

การประเมินประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา



สารนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน (สหสาขาวิชา) สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัด

การพลังงาน

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2565

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EVALUATION OF ELECTRICITY GENERATION FROM ROOFTOP SOLAR PHOTOVOLTAIC



Miss Sukanda Saengsai

An Independent Study Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Energy Technology and Management
(Interdisciplinary Program)

Inter-Department of Energy Technology and Management

GRADUATE SCHOOL

Chulalongkorn University

Academic Year 2022

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อสารนิพนธ์

การประเมินประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงาน

แสงอาทิตย์บนหลังคา

โดย

น.ส.สุกานดา แสงใส

สาขาวิชา

เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน (สหสาขาวิชา)

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

รองศาสตราจารย์ ดร.พิชญ รัชฎาวงศ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับสารนิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบสารนิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประพันธ์ คูชลธารา)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.พิชญ รัชฎาวงศ์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.นิธิตา นาคะปรีชา)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สุกานดา แสงใส : การประเมินประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา. (EVALUATION OF ELECTRICITY GENERATION FROM ROOFTOP SOLAR PHOTOVOLTAIC) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.พิชญ รัชฎาวงศ์

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ศึกษาการออกแบบของระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์บนหลังคาแบบโมโนคริสตัลไลน์ จากโปรแกรม PVsyst เพื่อเปรียบเทียบกับปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงจากการติดตั้งระบบของโรงงานอุตสาหกรรม ขนาด 223.56 kW ในพื้นที่ตำบลบางโหลง อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ และศึกษาต้นทุนทางการเงินของการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อเปรียบเทียบกับการลดพลังงานไฟฟ้าก่อนและหลังติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา โดยเปรียบเทียบความเข้มแสงและค่าพลังงานไฟฟ้าจากค่าพยากรณ์จากโปรแกรม PVsyst เทียบกับค่าค่าเข้มแสงจากการเก็บข้อมูลจากอุปกรณ์ Meteonorm ที่ติดตั้งภายในพื้นที่โรงงานอุตสาหกรรม และพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ในทางทฤษฎี โดยการวิจัยพบว่าความเข้มแสงจากทั้งสองแหล่งมีความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 7.88% ซึ่งทำให้ผู้ที่สนใจต้องการวิเคราะห์ค่าความเข้มแสงในพื้นที่ใกล้เคียงสามารถนำข้อมูลนี้ไปใช้พยากรณ์ผลเพิ่มเติมจากโปรแกรม PVsyst เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการพยากรณ์ได้ รวมถึงมีการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการนำพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา ซึ่งพิจารณาถึงความคุ้มค่าเพื่อให้ได้ผลประหยัดไฟฟ้าและระยะเวลาคืนทุน โดยพบว่าระยะเวลาคืนทุนมีระยะเวลาอยู่ที่ 3 ปี 2 เดือน จนถึง 4 ปี 9 เดือน ขึ้นอยู่กับค่า Ft และหน่วยไฟฟ้าที่ผู้ใช้ไฟสามารถนำไปใช้ได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา เทคโนโลยีและการจัด
การพลังงาน (สหสาขาวิชา)

ปีการศึกษา 2565

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

6480103420 : MAJOR ENERGY TECHNOLOGY AND MANAGEMENT
(INTERDISCIPLINARY PROGRAM)

KEYWORD: GLOBAL IRRADIANCE, POSITIVE AND LINEAR CORRELATION,
COEFFICIENT OF DETERMINATION, FLOAT TIME

Sukanda Saengsai : EVALUATION OF ELECTRICITY GENERATION FROM
ROOFTOP SOLAR PHOTOVOLTAIC . Advisor: Assoc. Prof. PICHAYA
RACHDAWONG, Ph.D.

This research investigates the design of a monocrystalline solar rooftop power generation system using PVSyst and compares it with the actual electricity production from a 223.56 kW industrial factory in Bang Chalong, Samut Prakan Province. It examines the financial costs of installing the system and its impact on electricity consumption. The study compares forecasted light intensity and electric power values from PVSyst with measured data from the Meteororm device, revealing a 7.88% discrepancy in luminous intensity values. The findings help improve accuracy in nearby luminous intensity predictions using PVSyst. The research also assesses the cost-effectiveness of solar rooftop power generation, indicating a payback period ranging from 3 years and 2 months to 4 years and 9 months, depending on Ft value and electricity usage. This study enhances understanding of monocrystalline solar power system design and economic feasibility for industrial applications.

Field of Study: Energy Technology and Management
(Interdisciplinary Program) Student's Signature

Academic Year: 2022 Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

สารนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รศ.ดร.พิชญ รัชฎาวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาสารนิพนธ์หลัก ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และชี้แนะแนวทางในการจัดทำสารนิพนธ์ฉบับนี้อย่างดียิ่ง จนสำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.ประพันธ์ คูชลธารา และ ดร.นิตดา นาคะปรีชา ในฐานะ ประธานการสอบสารนิพนธ์ และกรรมการสอบสารนิพนธ์ที่ได้ให้ข้อคิดเห็น ข้อเสนอแนะ ที่ช่วยให้สารนิพนธ์ได้รับการแก้ไขให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ประจำหลักสูตรเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้องค์ความรู้ ทฤษฎี แนวคิด ประสบการณ์จริงในการทำงาน และให้คำปรึกษา ตลอดจนเจ้าหน้าที่ประจำหลักสูตร เจ้าหน้าที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่เกี่ยวข้องทุกท่าน

ขอขอบพระคุณ ทุกหน่วยงาน ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลต่างๆ เพื่อให้สารนิพนธ์ารทำวิจัยจนแล้วเสร็จ และมีความสมบูรณ์ของเนื้อหา

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณ กลุ่มเพื่อน ๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจ และให้การสนับสนุนการเรียนครั้งนี้มาโดยตลอด

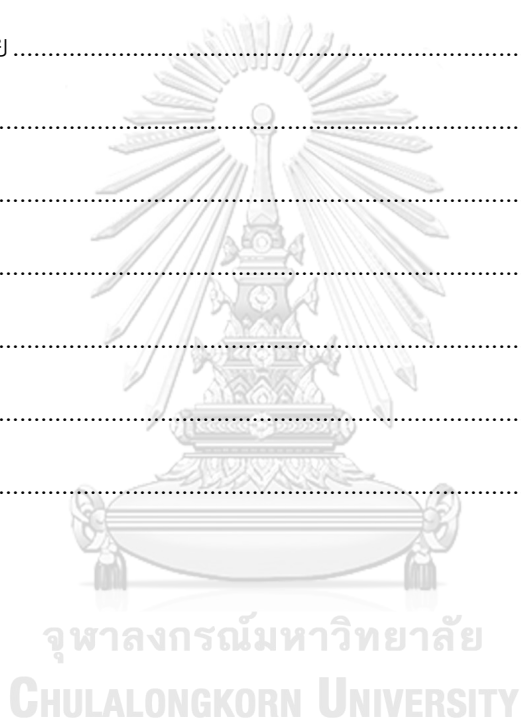
ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า สารนิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจศึกษาและค้นคว้าเกี่ยวกับการจัดการพลังงานชุมชนที่ยั่งยืน หากมีข้อบกพร่องประการใด ผู้วิจัยขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	5
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	5
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับของงานวิจัย.....	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
2.1 พลังงานจากดวงอาทิตย์.....	7
2.1.1 สเปกตรัมพลังงานแสงอาทิตย์.....	7
2.1.2 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ (Irradiance).....	8
2.1.3 การฉายรังสีของดวงอาทิตย์ (Irradiance).....	9
2.2 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย.....	9
2.3 การผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์.....	11
2.3.1 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV stand alone system).....	11
2.3.2 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า (PV grid connected system).....	12

2.3.3 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV Hybrid system).....	13
2.4 เทคโนโลยีของพลังงานแสงอาทิตย์	14
2.4.1 องค์ประกอบและการทำงานของแผงโซลาร์เซลล์	14
2.4.1.1 สารกึ่งตัวนำ ซิลิคอน (Silicon Semiconductor).....	14
2.4.1.2 สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N-type Semiconductor)	15
2.4.1.3 สารกึ่งตัวนำชนิด-P (P-Type Semiconductor).....	16
2.4.1.4 สารกึ่งตัวนำ พี-เอ็น.....	17
2.4.1.5 การไบแอส (Bias).....	18
2.4.1.6 การไบแอสตรง	18
2.4.2 ชนิดของแผงโซลาร์เซลล์.....	19
2.4.2.1 Monocrystalline Silicon (แผงโซลาร์เซลล์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์).....	19
2.4.2.2 Polycrystalline Silicon Solar Cells	19
2.4.2.3 แผงโซลาร์เซลล์ ชนิดฟิล์มบาง (Thin Film Solar Cells).....	20
2.4.3 ประสิทธิภาพของโซลาร์เซลล์.....	21
2.4.4 กำลังการผลิตไฟฟ้าสูงสุดของระบบเซลล์แสงอาทิตย์	21
2.5 การทำงานของระบบ.....	22
2.6 การออกแบบและจำลองโดยโปรแกรม PVsyst	23
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน.....	25
3.1 แผนการดำเนินงาน	25
3.2 ระยะเวลาการดำเนินงาน	26
3.3 คุณสมบัติของอุปกรณ์ที่ใช้ภายในโครงการ	26
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	28
4.1 วิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้	28

4.2	วิเคราะห์ความแม่นยำของการทำนายความเข้มแสงที่ได้จากโปรแกรม PV Syst และความเข้มแสงที่ได้เก็บข้อมูลจาก Pyranometer ที่ติดตั้งในพื้นที่โรงงานอุตสาหกรรม	33
4.3	สมรรถนะการผลิตพลังงานไฟฟ้า (Performance Ratio : PR)	35
4.4	วิเคราะห์ต้นทุนทางการเงินของการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อเปรียบเทียบกับการผลิตพลังงานไฟฟ้าก่อนและหลังติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา.....	35
4.5	วิเคราะห์การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก	38
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	40
5.1	สรุปผลการวิจัย	40
5.2	ข้อเสนอแนะ	41
บรรณานุกรม	.....	43
ภาคผนวก ก	.....	45
ภาคผนวก ข	.....	57
ภาคผนวก ค	.....	83
ประวัติผู้เขียน	.....	89



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 แผนการดำเนินงาน และระยะเวลาในการศึกษา	26
ตารางที่ 2 รายละเอียดอุปกรณ์ในระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา.....	26
ตารางที่ 3 ค่าความเข้มแสงอาทิตย์และพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้	28
ตารางที่ 4 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจพหุคูณในแต่ละเดือน	32
ตารางที่ 5 เปรียบเทียบความเข้มแสงจากโปรแกรม PVSyst และข้อมูลจาก Pyranometer เฉลี่ยรายเดือน	33
ตารางที่ 6 ผลประหยัดและระยะเวลาคืนทุนในสถานการณ์ที่แตกต่างกัน.....	36
ตารางที่ 7 ข้อมูลจาก Program PVSyst และจากการเก็บข้อมูลภายในโรงงาน.....	45
ตารางที่ 8 ข้อมูลจากระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ เดือนกรกฎาคม 2565.....	59
ตารางที่ 9 ข้อมูลจากระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ เดือนสิงหาคม 2565	61
ตารางที่ 10 ข้อมูลจากระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ เดือนกันยายน 2565.....	63
ตารางที่ 11 ข้อมูลจากระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ เดือนตุลาคม 2565	65
ตารางที่ 12 ข้อมูลจากระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ เดือนพฤศจิกายน 2565.....	67
ตารางที่ 13 ข้อมูลจากระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ เดือนธันวาคม 2565	69
ตารางที่ 14 ข้อมูลจากระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ เดือนมกราคม 2566.....	71
ตารางที่ 15 ข้อมูลจากระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ เดือนกุมภาพันธ์ 2566.....	73
ตารางที่ 16 ข้อมูลจากระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ เดือนมีนาคม 2566.....	75
ตารางที่ 17 ข้อมูลจากระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ เดือนเมษายน 2566	77
ตารางที่ 18 ข้อมูลจากระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ เดือนพฤษภาคม 2566	79
ตารางที่ 19 ข้อมูลจากระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ เดือนมิถุนายน 2566	81
ตารางที่ 20 ค่าไฟฟ้าระยะเวลา 12 เดือน ในปี 2563	84



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 ชนิดของพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy : พลังงานน้ำ, พลังงานแสงอาทิตย์, พลังงานลมและพลังงานความร้อนใต้พิภพ [2].....	1
ภาพที่ 2 กำลังการผลิตไฟฟ้าทั่วโลกแบ่งตามเทคโนโลยี ตั้งแต่ปี 2555 จนถึง 2564 [3]	2
ภาพที่ 3 การติดตั้งโรงไฟฟ้าทั่วโลกแบ่งตามเทคโนโลยี ตั้งแต่ปี 2549 [3]	3
ภาพที่ 4 สัดส่วนการติดตั้งโรงไฟฟ้าใหม่ทั่วโลกแบ่งตามเทคโนโลยี ตั้งแต่ปี 2550 จนถึง 2564 [3]... 3	3
ภาพที่ 5 การเติบโตของกำลังการผลิตของเซลล์แสงอาทิตย์ใน 10 อันดับประเทศแรก [3]	4
ภาพที่ 6 ชนิดของความยาวคลื่น [5]	8
ภาพที่ 7 การเปรียบเทียบรังสีอาทิตย์กับพื้นที่รับรังสี [6].....	8
ภาพที่ 8 แผนที่ศักยภาพภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทยในแต่ละเดือน [4]	10
ภาพที่ 9 แผนที่ศักยภาพภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทยเฉลี่ยตลอดปี [4]	11
ภาพที่ 10 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบจ่ายโหลดโดยตรง [6]	12
ภาพที่ 11 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระทำงานร่วมกับแบตเตอรี่ [6]	12
ภาพที่ 12 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า [6]	13
ภาพที่ 13 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน [6]	13
ภาพที่ 14 การเกาะเกี่ยวกันของอิเล็กตรอนวงนอกสุดของอะตอมซิลิคอน [8].....	14
ภาพที่ 15 โครงสร้างอะตอมของผลึกซิลิคอนบริสุทธิ์ [8]	15
ภาพที่ 16 การเกิดอิเล็กตรอนอิสระ และโฮลในสารกึ่งตัวนำซิลิคอน [8]	15
ภาพที่ 17 การเติมอะตอมของฟอสฟอรัสเข้าไปในผลึกซิลิคอน [8].....	16
ภาพที่ 18 สารกึ่งตัวนำชนิด-เอ็น [8]	16
ภาพที่ 19 อะตอมของโบรอนเติมในสารซิลิคอนบริสุทธิ์ [8]	16
ภาพที่ 20 สารกึ่งตัวนำซิลิคอนชนิด-พี [8].....	17

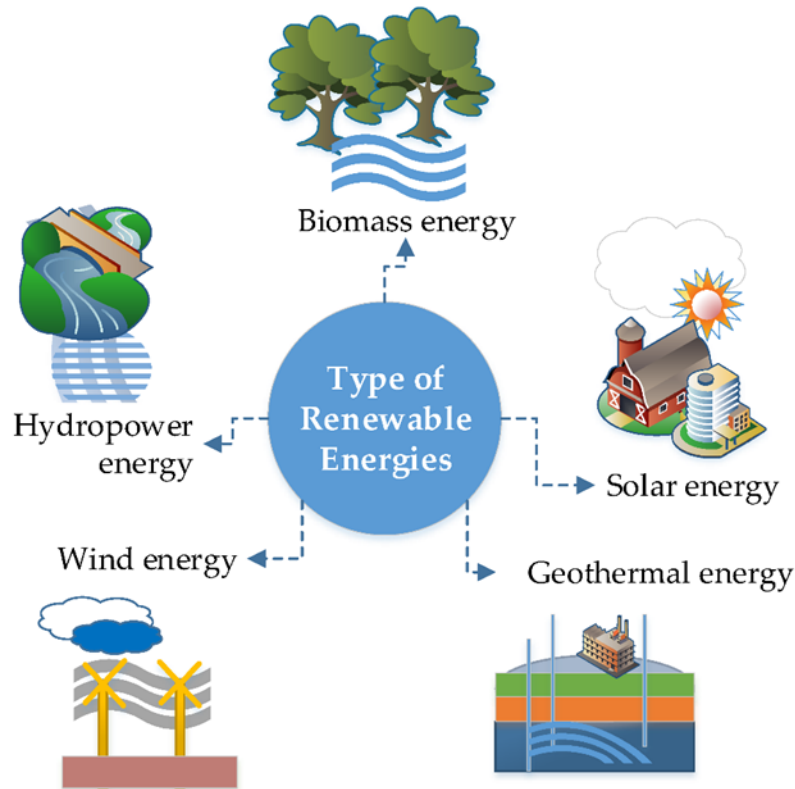
ภาพที่ 21 การเชื่อมต่อของสารกึ่งตัวนำ พี-เอ็น และการเกิดบริเวณปลอดพาหะและแรงดันตกคร่อม รอยต่อ พี-เอ็น [8].....	17
ภาพที่ 22 การไบแอสกลับรอยต่อ พี-เอ็น [8].....	18
ภาพที่ 23 การไบแอสตรง ที่รอยต่อ พี-เอ็น [8].....	19
ภาพที่ 24 Monocrystalline Silicon [10].....	20
ภาพที่ 25 Polycrystalline Silicon [10].....	20
ภาพที่ 26 Thin film [10].....	20
ภาพที่ 27 ระบบจ่ายไฟฟ้าของโรงงานก่อนติดตั้งระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์	22
ภาพที่ 28 ระบบจ่ายไฟฟ้าของโรงงานหลังติดตั้งระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์.....	22
ภาพที่ 29 สถานีตรวจและเก็บข้อมูลอุตุนิยมหาวิทยาลัยภาคพื้นดิน [13].....	23
ภาพที่ 30 แผนที่ผลรวมรายปีของ global irradiation กิโลวัตต์ชั่วโมง/ตร.ม. จากข้อมูลดาวเทียม และภาคพื้นดิน [13].....	24
ภาพที่ 31 ค่าเฉลี่ยความเข้มแสงและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานรายเดือน	29
ภาพที่ 32 ความสัมพันธ์ของความเข้มแสงและพลังงานไฟฟ้าผ่านสมการถดถอยเชิงเส้น เดือน กรกฎาคม 2565 ถึงเดือนมิถุนายน 2566.....	30
ภาพที่ 33 ความสัมพันธ์ของข้อมูลความเข้มแสงจากโปรแกรม PVSyst และ Pyranometer.....	34
ภาพที่ 34 Sensitivity Analysis ห่วงค่า Ft และระยะเวลาคืนทุน	37
ภาพที่ 35 Sensitivity Analysis ระหว่างจำนวนหน่วยไฟที่สามารถนำไปใช้ได้และระยะเวลาคืนทุน	38

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

พลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์หรือ โซลาร์เซลล์เป็นพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) คือพลังงานที่ได้จากแหล่งพลังงานที่เกิดขึ้นต่อเนื่องได้ไม่หมดไป ดังภาพที่ 1 สามารถมาทดแทนการใช้พลังงานรูปแบบดั้งเดิมจากเชื้อเพลิงฟอสซิล(Fossil) โดยพลังงานหมุนเวียนเป็นแนวทางการใช้พลังงานที่มีบทบาทสำคัญในระบบพลังงานของโลก เนื่องจากโซลาร์เซลล์เป็นสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำซึ่งสามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรงและพลังงานไฟฟ้าที่ได้นั้นเป็นไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งจัดเป็นแหล่งพลังงานทดแทนชนิดหนึ่งที่ดีสะอาดและไม่สร้างมลภาวะใด ๆ ขณะใช้งาน และแสงอาทิตย์ยังเป็นแหล่งพลังงานธรรมชาติซึ่งไม่มีวันหมดไป โดยพลังงานที่ดวงอาทิตย์สร้างขึ้นนั้น เมื่อถูกดูดซับจากชั้นบรรยากาศของโลกยังคงเหลือพลังงานที่ตกลงบนพื้นโลกประมาณ 1.25×10^{14} kWh/ตร.ม.ปี ซึ่งคิดเป็นปริมาณความร้อนคงที่ที่คงเหลือบนผิวโลกประมาณ 68.2% [1]

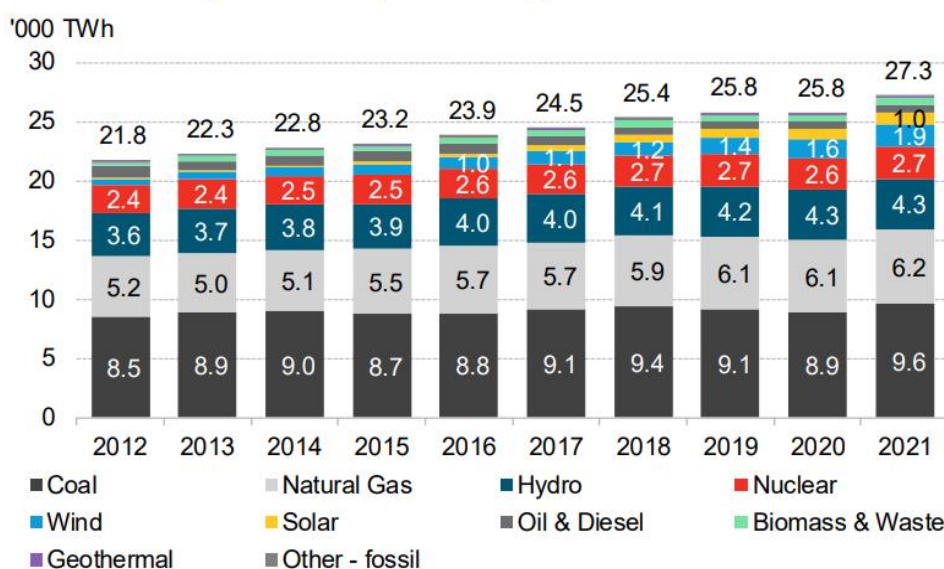


ภาพที่ 1 ชนิดของพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy : พลังงานน้ำ, พลังงานแสงอาทิตย์, พลังงานลมและพลังงานความร้อนใต้พิภพ [2])

โดยทั่วโลกก็ยังคงมีความพยายามจะใช้พลังงานจากพลังงานหมุนเวียนมากขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากความต้องการการใช้พลังงานก็ยังคงมีมากขึ้น ซึ่งในปี 2564 มีกำลังการผลิตไฟฟ้าทั่วโลกอยู่เพิ่มขึ้น โดยมีกำลังการผลิตอยู่ที่ประมาณ 27,300 Terawatt hour (TWh : 10^{12}) โดยเป็นการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ทั่วโลกอยู่ที่ประมาณ 1,000 TWh โดยคิดเป็นสัดส่วนการผลิตไฟฟ้าอยู่ที่ 3.7% เทียบจากปี 2555 ซึ่งแทบจะไม่มีการผลิตพลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์เลย ดังภาพที่ 2

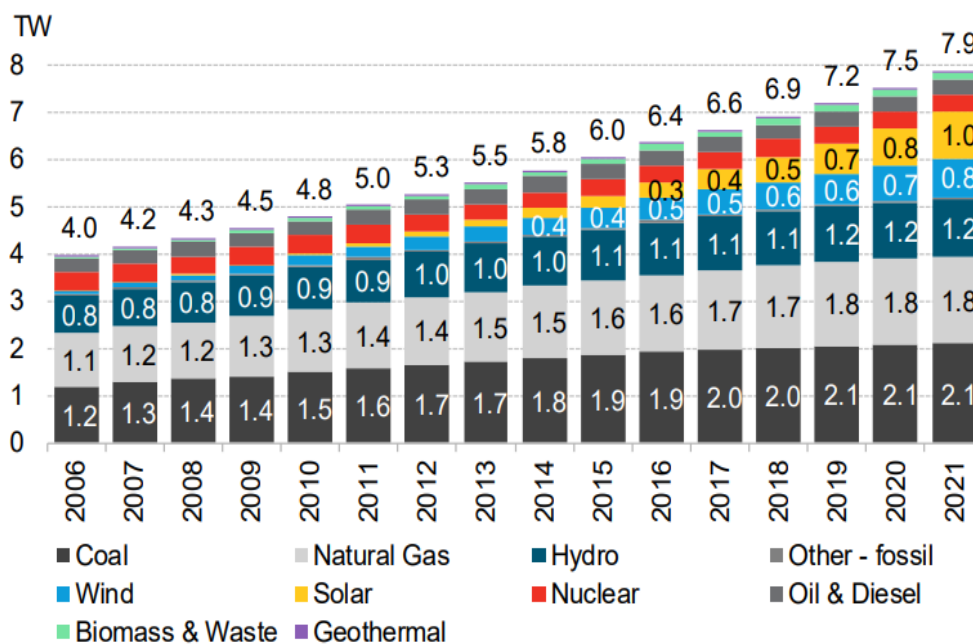
หากมองถึงกำลังโรงไฟฟ้าทั่วโลก ตั้งแต่ปี 2549 มีการติดตั้งกำลังการผลิตประมาณ 4 TW และในปี 2564 มีการติดตั้งโรงไฟฟ้างำลังการผลิตประมาณ 7.9 TW โดยมีกำลังการผลิตไฟฟ้ามากขึ้นเป็น 2 เท่า ในระยะเวลา 15 ปีที่ผ่านมา ดังภาพที่ 3 จะแสดงให้เห็นว่ากำลังการผลิตโรงไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และพลังงานลมมีการติดตั้งเติบโตเร็วที่สุด โดยหากพิจารณาการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในปี 2564 ซึ่งมีการติดตั้งอยู่ที่ 973 Giga watt (GW : 10^9) ซึ่งจะมีสัดส่วนการติดตั้งเพิ่มขึ้น 23% เมื่อเปรียบเทียบกับปี 2563 และการติดตั้งกำลังการผลิตของปี 2555 และปี 2549 จะมีการติดตั้งอยู่ที่ประมาณ 103 GW และ 7 GW ตามลำดับ ซึ่งเป็นการเติบโตที่รวดเร็วมากในด้านการติดตั้งกำลังการผลิตไฟฟ้า และเมื่อพิจารณาการติดตั้งโรงไฟฟ้าที่สร้างใหม่โดยแบ่งตามเทคโนโลยี ตั้งแต่ปี 2550 จนถึงปี 2564 มีอัตราการสร้างโรงไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มากขึ้นทุกปี และในปี 2564 มีสัดส่วนการติดตั้งโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์มากถึง 50% ของการสร้างโรงไฟฟ้าใหม่ทั้งหมด โดยมีการติดตั้งกำลังการผลิตใหม่ที่ 364 GW และในปี 2563 และในปี 2555 มีกำลังการผลิตติดตั้งการผลิตใหม่ที่ 339 GW และ 257 GW ตามลำดับ ดังภาพที่ 4

Global annual generation by technology



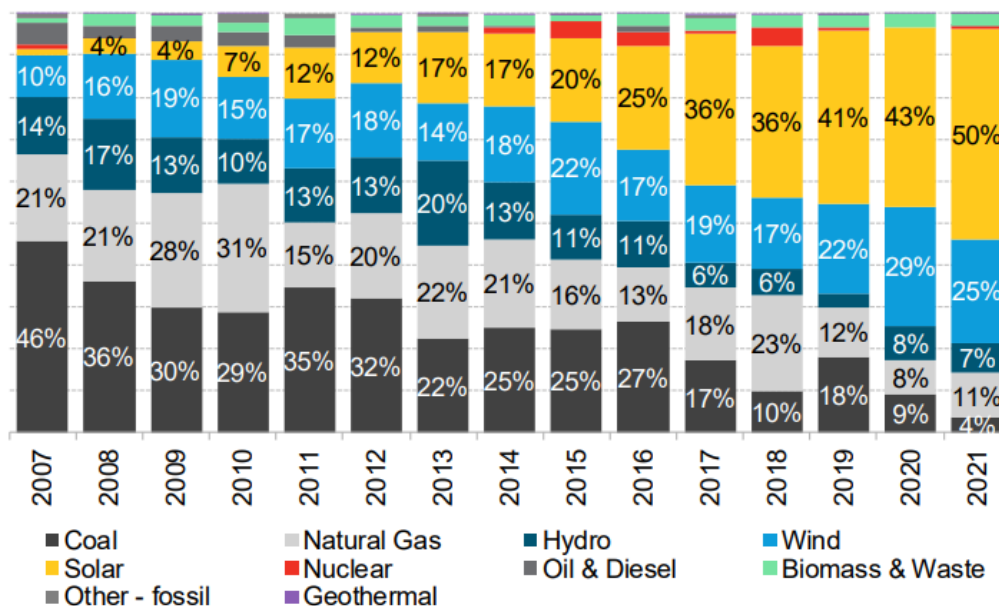
ภาพที่ 2 กำลังการผลิตไฟฟ้าทั่วโลกแบ่งตามเทคโนโลยี ตั้งแต่ปี 2555 จนถึง 2564 [3]

Global installed capacity by technology



ภาพที่ 3 การติดตั้งโรงไฟฟ้าทั่วโลกแบ่งตามเทคโนโลยี ตั้งแต่ปี 2549 [3]

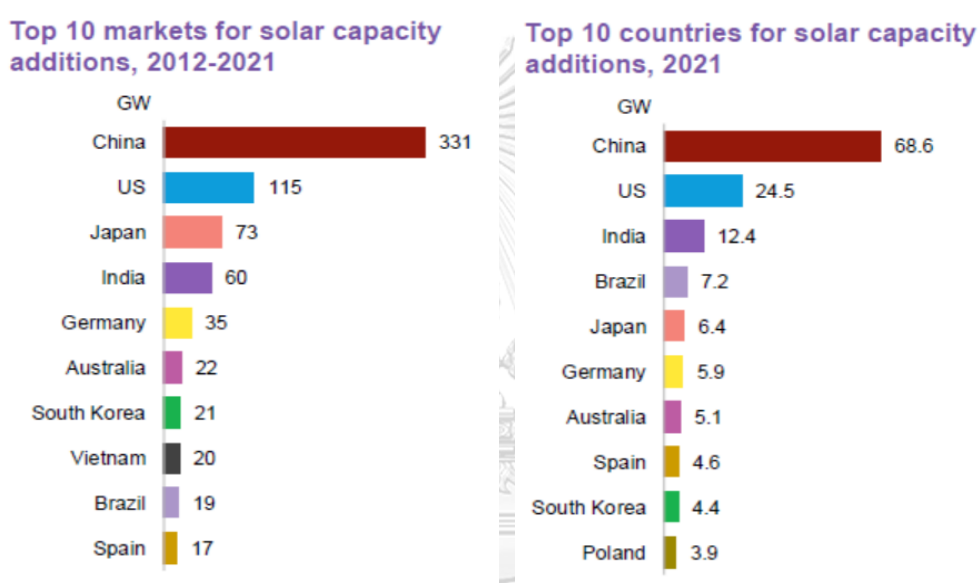
Share of global capacity additions by technology



Source: BloombergNEF. Note: Share of global capacity additions excluding retirements.

ภาพที่ 4 สัดส่วนการติดตั้งโรงไฟฟ้าใหม่ทั่วโลกแบ่งตามเทคโนโลยี ตั้งแต่ปี 2550 จนถึง 2564 [3]

ปัจจุบันทั่วโลกให้ความสำคัญกับพลังงานสะอาดมากขึ้นจากอดีตที่ผ่านมา ซึ่งเห็นได้จากกำลังการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีมากขึ้นในหลายประเทศ โดยในปี 2555 ถึง 2564 มีกำลังการผลิตรวม 10 อันดับประเทศที่มีกำลังการผลิตสูงสุด รวม 713 GW โดยมีประเทศจีนมีกำลังผลิตมากที่สุดคือ 331 GW คิดเป็น 47% ของกำลังการผลิตทั้งหมด ซึ่งห่างจากอันดับสองคือประเทศอเมริกาถึง 65% ซึ่งมีกำลังการผลิต 115 GW หรือคิดเป็น 16% ของกำลังการผลิตทั้งหมดในระยะเวลา 10 ปี และภายในปี 2564 มีกำลังการผลิตรวม 143 GW จะเห็นได้ว่ามีอัตราการเติบโตมากถึง 80% ของกำลังการผลิตจากอดีตตั้งแต่ปี 2555 โดยประเทศจีนยังเป็นประเทศที่มีอัตราการเติบโตสูงที่สุดซึ่งมีกำลังการผลิตอยู่ที่ 68.6 GW หรือคิดเป็น 48% ของกำลังการผลิตรวมในปี 2564 ดังภาพที่ 5 [3]



ภาพที่ 5 การเติบโตของกำลังการผลิตของเซลล์แสงอาทิตย์ใน 10 อันดับประเทศแรก [3]

จากนโยบายการกำหนดแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2561 – 2580 ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 1 ได้ส่งเสริมการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นพลังงานหมุนเวียน โดยมีแผนผลิตไฟฟ้ากำลังการผลิตทั้งหมด 14,754 MW จากพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานแสงอาทิตย์ทุ่นลอยน้ำร่วมกับโรงไฟฟ้าพลังน้ำ ในปี 2580 [4] ซึ่งเป็นนโยบายการลดพลังงานเชื้อเพลิงจากฟอสซิลและการสนับสนุนการใช้พลังงานทดแทนจากพลังงานหมุนเวียนจากภาครัฐบาล ทำให้กระแสความนิยมในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์พุ่งสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพราะพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานทดแทนประเภทหมุนเวียนที่เกิดขึ้นได้ตามธรรมชาติ และในปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีให้สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้สูงขึ้นและราคาต่ำลงจากในอดีต ทำให้สถานการณ์ของธุรกิจพลังงานทดแทนประเภทนี้จึงมีการเติบโตขึ้นเรื่อยๆอย่างต่อเนื่อง โดยมักจะติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาบ้านเรือนหรือโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากประหยัดพื้นที่ในการติดตั้ง และใช้เพื่อที่จะผลิตไฟฟ้ามาใช้ในช่วงกลางวันแทนการซื้อไฟฟ้าจากทางภาครัฐที่มีราคาสูงขึ้น

โดยการประเมินประสิทธิภาพจะต้องมีการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อให้ได้ผลลัพธ์เป็นไปตามที่ออกแบบไว้ สำหรับข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบเพื่อติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา เช่น ข้อมูลแสงแดดในพื้นที่ติดตั้ง ระยะเวลาที่มีแสงอาทิตย์ และข้อมูลอื่นๆที่เกี่ยวข้อง ในการศึกษาความเป็นไปได้โครงการมักจะมีการประเมินปริมาณไฟฟ้าที่จะได้เพื่อนำมาคำนวณความคุ้มค่า โดยใช้โปรแกรม เช่น โปรแกรม PVSyst อย่างไรก็ตามข้อมูลที่สำคัญเช่นความเข้มแสงและระยะเวลาการผลิตไฟได้ มีการนำเข้าโดยยังเป็นข้อมูลเฉลี่ยของพื้นที่ เช่น ของจังหวัด หรือของประเทศ ยังขาดความเจาะจง ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการประเมินปริมาณพลังงานที่ออกมา ส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนต่อไปในการคำนวณความคุ้มค่าด้วย ผู้วิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะวิเคราะห์ในประเด็นต่างๆดังนี้

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาการออกแบบของระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์บนหลังคาจากโปรแกรม PVSyst เพื่อเปรียบเทียบกับปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงจากการติดตั้งระบบของโรงงานอุตสาหกรรม
2. ศึกษาต้นทุนทางการเงินของการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อเปรียบเทียบกับการลดพลังงานไฟฟ้าก่อนและหลังติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. ขอบเขตด้านข้อมูล

1.1 เอกสารข้อมูลการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาโรงงาน ตำบลบางโหลง อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2565 จนถึงเดือนมิถุนายน 2566 เป็นระยะเวลา 12 เดือน ซึ่งเป็นข้อมูลปฐมภูมิซึ่งได้จากการเก็บข้อมูลดังต่อไปนี้

1.1.1 ค่าความเข้มแสงรายวัน (kWh/m^2)

1.1.2 จำนวนชั่วโมงแสงอาทิตย์ (hour)

1.1.3 ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยรายวัน ($^{\circ}\text{C}$)

1.2 ค่าพยากรณ์จากโปรแกรม PVSyst ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยข้อมูลสถานะภูมิอากาศ จากฐานข้อมูล Meteonorm จากสถานที่ใกล้เคียงกับสถานที่ที่จะพยากรณ์กัน 3 จุด

2. การวิเคราะห์

2.1 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง 12 เดือน ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2565 ถึงเดือนมิถุนายน 2566 กับค่าพยากรณ์ที่ได้จากโปรแกรม PVSyst

2.2 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลความเข้มแสงที่ได้จากการเก็บข้อมูลและค่าพลังงานไฟฟ้าที่คำนวณได้จากทางทฤษฎี

- 2.3 วิเคราะห์สมรรถภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เกิดขึ้นหลังจากติดตั้ง เทียบกับข้อมูลที่ได้จากรายละเอียด (Specification) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์
- 2.4 ประเมินความคุ้มค่าทางการเงินจากการลงทุนติดตั้งติดตั้งระบบไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์บนหลังคา

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับของงานวิจัย

1. เพื่อวิเคราะห์ผลประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา เพื่อเป็นประโยชน์ในการตัดสินใจการลงทุนการติดตั้ง ในพื้นที่สมุทรปราการ
2. เพื่อหาความน่าเชื่อถือ และความแม่นยำของโปรแกรม PVsyst กับพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง
3. เป็นแนวทางสำหรับการพยากรณ์ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา ในพื้นที่อื่นๆ ที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

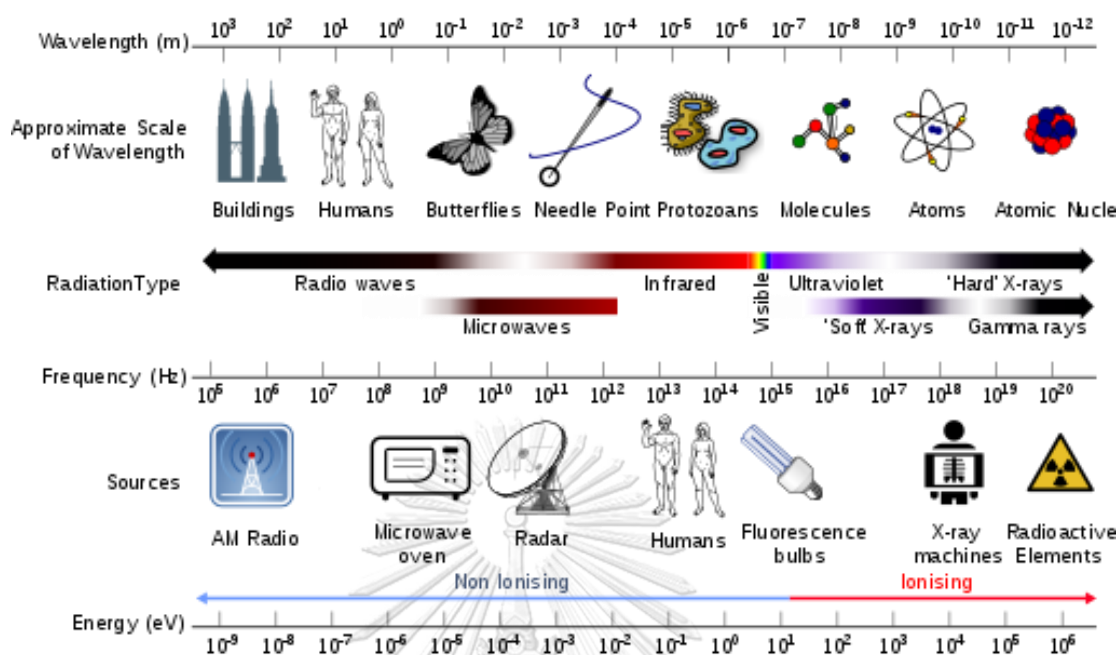
2.1 พลังงานจากดวงอาทิตย์

พลังงานจากดวงอาทิตย์สามารถนำไปเป็นพลังงานทดแทนได้ เพราะพลังงานจากดวงอาทิตย์นั้นมีปริมาณ มากจนเกือบจะไม่มีวันหมด ดวงอาทิตย์ทำให้มีแสงสว่างบนโลกมานานกว่า 4,000 ล้านปี พลังงานแสงอาทิตย์หมายถึง รังสีจากดวงอาทิตย์ที่มาถึงโลก พลังงานนี้สามารถแปลงเป็นความร้อนและไฟฟ้า โดยใช้เทคโนโลยีที่แตกต่างกัน ซึ่งพลังงานแสงอาทิตย์คือ พลังงานจากดวงอาทิตย์ซึ่งถือว่าเป็นพลังงานหมุนเวียนเนื่องจากมีปริมาณมาก โดยข้อดีของพลังงานจากแสงอาทิตย์มีดังต่อไปนี้

- 1) พลังงานแสงอาทิตย์นั้นไร้ขีดจำกัด และจะไม่หมดไป
- 2) เทคโนโลยีที่ใช้แปลงแสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้าไม่ได้ก่อให้เกิดควัน (คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และมลพิษทางอากาศอื่น ๆ)
- 3) การใช้งานพลังงานจากแสงอาทิตย์ไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม

2.1.1 สเปกตรัมพลังงานแสงอาทิตย์

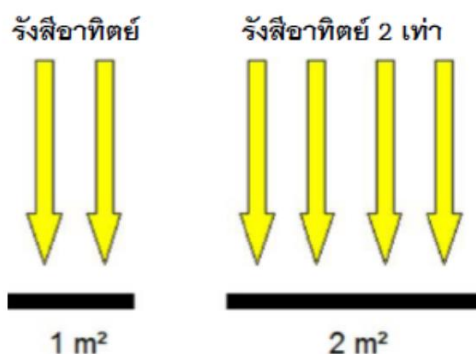
ในแต่ละส่วนของสเปกตรัมพลังงานแสงอาทิตย์มีระดับพลังงานที่แตกต่างกัน แสงในส่วนที่มองเห็นได้ ของสเปกตรัมแสงสีแดงจะมีพลังงานต่ำสุดและแสงสีม่วงพลังงานสูงสุด ในส่วนของแสงที่มองไม่เห็นของ สเปกตรัม โฟตอนในช่วงอัลตราไวโอเล็ตซึ่งทำให้ผิวเป็นสีแทน มีพลังงานมากกว่าช่วงแสงที่มองเห็นได้ แสงในช่วงที่อินฟราเรดทำในเรารู้สึกร้อน มีพลังงานน้อยกว่าโฟตอนในพื้นที่ที่มองเห็น การเคลื่อนที่ของแสงจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งนั้นสามารถอธิบายได้ดีที่สุดว่าเป็นการเคลื่อนที่ของคลื่น และชนิดของการแผ่รังสีแต่แบบสามารถอธิบายโดยความยาวคลื่น ความยาวคลื่นคือระยะทางจากจุดสูงสุดของ คลื่นหนึ่งไปถึงจุดสูงสุดของคลื่นลูกถัดไป การแสดงการแผ่รังสีปริมาณพลังงานที่แตกต่างกัน ยิ่งความยาวคลื่นมากเท่าไรก็ยิ่งใช้พลังงานน้อยเท่านั้น ตัวอย่างเช่น แสงสีแดงมีความยาวคลื่นที่ยาวกว่าดังนั้นจะมีพลังงาน น้อยกว่าแสงสีม่วงดังแสดงในภาพที่ 6 โดยดวงอาทิตย์ปล่อยพลังงานรังสีทั้งหมดออกมาในรูปของสเปกตรัมของความยาวคลื่นที่อยู่ในช่วง ประมาณ 2×10^{-7} ถึง 4×10^{-6} เมตร พลังงานส่วนใหญ่อยู่ในช่วงของแสงที่มองเห็น แต่ละความยาวคลื่นสอดคล้องกับความถี่และพลังงาน โดยที่ความยาวคลื่นสั้น (ความถี่สูง) จะมีพลังงานสูง (แสดงในรูปของ eV หรือ อิเล็กตรอนโวลต์; 1อิเล็กตรอนโวลต์ คือปริมาณของพลังงานจลน์ ที่เกิดขึ้นจากการที่อิเล็กตรอนอิสระเดินทางผ่านความต่างศักย์จากไฟฟ้าสถิตขนาด 1 โวลต์ในสุญญากาศ)



ภาพที่ 6 ชนิดของความยาวคลื่น [5]

2.1.2 การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ (Irradiance)

การแผ่รังสีของแสงอาทิตย์จะทำให้เกิดพลังงานขึ้นและหน่วยสำหรับการวัดกำลังคือวัตต์ (W) อย่างไรก็ตามปริมาณพลังงานขึ้นอยู่กับความเข้มของรังสีจากดวงอาทิตย์ และขนาดของพื้นที่ผิวที่รับแสง พื้นที่ผิวที่ใหญ่ขึ้นจะได้รับพลังงานมากขึ้น ดังนั้นการฉายรังสีจึงมีหน่วยวัดเป็น วัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2) โดย พื้นที่ 2 ตารางเมตร ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ (W) เป็น 2 เท่ามากกว่าพื้นที่ 1 ตารางเมตร ดังแสดงในภาพที่ 7 การวัดการแผ่รังสีเป็นการวัดความเข้มของพลังงาน อธิบายถึงพลังงานมาถึงพื้นที่ที่กำหนด



ภาพที่ 7 การเปรียบเทียบรังสีอาทิตย์กับพื้นที่รับรังสี [6]

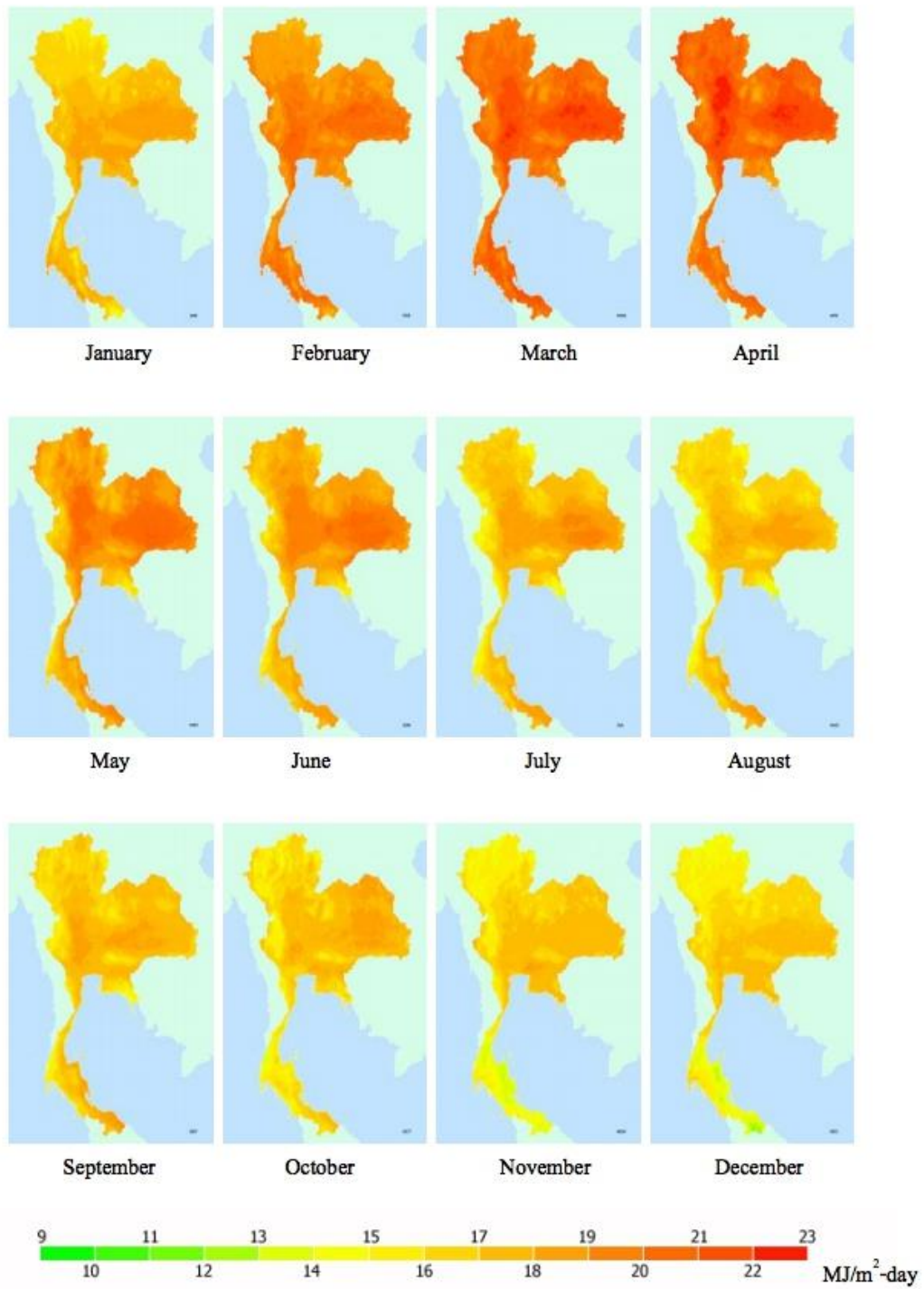
2.1.3 การฉายรังสีของดวงอาทิตย์ (Irradiance)

การฉายรังสีเป็นมาตรวัดพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งวัดพลังงานเป็น Wh (วัตต์ชั่วโมง) หรือ kWh (กิโลวัตต์ชั่วโมง) พลังงานแสงอาทิตย์เป็นผลของกำลังงานแสงอาทิตย์และเวลา ซึ่งวัดเป็น Wh/m² (วัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตร) หรือเป็น kWh/m² (กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตร) สามารถทราบการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ได้มากแค่ไหนในหนึ่งวัน ดังนั้นเราจึงวัดพลังงานแสงอาทิตย์ในหน่วย วัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน หรือ กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน โดยการฉายรังสีคือพลังงานแสงอาทิตย์ที่รวบรวมได้ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง มันคือผลคูณของการฉายรังสี (กำลังงาน) และเวลา [6]

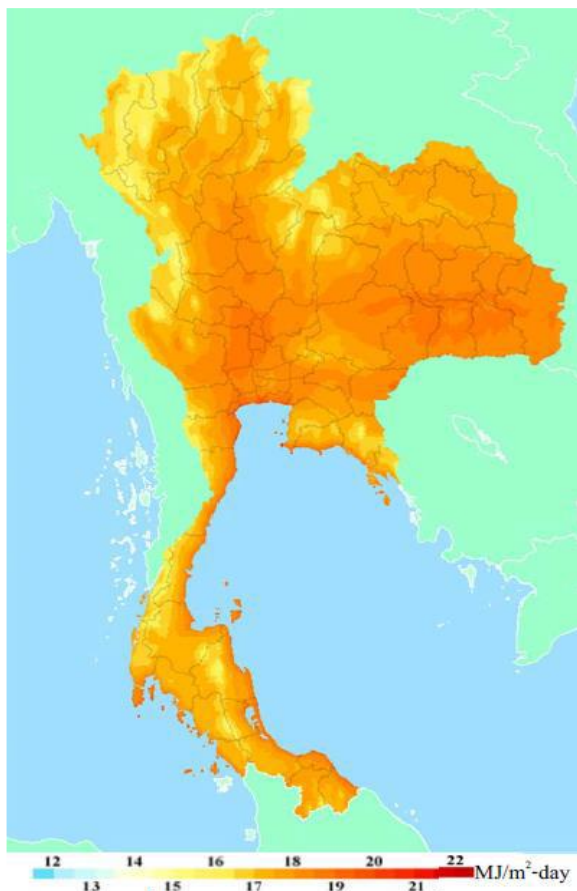
2.2 ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) ได้ศึกษาศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์และจัดทำแผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์จากข้อมูลดาวเทียมของประเทศไทยได้ทำการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับคำนวณค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์จากข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม โดยแบบจำลองดังกล่าวคำนึงถึงการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของโอโซน ไอน้ำ และการลดทอนของฝุ่นละออง ข้อมูลดาวเทียมที่ใช้เป็นข้อมูลจากดาวเทียม รวมระยะเวลา 15 ปี (ค.ศ. 2544-2558) ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียมดังกล่าวครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดของประเทศไทยโดยการวิเคราะห์ข้อมูลดาวเทียมประกอบด้วยข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดภาคพื้นดิน ไปคำนวณรังสีดวงอาทิตย์ทั่วประเทศและนำผลที่ได้ไปจัดแสดงในรูปแบบที่รายเดือนและรายปี โดยแผนที่รังสีอาทิตย์รายเดือนของประเทศไทย พบว่าการกระจายของรังสีดวงอาทิตย์ตามพื้นที่ในแต่ละเดือนได้รับอิทธิพลของลมมรสุมและลักษณะทางภูมิศาสตร์ของพื้นที่ โดยเดือนเมษายนเป็นช่วงเวลาที่พื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศไทยได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุด ดังภาพที่ 8 สำหรับการกระจายตามพื้นที่รังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยต่อปีพบว่าการกระจายของความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ยตลอดปีของทุกภาคทั่วประเทศมีความเข้มรังสีอาทิตย์ส่วนใหญ่กระจายอยู่ในช่วง 17-20 MJ/m²-day โดยบริเวณพื้นที่ภาคกลางและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยจะมีค่าความเข้มรังสีอาทิตย์สูงอยู่ในช่วง 20-22 MJ/m²-day ปรากฏอยู่เป็นบริเวณกว้างซึ่งครอบคลุมพื้นที่จังหวัดสิงห์บุรี, ลพบุรี, อ่างทอง, สุรินทร์, อุบลราชธานี, ศรีสะเกษ, บุรีรัมย์, ร้อยเอ็ด และบริเวณใกล้เคียง โดยจากการคำนวณค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ยตลอดทั้งปีของประเทศไทยพบว่ามีค่าเท่ากับ 17.6 MJ/m² -day ดังภาพที่ 9 โดยในปี 2542 ค่าความเข้มรังสีอาทิตย์เฉลี่ยต่อเดือน เท่ากับ 18.2 MJ/m²-day และในปี 2553 มีค่าเท่ากับ 18.0 MJ/m²-day และในปี 2560 มีค่าเท่ากับ 17.6 MJ/m²-day ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าศักยภาพความเข้มรังสีอาทิตย์ของประเทศไทยมีค่าลดลงทั้งนี้เนื่องจากส่วนหนึ่งมาจากค่าของปริมาณฝุ่นละอองในบรรยากาศที่มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องหรือมีสาเหตุมาจากภาวะโลกร้อนที่ส่งผลให้สภาวะอากาศโลกมีอุณหภูมิสูงขึ้นทำให้อากาศแห้งสามารถรับปริมาณ

ความชื้นได้เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณไอน้ำในบรรยากาศมีค่าเพิ่มขึ้นทำให้ลดทอนแสงอาทิตย์ที่เข้ามาถึงยังพื้นโลก [4]



ภาพที่ 8 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทยในแต่ละเดือน [4]



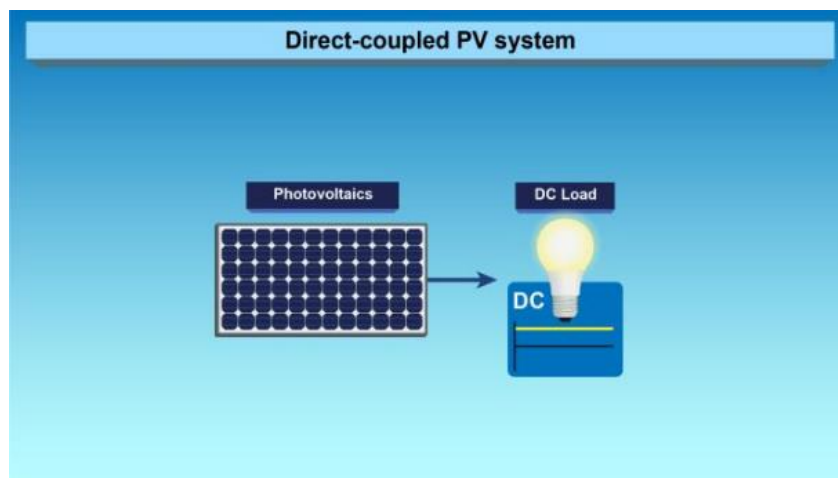
ภาพที่ 9 แผนที่ศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทยเฉลี่ยตลอดปี [4]

2.3 การผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

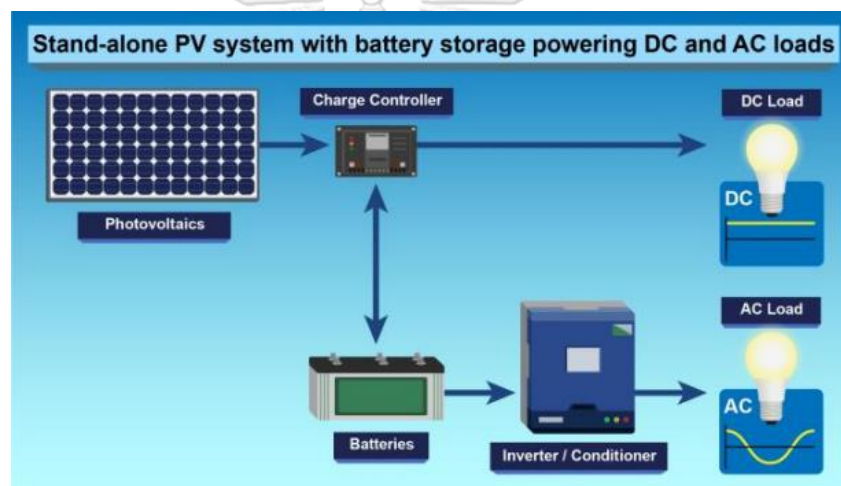
การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบ่งออกเป็น 3 ระบบ ดังต่อไปนี้

2.3.1 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV stand alone system)

เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ได้รับการออกแบบสำหรับใช้งานในพื้นที่ชนบทที่ไม่มีระบบสายส่งไฟฟ้าดังแสดงในภาพที่ 10 อุปกรณ์ของระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อใช้งานตรงกับโหลดไฟฟ้ากระแสตรง และอีกรูปแบบหนึ่งคือ นำมาต่อให้ได้แรงดันตามความต้องการของอุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ (Solar charge controller) ซึ่งต่ออยู่ถัดมาและกำลังไฟฟ้าตามที่ต้องการใช้งานของโหลด ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากอุปกรณ์ ควบคุมการประจุสามารถทำได้ใช้งานโดยการต่อกับโหลดไฟฟ้ากระแสตรงได้เลยและในขณะเดียวกัน ถ้ากำลังไฟฟ้าเหลือก็สามารถนำไปชาร์จเข้าแบตเตอรี่ และถัดมาเป็นอุปกรณ์ แปลงผันพลังงานเพื่อเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบอิสระ โดยโหลดที่ใช้จะเป็นอุปกรณ์ที่ใช้กับ ไฟฟ้ากระแสสลับ ดังภาพที่ 11



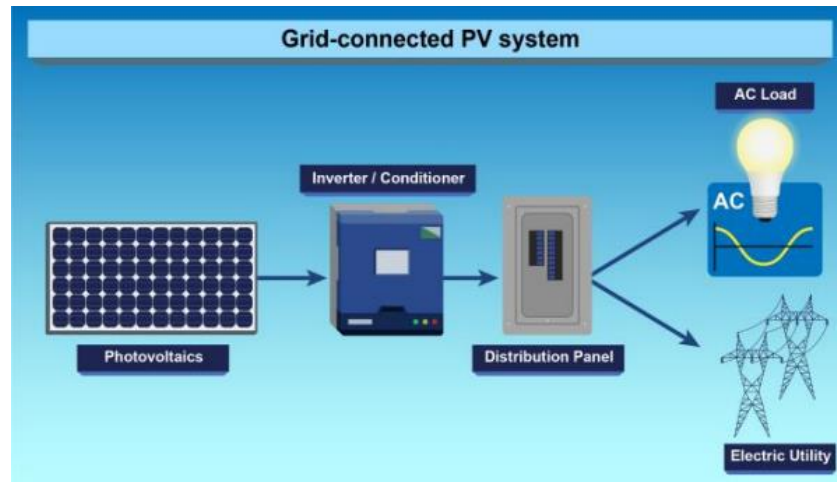
ภาพที่ 10 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบจ่ายโหลดโดยตรง [6]



ภาพที่ 11 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระทำงานร่วมกับแบตเตอรี่ [6]

2.3.2 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า (PV grid connected system)

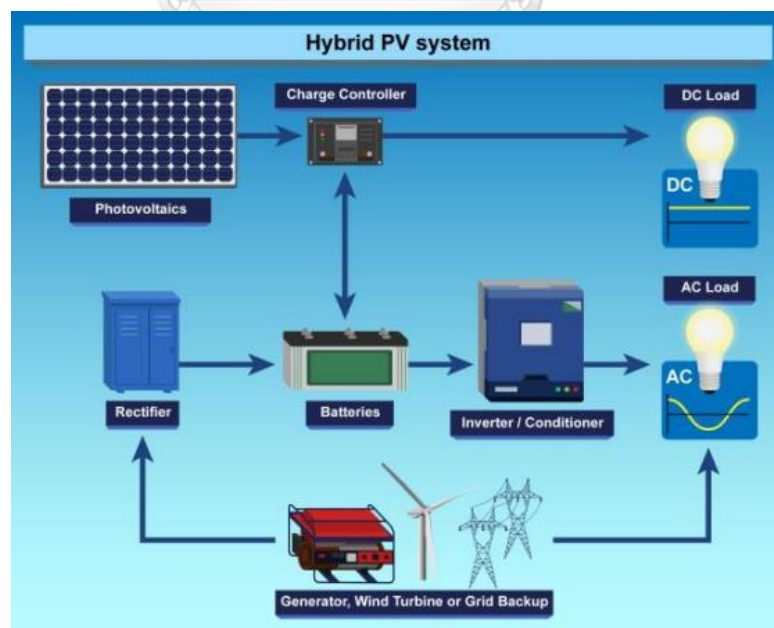
ระบบผลิตไฟฟ้าที่ถูกรออกแบบสำหรับการผลิตไฟฟ้าดังแสดงในภาพที่ 12 อุปกรณ์ของระบบที่สำคัญ ประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งนำมาต่อให้ได้แรงดันตามความต้องการของอินเวอร์เตอร์ โดยต่อผ่านกล่องต่อสายและเบรกเกอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและกำลังไฟฟ้าตามที่ต้องการใช้งานของโหลด ซึ่งแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้สามารถนำไปใช้งานได้โดยตรงโดยการต่อกับโหลดไฟฟ้ากระแสตรง หรือแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งสามารถนำไปใช้กับโหลดไฟฟ้ากระแสสลับและในขณะเดียวกัน ก็สามารถต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้า ผ่านสวิตช์ตัดตอนและมิเตอร์กิโลวัตต์-ชั่วโมง ใช้ผลิตไฟฟ้าในเขตเมือง หรือพื้นที่ที่มีระบบโครงข่ายไฟฟ้าเข้าถึง



ภาพที่ 12 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า [6]

2.3.3 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV Hybrid system)

ระบบผลิตไฟฟ้าที่ถูกรออกแบบสำหรับผลิตไฟฟ้าร่วมกับอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าชนิดอื่น ๆ อุปกรณ์ของระบบ ที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งนำมาต่อให้ได้แรงดันตามความต้องการของอุปกรณ์แปลงผันพลังงาน แบบผสมผสาน (Hybrid inverter) โดยสามารถใช้งานร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กังหันลมผลิตไฟฟ้า และแบตเตอรี่ดังแสดงในภาพที่ 13 โดยไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้ อาจจะนำไปใช้กับซึ่งสามารถนำไปใช้กับโพลดไฟฟ้า กระแสสลับ 230 Vac และในขณะเดียวกันก็สามารถต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้า [6]



ภาพที่ 13 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน [6]

2.4 เทคโนโลยีของพลังงานแสงอาทิตย์

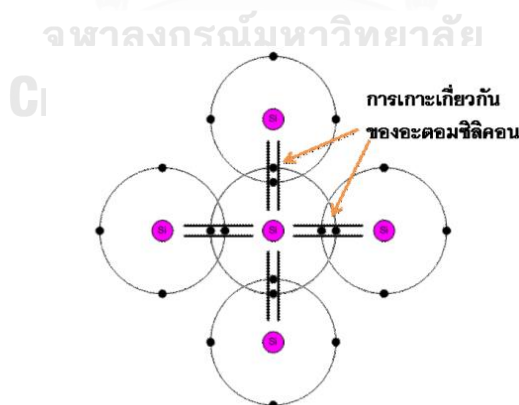
แผงโซลาร์เซลล์ (Solar panel หรือ Photovoltaics) คือการนำเอา โซลาร์เซลล์ จำนวนหลายๆเซลล์ มาต่อวงจรรวมกัน อยู่ในแผงเดียวกัน เพื่อที่จะทำให้สามารถผลิตและจ่ายกระแสไฟฟ้าได้มากขึ้น โดยไฟฟ้าที่ได้นั้นเป็นไฟฟ้ากระแสตรง (DC)

2.4.1 องค์ประกอบและการทำงานของแผงโซลาร์เซลล์

แผงโซลาร์เซลล์นั้นองค์ประกอบหลักประมาณ 90% ทำมาจาก ซิลิคอน (Silicon) ซึ่งซิลิคอนนี้อาจจะอยู่ในรูปต่างๆกันไป และ 95% ของแผงโซลาร์เซลล์ ที่มีใช้ตามบ้านเรือนนั้น เป็นซิลิคอนที่อยู่ในรูปของผลึกซิลิคอน หรือ crystalline Silicon ความบริสุทธิ์ของเนื้อซิลิคอน เป็นคุณสมบัติสำคัญที่สุด ที่ทำให้รูปแบบของซิลิคอน ที่นำมาใช้ทำโซลาร์เซลล์ มีความแตกต่างกันออกไป ด้วยคุณสมบัติและองค์ประกอบทางเคมีแล้ว ซิลิคอนที่มีความบริสุทธิ์ดีกว่า จะมีโมเลกุลจัดเรียงตัวดี และเป็นระเบียบกว่า และทำให้มีคุณสมบัติในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานไฟฟ้าได้มากกว่านั่นเอง [7]

2.4.1.1 สารกึ่งตัวนำ ซิลิคอน (Silicon Semiconductor)

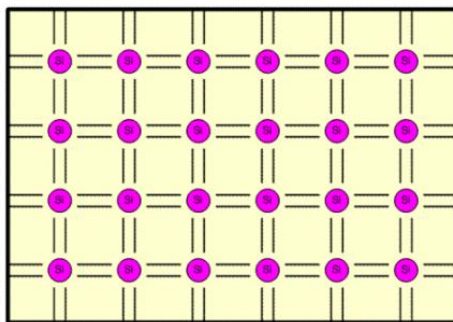
ซิลิคอน อะตอม (Silicon atom ; Si) เป็นอะตอมของสารกึ่งตัวนำชนิดหนึ่งที่สำคัญและนำมาใช้สร้างเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำเกือบทุกชนิด อะตอมของซิลิคอนจะมีอิเล็กตรอน วงนอกสุดจำนวน 4 ตัว แต่ละอะตอมจะแบ่งปันการเกาะเกี่ยวกับซิลิคอนอะตอมอื่นๆ ทำให้เกิดแถบยึดเหนี่ยว (Bond) ในแนวตั้ง และแนวนอนทำให้วัสดุสารกึ่งตัวนำรวมกันเป็นชิ้นหรือเป็นผลึกได้ ดังภาพที่ 14



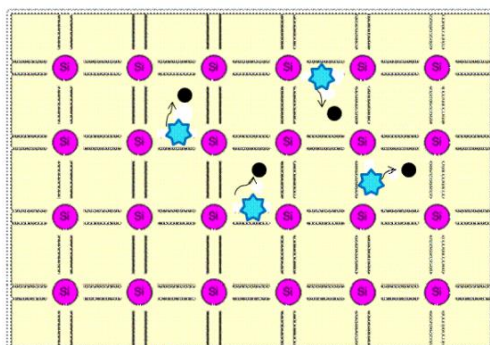
ภาพที่ 14 การเกาะเกี่ยวกันของอิเล็กตรอนวงนอกสุดของอะตอมซิลิคอน [8]

แสดงการเกาะเกี่ยวกันของอะตอม ซิลิคอน บริสุทธิ์ (Intrinsic Silicon) ตามภาพที่ 15 เมื่อมีพลังงานจากภายนอก เช่น ไฟฟ้า ความร้อน หรือพลังงานจากแสงอาทิตย์ (พลังงานเหล่านี้ส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมา) มากระทบต่อสารกึ่งตัวนำ หากพลังงานมีค่ามากกว่าแรงยึดเหนี่ยวของ

อิเล็กตรอนวงนอกสุดของอะตอมซิลิคอน จะทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมา เรียกว่า อิเล็กตรอนอิสระ (Free Electron) ซึ่งคือกระแสไฟฟ้า มีประจุเป็นลบ (-) และตำแหน่งที่มันหลุดออกมาจะเกิดช่องว่าง หรือโฮล (Hole) มีประจุไฟฟ้าเป็นบวก (+) ดังภาพที่ 16



ภาพที่ 15 โครงสร้างอะตอมของผลึกซิลิคอนบริสุทธิ์ [8]



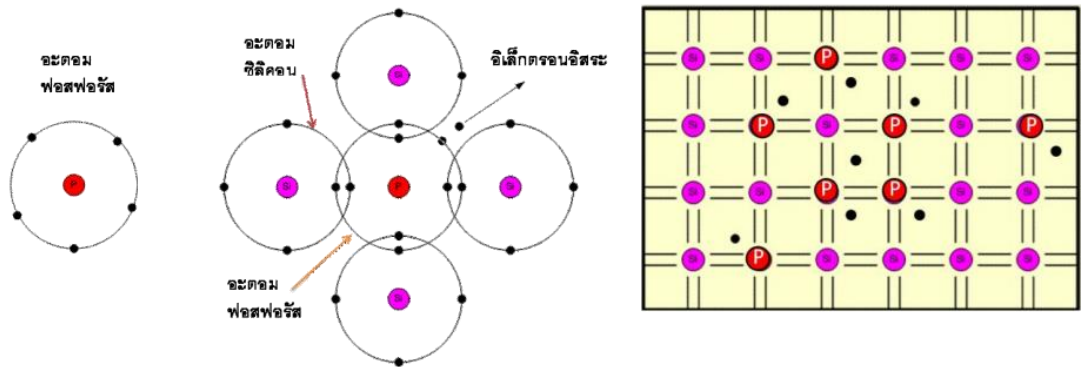
● อิเล็กตรอนอิสระ
★ โฮล

ภาพที่ 16 การเกิดอิเล็กตรอนอิสระ และโฮลในสารกึ่งตัวนำซิลิคอน [8]

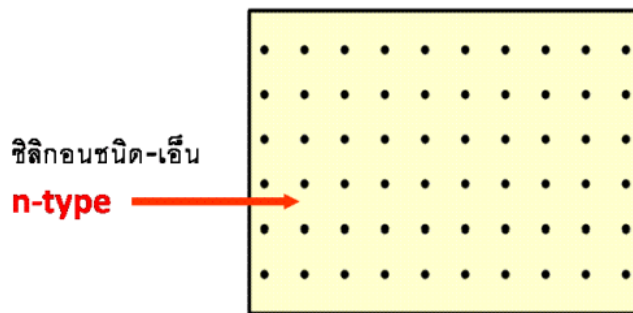
2.4.1.2 สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N-type Semiconductor)

เมื่อนำสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ มาเติมด้วยธาตุชนิดอื่นที่มีอะตอมต่างกันเข้ามา เรียกว่าการโด๊ป (Doping) จะเปลี่ยนคุณสมบัติทางไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำ บริสุทธิ์ ให้เป็นสารกึ่งตัวนำ ชนิด เอ็น หรือ สารกึ่งตัวนำชนิดพี (P-type Semiconductor) อะตอมของฟอสฟอรัส (Phosphorus atom : P) ฟอสฟอรัสเป็นธาตุลำดับที่ 15 ในตารางธาตุ มีจำนวนอิเล็กตรอนวงนอกสุด 5 ตัว เมื่อนำฟอสฟอรัส 1 อะตอม ไปเติมลงในผลึกซิลิคอนบริสุทธิ์ จะเกิดอิเล็กตรอนส่วนเกินมา 1 ตัว และหากเติมอะตอมฟอสฟอรัสเข้าไป 7 ตัว จะทำให้เกิดอิเล็กตรอนส่วนเกิน 7 ตัว ดังภาพที่ 17

สารกึ่งตัวนำชนิด-เอ็น จะมีประจุ พาหะข้างมากเป็นลบ (Majority charge carriers are negative) และมีประจุพาหะ ข้างน้อยเป็นบวก หรือ โฮล ภาพที่เขียน แทนสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น แสดงดังภาพที่ 18



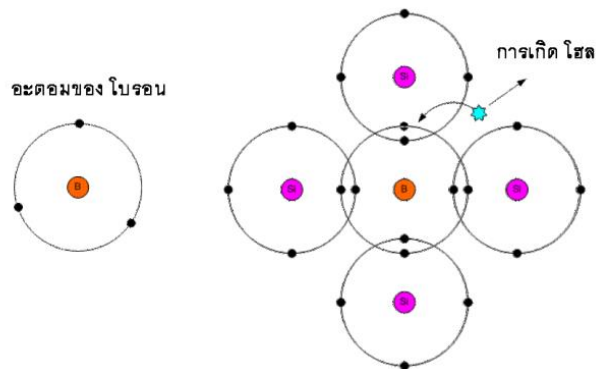
ภาพที่ 17 การเติมอะตอมของฟอสฟอรัสเข้าไปในผลึกซิลิคอน [8]



ภาพที่ 18 สารกึ่งตัวนำชนิด-เอ็น [8]

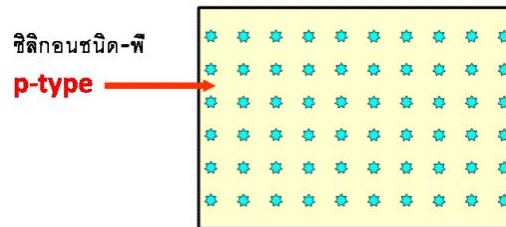
2.4.1.3 สารกึ่งตัวนำชนิด-พี (P-Type Semiconductor)

อะตอมของโบรอน (Boron Atom ; B) โบรอน (B) คือ ธาตุที่อยู่ในลำดับที่ 5 ในตารางธาตุ เป็นธาตุที่มีอิเล็กตรอนวงนอกสุดจำนวน 3 ตัว และเมื่อเติมโบรอน 1 อะตอมเข้าไปใน ซิลิคอนบริสุทธิ์ จะทำให้เกิดช่องว่าง หรือ โฮล 1 ตำแหน่ง โฮลนี้จะมีประจุไฟฟ้าบวก (+) ดัง แสดงในภาพที่ 19



ภาพที่ 19 อะตอมของโบรอนเติมในสารซิลิคอนบริสุทธิ์ [8]

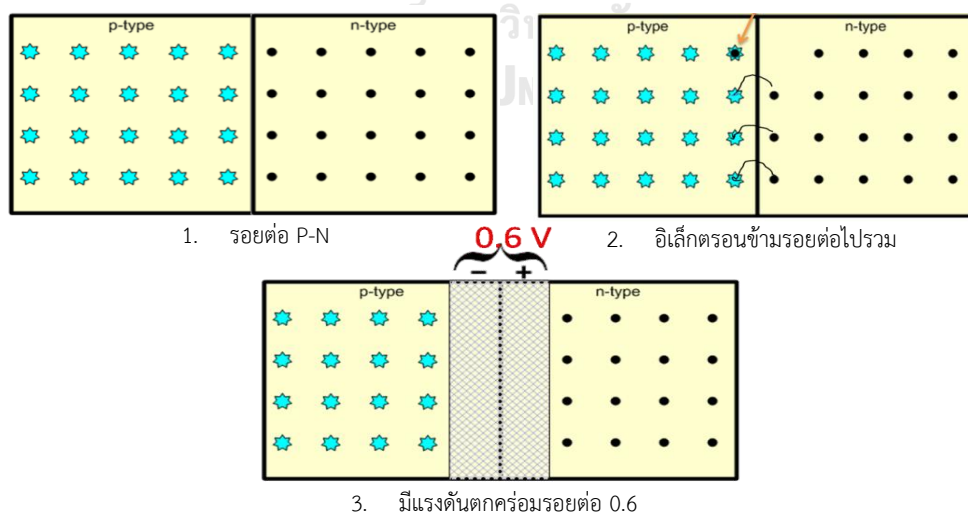
เมื่อเติมอะตอมของโบรอนจำนวนมาก ๆ จะทำให้สารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์กลายเป็นสารกึ่งตัวนำชนิด-P ภายในสารกึ่งตัวนำชนิด-P จะมีประจุข้างมากเป็นบวก (+) เพราะมีโฮล จำนวนมากนั่นเอง รูปของผลึกสารกึ่งตัวนำ ชนิด-P (ซิลิคอน) แสดงในภาพที่ 20



ภาพที่ 20 สารกึ่งตัวนำซิลิคอนชนิด-P [8]

2.4.1.4 สารกึ่งตัวนำ พี-เอ็น

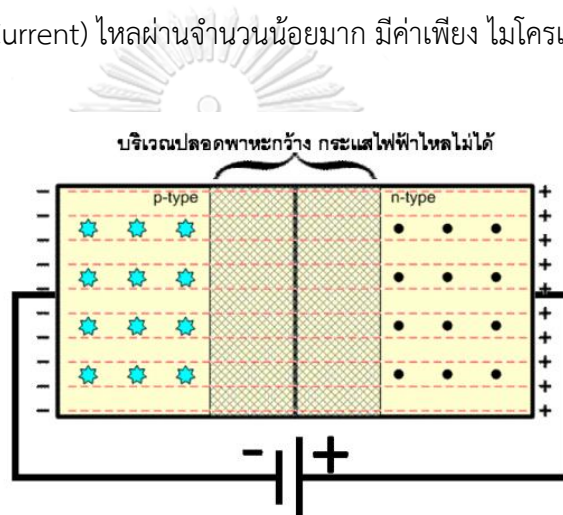
การเชื่อมต่อ พี-เอ็น (P-N Junction) คือ การนำสารกึ่งตัวนำชนิด พี (P) มาต่อกับสารกึ่งตัวนำชนิด เอ็น (N) เมื่อเกิดการต่อกันจะเกิดปรากฏการณ์ตามลำดับดังนี้ เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน จากสาร-เอ็น บริเวณใกล้เคียงต่อ ข้ามรอยต่อไปจับกับโฮลในสาร-พี ทำให้อิเล็กตรอนจับคู่กับโฮล ทำให้เกิดสภาวะเป็นกลาง คือไม่มีประจุไฟฟ้าบริเวณรอยต่อ พี-เอ็น เพราะไม่มีประจุไฟฟ้าบวกหรือ ลบอยู่เลย เราเรียกว่าบริเวณปลอดพาหะ (Depletion Layer) รอยต่อด้านสาร-พี จะสูญเสียโฮลไป จึงเกิดศักดาไฟฟ้าลบ ส่วนทางสาร-เอ็น สูญเสียอิเล็กตรอนไป จึงเกิดศักดาไฟฟ้าบวก จึงทำให้เกิดแรงดัน ไฟฟ้าตกคร่อมรอยต่อพี-เอ็น ของสารกึ่งตัวนำชนิด ซิลิคอน (Junction Voltage) มีค่าประมาณ 0.6 V ดังแสดงในภาพที่ 21



ภาพที่ 21 การเชื่อมต่อของสารกึ่งตัวนำ พี-เอ็น และการเกิดบริเวณปลอดพาหะและแรงดันตกคร่อมรอยต่อ พี-เอ็น [8]

2.4.1.5 การไบแอส (Bias)

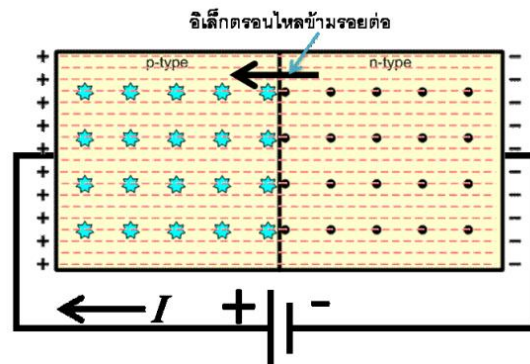
การไบแอส ให้อรอยต่อ พี-เอ็น ทำได้ 2 วิธี คือ การให้ไบแอสตรง (Forward Bias) และ การให้ไบแอสกลับ (Reverse Bias) การไบแอส หมายถึง การป้อนแรงดันไฟฟ้าเข้าที่สารกึ่งตัวนำ ชนิดพีและเอ็น การไบแอสกลับ คือ การจ่ายแรงดันไฟฟ้าขั้วบวก (+) เข้าที่สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N-type to positive) และจ่ายขั้วลบ (-) ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าเข้าที่สารกึ่งตัวนำชนิดพี (P-type to negative) เมื่อต่อไบแอสกลับให้กับรอยต่อ พี-เอ็น จะทำให้บริเวณปลอดพาหะกว้างมากขึ้น จะมี กระแสไฟฟ้าไหลเข้ารอยต่อได้ เปรียบเหมือนสภาวะที่รอยต่อ พี-เอ็น ทำงานคล้ายฉนวน “สรุปได้ว่า เมื่อรอยต่อ พี-เอ็น ได้รับไบแอสกลับจะไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวมัน” แต่ ในทางปฏิบัติจะมี กระแสรั่วไหล (Leakage Current) ไหลผ่านจำนวนน้อยมาก มีค่าเพียง ไมโครแอมแปร์เท่านั้น ดัง แสดงในภาพที่ 22



ภาพที่ 22 การไบแอสกลับรอยต่อ พี-เอ็น [8]

2.4.1.6 การไบแอสตรง

คือการจ่ายไฟฟ้าขั้วบวก (+) ให้กับสารกึ่งตัวนำชนิดพี และแหล่งจ่ายไฟฟ้าขั้วลบ (-) ให้กับ สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น จะทำให้อิเล็กตรอนที่มีอยู่มาก (Majority) ในชั้นสารกึ่งตัวนำ ชนิด-เอ็น เคลื่อนที่ข้ามรอยต่อทันที เกิดกระแสไฟฟ้าจำนวนมากไหลผ่านรอยต่อ พี-เอ็น ได้ อย่างไรก็ตามยังคง มีแรงดันตกคร่อมรอยต่อประมาณ 0.6 V เมื่อมีกระแสไหลผ่านรอยต่อ พี-เอ็น ดังภาพที่ 23 ให้ ซิลิคอน อะตอม (Silicon atom ; Si) เป็นอะตอมของสารกึ่งตัวนำชนิดหนึ่งที่สำคัญและนำมาใช้สร้าง เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำเกือบทุกชนิดอะตอมของซิลิคอนจะมี [8]



ภาพที่ 23 การไบแอสตรง ที่รอยต่อ พี-เอ็น [8]

2.4.2 ชนิดของแผงโซลาร์เซลล์

ผลึกซิลิคอนในแผงโซลาร์เซลล์ มี 2 รูปแบบหลักๆ ได้แก่ ผลึกซิลิคอนเชิงเดี่ยว หรือ โมโนคริสตัลไลน์ ซิลิคอน (monocrystalline Silicon) และ ผลึกซิลิคอนเชิงผสม หรือ โพลีคริสตัลไลน์ ซิลิคอน (polycrystalline Silicon) และมีชนิดแบบฟิล์มบาง (Thin film) อีกด้วย

2.4.2.1 Monocrystalline Silicon (แผงโซลาร์เซลล์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์)

แผงโซลาร์เซลล์ชนิดที่ทำมาจาก ผลึกซิลิคอนเชิงเดี่ยว (mono-Si) หรือบางทีก็ เรียกว่า single crystalline (single-Si) สังเกตค่อนข้างง่ายกว่าชนิดอื่น เพราะจะเห็นแต่ละเซลล์ลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมตัดมุมทั้งสี่มุม และมีสี่เข็ม แผงโซลาร์เซลล์ชนิด โมโนคริสตัลไลน์ นั้น เป็นชนิดที่ทำมาจากซิลิคอนที่มีความบริสุทธิ์สูง โดยเริ่มมาจากแท่งซิลิคอนทรงกระบอก อันเนื่องมาจากเกิดจากกระบวนการกวนให้ผลึกเกาะกันที่แกนกลาง ที่เรียกว่า Czochralski process จึงทำให้เกิดแท่งทรงกระบอก จากนั้นจึงนำมาตัดให้เป็นสี่เหลี่ยม และลบมุมทั้งสี่ออก ดังภาพที่ 24 เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด และลดการใช้วัตถุดิบโมโนซิลิคอนลง ก่อนที่จะนำมาตัดเป็นแผ่นอีกทีจึงทำให้เซลล์แต่ละเซลล์หน้าตาเป็นอย่างไรที่เห็นในแผงโซลาร์เซลล์[8]

2.4.2.2 Polycrystalline Silicon Solar Cells

แผงโซลาร์เซลล์ชนิด โพลีคริสตัลไลน์ เป็นแผงโซลาร์เซลล์ชนิดแรก ที่ทำมาจากผลึกซิลิคอน โดยทั่วไปเรียกว่า โพลีคริสตัลไลน์ (polycrystalline, p-Si) แต่บางครั้งก็เรียกว่า มัลติ-คริสตัลไลน์ (multi-crystalline, mc-Si) โดยในกระบวนการผลิตแผงโซลาร์เซลล์ชนิดนี้ เกิดจากการหลอมซิลิคอนหรือแก้วให้เหลว แล้วมาเทใส่โมลด์หรือแม่แบบที่เป็นสี่เหลี่ยม ดังภาพที่ 25 พอเย็นตัวแล้วนำแท่งแก้วสี่เหลี่ยมนั้นมาตัดเป็นแผ่นบางๆ จึงทำให้เซลล์แต่ละเซลล์เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส ไม่มีการตัดมุม สีของแผงจะออกสีน้ำเงินฟ้าไม่เข้มมาก

2.4.2.3 แผงโซลาร์เซลล์ ชนิดฟิล์มบาง (Thin Film Solar Cells)

หลักการโดยทั่วไปของการผลิต โซลาร์เซลล์ ชนิดฟิล์มบาง (Thin Film Solar Cell, TFSC) คือ การนำเอาสารที่สามารถแปลงพลังงานจากแสงเป็นกระแสไฟฟ้า มาฉาบเป็นฟิล์มหรือชั้นบางๆ ซ้อนกันหลายๆชั้น จึงเรียก โซลาร์เซลล์ชนิดนี้ว่า ฟิล์มบาง หรือ thin film ภาพที่ 26 ซึ่งสารฉาบที่ว่านี้ก็มีด้วยกันหลายชนิด ชื่อเรียกของ แผงโซลาร์เซลล์ ชนิดฟิล์มบางจึงแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับชนิดวัสดุที่นำมาใช้ ได้แก่ อะมอร์ฟิซ Amorphous silicon (a-Si), Cadmium telluride (CdTe), Copper indium gallium selenide (CIS/CIGS) และ Organic photovoltaic cells (OPC) ด้านประสิทธิภาพ แผงโซลาร์เซลล์ชนิดฟิล์มบางนั้นมีประสิทธิภาพเฉลี่ยอยู่ที่ 7-13% ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่นำมาทำเป็นฟิล์มฉาบ สำหรับบ้านเรือนโดยทั่วไปแล้วมีเพียงประมาณ 5% เท่านั้น ที่ใช้แผงโซลาร์เซลล์แบบชนิดฟิล์มบาง [9]



ภาพที่ 24 Monocrystalline Silicon [10]



ภาพที่ 25 Polycrystalline Silicon [10]



ภาพที่ 26 Thin film [10]

2.4.3 ประสิทธิภาพของโซลาร์เซลล์

ประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์ หมายถึง ผลลัพธ์กำลังไฟฟ้าที่วัดได้ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่หน้าตัด ประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์สูง หมายถึง ภายในหนึ่งพื้นที่ที่ทำการวัดค่าจะมีกำลังไฟฟ้ามาก ยังมีประสิทธิภาพสูงมากเท่าไรก็ยิ่งมีความคุ้มค่ามากขึ้นเท่านั้น ทั้งนี้ประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์ที่ได้จะมีตัวแปรอยู่หลายตัวด้วยกัน เช่น ชนิดของโซลาร์เซลล์ที่นำมาประกอบโครงสร้างของแผง วัสดุส่วนประกอบแผง นอกจากนี้ยังรวมไปถึงตัวแปรที่มีการเคลื่อนไหวตลอด เช่น อุณหภูมิ ทิศของแสงแดด ความเข้มของรังสี [11]

สมรรถนะการผลิตพลังงานไฟฟ้า (Performance Ratio : PR) คือ

$$PR = \frac{Y_f}{Y_r} \times 100 \quad (1)$$

โดย
$$Y_f = \frac{E_{grid}(AC)}{P_o(installed)} \quad (2)$$

และ
$$Y_r = \frac{H_i}{G_{stc}} \quad (3)$$

โดย

PR	=	สมรรถนะของการผลิตไฟฟ้า (Performance Ratio)
Y_f	=	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากระบบต่อขนาดของระบบที่ติดตั้ง(kWh/kWp)
Y_r	=	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงโซลาร์เซลล์ในทางทฤษฎี(kWh/kWp)
$E_{grid}(AC)$	=	ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากระบบผลิตไฟฟ้า (kWh)
$P_o(Installed)$	=	ขนาดระบบผลิตไฟฟ้าที่ติดตั้ง (kW)
H_i	=	ค่าพลังงานรังสีดวงอาทิตย์ (kWh/m ²)
G_{stc}	=	ค่ารังสีดวงอาทิตย์ที่มาตรฐาน STC (1 kWh/m ²)

2.4.4 กำลังการผลิตไฟฟ้าสูงสุดของระบบเซลล์แสงอาทิตย์

การวิเคราะห์หาความต้องการใช้กำลังการผลิตไฟฟ้าสูงสุดของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อที่จะออกแบบให้เหมาะสมแก่การใช้พลังงานไฟฟ้าภายในโรงงานอุตสาหกรรมสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้ [9]

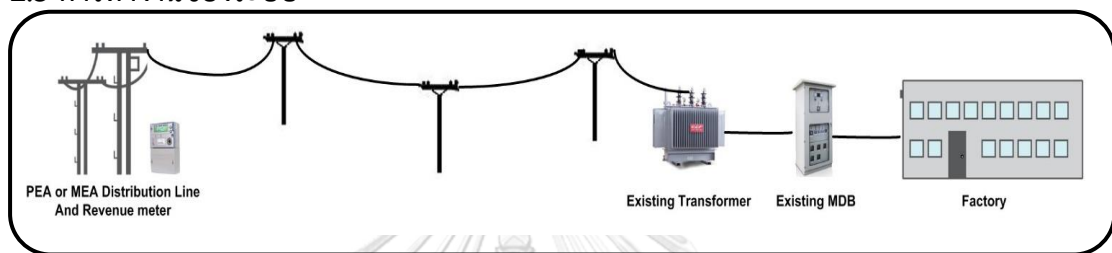
$$P_{cell} = \frac{P_i}{Q \times A \times B \times C \times D} \quad (4)$$

กำหนดให้

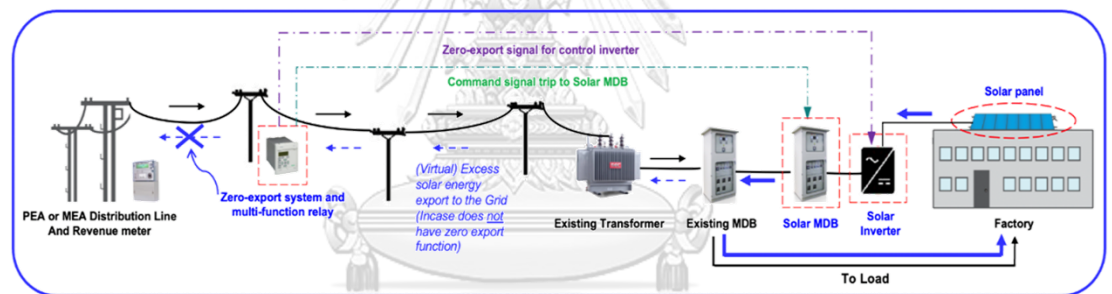
P_{cell}	=	กำลังการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ (kW)
P_i	=	ความต้องการพลังงานไฟฟ้าในหนึ่งวัน (kWh)

- Q = พลังงานแสงอาทิตย์ในหนึ่งวัน (Wh/m^2)
โดยพื้นที่กรุงเทพฯ มีค่า $4.66 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{day}$ (DEDE, 2007 as cited in kruangam, 2011)
- A = ค่าชดเชยการสูญเสียของเซลล์ (0.80)
- B = ค่าชดเชยความสูญเสียเชิงความร้อน (0.85)
- C = ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ (0.85)
- D = ความเข้มแสงปกติ (1 kWh/m^2)

2.5 การทำงานของระบบ



ภาพที่ 27 ระบบจ่ายไฟฟ้าของโรงงานก่อนติดตั้งระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์



ภาพที่ 28 ระบบจ่ายไฟฟ้าของโรงงานหลังติดตั้งระบบผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

จากภาพที่ 27 แสดงแผนภาพระบบจ่ายไฟฟ้าของโรงงานก่อนติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีผ่านสายส่งไปยังหม้อแปลงไฟฟ้า ก่อนเข้าสู่ Main Distribution Board (MDB) ก่อนจะจ่ายไฟฟ้าเข้าสู่โรงงานอุตสาหกรรม โดยหลังจากโรงงานได้ติดตั้งระบบไฟฟ้าแสงอาทิตย์ ดังภาพที่ 28 จะมีระบบ Zero export และระบบ Function Relay เพื่อตรวจจับกระแสไหลย้อนกลับไฟฟ้าไหลย้อนกลับไปยังโครงข่ายของการไฟฟ้า (Grid) ก่อนเข้าสู่หม้อแปลงไฟฟ้าเดิมของโรงงาน โดยระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์จะผลิตกระแสไฟฟ้าจากแผ่น Solar Panel ก่อนจะมีการแปลงกระแสไฟฟ้าตรงเป็นกระแสสลับโดย Solar inverter ก่อนจะผ่านการติดตั้ง Main Distribution Board (MDB) สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าจากระบบผลอาทิตย์อีกเครื่อง ก่อนจะนำไปเชื่อมต่อกับตู้ Main Distribution Board (MDB) เดิมของโรงไฟฟ้า

2.6 การออกแบบและจำลองโดยโปรแกรม PVsyst

โปรแกรม PVSYSY เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบและจำลองระบบพลังงานแสงอาทิตย์ โดยผู้ใช้งานโปรแกรมสามารถระบุขนาดพิกัดของกำลังผลิตหรือพื้นที่ในการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ รวมทั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น มุมเงยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทิศที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์รับแสง และค่าสูญเสียต่างๆ เป็นต้น อีกทั้งยังสามารถเลือกแผงเซลล์แสงอาทิตย์และอินเวอร์เตอร์ตามรายชื่อผลิตภัณฑ์และผู้ผลิตเพื่อเปรียบเทียบหรือหาขนาดกำลังผลิตของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ได้ ซึ่งโปรแกรม PVSYSY สามารถเลือก จำลองระบบพลังงานแสงอาทิตย์ได้ 3 รูปแบบ คือ ระบบพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับเชื่อมต่อกับระบบจำหน่าย (Grid-Connected), ระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบแยกตัวอิสระ (Standalone) และระบบพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับเครื่องปั้มน้ำ(Pumping) [12]

โดยโปรแกรม PVsyst จะใช้ Meteonorm software เพื่อตรวจจับและเก็บข้อมูลอุตุนิยมวิทยาทั่วโลก โดยมีสถานีภาคพื้นดินทั้งหมด 8,235 สถานี ตามภาพที่ 29 มาช่วยเก็บข้อมูลดังต่อไปนี้[9] โดยสารนิพนธ์นี้ใช้ Meteonorm 7.3 (1991-2010) – Synthetic ในการออกแบบ[11]

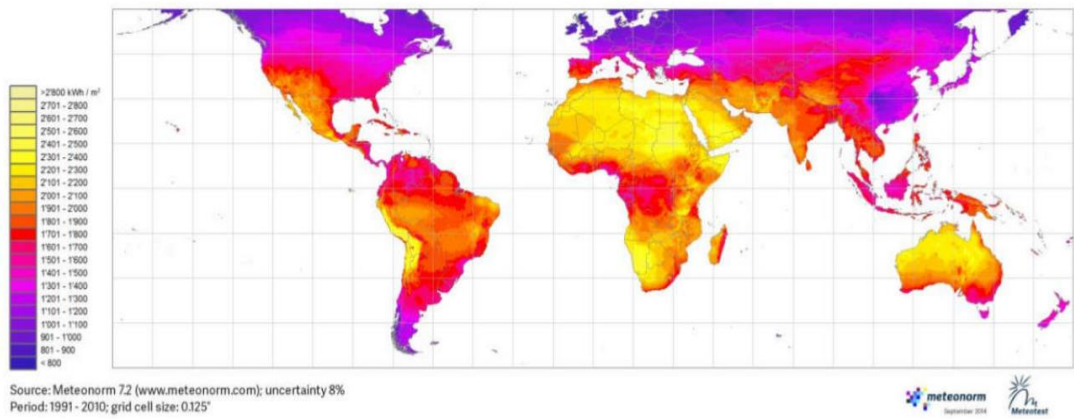
- Global horizontal irradiance (GHI or GlobHor)
- Diffuse horizontal irradiance (DiffHor)
- ความเร็วลม
- อุณหภูมิ

รวมถึงมีการการนำระบบดาวเทียม มาช่วยสถานีภาคพื้นดินในการตรวจและเก็บข้อมูล ตามภาพที่ 30 [13]



ภาพที่ 29 สถานีตรวจและเก็บข้อมูลอุตุนิยมวิทยาภาคพื้นดิน [13]

Yearly sum of Global Horizontal Irradiation (GHI)



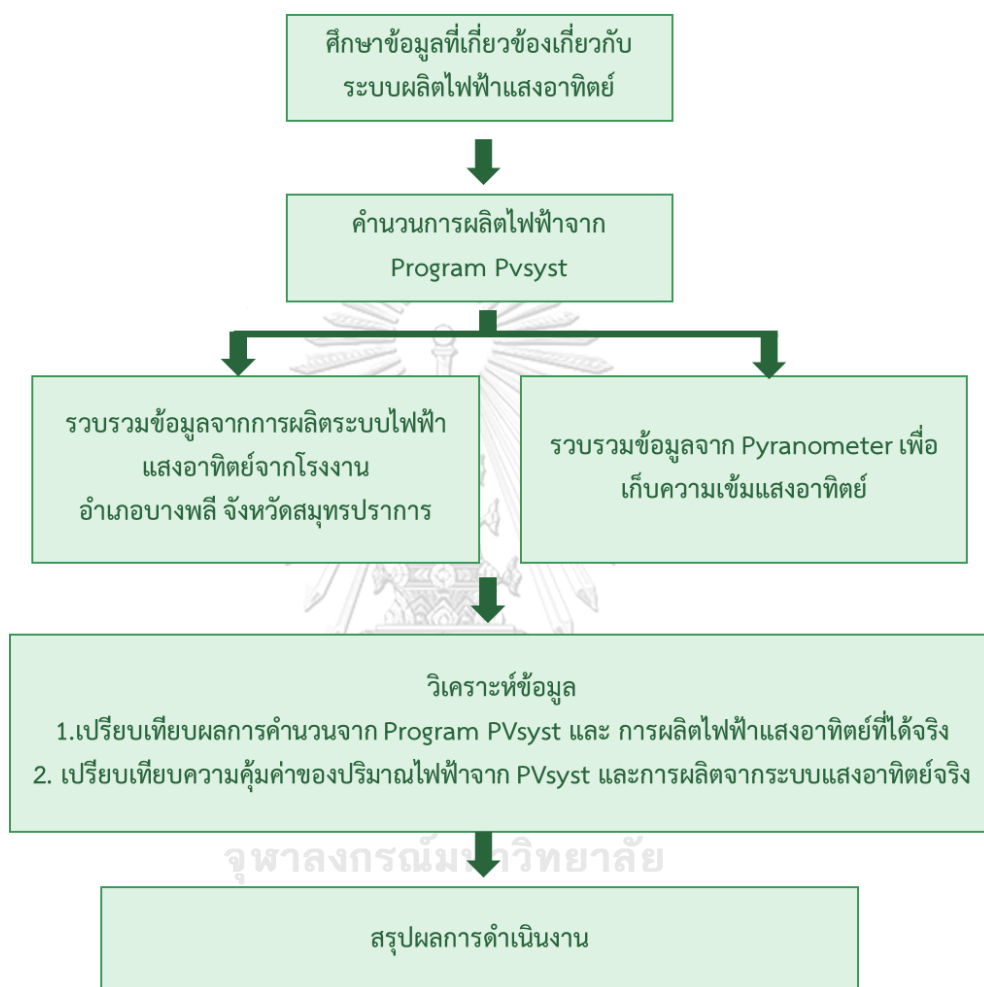
ภาพที่ 30 แผนที่ผลรวมรายปีของ global irradiation กิโลวัตต์ชั่วโมง/ตร.ม. จากข้อมูลดาวเทียมและภาคพื้นดิน [13]



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

3.1 แผนการดำเนินงาน



ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ออกแบบและจำลองโดยใช้โปรแกรม PVsyst ของโรงงานอุตสาหกรรมที่จะทำการติดตั้ง ในพื้นที่อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ โดยมีค่า Latitude = 13.64 °N และค่า Longitude = 100.78 °E และ Altitude 8 เมตร เพื่อหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้ในโรงงานอุตสาหกรรม
2. คิดผลประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากก่อนและหลังการติดตั้งระบบโซลาร์เซลล์

- เก็บข้อมูลจากการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้จริงจากการติดตั้งระบบโซลาร์เซลล์ โดยมีการเก็บตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2565 จนถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2566
- วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการออกแบบจากโปรแกรม PVsyst และการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ได้จริง เพื่อมาเปรียบเทียบความแม่นยำและความคุ้มค่าจากการติดตั้งระบบโซลาร์เซลล์

3.2 ระยะเวลาการดำเนินงาน

แผนการดำเนินงานสำหรับการศึกษาการพยากรณ์ปริมาณไฟฟ้าที่ได้จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา กรณีศึกษาโรงงานในพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการ แสดงในตารางที่ 3.1 ตารางที่ 1 แผนการดำเนินงาน และระยะเวลาในการศึกษา

กิจกรรม	2565			2566				
	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1. ศึกษาทฤษฎีและข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษา								
2. การศึกษาประสิทธิภาพ และการลงทุนระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา								
3. วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการศึกษา พร้อมสรุปผล								
4. จัดทำการศึกษาในรูปแบบรายงาน								

3.3 คุณสมบัติของอุปกรณ์ที่ใช้ภายในโครงการ

ตารางที่ 2 รายละเอียดอุปกรณ์ในระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา

รายการ	ยี่ห้อ	รุ่น	ขนาด	จำนวน
PV Module	Longi	LR5-72HPH-540M	540 W	414 แผง
Inverter	Huawei	SUN2000-100KTL-M1	100 kW	2 เครื่อง
Pyranometers	Kipp&Zonen	SMP3	-	1 เครื่อง

โรงงานแห่งนี้ได้มีการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (PV Module) บนหลังคาของอาคารผลิตสินค้า โดยเลือกใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ Tier 1 ยี่ห้อ Longi รุ่น LR5-72HPH-540M มีกำลังการผลิตไฟฟ้าขนาด 540 W จำนวนทั้งสิ้น 414 แผง คิดเป็นกำลังการผลิตไฟฟ้ากระแสตรงรวม 223.56 kW และ อินเวอร์เตอร์ (Inverter) ซึ่งมีหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรงจากเซลล์แสงอาทิตย์ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับสำหรับนำมาใช้งานกับเครื่องจักรภายในโรงงานได้ ยี่ห้อ Huawei รุ่น SUN2000-

100KTL-M1 ขนาด 100 kW จำนวนทั้งสิ้น 2 เครื่อง มีกำลังการแปลงกระแสไฟฟ้ารวมทั้งสิ้น 200 kW คิดเป็นสัดส่วนไฟฟ้ากระแสตรงต่อกระแสสลับ (dc/ac ratio) เท่ากับ 1.12 โดยอินเวอร์เตอร์จะมีความสามารถในการแปลงปริมาณไฟฟ้ากระแสสลับออกมาให้เหมาะสมกับปริมาณโหลดไฟฟ้าที่โรงงานใช้งานอยู่ ยกตัวอย่างเช่น หากโรงงานมีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่า 200 kW อินเวอร์เตอร์ก็จะทำงานเต็มตามที่ตามปริมาณแสงแดดที่มีอยู่ในขณะนั้น หรือ หากโรงงานมีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่า 200 kW อินเวอร์เตอร์ก็จะลดปริมาณการแปลงกระแสไฟฟ้าลงถึงแม้ว่าแสงแดดจะมีอยู่ในปริมาณมากก็ตาม ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้มีกระแสไฟฟ้าไหลย้อนออกไปยังสายส่ง ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อและเป็นอันตรายต่อเจ้าของระบบ เช่น การไฟฟ้านครหลวง (MEA) หรือการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (PEA) เป็นต้น โดยฟังก์ชันนี้จะถูกเรียกว่า Zero Export

การออกแบบขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้าให้เหมาะสมกับการใช้งานจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากถ้าฟังก์ชัน Zero Export ถูกใช้งานบ่อยๆ แสดงว่ามีการใช้โหลดไฟฟ้าน้อยกว่าที่ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตออกมาได้ หรือมีขนาดกำลังการติดตั้งที่สูงเกินกว่าที่ใช้งานนั่นเอง ก็จะสะท้อนมาที่เงินลงทุนที่สูงเกินความจำเป็นอีกด้วย

นอกจากนี้ยังมีการติดตั้งอุปกรณ์วัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ (Pyranometer) ยี่ห้อ Kipp&Zonen รุ่น SMP3 เพื่อเก็บค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่เกิดขึ้นจริงเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

จากการดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนในบทที่ 3 โดยได้มีการรวบรวมข้อมูลต่างๆเพื่อทำการประเมินประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา ในพื้นที่ตำบลบางไฉลง อำเภอบางพลี สมุทรปราการ ขนาด 223.56 kW เพื่อเปรียบเทียบกับการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์บนหลังคาจากโปรแกรม PVSyst กับปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงจากการติดตั้งระบบของโรงงานอุตสาหกรรม โดยมีการตั้งสมมุติฐานว่าค่าความเข้มแสงมีปฏิสัมพันธ์กับพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ และนำข้อมูลมาเพื่อวิเคราะห์ความแม่นยำของการทำนายความเข้มแสงที่ได้จากโปรแกรม PVSyst และความเข้มแสงที่ได้เก็บข้อมูลจาก Pyranometer ที่ติดตั้งในพื้นที่โรงงานอุตสาหกรรม ว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนมากน้อยเพียงใด เพื่อสามารถปรับสมมุติฐานในโปรแกรม PVSyst ให้แม่นยำได้มากขึ้น และเปรียบเทียบสถานการณ์การใช้ไฟฟ้าจากการผลิตกับผลประหยัดและระยะเวลาการคืนทุน

4.1 วิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้

ในขั้นตอนการวิเคราะห์การออกแบบและจำลองการออกแบบติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีการเก็บข้อมูลความเข้มแสงจากอุปกรณ์ Pyranometer ที่ติดตั้งบนหลังคาของโรงงานอุตสาหกรรม และศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและพลังงานไฟฟ้า โดยได้ตั้งสมมุติฐานว่าค่าความเข้มแสงมีปฏิสัมพันธ์กับพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้

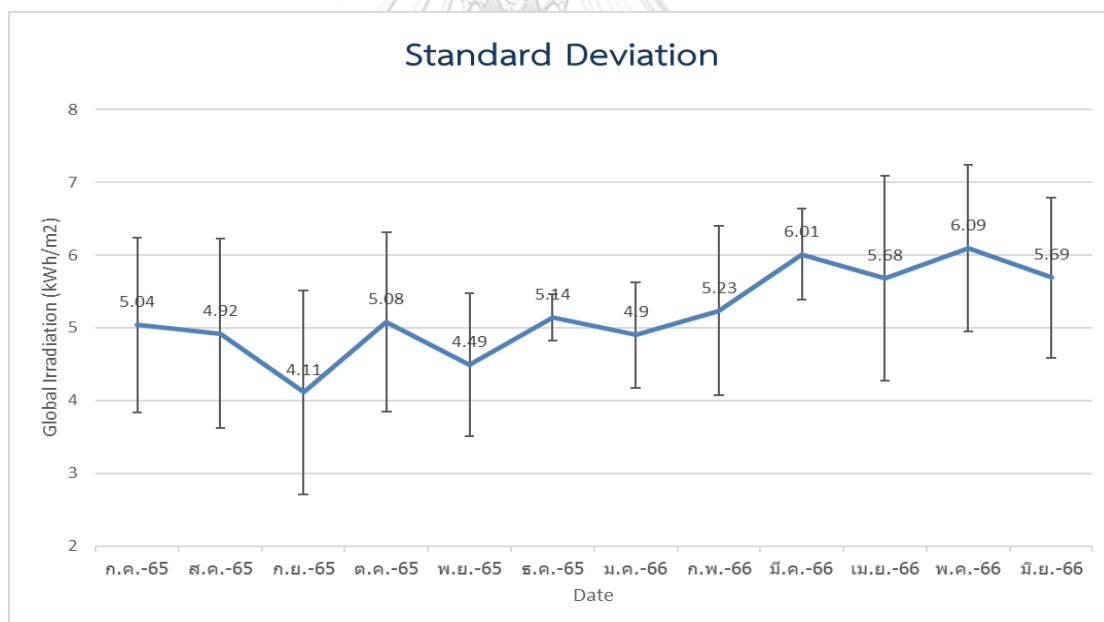
จากข้อมูลตารางภาคผนวก ก ตาราง 7 ได้วิเคราะห์หาค่าความเข้มแสงเฉลี่ย, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ของความเข้มแสง และค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยเป็นรายเดือน ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าความเข้มแสงอาทิตย์และพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้

ปี	เดือน	ค่าความเข้มแสงเฉลี่ยรายเดือน (kWh/m ²)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเข้มแสง	ค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยรายเดือน (kWh)
2565	กรกฎาคม	5.04	1.20	927.31
	สิงหาคม	4.92	1.30	899.44
	กันยายน	4.11	1.41	659.80
	ตุลาคม	5.08	1.24	926.01
	พฤศจิกายน	4.49	0.98	753.15
	ธันวาคม	5.14	0.32	877.15

ปี	เดือน	ค่าความเข้มแสงเฉลี่ยรายเดือน (kWh/m ²)	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเข้มแสง	ค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยรายเดือน (kWh)
2566	มกราคม	4.90	0.72	898.36
	กุมภาพันธ์	5.23	1.16	868.12
	มีนาคม	6.01	0.63	982.67
	เมษายน	5.68	1.41	985.59
	พฤษภาคม	6.09	1.15	1,060.39
	มิถุนายน	5.69	1.10	1,014.35

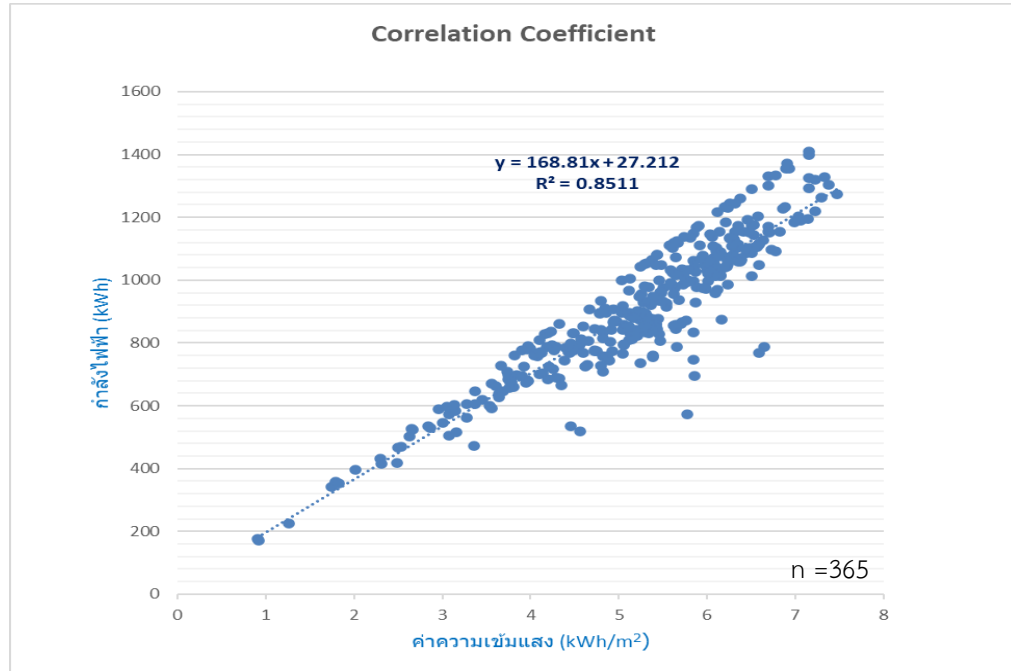
เมื่อพิจารณาข้อมูลที่รวบรวมมาจะเห็นได้ว่า เดือนธันวาคมมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเข้มแสงมีค่าน้อยที่สุด คือ 0.32 และในเดือนกันยายน 2565 และเมษายน 2566 มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมากที่สุด คือ 1.41 เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเข้มแสงและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานรายเดือนจะแสดงได้ดังภาพ 31



ภาพที่ 31 ค่าเฉลี่ยความเข้มแสงและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานรายเดือน

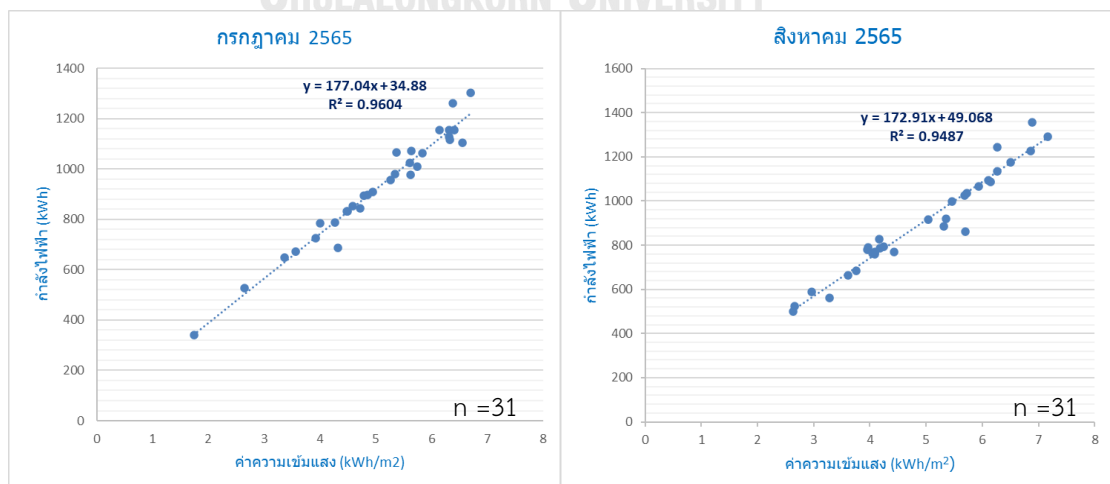
และได้มีการวิเคราะห์ข้อมูลทั้ง 12 เดือน ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2565 จนถึงเดือนมิถุนายน 2566 มาหาความสัมพันธ์ของข้อมูลผ่านสมการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Equation) จาก

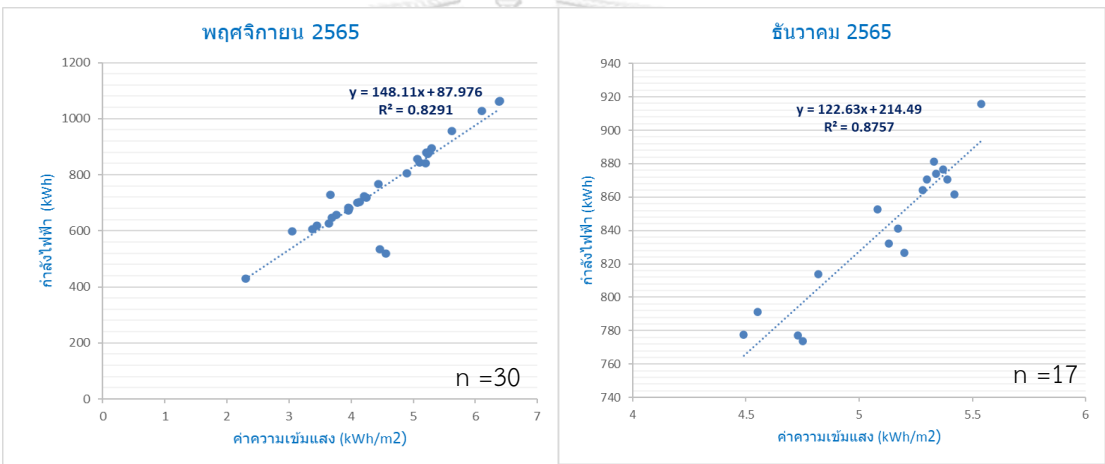
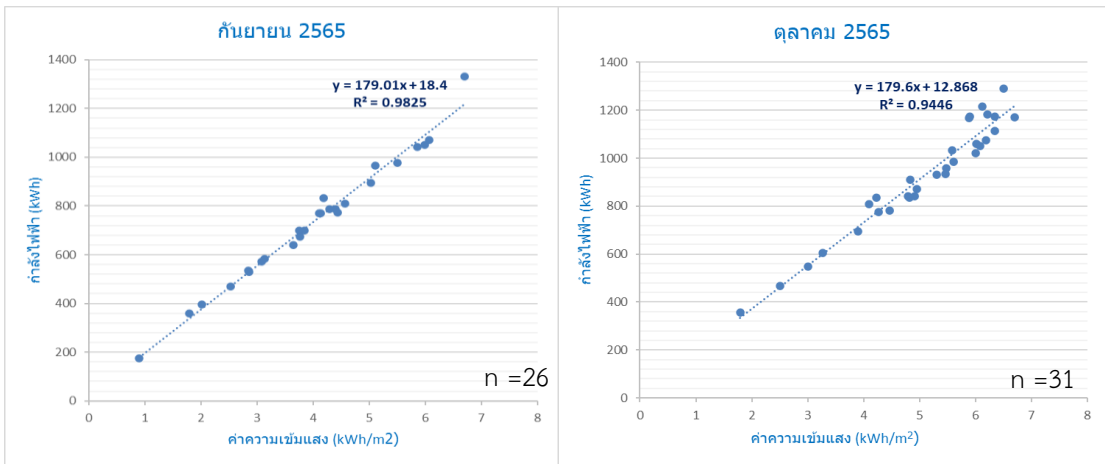
กราฟระหว่างความเข้มแสงและพลังงานไฟฟ้า พบว่าความเข้มแสงสามารถอธิบายถึงค่าพลังงานไฟฟ้าได้ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจพหุคูณ (R^2) เท่ากับ 0.85 ตามภาพที่ 32



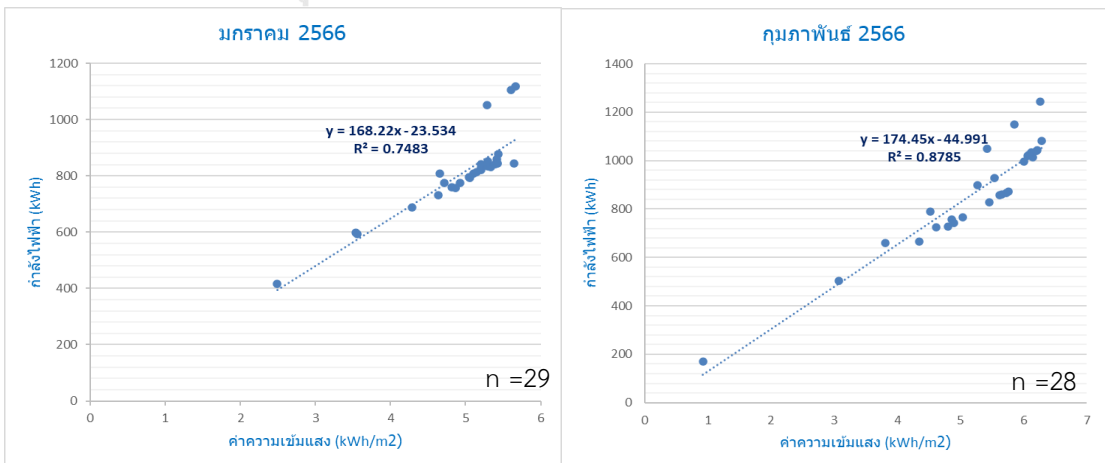
ภาพที่ 32 ความสัมพันธ์ของความเข้มแสงและพลังงานไฟฟ้าผ่านสมการถดถอยเชิงเส้น เดือนกรกฎาคม 2565 ถึงเดือนมิถุนายน 2566

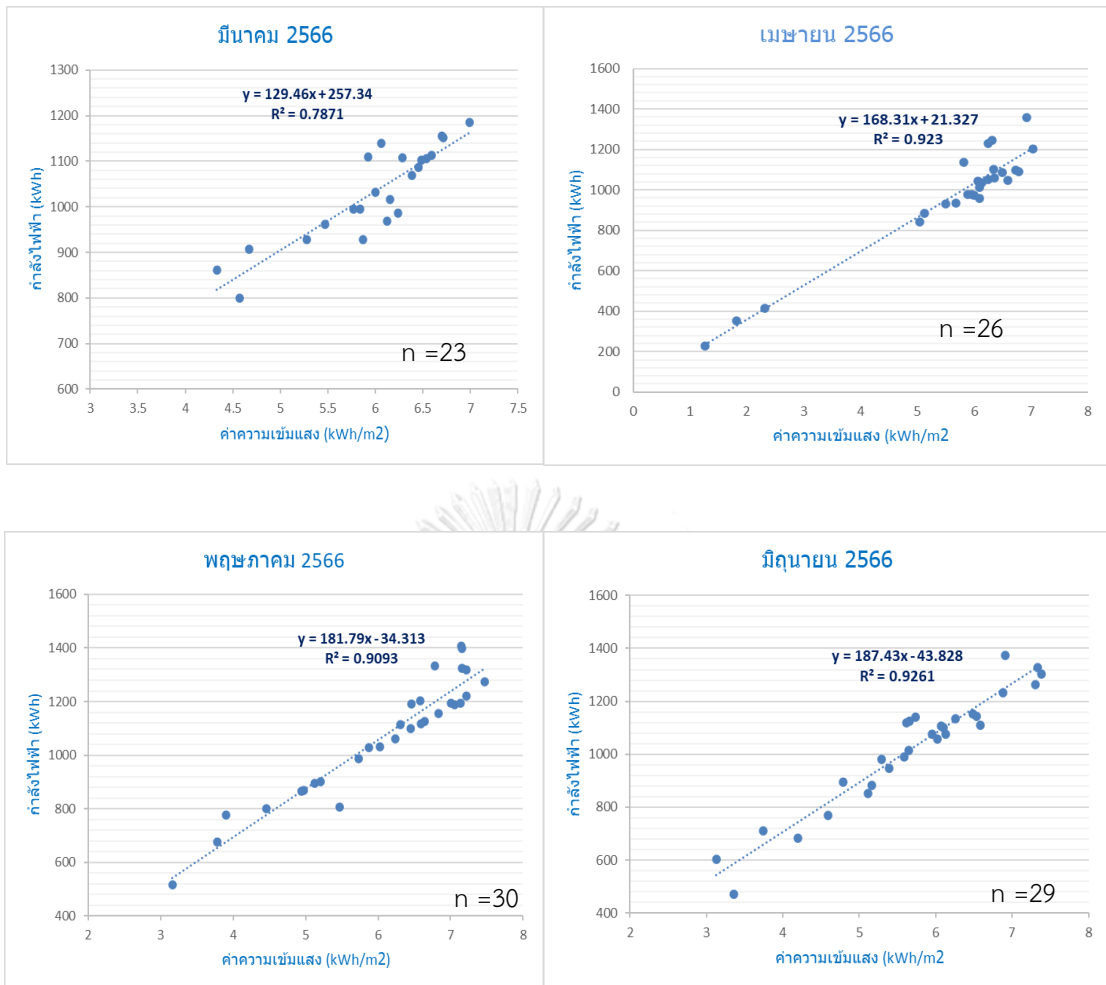
และเมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์เป็นรายเดือน ค่าความเข้มแสงและค่าพลังงานไฟฟ้า ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2565 จนถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2566 มาหาความสัมพันธ์ของข้อมูลผ่านสมการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression Equation) ในแต่ละเดือน พบว่าความเข้มแสงสามารถอธิบายถึงค่าพลังงานไฟฟ้า ตามภาพที่ 33





จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





ภาพที่ 33 ความสัมพันธ์ของความเข้มแสงและพลังงานไฟฟ้าผ่านสมการถดถอยเชิงเส้นรายเดือน
จากกราฟภาพที่ 33 สามารถแจกแจงค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจพหุคูณ (R^2) รายเดือนได้
ตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจพหุคูณในแต่ละเดือน

ปี	เดือน	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจพหุคูณ (R^2)
2565	กรกฎาคม	0.96
	สิงหาคม	0.95
	กันยายน	0.98
	ตุลาคม	0.94
	พฤศจิกายน	0.83
	ธันวาคม	0.86

ปี	เดือน	ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจพหุคูณ (R ²)
2566	มกราคม	0.75
	กุมภาพันธ์	0.88
	มีนาคม	0.79
	เมษายน	0.92
	พฤษภาคม	0.91
	มิถุนายน	0.93

4.2 วิเคราะห์ความแม่นยำของการทำนายความเข้มแสงที่ได้จากโปรแกรม PVSyst และความเข้มแสงที่ได้เก็บข้อมูลจาก Pyranometer ที่ติดตั้งในพื้นที่โรงงานอุตสาหกรรม

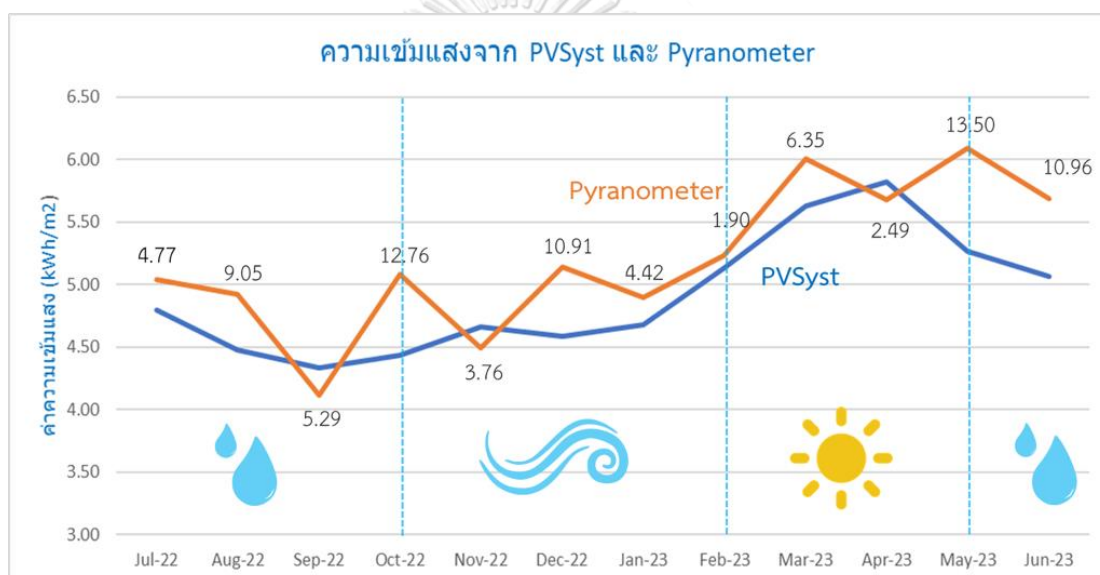
โดยได้วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของข้อมูล โดยนำข้อมูลค่าความเข้มแสงจากจากโปรแกรม PVSyst ที่นำมาจากฐานข้อมูลรายวันของ Meteonorm และความเข้มแสงที่ได้เก็บข้อมูลจาก Pyranometer ที่ติดตั้งในพื้นที่โรงงาน โดยคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนเพื่อวิเคราะห์ความแม่นยำของโปรแกรม PVSyst ตามภาคผนวก ข. ได้ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบความเข้มแสงจากโปรแกรม PVSyst และข้อมูลจาก Pyranometer เฉลี่ยรายเดือน

ปี	เดือน	ค่าความเข้มแสงเฉลี่ยรายเดือน (kWh/m ²)		ค่าความคลาดเคลื่อน (%)
		PVSyst	Pyranometer	
2565	กรกฎาคม	4.80	5.04	4.77
	สิงหาคม	4.47	4.92	9.05
	กันยายน	4.33	4.11	5.29
	ตุลาคม	4.44	5.08	12.76
	พฤศจิกายน	4.66	4.49	3.79
	ธันวาคม	4.58	5.14	10.91
2566	มกราคม	4.68	4.90	4.42
	กุมภาพันธ์	5.13	5.23	1.90
	มีนาคม	5.63	6.01	6.35
	เมษายน	5.82	5.68	2.49

ปี	เดือน	ค่าความเข้มแสงเฉลี่ยรายเดือน (kWh/m ²)		ค่าความคลาดเคลื่อน (%)
		PVSyst	Pyranometer	
2566	พฤษภาคม	5.27	6.09	13.50
	มิถุนายน	5.06	5.69	10.96
ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย			7.88	

จากการเปรียบเทียบความเข้มแสงจากโปรแกรม PVSyst และความเข้มแสงที่เก็บข้อมูลจาก Pyranometer ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2565 จนถึงเดือนมิถุนายน 2566 พบว่ามีการคลาดเคลื่อนรวมทั้งสิ้น 7.88%



ภาพที่ 33 ความสัมพันธ์ของข้อมูลความเข้มแสงจากโปรแกรม PVSyst และ Pyranometer

จากข้อมูลแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลจากโปรแกรม PVSyst และ Pyranometer เป็นระยะเวลา 1 ปี พบว่าในช่วงเดือนพฤษภาคม และเดือนตุลาคม มีค่าความเข้มแสงระหว่าง PVSyst และ Pyranometer แตกต่างกันมากที่สุด แต่ในช่วง เดือนกุมภาพันธ์ และเมษายน มีความแตกต่างของข้อมูลที่น้อยที่สุดตามลำดับ ตามภาพที่ 34 ซึ่งในเดือนพฤษภาคม คือช่วงที่เปลี่ยนจากฤดูร้อนเป็นฤดูฝน และในเดือนตุลาคม คือช่วงเปลี่ยนฤดูกาลจากฤดูฝนเป็นฤดูหนาว โดยในช่วงเดือนตุลาคม 2565 มีปริมาณน้ำฝน 163 มิลลิเมตร ซึ่งมากกว่าในช่วงเดือนตุลาคมในช่วง 30 ปีที่ผ่านมา(2534-2563) ซึ่งมีปริมาณ 156 มิลลิเมตร โดยเป็นข้อมูลของจังหวัดสมุทรปราการ[14] และด้วยช่วงเดือนพฤษภาคม 2566 เกิดพายุไซโคลน 'โมคา' (MOCHA) ซึ่งถือเป็นหนึ่งในพายุที่ใหญ่ที่สุดที่ถล่มพื้นที่อ่าวเบงกอลในช่วงกว่าสิบปีที่ผ่านมา ส่งผลให้ลมตะวันตกเฉียงใต้ที่พัดนำความชื้นจากทะเล

อันตามันเข้ามาปกคลุมประเทศไทยมีกำลังแรงขึ้น ลักษณะเช่นนี้ทำให้ประเทศไทยมีฝนตกต่อเนื่อง และมีฝนตกหนักบางแห่งโดยมีฝนตกหนัก 70% ของพื้นที่จังหวัดสมุทรปราการ[15] ซึ่งด้วยสภาพอากาศที่มีการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ทำให้การทำนายผลมีความคลาดเคลื่อนได้ เนื่องจากภูมิอากาศมีความแปรปรวน

4.3 สมรรถนะการผลิตพลังงานไฟฟ้า (Performance Ratio : PR)

จากการติดตั้งระบบผลิตเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาของโรงงานตำบลบางโฉลง อำเภอบางพลี สมุทรปราการ ขนาด 223.56 kW โดยมีการเก็บข้อมูลตั้งแต่วันที่ 1 กรกฎาคม 2565 จนถึงวันที่ 30 มิถุนายน 2566 พบว่ามีค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากระบบต่อขนาดของระบบที่ติดตั้งในระบบ มีค่า 327,902.64 kWh และมีค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงโซลาร์เซลล์ในทางทฤษฎีมี หรือหน่วยไฟฟ้าที่ควรผลิตได้ตามทฤษฎี โดยวิเคราะห์จากค่าแดดต่อวันที่เกิดขึ้นจริง (kWh/m^2), พื้นที่ (m^2) และ PV module Efficiency (%) เท่ากับ 424,779.82 kWh ตามภาคผนวก ข ซึ่งทำให้โรงงานนี้มีสมรรถนะการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เท่ากับ 77.19%

4.4 วิเคราะห์ต้นทุนทางการเงินของการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อเปรียบเทียบกับ การลดพลังงานไฟฟ้าก่อนและหลังติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา

งานวิจัยนี้ทำการรวบรวมข้อมูลก่อนการตัดสินใจลงทุน และหลังลงทุน เพื่อการประเมินผลประโยชน์จากการประหยัดพลังงาน เพื่อเป็นผลประหยัดค่าไฟฟ้า ตามภาคผนวก ค. โดยมีการวิเคราะห์ผลประหยัดดังนี้

1. ต้นทุนโครงการ คือ ต้นทุนในการลงทุน (Capital Expenditure: CAPEX) มีมูลค่า 5,400,000 บาท และในส่วนของค่าบำรุงรักษา (Operation and Maintenance: O&M) คือค่าทำความสะอาดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจะคิดตามปริมาณพื้นที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งในพื้นที่โรงงาน ซึ่งโครงการที่ได้นำมาศึกษาจะมีค่าบำรุงรักษาแผงมูลค่า 30,000 บาท/ปี ซึ่งถือว่ามีผลน้อยมากเมื่อเทียบกับต้นทุนในการลงทุน จึงไม่ได้นำมาพิจารณาในงานวิจัยนี้
2. คำนวณหาค่าไฟฟ้าเฉลี่ย มีการเก็บข้อมูลค่าไฟฟ้ารายเดือนของโรงงานกรณีศึกษา จำนวน 12 เดือน ตั้งแต่เดือนมกราคม 2563 จนถึงเดือนธันวาคม 2563 เพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าไฟฟ้าฐานเฉลี่ยต่อหน่วย มูลค่า 4.20 บาท โดยมีค่าไฟฟ้าเฉลี่ย ปี 2563 มูลค่า 4.08 บาท และค่าไฟฟ้าเฉลี่ยในช่วงเวลาที่มีการเก็บข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์ ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2565 จนถึงเดือนมิถุนายน 2566 มีมูลค่า 5.22 บาท

3. หน่วยไฟฟ้าที่ใช้ในการเปรียบเทียบจะแบ่งออกเป็น 3 กรณี คือ
 - a. หน่วยไฟฟ้าที่ได้จากโปรแกรม PVSyst คือ จำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ได้จากการจำลองโปรแกรม PVSyst ซึ่งจะใช้ในการวิเคราะห์ Feasibility ของโครงการ ซึ่งมีกำลังไฟฟ้า 327,153.4 kWh
 - b. หน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง (Generate) คือ จำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์มีความสามารถที่จะผลิตได้ ตามปริมาณความเข้มแสงที่เกิดขึ้นจากการเก็บข้อมูลจริง โดยมีกำลังไฟฟ้า 327,902.64 kWh
 - c. หน่วยไฟฟ้าที่สามารถนำมาใช้จริง (Utilize) คือ จำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์และโรงงานสามารถนำไปใช้จริงได้ หากบางเวลาที่โรงงานมีโหลดการใช้ไฟฟ้าต่ำ ระบบผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ก็จะลดกำลังการผลิตลงให้เหมาะสมกับภาระไฟฟ้าที่ใช้งาน หรือที่เรียกว่าฟังก์ชัน Zero Export นั่นเอง ซึ่งในจุดนี้ก็จะเป็นการเสียโอกาสที่ไม่สามารถนำไฟฟ้าที่ผลิตได้มาใช้งานได้เต็มจำนวน โดยมีการใช้ไฟฟ้าจำนวน 277,422.86 kWh
4. ค่าไฟฟ้าผันแปร (Ft) มีผลกระทบต่อระยะเวลาการคืนทุน (Payback Period : PB) ของโรงงาน โดยวิเคราะห์ออกเป็น 3 กรณี ตามตารางได้ดังตาราง 6
 - a. ค่าไฟฟ้าฐานเฉลี่ย
 - b. ผลรวมของค่าไฟฟ้าฐานเฉลี่ย และค่า Ft ปี 2563 _Ft (1)
 - c. ผลรวมของค่าไฟฟ้าฐานเฉลี่ย และค่า Ft กรกฎาคม ปี 2563 จนถึง มิถุนายน 2566 _Ft (2)

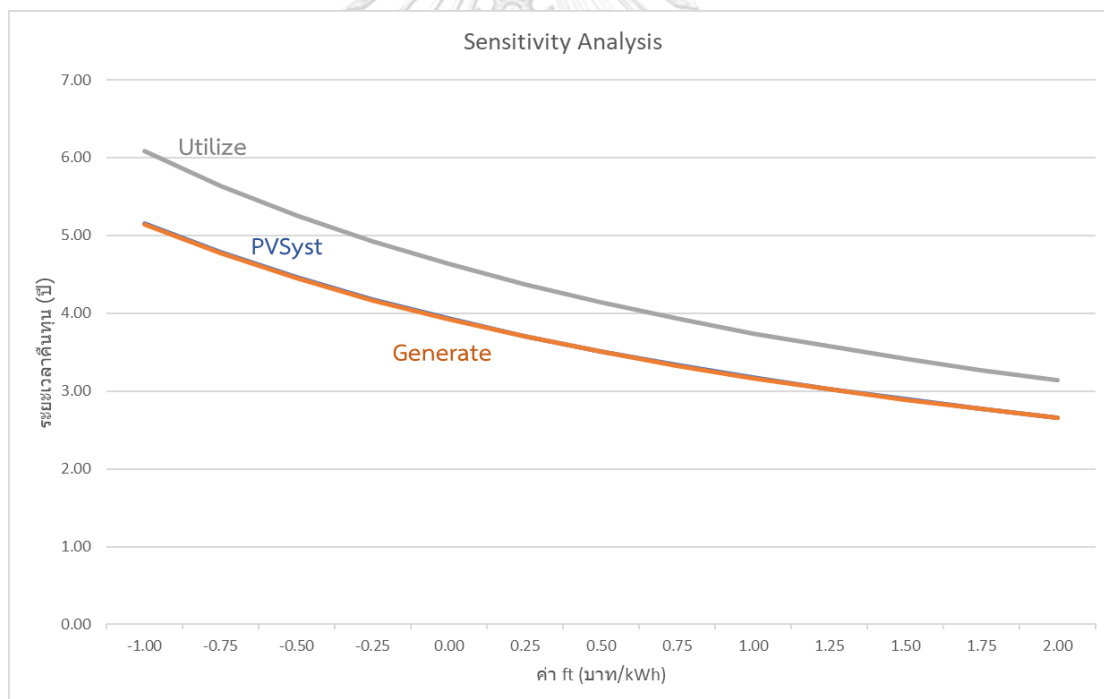
ตารางที่ 6 ผลประหยัดและระยะเวลาคืนทุนในสถานการณ์ที่แตกต่างกัน

Scenario	หน่วยไฟฟ้า (kWh)	ค่าไฟฟ้าฐานเฉลี่ย (บาท)	ค่า Ft (1) (บาท)	ค่า Ft (2) (บาท)	ค่าไฟเฉลี่ย (บาท)	ผลประหยัดค่าไฟฟ้า (บาท)	ระยะเวลาคืนทุน (ปี)
PVSyst	1	327,153.4	4.20		4.20	1,374,044.28	3 ปี 11 เดือน
	2		4.20	-0.1181	4.08	1,335,415.64	4 ปี
	3		4.20		1.021	5.22	1,708,100.62	3 ปี 2 เดือน
Generate	4	327,902.64	4.20		4.20	1,377,191.09	3 ปี 11 เดือน
	5		4.20	-0.1181	4.08	1,338,473.98	4 ปี
	6		4.20		1.021	5.22	1,712,012.47	3 ปี 2 เดือน
Utilize	7	277,422.86	4.20		4.20	1,165,176.01	4 ปี 8 เดือน
	8		4.20	-0.1181	4.08	1,132,419.31	4 ปี 9 เดือน
	9		4.20		1.021	5.22	1,448,452.49	3 ปี 9 เดือน

จากตารางที่ 6 สามารถอธิบายได้ว่าค่าไฟฟ้าผันแปร Ft ส่งผลกระทบต่อการผลประหยัดไฟฟ้าและระยะเวลาการคืนทุนของโครงการ โดยสถานการณ์ที่ 6 เป็นสถานการณ์คุ้มค่าที่สุดต่อผู้ลงทุนคือการใช้ไฟฟ้าสามารถใช้ไฟฟ้าได้เต็มจำนวนตามที่ระบบผลิตสามารถผลิตได้ โดยค่า Ft มีมูลค่าสูงที่สุด คือ 1.021 บาท ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้ไฟมีผลประหยัด 1,712,012.47 บาท โดยมีระยะเวลาคืนทุน 3 ปี 2 เดือน

และในสถานการณ์ที่ 8 ทำให้ผลประหยัดไฟฟ้าต่ำที่สุดคือ เนื่องจากผู้ใช้ไฟไม่นำไฟฟ้าที่ผลิตจากระบบมาใช้งานทั้งหมดได้ โดยผู้ใช้ไฟนำไฟฟ้าไปใช้จำนวน 277,422.86 kWh ซึ่งจะทำให้ผลประหยัดต่ำสุดคือ 1,132,419.31 บาท โดยมีระยะเวลาคืนทุน 4 ปี 9 เดือน

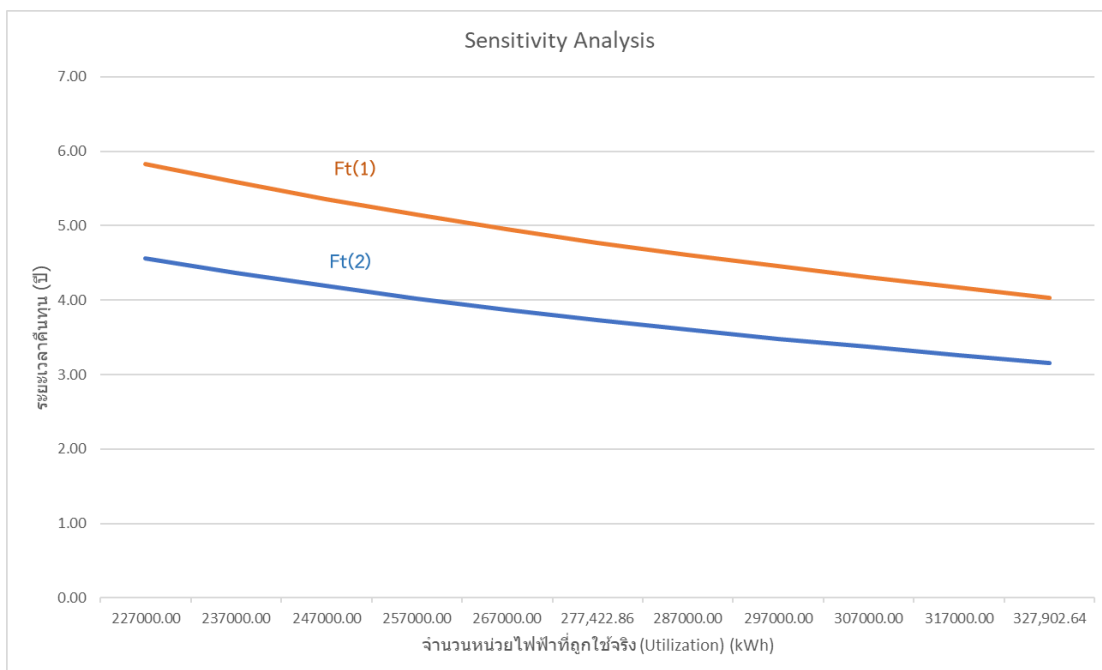
และเมื่อวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ โดยวิธีทำ Sensitivity Analysis การวิเคราะห์ความเสี่ยงเป็นการพิจารณาผลกระทบในกรณีที่ค่า Ft มีการเปลี่ยนแปลงตามรัฐบาลประกาศ โดยกำหนดให้ค่า Ft มีค่าตั้งแต่ -1.00 บาท จนถึง 2.00 บาท โดยมีการเปลี่ยนแปลงทุกๆ 25 สตางค์



ภาพที่ 34 Sensitivity Analysis ระหว่างค่า Ft และระยะเวลาคืนทุน

จากภาพสามารถอธิบายได้ว่า ค่า Ft ที่เปลี่ยนไปส่งผลให้ระยะเวลาคืนทุนของโครงการเปลี่ยนไป ยิ่งค่า Ft มีมูลค่าสูง ยิ่งทำให้ระยะเวลาคืนทุนเร็ว แต่เมื่อค่า Ft มีมูลค่าต่ำ ระยะเวลาคืนทุนก็จะยาวนานตามภาพที่ 35

และเมื่อวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ โดยวิธีทำ Sensitivity Analysis การวิเคราะห์ความเสี่ยงเป็นการพิจารณาผลกระทบในกรณีที่หน่วยไฟฟ้าที่ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถนำไปใช้ได้ โดยกำหนดให้หน่วยไฟฟ้า มีค่าตั้งแต่ 227,000.00 kWh จนถึง 327,902.64 kWh ซึ่งเป็นหน่วยไฟฟ้าที่ระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตไฟฟ้าได้เต็มจำนวน โดยกำหนดให้มีการเปลี่ยนแปลงทุกๆ 10,000 kWh



ภาพที่ 35 Sensitivity Analysis ระหว่างจำนวนหน่วยไฟฟ้าที่สามารถนำไปใช้ได้และระยะเวลาคืนทุน
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากภาพที่ 36 สามารถอธิบายได้ว่า จำนวนหน่วยไฟฟ้าที่สามารถนำไปใช้ได้หากมีค่าที่เปลี่ยนไปส่งผลให้ระยะเวลาคืนทุนของโครงการเปลี่ยนไปด้วย โดยยิ่งจำนวนหน่วยไฟฟ้าที่สามารถนำไปใช้ได้มีมาก ยิ่งทำให้ระยะเวลาคืนทุนเร็วขึ้น แต่เมื่อจำนวนหน่วยไฟฟ้าที่สามารถนำไปใช้ได้มีน้อย ระยะเวลาคืนทุนก็จะยาวขึ้น

4.5 วิเคราะห์การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

การเปลี่ยนการใช้พลังงานไฟฟ้าจากโซลาร์ ทดแทนการใช้พลังงานไฟฟ้าจากการไฟฟ้าสามารถนำมาวิเคราะห์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ โดยข้อมูลจากเอกสารค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิต/การใช้ไฟฟ้า (Emission Factor) สำหรับโครงการและกิจกรรมลดก๊าซเรือนกระจก โดยสำนักงานประเมินและรับรองโครงการ องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (TGO)

ประกาศใช้ เมื่อวันที่ 30 พฤศจิกายน 2565 กำหนดให้ใช้ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการผลิต/การใช้ไฟฟ้าที่อ้างอิงค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจกของระบบสายส่ง (รวมการผลิตด้วย) จะช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ได้ 0.4758 tCO₂/MWh สามารถวิเคราะห์ผลของการลดก๊าซเรือนกระจกจากการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา 277,422.86 kWh คิดเป็นปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดลงได้ เทียบเท่า 132 tCO₂/ปี หรือสามารถเทียบเท่ากับการปลูกต้นไม้จำนวน 8,800 ต้นถึง 14,666 ต้น เพื่อดูดซับ CO₂ ตามภาคผนวก ค.



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์การออกแบบของระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์บนหลังคาจากโปรแกรม PVSyst เพื่อเปรียบเทียบกับปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จริงจากการติดตั้งระบบของโรงงานอุตสาหกรรม และศึกษาต้นทุนทางการเงินของการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อเปรียบเทียบกับการลดพลังงานไฟฟ้าก่อนและหลังติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา โดยมีขนาดกำลังการผลิตอยู่ที่ 223.56 kW ในตำบลบางโฉลง อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ ด้วยการวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้

เมื่อพิจารณาจึงสรุปได้ว่า

1. ค่าความเข้มแสงมีผลโดยตรงต่อพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ โดยอธิบายได้จากวิธีหาความสัมพันธ์ของข้อมูลผ่านสมการถดถอยเชิงเส้นเชิงบวก (Linear Regression Equation) โดยมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจหาค่า (R²) เท่ากับ 0.85 ถ้า R² มีค่าใกล้ 1 แสดงว่าค่าพลังงานไฟฟ้า (ตัวแปรต้น) ในสมการถดถอยมีอิทธิพลต่อความเข้มแสงมาก (ตัวแปรตาม) หมายความว่าสมการถดถอยที่ประเมินได้เหมาะสมแล้ว
2. ความสัมพันธ์ของความเข้มแสงและพลังงานไฟฟ้าผ่านสมการถดถอยเชิงเส้นรายเดือน พบว่าข้อมูลมีความสัมพันธ์เชิงเส้นเชิงบวก หมายความว่าถ้าค่าความเข้มแสง มีค่าเพิ่มขึ้นค่ากำลังไฟฟ้า จะมีค่าเพิ่มขึ้นตาม หรือถ้าค่าความเข้มแสง มีค่าลดลง ตัวแปรค่ากำลังไฟฟ้าจะมีค่าลดลงตามเช่นกัน
3. ในการประเมินศักยภาพโดยใช้ข้อมูลความเข้มแสงจาก Pyranometer ที่พื้นที่ติดตั้งมีความแม่นยำกว่าข้อมูลจาก Meteronorm จากโปรแกรม PVSyst อยู่ประมาณ 7.88% ดังนั้นหากมีการติดตั้งเป็นจำนวนมากควรมีการสำรวจและเก็บค่าความเข้มแสงจริงก่อนประเมินศักยภาพเพื่อความถูกต้องแม่นยำ โดยเฉพาะเดือนที่มีการเปลี่ยนแปลงฤดูกาล เช่น เดือนพฤษภาคม และเดือนตุลาคม
4. ประสิทธิภาพของโซลาร์เซลล์ เพื่อหาสมรรถนะการผลิตพลังงานไฟฟ้า (Performance Ratio : PR) มีสมรรถนะการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เท่ากับ 77.19% ซึ่งถือว่าเป็นตัวเลขที่เหมาะสม เนื่องจากปกติแล้วการผลิตไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์จะมีการสูญเสียเกิดขึ้นในระบบอยู่แล้ว เช่น การสูญเสียจากอุณหภูมิแผงโซลาร์ขณะทำงานสูงเกินกว่า 25 องศาเซลเซียส (10-12%) การสูญเสียใน

การแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับที่อินเวอร์เตอร์ (2-3%) การสูญเสียในสายไฟฟ้า (1-3%) การสูญเสียจากฝุ่นที่มาปกคลุมแผงทำให้รับแสงได้น้อยลง (3-5%) และการสูญเสียจากเงาที่ตกกระทบบนแผง (1-3%) เป็นต้น จะเห็นได้ว่าการสูญเสียจากความร้อนจะมีค่าสูงมากที่สุด หากในอนาคตผู้ผลิตแผงโซลาร์สามารถพัฒนาให้แผงโซลาร์มีคุณสมบัติการสูญเสียพลังงานจากการทำงานที่อุณหภูมิสูงลดลงได้ ก็จะช่วยทำให้ระบบผลิตไฟฟ้ามีประสิทธิภาพได้สูงมากยิ่งขึ้น

5. การวิเคราะห์ Sensibility Analysis ของค่า Ft ที่เปลี่ยนแปลง มีผลต่อราคาค่าไฟฟ้า ทำให้มีผลกระทบต่อผลประหยัดไฟฟ้าและเป็นผลกระทบโดยตรงต่อระยะเวลาการคืนทุนของโครงการ (Payback Period: PB) โดยสถานการณ์ที่คุ้มค่าที่สุดต่อผู้ลงทุนคือค่าไฟฟ้าจากภาครัฐมีมูลค่าสูง ซึ่งหมายถึงผลรวมของค่าไฟฟ้าฐานและค่า Ft ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่ายิ่ง Ft มีค่ามากก็จะทำให้ระยะเวลาคืนทุนโครงการเร็วขึ้น และจะได้รับผลประหยัดจากการประหยัดค่าไฟฟ้ามากขึ้น เนื่องจากค่า Ft ยิ่งสูงจะทำให้ราคาค่าไฟฟ้าจากภาครัฐมีราคาสูงขึ้นตามไปด้วยเช่นกัน

6. การวิเคราะห์ Sensibility Analysis ของจำนวนหน่วยไฟที่สามารถนำไปใช้ได้มีค่าที่เปลี่ยนแปลง มีผลต่อราคาค่าไฟฟ้า ทำให้มีผลกระทบต่อผลประหยัดไฟฟ้าและเป็นผลกระทบโดยตรงต่อระยะเวลาการคืนทุนของโครงการ (Payback Period: PB) โดยสถานการณ์ที่คุ้มค่าที่สุดต่อผู้ลงทุนคือผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถใช้ไฟฟ้าได้เต็มจำนวนที่ระบบผลิตสามารถผลิตไฟฟ้าได้ ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่ายิ่งผู้ใช้ไฟสามารถใช้จำนวนหน่วยไฟที่ระบบสามารถผลิตไฟฟ้าได้มากก็จะทำให้ระยะเวลาคืนทุนโครงการเร็วขึ้น และจะได้รับผลประหยัดจากการประหยัดค่าไฟฟ้ามากขึ้น

7. จากการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาสามารถลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกได้เนื่องจากพลังงานไฟฟ้าหลักในประเทศ ยังผลิตมาจากรูปแบบดั้งเดิมจากเชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil Fuel)

5.2 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากงานวิจัยได้วิเคราะห์ถึงสถานการณ์ที่ทำให้ผู้ใช้ไฟมีผลประหยัดพลังงานมากที่สุดพบว่าปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการประหยัดไฟฟ้าและระยะเวลาคืนทุนมี 2 สาเหตุหลัก คือ 1 ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย โดยรวมทั้งค่าไฟฟ้าฐานและค่า Ft และปัจจัยที่ 2 คือ ปริมาณของหน่วยไฟฟ้าที่ผู้ใช้ไฟสามารถนำมาใช้จริง แต่เนื่องจากปัจจัยแรกเป็นการประกาศจากรัฐบาล ซึ่งอาจเป็นการยากต่อการควบคุม ดังนั้นจึงควรพิจารณาปัจจัยที่ 2 คือปริมาณไฟฟ้าที่ถูกนำมาใช้ เนื่องจากผู้ใช้ไฟไม่สามารถนำไฟฟ้าที่ผลิตได้มาใช้ได้เต็มจำนวน จึงมีการสูญเสียไฟฟ้าไปโดยเปล่าประโยชน์ ดังนั้นทางผู้ใช้ไฟจึงควรมีการบริหารจัดการการใช้ไฟฟ้าให้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อให้ได้ผลประหยัดไฟฟ้ามากที่สุดและระยะเวลาคืนทุนเร็วที่สุด

จากการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่าค่าความเข้มแสงจาก PV Syst และจากจากอุปกรณ์ Meteororm ที่เก็บค่าความเข้มแสงจริงภายในพื้นที่โรงงานมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 7.88% ทำให้ผู้ที่ต้องการวิเคราะห์ค่าความเข้มแสงในพื้นที่ใกล้เคียงสามารถนำข้อมูลนี้ไปใช้พยากรณ์ผลเพิ่มเติมจาก PV Syst เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการพยากรณ์

ในงานวิจัยนี้ได้มีการเก็บข้อมูลเป็นรายวัน เพื่อให้มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้นผู้สนใจสามารถเก็บข้อมูลเป็นรายชั่วโมง จะทำให้การวิเคราะห์มีข้อมูลละเอียดมากขึ้นการวิเคราะห์ข้อมูลก็จะแม่นยำมากขึ้น



บรรณานุกรม

1. อิศรางพร, ด., แนวทางการผลิตพลังงานหมุนเวียนเพื่อความยั่งยืนของชุมชนในจังหวัดสุรินทร์, in วิทยาศาสตร์มหบัณฑิต(การจัดการสิ่งแวดล้อม) คณะบริหารการพัฒนาสิ่งแวดล้อม. 2560, สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.
2. *Renewable Energy*. [cited 2023 7 January]; Available from: <https://www.javatpoint.com/renewable-energy>.
3. Maia, S. and L. Demoro, *Power Transition Trends 2022*. 2022: BloombergNEF.
4. แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2561 – 2580 ฉบับปรับปรุงครั้งที่ 1. 2563, สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน.
5. *Electromagnetic spectrum with sources*. 3 January 2019 [cited 2023 23 May]; Electromagnetic spectrum properties include wavelength, frequency and photon energy. Also includes ranges for common names of types of radiation and examples of sources of radiation.]. Available from: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Electromagnetic_spectrum_with_source_s.svg.
6. กองถ่ายถอดและเผยแพร่เทคโนโลยี, การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ การถ่ายถอดการเผยแพร่การใช้พลังงานแสงอาทิตย์. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน.
7. ชนิดของแผงโซลาร์เซลล์. [cited 2565 3 ธันวาคม]; Available from: <https://www.klcbright.com/solarcellpanel-mono-poly-thinilm.php>
8. WATJANATEPIN, N., เอกสารวิชา อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และวงจร บทที่ 1 สารกึ่งตัวนำ และไดโอด
9. เกตุคา, ธ. and ด. ตั้งตรงพลสิน, การศึกษาฐานข้อมูลสำหรับประเมินประสิทธิภาพในโซลาร์ฟาร์ม (A STUDY OF DATABASE FOR EFFICIENCY IN SOLAR FARM), in หลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ 2561, มหาวิทยาลัยบูรพา.
10. *Types of solar panels: which one is the best choice?* 12 January 2023 [cited 23 May 2023]; Available from: <https://www.solarreviews.com/blog/pros-and-cons-of-monocrystalline-vs-polycrystalline-solar-panels>.
11. วรณคนาพล, พ., et al., ประโยชน์ของการใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา:กรณีศึกษาอาคารที่พักอาศัยต้นทุนต่ำ (*Benefits of Roof-Mounted Solar Cells for Low-Cost Residential Buildings*), in คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

12. ต้องตรงทรัพย์, ก., การใช้งานโปรแกรม PVSYST เบื้องต้น. คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าเครื่องกลการผลิต มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา.
13. *Meteonorm Data*. [cited 2565 ธันวาคม]; Available from: https://www.pvsyst.com/help/meteo_source_meteonorm.htm
14. Institute, H.I. ปริมาณฝนรายเดือน เปรียบเทียบข้อมูลสถิติฝนรายเดือนย้อนหลังในรอบ 40 ปี. 2565 [cited 2023 July]; Available from: <https://www.thaiwater.net/uploads/contents/current/YearlyReport2022/rain3.html>.
15. Active, ก.T. มหันตภัยโลกร้อน สะท้อน บทเรียน พายุไซโคลน โมคา รุนแรงกว่าในอดีต. 2023 [cited 2023 July]; ความรุนแรงของไซโคลน โมคา เทียบเท่าเฮอริเคน ระดับ 5 คาดอนาคตต่อจากนี้ปัญหาโลกร้อนจะมีผลอย่างมากต่อความรุนแรงมากกว่าเดิม เชื่อ การพยากรณ์และการวางแผน ช่วยลดความสูญเสียของผู้คนจากภัยพิบัติได้]. Available from: <https://theactive.net/news/disaster-20230516/>.
16. SCG. “Net Zero” คืออะไร ทำไม “ต้นไม้” ถึงเป็นหนึ่งในตัวช่วยที่ใครๆ ต่างคอนเฟิร์มว่า “ใช่”! [cited 2023 July]; การปลูกต้นไม้ยืนต้น 1 ต้น สามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้เฉลี่ย 9 – 15 กิโลกรัม CO2 ต่อปี แถมยังช่วยผลิตออกซิเจนได้เพียงพอสำหรับ 2 คน ต่อปี และช่วยลดอุณหภูมิรอบพื้นที่ปลูกได้ 2-4 องศาเซลเซียส ยิ่งเราปลูกต้นไม้ถูกวิธี ทำให้ต้นไม้เติบโตได้อย่างยั่งยืนมากแค่ไหน วิกฤตโลกร้อนก็จะบรรเทาลงได้มากเช่นกัน]. Available from: <https://www.scg.com/esg/environmental/climate-emergency/plant-beat-heat/netzero-plant/>.

ภาคผนวก ก

ข้อมูลจากโปรแกรม PVsyst และจากการเก็บข้อมูลภายในโรงงาน

ตารางที่ 7 ข้อมูลจาก Program PVsyst และจากการเก็บข้อมูลภายในโรงงาน

วัน/เดือน/ปี	PVsyst	Meteonorm	ค่าพลังงานไฟฟ้า (kWh)	Zero Export (kWh)
	ค่าความเข้มแสง (kWh/m ²)	ค่าความเข้มแสง (kWh/m ²)		
1-ก.ค.-65	1.91	5.84	1063.08	0
2-ก.ค.-65	3.7766	4.59	852.67	0
3-ก.ค.-65	5.6463	4.48	830.82	0
4-ก.ค.-65	6.1158	5.61	1024.39	0
5-ก.ค.-65	3.9634	6.31	1128.71	0
6-ก.ค.-65	1.7106	6.41	1154.52	0
7-ก.ค.-65	4.2583	5.34	978.92	0
8-ก.ค.-65	3.7265	5.26	955.04	0
9-ก.ค.-65	3.6625	4.94	907.63	0
10-ก.ค.-65	3.1187	4.85	895.9	0
11-ก.ค.-65	4.9042	3.37	644.1	3.22
12-ก.ค.-65	5.0795	3.56	637.41	34.23
13-ก.ค.-65	5.2809	2.65	47.76	478.99
14-ก.ค.-65	4.1285	4.72	754.95	90.11
15-ก.ค.-65	5.344	3.92	716.34	8.99
16-ก.ค.-65	6.9507	4.49	760.83	71.23
17-ก.ค.-65	6.9233	6.38	609.74	650.21
18-ก.ค.-65	6.5962	5.64	779.76	292.99
19-ก.ค.-65	6.4399	5.74	955.95	54.45
20-ก.ค.-65	4.0259	4.79	829.87	62.63
21-ก.ค.-65	3.1599	1.74	340.81	0
22-ก.ค.-65	3.8933	5.63	895.1	81.08
23-ก.ค.-65	4.9641	4.32	688.17	0
24-ก.ค.-65	1.4825	6.7	826.02	475.77
25-ก.ค.-65	6.0898	6.14	910.55	244.97
26-ก.ค.-65	2.1937	6.33	1108.69	6.61

27-ก.ค.-65	4.9989	6.56	1062.65	42.13
28-ก.ค.-65	6.8947	5.37	484.01	581.66
29-ก.ค.-65	6.9061	6.32	1038.53	114.96
30-ก.ค.-65	7.1149	4.27	774.66	11.81
31-ก.ค.-65	7.5511	4	653.82	129.15
1-ส.ค.-65	2.9248	2.63	480.82	20.3
2-ส.ค.-65	5.2889	2.66	515.39	9.53
3-ส.ค.-65	3.2554	3.75	684.8	0
4-ส.ค.-65	5.9601	6.15	1088.11	0
5-ส.ค.-65	3.8112	4.08	757.45	0.85
6-ส.ค.-65	5.3407	6.26	1100.92	32.35
7-ส.ค.-65	4.0648	3.96	641.99	136.43
8-ส.ค.-65	6.0199	2.96	590.06	0
9-ส.ค.-65	6.794	4.24	792.64	0
10-ส.ค.-65	4.7008	5.69	1026.46	0
11-ส.ค.-65	5.4942	4.18	739.57	46.8
12-ส.ค.-65	3.2935	4.16	94.54	733.64
13-ส.ค.-65	2.084	6.51	1108.29	65.64
14-ส.ค.-65	4.7333	6.26	113.85	1130.66
15-ส.ค.-65	6.2473	5.46	904.32	95.06
16-ส.ค.-65	6.8083	4.43	718.58	51.49
17-ส.ค.-65	5.5691	5.93	942.16	125.81
18-ส.ค.-65	2.449	6.86	1177.27	50.63
19-ส.ค.-65	2.4414	5.72	748.95	286.69
20-ส.ค.-65	2.1225	3.61	608.1	53.93
21-ส.ค.-65	2.8833	3.97	81.24	708.74
22-ส.ค.-65	7.4063	6.11	903.36	189.63
23-ส.ค.-65	7.3479	7.16	1142.11	150.21
24-ส.ค.-65	7.5305	5.7	796.39	64.98
25-ส.ค.-65	5.5764	4.09	762.71	5.07
26-ส.ค.-65	0.8851	3.28	562.2	0
27-ส.ค.-65	2.1988	5.32	859.89	26.72

28-ส.ค.-65	6.2673	6.89	589.19	766.71
29-ส.ค.-65	2.0422	4.04	702.74	58.86
30-ส.ค.-65	4.2801	5.36	876.24	43.76
31-ส.ค.-65	2.8476	5.04	851.42	66.34
1-ก.ย.-65	5.9052	6.07	1055.46	13.97
2-ก.ย.-65	3.6941	5.86	1029.57	13.26
3-ก.ย.-65	3.9846	4.29	773.56	14.74
4-ก.ย.-65	1.1194	6.69	98.24	1231.81
5-ก.ย.-65	1.2813	3.08	563.53	8.8
6-ก.ย.-65	0.5996	4.13	716.59	52.65
7-ก.ย.-65	7.1104	4.11	663.5	107.9
8-ก.ย.-65	1.9147	2.53	468.61	0
9-ก.ย.-65	3.265	4.74	306.55	8.91
10-ก.ย.-65	6.0247	4.77	0	0
11-ก.ย.-65	2.6956	5.58	0	0
12-ก.ย.-65	3.0395	3.84	291.75	0
13-ก.ย.-65	1.54	3.84	696.63	1.13
14-ก.ย.-65	2.9767	2.86	517.8	11.67
15-ก.ย.-65	4.0905	5.5	942.99	33.35
16-ก.ย.-65	5.1962	5.98	944.9	104.6
17-ก.ย.-65	4.8669	3.75	558.21	140.56
18-ก.ย.-65	7.0985	4.19	105.99	725.07
19-ก.ย.-65	7.2759	4.57	661.51	149.19
20-ก.ย.-65	7.501	4.39	749.88	36.24
21-ก.ย.-65	7.2471	4.44	773.17	0
22-ก.ย.-65	6.7794	5.03	890.43	4.9
23-ก.ย.-65	2.4942	3.77	672.67	0
24-ก.ย.-65	6.0413	2.84	535.09	0
25-ก.ย.-65	7.3138	2.01	321.49	75.21
26-ก.ย.-65	7.2453	0.9	175.08	0
27-ก.ย.-65	6.2074	3.14	549.01	34.31
28-ก.ย.-65	2.8016	3.64	604.89	34.05

29-ก.ย.-65	1.6918	1.79	357.69	0
30-ก.ย.-65	0.9647	5.11	729.1	237.64
1-ต.ค.-65	5.9332	5.31	930.53	0
2-ต.ค.-65	5.5838	4.1	111.21	698.25
3-ต.ค.-65	2.7871	4.23	506.82	329.39
4-ต.ค.-65	5.403	4.46	727.68	55.25
5-ต.ค.-65	4.798	5.48	935.8	22.44
6-ต.ค.-65	6.6244	4.95	847.71	23.39
7-ต.ค.-65	6.934	4.8	828.08	14.12
8-ต.ค.-65	3.514	5.46	922.96	11.82
9-ต.ค.-65	5.5642	5.9	148.48	1023.98
10-ต.ค.-65	5.466	4.84	696.81	212.91
11-ต.ค.-65	6.4734	5.59	760.94	271.85
12-ต.ค.-65	6.1023	6.7	1114.71	55.42
13-ต.ค.-65	5.9491	6.5	434	855.76
14-ต.ค.-65	3.479	5.61	946.19	37.67
15-ต.ค.-65	4.1896	3.27	604.75	0
16-ต.ค.-65	4.8206	1.79	85.76	269.97
17-ต.ค.-65	3.112	4.91	826.56	15.91
18-ต.ค.-65	2.9654	6.35	979.72	193.66
19-ต.ค.-65	2.4987	6.35	1057.56	54.7
20-ต.ค.-65	5.9347	6.19	1036.16	38.87
21-ต.ค.-65	4.5837	2.5	454.69	12.35
22-ต.ค.-65	3.3174	4.82	818.2	15.74
23-ต.ค.-65	2.7416	6.12	86.61	1130.13
24-ต.ค.-65	1.9958	5.88	91.3	1076.86
25-ต.ค.-65	2.9897	6.02	981.2	79.69
26-ต.ค.-65	5.1152	4.27	706.53	69.53
27-ต.ค.-65	5.3506	3.01	534.09	12.98
28-ต.ค.-65	0.4852	3.9	626.6	68.46
29-ต.ค.-65	4.0571	6.08	994.96	54.91
30-ต.ค.-65	3.5094	6.21	576.91	606.32

31-ต.ค.-65	5.2228	6.01	988.82	31.6
1-พ.ย.-65	4.9955	5.62	954.89	0
2-พ.ย.-65	5.9832	6.39	1064	0
3-พ.ย.-65	5.2305	6.11	1028.59	0
4-พ.ย.-65	4.0815	6.38	1059.78	0
5-พ.ย.-65	4.3596	3.76	657.84	0
6-พ.ย.-65	5.0258	3.96	681.92	0
7-พ.ย.-65	4.9767	3.97	666.29	12.48
8-พ.ย.-65	4.9703	4.46	535.53	0
9-พ.ย.-65	4.5045	5.21	879	0
10-พ.ย.-65	5.3411	5.1	843.29	0
11-พ.ย.-65	5.3795	4.9	805.12	0
12-พ.ย.-65	4.7783	5.2	840.55	0
13-พ.ย.-65	3.6332	3.67	112.68	615.25
14-พ.ย.-65	6.1123	3.69	638.8	7.35
15-พ.ย.-65	2.7974	5.3	893.69	0
16-พ.ย.-65	2.7412	3.95	672.21	0
17-พ.ย.-65	4.6944	4.44	754.63	12.81
18-พ.ย.-65	2.0043	4.14	703.17	0
19-พ.ย.-65	3.9383	4.56	419.13	99.68
20-พ.ย.-65	4.5714	3.05	361.76	236.66
21-พ.ย.-65	3.8158	3.45	618.46	0
22-พ.ย.-65	3.8117	5.26	881.1	0
23-พ.ย.-65	4.7361	4.25	717.12	0
24-พ.ย.-65	6.1792	2.3	430.43	0
25-พ.ย.-65	5.1166	4.1	700.16	0
26-พ.ย.-65	5.2536	3.37	584.39	21.28
27-พ.ย.-65	5.1407	3.64	369.76	257.24
28-พ.ย.-65	5.0102	4.21	683.31	41.07
29-พ.ย.-65	4.9457	5.06	857.56	0
30-พ.ย.-65	5.6607	5.23	875.39	0
1-ธ.ค.-65	5.694	4.49	777.63	0

2-ธ.ค.-65	5.2954	4.82	813.87	0
3-ธ.ค.-65	5.2654	4.38	743.83	0
4-ธ.ค.-65	4.7967	4.8	546.52	387.19
5-ธ.ค.-65	4.3386	5.03	100.58	899.62
6-ธ.ค.-65	2.1233	4.82	694.91	14.06
7-ธ.ค.-65	5.4113	4.73	777.18	0
8-ธ.ค.-65	5.9141	4.55	750.71	40.37
9-ธ.ค.-65	5.4634	4.75	773.9	0
10-ธ.ค.-65	5.3258	5.28	864.31	0
11-ธ.ค.-65	4.812	5.13	422.57	581.69
12-ธ.ค.-65	2.7963	5.3	870.42	0
13-ธ.ค.-65	3.4618	5.08	852.86	0
14-ธ.ค.-65	5.0818	5.54	915.93	0
15-ธ.ค.-65	3.7407	5.37	876.5	0
16-ธ.ค.-65	5.0534	5.39	870.54	0
17-ธ.ค.-65	4.908	5.13	832.24	0
18-ธ.ค.-65	4.2917	5.32	484.67	569.75
19-ธ.ค.-65	2.4449	5.33	670.65	210.8
20-ธ.ค.-65	4.0041	5.38	761.39	0
21-ธ.ค.-65	3.7221	5.39	753.77	0
22-ธ.ค.-65	5.2752	5.24	736.59	0
23-ธ.ค.-65	4.7852	5.42	861.46	0
24-ธ.ค.-65	5.287	5.2	826.75	0
25-ธ.ค.-65	5.2942	5.43	62.69	1017.66
26-ธ.ค.-65	5.2485	5.34	791.5	82.62
27-ธ.ค.-65	5.4294	5.17	802.88	38.47
28-ธ.ค.-65	3.8251	5.42	777.44	161.88
29-ธ.ค.-65	3.1663	5.48	351.57	697.54
30-ธ.ค.-65	4.6157	5.43	102.25	977.97
31-ธ.ค.-65	5.1993	5.25	182.47	861.57
1-ม.ค.-66	4.732	5.58	59.61	1049.9
2-ม.ค.-66	4.4324	3.82	286.42	474.61

3-ม.ค.-66	5.7292	4.66	647.59	160.31
4-ม.ค.-66	5.2167	4.82	758.77	0
5-ม.ค.-66	3.7036	5.11	809.07	0
6-ม.ค.-66	4.7714	5.3	833.24	0
7-ม.ค.-66	3.3845	3.54	599.07	0
8-ม.ค.-66	4.3023	3.56	589.36	3.98
9-ม.ค.-66	4.6256	5.05	785.71	9.96
10-ม.ค.-66	4.7424	4.93	770.21	5.04
11-ม.ค.-66	4.6073	2.49	417.12	0
12-ม.ค.-66	4.6232	4.29	688.62	0
13-ม.ค.-66	5.4891	4.87	757.16	0
14-ม.ค.-66	2.8279	5.34	831.87	0
15-ม.ค.-66	2.7951	5.29	102.69	949
16-ม.ค.-66	5.1521	5.21	787.99	33.82
17-ม.ค.-66	4.7859	5.15	812.5	0
18-ม.ค.-66	4.5046	5.21	827.97	0
19-ม.ค.-66	4.5806	5.44	851.46	24.78
20-ม.ค.-66	5.0143	5.42	858.51	0
21-ม.ค.-66	3.9693	5.06	792.92	0
22-ม.ค.-66	5.8115	5.67	364.71	753.04
23-ม.ค.-66	5.8023	5.42	834.41	12.27
24-ม.ค.-66	5.7561	5.21	819.36	22.57
25-ม.ค.-66	4.7366	4.64	730.61	0
26-ม.ค.-66	5.3578	5.4	841.99	0
27-ม.ค.-66	4.7707	4.72	740.71	34.43
28-ม.ค.-66	5.1688	5.3	824.35	26.17
29-ม.ค.-66	5.2501	5.61	384.92	719.11
30-ม.ค.-66	5.4806	5.65	845.08	0
31-ม.ค.-66	2.9308	5.43	843.6	0
1-ก.พ.-66	1.9347	4.86	755.6	0
2-ก.พ.-66	4.3586	4.62	712.47	13.08
3-ก.พ.-66	4.9317	3.07	489.82	14.13

4-ก.พ.-66	4.9148	4.35	665.96	0
5-ก.พ.-66	5.1441	5.42	450.63	598.2
6-ก.พ.-66	5.386	5.46	829.02	0
7-ก.พ.-66	5.2536	4.89	743.29	0
8-ก.พ.-66	4.5109	5.72	865.4	0
9-ก.พ.-66	4.961	5.04	765.3	0
10-ก.พ.-66	5.7231	4.8	726.56	0
11-ก.พ.-66	4.7407	5.65	859.09	0
12-ก.พ.-66	5.6631	5.85	467.56	682.53
13-ก.พ.-66	4.8518	5.76	872.15	0
14-ก.พ.-66	6.0272	5.62	856.1	0
15-ก.พ.-66	5.2619	0.92	170.22	0
16-ก.พ.-66	5.6644	3.81	659.98	0
17-ก.พ.-66	6.1379	4.52	790.44	0
18-ก.พ.-66	5.0795	5.27	897.7	0
19-ก.พ.-66	5.7785	5.54	927.34	0
20-ก.พ.-66	5.4586	6.06	1018.66	0
21-ก.พ.-66	5.1113	6.08	1022.24	0
22-ก.พ.-66	5.7839	6.22	1043.35	0
23-ก.พ.-66	5.5207	6.01	996	0
24-ก.พ.-66	5.8772	6.15	1013.63	0
25-ก.พ.-66	5.1339	6.2	1012.89	28.65
26-ก.พ.-66	5.8096	6.26	69.03	1175.32
27-ก.พ.-66	4.5077	6.12	930.11	102.82
28-ก.พ.-66	4.2512	6.29	1006.17	75.88
1-มี.ค.-66	5.671	6.16	842.73	32.42
2-มี.ค.-66	4.9472	6.24	986.58	0
3-มี.ค.-66	5.3868	6.12	938.43	31
4-มี.ค.-66	5.9224	6.28	854.26	253.17
5-มี.ค.-66	6.3574	6.06	535.96	602.51
6-มี.ค.-66	4.5778	5.92	523.14	586.84
7-มี.ค.-66	4.8062	5.87	896.17	32.1

8-มี.ค.-66	6.6729	5.85	724.33	23.1
9-มี.ค.-66	6.0523	5.28	909.63	19.25
10-มี.ค.-66	5.0465	5.47	943.14	17.83
11-มี.ค.-66	5.2499	4.57	782.4	18.12
12-มี.ค.-66	5.9993	4.33	121.09	740.29
13-มี.ค.-66	5.2916	4.67	560.18	346.16
14-มี.ค.-66	6.0681	6.2	349.12	882.94
15-มี.ค.-66	6.407	5.86	654.04	40.02
16-มี.ค.-66	5.7415	5.84	732.02	100.94
17-มี.ค.-66	6.9392	5.77	961.83	33.41
18-มี.ค.-66	6.5541	6	1004.04	28.39
19-มี.ค.-66	6.9637	5.78	512.09	59.86
20-มี.ค.-66	5.6213	6.7	1083.46	71.85
21-มี.ค.-66	2.7328	6.71	1117.31	34.41
22-มี.ค.-66	1.6594	6.48	1101.4	0.92
23-มี.ค.-66	4.558	6.45	1086.11	0
24-มี.ค.-66	4.9506	6.38	1069.63	0
25-มี.ค.-66	6.7901	6.54	1106.71	0
26-มี.ค.-66	6.7642	6.65	788.38	0
27-มี.ค.-66	6.1068	6.15	1013.4	2.76
28-มี.ค.-66	4.9053	6.59	1113.17	0
29-มี.ค.-66	6.2554	6.99	1181.48	3.08
30-มี.ค.-66	6.2892	5.84	994.15	1.74
31-มี.ค.-66	7.1396	6.5	1013.31	0
1-เม.ย.-66	6.7144	6.34	1,067.59	35.59
2-เม.ย.-66	6.2737	6.24	458.65	771
3-เม.ย.-66	5.5726	6.24	1,050.63	0
4-เม.ย.-66	7.7229	6.09	940.53	18.25
5-เม.ย.-66	5.6735	6.14	1,037.34	0
6-เม.ย.-66	5.5871	6.32	635.81	608
7-เม.ย.-66	5.1246	2.31	401.82	13.03
8-เม.ย.-66	6.5153	5.5	931.49	0

9-เม.ย.-66	3.987	6.35	1,059.22	0
10-เม.ย.-66	4.9119	6.5	1,083.26	2.6
11-เม.ย.-66	3.7002	6.09	1,012.71	0
12-เม.ย.-66	4.4605	5.88	978.18	0
13-เม.ย.-66	3.4754	5.81	673.19	461.93
14-เม.ย.-66	3.6844	5.23	947.89	0
15-เม.ย.-66	5.169	6.04	1145.69	0
16-เม.ย.-66	6.8353	5.78	1032.31	0
17-เม.ย.-66	7.225	6.53	1176.54	0
18-เม.ย.-66	7.3178	5.04	841.13	0
19-เม.ย.-66	6.1799	5.68	935.85	0
20-เม.ย.-66	7.0365	6.73	1,096.71	0
21-เม.ย.-66	6.4127	6.59	1,048.83	0
22-เม.ย.-66	6.0213	5.99	971.56	0
23-เม.ย.-66	6.4229	6.93	554.18	801.92
24-เม.ย.-66	6.0788	6.78	1,091.49	0
25-เม.ย.-66	6.937	5.95	975.82	0
26-เม.ย.-66	7.1117	1.26	226.28	0
27-เม.ย.-66	6.5529	6.07	1,041.76	0
28-เม.ย.-66	6.2331	5.13	884.26	0
29-เม.ย.-66	4.478	7.04	1,194.73	7.73
30-เม.ย.-66	5.2316	1.82	276.38	75.96
1-พ.ค.-66	2.9749	6.78	574.71	759.03
2-พ.ค.-66	4.727	6.64	1,112.35	15.02
3-พ.ค.-66	3.0643	7.22	1,218.77	0.72
4-พ.ค.-66	3.0552	7.16	603.22	796.15
5-พ.ค.-66	5.729	7.06	1,187.95	1.51
6-พ.ค.-66	6.4927	7.14	1,192.78	2.76
7-พ.ค.-66	4.9546	7.16	997.63	327.11
8-พ.ค.-66	2.1288	5.73	985.91	0
9-พ.ค.-66	4.2685	6.24	1,060.17	0
10-พ.ค.-66	5.378	4.97	867.84	0

11-พ.ค.-66	6.1429	4.94	865.59	0
12-พ.ค.-66	6.7731	7.47	1,273.68	1.46
13-พ.ค.-66	7.2634	6.45	1,099.42	0
14-พ.ค.-66	7.3853	7.22	693.29	625.49
15-พ.ค.-66	4.2874	6.58	1,001.72	201.3
16-พ.ค.-66	4.8096	6.46	976.89	215.75
17-พ.ค.-66	4.0057	5.12	894.95	0
18-พ.ค.-66	4.8915	7.01	1,190.68	2.99
19-พ.ค.-66	7.5345	6.59	1,075.36	42.27
20-พ.ค.-66	7.4784	6.83	1,150	4.32
21-พ.ค.-66	5.997	7.15	564.27	844.43
22-พ.ค.-66	6.9979	5.47	799.38	7.5
23-พ.ค.-66	5.8842	5.87	978.46	49.02
24-พ.ค.-66	5.5697	3.78	616.7	58.27
25-พ.ค.-66	7.7177	4.46	794.9	4.52
26-พ.ค.-66	7.2397	6.59	732.78	34.86
27-พ.ค.-66	7.182	5.21	901.05	0
28-พ.ค.-66	3.6221	3.9	250.64	525.79
29-พ.ค.-66	2.8236	3.16	509.99	5.34
30-พ.ค.-66	2.8259	6.31	1,039.69	75.38
31-พ.ค.-66	4.0166	6.02	1,030.34	0
1-มิ.ย.-66	5.297	6.53	1,055.59	87.26
2-มิ.ย.-66	7.4356	7.38	1,233.41	70.52
3-มิ.ย.-66	4.9418	7.33	1,157.65	170.48
4-มิ.ย.-66	6.9212	6.91	195.62	1,176.93
5-มิ.ย.-66	2.6289	5.62	191.22	926.74
6-มิ.ย.-66	3.5105	5.39	945.75	2.77
7-มิ.ย.-66	3.2962	6.1	1,101.72	0
8-มิ.ย.-66	5.5607	5.29	960.49	19.45
9-มิ.ย.-66	6.3566	3.13	600.34	1.93
10-มิ.ย.-66	2.9994	3.74	699.01	10.61
11-มิ.ย.-66	2.4356	5.74	186.86	952.46

12-มิ.ย.-66	6.1044	5.16	817.02	64.15
13-มิ.ย.-66	7.7484	4.2	648.71	35.19
14-มิ.ย.-66	7.4515	5.11	853.46	0
15-มิ.ย.-66	7.5779	4.79	853.85	41.65
16-มิ.ย.-66	6.8854	6.07	1,030.89	77.1
17-มิ.ย.-66	6.261	6.88	1,147.22	84.87
18-มิ.ย.-66	4.3556	3.36	43.99	428.79
19-มิ.ย.-66	5.2212	4.59	706.21	62.6
20-มิ.ย.-66	6.5811	5.59	973.86	16.18
21-มิ.ย.-66	1.6679	6.48	1,109.57	42.07
22-มิ.ย.-66	1.6846	5.65	980.47	35.49
23-มิ.ย.-66	2.9342	7.3	1,151.95	110.7
24-มิ.ย.-66	4.4641	6.26	1,083.05	52.08
25-มิ.ย.-66	5.7922	5.66	148.36	976.19
26-มิ.ย.-66	6.1286	5.66	773.14	14.29
27-มิ.ย.-66	5.8969	6.58	1,065.22	44.77
28-มิ.ย.-66	7.4639	6.13	1,074.75	0
29-มิ.ย.-66	4.6485	6.02	1,030.58	27.84
30-มิ.ย.-66	1.6567	5.95	1,045.44	32.04



1. คำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อนของค่าความเข้มแสงที่ได้จากโปรแกรม PVsyst และ ความเข้มแสงที่ได้เก็บข้อมูลจาก Pyranometer

$$\begin{aligned} &\text{ค่าความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์} \\ &\text{(Relative error)} \end{aligned} = \left| \frac{X_{\text{mea}} - X_{\text{true}}}{X_{\text{true}}} \right| \times 100\%$$

X_{mea} = ค่าประมาณ

X_{true} = ค่าจริง

2. ประสิทธิภาพของโซลาร์เซลล์ เพื่อหาสมรรถนะการผลิตพลังงานไฟฟ้า (Performance Ratio : PR)

ประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์ หมายถึง ผลลัพธ์กำลังไฟฟ้าที่วัดได้ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่หน้าตัด โดยสามารถคำนวณจากสมการ

$$PR = \frac{Y_f}{Y_r} \times 100$$

โดย PR = สมรรถนะของการผลิตไฟฟ้า (Performance Ratio)
 Y_f = ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากระบบต่อขนาดของระบบที่ติดตั้ง (kWh/kWp)
 Y_r = ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงโซลาร์เซลล์ในทางทฤษฎี (kWh/kWp)

โดย ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงโซลาร์เซลล์ในทางทฤษฎี (Y_r) จะถูกวิเคราะห์จากผลคูณของข้อมูลดังต่อไปนี้

1. ค่าแดดต่อวันที่เกิดขึ้นจริง จาก Pyranometer ที่ติดตั้งบนหลังคาของโรงงาน (kWh/m²)
2. พื้นที่ (m²)
3. PV module Efficiency (%) ตามคุณสมบัติแผงโซลาร์เซลล์จากผู้ผลิต[14]

โดยข้อมูลที่เก็บรวบรวมและนำมาคำนวณมีค่าตามตาราง 8-19

ตารางที่ 8 ข้อมูลจากระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ เดือนกรกฎาคม 2565

วันที่	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง จากระบบ (kWh)	ค่าความเข้มแสง (kWh/m ²)	พื้นที่ (m ²)	PV module Efficiency (%)	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ตามทฤษฎี จากค่าแดดที่เกิดขึ้นจริง (kWh)	PR Ratio
1-ก.ค.-65	1,063.08	5.84	1,069.94	20.90	1,305.92	81.40%
2-ก.ค.-65	852.67	4.59	1,069.94	20.90	1,026.40	83.07%
3-ก.ค.-65	830.82	4.48	1,069.94	20.90	1,001.80	82.93%
4-ก.ค.-65	1,024.39	5.61	1,069.94	20.90	1,254.49	81.66%
5-ก.ค.-65	1,128.71	6.31	1,069.94	20.90	1,411.02	79.99%
6-ก.ค.-65	1,154.52	6.41	1,069.94	20.90	1,433.38	80.55%
7-ก.ค.-65	978.92	5.34	1,069.94	20.90	1,194.11	81.98%
8-ก.ค.-65	955.04	5.26	1,069.94	20.90	1,176.22	81.20%
9-ก.ค.-65	907.63	4.94	1,069.94	20.90	1,104.67	82.16%
10-ก.ค.-65	895.9	4.85	1,069.94	20.90	1,084.54	82.61%
11-ก.ค.-65	647.32	3.37	1,069.94	20.90	753.59	85.90%
12-ก.ค.-65	671.64	3.56	1,069.94	20.90	796.08	84.37%
13-ก.ค.-65	526.75	2.65	1,069.94	20.90	592.58	88.89%
14-ก.ค.-65	845.06	4.72	1,069.94	20.90	1,055.47	80.06%
15-ก.ค.-65	725.33	3.92	1,069.94	20.90	876.58	82.75%

วันที่	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง จากระบบ (kWh)	ค่าความเข้มแสง (kWh/m ²)	พื้นที่ (m ²)	PV module Efficiency (%)	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ตามทฤษฎี จากค่าแดดที่เกิดขึ้นจริง (kWh)	PR Ratio
16-ก.ค.-65	832.06	4.49	1,069.94	20.90	1,004.04	82.87%
17-ก.ค.-65	1,259.95	6.38	1,069.94	20.90	1,426.67	88.31%
18-ก.ค.-65	1,072.75	5.64	1,069.94	20.90	1,261.20	85.06%
19-ก.ค.-65	1,010.4	5.74	1,069.94	20.90	1,283.56	78.72%
20-ก.ค.-65	892.5	4.79	1,069.94	20.90	1,071.12	83.32%
21-ก.ค.-65	340.81	1.74	1,069.94	20.90	389.09	87.59%
22-ก.ค.-65	976.18	5.63	1,069.94	20.90	1,258.96	77.54%
23-ก.ค.-65	688.17	4.32	1,069.94	20.90	966.02	71.24%
24-ก.ค.-65	1,301.79	6.7	1,069.94	20.90	1,498.23	86.89%
25-ก.ค.-65	1,155.52	6.14	1,069.94	20.90	1,373.01	84.16%
26-ก.ค.-65	1,115.3	6.33	1,069.94	20.90	1,415.49	78.79%
27-ก.ค.-65	1,104.78	6.56	1,069.94	20.90	1,466.92	75.31%
28-ก.ค.-65	1,065.67	5.37	1,069.94	20.90	1,200.82	88.75%
29-ก.ค.-65	1,153.49	6.32	1,069.94	20.90	1,413.26	81.62%
30-ก.ค.-65	786.47	4.27	1,069.94	20.90	954.84	82.37%
31-ก.ค.-65	782.97	4	1,069.94	20.90	894.47	87.53%

ตารางที่ 9 ข้อมูลจากระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ เดือนสิงหาคม 2565

วันที่	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง จากระบบ (kWh)	ค่าความเข้มแสง (kWh/m ²)	พื้นที่ (m ²)	PV module Efficiency (%)	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ตามทฤษฎี จากค่าแดดที่เกิดขึ้นจริง (kWh)	PR Ratio
1-ส.ค.-65	501.12	2.63	1,069.94	20.90	588.11	85.21%
2-ส.ค.-65	524.92	2.66	1,069.94	20.90	594.82	88.25%
3-ส.ค.-65	684.8	3.75	1,069.94	20.90	838.56	81.66%
4-ส.ค.-65	1088.11	6.15	1,069.94	20.90	1,375.24	79.12%
5-ส.ค.-65	758.3	4.08	1,069.94	20.90	912.36	83.11%
6-ส.ค.-65	1133.27	6.26	1,069.94	20.90	1,399.84	80.96%
7-ส.ค.-65	778.42	3.96	1,069.94	20.90	885.52	87.91%
8-ส.ค.-65	590.06	2.96	1,069.94	20.90	661.91	89.15%
9-ส.ค.-65	792.64	4.24	1,069.94	20.90	948.13	83.60%
10-ส.ค.-65	1026.46	5.69	1,069.94	20.90	1,272.38	80.67%
11-ส.ค.-65	786.37	4.18	1,069.94	20.90	934.72	84.13%
12-ส.ค.-65	828.18	4.16	1,069.94	20.90	930.24	89.03%
13-ส.ค.-65	1173.93	6.51	1,069.94	20.90	1,455.74	80.64%
14-ส.ค.-65	1244.51	6.26	1,069.94	20.90	1,399.84	88.90%
15-ส.ค.-65	999.38	5.46	1,069.94	20.90	1,220.95	81.85%

วันที่	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง จากระบบ (kWh)	ค่าความเข้มแสง (kWh/m ²)	พื้นที่ (m ²)	PV module Efficiency (%)	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ตามทฤษฎี จากค่าแดดที่เกิดขึ้นจริง (kWh)	PR Ratio
16-ส.ค.-65	770.07	4.43	1,069.94	20.90	990.62	77.74%
17-ส.ค.-65	1067.97	5.93	1,069.94	20.90	1,326.05	80.54%
18-ส.ค.-65	1227.9	6.86	1,069.94	20.90	1,534.01	80.05%
19-ส.ค.-65	1035.64	5.72	1,069.94	20.90	1,279.09	80.97%
20-ส.ค.-65	662.03	3.61	1,069.94	20.90	807.26	82.01%
21-ส.ค.-65	789.98	3.97	1,069.94	20.90	887.76	88.99%
22-ส.ค.-65	1092.99	6.11	1,069.94	20.90	1,366.30	80.00%
23-ส.ค.-65	1292.32	7.16	1,069.94	20.90	1,601.09	80.71%
24-ส.ค.-65	861.37	5.7	1,069.94	20.90	1,274.61	67.58%
25-ส.ค.-65	767.78	4.09	1,069.94	20.90	914.59	83.95%
26-ส.ค.-65	562.2	3.28	1,069.94	20.90	733.46	76.65%
27-ส.ค.-65	886.61	5.32	1,069.94	20.90	1,189.64	74.53%
28-ส.ค.-65	1355.9	6.89	1,069.94	20.90	1,540.72	88.00%
29-ส.ค.-65	761.6	4.04	1,069.94	20.90	903.41	84.30%
30-ส.ค.-65	920	5.36	1,069.94	20.90	1,198.58	76.76%
31-ส.ค.-65	917.76	5.04	1,069.94	20.90	1,127.03	81.43%

ตารางที่ 10 ข้อมูลจากระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ เดือนกันยายน 2565

วันที่	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง จากระบบ (kWh)	ค่าความเข้มแสง (kWh/m ²)	พื้นที่ (m ²)	PV module Efficiency (%)	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ตามทฤษฎี จากค่าแดดที่เกิดขึ้นจริง (kWh)	PR Ratio
1-ก.ย.-65	1069.43	6.07	1,069.94	20.90	1,357.35	78.79%
2-ก.ย.-65	1042.83	5.86	1,069.94	20.90	1,310.39	79.58%
3-ก.ย.-65	788.3	4.29	1,069.94	20.90	959.32	82.17%
4-ก.ย.-65	1330.05	6.69	1,069.94	20.90	1,495.99	88.91%
5-ก.ย.-65	572.33	3.08	1,069.94	20.90	688.74	83.10%
6-ก.ย.-65	769.24	4.13	1,069.94	20.90	923.54	83.29%
7-ก.ย.-65	771.4	4.11	1,069.94	20.90	919.06	83.93%
8-ก.ย.-65	468.61	2.53	1,069.94	20.90	565.75	82.83%
9-ก.ย.-65	315.46	4.74	1,069.94	20.90	1,059.94	29.76%
10-ก.ย.-65	0	4.77	1,069.94	20.90	1,066.65	0.00%
11-ก.ย.-65	0	5.58	1,069.94	20.90	1,247.78	0.00%
12-ก.ย.-65	291.75	3.84	1,069.94	20.90	858.69	33.98%
13-ก.ย.-65	697.76	3.84	1,069.94	20.90	858.69	81.26%
14-ก.ย.-65	529.47	2.86	1,069.94	20.90	639.54	82.79%
15-ก.ย.-65	976.34	5.5	1,069.94	20.90	1,229.89	79.38%

วันที่	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง จากระบบ (kWh)	ค่าความเข้มแสง (kWh/m ²)	พื้นที่ (m ²)	PV module Efficiency (%)	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ตามทฤษฎี จากค่าแดดที่เกิดขึ้นจริง (kWh)	PR Ratio
16-ก.ย.-65	1049.5	5.98	1,069.94	20.90	1,337.23	78.48%
17-ก.ย.-65	698.77	3.75	1,069.94	20.90	838.56	83.33%
18-ก.ย.-65	831.06	4.19	1,069.94	20.90	936.95	88.70%
19-ก.ย.-65	810.7	4.57	1,069.94	20.90	1,021.93	79.33%
20-ก.ย.-65	786.12	4.39	1,069.94	20.90	981.68	80.08%
21-ก.ย.-65	773.17	4.44	1,069.94	20.90	992.86	77.87%
22-ก.ย.-65	895.33	5.03	1,069.94	20.90	1,124.79	79.60%
23-ก.ย.-65	672.67	3.77	1,069.94	20.90	843.03	79.79%
24-ก.ย.-65	535.09	2.84	1,069.94	20.90	635.07	84.26%
25-ก.ย.-65	396.7	2.01	1,069.94	20.90	449.47	88.26%
26-ก.ย.-65	175.08	0.9	1,069.94	20.90	201.25	86.99%
27-ก.ย.-65	583.32	3.14	1,069.94	20.90	702.16	83.08%
28-ก.ย.-65	638.94	3.64	1,069.94	20.90	813.96	78.50%
29-ก.ย.-65	357.69	1.79	1,069.94	20.90	400.27	89.36%
30-ก.ย.-65	966.74	5.11	1,069.94	20.90	1,142.68	84.60%

ตารางที่ 11 ข้อมูลจากระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ เดือนตุลาคม 2565

วันที่	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง จากระบบ (kWh)	ค่าความเข้มแสง (kWh/m ²)	พื้นที่ (m ²)	PV module Efficiency (%)	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ตามทฤษฎี จากค่าแดดที่เกิดขึ้นจริง (kWh)	PR Ratio
1-ต.ค.-65	930.53	5.31	1,069.94	20.90	1,187.40	78.37%
2-ต.ค.-65	809.46	4.1	1,069.94	20.90	916.83	88.29%
3-ต.ค.-65	836.21	4.23	1,069.94	20.90	945.90	88.40%
4-ต.ค.-65	782.93	4.46	1,069.94	20.90	997.33	78.50%
5-ต.ค.-65	958.24	5.48	1,069.94	20.90	1,225.42	78.20%
6-ต.ค.-65	871.1	4.95	1,069.94	20.90	1,106.90	78.70%
7-ต.ค.-65	842.2	4.8	1,069.94	20.90	1,073.36	78.46%
8-ต.ค.-65	934.78	5.46	1,069.94	20.90	1,220.95	76.56%
9-ต.ค.-65	1172.46	5.9	1,069.94	20.90	1,319.34	88.87%
10-ต.ค.-65	909.72	4.84	1,069.94	20.90	1,082.30	84.05%
11-ต.ค.-65	1032.79	5.59	1,069.94	20.90	1,250.02	82.62%
12-ต.ค.-65	1170.13	6.7	1,069.94	20.90	1,498.23	78.10%
13-ต.ค.-65	1289.76	6.5	1,069.94	20.90	1,453.51	88.73%
14-ต.ค.-65	983.86	5.61	1,069.94	20.90	1,254.49	78.43%
15-ต.ค.-65	604.75	3.27	1,069.94	20.90	731.23	82.70%

วันที่	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง จากระบบ (kWh)	ค่าความเข้มแสง (kWh/m ²)	พื้นที่ (m ²)	PV module Efficiency (%)	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ตามทฤษฎี จากค่าแดดที่เกิดขึ้นจริง (kWh)	PR Ratio
16-ต.ค.-65	355.73	1.79	1,069.94	20.90	400.27	88.87%
17-ต.ค.-65	842.47	4.91	1,069.94	20.90	1,097.96	76.73%
18-ต.ค.-65	1173.38	6.35	1,069.94	20.90	1,419.97	82.63%
19-ต.ค.-65	1112.26	6.35	1,069.94	20.90	1,419.97	78.33%
20-ต.ค.-65	1075.03	6.19	1,069.94	20.90	1,384.19	77.67%
21-ต.ค.-65	467.04	2.5	1,069.94	20.90	559.04	83.54%
22-ต.ค.-65	833.94	4.82	1,069.94	20.90	1,077.83	77.37%
23-ต.ค.-65	1216.74	6.12	1,069.94	20.90	1,368.53	88.91%
24-ต.ค.-65	1168.16	5.88	1,069.94	20.90	1,314.87	88.84%
25-ต.ค.-65	1060.89	6.02	1,069.94	20.90	1,346.17	78.81%
26-ต.ค.-65	776.06	4.27	1,069.94	20.90	954.84	81.28%
27-ต.ค.-65	547.07	3.01	1,069.94	20.90	673.09	81.28%
28-ต.ค.-65	695.06	3.9	1,069.94	20.90	872.10	79.70%
29-ต.ค.-65	1049.87	6.08	1,069.94	20.90	1,359.59	77.22%
30-ต.ค.-65	1183.23	6.21	1,069.94	20.90	1,388.66	85.21%
31-ต.ค.-65	1020.42	6.01	1,069.94	20.90	1,343.94	75.93%

ตารางที่ 12 ข้อมูลจากระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ เตือนพฤศจิกายน 2565

วันที่	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง จากระบบ (kWh)	ค่าความเข้มแสง (kWh/m ²)	พื้นที่ (m ²)	PV module Efficiency (%)	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ตามทฤษฎี จากค่าแดดที่เกิดขึ้นจริง (kWh)	PR Ratio
1-พ.ย.-65	954.89	5.62	1,069.94	20.90	1,256.73	75.98%
2-พ.ย.-65	1064	6.39	1,069.94	20.90	1,428.91	74.46%
3-พ.ย.-65	1028.59	6.11	1,069.94	20.90	1,366.30	75.28%
4-พ.ย.-65	1059.78	6.38	1,069.94	20.90	1,426.67	74.28%
5-พ.ย.-65	657.84	3.76	1,069.94	20.90	840.80	78.24%
6-พ.ย.-65	681.92	3.96	1,069.94	20.90	885.52	77.01%
7-พ.ย.-65	678.77	3.97	1,069.94	20.90	887.76	76.46%
8-พ.ย.-65	535.53	4.46	1,069.94	20.90	997.33	53.70%
9-พ.ย.-65	879	5.21	1,069.94	20.90	1,165.04	75.45%
10-พ.ย.-65	843.29	5.1	1,069.94	20.90	1,140.44	73.94%
11-พ.ย.-65	805.12	4.9	1,069.94	20.90	1,095.72	73.48%
12-พ.ย.-65	840.55	5.2	1,069.94	20.90	1,162.81	72.29%
13-พ.ย.-65	727.93	3.67	1,069.94	20.90	820.67	88.70%
14-พ.ย.-65	646.15	3.69	1,069.94	20.90	825.15	78.31%
15-พ.ย.-65	893.69	5.3	1,069.94	20.90	1,185.17	75.41%

วันที่	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง จากระบบ (kWh)	ค่าความเข้มแสง (kWh/m ²)	พื้นที่ (m ²)	PV module Efficiency (%)	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ตามทฤษฎี จากค่าแดดที่เกิดขึ้นจริง (kWh)	PR Ratio
16-พ.ย.-65	672.21	3.95	1,069.94	20.90	883.29	76.10%
17-พ.ย.-65	767.44	4.44	1,069.94	20.90	992.86	77.30%
18-พ.ย.-65	703.17	4.14	1,069.94	20.90	925.77	75.95%
19-พ.ย.-65	518.81	4.56	1,069.94	20.90	1,019.69	50.88%
20-พ.ย.-65	598.42	3.05	1,069.94	20.90	682.03	87.74%
21-พ.ย.-65	618.46	3.45	1,069.94	20.90	771.48	80.17%
22-พ.ย.-65	881.1	5.26	1,069.94	20.90	1,176.22	74.91%
23-พ.ย.-65	717.12	4.25	1,069.94	20.90	950.37	75.46%
24-พ.ย.-65	430.43	2.3	1,069.94	20.90	514.32	83.69%
25-พ.ย.-65	700.16	4.1	1,069.94	20.90	916.83	76.37%
26-พ.ย.-65	605.67	3.37	1,069.94	20.90	753.59	80.37%
27-พ.ย.-65	627	3.64	1,069.94	20.90	813.96	77.03%
28-พ.ย.-65	724.38	4.21	1,069.94	20.90	941.43	76.94%
29-พ.ย.-65	857.56	5.06	1,069.94	20.90	1,131.50	75.79%
30-พ.ย.-65	875.39	5.23	1,069.94	20.90	1,169.51	74.85%

ตารางที่ 13 ข้อมูลจากระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ เดือนธันวาคม 2565

วันที่	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง จากระบบ (kWh)	ค่าความเข้มแสง (kWh/m ²)	พื้นที่ (m ²)	PV module Efficiency (%)	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ตามทฤษฎี จากค่าแดดที่เกิดขึ้นจริง (kWh)	PR Ratio
1-ธ.ค.-65	777.63	4.49	1,069.94	20.90	1,004.04	77.45%
2-ธ.ค.-65	813.87	4.82	1,069.94	20.90	1,077.83	75.51%
3-ธ.ค.-65	743.83	4.38	1,069.94	20.90	979.44	75.94%
4-ธ.ค.-65	933.71	4.8	1,069.94	20.90	1,073.36	86.99%
5-ธ.ค.-65	1000.2	5.03	1,069.94	20.90	1,124.79	88.92%
6-ธ.ค.-65	708.97	4.82	1,069.94	20.90	1,077.83	65.78%
7-ธ.ค.-65	777.18	4.73	1,069.94	20.90	1,057.71	73.48%
8-ธ.ค.-65	791.08	4.55	1,069.94	20.90	1,017.46	77.75%
9-ธ.ค.-65	773.9	4.75	1,069.94	20.90	1,062.18	72.86%
10-ธ.ค.-65	864.31	5.28	1,069.94	20.90	1,180.70	73.20%
11-ธ.ค.-65	1004.26	5.13	1,069.94	20.90	1,147.15	87.54%
12-ธ.ค.-65	870.42	5.3	1,069.94	20.90	1,185.17	73.44%
13-ธ.ค.-65	852.86	5.08	1,069.94	20.90	1,135.97	75.08%
14-ธ.ค.-65	915.93	5.54	1,069.94	20.90	1,238.84	73.93%
15-ธ.ค.-65	876.5	5.37	1,069.94	20.90	1,200.82	72.99%

วันที่	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง จากระบบ (kWh)	ค่าความเข้มแสง (kWh/m ²)	พื้นที่ (m ²)	PV module Efficiency (%)	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ตามทฤษฎี จากค่าแดดที่เกิดขึ้นจริง (kWh)	PR Ratio
16-5.ค.-65	870.54	5.39	1,069.94	20.90	1,205.29	72.23%
17-5.ค.-65	832.24	5.13	1,069.94	20.90	1,147.15	72.55%
18-5.ค.-65	1054.42	5.32	1,069.94	20.90	1,189.64	88.63%
19-5.ค.-65	881.45	5.33	1,069.94	20.90	1,191.88	73.95%
20-5.ค.-65	761.39	5.38	1,069.94	20.90	1,203.06	63.29%
21-5.ค.-65	753.77	5.39	1,069.94	20.90	1,205.29	62.54%
22-5.ค.-65	736.59	5.24	1,069.94	20.90	1,171.75	62.86%
23-5.ค.-65	861.46	5.42	1,069.94	20.90	1,212.00	71.08%
24-5.ค.-65	826.75	5.2	1,069.94	20.90	1,162.81	71.10%
25-5.ค.-65	1080.35	5.43	1,069.94	20.90	1,214.24	88.97%
26-5.ค.-65	874.12	5.34	1,069.94	20.90	1,194.11	73.20%
27-5.ค.-65	841.35	5.17	1,069.94	20.90	1,156.10	72.77%
28-5.ค.-65	939.32	5.42	1,069.94	20.90	1,212.00	77.50%
29-5.ค.-65	1049.11	5.48	1,069.94	20.90	1,225.42	85.61%
30-5.ค.-65	1080.22	5.43	1,069.94	20.90	1,214.24	88.96%
31-5.ค.-65	1044.04	5.25	1,069.94	20.90	1,173.99	88.93%

ตารางที่ 14 ข้อมูลจากระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ เดือนกรกฎาคม 2566

วันที่	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง จากระบบ (kWh)	ค่าความเข้มแสง (kWh/m ²)	พื้นที่ (m ²)	PV module Efficiency (%)	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ตามทฤษฎี จากค่าแดดที่เกิดขึ้นจริง (kWh)	PR Ratio
1-ม.ค.-66	1109.51	5.58	1,069.94	20.90	1,247.78	88.92%
2-ม.ค.-66	761.03	3.82	1,069.94	20.90	854.22	89.09%
3-ม.ค.-66	807.9	4.66	1,069.94	20.90	1,042.05	77.53%
4-ม.ค.-66	758.77	4.82	1,069.94	20.90	1,077.83	70.40%
5-ม.ค.-66	809.07	5.11	1,069.94	20.90	1,142.68	70.80%
6-ม.ค.-66	833.24	5.3	1,069.94	20.90	1,185.17	70.31%
7-ม.ค.-66	599.07	3.54	1,069.94	20.90	791.60	75.68%
8-ม.ค.-66	593.34	3.56	1,069.94	20.90	796.08	74.53%
9-ม.ค.-66	795.67	5.05	1,069.94	20.90	1,129.26	70.46%
10-ม.ค.-66	775.25	4.93	1,069.94	20.90	1,102.43	70.32%
11-ม.ค.-66	417.12	2.49	1,069.94	20.90	556.81	74.91%
12-ม.ค.-66	688.62	4.29	1,069.94	20.90	959.32	71.78%
13-ม.ค.-66	757.16	4.87	1,069.94	20.90	1,089.01	69.53%
14-ม.ค.-66	831.87	5.34	1,069.94	20.90	1,194.11	69.66%
15-ม.ค.-66	1051.69	5.29	1,069.94	20.90	1,182.93	88.91%

วันที่	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง จากระบบ (kWh)	ค่าความเข้มแสง (kWh/m ²)	พื้นที่ (m ²)	PV module Efficiency (%)	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ตามทฤษฎี จากค่าแดดที่เกิดขึ้นจริง (kWh)	PR Ratio
16-ม.ค.-66	821.81	5.21	1,069.94	20.90	1,165.04	70.54%
17-ม.ค.-66	812.5	5.15	1,069.94	20.90	1,151.63	70.55%
18-ม.ค.-66	827.97	5.21	1,069.94	20.90	1,165.04	71.07%
19-ม.ค.-66	876.24	5.44	1,069.94	20.90	1,216.47	72.03%
20-ม.ค.-66	858.51	5.42	1,069.94	20.90	1,212.00	70.83%
21-ม.ค.-66	792.92	5.06	1,069.94	20.90	1,131.50	70.08%
22-ม.ค.-66	1117.75	5.67	1,069.94	20.90	1,267.91	88.16%
23-ม.ค.-66	846.68	5.42	1,069.94	20.90	1,212.00	69.86%
24-ม.ค.-66	841.93	5.21	1,069.94	20.90	1,165.04	72.27%
25-ม.ค.-66	730.61	4.64	1,069.94	20.90	1,037.58	70.41%
26-ม.ค.-66	841.99	5.4	1,069.94	20.90	1,207.53	69.73%
27-ม.ค.-66	775.14	4.72	1,069.94	20.90	1,055.47	73.44%
28-ม.ค.-66	850.52	5.3	1,069.94	20.90	1,185.17	71.76%
29-ม.ค.-66	1104.03	5.61	1,069.94	20.90	1,254.49	88.01%
30-ม.ค.-66	845.08	5.65	1,069.94	20.90	1,263.43	66.89%
31-ม.ค.-66	843.6	5.43	1,069.94	20.90	1,214.24	69.48%

ตารางที่ 15 ข้อมูลจากระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ เดือนกุมภาพันธ์ 2566

วันที่	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง จากระบบ (kWh)	ค่าความเข้มแสง (kWh/m ²)	พื้นที่ (m ²)	PV module Efficiency (%)	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ตามทฤษฎี จากค่าแดดที่เกิดขึ้นจริง (kWh)	PR Ratio
1-ก.พ.-66	755.6	4.86	1,069.94	20.90	1,086.78	69.53%
2-ก.พ.-66	725.55	4.62	1,069.94	20.90	1,033.11	70.23%
3-ก.พ.-66	503.95	3.07	1,069.94	20.90	686.50	73.41%
4-ก.พ.-66	665.96	4.35	1,069.94	20.90	972.73	68.46%
5-ก.พ.-66	1048.83	5.42	1,069.94	20.90	1,212.00	86.54%
6-ก.พ.-66	829.02	5.46	1,069.94	20.90	1,220.95	67.90%
7-ก.พ.-66	743.29	4.89	1,069.94	20.90	1,093.49	67.97%
8-ก.พ.-66	865.4	5.72	1,069.94	20.90	1,279.09	67.66%
9-ก.พ.-66	765.3	5.04	1,069.94	20.90	1,127.03	67.90%
10-ก.พ.-66	726.56	4.8	1,069.94	20.90	1,073.36	67.69%
11-ก.พ.-66	859.09	5.65	1,069.94	20.90	1,263.43	68.00%
12-ก.พ.-66	1150.09	5.85	1,069.94	20.90	1,308.16	87.92%
13-ก.พ.-66	872.15	5.76	1,069.94	20.90	1,288.03	67.71%
14-ก.พ.-66	856.1	5.62	1,069.94	20.90	1,256.73	68.12%
15-ก.พ.-66	170.22	0.92	1,069.94	20.90	205.73	82.74%

วันที่	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง จากระบบ (kWh)	ค่าความเข้มแสง (kWh/m ²)	พื้นที่ (m ²)	PV module Efficiency (%)	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ตามทฤษฎี จากค่าแดดที่เกิดขึ้นจริง (kWh)	PR Ratio
16-ก.พ.-66	659.98	3.81	1,069.94	20.90	851.98	77.46%
17-ก.พ.-66	790.44	4.52	1,069.94	20.90	1,010.75	78.20%
18-ก.พ.-66	897.7	5.27	1,069.94	20.90	1,178.46	76.18%
19-ก.พ.-66	927.34	5.54	1,069.94	20.90	1,238.84	74.86%
20-ก.พ.-66	1018.66	6.06	1,069.94	20.90	1,355.12	75.17%
21-ก.พ.-66	1022.24	6.08	1,069.94	20.90	1,359.59	75.19%
22-ก.พ.-66	1043.35	6.22	1,069.94	20.90	1,390.90	75.01%
23-ก.พ.-66	996.00	6.01	1,069.94	20.90	1,343.94	74.11%
24-ก.พ.-66	1013.63	6.15	1,069.94	20.90	1,375.24	73.71%
25-ก.พ.-66	1041.54	6.2	1,069.94	20.90	1,386.42	75.12%
26-ก.พ.-66	1244.35	6.26	1,069.94	20.90	1,399.84	88.89%
27-ก.พ.-66	1032.93	6.12	1,069.94	20.90	1,368.53	75.48%
28-ก.พ.-66	1082.05	6.29	1,069.94	20.90	1,406.55	76.93%

ตารางที่ 16 ข้อมูลจากระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ เดือนมีนาคม 2566

วันที่	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง จากระบบ (kWh)	ค่าความเข้มแสง (kWh/m ²)	พื้นที่ (m ²)	PV module Efficiency (%)	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ตามทฤษฎี จากค่าแดดที่เกิดขึ้นจริง (kWh)	PR Ratio
1-มี.ค.-66	875.15	6.16	1,069.94	20.90	1,377.48	63.53%
2-มี.ค.-66	986.58	6.24	1,069.94	20.90	1,395.37	70.70%
3-มี.ค.-66	969.43	6.12	1,069.94	20.90	1,368.53	70.84%
4-มี.ค.-66	1107.43	6.28	1,069.94	20.90	1,404.31	78.86%
5-มี.ค.-66	1138.47	6.06	1,069.94	20.90	1,355.12	84.01%
6-มี.ค.-66	1109.98	5.92	1,069.94	20.90	1,323.81	83.85%
7-มี.ค.-66	928.27	5.87	1,069.94	20.90	1,312.63	70.72%
8-มี.ค.-66	747.43	5.85	1,069.94	20.90	1,308.16	57.14%
9-มี.ค.-66	928.88	5.28	1,069.94	20.90	1,180.70	78.67%
10-มี.ค.-66	960.97	5.47	1,069.94	20.90	1,223.18	78.56%
11-มี.ค.-66	800.52	4.57	1,069.94	20.90	1,021.93	78.33%
12-มี.ค.-66	861.38	4.33	1,069.94	20.90	968.26	88.96%
13-มี.ค.-66	906.34	4.67	1,069.94	20.90	1,044.29	86.79%
14-มี.ค.-66	1232.06	6.2	1,069.94	20.90	1,386.42	88.87%
15-มี.ค.-66	694.06	5.86	1,069.94	20.90	1,310.39	52.97%

วันที่	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง จากระบบ (kWh)	ค่าความเข้มแสง (kWh/m ²)	พื้นที่ (m ²)	PV module Efficiency (%)	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ตามทฤษฎี จากค่าแดดที่เกิดขึ้นจริง (kWh)	PR Ratio
16-มี.ค.-66	832.96	5.84	1,069.94	20.90	1,305.92	63.78%
17-มี.ค.-66	995.24	5.77	1,069.94	20.90	1,290.27	77.13%
18-มี.ค.-66	1032.43	6.00	1,069.94	20.90	1,341.70	76.95%
19-มี.ค.-66	571.95	5.78	1,069.94	20.90	1,292.50	44.25%
20-มี.ค.-66	1155.31	6.7	1,069.94	20.90	1,498.23	77.11%
21-มี.ค.-66	1151.72	6.71	1,069.94	20.90	1,500.47	76.76%
22-มี.ค.-66	1102.32	6.48	1,069.94	20.90	1,449.04	76.07%
23-มี.ค.-66	1086.11	6.45	1,069.94	20.90	1,442.33	75.30%
24-มี.ค.-66	1069.63	6.38	1,069.94	20.90	1,426.67	74.97%
25-มี.ค.-66	1106.71	6.54	1,069.94	20.90	1,462.45	75.67%
26-มี.ค.-66	788.38	6.65	1,069.94	20.90	1,487.05	53.02%
27-มี.ค.-66	1016.16	6.15	1,069.94	20.90	1,375.24	73.89%
28-มี.ค.-66	1113.17	6.59	1,069.94	20.90	1,473.63	75.54%
29-มี.ค.-66	1184.56	6.99	1,069.94	20.90	1,563.08	75.78%
30-มี.ค.-66	995.89	5.84	1,069.94	20.90	1,305.92	76.26%
31-มี.ค.-66	1013.31	6.50	1,069.94	20.90	1,453.51	69.71%

ตารางที่ 17 ข้อมูลจากระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ เดือนเมษายน 2566

วันที่	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง จากระบบ (kWh)	ค่าความเข้มแสง (kWh/m ²)	พื้นที่ (m ²)	PV module Efficiency (%)	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ตามทฤษฎี จากค่าแดดที่เกิดขึ้นจริง (kWh)	PR Ratio
1-เม.ย.-66	1103.18	6.34	1,069.94	20.90	1,417.73	77.81%
2-เม.ย.-66	1229.65	6.24	1,069.94	20.90	1,395.37	88.12%
3-เม.ย.-66	1050.63	6.24	1,069.94	20.90	1,395.37	75.29%
4-เม.ย.-66	958.78	6.09	1,069.94	20.90	1,361.82	70.40%
5-เม.ย.-66	1037.34	6.14	1,069.94	20.90	1,373.01	75.55%
6-เม.ย.-66	1243.81	6.32	1,069.94	20.90	1,413.26	88.01%
7-เม.ย.-66	414.85	2.31	1,069.94	20.90	516.55	80.31%
8-เม.ย.-66	931.49	5.50	1,069.94	20.90	1,229.89	75.74%
9-เม.ย.-66	1059.22	6.35	1,069.94	20.90	1,419.97	74.59%
10-เม.ย.-66	1085.86	6.50	1,069.94	20.90	1,453.51	74.71%
11-เม.ย.-66	1012.71	6.09	1,069.94	20.90	1,361.82	74.36%
12-เม.ย.-66	978.18	5.88	1,069.94	20.90	1,314.87	74.39%
13-เม.ย.-66	1135.12	5.81	1,069.94	20.90	1,299.21	87.37%
14-เม.ย.-66	947.89	5.23	1,069.94	20.90	1,169.51	81.05%
15-เม.ย.-66	1145.69	6.04	1,069.94	20.90	1,350.64	84.83%

วันที่	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง จากระบบ (kWh)	ค่าความเข้มแสง (kWh/m ²)	พื้นที่ (m ²)	PV module Efficiency (%)	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ตามทฤษฎี จากค่าแดดที่เกิดขึ้นจริง (kWh)	PR Ratio
16-เม.ย.-66	1032.31	5.78	1,069.94	20.90	1,292.50	79.87%
17-เม.ย.-66	1176.54	6.53	1,069.94	20.90	1,460.22	80.57%
18-เม.ย.-66	841.13	5.04	1,069.94	20.90	1,127.03	74.63%
19-เม.ย.-66	935.85	5.68	1,069.94	20.90	1,270.14	73.68%
20-เม.ย.-66	1096.71	6.73	1,069.94	20.90	1,504.94	72.87%
21-เม.ย.-66	1048.83	6.59	1,069.94	20.90	1,473.63	71.17%
22-เม.ย.-66	971.56	5.99	1,069.94	20.90	1,339.46	72.53%
23-เม.ย.-66	1356.10	6.93	1,069.94	20.90	1,549.66	87.51%
24-เม.ย.-66	1091.49	6.78	1,069.94	20.90	1,516.12	71.99%
25-เม.ย.-66	975.82	5.95	1,069.94	20.90	1,330.52	73.34%
26-เม.ย.-66	226.28	1.26	1,069.94	20.90	281.76	80.31%
27-เม.ย.-66	1041.76	6.07	1,069.94	20.90	1,357.35	76.75%
28-เม.ย.-66	884.26	5.13	1,069.94	20.90	1,147.15	77.08%
29-เม.ย.-66	1202.46	7.04	1,069.94	20.90	1,574.26	76.38%
30-เม.ย.-66	352.34	1.82	1,069.94	20.90	406.98	86.57%

ตารางที่ 18 ข้อมูลจากระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ เดือนพฤษภาคม 2566

วันที่	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง จากระบบ (kWh)	ค่าความเข้มแสง (kWh/m ²)	พื้นที่ (m ²)	PV module Efficiency (%)	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ตามทฤษฎี จากค่าแดดที่เกิดขึ้นจริง (kWh)	PR Ratio
1-พ.ค.-66	1333.74	6.78	1,069.94	20.90	1,516.12	87.97%
2-พ.ค.-66	1127.37	6.64	1,069.94	20.90	1,484.81	75.93%
3-พ.ค.-66	1219.49	7.22	1,069.94	20.90	1,614.51	75.53%
4-พ.ค.-66	1399.37	7.16	1,069.94	20.90	1,601.09	87.40%
5-พ.ค.-66	1189.46	7.06	1,069.94	20.90	1,578.73	75.34%
6-พ.ค.-66	1195.54	7.14	1,069.94	20.90	1,596.62	74.88%
7-พ.ค.-66	1324.74	7.16	1,069.94	20.90	1,601.09	82.74%
8-พ.ค.-66	985.91	5.73	1,069.94	20.90	1,281.32	76.94%
9-พ.ค.-66	1060.17	6.24	1,069.94	20.90	1,395.37	75.98%
10-พ.ค.-66	867.84	4.97	1,069.94	20.90	1,111.37	78.09%
11-พ.ค.-66	865.59	4.94	1,069.94	20.90	1,104.67	78.36%
12-พ.ค.-66	1275.14	7.47	1,069.94	20.90	1,670.42	76.34%
13-พ.ค.-66	1099.42	6.45	1,069.94	20.90	1,442.33	76.23%
14-พ.ค.-66	1318.78	7.22	1,069.94	20.90	1,614.51	81.68%
15-พ.ค.-66	1203.02	6.58	1,069.94	20.90	1,471.40	81.76%

วันที่	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง จากระบบ (kWh)	ค่าความเข้มแสง (kWh/m ²)	พื้นที่ (m ²)	PV module Efficiency (%)	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ตามทฤษฎี จากค่าแดดที่เกิดขึ้นจริง (kWh)	PR Ratio
16-พ.ค.-66	1192.64	6.46	1,069.94	20.90	1,444.56	82.56%
17-พ.ค.-66	894.95	5.12	1,069.94	20.90	1,144.92	78.17%
18-พ.ค.-66	1193.67	7.01	1,069.94	20.90	1,567.55	76.15%
19-พ.ค.-66	1117.63	6.59	1,069.94	20.90	1,473.63	75.84%
20-พ.ค.-66	1154.32	6.83	1,069.94	20.90	1,527.30	75.58%
21-พ.ค.-66	1408.70	7.15	1,069.94	20.90	1,598.86	88.11%
22-พ.ค.-66	806.88	5.47	1,069.94	20.90	1,223.18	65.97%
23-พ.ค.-66	1027.48	5.87	1,069.94	20.90	1,312.63	78.28%
24-พ.ค.-66	674.97	3.78	1,069.94	20.90	845.27	79.85%
25-พ.ค.-66	799.42	4.46	1,069.94	20.90	997.33	80.16%
26-พ.ค.-66	767.64	6.59	1,069.94	20.90	1,473.63	52.09%
27-พ.ค.-66	901.05	5.21	1,069.94	20.90	1,165.04	77.34%
28-พ.ค.-66	776.43	3.90	1,069.94	20.90	872.10	89.03%
29-พ.ค.-66	515.33	3.16	1,069.94	20.90	706.63	72.93%
30-พ.ค.-66	1115.07	6.31	1,069.94	20.90	1,411.02	79.03%
31-พ.ค.-66	1030.34	6.02	1,069.94	20.90	1,346.17	76.54%

ตารางที่ 19 ข้อมูลจากระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ เดือนมิถุนายน 2566

วันที่	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง จากระบบ (kWh)	ค่าความเข้มแสง (kWh/m ²)	พื้นที่ (m ²)	PV module Efficiency (%)	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ตามทฤษฎี จากค่าแดดที่เกิดขึ้นจริง (kWh)	PR Ratio
1-มิ.ย.-66	1142.85	6.53	1,069.94	20.90	1,460.22	78.27%
2-มิ.ย.-66	1303.93	7.38	1,069.94	20.90	1,650.29	79.01%
3-มิ.ย.-66	1328.13	7.33	1,069.94	20.90	1,639.11	81.03%
4-มิ.ย.-66	1372.55	6.91	1,069.94	20.90	1,545.19	88.83%
5-มิ.ย.-66	1117.96	5.62	1,069.94	20.90	1,256.73	88.96%
6-มิ.ย.-66	948.52	5.39	1,069.94	20.90	1,205.29	78.70%
7-มิ.ย.-66	1101.72	6.10	1,069.94	20.90	1,364.06	80.77%
8-มิ.ย.-66	979.94	5.29	1,069.94	20.90	1,182.93	82.84%
9-มิ.ย.-66	602.27	3.13	1,069.94	20.90	699.92	86.05%
10-มิ.ย.-66	709.62	3.74	1,069.94	20.90	836.33	84.85%
11-มิ.ย.-66	1139.32	5.74	1,069.94	20.90	1,283.56	88.76%
12-มิ.ย.-66	881.17	5.16	1,069.94	20.90	1,153.86	76.37%
13-มิ.ย.-66	683.9	4.2	1,069.94	20.90	939.19	72.82%
14-มิ.ย.-66	853.46	5.11	1,069.94	20.90	1,142.68	74.69%
15-มิ.ย.-66	895.5	4.79	1,069.94	20.90	1,071.12	83.60%

วันที่	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง จากระบบ (kWh)	ค่าความเข้มแสง (kWh/m ²)	พื้นที่ (m ²)	PV module Efficiency (%)	พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ตามทฤษฎี จากค่าแดดที่เกิดขึ้นจริง (kWh)	PR Ratio
16-มิ.ย.-66	1107.99	6.07	1,069.94	20.90	1,357.35	81.63%
17-มิ.ย.-66	1232.09	6.88	1,069.94	20.90	1,538.48	80.08%
18-มิ.ย.-66	472.78	3.36	1,069.94	20.90	751.35	62.92%
19-มิ.ย.-66	768.81	4.59	1,069.94	20.90	1,026.40	74.90%
20-มิ.ย.-66	990.04	5.59	1,069.94	20.90	1,250.02	79.20%
21-มิ.ย.-66	1151.64	6.48	1,069.94	20.90	1,449.04	79.48%
22-มิ.ย.-66	1015.96	5.65	1,069.94	20.90	1,263.43	80.41%
23-มิ.ย.-66	1262.65	7.30	1,069.94	20.90	1,632.40	77.35%
24-มิ.ย.-66	1135.13	6.26	1,069.94	20.90	1,399.84	81.09%
25-มิ.ย.-66	1124.55	5.66	1,069.94	20.90	1,265.67	88.85%
26-มิ.ย.-66	787.43	5.66	1,069.94	20.90	1,265.67	62.21%
27-มิ.ย.-66	1109.99	6.58	1,069.94	20.90	1,471.40	75.44%
28-มิ.ย.-66	1074.75	6.13	1,069.94	20.90	1,370.77	78.40%
29-มิ.ย.-66	1058.42	6.02	1,069.94	20.90	1,346.17	78.62%
30-มิ.ย.-66	1077.48	5.95	1,069.94	20.90	1,330.52	80.98%

ภาคผนวก ค

วิเคราะห์ต้นทุนทางการเงินของการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อเปรียบเทียบกับการ
ลดพลังงานไฟฟ้าก่อนและหลังติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1. วิเคราะห์ต้นทุนทางการเงินของการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อเปรียบเทียบกับการผลิตพลังงานไฟฟ้าก่อนและหลังติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา

1.1 หาค่าไฟฟ้าเฉลี่ยและค่าไฟฟ้าฐาน

การวิเคราะห์หาค่าไฟฟ้าเฉลี่ยและค่าไฟฟ้าฐาน สามารถหาได้จากการเก็บรวบรวมค่าไฟฟ้าเป็นระยะเวลา 1 ปี ตั้งแต่เดือนมกราคม 2563 จนถึงเดือนธันวาคม 2563 โดยสามารถนำมาวิเคราะห์ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยและค่าไฟฟ้าฐาน ได้ดังนี้

$$\text{ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย} = \frac{\text{ค่าไฟฟ้ายรายเดือน (บาท)}}{\text{หน่วยไฟฟ้า (หน่วย)}}$$

$$\text{ค่าไฟฟ้าฐาน} = \text{ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย} - Ft$$

โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 20 ด้านล่าง

ตารางที่ 20 ค่าไฟฟ้าระยะเวลา 12 เดือน ในปี 2563

เดือน	ค่าไฟฟ้า (บาท)	หน่วยไฟฟ้า (หน่วย)	ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย (บาท)	ค่า Ft (บาท)	ค่าไฟฟ้า ฐาน (บาท)
มกราคม	889,671.89	232,000.00	3.83	-0.116	3.95
กุมภาพันธ์	545,594.16	129,000.00	4.23	-0.116	4.35
มีนาคม	723,643.60	188,000.00	3.85	-0.116	3.97
เมษายน	842,535.90	221,000.00	3.81	-0.116	3.93
พฤษภาคม	888,670.58	244,000.00	3.64	-0.116	3.76
มิถุนายน	652,788.21	160,000.00	4.08	-0.116	4.20
กรกฎาคม	424,335.65	100,000.00	4.24	-0.116	4.36
สิงหาคม	405,832.53	92,000.00	4.41	-0.116	4.53
กันยายน	530,026.43	122,000.00	4.34	-0.116	4.46
ตุลาคม	482,410.28	110,000.00	4.39	-0.1243	4.51
พฤศจิกายน	445,035.12	103,000.00	4.32	-0.1243	4.45
ธันวาคม	842,247.97	223,000.00	3.78	-0.1243	3.90
			4.08	-0.118075	4.20

1.2 หาค่าไฟฟ้า

เมื่อทราบค่าไฟฟ้าฐานเฉลี่ย จะนำมาพิจารณาเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าในช่วงเวลาที่ทำการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ระยะเวลา 12 เดือน ตั้งแต่วันที่ 1 กรกฎาคม 2565 จนถึง 30 มิถุนายน 2566 โดยสามารถหาผลประหยัดไฟฟ้าและระยะเวลาคืนทุนได้ดังนี้

ผลประหยัดค่าไฟฟ้า = หน่วยไฟฟ้า (kWh) [ค่าไฟฟ้าฐานเฉลี่ย(บาท/kWh) + Ft(บาท/kWh)]

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน (ปี)} = \frac{\text{ต้นทุนในการลงทุน (บาท)}}{\text{ผลประหยัดค่าไฟฟ้า (บาท/ปี)}}$$

โดยแบ่งออกเป็น 9 สถานการณ์ดังนี้

Ft(1) หมายถึง ค่า Ft ปี 2563

Ft(2) หมายถึง ค่า Ft ตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2565 - เดือนมิถุนายน 2566

โดยปกติค่าไฟฟ้านอกจากจะมีค่าไฟฟ้าฐาน และค่า Ft แล้ว ก็ยังมีค่าบริการ และภาษีมูลค่าเพิ่ม ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้นำมาพิจารณาเป็นที่เรียบร้อยแล้ว โดยข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์คือมูลค่าไฟฟ้ารายเดือนที่ทางโรงงานได้ชำระให้แก่การไฟฟ้า

1.2.1 ค่าไฟฟ้าในกรณีที่ไม่มีการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ โดยคิดค่าไฟฟ้าฐานเฉลี่ย

สถานการณ์ที่ 1

หน่วยไฟฟ้าที่ได้จากการทำ Feasibility โดยโปรแกรม PVSyst	: 327,153.40 kWh
ค่าไฟฟ้าฐานเฉลี่ย	: 4.20 บาท/kWh
ผลประหยัดค่าไฟฟ้า	: 1,374,044.28 บาท
ระยะเวลาคืนทุน	: 3 ปี 11 เดือน

สถานการณ์ที่ 2

หน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง	: 327,902.64 kWh
ค่าไฟฟ้าฐานเฉลี่ย	: 4.20 บาท/kWh
ค่า Ft(1)	: -0.1181 บาท/หน่วย
ผลประหยัดค่าไฟฟ้า	: 1,335,415.64 บาท
ระยะเวลาคืนทุน	: 4 ปี

สถานการณ์ที่ 3

หน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง (Utilize)	: 277,422.86 kWh
ค่าไฟฟ้าฐานเฉลี่ย	: 4.20 บาท/kWh
ค่า Ft(1)	: 1.021 บาท/หน่วย

ผลประหยัดค่าไฟฟ้า	: 1,708,100.62 บาท
ระยะเวลาคืนทุน	: 3 ปี 2 เดือน

1.2.2 ค่าไฟฟ้าในกรณีที่มีการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ โดยคิดค่าไฟฟ้าฐานเฉลี่ยและค่า Ft(1)

สถานการณ์ที่ 4

หน่วยไฟฟ้าที่ได้จากการทำ Feasibility โดยโปรแกรม PVSyst	: 327,153.40 kWh
ค่าไฟฟ้าฐานเฉลี่ย	: 4.20 บาท/kWh
ผลประหยัดค่าไฟฟ้า	: 1,374,044.28 บาท
ระยะเวลาคืนทุน	: 3 ปี 11 เดือน

สถานการณ์ที่ 5

หน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง	: 327,902.64 kWh
ค่าไฟฟ้าฐานเฉลี่ย	: 4.20 บาท/kWh
ค่า Ft(1)	: -0.1181 บาท/หน่วย
ผลประหยัดค่าไฟฟ้า	: 1,338,473.98 บาท
ระยะเวลาคืนทุน	: 4 ปี

สถานการณ์ที่ 6

หน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง (Utilize)	: 277,422.86 kWh
ค่าไฟฟ้าฐานเฉลี่ย	: 4.20 บาท/kWh
ค่า Ft(1)	: 1.021 บาท/หน่วย
ผลประหยัดค่าไฟฟ้า	: 1,712,012.47 บาท
ระยะเวลาคืนทุน	: 3 ปี 2 เดือน

1.2.3 ค่าไฟฟ้าในกรณีที่มีการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ โดยคิดค่า Ft

สถานการณ์ที่ 7

หน่วยไฟฟ้าที่ได้จากการทำ Feasibility โดยโปรแกรม PVSyst	: 327,153.40 kWh
ค่าไฟฟ้าฐานเฉลี่ย	: 4.20 บาท/kWh
ผลประหยัดค่าไฟฟ้า	: 1,165,176.01 บาท
ระยะเวลาคืนทุน	: 4 ปี 8 เดือน

สถานการณ์ที่ 8

หน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง	: 327,902.64 kWh
ค่าไฟฟ้าฐานเฉลี่ย	: 4.20 บาท/kWh

ค่า Ft(1)	: -0.1181 บาท/หน่วย
ผลประหยัดค่าไฟฟ้า	: 1,132,419.31 บาท
ระยะเวลาคืนทุน	: 4 ปี 9 เดือน
<u>สถานการณ์ที่ 9</u>	
หน่วยไฟฟ้าที่ผลิตได้จริง (Utilize)	: 277,422.86 kWh
ค่าไฟฟ้าฐานเฉลี่ย	: 4.20 บาท/kWh
ค่า Ft(1)	: 1.021 บาท/หน่วย
ผลประหยัดค่าไฟฟ้า	: 1,448,452.49 บาท
ระยะเวลาคืนทุน	: 3 ปี 9 เดือน

2. วิเคราะห์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ทำได้จากการคำนวณผลคูณของค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการใช้ไฟฟ้าจากสายส่งและหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ไป โดยจะมีหน่วยเป็น tCO₂/ปี[16] สามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$\begin{aligned}
 & \text{ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการใช้ไฟฟ้าจาก Grid} && \times && \text{หน่วยไฟฟ้าที่ถูกต้องใช้จริง} \\
 & \text{(tCO}_2\text{/MWh)} && && \text{(MWh)} \\
 \\
 & \text{ค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการใช้ไฟฟ้าจาก Grid} && = && 0.4758 \text{ tCO}_2\text{/MWh} \\
 & \text{หน่วยไฟฟ้าที่โรงงานนี้ได้ใช้ไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งสิ้น} && = && 277,422.86 \text{ kWh} \\
 & \text{คิดเป็นปริมาณ CO}_2 \text{ ที่ลดได้} && = && 0.4758 \text{ tCO}_2\text{/MWh}
 \end{aligned}$$

$$\text{คิดเป็นปริมาณ CO}_2 \text{ ที่ลดได้} = 0.4758 \text{ tCO}_2\text{/MWh} \times 277,422.86 \text{ kWh} \times \frac{1 \text{ MWh}}{1000 \text{ kWh}}$$

$$\text{คิดเป็นปริมาณ CO}_2 \text{ ที่ลดได้} = 132 \text{ tCO}_2\text{/ปี}$$

เปรียบเทียบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นการปลูกต้นไม้ โดยต้นไม้ยืนต้น 1 ต้น สามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์(CO₂) ได้เฉลี่ย 9 – 15 kgCO₂ ต่อปี [16] ได้ดังนี้

พิจารณา ต้นไม้ 1 ต้นสามารถดูด CO₂ เฉลี่ย 9 kgCO₂ จะเทียบเท่า

$$\text{การปลูกต้นไม้จำนวน} = \frac{132,000 \text{ kgCO}_2/\text{ปี}}{9 \text{ kgCO}_2} = 14,666 \text{ ต้น/ปี}$$

พิจารณา ต้นไม้ 1 ต้นสามารถดูด CO₂ เฉลี่ย 15 kgCO₂ จะเทียบเท่า

$$\text{การปลูกต้นไม้จำนวน} = \frac{132,000 \text{ kgCO}_2/\text{ปี}}{15 \text{ kgCO}_2} = 8,800 \text{ ต้น/ปี}$$



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	สุกานต์ แสงใส
วัน เดือน ปี เกิด	22 เมษายน 2534
สถานที่เกิด	อุดรธานี
ที่อยู่ปัจจุบัน	89 ถนนเขตสมบัติ ตำบลหมากแข้ง อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี 41000



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY