปรแกรม PVsyst เป็นการประเมินและวิเคราะห์ผลการผลิตพลังงานไฟฟ้าของโครงการนั้น ๆ (ฉัตรและคณะ, 2560) เป็นการคาดการณ์กำลังการผลิต ความเข้มแสง เงามตรงกระทบ และการสูญเสียในระบบต่าง ๆ ในระยะเวลา ปี เพื่อ 1 ช่วยในการตัดสินใจในการลงทุนสร้างโครงการพลังงานทดแทนจากเซลล์สุริยะ โดยตัวอย่างการวิเคราะห์ผลการผลิตไฟฟ้าของโครงการที่ 1 เป็นดังรูปภาพที่ 32 กำลังการผลิตไฟฟ้า โดยมีกำลังการผลิตที่ป้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ 1798กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตร มีประสิทธิภาพของแผง ณ. STC %17.21และรูปภาพที่ 34 ประเมินว่ากำลังการผลิตไฟฟ้าสูญเสียภายในระบบต่างๆ นำไปสู่การผลิตไฟฟ้าประมาณ 1, 197MWh. PR Ratio = %5.79 สำหรับโครงการที่ 2 กำลังการผลิตไฟฟ้า ดังรูปภาพที่ 34 โดยมีกำลังการผลิตที่ป้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ 1719 kWh/m² มีประสิทธิภาพของแผง ณ. STC 21.17% กำลังการผลิตสูญเสียภายในระบบต่างๆ ตามรูปภาพที่ 35 นำไปสู่การผลิตไฟฟ้าประมาณ 848 MWh. PR Ratio = 79.00 % หลังจากได้แบบกำลังติดตั้งแล้วเสร็จ เริ่มดำเนินการติดตั้งแล้วเสร็จตามรูปภาพที่ 36 และ 37 ระบบเซลล์สุริยะที่ติดตั้งบนหลังคาโครงการที่ 1 และโครงการที่ 2 ตามลำดับ



PVsyst V7.2.8

VC0, Simulation date:
11/11/21 15:25
with v7.2.8

Project: Solar Rooftop 865.08 kWp,

Variant: New simulation variant

LeKise Lighting Co., Ltd. (Thailand)

Main results

System Production

Produced Energy

1197 MWh/year

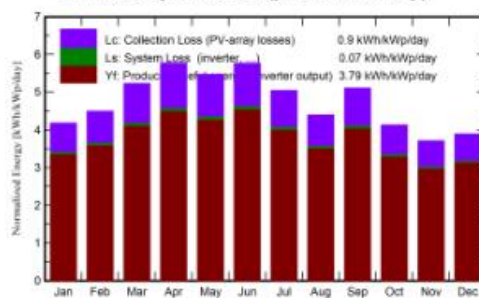
Specific production

1383 kWh/kWp/year

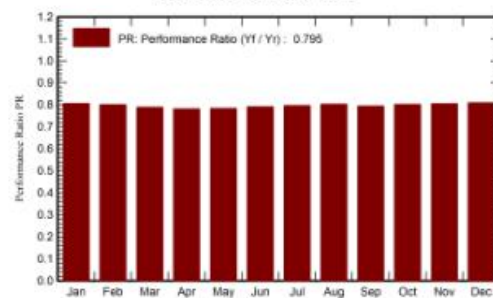
Performance Ratio PR

79.54 %

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



Balances and main results

| | GlobHor kWh/m ² | DiffHor kWh/m ² | T_Amb °C | GlobInc kWh/m ² | GlobEff kWh/m ² | EArray MWh | E_Grid MWh | PR ratio |
|-----------|-------------------------------|-------------------------------|-------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------|---------------|-------------|
| January | 135.0 | 63.18 | 25.37 | 129.6 | 121.8 | 92.1 | 90.4 | 0.806 |
| February | 129.6 | 71.93 | 27.64 | 125.9 | 119.0 | 88.8 | 87.2 | 0.801 |
| March | 165.2 | 89.78 | 29.72 | 162.0 | 153.9 | 112.7 | 110.6 | 0.789 |
| April | 174.9 | 86.22 | 30.31 | 173.3 | 165.0 | 119.5 | 117.1 | 0.781 |
| May | 169.5 | 84.77 | 29.84 | 169.6 | 161.4 | 117.3 | 115.0 | 0.784 |
| June | 172.0 | 82.74 | 28.91 | 173.0 | 164.7 | 120.6 | 118.2 | 0.790 |
| July | 156.1 | 86.43 | 28.82 | 156.5 | 148.7 | 109.8 | 107.7 | 0.796 |
| August | 137.6 | 88.87 | 28.38 | 136.2 | 129.0 | 96.3 | 94.5 | 0.802 |
| September | 156.2 | 72.31 | 27.67 | 153.2 | 145.5 | 107.3 | 105.2 | 0.794 |
| October | 131.5 | 74.45 | 28.11 | 127.9 | 121.1 | 90.4 | 88.7 | 0.801 |
| November | 115.2 | 63.71 | 26.60 | 111.2 | 104.8 | 78.9 | 77.4 | 0.805 |
| December | 125.7 | 63.24 | 25.38 | 120.6 | 113.3 | 86.0 | 84.4 | 0.809 |
| Year | 1768.4 | 927.63 | 28.06 | 1739.0 | 1648.2 | 1219.8 | 1196.5 | 0.795 |

Legends

GlobHor Global horizontal irradiation

DiffHor Horizontal diffuse irradiation

T_Amb Ambient Temperature

GlobInc Global incident in coll. plane

GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings

EArray Effective energy at the output of the array

E_Grid Energy injected into grid

PR Performance Ratio

รูปภาพที่ 32 การประเมินและวิเคราะห์ผลการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ โครงการจาก PVsyst

โครงการที่ 1

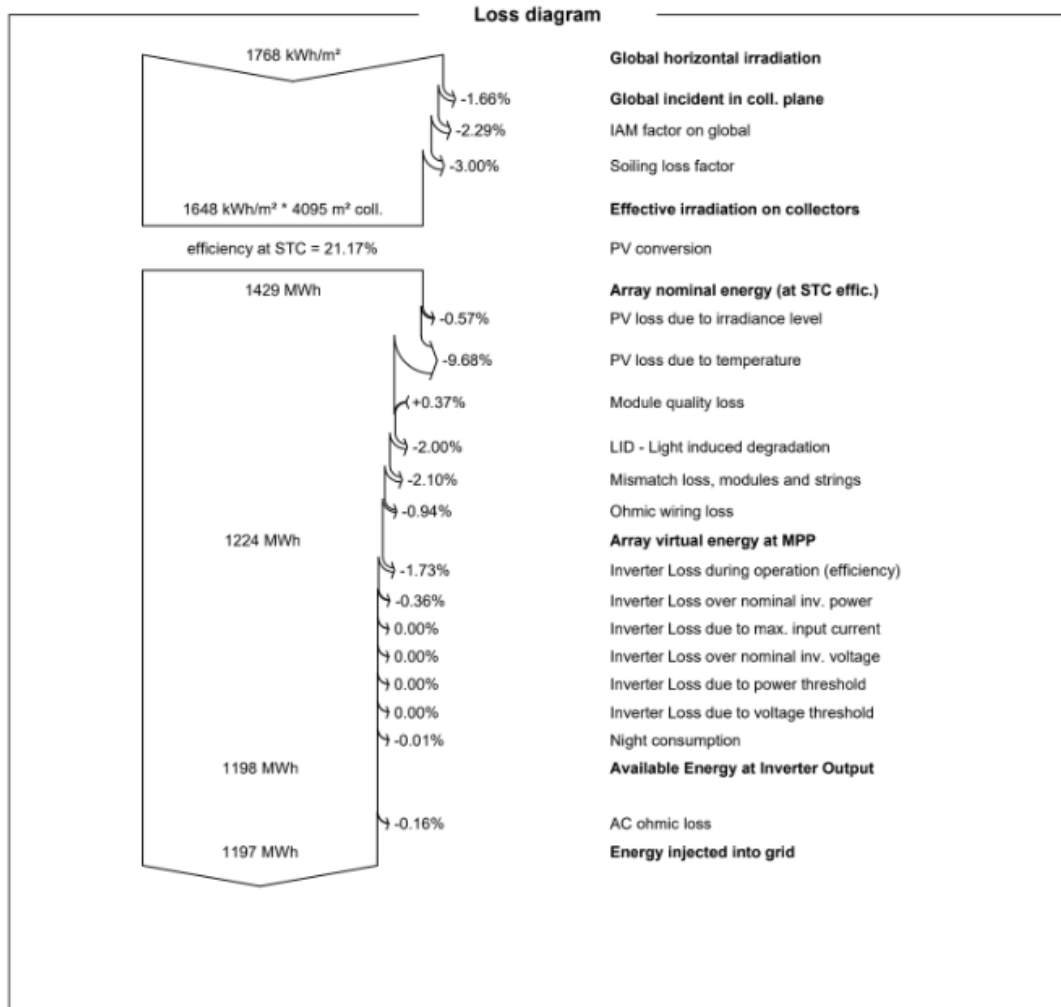


PVsyst V7.2.8
 VC0, Simulation date:
 11/11/21 15:25
 with v7.2.8

Project: Solar Rooftop 865.08 kWp,

Variant: New simulation variant

LeKise Lighting Co., Ltd. (Thailand)



รูปภาพที่ 33 การประเมินและวิเคราะห์การเสีพลังงานไฟฟ้าจาก PVsyst โครงการที่ 1



PVsyst V7.2.8

VC0, Simulation date:
11/11/21 15:11
with v7.2.8

Project: Solar Rooftop 630.72 kWp, CREATIVE POLYMERS LTD

Variant: New simulation variant

LeKise Lighting Co., Ltd. (Thailand)

Main results

System Production

Produced Energy

848.4 MWh/year

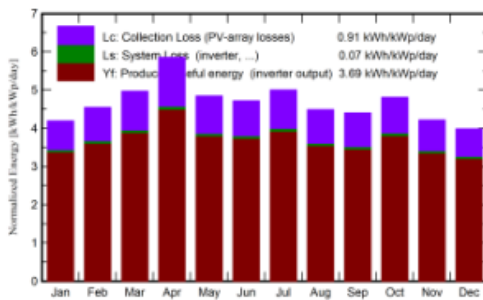
Specific production

1345 kWh/kWp/year

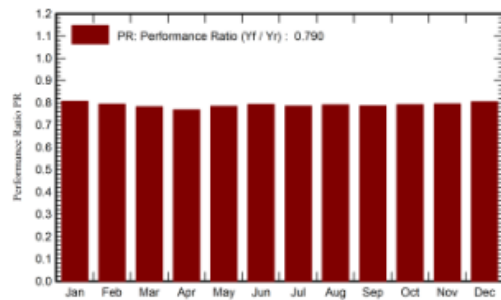
Performance Ratio PR

78.95 %

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



Balances and main results

| | GlobHor kWh/m ² | DiffHor kWh/m ² | T_Amb °C | GlobInc kWh/m ² | GlobEff kWh/m ² | EArray MWh | E_Grid MWh | PR ratio |
|-----------|-------------------------------|-------------------------------|-------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------|---------------|-------------|
| January | 130.5 | 73.74 | 25.71 | 129.9 | 122.6 | 67.33 | 66.12 | 0.807 |
| February | 128.3 | 69.45 | 27.09 | 127.2 | 120.6 | 64.88 | 63.70 | 0.794 |
| March | 155.3 | 85.73 | 28.85 | 154.0 | 146.2 | 77.43 | 76.01 | 0.782 |
| April | 176.9 | 82.81 | 29.81 | 175.6 | 167.2 | 86.74 | 85.13 | 0.769 |
| May | 152.6 | 92.39 | 30.18 | 150.2 | 142.3 | 75.68 | 74.32 | 0.785 |
| June | 142.7 | 88.54 | 29.38 | 141.5 | 134.1 | 72.06 | 70.77 | 0.793 |
| July | 156.3 | 86.66 | 29.13 | 155.1 | 147.3 | 78.25 | 76.82 | 0.785 |
| August | 140.6 | 86.40 | 28.89 | 139.1 | 132.0 | 70.67 | 69.40 | 0.791 |
| September | 132.9 | 74.68 | 27.54 | 132.0 | 125.3 | 66.70 | 65.47 | 0.786 |
| October | 150.3 | 79.65 | 27.49 | 149.1 | 141.6 | 75.88 | 74.48 | 0.792 |
| November | 127.1 | 60.08 | 26.82 | 126.5 | 119.7 | 64.67 | 63.47 | 0.795 |
| December | 125.0 | 66.74 | 26.11 | 123.6 | 116.8 | 63.92 | 62.77 | 0.805 |
| Year | 1718.5 | 946.89 | 28.09 | 1703.8 | 1615.8 | 864.22 | 848.45 | 0.790 |

Legends

- GlobHor Global horizontal irradiation
- DiffHor Horizontal diffuse irradiation
- T_Amb Ambient Temperature
- GlobInc Global incident in coll. plane
- GlobEff Effective Global, corr. for IAM and shadings
- EArray Effective energy at the output of the array
- E_Grid Energy injected into grid
- PR Performance Ratio

รูปภาพที่ 34 การประเมินและวิเคราะห์ผลการผลิตพลังงานไฟฟ้าของ โครงการจาก PVsyst
โครงการที่ 2

