

การปฏิบัติการระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมสำหรับ
ระบบกักเก็บพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม

Implementation of Hybrid Photovoltaic Power Generation Systems for
Energy Storage Systems in Industrial Plants

ปพน งามประเสริฐ¹, ณรงค์พันธ์ รุ่งเจริญ¹, ชุมพล ศิริวัฒนสิทธิ์¹,
กันต์ วุฒิพฤกษ์¹, สาคร วุฒิพัฒน์พันธุ์¹, นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ^{1*}

Papon Ngamprasert¹, Narongpun Rungcharoen¹, Chumpol Siriwattanasit¹,
Kan Voottipruex¹, Sakhon Woothipatanapan¹, Nattachote Rugthaicharoencheep^{1*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

¹Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering,
Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Thailand

*Corresponding author. E-mail: nattachote.r@mutp.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการปฏิบัติการระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมสำหรับระบบกักเก็บพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงตุลาคมเป็นระยะเวลา 6 เดือน กรณีศึกษาแบ่งออกเป็น 4 กรณี ได้แก่ 1. การเชื่อมต่อระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน 2. การอัดและคายประจุระบบกักเก็บพลังงาน 3. โหลดกับความสัมพันธ์ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน 4. โหลดสำรองกับความสัมพันธ์ของระบบกักเก็บพลังงาน ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมกำลังการผลิต 149.80 kWp ผลลัพธ์พบว่าโหลดแบ็คอัพเฉลี่ย คือ 4,793.42 kWh ผลลัพธ์พบว่าระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ทำงานสัมพันธ์กับระบบกักเก็บพลังงาน สามารถจ่ายพลังงานให้แก่โหลดได้อย่างสมดุล

คำสำคัญ : ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสม, ระบบกักเก็บพลังงาน, โรงงานอุตสาหกรรม

ABSTRACT

This article presents implementation of hybrid photovoltaic power generation systems for energy storage systems in industrial plants between May and October for a period of 6 months. The case study is divided into 4 cases. Case 1: connecting the hybrid solar power generation system. Case 2: charging and discharging the energy storage system. Case 3: the load and relationship of the hybrid solar power generation system. Case 4: the alternate load and energy storage system relationships. Integrated solar power generation system with capacity of

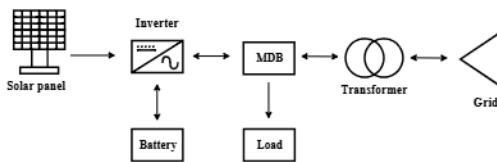
149.80 kWp. The average backup load is 4,793.42 kWh. The results show that the solar power generation system working together with the energy storage system can supply energy to the load in a balanced manner.

Keyword: Hybrid Photovoltaic Power Generation Systems, Battery Storage System, Industrial Plants

1. บทนำ

ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานหรือระบบไฮบริดเป็นระบบไฟฟ้าที่มีแหล่งจ่ายไฟจากโซลาร์เซลล์ และแบตเตอรี่หรือระบบกักเก็บพลังงาน ข้อดี คือ เมื่อเกิดระบบขัดข้องจากระบบไฟฟ้าภายนอกโหนดที่ทำการสำรองพลังงานจะสามารถใช้งานต่อได้ระยะหนึ่ง (ขึ้นอยู่กับการออกแบบ) ซึ่งสามารถลดความเสียหายได้ ข้อเสียคือ ค่าใช้จ่ายสูง

อุปกรณ์ของระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งนำมาต่อให้ได้แรงดันตามความต้องการของอุปกรณ์แปลงผันพลังงานแบบผสมผสาน (Hybridge inverter) โดยสามารถใช้งานร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กังหันลมผลิตไฟฟ้า และแบตเตอรี่ [1] ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบไฮบริด ดังแสดงในรูปที่ 1



ภาพที่ 1 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบไฮบริด

จากภาพที่ 1 ไฟฟ้ากระแสสลับที่แปลงจากอินเวอร์เตอร์สามารถนำไปใช้กับโหลดไฟฟ้า และในขณะเดียวกันก็สามารถต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้า

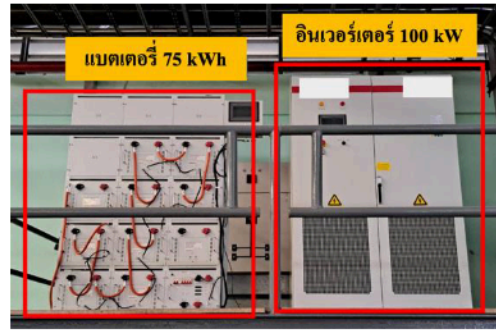
Robert Matkowski, Marcin Jaskólski และ Wojciech Pawlicki (2020) ศึกษาการใช้ระบบ PV-BESS แบบไฮบริดสำรวจพื้นที่ต่างๆ หกด้านที่มีการวิเคราะห์ระบบ PV-BESS แบบไฮบริด ได้แก่ การปรับปรุงอายุการใช้งาน การวิเคราะห์การลงทุน, ขนาดที่เหมาะสมที่สุด การบรรเทาปัญหาคุณภาพไฟฟ้าต่างๆ การควบคุมระบบไฟฟ้าอย่างเหมาะสมที่สุดและการเปลี่ยนและลดโหลดสูงสุด วัตถุประสงค์เพื่อค้นหาศักยภาพของระบบในการใช้งานระบบไฟฟ้า และปรับปรุงการดำเนินงาน [2] ชัชมนต์ จันทร์พงศ์พันธ์ (2564) ศึกษาแนวคิดการพัฒนาโมเดลต้นแบบเพื่อนำผลการศึกษาไปประยุกต์ใช้งานออกแบบระบบกักเก็บพลังงานให้เหมาะสมและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์และโครงข่ายไฟฟ้า โดยใช้ข้อมูลการผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการติดตั้งและใช้งานจริง พัฒนาโมเดลการทำงานร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานให้มีรูปแบบ Firm ที่ระยะเวลา 6 และ 12 ชั่วโมง ผลลัพธ์พบว่าการใช้งานร่วมกันที่ระยะเวลา 6 ชั่วโมง

จะมีความเหมาะสมมากกว่าในกรณีที่ไม่มีการลงทุนระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เพิ่มเติม [3]

ดังนั้นในบทความนี้จึงได้นำเสนอการปฏิบัติการระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมกำลังการผลิต 149.80 kWp ในโรงงานอุตสาหกรรม ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา การติดตั้งอินเวอร์เตอร์ และระบบกักเก็บพลังงาน ดังแสดงในภาพที่ 3

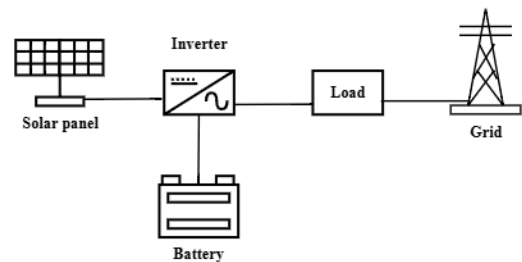


ภาพที่ 3 การติดตั้งอินเวอร์เตอร์ และระบบกักเก็บพลังงาน

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.2 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

การนำพลังงานทดแทนจากแสงอาทิตย์มาประยุกต์ใช้งานผ่านแผงโซลาร์เซลล์ซึ่งต่อร่วมกับแบตเตอรี่สามารถช่วยแก้ปัญหาแรงดันตกในระบบไฟฟ้าได้ การเชื่อมต่อระบบกักเก็บพลังงานเข้ากับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ แสดงดังในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 การเชื่อมต่อระบบกักเก็บพลังงานเข้ากับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

พลังงานแสงอาทิตย์ [4]-[6] เป็นพลังงานหมุนเวียนที่ปลอดภัย สะอาด และใช้แล้วเกิดขึ้นใหม่ซึ่งสามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยการแปลงพลังงานจะ

เริ่มเมื่อมีแสงตกกระทบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ รังสีของแสงที่มีอนุภาคของพลังงานโฟตอนจะถ่ายเทพลังงานให้กับพลังงานอิเล็กทรอนิกส์จนมีพลังงานมากพอที่จะกระโดดออกมาจากแรงดึงดูดของอะตอมทำให้เคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ครบวงจรจึงทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสตรงขึ้น

ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ได้แก่

- อุณหภูมิ
- ทิศทางการรับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์
- ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์
- ผลกระทบของสิ่งสกปรกบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์
- ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์

2.3 ระบบกักเก็บพลังงาน

ข้อกำหนดสำหรับการป้องกันกระแส

เกิน

ต้องมีการป้องกันกระแสเกินตามที่กำหนดโดยผู้ผลิตแบตเตอรี่ และบริษัทที่เกี่ยวข้อง หากผู้ผลิตไม่ได้ระบุการป้องกันกระแสเกินไว้ ต้องปฏิบัติตามข้อ ก. และ ข. ต่อไปนี้ [7]

ก. การคำนวณกระแสลัดวงจร

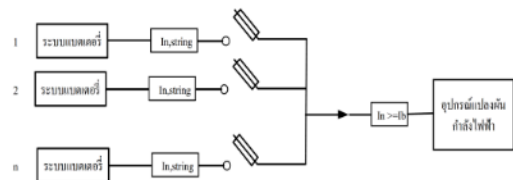
$$I_{sc} = \frac{V_{oc}}{R_i} \quad (1)$$

- โดยที่ I_{sc} คือ กระแสลัดวงจรของเซลล์แบบเตอรี (Cell Short-Circuit Current) หน่วยแอมป์ (A)
- V_{oc} คือ แรงดันเปิดวงจรของเซลล์ (Cell Open-Circuit Voltage) หน่วยโวลต์ (V)
- R_i คือ ความต้านทานภายในเซลล์ (Cell Internal Resistance) หน่วยโอห์ม (Ω)

ข. การกำหนดขนาดการป้องกันกระแส

เกิน

การเลือกขนาดพิกัดสำหรับอุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินสำหรับระบบแบตเตอรี่ย่อยแต่ละระบบดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ข้อกำหนดการป้องกันกระแสเกินสำหรับระบบแบตเตอรี่ต่อขนานกันที่จุดรวมหนึ่ง

จะต้องพิจารณาดังนี้ (เมื่อจำนวนแถวของแบตเตอรี่มากกว่า 1 แถว)

$$I_s = \frac{P_{PCE, AC}}{\eta_{PCE} \times V_{PCE, min}} \quad (2)$$

$$I_s = \frac{I_b}{n-1} \quad (3)$$

$$I_{n,string} \square I \quad (4)$$

โดยที่ I คือ พิกัดกระแสในการคาย และประจุรวมของแบตเตอรี่ หน่วยแอมป์

$$I_{n,string} \square I \quad (5)$$

I คือ พิกัดกระแสในการคาย และประจุรวมของแบตเตอรี่ ในแต่ละแถว หน่วยแอมป์

$P_{PCE,AC}$ คือ กำลังไฟฟ้าขาออกของ PCE หน่วยวัตต์

η_{PCE} คือ ค่าประสิทธิภาพของ PCE

$V_{PCE,m}$ คือ ค่าแรงดัน DC ต่ำสุดของ PCE หน่วยโวลต์

$I_{n,string}$ คือ ขนาดพิกัดกระแสของ อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน ในแต่ละแถว (Current Setting of Protection Device) หน่วยแอมป์

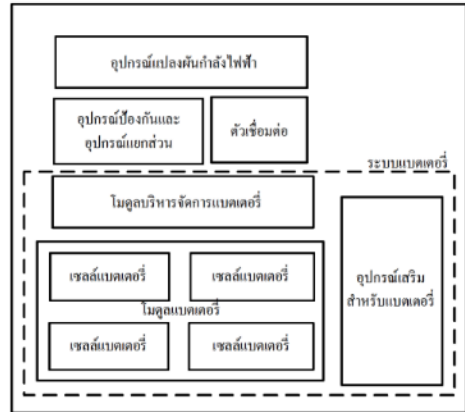
I คือ ขนาดพิกัดกระแสของ อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกิน (Current Setting of Protection Device) หน่วยแอมป์

n คือ จำนวนแถว (Sting) ของ แบตเตอรี่ (ถ้า $n = 1, I_b = I$)

สำหรับค่าพิกัดกระแสลัดวงจรสูงสุด (Breaking Capacity) ของอุปกรณ์ป้องกันกระแส

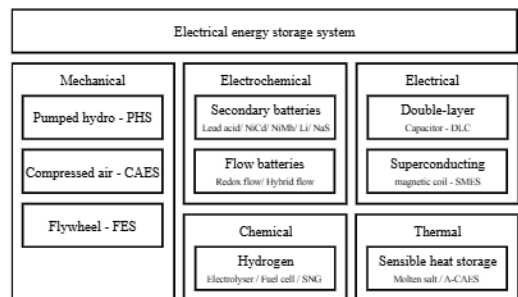
เกิน ต้องมีค่าไม่น้อยกว่าค่ากระแสลัดวงจรของ เซลล์แบตเตอรี่ Isc

รูปแบบทั่วไปของระบบกักเก็บพลังงาน แบตเตอรี่ที่มีระบบแบตเตอรี่ประกอบด้วยโมดูล แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 รูปแบบทั่วไปของระบบกักเก็บพลังงาน แบตเตอรี่ที่มีระบบแบตเตอรี่ประกอบด้วยโมดูล แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน

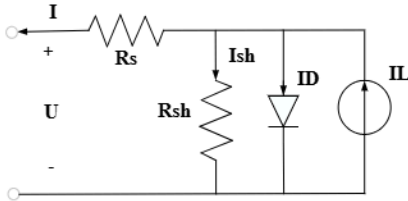
แผนภาพการจำแนกเทคโนโลยีการสะสม พลังงานในปัจจุบัน ดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 แผนภาพการจำแนกเทคโนโลยีการสะสม พลังงานในปัจจุบัน [8]

2.4 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบจำลองคงที่ของเซลล์แสงอาทิตย์
โดยวงจรไดโอด ดังแสดงในภาพที่ 8 [9]



ภาพที่ 8 แบบจำลองคงที่ของเซลล์แสงอาทิตย์โดย
วงจรไดโอด

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาต์พุต U
และกระแสไหลตสามารถกำหนดได้ดังนี้ [10]-[12]

$$I = I_L - I_D = I_L - I_O \left[\exp\left(\frac{U + RI_s}{\alpha}\right) - 1 \right] \quad (6)$$

- โดยที่
- I คือ กระแสไหลต
 - I_L คือ กระแสเซลล์แสงอาทิตย์
 - I_O คือ กระแสอิ่มตัว
 - U คือ แรงดันไฟฟ้าขาออก
 - R_s คือ ตัวต้านทานแบบอนุกรม
 - α คือ ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิ
แรงดัน

2.5 ข้อมูลอุปกรณ์ของระบบผลิตไฟฟ้า พลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

ข้อมูลแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังแสดงใน
ตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ข้อมูล	ขนาด
Maximum power (Pmax)	535Wp
Maximum power voltage (Vmp)	40.63V
Maximum power current (Imp)	13.17A
Open-circuit voltage (Voc)	49.34V
Short-circuit current (Isc)	13.79A
Module efficiency STC (%)	20.75%

ข้อมูลอินเวอร์เตอร์ ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ข้อมูลอินเวอร์เตอร์

ข้อมูล	ขนาด
Apparent power	110kVA
Rate power	100kW
Rate voltage	400V
Rate current	144A
Voltage range	360-440V
THDi	<3%
PF	0.8lagging-0.8leading

ข้อมูลระบบกักเก็บพลังงาน ดังแสดงใน
ตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ข้อมูลระบบกักเก็บพลังงาน

Specification	Size
Rate capacity	200Ah
Rate energy	76.8kWh
Rate voltage	384V
Voltage range	336-438V
Normal charge/discharge	0.5C
Max charge/discharge	1C
Weight	<= 1060kg
Protection degree	IP 54

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

3.1 กรณีศึกษา

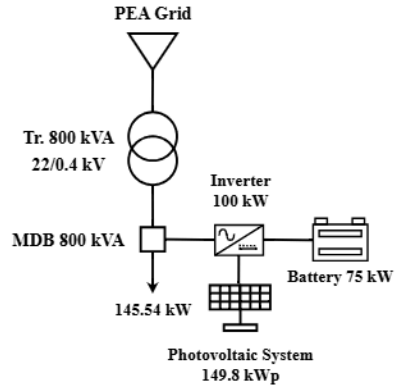
ในบทความวิจัยนี้ศึกษาการปฏิบัติการระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมสำหรับระบบกักเก็บพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม แบ่งออกเป็น 4 กรณีศึกษา ดังนี้

- กรณีที่ 1: การเชื่อมต่อระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน
- กรณีที่ 2: การอัดและคายประจุของระบบกักเก็บพลังงาน
- กรณีที่ 3: โหลดกับความสัมพันธ์ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน
- กรณีที่ 4: โหลดสำรองกับความสัมพันธ์ของระบบกักเก็บพลังงาน

3.2 ผลการวิจัย

กรณีที่ 1 การเชื่อมต่อระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

ตำแหน่งการเชื่อมต่อระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน ดังแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ตำแหน่งการเชื่อมต่อระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

จากภาพที่ 9 ระบบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานเชื่อมต่อที่ตู้ MDB ที่รับไฟจากหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 800 kVA ระดับแรงดันไฟฟ้า 22/0.4 kV

กรณีที่ 2 การอัดและคายประจุของระบบกักเก็บพลังงาน

ผลลัพธ์การอัดประจุและคายประจุของระบบกักเก็บพลังงาน ดังแสดงในตารางที่ 4

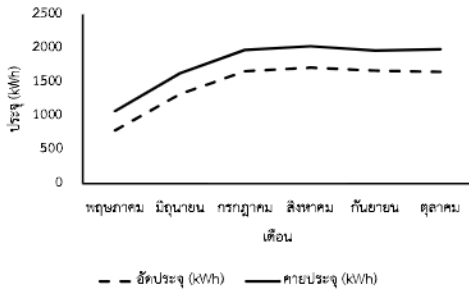
ตารางที่ 4 ผลลัพธ์การอัดประจุและคายประจุของระบบกักเก็บพลังงาน

เดือน	อัดประจุ (kWh)	คายประจุ (kWh)
พฤษภาคม	789.00	1,075.90
มิถุนายน	1,329.50	1,638.60
กรกฎาคม	1,664.50	1,982.50
สิงหาคม	1,719.70	2,033.30
กันยายน	1,671.90	1,973.70
ตุลาคม	1,657.20	1,986.50
รวม	8,831.80	10,690.50

จากตารางที่ 4 การวิเคราะห์การอัดประจุและคายประจุของระบบกักเก็บพลังงานเป็นเวลา 6

เดือน (พฤษภาคม - ตุลาคม) การอัดประจุรวม 6 เดือน 8,831.80 kWh และการคายประจุรวม 6 เดือน 10,690.50 kWh

การเปรียบเทียบการอัดประจุและคายประจุของระบบกักเก็บพลังงาน ดังแสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 10 การเปรียบเทียบการอัดประจุและคายประจุของระบบกักเก็บพลังงาน

จากภาพที่ 10 ระบบกักเก็บพลังงานอัดประจุสูงสุดเดือนสิงหาคม (1,719.70 kWh) และอัดประจุต่ำสุดเดือนพฤษภาคม (789.00 kWh) ระบบกักเก็บพลังงานคายประจุสูงสุดเดือนสิงหาคม (2,033.30 kWh) และคายประจุต่ำสุดเดือนพฤษภาคม (1,075.90 kWh) ที่ข้อมูลการคายประจุสูงกว่าข้อมูลการอัดประจุเนื่องจากในแบตเตอรี่มีพลังงานเดิมอยู่ก่อนแล้ว (ที่แบตเตอรี่ใช้ไม่หมด) ดังนั้นการคายประจุจะสูงกว่า

กรณีที่ 3 โหลดกับความสัมพันธ์ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

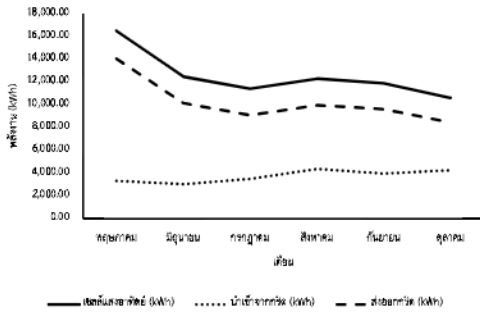
โหลดเฉลี่ยของโรงงาน คือ 145.54 kW ผลลัพธ์ความสัมพันธ์ของพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานและกริด ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลลัพธ์ความสัมพันธ์ของพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานและกริด

เดือน	จากเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh)	นำเข้าจากกริด (kWh)	ส่งออกกริด(kWh)
พฤษภาคม	16,490.10	3,310.80	14,045.50
มิถุนายน	12,462.90	3,035.30	10,142.10
กรกฎาคม	11,427.30	3,495.40	9,102.60
สิงหาคม	12,288.90	4,379.80	9,960.50
กันยายน	11,879.00	3,925.60	9,590.40
ตุลาคม	10,588.20	4,209.10	8,426.50
รวม	75,136.40	22,356.00	61,267.60

จากตารางที่ 5 การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์รวม 6 เดือน 75,136.40 kWh นำเข้าจากกริดรวม 6 เดือน 22,356.00 kWh และส่งออกกริดรวม 6 เดือน 61,267.60 kWh

การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานและกริด ดังแสดงในภาพที่ 11



ภาพที่ 11 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานและกริด

จากภาพที่ 11 การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สูงสุดเดือนพฤษภาคม (16,490.10 kWh) และอัดประจุต่ำสุดเดือนตุลาคม (10,588.20 kWh) นำเข้าจากกริดสูงสุดเดือนสิงหาคม (4,379.80 kWh) และคายประจุต่ำสุดเดือนมิถุนายน (3,035.30 kWh) ส่งออกกริดสูงสุดเดือนพฤษภาคม (14,045.50 kWh) และอัดประจุต่ำสุดเดือนตุลาคม (8,426.50 kWh)

กรณีที่ 4 โหลดกับความสัมพันธ์ของระบบกักเก็บพลังงาน

ผลลัพธ์โหลดกับความสัมพันธ์ของระบบกักเก็บพลังงาน ดังแสดงในตารางที่ 6

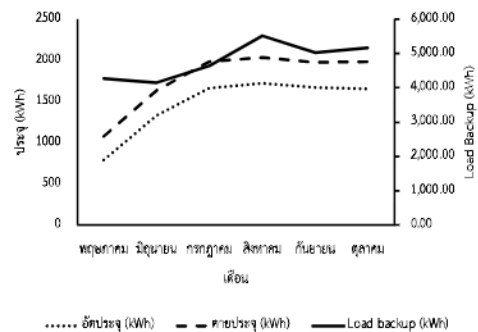
ตารางที่ 6 ผลลัพธ์โหลดกับความสัมพันธ์ของระบบกักเก็บพลังงาน

เดือน	โหลดสารอง (kWh)	อัดประจุ (kWh)	คายประจุ (kWh)
พฤษภาคม	4,270.00	789.00	1,075.90
มิถุนายน	4,154.90	1,329.50	1,638.60
กรกฎาคม	4,631.20	1,664.50	1,982.50
สิงหาคม	5,519.20	1,719.70	2,033.30
กันยายน	5,025.20	1,671.90	1,973.70
ตุลาคม	5,160.00	1,657.20	1,986.50

รวม	28,760.50	8,831.80	10,690.50
-----	-----------	----------	-----------

จากตารางที่ 6 โหลดสารองรวม 6 เดือน 28,760.50 kWh และการคายประจุรวม 6 เดือน 10,690.50 kWh

การเปรียบเทียบโหลดกับความสัมพันธ์ของระบบกักเก็บพลังงาน ดังแสดงในภาพที่ 12



ภาพที่ 12 การเปรียบเทียบโหลดกับความสัมพันธ์ของระบบกักเก็บพลังงาน

จากภาพที่ 12 โหลดสารองสูงสุดเดือนสิงหาคม (5,519.20 kWh) และโหลดสารองต่ำสุดเดือนมิถุนายน (4,154.90 kWh) ระบบกักเก็บพลังงานคายประจุสูงสุดเดือนสิงหาคม (2,033.30 kWh) และคายประจุต่ำสุดเดือนพฤษภาคม (1,075.90 kWh)

4. สรุปผล

การปฏิบัติการระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานสำหรับระบบกักเก็บพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม ระหว่างเดือนพฤษภาคมถึงตุลาคมเป็นระยะเวลา 6 เดือน โหลดสารองเฉลี่ย คือ 4,793.42 kWh ระบบกักเก็บพลังงานอัดประจุเฉลี่ย 1,471.97 kWh ระบบกักเก็บพลังงานคายประจุเฉลี่ย 1,781.75 kWh ผลลัพธ์พบว่าระบบผลิตไฟฟ้า

พลังงานแสงอาทิตย์ทำงานสัมพันธ์กับระบบกักเก็บพลังงาน สามารถจ่ายพลังงานให้แก่โหลดได้อย่างสมดุล เพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์ ไม่มีช่วงเวลาที่ระบบขัดข้อง ส่งผลให้โรงงานลดค่าไฟฟ้าได้ตามเป้าหมาย

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้การสนับสนุนและความช่วยเหลือในการจัดทำบทความนี้ซึ่งได้ช่วยให้บทความนี้สำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์

6. อ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ การถ่ายทอดและเผยแพร่การใช้พลังงานแสงอาทิตย์.
- [2] Matkowski R, Jaskólski M, Pawlicki W. Operation of the Hybrid Photovoltaic-Battery System on the Electricity Market—Simulation, Real-Time Tests and Cost Analysis. *Energies*. 2020; 13(6).
- [3] ชัมมนต์ จันทรวงศ์พันธ์. การประยุกต์ใช้ระบบกักเก็บพลังงานร่วมกับโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ [วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาสมาร์ตกริดเทคโนโลยี]. มหาวิทยาลัยนครสวรรค์; 2564.

- [4] Canada AH. Solar voltaic generation power plants: 1000 MW to 10 kW photovoltaic plant design and application guide for the Pacific Northwest. IEEE Technical Applications Conference and Workshops. Northcon/95. Conference Record. 1995 October 10-12; Portland, OR, USA. 2002. P. 189-94.
- [5] Ngamprasert P, Rugthaicharoencheep N, Woothipatanapan S. Application Improvement of Voltage Profile by Photovoltaic Farm on Distribution System. 2019 International Conference on Power, Energy and Innovations (ICPEI). 2019 October 16-18; Pattaya, Thailand. 2019. P. 98-101.
- [6] Ruangsap N, Nedphokaew S, Rugthaicharoencheep N. Planning and Operation Enhanced Voltage Profile by Using Distributed Generators Installation in Distribution System with Feeder Reconfiguration. 2022 International Conference on Power, Energy and Innovations (ICPEI). 2022 October 19-21; Pattaya Chonburi, Thailand. 2022.
- [7] คณะกรรมการมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย : ระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา, มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย : ระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา พ.ศ. 2565.

- [8] Thakrit Panklib. ENERGY STORAGE TECHNOLOGIES FOR RENEWABLE ENERGY. Journal of Energy and Environment Technology. 2022; 9(1): 103–117.
- [9] Nezhad OZ, Zadeh SAH, Mohammadian M. The analysis of hybrid system as DG in smart grids by the use of loss sensitivity coefficient method. 2013 Smart Grid Conference (SGC). 2013 December 17-18; Tehran, Iran. 2014. P. 246-251.
- [10] Carmona MC, Vega J, Olivares MC. Power flow algorithm for analysis of distribution networks including distributed generation. 2018 IEEE PES Transmission & Distribution Conference and Exhibition - Latin America (T&D-LA). 2018 September 18-21; Lima, Peru. 2018.
- [11] Boonthienthong M, Ngamprasert P, Rugthaicharoencheep N, et al. The Mathematical Simulation Compared to Operations a Small Distributed Photovoltaic Power Plant in a Distribution System. RMUTP Research Journal, Vol.15, No. 2, July-December 2021; Bangkok, Thailand. 2021.
- [12] Rugthaicharoencheep N, Ngamprasert P, Ruangsap N, et al. Minimize the Customer Outage for Improved Reliability in Distribution System with Photovoltaic Distributed Generation. 2022 57th International Universities Power Engineering Conference (UPEC). 2022 August 30 - September 02; Istanbul, Turkey. 2022.