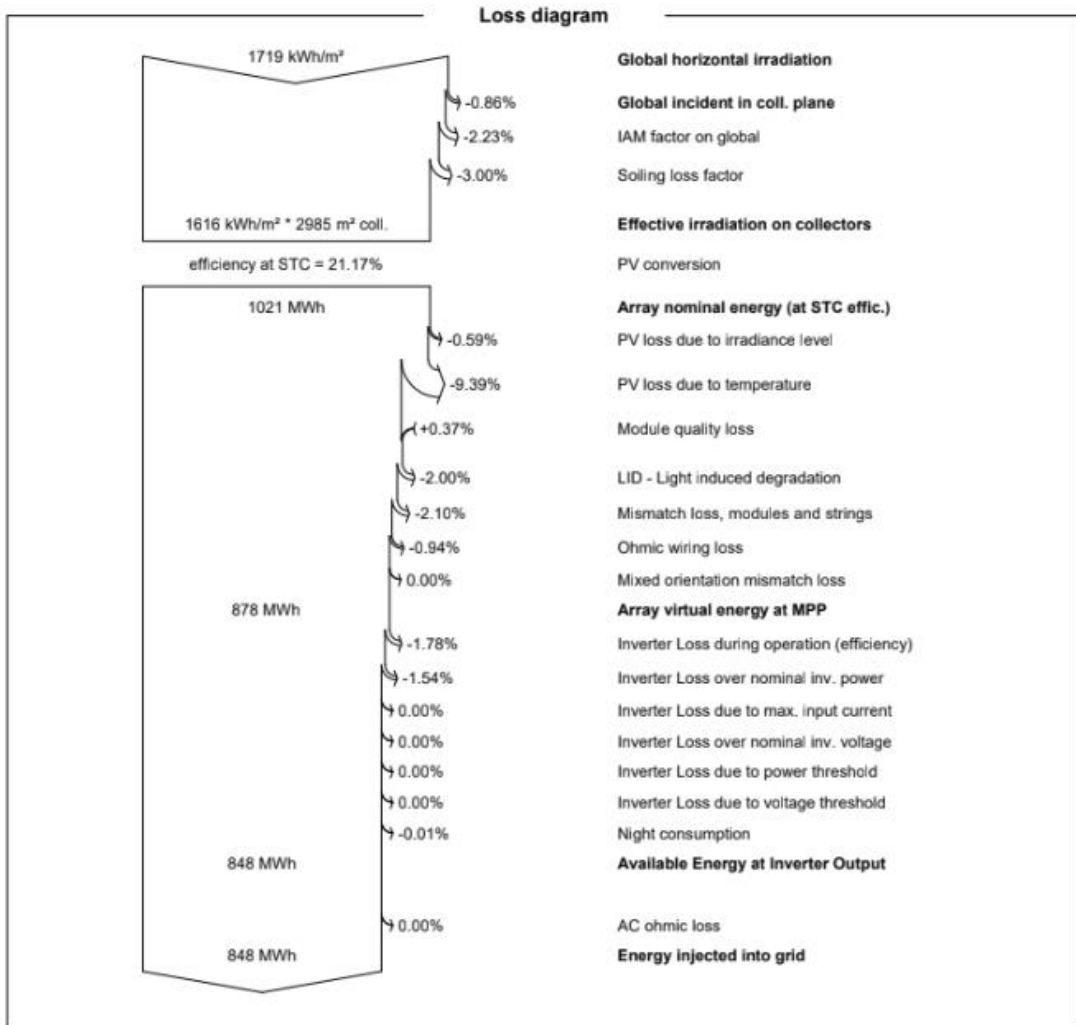


PVsyst V7.2.8
 VC0, Simulation date:
 11/11/21 15:11
 with v7.2.8

Project: Solar Rooftop 630.72 kWp, CREATIVE POLYMERS LTD

Variant: New simulation variant

LeKise Lighting Co., Ltd. (Thailand)



รูปภาพที่ 35 การประเมินและวิเคราะห์การเสี่ยพลังงานไฟฟ้าจาก PVsyst โครงการที่ 2



รูปภาพที่ 36 ระบบเซลล์สุริยะที่ติดตั้งบนหลังคาโครงการที่ 1



รูปภาพที่ 37 ระบบเซลล์สุริยะที่ติดตั้งบนหลังคาโครงการที่ 2

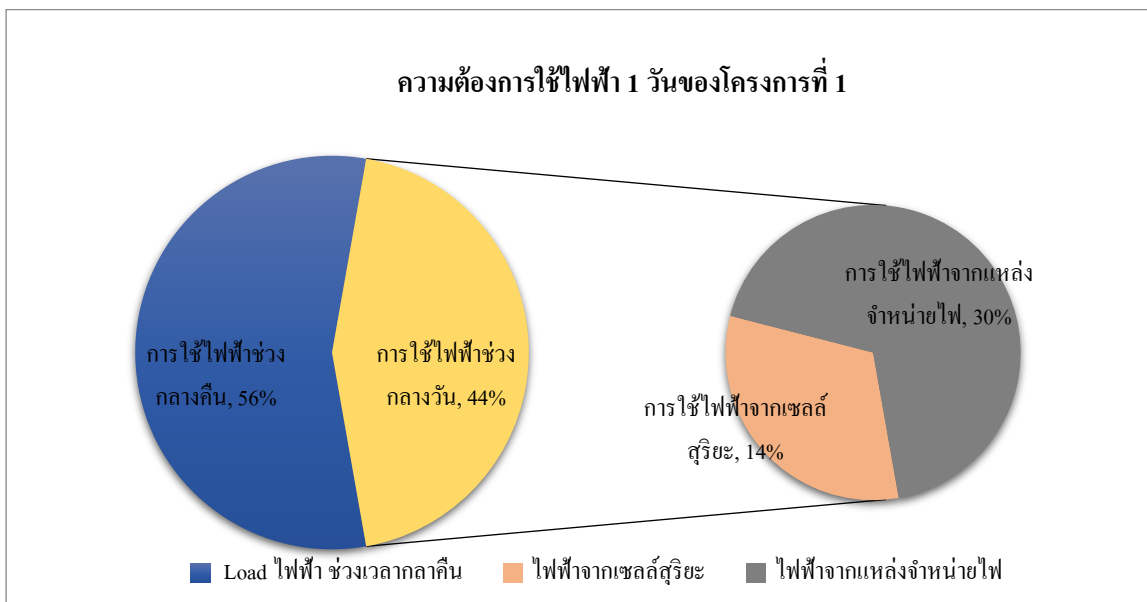
4.3 ผลการเก็บข้อมูลการผลิตไฟฟ้าของระบบเซลล์สุริยะติดตั้งบนหลังคา

หลังจากดำเนินการติดตั้งระบบเซลล์สุริยะทั้ง 2 โครงการแล้วเสร็จ ดำเนินการเก็บข้อมูลดังนี้

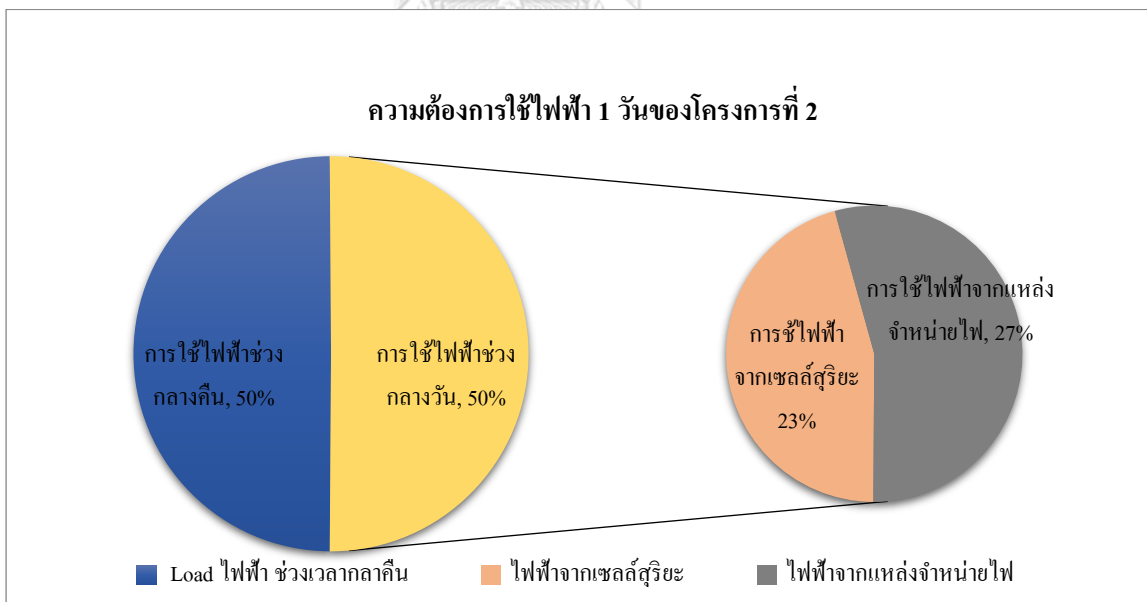
4.3.1 วิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยความต้องการพลังงานจากเซลล์สุริยะใน 1 วัน

โดยการเก็บข้อมูลหาค่าเฉลี่ยความต้องการพลังงานใน 1 วัน เปรียบเทียบกับผลผลิตของพลังงานทดแทนจากเซลล์สุริยะบนหลังคา โดยโครงการที่ 1 กำลังการติดตั้ง 865 kWp ดังภาพที่ 38 พบว่าความต้องการไฟฟ้าในช่วงกลางวันเป็น 44 % ของการใช้ไฟฟ้าทั้งวัน และไฟฟ้าจากเซลล์สุริยะสามารถใช้แทนการใช้ไฟฟ้าจากแหล่งจำหน่ายไฟ 14 % และโครงการที่ 2 มีกำลังการติดตั้ง 630 kWp ดังภาพที่ 39 พบว่าความต้องการไฟฟ้าในช่วงกลางวันเป็น 50 % ของการใช้ไฟฟ้าทั้งวันและไฟฟ้าจากเซลล์สุริยะสามารถใช้แทนการใช้ไฟฟ้าจากแหล่งจำหน่ายไฟ 23 % จากการวิเคราะห์การ

ใช้ไฟฟ้าเป็นช่วงเวลานี้ พบว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของโครงการที่ 1 ใช้ไฟฟ้าช่วงกลางคืนมากกว่ากลางวัน และจะส่งผลให้ดึงไฟฟ้าจากเซลล์สุริยะมาน้อยด้วยได้ สำหรับโครงการที่ 2 ใช้ไฟฟ้าทั้งกลางวันและกลางคืนเท่ากัน



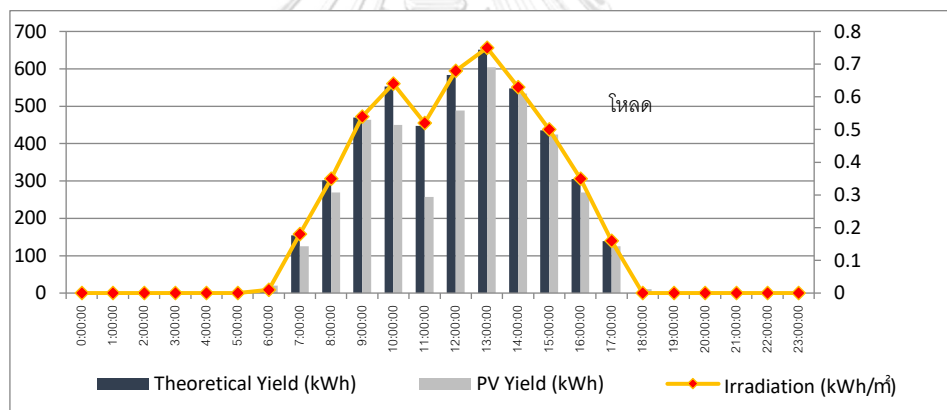
รูปภาพที่ 38 ภาพแผนภูมิวงกลมแสดงเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนโครงการที่ 1



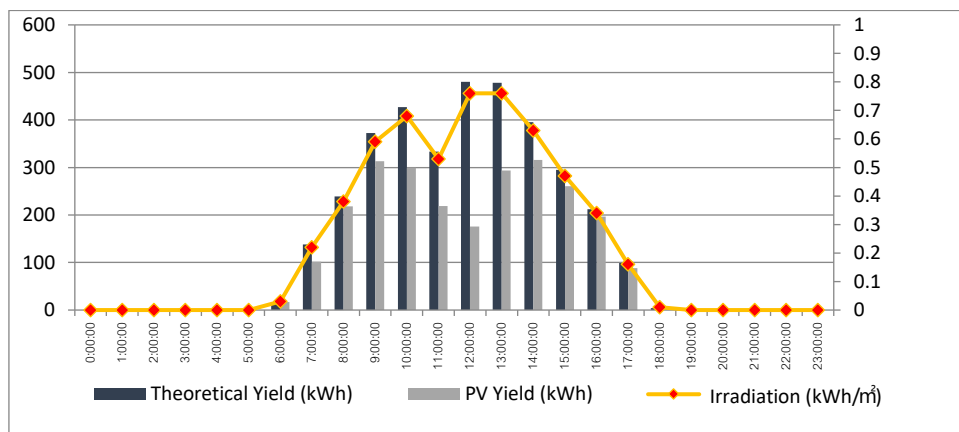
รูปภาพที่ 39 ภาพแผนภูมิวงกลมเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนโครงการที่ 2

จากการติดตั้งโครงการเซลล์สุริยะ จึงยกตัวอย่างการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์สุริยะเดือนสิงหาคม 2566 ซึ่งสามารถนำค่าพลังงานที่ผลิตได้เป็นเป็นความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการผลิตพลังงาน

ไฟฟ้าเทียบกับความเข้มแสง จากรูปภาพที่ 40 โครงการที่ 1 จะพบว่ากำลังการผลิตแปรผันตามความเข้มแสง สังเกตได้จากกราฟเส้นกับแผนภูมิแท่งสีน้ำเงิน คือกำลังไฟฟ้าที่ควรผลได้จากความเข้มแสงนั้นๆ ส่วนแผนภูมิแท่งสีเทาคือที่ระบบเซลล์สุริยะผลิตมาจ่ายโหลดของโรงงาน และจะเห็นได้ชัดในเวลา 11.00 น. ว่ากำลังการผลิตน้อยลง ซึ่งเป็นเวลาพักเที่ยงของโครงการที่ 1 ที่ไม่มีการผลิต แต่ยังคงมีการใช้ไฟฟ้าในส่วนของสำนักงาน นั้นแสดงให้เห็นว่าโหลดที่ใช้ในโรงงานก็มีส่วนของการผลิต กำลังการผลิตสูงสุด 4,597 กิโลวัตต์ชั่วโมงของการติดตั้ง และนำไปใช้ที่ 4,040 กิโลวัตต์ชั่วโมง โดยมีความเข้มแสงที่ 531 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตร และจากรูปภาพที่ 41 ของโครงการที่ 2 กำลังการผลิตสูงสุด 3,489 กิโลวัตต์ชั่วโมงของการติดตั้ง และนำไปใช้ที่ 2,506 กิโลวัตต์ชั่วโมง โดยมีความเข้มแสงที่ 553 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตร ที่กำลังการผลิตจ่ายให้โหลดกับกำลังผลิตที่ความเข้มแสงที่ 553 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตร ที่กำลังการผลิตจ่ายให้โหลดกับกำลังผลิตที่ความเข้มแสงที่ 553 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตร จะผลิตได้ของระบบเซลล์สุริยะ ณ. ความเข้มแสงนั้นๆ เนื่องจากโครงการที่ 2 มีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่ากำลังการผลิตของระบบเซลล์สุริยะ โดยค่าข้อมูลนี้เป็นกำลังการผลิตมากที่สุดตั้งแต่ทำการขนานระบบนำมาเป็นค่ามาตรฐานของการผลิตไฟฟ้าของโครงการทั้ง 2 โครงการได้



รูปภาพที่ 40 ตัวอย่างการผลิตกำลังไฟฟ้าของเซลล์สุริยะโครงการที่ 2565 .ส.ค 23 วันที่ 1



รูปภาพที่ 41 ตัวอย่างการผลิตกำลังไฟฟ้าของเซลล์สุริยะโครงการที่ 2 วันที่ 2565 .ส.ค 23

4.3.2 ผลดำเนินการเก็บข้อมูลการผลิตไฟฟ้าของระบบเซลล์สุริยะหลังการติดตั้งบนหลังคา

4.3.2.1 ผลการเก็บข้อมูลการผลิตไฟฟ้าของระบบเซลล์สุริยะ

ผลการเก็บข้อมูลการผลิตไฟฟ้าของระบบเซลล์สุริยะ หลังดำเนินการติดตั้งและเปิดระบบจ่ายไฟเมื่อเดือนกรกฎาคม ปี 2565 ทั้ง 2 โครงการ โดยข้อมูลชุดนี้เก็บข้อมูลการผลิตกำลังไฟฟ้าของระบบเซลล์สุริยะตั้งแต่เดือน สิงหาคม 2565 – เมษายน 2566 เป็นระยะเวลา 12 เดือน เพื่อวิเคราะห์ผลการผลิตไฟฟ้าของระบบพลังงานและการนำไปใช้ให้เกิดประสิทธิภาพ ตารางที่ 12 ข้อมูลการผลิตไฟฟ้าของระบบเซลล์สุริยะในแต่ละเดือนของโครงการที่ 1 กำลังติดตั้ง 865.08 กิโลวัตต์ โดยพบว่าสามารถผลิตกำลังไฟฟ้า 906,648 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี ค่าสมรรถนะของระบบเฉลี่ยร้อยละ 74.23 ประหยัดค่าไฟฟ้า 3,427,129 บาทต่อปี และตารางที่ 13 กำลังการผลิตไฟฟ้าของเซลล์สุริยะของโครงการที่ 2 พบว่ากำลังติดตั้งที่ 630.72 กิโลวัตต์ สามารถผลิตกำลังไฟฟ้า 591,713 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี ค่าสมรรถนะของระบบเฉลี่ยร้อยละ 63.88 ประหยัดค่าไฟฟ้า 2,236,676 บาทต่อปี จากค่าสมรรถนะระบบเซลล์สุริยะโครงการที่ 2 พบว่าค่ากำลังการผลิตไฟฟ้าและประสิทธิภาพการผลิตน้อยกว่าที่ประเมินในการออกแบบไว้ในข้อ 4.2.2 การประเมินกำลังการผลิตไฟฟ้าของเซลล์สุริยะติดตั้งบนหลังคา

ตารางที่ 12 ข้อมูลการผลิตไฟฟ้าของระบบเซลล์สุริยะในแต่ละเดือนของโครงการที่ 1

| month | PV Yield (kWh) | Loss Due to Export Limitation (kWh) | Use Performance Ratio (%) | Saving cast (Baht) |
|--------|-------------------|--|---------------------------------|-----------------------|
| Aug_65 | 80,582 | 5,797 | 90.98 | 304,600 |
| Sep_65 | 60,668 | 3,274 | 88.05 | 229,323 |
| Oct_65 | 79,717 | 9,220 | 84.60 | 301,330 |
| Nov_65 | 74,867 | 7,127 | 87.89 | 282,998 |
| Dec_65 | 75,996 | 14,371 | 71.97 | 287,264 |
| Jan_66 | 72,844 | 17,607 | 74.01 | 275,348 |
| Feb_66 | 70,358 | 14,892 | 75.68 | 265,952 |
| Mar_66 | 84,563 | 19,178 | 71.29 | 319,648 |
| Apr_66 | 67,072 | 19,088 | 60.42 | 253,532 |
| May_66 | 86,076 | 21,559 | 65.33 | 325,369 |
| Jun_66 | 82,295 | 12,137 | 71.56 | 311,074 |
| Jul_66 | 71,612 | 13,352 | 73.11 | 270,692 |
| Total | 906,648 | 157,602 | 74.23 | 3,427,129 |

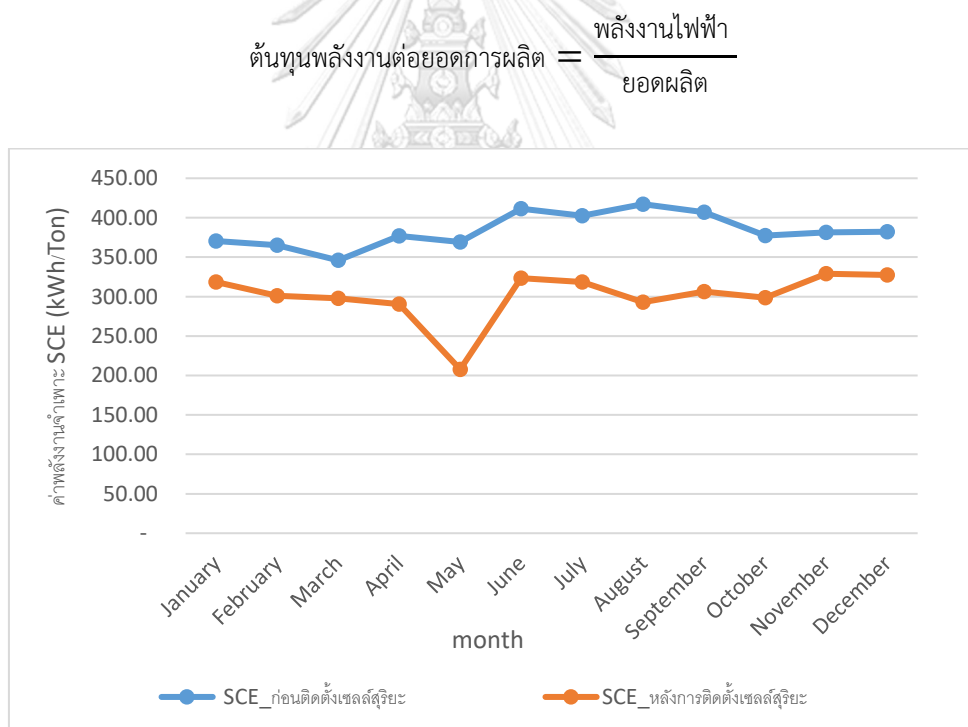
ตารางที่ 13 ข้อมูลการผลิตไฟฟ้าของระบบเซลล์สุริยะในแต่ละเดือนของโครงการที่ 2

| month | PV Yield (kWh) | Loss Due to Export Limitation (kWh) | Use Performance Ratio (%) | Saving cast (Baht) |
|--------|-------------------|--|---------------------------------|-----------------------|
| Aug_65 | 52,554 | 8,048 | 79.70 | 198,655 |
| Sep_65 | 41,192 | 5,384 | 81.35 | 155,707 |
| Oct_65 | 44,061 | 15,562 | 63.05 | 166,550 |
| Nov_65 | 48,322 | 10,397 | 74.02 | 182,658 |
| Dec_65 | 48,653 | 16,432 | 61.51 | 183,909 |
| Jan_66 | 50,312 | 17,282 | 67.48 | 190,179 |
| Feb_66 | 48,903 | 14,079 | 69.34 | 184,855 |
| Mar_66 | 59,765 | 16,899 | 65.65 | 225,911 |
| Apr_66 | 41,807 | 19,668 | 52.42 | 158,030 |
| May_66 | 52,871 | 24,027 | 54.95 | 199,854 |
| Jun_66 | 55,208 | 14,915 | 63.31 | 208,686 |
| Jul_66 | 48,064 | 13,439 | 63.58 | 181,681 |
| Total | 591,713 | 176,135 | 63.88 | 2,236,676 |

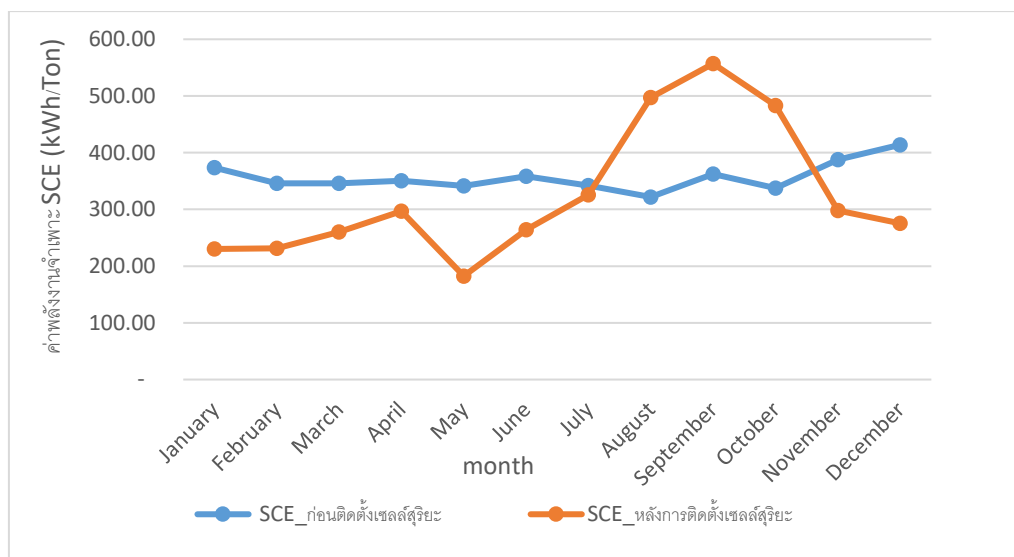
4.3.2.2 เปรียบเทียบต้นทุนพลังงานกับยอดการผลิตก่อนและหลังการติดตั้งเซลล์สุริยะ

จากตารางที่ 4 ต้นทุนพลังงานกับยอดผลิตจึงได้ทำมาเปรียบเทียบก่อนและหลังการติดตั้งเซลล์สุริยะการผลิตเซลล์สุริยะใช้งานไฟฟ้าในสายการผลิตของทั้ง 2 โครงการ ดังนั้นการศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าของโครงการจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก เพื่อการออกแบบกำลังการผลิตให้เหมาะสมกับสถานประกอบการ จากการศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าของโครงการโดยการใช้พลังงานไฟฟ้าเทียบกับยอดผลิตหน่วยเป็นต้นในปี 2564 ก่อนการติดตั้งเซลล์สุริยะของโครงการที่ 1 พบว่ามีต้นทุนพลังงานเฉลี่ย 383.95 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตัน และเมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนพลังงานหลังการติดตั้งเซลล์สุริยะ พบว่ามีค่าเฉลี่ยลดลงที่ 300.98 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตันโดยเป็นข้อมูลหลังการติดตั้งเซลล์สุริยะช่วงเดือนสิงหาคม 2565-กรกฎาคม 2566 นั้นหมายความว่า การติดตั้งเซลล์สุริยะทำให้ลด

ต้นทุนพลังงานได้ โดยแสดงให้เห็นดังภาพที่ 42 กราฟเปรียบเทียบต้นทุนพลังงานกับยอดการผลิตก่อนและหลังการติดตั้งเซลล์สุริยะโครงการที่ 1 โดยกราฟเส้นสีน้ำเงินเป็นค่าต้นทุนพลังงานต่อยอดผลิตก่อนการติดตั้งเซลล์สุริยะและกราฟเส้นสีแดงแสดงค่าต้นทุนพลังงานหลังการติดตั้งเซลล์สุริยะ ส่วนโครงการที่ 2 พบว่ามีต้นทุนพลังงานเฉลี่ย 356.85 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตัน และเมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนพลังงานหลังการติดตั้งเซลล์สุริยะ พบว่ามีค่าเฉลี่ยลดลงที่ 325.12 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตัน การติดตั้งเซลล์สุริยะทำให้ลดต้นทุนพลังงานได้ โดยแสดงให้เห็นดังภาพที่ 43 กราฟเปรียบเทียบต้นทุนพลังงานกับยอดการผลิตก่อนและหลังการติดตั้งเซลล์สุริยะโครงการที่ 2 พบว่าในช่วงเดือนสิงหาคม-ตุลาคม ของปีหลังการติดตั้งพบว่ามีค่าต้นทุนพลังงานที่สูงกว่าค่าพลังงานก่อนการติดตั้ง อันเนื่องมาจากในกระบวนการผลิตของโรงงานโครงการที่ 2 นั้นไม่มียอดผลิตหรือไลน์ผลิตน้อยไม่ได้ผลิตทุกไลน์แต่ยังใช้พลังงานไฟฟ้าจากเครื่องจักรหลักในการจ่ายไฟอยู่ เช่น เครื่องอัดอากาศที่ใช้ในหลายไลน์ไม่สามารถปิดได้ จึงทำให้ต้นทุนพลังงานในช่วงดังกล่าวสูง แต่อย่างไรก็ตามค่าเฉลี่ยโดยรวมของการติดตั้งก็ยังน้อยกว่าต้นทุนพลังงานก่อนการติดตั้ง



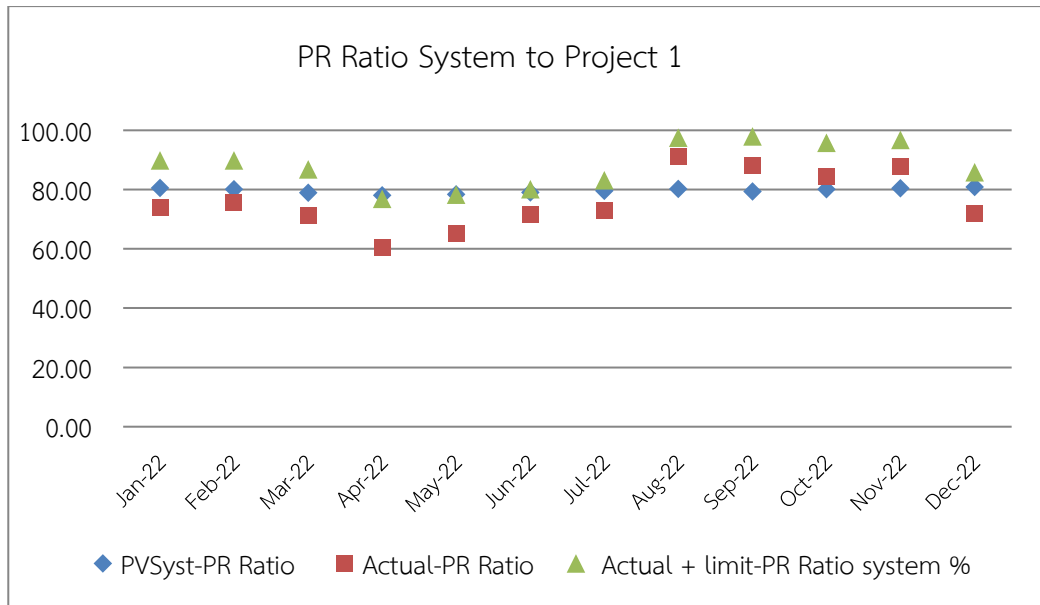
รูปภาพที่ 42 กราฟเปรียบเทียบต้นทุนพลังงานกับยอดการผลิตก่อนและหลังการติดตั้งเซลล์สุริยะโครงการที่ 1



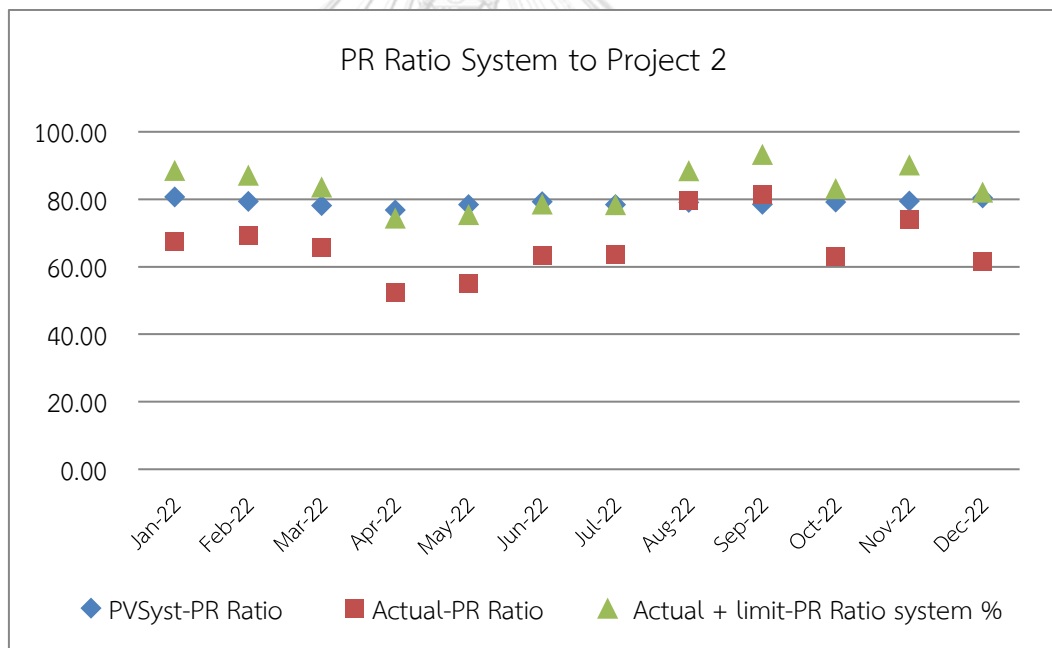
รูปภาพที่ 43 กราฟเปรียบเทียบต้นทุนพลังงานกับยอดการผลิตก่อนและหลังการติดตั้งเซลล์สุริยะ
โครงการที่ 2

4.3.3 สมรรถนะของระบบเซลล์สุริยะ

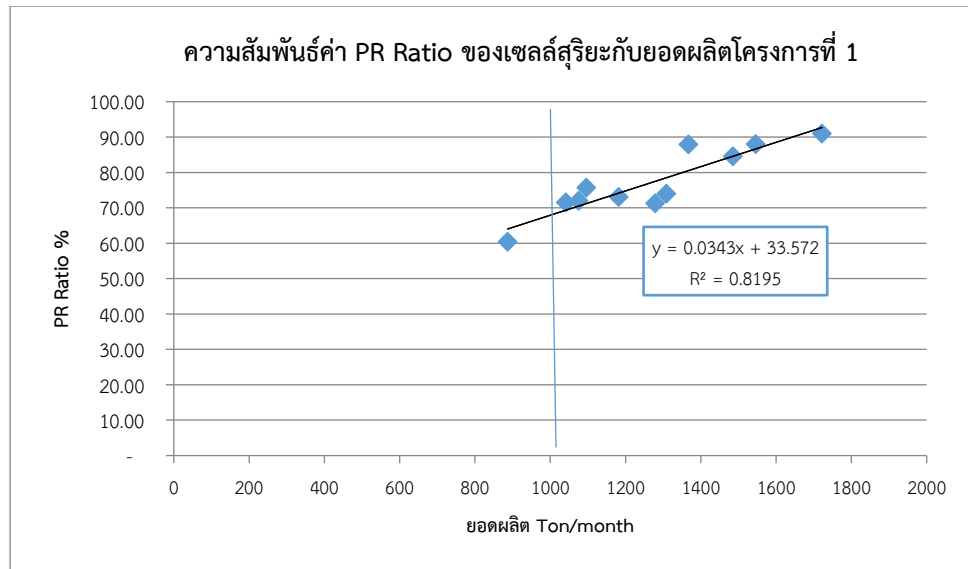
การวิเคราะห์การผลิตไฟฟ้าของระบบเซลล์สุริยะของทั้ง 2 โครงการ พบว่าค่าสมรรถนะของระบบเซลล์สุริยะน้อยกว่าที่ประเมินก่อนการติดตั้งโดยจะแสดงให้เห็นในรูปภาพที่ 44 และ 45 สมรรถนะของระบบเซลล์สุริยะโครงการ(เอกพันธ์ ผัดศรี, 2561) โดยกราฟจุดสีน้ำเงิน คือ ค่าสมรรถนะของระบบเซลล์สุริยะจากการประเมิน จุดสีแดง คือค่าสมรรถนะของระบบเซลล์สุริยะที่ใช้จริง และจุดสีเขียว คือค่าสมรรถนะตามค่าพลังงานที่รวมลิมิตของอินเวอร์เตอร์ จากโครงการที่ 1 และโครงการที่ 2 พบว่าสมรรถนะของระบบต่ำกว่าที่ประเมิน ดูจากกราฟจุดสีแดงที่อยู่ต่ำสุดของกราฟจุด และเมื่อทำการศึกษาหาสาเหตุค่าสมรรถนะที่ต่ำมาก และพบว่าเนื่องจากความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าของสถานประกอบการลดค่าสมรรถนะของระบบก็ลดลงเช่นเดียวกัน และสามารถแสดงเป็นสมการความสัมพันธ์ค่าสมรรถนะที่แปรผันตามยอดผลิต(Younis & Alhorr, 2021) ที่โครงการที่ 1 จากรูปภาพที่ 46 ได้ $y = 0.0343x + 33.572$, $R^2 = 0.8195$ สำหรับโครงการที่ 2 ค่าความสัมพันธ์ค่าสมรรถนะที่แปรผันตามยอดผลิตนั้นยังไม่ได้แปรผันตามยอดผลิตโดยมีสมการ $y = 0.0183x + 54.554$, $R^2 = 0.1789$ ตามรูปภาพที่ 47 เนื่องจากการผลิตส่วนใหญ่ของโครงการที่ 2 ผลิตในช่วงกลางคืนร้อยละ 50-60



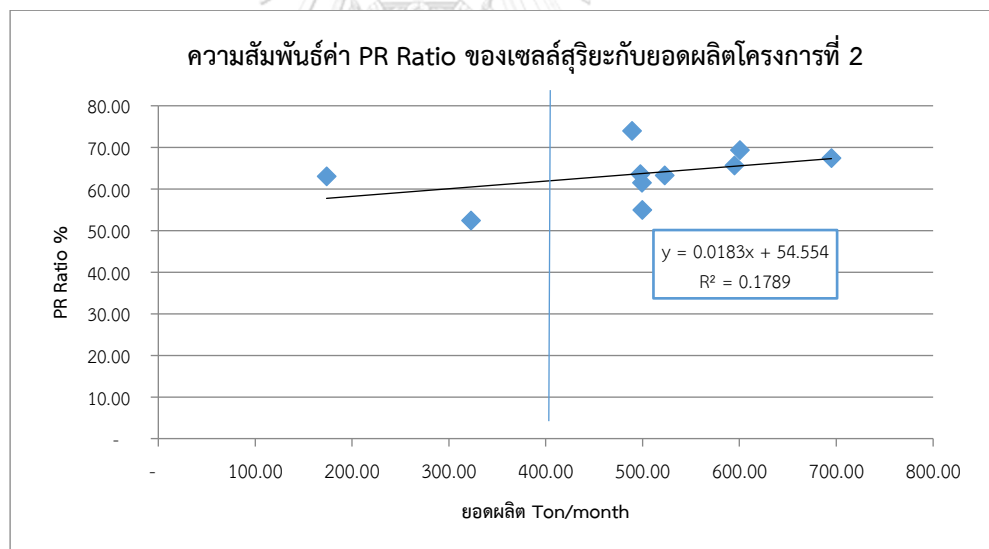
รูปภาพที่ 44 ค่าสมรรถนะของระบบเซลล์สุริยะโครงการที่ 1



รูปภาพที่ 45 ค่าสมรรถนะของระบบเซลล์สุริยะโครงการที่ 2



รูปภาพที่ 46 ความสัมพันธ์ค่าสมรรถนะที่แปรผันตามยอดผลิตโครงการที่ 1



รูปภาพที่ 47 ความสัมพันธ์ค่าสมรรถนะที่แปรผันตามยอดผลิตโครงการที่ 2

จากการความสัมพันธ์ค่าสมรรถนะที่แปรผันตามยอดผลิตของโรงงาน ทางโรงงานควรผลิตแผนให้เหมาะสมและเพื่อใช้ประโยชน์จากพลังงานทดแทนให้สูงสุด เช่น กำหนดเกณฑ์ขั้นต่ำของผลผลิตโรงงานที่ 1 หากมีการผลิตต่ำกว่า 1000 ตัน และผลผลิตโรงงานที่ 2 ต่ำกว่า 400 ตัน ควรกำหนดแผนการผลิตที่เหมาะสม

4.3.4 กำลังไฟฟ้าที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์ เมื่อเทียบกับกำลังติดตั้ง

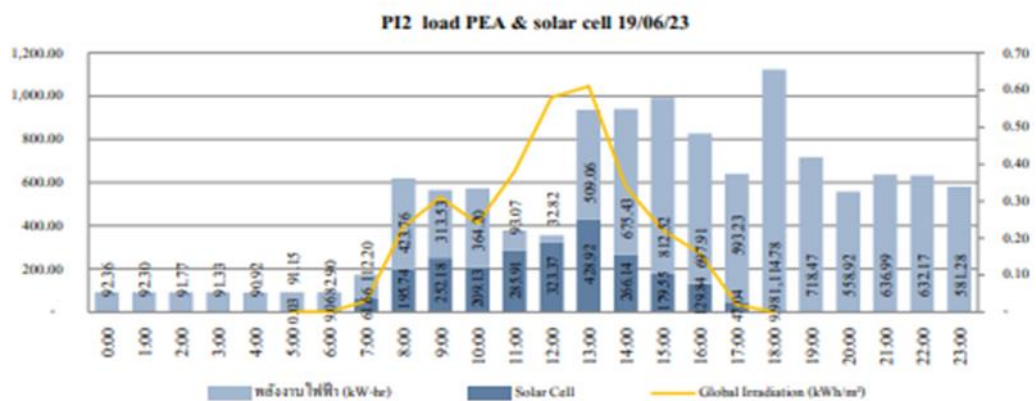
พลังงานที่อินเวอร์เตอร์จำกัด สามารถเก็บผลได้จากค่าการหรีของอินเวอร์เตอร์ จากโปรแกรม FulsionSolalจากการเก็บผลการทดลองการใช้ระบบพลังงานทดแทนจากเซลล์สุริยะ บนหลังคา ที่ดำเนินการติดตั้งทั้ง 2 โครงการ และพบว่าทั้ง 2 โครงการมีค่าสมรรถนะของระบบต่ำสุด ที่ร้อยละ 60 และร้อยละ 52 จากตารางที่ 14 และ 15 ในโครงการที่ 1 และโครงการที่ 2 จากกราฟที่ 4-26 เนื่องจากการผลิตลดลง ส่งผลให้ PR ลดลง นั้นหมายความว่ากำลังที่ติดตั้งไปมากกว่าความต้องการการใช้ไฟฟ้าของทางโรงงานลดลง ดังนั้นค่าพลังงานไฟฟ้าที่ไม่มีการใช้ประโยชน์ที่โครงการที่ 1 ตลอดระยะเวลา 10 เดือนรวม 134,875 กิโลวัตต์ชั่วโมง คิดเป็นเงิน 493,643 บาท คิดเป็นยอดผลิตเท่ากับ 210 ตันจากสมการที่ตามกราฟที่ $y = 319.17x + 67,798$ ที่ y เท่ากับกำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์ชั่วโมง) และ x เท่ากับยอดผลิต(ตัน) ของโครงการที่ 1 และโครงการที่ 2 รวม 152,576 กิโลวัตต์ชั่วโมง คิดเป็นเงิน 558,428 บาท เป็นยอดผลิตเท่ากับ 359 ตัน จากสมการ $y = 249.54x + 46889$ ของโครงการที่ 1

ตารางที่ 14 กำลังไฟฟ้าที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์ของโครงการที่ 2 และ 1

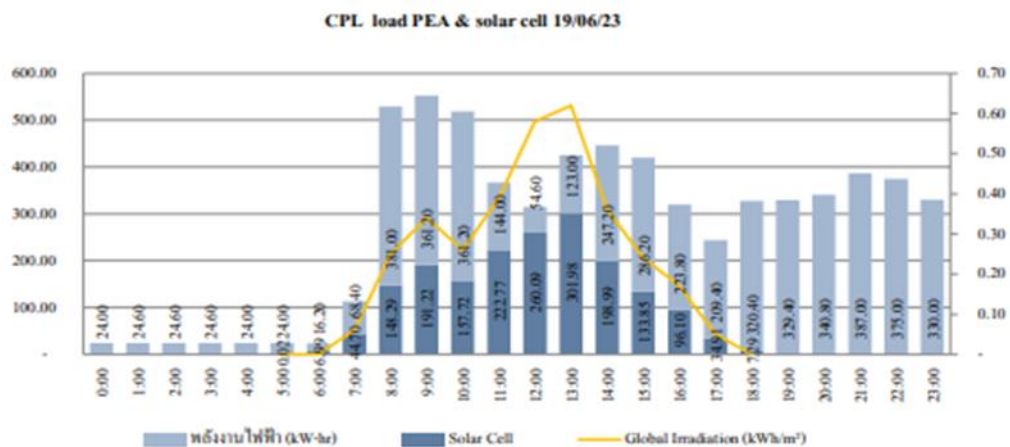
| เดือน/ปี | กำลังไฟฟ้าที่ไม่ได้ใช้ โครงการที่ 1 (kWh) | กำลังไฟฟ้าที่ไม่ได้ใช้โครงการ ที่ 2 (kWh) |
|----------|--|--|
| ส.ค.-22 | 5,734 | 8,013 |
| ก.ย.-22 | 3,202 | 5,369 |
| ต.ค.-22 | 9,191 | 15,562 |
| พ.ย.-22 | 7,099 | 10,397 |
| ธ.ค.-22 | 14,365 | 16,422 |
| ม.ค.-23 | 17,590 | 17,254 |
| ก.พ.-23 | 14,892 | 14,079 |
| มี.ค.-23 | 19,178 | 16,899 |
| เม.ย.-23 | 19,088 | 19,667 |
| พ.ค.-23 | 24,536 | 28,913 |
| รวม | 134,875 | 152,576 |

4.3.5 การย้ายการผลิตของโรงงาน เพื่อใช้ไฟฟ้าจากเซลล์สุริยะอย่างมีประสิทธิภาพ

เนื่องจากค่าพลังงานที่ไม่ได้ใช้ 134,875 กิโลวัตต์ชั่วโมง และ 152,576 กิโลวัตต์ชั่วโมง จากตารางที่ 14 ที่โครงการ 1 และ 2 ได้ดำเนินการย้ายการผลิตในช่วงพักเที่ยง พบว่าดึงไฟฟ้าจากเซลล์สุริยะมาใช้ 323 กิโลวัตต์ชั่วโมงเป็นเงิน 1,180 บาท และโครงการที่ 2 260 กิโลวัตต์ชั่วโมง เป็นเงิน 950 บาท ซึ่งจะพบว่าเซลล์สุริยะสามารถผลิตไฟฟ้าในช่วงเที่ยงได้สูง อย่างไรก็ตามกำลังการผลิตก็ขึ้นอยู่กับค่าความเข้มแสงด้วย หากช่วงพักเที่ยงไม่มีการผลิตในไลน์ผลิต ก็สามารถเก็บพลังงานในแหล่งกักเก็บได้อีกด้วย



รูปภาพที่ 48 การใช้ไฟฟ้าในช่วงพักเที่ยงจากการการย้ายการผลิตของโครงการที่ 1

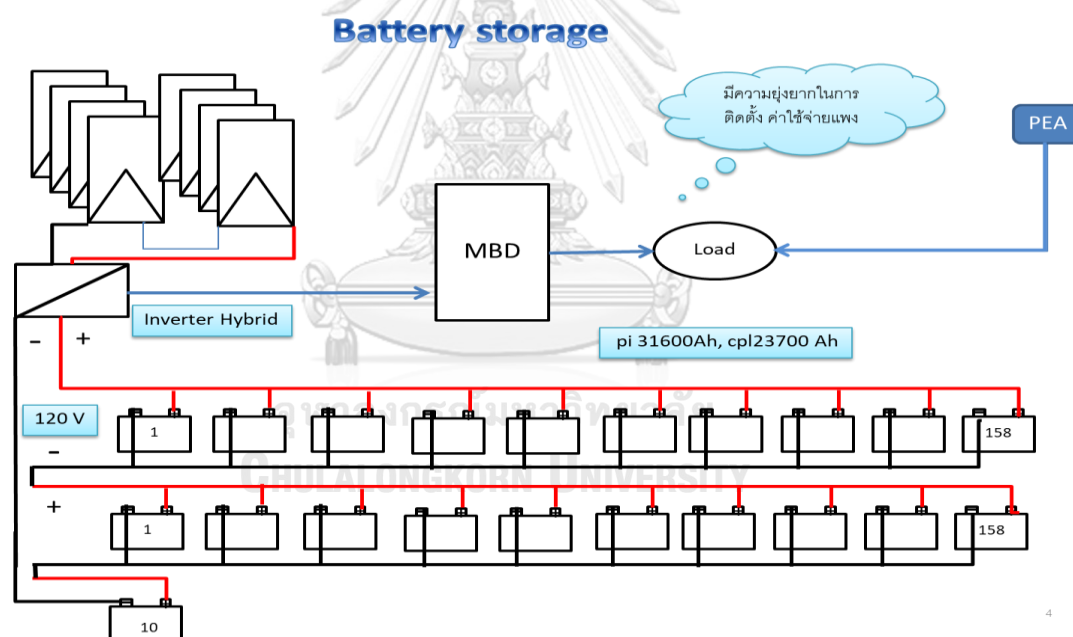


รูปภาพที่ 49 การใช้ไฟฟ้าในช่วงพักเที่ยงจากการการย้ายการผลิตของโครงการที่ 2

4.3.6 แหล่งกักเก็บพลังงาน

เนื่องจากงานวิจัยนี้พบเห็นค่าพลังงานไฟฟ้าที่ไม่ได้ใช้จากระบบเซลล์สุริยะหรือค่าพลังงานที่อินเวอร์เตอร์สั่งปรับลด จึงนำเสนอแหล่งกักเก็บพลังงานเป็น 2 แบบดังนี้

4.3.6.1 แบตเตอรี่ โดยโครงการที่ 1 พบพลังงานที่เหลือในพักเที่ยง 170 กิโลวัตต์ชั่วโมง และวันหยุด 3,783 กิโลวัตต์ชั่วโมง จากข้อที่ 4.1.1.2 นำมาลบกับกำลังการติดตั้งของโครงการ โดยพบว่าโครงการที่ 1 ที่วันหยุดจะพบพลังงานไฟฟ้าที่ไม่ได้ใช้เท่ากับ 3,783 กิโลวัตต์ชั่วโมง 3 คำนวณแบตเตอรี่ได้ดังนี้ ขนาด Battery Deep Cycle 200 Ah 120 V ขนาดความจุของแบตเตอรี่เท่ากับ 31,600 Ah โดยต่อขนานกัน 158 ลูก จำนวน 10 ชุดและต่ออนุกรมกัน โดย Battery Deep Cycle 200 Ah 12 V มีราคา 9,000 บาทต่อลูก 14,220,000 บาท ระยะเวลาคืนทุน 14 ปี และโครงการที่ 2 พลังงานในวันหยุด 2,841 กิโลวัตต์ชั่วโมง ขนาดความจุของแบตเตอรี่ 23,700 Ah โดยได้ต่อขนานกัน 119 ลูก 10 ชุด และต่ออนุกรมกัน เงินลงทุน 10,710,000 บาท ระยะเวลาคืนทุน 12 ปี ดังภาพที่ 50

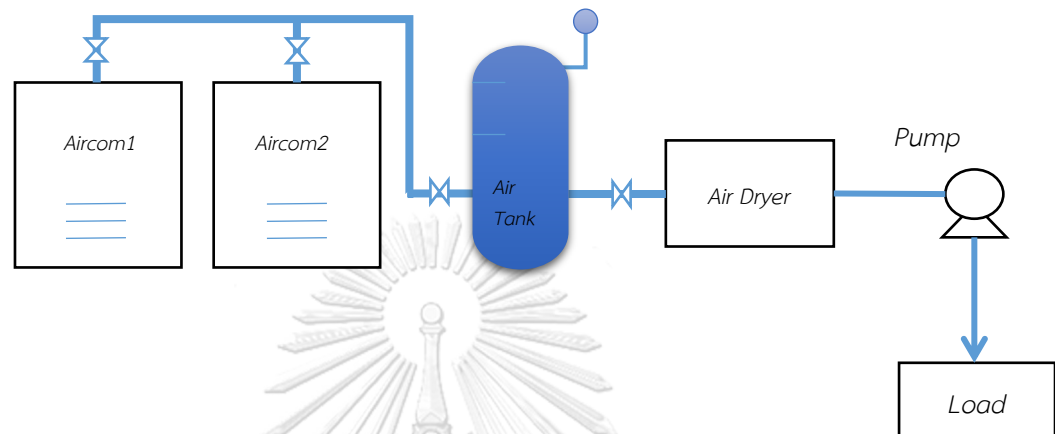


รูปภาพที่ 50 ภาพการเชื่อมต่อแบตเตอรี่

4.3.6.2 การหาแหล่งกักเก็บพลังงานภายในโรงงาน

แหล่งกักเก็บพลังงานไฟฟ้าในโรงงาน จากการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า พบว่าเครื่องจักรที่ทำงานตลอดเวลา คือ เครื่องอัดอากาศจึงเหมาะสมที่จะเป็นแหล่งกักเก็บพลังงานได้เป็นอย่างดี งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศทั้ง 2 โรงงาน โดยทั้ง 2 โรงงานจะมีเครื่องอัดอากาศ 2 เครื่อง ทำงาน 1 เครื่อง สำรอง 1 เครื่อง มีแท่งเก็บอากาศอัด 2,000 ลิตร เครื่องอัดอากาศแห่ง ก่อนส่งไปใช้งาน แสดงดังรูปภาพที่ เมื่อคำนวณตามรูปภาพตารางข้อมูลที่

51 ประสิทธิภาพเครื่องอัดอากาศนี้คือ ความมีขนาดแท่งที่เหมาะสมที่ 5,000 ลิตร และ 19,000 ลิตร โครงการที่ 1 และ 2 ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามการติดตั้งถังกักเก็บอากาศอันนี้ควรศึกษาระบบภายในไลน์ผลิตเพิ่มเติมอย่างละเอียดก่อนการตัดสินใจ ในเนื้อหาที่ผู้วิจัยเห็นว่าการกักเก็บพลังงานไฟฟ้ารูปแบบของอากาศอัดก็เป็นทางออกที่ดี สำหรับการใช้ไฟฟ้าจากเซลล์สุริยะอย่างมีประสิทธิภาพ



รูปภาพที่ 51 ระบบอัดอากาศของโรงงาน

| Air Compressor-1 | | | Air Compressor-1 | | |
|-------------------------|-------------------------|------------|-------------------------|-------------------------|--------|
| power | 37 kW | | power | 37 kW | |
| FAD spec | 6.6 m ³ /min | | FAD spec | 6.6 m ³ /min | |
| P1 | 7.5 bar | | P1 | 8 bar | |
| P2 | 8.2 bar | | P2 | 9 bar | |
| V Tank | 2 m ³ | | V Tank | 2 m ³ | |
| | Load (s) | Unload (s) | | Load | Unload |
| 1 | 42.00 | 177.00 | 1 | 181.00 | 174.00 |
| 2 | 37.00 | 187.00 | 2 | 98.00 | 159.00 |
| 3 | 37.00 | 179.00 | 3 | 233.00 | 139.00 |
| 4 | 37.00 | 190.00 | 4 | 234.00 | 123.00 |
| 5 | 36.00 | 191.00 | 5 | 165.00 | 83.00 |
| AVG. | 37.80 | 184.80 | AVG. | 182.20 | 135.6 |
| FAD (m ³ /h) | 2.19 | 0.45 | FAD (m ³ /h) | 0.65 | 0.87 |
| FAD% | 33.24 | 6.80 | FAD% | 9.85 | 13.24 |
| V Tank เหมาะสม | 5.62 | | V Tank เหมาะสม | 19.90 | |

รูปภาพที่ 52 รูปภาพตารางประสิทธิภาพของระบบเครื่องอัดอากาศ

4.4 ส่วนการติดตั้งเซลล์สุริยะสำหรับการทดลองผลกระทบจากฝุ่นผงคาร์บอน

4.4.1 ทดลองการกระจายฝุ่นผงคาร์บอนลงบนแผงเซลล์สุริยะที่ปริมาณฝุ่นไม่เท่ากัน

จากการทดลองการกระจายฝุ่นผงคาร์บอนลงบนแผงเซลล์สุริยะที่ปริมาณฝุ่นไม่เท่ากัน ที่ 5, 10, 20, 30 และ 50 กรัมต่อตารางเมตรส่งผลให้การผลิตไฟฟ้าของเซลล์สุริยะลดลงที่ 2.82%, 2.84%, 6.14%, 28.50% และ 35.50% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับแผงเซลล์สุริยะ PV2 ที่ไม่มีการกระจายฝุ่น โดยปริมาณของฝุ่น(Chanchangi et al., 2020) จากตารางที่ 15 และ 16 ข้อมูลผลการทดลองฝุ่นเปรียบเทียบแผง 2 แผง ที่ 5 กรัมต่อตารางเมตร ที่ค่าความเข้มแสง 413 วัตต์ต่อตารางเมตร ทำให้แรงดันไฟฟ้าจาก 21.50 โวลต์ ลดเหลือ 21.33 โวลต์ กระแสไฟฟ้าลดลง จาก 2.69 แอมป์ ลดเหลือ 2.67 แอมป์ กำลังการผลิตไฟฟ้าลดลงจาก 58.51 วัตต์ เหลือ 56.85 วัตต์ ลดลงร้อยละ 2.82 ที่ 10 กรัมต่อ ตารางเมตร ความเข้มแสง 380 วัตต์ต่อตารางเมตร แรงดันไฟฟ้าจาก 21.42 โวลต์ ลดเหลือ 21.00 โวลต์ กระแสไฟฟ้าลดลง จาก 2.68 แอมป์ ลดเหลือ 2.64 แอมป์ กำลังการผลิตไฟฟ้าลดลง จาก 57.14 วัตต์ เหลือ 55.70 วัตต์ ลดลงร้อยละ 3.06 ที่ 20 กรัมต่อตารางเมตร ความเข้มแสง 334 วัตต์ต่อตารางเมตร แรงดันไฟฟ้าจาก 21.02 โวลต์ ลดเหลือ 20.30 โวลต์ กระแสไฟฟ้าลดลง จาก 2.61 แอมป์ ลดเหลือ 2.54 แอมป์ กำลังการผลิตไฟฟ้าลดลงจาก 54.84 วัตต์ เหลือ 51.47 วัตต์ ลดลง ร้อยละ 6.14 ที่ 30 กรัมต่อตารางเมตร ความเข้มแสง 270 วัตต์ต่อตารางเมตร แรงดันไฟฟ้าจาก 20.51 โวลต์ ลดเหลือ 16.80 โวลต์ กระแสไฟฟ้าลดลง จาก 2.42 แอมป์ ลดเหลือ 2.10 แอมป์ กำลัง การผลิตไฟฟ้าลดลงจาก 49.63 วัตต์ เหลือ 35.35 วัตต์ ลดลงร้อยละ 28 และที่ 50 กรัมต่อตาราง เมตร ความเข้มแสง 245 วัตต์ต่อตารางเมตร แรงดันไฟฟ้าจาก 18.75 โวลต์ ลดเหลือ 14.78 โวลต์ กระแสไฟฟ้าลดลง จาก 2.34 แอมป์ ลดเหลือ 1.95 แอมป์ กำลังการผลิตไฟฟ้าลดลงจาก 43.79 วัตต์ เหลือ 28.82 วัตต์ ลดลงร้อยละ 34.18 และเมื่อนำเปอร์เซ็นต์ลดลงจากตัวการทดลองมาคำนวณ เปรียบเทียบหาประสิทธิภาพการลดลงของระบบเซลล์สุริยะ(Shah et al., 2020) ที่ติดตั้งในสถาน ประกอบการ

โดยหาค่าการสูญเสียการผลิตไฟฟ้าจากสิ่งสกปรกได้จากสมการดังนี้

$$SP = \frac{P_{Dust}}{P_{clean}} \dots\dots\dots(4.1)$$

โดยหาค่า

SR คือค่าการสูญเสียการผลิตจากฝุ่น

P_{duust} คือค่าพลังงานที่ผลิตได้จากแผงสกปรก

P_{clean} คือค่าพลังงานที่ผลิตได้จากแผงสะอาด

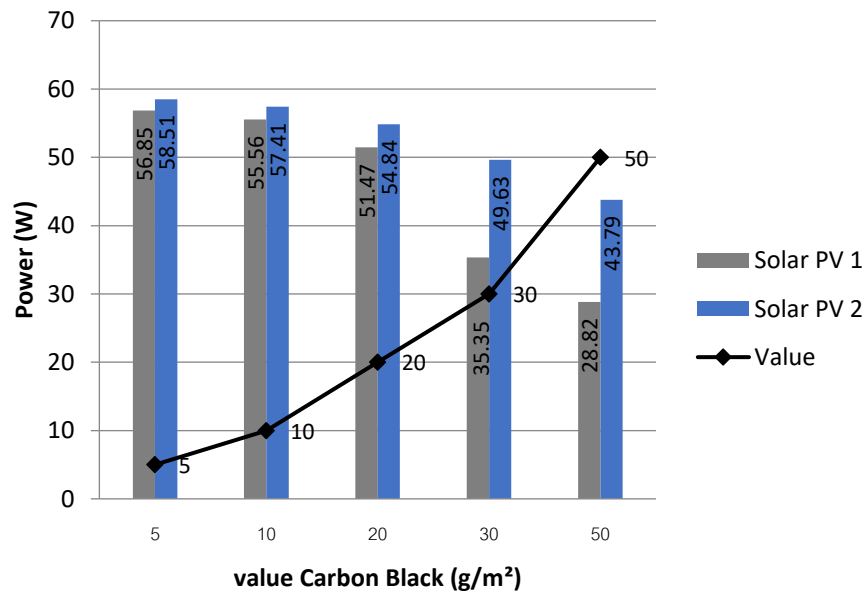
หากค่าเท่ากับ 1 หมายถึงไม่มีการสูญเสียการผลิตจากฝุ่น

ตารางที่ 15 ข้อมูลผลการทดลองกระจายฝุ่นแผงเซลล์สุริยะ PV1

| ปริมาณ คาร์บอน | Irradiation W/m ² | PV1 | | | |
|-------------------|---------------------------------|----------------|----------------|--------------|-------------|
| | | Voltage (V) | Current (A) | Power (W) | PR Ratio |
| 5 | 412.7 | 21.33 | 2.67 | 56.85 | 69 |
| 10 | 380.3 | 20.98 | 2.64 | 55.65 | 73 |
| 20 | 333.95 | 20.3 | 2.54 | 51.47 | 77 |
| 30 | 270.3 | 16.8 | 2.1 | 35.35 | 72 |
| 50 | 245.27 | 14.78 | 1.95 | 28.82 | 58 |

ตารางที่ 16 ข้อมูลการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์สุริยะ PV2 ใช้เป็นแผงอ้างอิง

| ปริมาณ คาร์บอน | Irradiation W/m ² | PV1 | | | |
|-------------------|---------------------------------|----------------|----------------|--------------|-------------|
| | | Voltage (V) | Current (A) | Power (W) | PR Ratio |
| 5 | 412.7 | 21.5 | 2.69 | 58.51 | 71 |
| 10 | 380.3 | 21.42 | 2.68 | 57.41 | 75 |
| 20 | 333.95 | 21.02 | 2.61 | 54.84 | 82 |
| 30 | 270.3 | 20.51 | 2.42 | 49.63 | 92 |
| 50 | 245.27 | 18.75 | 2.34 | 43.79 | 89 |



รูปภาพที่ 53 การผลิตไฟฟ้าเซลล์สุริยะกับปริมาณการของฝุ่น



ก.แผงเซลล์สุริยะของสถานประกอบการ 1
เดือน

ข.แผงเซลล์สุริยะของทดลองที่ผงคาร์บอน
PV1 เขม่าดำ 5 g/m²

รูปภาพที่ 54 ภาพแผงของสถานประกอบการและแผงเซลล์สุริยะของทดลองที่เขม่าดำ PV เขม่าดำ 1
5g/m² ที่มีความใกล้เคียงกัน

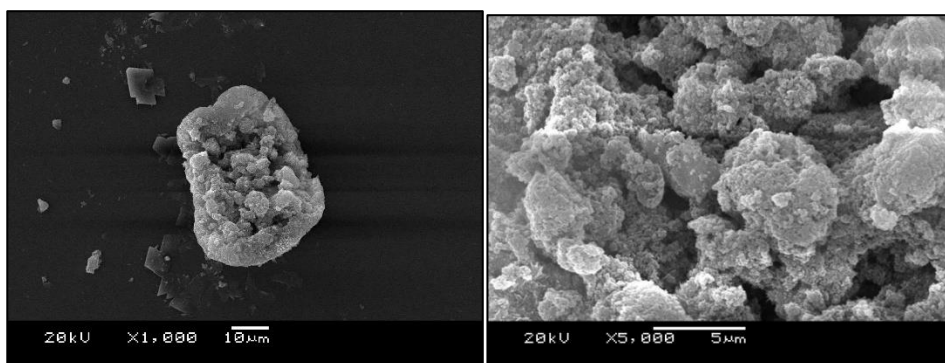
4.4.2 ทดลองการกระจายฝุ่นผงคาร์บอนลงบนแผงเซลล์สุริยะที่ปริมาณฝุ่นไม่เท่ากัน ค่าความเข้มแสงเท่ากับ 404 วัตต์ต่อตารางเมตร

สถานประกอบการยางคอมปาวด์ พบว่าจากการสำรวจปริมาณฝุ่นที่กระจายบนแผงเซลล์สุริยะของสถานประกอบการ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5 กรัมต่อตารางเมตร พิจารณาจากปริมาณฝุ่นที่เกาะอยู่บนผิวแผงเซลล์สุริยะ จึงนำเปอร์เซ็นต์การสูญเสียของการทดลองครั้งที่ 1 ปริมาณฝุ่น 5 กรัมต่อตารางเมตรเป็นตัวกำหนดแปรในการหาประสิทธิภาพที่ลดลงของระบบเซลล์สุริยะของสถานประกอบการยางคอมปาวด์ โดยจากการศึกษาการเกิดฝุ่นของสถานประกอบการยางคอมปาวด์บนหลังคา พบว่าฝุ่นที่เกิดการสะสมบนแผงเซลล์สุริยะเกิดการชองระบายอากาศและเครื่อง dust บนหลังคา หรือตัวพัดลมดูดอากาศจะสังเกตที่รูปภาพที่ จุดสีฟ้าคือตำแหน่งของพัดลมดูดอากาศ และพื้นที่สีแดงคือพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากฝุ่นและมีการสะสมของฝุ่นสูง โดยจะอยู่บริเวณรอบๆ พัดลมระบายอากาศ โดยได้รับและที่ความเข้มแสงเท่ากันของ ขนาดเขม่าดำที่ 5, 10, 20 กรัมต่อตารางเมตร ที่ค่าความเข้มแสงเท่ากับ 404 วัตต์ต่อตารางเมตร พบว่าแผง PV1 ที่มีฝุ่นทำให้กำลังการผลิตไฟฟ้าของเซลล์สุริยะลดลงที่ 5 กรัมต่อตาราง ค่าการสูญเสียการผลิตจากฝุ่นร้อยละ 5 10 กรัมต่อตารางเมตร ค่าการสูญเสียการผลิตจากฝุ่นร้อยละ 7 และ ที่ 20 กรัมต่อตารางเมตร ค่าการสูญเสียการผลิตจากฝุ่นร้อยละ 11 จากสมการที่ 4.1

4.4.3 ผลการวิเคราะห์ฝุ่น

4.4.3.1 วิเคราะห์โครงสร้าง Structural Equation Model : SEM

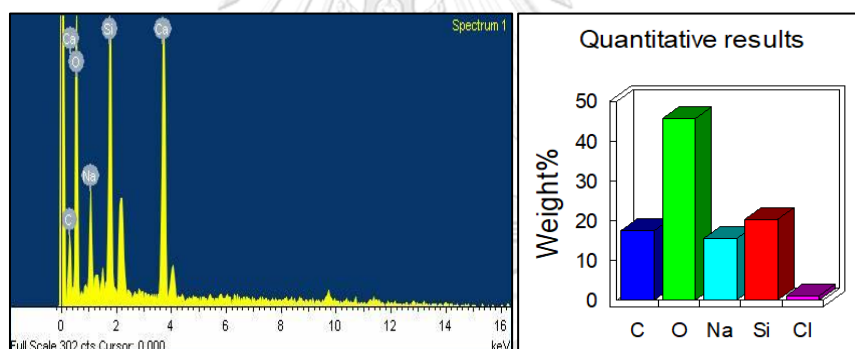
จากการนำตัวอย่างฝุ่นบนหลังคาสถานประกอบการยางคอมปาวด์ ส่งวิเคราะห์ห่ออนุภาคของฝุ่นตัวอย่างพบว่าที่กำลังขยาย 1000 เท่า สเกลของภาพอยู่ที่ 10 ไมครอน พบฝุ่นกระจายโดยรอบตาม รูปภาพที่ 55 และเมื่อเพิ่มกำลังขยายที่ 5,000 เท่า สเกลของ มีลักษณะฝุ่นมีความมนคล้ายกลุ่มควัน



รูปภาพที่ 55 ตัวอย่างฝุ่นที่กำลังขยาย 1,000 และ 5,000 เท่า

4.4.3.2 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยสเปกโทรเมตรีรังสีแบบกระจายพลังงาน Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy : EDS

เมื่อส่งวิเคราะห์ธาตุ EDS ของฝุ่นเก็บบนหลังคาสถานประกอบการ ตัวอย่างที่ 1 ตามรูปที่ 56 สเปกตรัมจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDS โดยแสดงการวิเคราะห์เชิงคุณภาพให้เห็นว่ากราฟความสัมพันธ์ระหว่างแกน X พลังงานของรังสีเอกซ์หน่วย keV และแกน Y จำนวนสัญญาณของรังสีเอกซ์ที่ตรวจวัดของธาตุต่างๆได้ และเมื่อวิเคราะห์เชิงปริมาณ ดังรูปที่ IX. ตารางแสดงปริมาณขององค์ประกอบธาตุ พบว่าองค์ประกอบธาตุของฝุ่น (Wt%) ประกอบไปด้วย C 17.48%, O 45.67%, Na 15.51%, Si 20.28% และ Cl 1.07% แสดงให้เห็นในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDS เชิงปริมาณ โดยเป็นองค์ประกอบของฝุ่นเพียง 1 ก้อน ผลวิเคราะห์พบว่าธาตุต่างๆ เป็นสารประกอบของ CaCO_3 , SiO_2 , KCl, Na Albite ซึ่งเป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ยางคอมปาวด์ของสถานประกอบการ

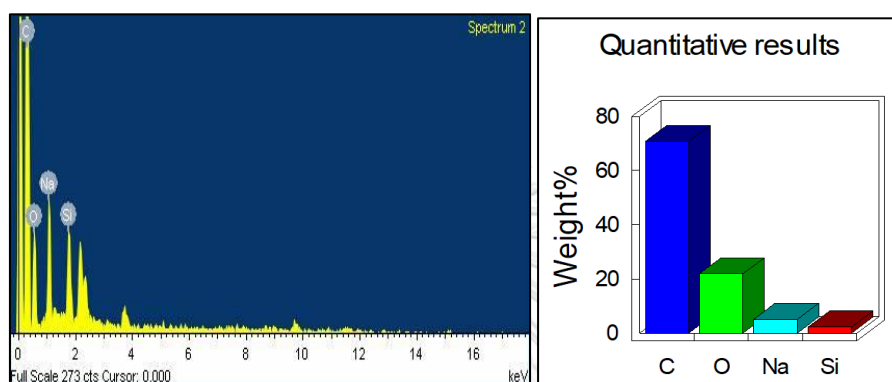


รูปภาพที่ 56 สเปกตรัมจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDS

| Element | App | Intensity | Weight% | Weight% | Atomic% |
|---------|-------|-----------|---------|---------|---------|
| | Conc. | Corn. | | Sigma | |
| C K | 4.54 | 0.3108 | 17.48 | 2.81 | 25.37 |
| O K | 32.02 | 0.8386 | 45.67 | 2.18 | 49.76 |
| Na K | 11.81 | 0.9110 | 15.51 | 1.03 | 11.76 |
| Si K | 14.40 | 0.8497 | 20.28 | 1.12 | 12.59 |
| Cl K | 0.65 | 0.7244 | 1.07 | 0.31 | 0.52 |
| Totals | | | 100.00 | | |

รูปภาพที่ 57 ตารางแสดงปริมาณขององค์ประกอบธาตุ

และผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่ 2 ที่ตำแหน่งเก็บตัวอย่างคนละที่กัน ได้ และเมื่อวิเคราะห์เชิงปริมาณรูปภาพที่ 58 สเปกตรัมจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDS พบว่าองค์ประกอบธาตุของฝุ่น ประกอบไปด้วย C 73.50%, O 20.31%, Na 4.97% และ Si 1.22% แสดงให้เห็นในรูปที่รูปที่ 59 การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDS เชิงปริมาณ โดยเป็นองค์ประกอบของฝุ่นเพียง 1 ก้อน ผลวิเคราะห์ของสารประกอบพบ CaCO_3 , SiO_2 , Na Albite ซึ่งเป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์ยางคอมปาวด์ของสถานประกอบการ



รูปภาพที่ 58 สเปกตรัมจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDS

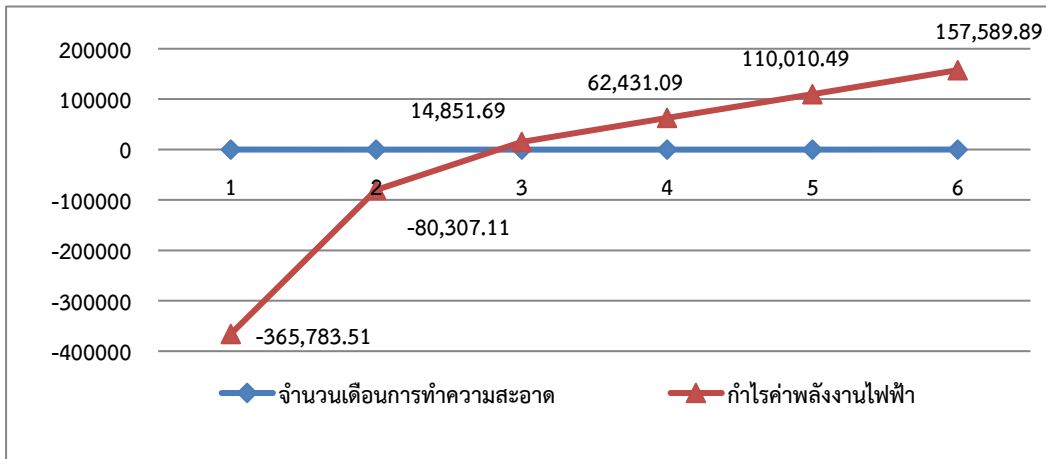
| Element | App | Intensity | Weight% | Weight% | Atomic% |
|---------|--------|-----------|---------|---------|---------|
| | Conc. | Conn. | | Sigma | |
| C K | 143.51 | 1.2066 | 73.50 | 1.69 | 80.01 |
| O K | 12.35 | 0.3759 | 20.31 | 1.74 | 16.60 |
| Na K | 7.48 | 0.9313 | 4.97 | 0.42 | 2.82 |
| Si K | 1.83 | 0.9256 | 1.22 | 0.20 | 0.57 |
| Totals | | | 100.00 | | |

รูปภาพที่ 59 ตารางแสดงปริมาณขององค์ประกอบธาตุ

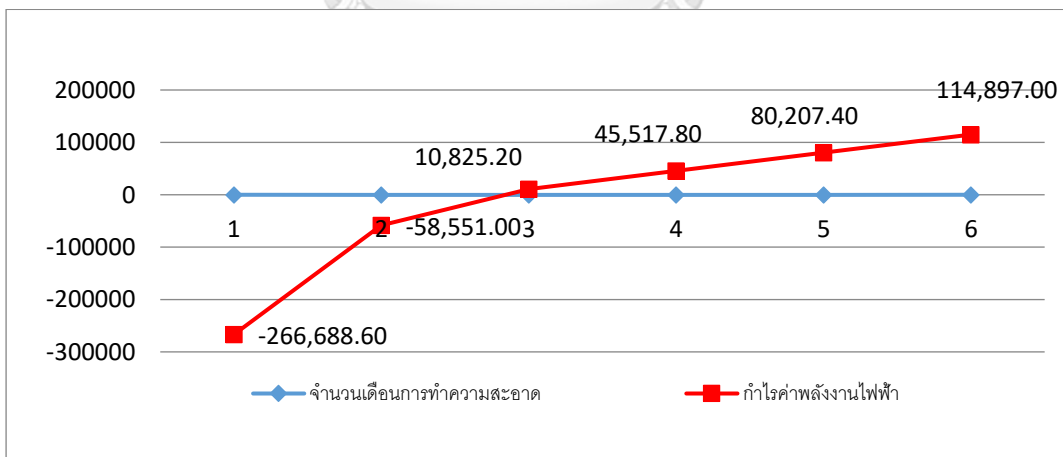
4.5 การล้างแผงเซลล์สุริยะ

จากการประเมินค่าความเสียหายโอกาสของค่าประสิทธิภาพที่ลดลงจากฝุ่นในการทดลองตั้งข้อ 4.4.1 SR= 5% ของค่าสมรรถนะที่ลดลง นำมาประเมินเป็นค่าความเสียหายโอกาสของระบบใหญ่และผลการวิเคราะห์ฝุ่น (Isaacs et al., 2023) ลักษณะฝุ่น สามารถล้างด้วยน้ำ ค่าดูดกลืนแสงของวัตถุดำ ผลการขูดขีดแผง พบว่าทั้งระบบโครงการที่ 1 ที่เดือนละ 17,097.44 บาท และโครงการที่ 2 เฉลี่ยเดือนละ 12,465.55 บาท เมื่อประเมินความคุ้มค่าในการล้างแผงโดยราคาจากบริษัทล้างแผงเสนอ

ราคาที่ 55 บาทต่อกิโลวัตต์ ที่โครงการที่ 1 จะเสียค่าล้างแผงที่ 47,579.40 บาทต่อโครงการที่ 2 เท่ากับ 34,689.60 บาทต่อครั้ง เมื่อประเมินราคาแล้วพบว่า ทั้ง 2 โครงการควรที่จะล้างทุกๆ 3 เดือนเนื่องจากเป็นจุดที่สมดุลที่สุด ค่าในการล้างที่ทุกเดือนและ 2 เดือนครึ่งทำให้ขาดทุน ที่ 3 เดือนครึ่งคือลงทุนน้อยและเสียผลประโยชน์น้อยที่สุด แสดงไว้ดังรูปภาพที่ 60 และ 61 โครงการที่ 1 และ 2 ตามลำดับ



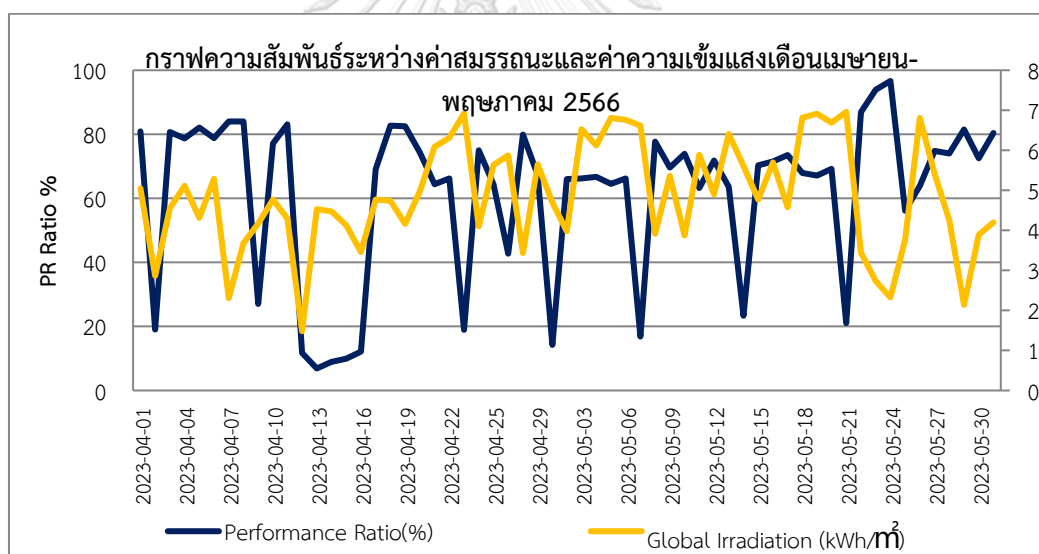
รูปภาพที่ 60 จุดคุ้มทุนในการล้างแผง โครงการที่ 1



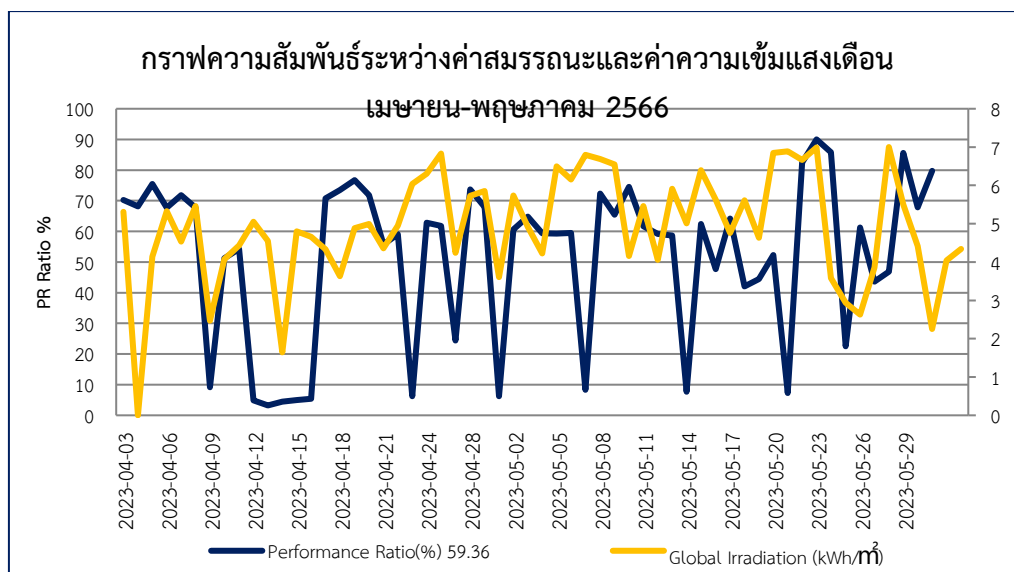
รูปภาพที่ 61 จุดคุ้มทุนในการล้างแผง โครงการที่ 2

4.6 การวิเคราะห์ข้อมูลผลการผลิตไฟฟ้าของระบบเซลล์สุริยะหลังการทำความสะอาดแผง

ผลจากการล้างแผงของระบบเซลล์สุริยะของโครงการที่ 1 และ โครงการที่ 2 โดยทำการเก็บค่าสมรรถนะของระบบเซลล์สุริยะตั้งแต่เดือนเมษายน-เดือนพฤษภาคม 2566 โดยโครงการที่ 1 ล้างแผงวันที่ 22 เมษายน 2566 และ โครงการที่ 2 ล้างแผงวันที่ 26 เมษายน 2566 จากรูปภาพที่ 62 และรูปภาพที่ 63 พบว่าค่าสมรรถนะของระบบเซลล์สุริยะหลังการล้างแผงไม่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าความเข้มแสงสูงขึ้น และจากกราฟจะเห็นได้ชัดเจนว่าจะมีช่วงที่กราฟค่าสมรรถนะลดลงต่ำเฉลี่ยร้อยละ 20 ในโครงการที่ 1 และค่าสมรรถนะลดลงต่ำเฉลี่ยร้อยละ 6 ในโครงการที่ 2 อันเนื่องมาจากวันหยุด วันอาทิตย์ที่ไม่มีการผลิต จากกราฟนี้จึงสรุปได้ว่าค่าสมรรถนะการผลิตไฟฟ้าของเซลล์สุริยะ ปัจจัยหลักคือค่าความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าของสถานประกอบการเป็นหลัก คือระบบเซลล์สุริยะของสถานประกอบการนี้ผลิตไฟฟ้าขึ้นอยู่กับการใช้ไฟฟ้าของสถานประกอบการเอง ทางผู้วิจัยเองจึงควรจัดการโหลดการผลิตใช้สอดคล้องกับโหลดที่ติดตั้งของระบบเซลล์สุริยะ



รูปภาพที่ 62 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะและค่าความเข้มแสงเดือนเมษายน-พฤษภาคม 2566, โครงการที่ 1



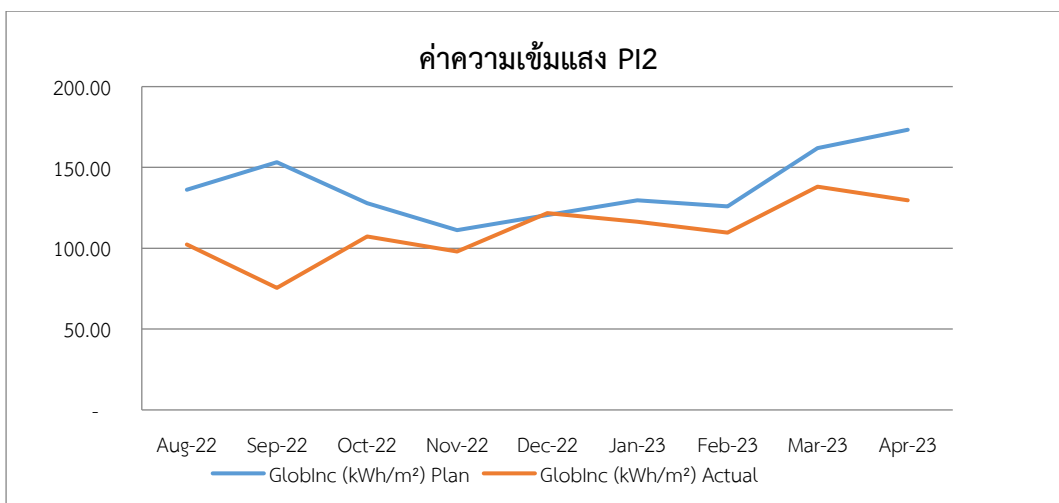
รูปภาพที่ 63 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะและค่าความเข้มแสงเดือนเมษายน-พฤษภาคม 2566โครงการที่ 2

4.7 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อผลผลิตและการใช้พลังงานจากเซลล์สุริยะของโครงการ

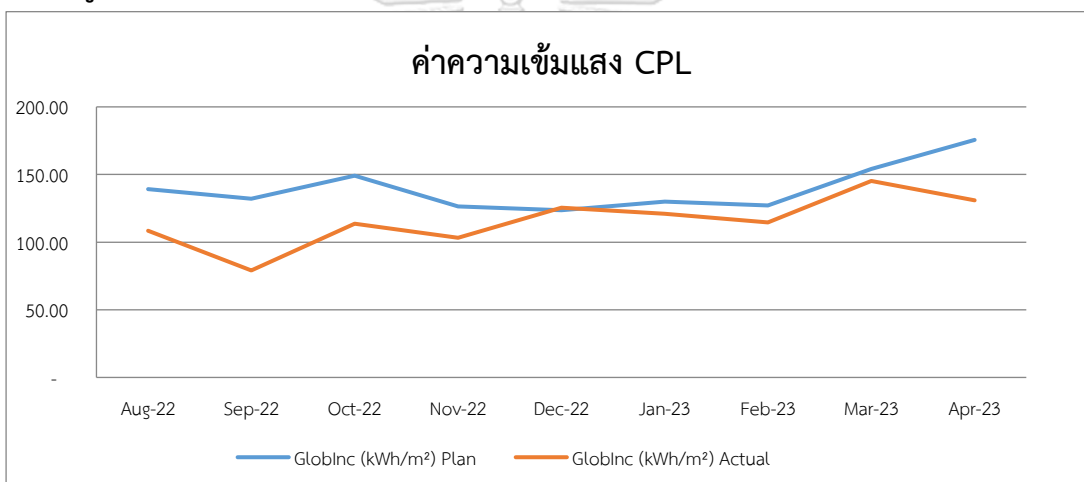
จากงานวิจัยฉบับนี้ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อผลผลิตไฟฟ้าของโรงงานอุตสาหกรรมยางคอมปาวด์อย่างสถานประกอบการที่ได้ดำเนินการศึกษาในครั้งนี้ พบว่ามีปัจจัยที่ส่งผลกระทบมากที่สุดคือ ความต้องการใช้ไฟฟ้าของโรงงาน รองลงมาคือค่าความเข้มแสงที่ไม่สามารถควบคุมได้ และฝุ่นจากกระบวนการผลิต โดยอธิบายดังต่อไปนี้

4.7.1 ค่าความเข้มแสง

ค่าความเข้มแสงตรวจวัดโดยเครื่อง Pyranometer บันทึกทุกๆ 5 นาที จากโปรแกรม Fusion solar จากค่าบันทึกสรุปเป็นรายเดือนจากรูปที่ 64 และ 65 ค่าความเข้มแสงของสถานประกอบการทั้ง 2 โครงการมีค่าความเข้มแสงน้อยกว่าค่าประเมินก่อนการติดตั้ง เพราะ เนื่องจากที่ทำให้ต่ำ สภาพอากาศต่ำจึงทำให้ค่ากำลังการผลิตน้อยตามไปด้วย



รูปภาพที่ 64 ค่าความเข้มแสงประเมินและค่าความเข้มแสงที่ตรวจวัดจริงของโครงการที่ 1



รูปภาพที่ 65 กำหนดค่าความเข้มแสงประเมินและค่าความเข้มแสงที่ตรวจวัดจริงของโครงการที่ 2

4.7.2 ผูุ้่นจากระบวนการผลิตยางคอมปาวด์

ผูุ้่น เป็นปัจจัยที่มีผลให้การผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์สุริยะลดลง เนื่องจากการบด บังรังสีอาทิตย์ก่อนที่จะตกกระทบกับเซลล์สุริยะเพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้า จากการทดลองโดยมีผลต่อสมรรถนะระบบที่ร้อยละ 4 แต่จากการรายงานการเก็บข้อมูลดังกล่าวพบว่าค่ากำลังการผลิตไฟฟ้าของเซลล์สุริยะเป็นไปตามความต้องการใช้โหลด ณ. เวลานั้น ๆ และจากรายงานการล้างแผง ผลการเก็บข้อมูลการผลิตไฟฟ้าของระบบเซลล์สุริยะหลังการล้างแผงพบว่าหลังล้างแผงแล้วค่าสมรรถนะระบบไม่ได้เพิ่มขึ้นตามที่ควรจะเป็น

4.7.3 การสั่งลดระดับการทำงานของอินเวอร์เตอร์

การสั่งลดระดับการทำงานของอินเวอร์เตอร์เนื่องจากข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ ตามข้อกำหนดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เมื่อชุดควบคุมนี้ทำงานจะทำให้ระบบสูญเสียโอกาสในช่วงเวลานั้น ที่จะผลิตไฟฟ้าได้เต็มกำลังผลิต แต่เนื่องจากระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งที่ศึกษาในครั้งนี้ กำลังติดตั้งต่ำกว่าความต้องการของโหลด เนื่องจากพื้นที่ที่จัดต่อการติดตั้ง แต่ยังพบรายงานการสั่งลดระดับของอินเวอร์เตอร์ เนื่องจากค่าสมรรถนะของระบบที่โครงการที่ 1 เฉลี่ยร้อยละ 78.87 ส่วนโครงการที่ 2 ร้อยละ 68.18 นั้นหมายความว่าอินเวอร์เตอร์ของโครงการที่ 2 มีการสั่งลดระดับการทำงาน



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยฉบับนี้ได้วิเคราะห์การติดตั้งระบบเซลล์สุริยะและเก็บข้อมูลการผลิตไฟฟ้าของระบบเซลล์สุริยะ เป็นเวลา 12 เดือนหลังการติดตั้งตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2565 ถึง เดือนกรกฎาคม 2566 ของสถานประกอบการยางคอมปาวด์ โรงงานที่ 1 และโรงงานที่ 2 โดยได้ข้อสรุปดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 จากการวิเคราะห์รูปแบบการใช้พลังงานของโรงงาน

พบว่าโรงงานการใช้พลังงานของทั้ง 2 โรงงานใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด ไม่มีการใช้พลังงานความร้อน และการใช้พลังงานไฟฟ้าร้อยละ 72 มาจากกระบวนการผลิต โดยมีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าจากกระบวนการผลิตที่โรงงานที่ 1 เท่ากับ 1,531 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง และโรงงานที่ 1 เท่ากับ 574 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง โหลดผลิตไม่ได้ผลิต 1 โหลด แน่แน่นอนว่า การใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงานนี้แปรผันตามยอดผลิตร้อยละ 97 และ 93 ที่โรงงานที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ทำให้สามารถพยากรณ์ความต้องการใช้ไฟฟ้าโรงงานจากยอดผลิตได้จากสมการ $y = 293.2x + 105,603$ ในโรงงานที่ 1 และสมการ $y = 193.08x + 74,464$ ในโรงงานที่ 2 โดย y คือพลังงานไฟฟ้าที่ใช้แปรผันตามกำลังการผลิต X คือ กำลังการผลิตแต่ละเดือน และจากการติดตั้งระบบเซลล์สุริยะบนหลังคาทั้ง 2 โครงการ ที่มีกำลังติดตั้ง 865 กิโลวัตต์ และ 630 กิโลวัตต์ และจากงานวิจัยนี้ พบว่าที่โครงการที่ 1 ติดตั้งระบบเซลล์สุริยะน้อยกว่าความต้องการ เนื่องจากข้อจำกัดเรื่องพื้นที่ โครงการที่ 2 ติดตั้งมากกว่า แต่เนื่องจากโหลดผลิตไม่ได้เปิดผลิต 1 โหลด ตรวจสอบพลังงานนี้ทำให้ได้ความต้องการใช้พลังงาน

5.1.2 เพื่อจัดทำข้อมูลความต้องการใช้พลังงานของโรงงานเปรียบเทียบกับข้อมูลพลังงานไฟฟ้าจากระบบเซลล์สุริยะ

โดยงานวิจัยนี้ได้จำข้อมูลความต้องการพลังงานไฟฟ้าจากยอดผลิตของทางโรงงาน พบว่าก่อนการติดตั้งความสัมพันธ์ของการใช้ไฟฟ้ากับยอดผลิตเฉลี่ยลดลงหลังจากการติดตั้งระบบพลังงานทดแทนทั้ง 2 โครงการ โดยโครงการที่ 1 มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าต่อยอดผลิตก่อนการติดตั้ง 383 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตัน หลังการติดตั้งระบบพลังงานทดแทนลดลงเหลือ 300 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตัน โครงการที่ 2 มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าต่อยอดผลิตก่อนการติดตั้ง 356 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตัน หลังการติดตั้งระบบพลังงานทดแทนลดลงเหลือ 325 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตัน การติดตั้งระบบพลังงานทดแทนช่วยลดการใช้ไฟฟ้าจากแหล่งจำหน่ายไฟ เพื่อลดต้นทุนการผลิตของทางโรงงานในสายการผลิตได้เป็นอย่างดี

5.1.3 การออกแบบกำลังการติดตั้งระบบพลังงานทดแทนจากเซลล์สุริยะ

ตอนออกแบบมีความต้องการใช้ไฟฟ้ามาก แต่ได้กำลังการติดตั้งที่น้อยกว่าความต้องการใช้งานของโรงงานทั้ง 2 โรงงาน เนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องของพื้นที่การติดตั้ง บนหลังคาโรงงาน ในเรื่องของข้อกฎหมาย น้ำหนักและโครงสร้างของหลังคา จึงทำให้กำลังติดตั้งน้อยกว่าความต้องการ

5.1.4 จากการเก็บข้อมูลการใช้งานจริงและวิเคราะห์ข้อมูลการใช้งานจริงของระบบเซลล์สุริยะ กับค่าทางทฤษฎีที่ดำเนินการออกแบบไว้

พบว่าในงานวิจัยนี้ในโรงงานที่ 1 กำลังไฟฟ้าที่ได้จากพลังงานทดแทนไม่เพียงพอขนาดที่มี ยอดผลิตโรงงานสูง และเมื่อมียอดผลิตต่ำ พลังงานไฟฟ้าที่จากพลังงานทดแทนก็จะเหลือ โดยได้มี รายงานข้อมูลการจำกัดกำลังการผลิตของอินเวอร์เตอร์ ส่วนโรงงานที่ 2 จากการเก็บข้อมูลที่ผ่านมา พบว่ากำลังการติดตั้งของเซลล์สุริยะมีมากกว่าความต้องการใช้ไฟฟ้าของทางโรงงาน อันเนื่องมาจาก ทางโรงงานมียอดการผลิตที่น้อยมาตลอด 2 ปี จึงทำให้ประสิทธิภาพหรือสมรรถนะของระบบพลังงาน ทดแทนต่ำด้วย โดยเฉลี่ยที่ร้อยละ 78.87 และ 68.18 ในโครงการที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าที่ ประเมินไว้ในขั้นตอนการออกแบบเช่นกัน โดยประสิทธิภาพตอนประเมินที่ร้อยละ 79

5.1.5 กำหนดแนวทางการบำรุงรักษาและกำหนดวิธีการปรับปรุงพัฒนาระบบเซลล์สุริยะ

ในสายการผลิตหลังดำเนินการติดตั้งและวิเคราะห์ผลจากการใช้งานระบบใหญ่และการติดตั้งการ ทดลองระบบเซลล์สุริยะเพื่อเก็บการสะสมของฝุ่นที่มาจากกระบวนการผลิตยางคอมปาวด์ พบว่าทำ ให้กำลังการผลิตไฟฟ้าลดลง 2 พบว่าฝุ่นในอุตสาหกรรมนี้ทำให้กำลังการผลิตไฟฟ้าของแผงเซลล์สุริยะ ทดลองลดลงร้อยละ 5 ในปริมาณฝุ่น 5 กรัมต่อตารางเมตร จึงได้แนวทางการบำรุงรักษาและแนว ทางการปฏิบัติดังนี้

5.1.5.1 การล้างแผงที่เหมาะสมกับโรงงาน

จากการวิเคราะห์ที่จุดคุ้มค่าทั้ง 2 โครงการควรมีการล้างแผงทุก 3 เดือน จากเดิมทุกๆ 6 เดือน และ ผลการส่งฝุ่นวิเคราะห์โครงสร้างธาตุ SEM และวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุ EDS โดยพบว่าลักษณะฝุ่น สามารถล้างด้วยน้ำเปล่าโดยปกติได้ และฝุ่นที่นำไปวิเคราะห์ พบว่าผลวิเคราะห์ของสารประกอบพบ CaCO_3 , SiO_2 และผงคาร์บอน ซึ่งเป็นส่วนผสมหลักในการในอุตสาหกรรมยาง

5.1.5.2 แนวทางการเพิ่มสมรรถนะของระบบเซลล์สุริยะโดยการกำหนดเกณฑ์ตาม แผนการผลิตค่าสมรรถนะที่แปรผันตามยอดผลิตของโรงงาน ทางโรงงานควรผลิตแผนให้ เหมาะสมและเพื่อใช้ประโยชน์จากพลังงานทดแทนให้สูงสุด เช่น กำหนดเกณฑ์ขั้นต่ำของผลผลิต โรงงานที่ 1 หากมีการผลิตต่ำกว่า 1000 ตัน และผลผลิตโรงงานที่ 2 ต่ำกว่า 400 ตัน ควร กำหนดแผนการผลิตให้เหมาะสม

5.1.5.3 แหล่งกักเก็บพลังงาน

เนื่องจากการเก็บพลังงานไฟฟ้าจากระบบเซลล์สุริยะโดยแบตเตอรี่ ยังมีค่าใช้จ่ายที่สูงและยังไม่คุ้มกับการลงทุนการเลือกหาแหล่งกักเก็บพลังงานไฟฟ้าเป็นรูปแบบอื่นๆ ภายในโรงงานเองก็เป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ เช่นการเปลี่ยนรูปแบบพลังงานไฟฟ้าที่เหลือจากพลังงานทดแทนมาเป็นอากาศอัดในระบบอัดอากาศ หรือการเป็นรูปแบบพลังงานไฟฟ้ามาเป็นน้ำเย็น ในระบบทำความเย็น (Cooling) หรือซินเลอร์ (Chiller) เป็นทางเลือกที่ดีกว่าหากเมื่อเปรียบเทียบกับระบบแบตเตอรี่ แต่อย่างไรก็ตามการจกเก็บพลังงานทดแทนในรูปแบบต่างๆ ที่กล่าวมาข้างต้นนี้ ควรทำการศึกษาระบบการใช้งานอย่างละเอียดของตัวเครื่องจักรนั้นๆ ด้วย เพื่อลดความผิดพลาดของตัวระบบเองและการลงทุน

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1. การตรวจประเมินพลังงานและการออกแบบการผลิตผลิตภัณฑ์ของโรงงาน โดยการออกแบบการผลิตนั้น ต้องวัดค่าพลังงานไฟฟ้ากับยอดผลิตรวมกันกับฝ่าย Production และฝ่ายอื่นที่เกี่ยวข้องเพื่อออกแบบการผลิตที่เหมาะสมกับยอดผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนที่มีอยู่อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

5.2.2. การจัดการพลังงานและอนุรักษ์พลังงาน ในการจัดการพลังงานควรมีอย่างสม่ำเสมอ เพื่อเป็นการลดการใช้พลังงานอย่างแท้จริงและทำให้เกิดการใช้พลังงานจากพลังงานทดแทนอย่างมีประสิทธิภาพ

5.2.3. การเชื่อมต่อระบบเซลล์แสงสุริยะกับระบบไฟฟ้าของโรงงานต้องพิจารณาทางด้านความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าของแต่ละกระบวนการผลิต และควรมีการติดตั้ง Smart Meter ในการตรวจวัดพลังงานความต้องการใช้ไฟฟ้า เพื่อง่ายต่อการออกแบบไลน์ผลิตดังข้อที่ 5.2.1

5.2.4. ควรติดตั้ง Monitoring Data เพื่อดูข้อมูลการพยากรณ์อากาศเช่น การติดตั้งม่านวัดปริมาณน้ำฝน เพื่อวางแผนการล้างในช่วงหน้าฝน หากมีปริมาณน้ำฝนที่มากพอต่อการชะล้างสิ่งสกปรกก็ไม่จำเป็นต้องล้างแผนในช่วงหน้าฝน และหากมีการศึกษาเพิ่มการติดตั้งกล่องวงจรปิดขนาดเล็กเพิ่มการสะสมฝุ่นบนหน้ากล่องวงจรปิด ก็น่าจะเป็นตัววัดระดับการทำความสะอาดของแผงเซลล์สุริยะได้เช่นกัน

บรรณานุกรม

- Al-Housani, M., Bicer, Y., & Koç, M. (2019). Assessment of Various Dry Photovoltaic Cleaning Techniques and Frequencies on the Power Output of CdTe- Type Modules in Dusty Environments. *Sustainability*, 11(10) , 2850. <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/10/2850>
- Chanchangi, Y. N., Ghosh, A., Sundaram, S., & Mallick, T. K. (2020). Dust and PV Performance in Nigeria: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 121, 109704. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109704>
- Chukwuekum, O., & Oseme, O. S. (2020). Solar cell cleaning and efficiency performance analysis on dust particles accumulation on solar panel in Nigeria. A case study of Northern Nigeria. *Journal of Sustainable Energy & Environment*, 11, 135-141.
- Hosseini, M. S., Ebratkhahan, M., Shayegan, Z., Niaei, A., Salari, D., Rostami, A., & Raesipour, J. (2020). Investigation of the effective operational parameters of self-cleaning glass surface coating to improve methylene blue removal efficiency; application in solar cells. *Solar Energy*, 207, 398- 408. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.06.109>
- Isaacs, S., Kalashnikova, O., Garay, M. J., van Donkelaar, A., Hammer, M. S., Lee, H., & Wood, D. (2023). Dust soiling effects on decentralized solar in West Africa. *Applied Energy*, 340, 120993. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.120993>
- Shah, A. H., Hassan, A., Laghari, M. S., & Alraeesi, A. (2020). The Influence of Cleaning Frequency of Photovoltaic Modules on Power Losses in the Desert Climate. *Sustainability*, 12(22), 9750. <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/22/9750>
- Younis, A., & Alhorr, Y. (2021). Modeling of dust soiling effects on solar photovoltaic performance: A review. *Solar Energy*, 220, 1074- 1088. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.04.011>
- กาญจนศิษฐ์ เวชการ. (2560). การวิเคราะห์สมรรถนะการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบลอยน้ำพิกัด 50 kWp. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี].
- การไฟฟ้าแห่งประเทศไทย. (2565). สถานการณ์พลังงานไฟฟ้าปี 2565.

เชมณัฐ พรหมมินท์. (2562). การประเมินทางเศรษฐศาสตร์และประสิทธิภาพหลังการติดตั้งระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย].

ฉัตร และคณะ. (2560). การประเมินประสิทธิภาพระบบการผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาและเชื่อมต่อบนจำหน่ายขนาดกำลัง 3 กิโลวัตต์ โดยอาศัยการจำลองแบบโดยโปรแกรม PVsyst. วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ ปีที่ 20,

เอกพันธ์ ผัดศรี, ค. ก., อัครินทร์ อินทนิเวศน์,. (2561). การวิเคราะห์ประสิทธิภาพและสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับสายส่งขนาด 300 kW วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ หน่วยงานวิจัยด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมอัจฉริยะ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียง].





จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียน

| | |
|-------------------|--|
| ชื่อ-สกุล | Ainhuaon Tammason |
| วัน เดือน ปี เกิด | 17 Jan 1997 |
| สถานที่เกิด | ประเทศไทย |
| วุฒิการศึกษา | วิทยาศาสตรบัณฑิต |
| ที่อยู่ปัจจุบัน | เลขที่ 22 หมู่ 4 ตำบลปากทรง อำเภอพะโต๊ะ จังหวัดชุมพร 86180 |
| ผลงานตีพิมพ์ | การศึกษาผลกระทบการผลิตไฟฟ้า ของฝุ่นบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใน อุตสาหกรรมยางคอมปาวด์ |



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY