



การประยุกต์ใช้ระบบกักเก็บพลังงานร่วมกับโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่เพื่อ
เพิ่มประสิทธิภาพ



ชัชมนต์ จันทรวงศ์พันธุ์

วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสมาร์ตกริดเทคโนโลยี
ปีการศึกษา 2564
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

การประยุกต์ใช้ระบบกักเก็บพลังงานร่วมกับโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่เพื่อ
เพิ่มประสิทธิภาพ



วิทยานิพนธ์เสนอบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยนเรศวร
เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสมาร์ตกริดเทคโนโลยี
ปีการศึกษา 2564
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยนเรศวร

วิทยานิพนธ์ เรื่อง "การประยุกต์ใช้ระบบกักเก็บพลังงานร่วมกับโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ"
ของ ชัยพนธ์ จันทร์พงษ์พันธุ์
ได้รับการพิจารณาให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาสมาร์ตกริดเทคโนโลยี

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์
(ดร.กอบศักดิ์ ศรีประภา)

..... ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(ดร.ยอดธง เม่นสิน)

..... กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิภายใน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประพิฑารีย์ ธนารักษ์)

อนุมัติ

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.กรองกาญจน์ ชูทิพย์)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อเรื่อง	การประยุกต์ใช้ระบบกักเก็บพลังงานร่วมกับโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ
ผู้วิจัย	ชัชมนต์ จันทร์พงศ์พันธุ์
ประธานที่ปรึกษา	ดร.ยอดธง เม่นสิน
ประเภทสารนิพนธ์	วิทยานิพนธ์ วท.ม. สาขาวิชาสารสนเทศเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2564
คำสำคัญ	ระบบกักเก็บพลังงาน, ประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์, เซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอแนวคิดการพัฒนาโมเดลต้นแบบเพื่อนำผลการศึกษาไปประยุกต์ใช้งานออกแบบระบบกักเก็บพลังงานให้เหมาะสมและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์และโครงข่ายไฟฟ้าในพื้นที่ที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่ออยู่ เพื่อการตอบสนองความต้องการไฟฟ้าที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลา โดยใช้ข้อมูลการผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการติดตั้งและใช้งานจริงเป็นข้อมูลต้นแบบ พัฒนาโมเดลการทำงานร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานให้มีรูปแบบ Firm ที่ระยะเวลา 6 และ 12 ชั่วโมง โดยผลการศึกษสามารถสรุปได้ว่าการใช้งานร่วมกันที่ระยะเวลา 6 ชั่วโมง จะมีความเหมาะสมมากกว่าในกรณีที่ไม่มีการลงทุนระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เพิ่มเติม ซึ่งโมเดลดังกล่าวสามารถนำไปเป็นต้นแบบการประยุกต์ใช้งานออกแบบระบบกักเก็บพลังงานให้เหมาะสมกับโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ต่อไป

Title DEPLOYMENT OF ENERGY STORAGE SYSTEM
INTEGRATED WITH MEGA GROUND MOUNTED SOLAR PV
POWER PLANT FOR EFFICIENCY IMPROVEMENT

Author CHAPHAMON CHANTARAPONGPHAN

Advisor Dr. Yodthong Mensin

Academic Paper M.S. Thesis in Smart Grid Technology, Naresuan University,
2021

Keywords Battery energy storage system, PV performance, PV farm

ABSTRACT

This paper presents the development of the prototype for battery energy storage system integrated with mega ground mounted solar PV power plant for efficiency improvement. All of the PV performance from the School of Renewable Energy and Smart Grid Technology was calculated in the research. The research methodology for developing the prototype model is consisting of 2 models; 1) Firm capacity and energy about 6 hr and 2) Firm capacity and energy about 12 hr. The result of this study shown that the firm capacity and energy about 6 hr is suitable because it need to only invest the battery energy storage system. Finally, this model can use this prototype for applying the design and develop the battery energy storage system combined with solar PV farm

ประกาศคุณูปการ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงในความกรุณาของท่านผู้มีรายนามดังต่อไปนี้

1. รศ.ดร.นิพนธ์เกตุจ้อย ผู้อำนวยการศูนย์ความเป็นเลิศสมาร์ตกริดเทคโนโลยีแห่งเอเชียแปซิฟิก

2. ดร.ยอดธง เม่นสินรองผู้อำนวยการฝ่ายวิจัยและบริการวิชาการ ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ที่ได้อุทิศสละเวลาอันมีค่ามาเป็นທີ່ปรึกษา ให้คำแนะนำ พร้อมทั้งสนับสนุนการดำเนินการวิจัยตลอดระยะเวลาในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ด้วยความเอาใจใส่จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์และทรงคุณค่า

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำวิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้ความช่วยเหลือด้านเทคนิคตลอดจนที่นิสิตวิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริด มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ให้คำปรึกษาช่วยเหลือจนงานวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดี

เหนือสิ่งอื่นใดขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา ของผู้วิจัยที่ให้กำลังใจและให้การสนับสนุนในทุก ๆ ด้านอย่างดีที่สุดเสมอมา

คุณค่าและคุณประโยชน์อันพึงจะมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ผู้วิจัยขอบและอุทิศแต่ผู้มีพระคุณทุก ๆ ท่านผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยจะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมด้านโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ในประเทศและผู้สนใจ

ชัชพนธ์ จันทรวงศ์พันธุ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
ประกาศขอบคุณการ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูปภาพ.....	ฌ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	3
ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	3
สมมติฐานของงานวิจัย.....	4
แผนการดำเนินงาน.....	5
ประโยชน์ที่ได้รับ.....	5
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
1. เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic System).....	6
2. ระบบกักเก็บพลังงาน.....	8
3. การใช้งานระบบกักเก็บพลังงานในระบบโครงข่ายไฟฟ้า.....	8
4. เทคโนโลยีระบบกักเก็บพลังงานในระบบโครงข่ายไฟฟ้า/ระบบไมโครกริด.....	12
5. ตัวอย่างการใช้งานระบบกักเก็บพลังงานสำหรับระบบโครงข่ายไฟฟ้า.....	15

5.1 แนวคิดและงานวิจัยทางด้าน Power Limit (Power Curtailment)	16
5.2 แนวคิดและงานวิจัยทางด้าน Zero-export (or non-reverse power flow)	16
5.3 แนวคิดและงานวิจัยทางด้าน Power fluctuation suppression	17
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	18
ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	18
เครื่องมือวิจัย	20
บทที่ 4 ผลการวิจัย	22
ผลการออกแบบระบบกักเก็บพลังงานร่วมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์	24
บทที่ 5 บทสรุป	29
บรรณานุกรม	30
ภาคผนวก	32
ภาคผนวก ก รายละเอียดคุณลักษณะเฉพาะระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์ แสงอาทิตย์	33
ประวัติผู้วิจัย	36

สารบัญตาราง

	หน้า
ตาราง 1 แผนการดำเนินงานวิจัย: ระยะเวลาศึกษา 8 เดือน.....	5
ตาราง 2 คุณลักษณะเฉพาะของแหล่งกักเก็บพลังงานชนิดต่าง ๆ [5, 8, 16].....	13
ตาราง 3 แสดงผลการคำนวณการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ราย ชั่วโมง	23



สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพ 1 กราฟคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่ออุณหภูมิและปริมาณรังสีอาทิตย์คงที่	7
ภาพ 2 ระบบกักเก็บพลังงานในระบบโครงข่ายไฟฟ้า	8
ภาพ 3 ภาพจำลองการใช้งานระบบกักเก็บพลังงาน ในส่วนต่าง ๆ ในระบบโครงข่ายไฟฟ้า [5]	9
ภาพ 4 แสดงหลักการทำงานของระบบกักเก็บพลังงานในระบบไมโครกริด	14
ภาพ 5 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	19
ภาพ 6 Pyranometer สำหรับตรวจวัดค่ารังสีอาทิตย์	20
ภาพ 7 เครื่องบันทึกค่าอัตโนมัติ Data Logger สำหรับบันทึกข้อมูลรังสีอาทิตย์	20
ภาพ 8 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1.2 กิโลวัตต์	21
ภาพ 9 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter)	21
ภาพ 10 ตัวอย่างชุดข้อมูลรังสีอาทิตย์ (Solar Radiation) รายชั่วโมง และผลการคำนวณค่าเฉลี่ยฯ ที่ใช้	22
ภาพ 11 ข้อมูลกำลังการผลิตระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการคิดคำนวณการติดตั้งระบบกักเก็บพลังงานเพิ่มเติมเป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมง	24
ภาพ 12 ข้อมูลกำลังการผลิตระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการคิดคำนวณการติดตั้งระบบกักเก็บพลังงานเพิ่มเติมเป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง	25
ภาพ 13 คุณลักษณะเฉพาะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Amorphous Silicon ที่ใช้ในการวิจัย	33
ภาพ 14 คุณลักษณะเฉพาะของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter) ที่ใช้ในการวิจัย	34

ภาพ 15 ตัวอย่างชุดข้อมูลรังสีอาทิตย์ (Solar Radiation) รายชั่วโมงที่ใช้ในการวิเคราะห์ และออกแบบงานวิจัย.....34

ภาพ 16 ผลการคำนวณค่ารังสีอาทิตย์ (Solar Radiation) เฉลี่ยรายชั่วโมงที่ใช้ในการ วิเคราะห์และออกแบบงานวิจัย.....35



บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากสถานการณ์ปัจจุบัน เห็นได้ชัดว่าประเทศกำลังประสบกับปัญหาภาวะถดถอยทางเศรษฐกิจ ทั้งที่ส่งผลจากปัญหาสงครามการค้าระหว่างจีนกับสหรัฐอเมริกาที่ยืดเยื้อมาตั้งแต่ปี 2562 และจากปัญหาโรคระบาดไวรัส COVID-19 ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการประกอบธุรกิจของภาคการผลิตในหลายประเภทอุตสาหกรรม โดยเฉพาะภาคอุตสาหกรรมการท่องเที่ยวและบริการ จนเป็นเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมและปริมาณการใช้ไฟฟ้าของภาคอุตสาหกรรมเหล่านี้ซึ่งมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ถึงแม้จากการคาดการณ์ของสำนักพยากรณ์ทางเศรษฐกิจสำคัญๆ ของประเทศ และทั่วโลก จะยังคาดการณ์ว่าสภาพการณ์ดังกล่าวจะเป็นภาวะการณ์ที่เกิดขึ้นในระยะสั้นๆ ก็ตาม

จากเหตุทั้งหลายดังกล่าวข้างต้น ส่งผลต่อพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าและปริมาณการใช้ไฟฟ้าของทั้งประเทศ ซึ่งถึงแม้ว่าจะยังมีแนวโน้มที่ขยายตัว แต่ขยายตัวลดลงผิดจากการคาดการณ์และนั่นคือเหตุที่ส่งผลให้เกิดสภาวะ Reserve Margin ที่สูงมากจนเกินความจำเป็นซึ่งถือเป็น Sunk Cost อย่างหนึ่งทางระบบสาธารณูปโภคขั้นพื้นฐานของประเทศ และจะส่งผลต่อต้นทุนการแข่งขันและเศรษฐกิจในเชิงมหภาคของประเทศอย่างแน่นอน อีกทั้งภาครัฐโดยเฉพาะการไฟฟ้าทั้งสามกรมมักจะมองเห็นว่าโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์หรือโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนที่เป็นโรงไฟฟ้าประเภท Non-Firm เป็นภาระของระบบเนื่องจากเวลาในการผลิตไฟฟ้าและปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละวันไม่สัมพันธ์กับพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าหรือ Load demand ของแต่ละพื้นที่ที่โรงไฟฟ้าตั้งอยู่ จนเป็นเหตุให้เกิดความไม่มีเสถียรภาพในระบบสายส่งในพื้นที่ที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบอยู่ เหตุดังกล่าวนี้เป็นปัญหาสำคัญที่ผู้บริหารระบบสามารถจัดการได้ด้วย เทคโนโลยีสมาร์ทกริด (Smart Grid Technology) เพื่อนำไปสู่การทำ Grid Modernization ซึ่งจะส่งผลให้การบริหารจัดการข้อมูลพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าแบบ Real-time ได้อย่างมีประสิทธิภาพและเพิ่มเติมด้วยการติดตั้ง ระบบกักเก็บพลังงาน ในระดับ โรงไฟฟ้า (plant) และระดับสถานีไฟฟ้า (Substation) ซึ่งระบบกักเก็บพลังงานจะทำหน้าที่เสมือนแก้มลิงในการรองรับและจัดเก็บพลังงานไฟฟ้าส่วนเกินในช่วงเวลา Low Load Demand และนำไปใช้ในเวลา High Load Demand ซึ่งเทคโนโลยีและราคาของระบบกักเก็บพลังงานในปัจจุบันมีแนวโน้มที่ดีขึ้นในการนำมาพิจารณาการลงทุนที่เหมาะสมได้ และจะไม่กระทบต่อราคาค่าไฟฟ้าต่อหน่วยหรือ

LCOE มากนักหากเปรียบเทียบกับอัตราการสูญเสียพลังงานในระบบโครงข่ายไฟฟ้าจาก Mismatch ของ Load Demand ในแต่ละช่วงเวลา

อีกทั้งหากพิจารณาข้อเสนอแผนปฏิรูปประเทศด้านพลังงานระยะแรก (พ.ศ. 2561-2565) ตามประกาศราชกิจจานุเบกษา “ประกาศสำนักนายกรัฐมนตรี เรื่อง การประกาศแผนปฏิรูปประเทศ ลงวันที่ 6 เมษายน 2561” ได้กำหนดยุทธศาสตร์และวางเป้าหมายการพัฒนายานยนต์ไฟฟ้าหรือ EV ให้ชัดเจนเพื่อเตรียมการรองรับการใช้งานที่คาดว่าจะเพิ่มขึ้นในอนาคต จึงส่งผลให้ต้องส่งเสริมอุตสาหกรรมการผลิตระบบกักเก็บพลังงานในประเทศเพื่อให้สอดคล้องในฐานะอุตสาหกรรมสนับสนุนการผลิตยานยนต์ไฟฟ้า เนื่องจากระบบกักเก็บพลังงานมีมูลค่ากว่า 35% ของมูลค้ายานยนต์ไฟฟ้าแต่ละคัน อีกทั้งอุตสาหกรรมระบบกักเก็บพลังงานยังจัดเป็นอุตสาหกรรมเชิงยุทธศาสตร์ (Strategic Industry) เพื่อเร่งการเติบโตทางเศรษฐกิจผ่านการเป็นอุตสาหกรรมสนับสนุน ของอุตสาหกรรมยานยนต์ซึ่งถือเป็น Product Champion ของประเทศไทยมาตลอดหลายสิบปีที่ผ่านมา จึงถือเป็นผลสืบเนื่องที่ทำให้เกิดการแข่งขันในการพัฒนาเทคโนโลยีและการผลิตในประเทศให้มีต้นทุนที่สามารถแข่งขันได้ในเวทีเศรษฐกิจของโลก ซึ่งนั่นก็จะทำให้ประสิทธิภาพ ราคา และมาตรฐานของระบบกักเก็บพลังงาน ซึ่งจะนำมา Integrate กับ SOLAR POWER PLANT หรือระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ตามงานศึกษานี้จะได้ผลด้านบวกไปด้วย และมั่นใจได้ว่าจะเกิดการนำไปใช้งานได้จริงกับโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์มากมายในประเทศในอนาคตอันใกล้

จากเหตุทั้งหลายดังกล่าวข้างต้น ส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าและปริมาณการใช้ไฟฟ้าของทั้งประเทศ ซึ่งถึงแม้ว่าจะยังมีแนวโน้มที่ขยายตัว แต่ขยายตัวลดลงผิดจากการคาดการณ์และนั่นคือเหตุที่ส่งผลให้เกิดสภาวะ Reserve Margin ที่สูงมากจนเกินความจำเป็นซึ่งถือเป็น Sunk Cost อย่างหนึ่งทางระบบสาธารณูปโภคขั้นพื้นฐานของประเทศ และจะส่งผลกระทบต่อต้นทุนการแข่งขันและเศรษฐกิจในเชิงมหภาคของประเทศอย่างแน่นอน อีกทั้งภาครัฐโดยเฉพาะการไฟฟ้าทั้งสามกรมมักจะมองเห็นว่าโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์หรือโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนที่เป็นโรงไฟฟ้าประเภท Non-Firm [1] เป็นภาระของระบบเนื่องจากเวลาในการผลิตไฟฟ้าและปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละวันมีความผันผวน [2] ของแต่ละพื้นที่ที่โรงไฟฟ้าตั้งอยู่ จนเป็นเหตุให้เกิดความไม่มีเสถียรภาพในระบบสายส่งในพื้นที่ที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่อกับระบบอยู่ [3] เหตุดังกล่าวนี้เป็นปัญหาสำคัญที่ผู้บริหารระบบสามารถจัดการได้ด้วยเทคโนโลยีสมาร์ตกริด เพื่อบริหารจัดการกำลังการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพและเพิ่มเติมด้วยการติดตั้ง ระบบกักเก็บ

พลังงานในระดับ Plant, Feeder, Substation ซึ่งระบบกักเก็บพลังงานจะทำหน้าที่ลดความผันผวนของระบบต่อไป

ผู้วิจัยจึงเกิดแนวคิดที่จะดำเนินการศึกษาและพัฒนาโมเดลต้นแบบเพื่อนำผลการศึกษาไปประยุกต์ใช้งานออกแบบระบบกักเก็บพลังงานให้เหมาะสมและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์และโครงข่ายไฟฟ้าในพื้นที่ที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่ออยู่ เพื่อการตอบสนองความต้องการไฟฟ้าที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลา เพื่อให้โรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนสามารถจ่ายไฟเข้าสู่ระบบสายจำหน่ายของการไฟฟ้าที่เป็นประเภท Firm ได้ในอนาคต

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1) เพื่อศึกษาพฤติกรรมการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ที่เชื่อมต่อกับโครงข่ายไฟฟ้ารวมถึงศึกษาพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของโครงข่ายไฟฟ้าที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่ออยู่ เพื่อกำหนดขนาดของระบบกักเก็บพลังงานที่เหมาะสมในการนำเข้ามาติดตั้งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์นั้น

2) เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้ระบบกักเก็บพลังงานให้เหมาะสมและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์และโครงข่ายไฟฟ้าในพื้นที่ที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่ออยู่ เพื่อการตอบสนองความต้องการไฟฟ้าที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลาและลดความสูญเสียปริมาณพลังงานไฟฟ้าในระบบโครงข่าย

ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

งานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปที่เป้าหมายของการเพิ่มประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งได้รับผลกระทบจากปัญหาความไม่มีเสถียรภาพของโครงข่ายไฟฟ้าที่โรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ หรือ ระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์เชื่อมต่ออยู่

- 1) พิจารณาปัจจัยที่ส่งผลต่อการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ได้แก่ ความเข้มแสงอาทิตย์ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และการต่อชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์
- 2) ระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบด้วยเซลล์แสงอาทิตย์, อินเวอร์เตอร์ และระบบทั้งหมดในการเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้า
- 3) ไม่พิจารณาผลของการบังแสงแดด (Shedding) ผุ่น (Soiling) และการไม่เข้ากันของเซลล์ (Mismatch)

- 4) ไม่พิจารณาผลของเวลาในการบำรุงรักษาหรือการหลุดออกจากโครงข่ายไฟฟ้าโดยเหตุการณ์ซ่อมบำรุงระบบโครงข่ายไฟฟ้า
- 5) อุปกรณ์ในระบบกักเก็บพลังงานประกอบด้วยแบตเตอรี่ และอินเวอร์เตอร์
- 6) ความต้องการกำลังไฟฟ้าหรือ Load Profile ของโครงข่ายไฟฟ้าที่ระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์เชื่อมต่ออยู่
- 7) กำหนดให้ช่วงเวลาการผลิตไฟฟ้าและช่วงเวลาความต้องการไฟฟ้าหรือ Load Profile มีรูปแบบคงที่
- 8) พิจารณาระบบไฟฟ้าแบบสามเฟสสมดุลที่เป็นตัวแทนของระบบไฟฟ้าหลัก (Main grid) ผ่านหม้อแปลงและระบบสายส่ง โดยไม่พิจารณาฮาร์โมนิกในระบบไฟฟ้า

สมมติฐานของงานวิจัย

- 1) ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการผลิตไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ได้แก่ ความเข้มแสงอาทิตย์ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งพฤติกรรมการผลิตไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ให้พิจารณาใช้ข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิจริง รวมถึงการต่อชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสม
- 2) ปริมาณการผลิตไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่เชื่อมต่อกับโครงข่ายไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับความต้องการกำลังไฟฟ้าหรือ Load Profile ของโครงข่ายไฟฟ้าที่ระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์เชื่อมต่ออยู่
- 3) สร้างรูปแบบหรือโมเดลที่เหมาะสมระหว่างระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และระบบกักเก็บพลังงานเพื่อหาขนาดของระบบกักเก็บพลังงานที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพโดยพิจารณาการลงทุนเพิ่มในส่วน of ระบบกักเก็บพลังงานเท่านั้น

แผนการดำเนินงาน

ตาราง 1 แผนการดำเนินงานวิจัย: ระยะเวลาศึกษา 8 เดือน

Item	Description	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7	M-8
1	รวบรวมข้อมูลในการศึกษา								
2	ศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาและ ความเป็นไปได้								
3	กำหนดนโยบาย เป้าหมาย มาตรการและวางแผน ปฏิบัติการ								
4	ติดตามผลการดำเนินงาน								
5	สรุปผลการดำเนินการ								

ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1) นำมาประยุกต์ใช้กับพฤติกรรมการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ที่เชื่อมต่อกับโครงข่ายไฟฟ้า และพฤติกรรมการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ที่มีการติดตั้งระบบกักเก็บพลังงานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ
- 2) ทราบถึงวิธีการวิเคราะห์เพื่อเลือกขนาดของระบบกักเก็บพลังงานที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งในระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ
- 3) สามารถพิจารณาางบลงทุนที่เหมาะสม เพื่อลดความสูญเสียของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์

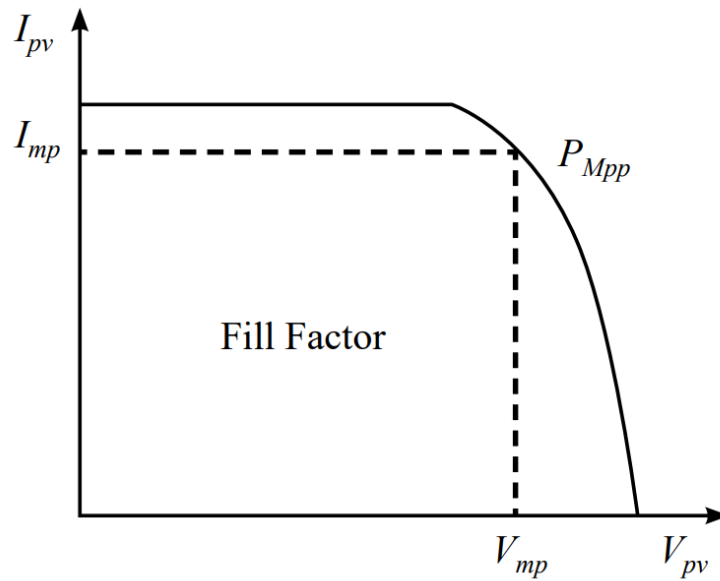
บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic System)

เทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์อาศัยรังสีอาทิตย์เป็นพลังงานต้นกำเนิดของโลก เป็นพลังงานสะอาด และไม่มีวันหมดไปจากโลก การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ การเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า (Solar Electric) และการใช้ประโยชน์ในรูปพลังงานความร้อน (Solar Thermal)

การประยุกต์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในรูปของไฟฟ้ามีเทคโนโลยีที่ใช้ในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรง คือ เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) หรือ Photovoltaics (PV) ซึ่งในปัจจุบันเป็นที่นิยมใช้งานเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก เพราะการติดตั้งและการดูแลรักษาสะดวก สามารถผลิตไฟฟ้าได้จากการได้รับรังสีดวงอาทิตย์ทั้งชนิดรังสีตรง (Direct Radiation) และรังสีกระจาย (Diffuse Radiation) มีอายุการใช้งานที่ยาวนานคือไม่ต่ำกว่า 20 ปี การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์สามารถติดตั้งทั้งบนพื้นดิน (On ground) และบนหลังคา (Rooftop) ทั้งชนิดติดตั้งใช้งานขนาดใหญ่ (PV Farm) และติดตั้งใช้งานในบ้านและอาคาร (Resident) โดยกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ผลิตได้ของเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถหาได้จากกราฟคุณลักษณะของกระแสและแรงดัน (I-V Curve) หากอุณหภูมิและปริมาณความเข้มของรังสีอาทิตย์มีค่าคงที่ กราฟคุณลักษณะของกระแสและแรงดันจะมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งมีจุดที่ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Point: MPP) อยู่ที่ตำแหน่งของแรงดันไฟฟ้าสูงสุด V_{mp} และกระแสไฟฟ้าสูงสุด I_{mp} รายละเอียดดังภาพที่ 1



ภาพ 1 กราฟคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่ออุณหภูมิและปริมาณรังสีอาทิตย์คงที่
กระแสด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์จะอยู่ในรูปของฟังก์ชันเอ็กโพเนนเชียล [4] หาได้จากสมการดังนี้

$$I_{pv} = I_{ph} - I_s \left(e^{\frac{q(V_{pv} + I_{pv}R_s)}{AKT}} - 1 \right) - \frac{V_{pv} + IR_s}{R_{sh}}$$

โดยที่

I_{pv} คือ กระแสไฟฟ้าจ่ายออกของเซลล์แสงอาทิตย์ (A)

I_s คือ กระแสไบอัสอิมิตัวย้อนกลับของไดโอด (A)

q คือ ประจุอิเล็กตรอนมีค่าเท่ากับ 1.602×10^{-19} (C)

T คือ อุณหภูมิที่รอยต่อขณะทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ ($^{\circ}K$)

A คือ ตัวประกอบทางอุดมคติ (Ideal Factor)

K คือ ค่าคงที่ของ Boltzman มีค่าเท่ากับ (J/ $^{\circ}K$)

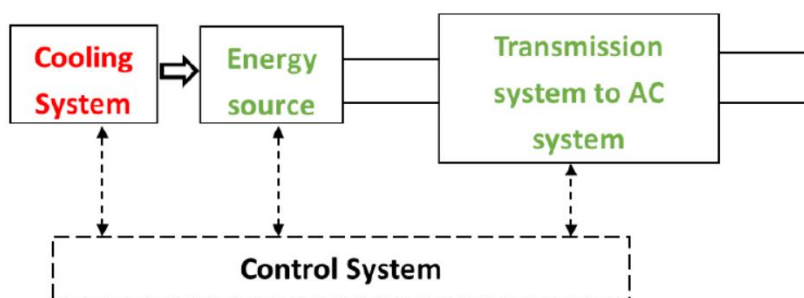
V_{pv} คือ แรงดันที่ขั้วเซลล์แสงอาทิตย์ (V)

R_s คือ ค่าความต้านทานอนุกรมของเซลล์แสงอาทิตย์ (Ω)

R_{sh} คือ ค่าความต้านทานขนานของเซลล์แสงอาทิตย์ (Ω)

2. ระบบกักเก็บพลังงาน

ระบบกักเก็บพลังงานหมายถึง ระบบที่เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้า เป็นพลังงานในรูปแบบอื่น เพื่อสะสมพลังงานไว้ และจะถูกเปลี่ยนกลับเป็นพลังงานไฟฟ้าได้เมื่อต้องการ [5-7] ด้วยคุณสมบัติของระบบกักเก็บพลังงานที่สามารถควบคุม และสั่งการ ให้สะสม หรือจ่ายพลังงานได้อย่างรวดเร็ว ทำให้ระบบกักเก็บพลังงานถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างมากในระบบต่าง ๆ



ภาพ 2 ระบบกักเก็บพลังงานในระบบโครงข่ายไฟฟ้า

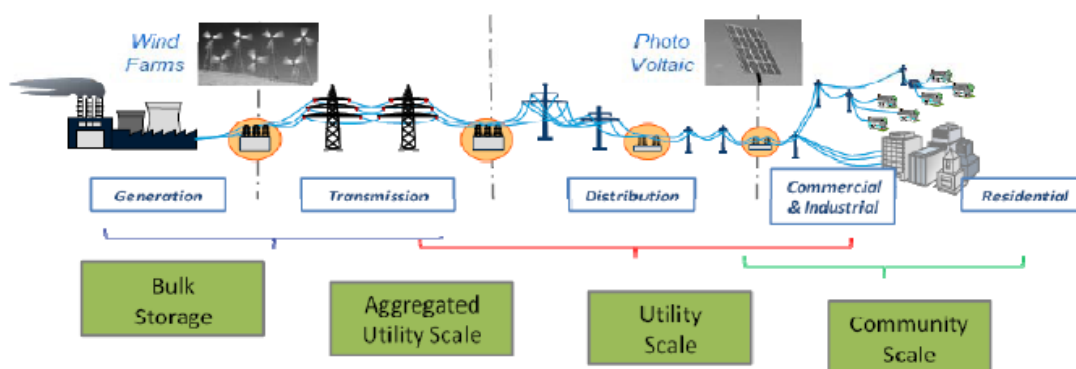
ระบบกักเก็บพลังงาน (ดูภาพ 2) ประกอบด้วย แหล่งกักเก็บพลังงาน (Energy storage) อุปกรณ์เชื่อมต่อระหว่างแหล่งกักเก็บพลังงานและระบบไฟฟ้าหลัก (Transmission system to AC system) เพื่อแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสสลับ (ภายในประกอบด้วย อุปกรณ์แปลงกระแสไฟฟ้า AC/DC และ/หรือ อุปกรณ์แปลงกระแสไฟฟ้า DC/DC และ/หรือ หม้อแปลงไฟฟ้า) ระบบระบายความร้อน (Cooling system) และระบบควบคุม (Control system) โดยในส่วนของระบบควบคุมจะประกอบด้วยหลายระบบย่อยภายใน ได้แก่ ระบบควบคุมอุณหภูมิ (Thermal management system) ระบบควบคุมและป้องกันแหล่งกักเก็บพลังงาน เช่น Battery management system, Super capacitor management system เป็นต้น โดยส่วนนี้จะขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีของแหล่งกักเก็บพลังงานที่เลือกใช้ และระบบควบคุมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเป็นระบบที่ควบคุมกำลังไฟฟ้าของแหล่งกักเก็บพลังงาน (การจ่ายและรับพลังงาน)

3. การใช้งานระบบกักเก็บพลังงานในระบบโครงข่ายไฟฟ้า

ระบบกักเก็บพลังงานสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระบบการขนส่ง เช่น รถไฟฟ้า รถยนต์ไฟฟ้า และ ระบบโครงข่ายไฟฟ้า เนื่องจากคุณสมบัติในการสามารถจ่ายพลังงานเมื่อพลังงานในระบบขาดแคลน (กำลังไฟฟ้าของโหลดมากกว่าแหล่งผลิต) และรับพลังงาน โดยทำหน้าที่เหมือนโหลดเพื่อลดพลังงานส่วนเกินในระบบไฟฟ้า เพื่อรักษาสมดุลของกำลังไฟฟ้าระหว่าง โรงไฟฟ้า

และโหลด และระบบกักเก็บพลังงานมีระยะเวลาในการเริ่มทำงานที่เร็ว (Fast time response) การใช้งานระบบกักเก็บพลังงานในระบบโครงข่ายไฟฟ้า สามารถแบ่งตามระยะเวลาในการทำงานของระบบกักเก็บพลังงาน คือ ระยะเวลาช่วงสั้นๆ หรือ ระดับวินาที (for power quality), ระยะเวลาระดับกลาง หรือ ระดับหลายวินาที จนถึง นาที (for bridging power) และ ระยะเวลาสั้น หรือหลายนาที จนถึง หลายชั่วโมง (energy management) [7, 8] หรือ จะเป็นการแบ่งตามตำแหน่งการติดตั้งหรือผู้นำไปใช้งาน ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 5 ประเภทใหญ่ คือ

- 1) การใช้งานในระบบผลิตไฟฟ้า Generation system (ระบบกักเก็บพลังงานจะต่อกับระบบแรงดันสูง)
- 2) การใช้งานในระบบส่งกำลังไฟฟ้า (Transmission system)
- 3) การใช้งานในระบบจำหน่ายไฟฟ้า (Distribution system)
- 4) การใช้งานสำหรับผู้บริโภคไฟฟ้า (Demand side หรือ End user)
- 5) การใช้งานสำหรับพลังงานทางเลือก (Renewable energy) (ภาพ 3)



ภาพ 3 ภาพจำลองการใช้งานระบบกักเก็บพลังงาน ในส่วนต่าง ๆ ในระบบโครงข่ายไฟฟ้า [5]

ในกรณีระบบไมโครกริด (Microgrids) ซึ่งหมายถึง ระบบที่แหล่งผลิตไฟฟ้า และ ผู้ใช้ไฟฟ้าอยู่ไม่ห่างจากกันนัก โดยสามารถเชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าหลัก (หรือระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่) ที่มีเสถียรภาพสูง และ/หรือ เป็นอิสระ แยกโดดจากระบบไฟฟ้าหลัก (Islanding microgrid) ก็ได้ ระบบส่งไฟฟ้าในระบบไมโครกริดอาจเป็นระยะทางสั้น และไม่ซับซ้อน การควบคุมระบบไฟฟ้ากำลังของระบบไมโครกริดนี้จึงแตกต่างกับระบบไฟฟ้าหลักที่มีขนาดใหญ่และซับซ้อน โดยอาจจะมีผู้ควบคุมระบบเพียงหน่วยเดียวในการควบคุมแหล่งผลิต และระบบจำหน่ายให้ผู้ใช้งาน

(รวมถึงการต่อกับระบบไฟฟ้าหลัก) เพื่อรักษาเสถียรภาพของระบบ รวมถึงรักษาคุณภาพของไฟฟ้า [9, 10] การประยุกต์การใช้งานระบบกักเก็บพลังงานจะขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะ รวมถึงระบบควบคุมและป้องกัน ของระบบไมโครกริดนั้น ๆ ดังนั้นในที่นี้จึงขอสรุปความเป็นไปได้ของการใช้งานระบบกักเก็บพลังงานในระบบไมโครกริดแบบกว้าง ๆ ดังนี้

ก. Back up power or Power reliability: รองรับการเปลี่ยนสถานะจากการต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าหลักสู่ระบบแบบแยกโดด เมื่อระบบการผลิตไฟฟ้าหลักมีปัญหาไม่สามารถจ่ายไฟฟ้าได้ (Transition from connected mode to isolated mode) [11, 12] โดยระบบกักเก็บพลังงานจะทำหน้าที่เป็น Reserve capacity หรือ Contingency service โดยจะทำหน้าที่จ่ายพลังงานในช่วง 10 นาที หรือมากกว่า [13] หรืออาจกล่าวได้ว่า ระบบกักเก็บพลังงานทำหน้าที่ Spinning Reserve (ซึ่งหมายถึงการจ่ายพลังงานในช่วงเวลาหนึ่งโดยที่ก่อนหน้านี้ไม่มีส่วนร่วมในการผลิตไฟฟ้าเพื่อจ่ายให้โหลดเลย) โดยระบบกักเก็บพลังงานจะจ่ายพลังงานเป็นเวลาประมาณ 5 นาที - 4 ชั่วโมง ทั้งนี้ระยะเวลาการทำงานของระบบกักเก็บพลังงานเพื่อเป็นระบบไฟฟ้าสำรอง จะขึ้นอยู่กับระบบการป้องกันไฟฟ้าของระบบนั้น ๆ (การรีคอนเนคเข้าสู่ระบบไฟฟ้าหลัก) นอกจากนี้อาจกล่าวได้ว่าระบบกักเก็บพลังงานทำหน้าที่เป็น Black-start เพื่อทำหน้าที่จ่ายพลังงานสำรองก่อนในช่วงเวลาหนึ่ง เพื่อรอให้ระบบผลิตไฟฟ้าอื่น ๆ เริ่มเดินเครื่อง และ ซิงโครไนส์เข้ากับระบบไฟฟ้าหลัก

ข. Commodity storage หรือ Time-shifting: ระบบกักเก็บพลังงานใช้เพื่อเก็บพลังงานในช่วงการใช้ไฟฟ้าน้อย (off-peak period) หรือ ราคาค่าไฟถูก และ จ่ายไฟ หรือขายไฟให้ระบบในช่วงที่มีการใช้ไฟฟ้าสูง (on-peak period) หรือ ราคาค่าไฟแพง โดยการทำงานจะอยู่ในช่วง 1-6 ชั่วโมง เป็น daily cycle [13, 14] โดยการใช้งานของระบบกักเก็บพลังงานในแอปพลิเคชันนี้สามารถใช้ได้ทั้งในระบบผลิต และผู้ใช้ไฟฟ้า ระบบกักเก็บพลังงานอาจมีส่วนช่วยในการลดกำลังการผลิตของแหล่งพลังงานอื่นในช่วงที่โหลดมาก ซึ่งจะทำให้ความเครียดของแหล่งพลังงานนั้นลดลง และอาจมีประสิทธิภาพสูงขึ้น รวมถึงลดต้นทุนการผลิต (production cost) สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าอาจกล่าวได้ว่าระบบกักเก็บพลังงานทำหน้าที่ Energy management (Load leveling / Peak shaving) โดยระบบกักเก็บพลังงานจะซื้อไฟฟ้าจากระบบ เพื่อสะสมพลังงานในช่วงที่โหลดน้อย หรือ off-peak period (ราคาค่าไฟถูก) และจะจ่ายให้กับโหลดในช่วงที่โหลดมาก หรือ on-peak period (ราคาค่าไฟแพง) ซึ่งจะทำให้โหลดในช่วง peak ของระบบผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งหมดลดลง รวมถึงประหยัดค่าไฟฟ้าด้วย [5]

ค. Power quality improvement: เนื่องจากโหลดต้องได้รับการป้องกันจากความผันแปรของแรงดัน, กระแส, ความถี่, ฮาร์มอนิก เป็นต้น ระบบกักเก็บพลังงานจึงมีส่วนช่วยในการรักษา

คุณภาพของไฟฟ้าที่จ่ายให้กับผู้ใช้ โดยเฉพาะในระบบไมโครกริดที่เป็นระบบไฟฟ้าแบบโดด ซึ่งเป็นระบบที่บอบบาง (fragile) ต่อการผันแปรของกำลังไฟฟ้า คุณภาพของไฟฟ้าอาจไม่ค่อยดี หรือระบบอาจขาดเสถียรภาพได้ง่าย [13]

ระบบกักเก็บพลังงานสามารถทำหน้าที่ช่วยในการควบคุมความถี่ของระบบ หรือ Frequency regulation กล่าวคือเมื่อกำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตไม่เท่ากับกำลังไฟฟ้าจริงที่ใช้จะทำให้เกิดการผันแปรของความถี่ (frequency variation) ระบบกักเก็บพลังงานสามารถทำหน้าที่สะสมหรือจ่ายพลังงานเพื่อรักษาระดับความถี่ให้อยู่ในช่วงที่กำหนด (ทำหน้าที่ primary frequency regulation หรือ primary reserve power) ซึ่งจะเป็นการทำงานในช่วงเวลาสั้นๆ ประมาณ 5-15 วินาที นอกจากนี้ยังสามารถจ่ายหรือสะสมพลังงานเมื่อมีการผันแปรของกำลังไฟฟ้าจริงอย่างช้า ๆ (slow power variation) เพื่อรักษาความถี่ให้อยู่ที่ค่าที่กำหนด หรือ 50Hz ซึ่งระบบกักเก็บพลังงานจะทำงานเป็น secondary frequency regulation หรือ เป็น secondary reserve power การทำงานของระบบกักเก็บพลังงานจะอยู่ในช่วง 2-5 นาที ซึ่งระบบกักเก็บพลังงานจะทำหน้าที่เป็นตัวหลักในการควบคุมความถี่ หรือทำหน้าที่ช่วยแหล่งพลังงานอื่นเช่น โรงไฟฟ้าดีเซล ในการควบคุมความถี่ก็ได้ การใช้ระบบกักเก็บพลังงานในการควบคุมความถี่นั้นอาจเพื่อ รองรับการผันแปรของกำลังไฟฟ้าของพลังงานทางเลือกก็ได้ หรือ รองรับความผันแปรของกำลังไฟฟ้าของโหลด หรือ เพื่อลดการ load leveling (การตัดโหลดบางส่วนออกจากระบบเมื่อความถี่ผันแปรเกินค่าที่กำหนด) [5, 14-16]

นอกจากนี้ระบบกักเก็บพลังงานยังสามารถช่วยเพิ่มคุณภาพไฟฟ้า เกี่ยวกับแรงดันได้เช่นกัน หรือ Voltage regulation โดยระบบกักเก็บพลังงานจะช่วยรักษาระดับแรงดันในระบบไฟฟ้า อยู่ในระดับที่ยอมรับได้

ง. Renewable energy support: ในระบบไมโครกริดที่มีใช้พลังงานทางเลือก (renewable energy) ที่มีความผันแปรของกำลังไฟฟ้าสูง ทำให้คุณภาพของไฟฟ้าแยกลง หรือระบบอาจขาดเสถียรภาพได้ ระบบกักเก็บพลังงานมีส่วนช่วยอย่างมากในการรองรับการเพิ่มขึ้นของพลังงานทางเลือก เช่น ระบบกักเก็บพลังงานจะช่วยในการควบคุมความถี่ หรือ ช่วยในการทำให้กำลังไฟฟ้าของพลังงานทางเลือกมีความผันแปรที่ลดลง [5, 8, 14, 17]

โดยทั่วไปในระบบไมโครกริด โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน (Thermal plant) เป็นระบบการผลิตที่ใช้ในการรักษาเสถียรภาพของระบบ และรักษาคุณภาพไฟฟ้า รวมถึงรองรับการใช้พลังงานทางเลือกในระดับหนึ่งด้วย โดยจะทำหน้าที่ต่าง ๆ ดังที่กล่าวมาข้างต้น เมื่อระบบกักเก็บ

พลังงานสามารถทำหน้าที่ ทั้งในการช่วย และแทนที่ แหล่งพลังงานเหล่านี้ จะทำให้ลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ด้วย

4. เทคโนโลยีระบบกักเก็บพลังงานในระบบโครงข่ายไฟฟ้า/ระบบไมโครกริด

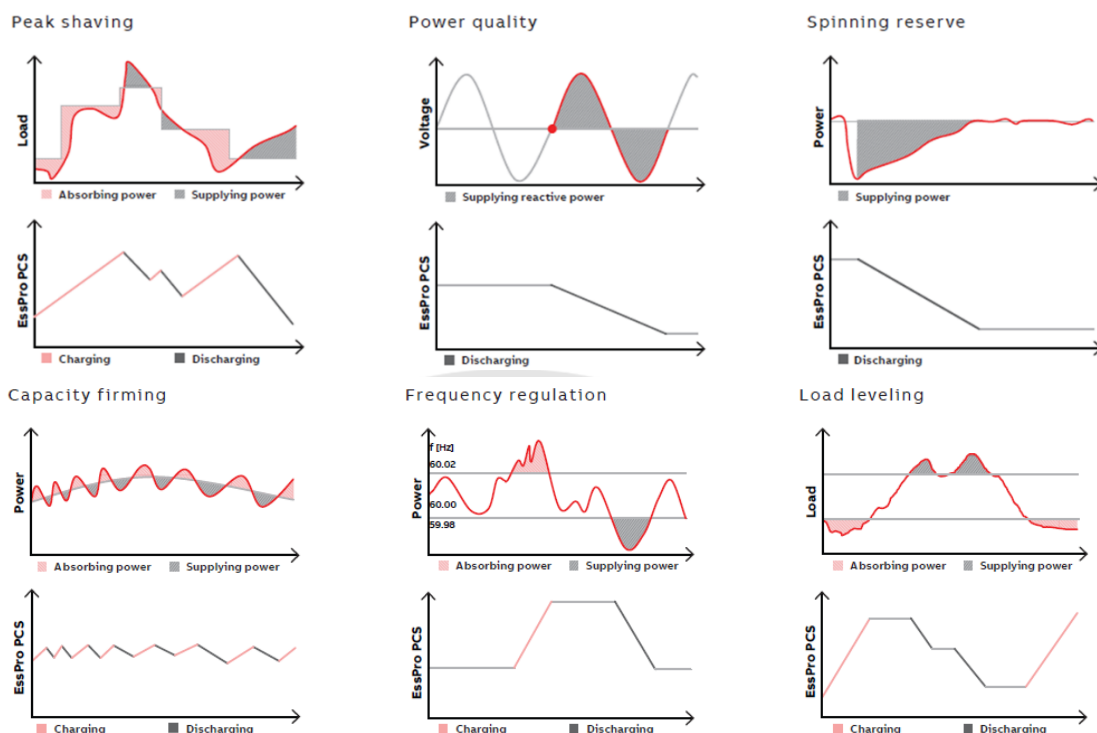
การนำระบบกักเก็บพลังงานไปประยุกต์ใช้ในหน้าที่ต่าง ๆ นั้น จะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างเช่น ความรวดเร็วในการส่ง ไฟฟ้า (startup time) ความจุพลังงาน (energy density) อัตราการจ่ายกระแสและการรับกระแส (charge/discharge rate) อายุการใช้งาน (cycle life/storage life) รวมถึงราคาของแหล่งกักเก็บพลังงานด้วย เทคโนโลยีของแหล่งกักเก็บพลังงานมี หลากหลาย และมีคุณสมบัติแตกต่างกันอย่างมากมาย ระบบกักเก็บพลังงานสามารถแบ่งเป็น 4 ประเภท คือ พลังงานกล, พลังงานไฟฟ้าเคมี, พลังงานไฟฟ้า และ พลังงานความร้อน ตามพลังงานที่ถูกสะสมไว้ [7, 18] ในระบบไฟฟ้ากำลังแบบกริด เทคโนโลยีระบบกักเก็บพลังงานที่ถูกใช้กันมากได้แก่ แบตเตอรี่ (พลังงานไฟฟ้าเคมี), flywheel (พลังงานกล), supercapacitor (พลังงานไฟฟ้า)

ตัวอย่างคุณลักษณะเฉพาะทางเทคนิคที่สำคัญ ที่จะนำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาเปรียบเทียบเทคโนโลยีประเภทต่าง ๆ ของแหล่งกักเก็บพลังงาน ได้แก่ ประสิทธิภาพ ค่าความจุพลังงาน (specific energy) ค่ากำลังไฟฟ้าจำเพาะ (specific power) อายุการใช้งาน (cycle life) และ ความรวดเร็วในการสูญเสียประจุที่กักเก็บไว้ (self-discharge rate) ดังแสดงใน ตาราง 2 นอกจากนี้ อัตราการจ่ายกระแสและการรับกระแส (charge/discharge rate) ก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยซึ่งมีความสำคัญ โดยมีผลต่อการกำหนดขนาดของแหล่งกักเก็บพลังงาน และอายุการใช้งาน ของเทคโนโลยีต่าง ๆ แตกต่างกันไปซึ่งอาจจะเป็นช่วงเวลากลางคืน โดยสามารถนำประยุกต์ใช้งานสำหรับรูปแบบธุรกิจการซื้อขายพลังงานไฟฟ้าชนิด Energy Arbitrage

ตาราง 2 คุณสมบัติเฉพาะของแหล่งกักเก็บพลังงานชนิดต่าง ๆ [5, 8, 16]

Type	Energy Efficiency (%)	Specific energy (Wh/kg)	Specific power (W/kg)	Cycle Life (cycles)	Self-Discharge (room temperature)	Power cost in EUR/kW	Energy cost in EUR/kWh
Flywheel	85-95	1-10	1000	10^5 - 10^7	Very High (1-100% / hour)	150-2500	200-2000
แบตเตอรี่กรดตะกั่ว (Lead acid battery)	70-85	30-50	180	200-300 (80% discharge)	Low (1-5%/months)	100-500	25-250
แบตเตอรี่นิกเกิลแคดเมียม (Nickel cadmium battery)	60-70	45-80	140-180	1000 (80% discharge)	Low (10%/months)	500-1500	1000
แบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (Lithium ion battery)	85-90	60-190	250-340	500-2000 (80% discharge)	Med (2-10%/months)	-	700-1500
แบตเตอรี่โซเดียมซัลเฟอร์ (Sodium sulphur battery)	85-90	110-130	120	2500-5000 (2500 for 100% discharge)	Negligible	1500-1800	200-250
Flow batteries: VRB (Vanadium Redox flow Battery)	80-85	5-10	80-150	> 13000 (13000 for 100% discharge)	Negligible	~ 1750	~ 215
Supercapacitor	85-98	2-15	3000-10000	10^5 - 10^6	Very High (5%/day)	25-300	$2 \cdot 10^4$ - $6 \cdot 10^4$

ระบบกักเก็บพลังงาน Battery Energy Storage System (BESS) ประกอบด้วยแบตเตอรี่จำนวนมาก ซึ่งมีเทคโนโลยีมากมายหลายประเภท ประเภทแบตเตอรี่ที่ใช้ในการกักเก็บพลังงานไฟฟ้าในระบบโครงข่ายไฟฟ้าจะต้องมีความจุที่เก็บพลังงานไฟฟ้าได้มากในระดับเมกะวัตต์ (MW) โดยทั่วไปจะออกแบบประกอบแบตเตอรี่เป็นตู้คอนเทนเนอร์ขนาดมาตรฐาน 40 ฟุต และอาจจะลดลงเป็น 20 ฟุต หรือเล็กกว่านั้น ขึ้นอยู่กับขนาดความจุที่ออกแบบ ซึ่งมีหน้าที่หลักอยู่ 3 ประการ คือ 1) เป็นโหลดเพื่อกักเก็บพลังงานส่วนเกินจากการใช้งาน ไม่ว่าจะเป็นการรับไฟจากระบบไฟฟ้าหลัก(Main Grid) หรือ แหล่งกำเนิดพลังงานกระจายศูนย์ (DERs) ที่เป็นพลังงานหมุนเวียน อย่างเช่น พลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานลม 2) การรับเพื่อกักเก็บพลังงานไฟฟ้าโดยตรงจากแหล่งกำเนิดพลังงานกระจายศูนย์ (DERs) 3) การรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าจากการจ่ายพลังงานไฟฟ้าอย่างสม่ำเสมอ เสมือนเป็น Regulator ในระบบได้เช่นกัน ทั้งนี้แบตเตอรี่มีด้วยกันหลากหลายทั้งด้านเทคโนโลยี อายุการใช้งานที่สัมพันธ์โดยตรงกับราคาและประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ ดังนั้นในส่วนการนำไปประยุกต์ใช้งานจึงเน้นเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยโดยอาจจะแบ่งเป็นฟังก์ชันการทำงานดังต่อไปนี้



ภาพ 4 แสดงหลักการทำงานของระบบกักเก็บพลังงานในระบบไมโครกริด
 ที่มา: ESSPro Grid Battery energy storage systems [19]

- 1) Peak shaving ใช้เป็นแหล่งพลังงานสำหรับจ่ายให้กับโหลดในช่วงเวลาสูงสุด
- 2) Power quality ทำหน้าที่รักษาระดับแรงดันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน
- 3) Spinning reserve ในกรณี Main Grid มีปัญหา BESS จะทำหน้าที่เป็นแหล่งพลังงานสำรองให้กับโครงข่ายไฟฟ้า
- 4) Capacity firming ในกรณีที่ระบบผลิตไฟฟ้าเป็นชนิด Solar PV ที่ติดตั้งในระดับเมกะวัตต์ อาจเกิดกรณีเมฆบังรังสีอาทิตย์ ส่งผลให้แรงดันในระบบสายส่งลดลงอย่างรวดเร็ว BESS สามารถจ่ายพลังงานเพื่อยกกระดับแรงดัน (PV Smoothing) และรักษาเสถียรภาพในระบบสายส่งให้อยู่ในค่ามาตรฐานนี้ได้
- 5) Frequency Regulation โดยการให้ BESS ควบคุมความถี่ของระบบไฟฟ้า
- 6) Load leveling ใช้เป็นแหล่งพลังงานสำรองในตอนกลางวัน และนำไปจ่ายให้โหลดสูงสุด

5. ตัวอย่างการใช้งานระบบกักเก็บพลังงานสำหรับระบบโครงข่ายไฟฟ้า

จากข้อมูลข้างต้นในเรื่องการนำระบบกักเก็บพลังงานไปใช้ และเทคโนโลยีต่าง ๆ ของแหล่งพลังงาน การจับคู่ระหว่าง เทคโนโลยีและการนำไปประยุกต์ใช้นั้น ไม่ว่าจะเป็นการใช้เพื่อเป้าหมายการใช้งานเดียวกันก็ได้ หรือใช้สำหรับเป้าหมายการใช้งานมากกว่าหนึ่งเป้าหมายก็ได้เพื่อความคุ้มค่าของการลงทุน เนื่องจากต้นทุนของระบบกักเก็บพลังงานค่อนข้างสูง จะขึ้นอยู่กับลักษณะของระบบไมโครกริดนั้น ๆ โดยทั่วไประบบไมโครกริดที่ต่อกับระบบผลิตและระบบจำหน่ายไฟฟ้าหลักนั้น จะมีเสถียรภาพสูง เนื่องจากระบบผลิตและระบบจำหน่ายไฟฟ้าหลักนั้นเป็นระบบใหญ่ที่มีเสถียรภาพสูงกว่า การใช้งานระบบกักเก็บพลังงานจึงมักจะเป็นการใช้เพื่อรักษาเสถียรภาพของระบบไมโครกริดเมื่อแยกโดดออกจากระบบใหญ่ และอาจมีการใช้ระบบกักเก็บพลังงานเพื่อรักษาคุณภาพความถี่ และแรงดันด้วย ส่วนระบบไมโครกริดแบบแยกโดดนั้น ระบบกักเก็บพลังงานมักจะมีส่วนในเรื่องของการรับประกันการจ่ายไฟเข้าระบบจากแหล่งพลังงานทดแทน เพื่อรักษาเสถียรภาพของระบบ นอกจากนี้จะมีหน้าที่ช่วยในการควบคุมความถี่และแรงดัน เพื่อลดการจ่ายพลังงานของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน เช่น โรงไฟฟ้าดีเซล เพื่อประหยัดค่าจ่าย และลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

ในช่วงก่อนปี ค.ศ. 2000 เทคโนโลยีที่ใช้คือ แบตเตอรี่แบบกรดตะกั่ว ซึ่งจะเป็นการใช้สำหรับระบบไฟฟ้าไมโครกริดแบบแยกโดดเป็นส่วนใหญ่ เช่น โครงการ PREPA BESS 1 ที่ Sabana Llana, Porto Rio, United States (ค.ศ. 1994), โครงการของ BEWAG ที่ Berlin, West Germany (ค.ศ. 1987) เป็นต้น [7, 20] โดยในปัจจุบันโครงการ หรือระบบที่ใช้กรดตะกั่วนี้ได้สิ้นสุด และอาจต้องมีการเปลี่ยนแบตเตอรี่ เนื่องจากว่าแบตเตอรี่กรดตะกั่วนั้นมีหมดอายุการใช้งาน หลังจากเริ่มใช้ได้ประมาณ 5 ปี ซึ่งการนำแบตเตอรี่แบบกรดตะกั่วไปใช้งานนั้นเพื่อ การควบคุมความถี่, Time-shifting, Spinning reserve และการควบคุมแรงดัน

หลังจากปี ค.ศ. 2000 เทคโนโลยีของระบบกักเก็บพลังงานในระบบไมโครกริดนั้น มีความหลากหลายมากขึ้น เช่น Flywheel ถูกนำมาใช้ใน Flores (the Azores) PowerStore Flywheel Project (Flores , The Azores, Portugal) เพื่อใช้ในการควบคุมแรงดัน และความถี่, Reunion Island Pegase Project ซึ่งเป็นระบบไฟฟ้าบนเกาะ Reunion ประเทศฝรั่งเศส นำแบตเตอรี่โซเดียมซัลเฟอร์ (Sodium-sulfur Battery) มาใช้เพื่อ Electric Energy Time Shift และเป็นแหล่งพลังงานสำรอง, ในระบบไฟฟ้าบนเกาะ King island ประเทศออสเตรเลีย ใช้แหล่งกักเก็บพลังงานแบบผสมระหว่าง แบตเตอรี่แบบกรดตะกั่ว และ Electro-chemical capacitor เพื่อรองรับการใช้ และเพิ่มขึ้นของพลังงานหมุนเวียน และเป็นแหล่งพลังงานสำรอง (Spinning

reserve), แบตเตอรี่โซเดียมซัลเฟต และ แบตเตอรี่ลิเทียม ถูกนำมาใช้เพื่อรองรับการใช้พลังงานทดแทน ที่ Miyako Island ประเทศญี่ปุ่น และ Vanadium Redox Flow Battery ถูกนำมาใช้ใน Navarra ประเทศสเปน และ เมืองปักกิ่ง ประเทศจีน (Gold Wind Smart Micro-grid VFB) เพื่อใช้ในการ Electric Energy Time Shift รวมถึงเพื่อรองรับการใช้งานพลังงานทดแทน [7, 16, 20]

การเพิ่มสมรรถนะการรองรับการเชื่อมต่อกำลังผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในโครงข่ายไฟฟ้าสามารถกริด ดังต่อไปนี้

5.1 แนวคิดและงานวิจัยทางด้าน Power Limit (Power Curtailment)

แนวคิด Power Limit (Power Curtailment) คือการลดกำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากกำลังการผลิตที่เป็นไปได้จากแหล่งพลังงานที่มีอยู่ เหตุผลในการทำ curtailment แหล่งกำเนิดไฟฟ้าคือ ข้อจำกัดของการส่งกำลังไฟฟ้า (Transmission Constraints) ความแออัดของการไหลของกำลังไฟฟ้า (Congestion) และความสมดุลระหว่างกำลังการผลิตไฟฟ้าและโหลด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงกำลังการผลิตจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่มีปริมาณมากเกินไปในขณะที่มีความต้องการกำลังไฟฟ้าของโหลดมีค่าต่ำ

National Renewable Energy Laboratory (NREL) ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้รวบรวมข้อมูลด้านต่าง ๆ ของ Power Curtailment สำหรับกังหันลมและ PV ในประเทศสหรัฐอเมริกาไว้ใน [12] ได้แก่ เหตุการณ์การเกิด power curtailment ขององค์กรทางไฟฟ้าต่าง ๆ เหตุผลในการทำ power curtailment วิธีการทำ power curtailment ตลอดจนการชดเชยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ถูกปลดออกไปและแนวทางการหลีกเลี่ยงการทำ power curtailment

5.2 แนวคิดและงานวิจัยทางด้าน Zero-export (or non-reverse power flow)

แนวคิดการควบคุม Zero-export ของ PV เพื่อไม่ให้เกิดการไหลของกำลังไฟฟ้าย้อนกลับไปยังต้นทางและป้องกันปัญหาการเกิดแรงดันเพิ่มสูงขึ้นที่ปลายทาง (Voltage rise) เกินกว่าค่าที่ยอมรับได้ โดยทั่วไป จะควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์ของแบตเตอรี่เพื่อรับกำลังไฟฟ้าที่ผลิตเกินจาก PV Generation System

งานวิจัยใน [21] ได้นำเสนอขั้นตอนวิธีสำหรับการควบคุมกำลังไฟฟ้าของ PV Generation System ร่วมกับแบตเตอรี่เพื่อแก้ปัญหา กำลังไฟฟ้าไหลย้อนกลับเนื่องจาก PV Generation System ในกลุ่มบ้านพักอาศัยจำนวน 553 หลังซึ่งติดตั้ง PV Rooftop และแบตเตอรี่ เมือง Ohta จังหวัด Gunma ประเทศญี่ปุ่น โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก New Energy and Industrial Development Organization (NEDO) ระบบสาธิตนี้ประกอบด้วย PV Rooftop ขนาด 3-5 kW จำนวน 553 หลัง รวม 2.13 MW, แบตเตอรี่ติดตั้งแต่ละหลังขนาด 9 kWh และใน

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอรูปแบบการต่อแบตเตอรี่กับ PV สองแบบคือแบบที่หนึ่งติดตั้งแบตเตอรี่ด้านดีซีบัสของ PV Generation System โดยใช้อินเวอร์เตอร์ร่วมกัน และ แบบที่สอง ติดตั้งแบตเตอรี่ด้านเอซีที่หน้าอินเวอร์เตอร์ของ PV Generation System โดยกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจาก PV Generation System ซึ่งเกินความต้องการจะนำมาชาร์จเข้าแบตเตอรี่เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดกำลังไฟฟ้าไหลย้อนกลับไปต้นทางและควบคุมแรงดันทางด้านกลุ่ม PV Generation System ไม่ให้เพิ่มสูงขึ้นเกินค่าที่ยอมรับได้พร้อมกับพิจารณาสถานะการชาร์จ (State-Of-Charge) ของแบตเตอรี่ร่วมด้วย

5.3 แนวคิดและงานวิจัยทางด้าน Power fluctuation suppression

เนื่องจากกำลังไฟฟ้าที่สร้างจาก PV นั้นเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพอากาศ ความเข้มของแสงอาทิตย์ จึงส่งผลให้กำลังการผลิตที่ได้จาก PV มีความไม่สม่ำเสมอ เพื่อลดการแกว่งกำลังไฟฟ้าของ PV Generation System ในที่นี้จะควบคุมการทำงานของอินเวอร์เตอร์ของระบบสะสมพลังงานแบตเตอรี่ (Batter Energy Storage System, BESS) เพื่อเก็บสะสมพลังงานในช่วงกำลังการผลิตจาก PV Generation System เกินความต้องการของโหลด และจ่ายพลังงานให้ระบบในช่วงที่กำลังการผลิตจาก PV Generation System ไม่เพียงพอต่อความต้องการของโหลด

งานวิจัยใน [21] ยังได้นำเสนอขั้นตอนวิธีสำหรับการควบคุมกำลังไฟฟ้าของแบตเตอรี่เพื่อลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจาก PV Generation System ในสถานีผลิตไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ที่เมือง Wakkanai จังหวัดฮอกไกโด (Hokkaido) ประเทศญี่ปุ่น ระบบสาธิตนี้ประกอบด้วย PV Generation System ขนาด 5 MW, แบตเตอรี่ขนาด 1.5 MW และตัวเก็บประจุไฟฟ้าชนิด double layer ขนาด 1.5 MW จุดประสงค์หลักของโครงการนี้เพื่อประเมินผลกระทบของ PV ที่ต่อกับระบบและพัฒนาเทคโนโลยีการควบคุมแบตเตอรี่เพื่อลดการแกว่งกำลังไฟฟ้าด้านออกของ PV Generation System

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นแนวคิดที่จะดำเนินการศึกษาและพัฒนาโมเดลต้นแบบเพื่อนำผลการศึกษาไปประยุกต์ใช้งานออกแบบและเลือกใช้ระบบกักเก็บพลังงานในขนาดที่เหมาะสม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์รวมถึงโครงข่ายไฟฟ้าในพื้นที่ที่โรงไฟฟ้าเชื่อมต่ออยู่ เพื่อตอบสนองความต้องการปริมาณไฟฟ้าที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลา และเพื่อให้นำไปสู่การที่โรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนประเภทระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์สามารถจ่ายไฟฟ้าเข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้าในรูปแบบ Firm ได้ในอนาคต

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

นักวิจัยได้แบ่งขั้นตอนการดำเนินการภายใต้โครงการวิจัยออกเป็น 4 ขั้นตอน โดยแต่ละขั้นตอนจะมีความเกี่ยวข้องและเชื่อมโยงของผลการศึกษาดังต่อไปนี้

- 1) เก็บรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา โดยมุ่งเน้นข้อมูลที่มีผลกระทบต่อการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์
- 2) สร้างรูปแบบหรือโมเดลที่มีความเหมาะสมระหว่างระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และระบบกักเก็บพลังงาน “โดยจะต้องมีการลงทุนในส่วนระบบกักเก็บพลังงานเพิ่มเติมเท่านั้น”
- 3) ดำเนินการวิเคราะห์ผลจากรูปแบบหรือโมเดลที่เหมาะสม
- 4) สรุปผลการดำเนินงานวิจัย

ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัย

- ข้อมูลที่ส่งผลกระทบต่อการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ได้แก่ ความเข้มแสงอาทิตย์ อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์
- ศึกษาผลกระทบของการต่อชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic array) ต่อคุณสมบัติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และอินเวอร์เตอร์
- ศึกษาพฤติกรรมการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์
- ศึกษาพฤติกรรมของระบบกักเก็บพลังงานที่ถูกติดตั้งและเชื่อมต่อกับโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์



สร้างรูปแบบหรือโมเดล

- สร้างรูปแบบหรือโมเดลหาขนาดของระบบกักเก็บพลังงานที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้โรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์และโครงข่ายไฟฟ้าที่ระบบผลิตฯ เชื่อมต่ออยู่



วิเคราะห์ผล

- วิเคราะห์ผลการวิจัยจากรูปแบบหรือโมเดลที่สร้างขึ้น



สรุปผลงานวิจัย

ภาพ 5 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

เครื่องมือวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย วิธีการตรวจวัด และการเก็บข้อมูลต่าง ๆ จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดกำลังการผลิตติดตั้งสูงสุด 1.2 กิโลวัตต์ ที่ติดตั้งอยู่ ณ วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ตกริด ม.นเรศวร จ.พิษณุโลก มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- 1) อุปกรณ์ตรวจวัดรังสีอาทิตย์ Pyranometer สำหรับตรวจวัดค่ารังสีอาทิตย์รวม (Global Solar Radiation)



ภาพ 6 Pyranometer สำหรับตรวจวัดค่ารังสีอาทิตย์

- 2) เครื่องบันทึกค่าอัตโนมัติ (Data Logger) สำหรับรับค่าที่อ่านได้จาก Pyranometer แล้วนำมาจัดเก็บไว้ เพื่อให้ นักวิจัยสามารถนำข้อมูลออกไปวิเคราะห์ผลได้ต่อไป



ภาพ 7 เครื่องบันทึกค่าอัตโนมัติ Data Logger สำหรับบันทึกข้อมูลรังสีอาทิตย์

- 3) ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Amorphous Silicon กำลังการผลิตติดตั้งรวมสูงสุด 1.2 กิโลวัตต์



ภาพ 8 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 1.2 กิโลวัตต์

- 4) เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter) สำหรับแปลงกระแสไฟฟ้าตรง (DC) เป็นกระแสไฟฟ้าสลับ (AC) สำหรับจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับระบบโครงข่ายไฟฟ้าต่อไป



ภาพ 9 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter)

บทที่ 4 ผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ข้อมูลกำลังการผลิตระบบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดกำลังการผลิตติดตั้งสูงสุด 1.2 กิโลวัตต์ ณ วิทยาลัยพลังงานทดแทนและสมาร์ทกริดเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนเรศวร และได้มีการดำเนินการเก็บข้อมูลค่าความเข้มรังสีอาทิตย์ในช่วงการเก็บข้อมูลวิจัย ทั้งที่แสดงหน่วยเป็น เมกกะจูล/ตารางเมตร/วัน และ เป็น กิโลวัตต์/ตารางเมตร/วัน และได้ดำเนินการคำนวณค่าเฉลี่ยรายชั่วโมงในระยะเวลาการเก็บข้อมูล 31 วัน (1 เดือน) และนำผลการเก็บข้อมูลไปวิเคราะห์และนำเสนอแนวคิดการทำงานร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานชนิดแบตเตอรี่ที่เหมาะสมต่อไปรายละเอียดดังภาพ 10

Hourly global radiation (kW/m ²)																			Daily (kW/m ² -day)
Day	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19					
1	0.00	0.00	50.56	231.96	428.65	626.16	734.23	775.06	740.89	640.61	479.76	267.52	76.95	0.00	5052.35				
2	0.00	0.00	45.84	232.24	454.20	630.61	736.45	769.78	748.67	650.05	485.04	252.80	49.45	0.00	5055.13				
3	0.00	0.00	53.34	270.58	465.04	634.77	742.00	768.12	737.00	632.83	468.37	265.58	67.51	0.00	5105.13				
4	0.00	0.00	46.11	240.85	462.81	632.55	741.45	786.17	746.45	639.50	474.76	276.41	69.45	0.00	5116.52				
5	0.00	0.00	47.50	235.30	462.26	635.33	745.34	790.06	761.17	660.05	486.43	283.63	70.28	0.00	5177.36				
6	0.00	0.00	49.45	230.30	444.48	606.16	714.50	749.23	718.39	616.44	467.54	267.52	70.28	0.00	4934.28				
7	0.00	0.00	32.50	174.18	394.75	375.59	429.76	688.67	680.05	595.05	412.81	232.80	61.95	0.00	4078.10				
8	0.00	0.00	38.61	203.07	406.98	470.59	689.78	738.11	721.45	521.15	469.76	256.13	70.28	0.00	4585.92				
9	0.00	0.00	27.78	106.95	234.19	525.88	629.77	683.11	523.38	488.93	313.64	256.13	73.89	0.00	3863.64				
10	0.00	0.00	24.45	203.91	404.48	564.21	642.83	691.44	699.50	596.99	451.98	269.47	72.78	0.00	4622.04				
11	0.00	0.00	38.61	190.57	408.09	577.55	688.94	747.56	725.06	627.83	473.65	275.86	78.62	0.00	4832.33				
12	0.00	0.00	36.95	199.18	407.81	591.44	711.17	742.28	723.67	624.22	471.15	281.41	78.34	0.00	4867.61				
13	0.00	0.00	43.61	234.46	443.92	609.49	724.50	765.89	730.61	639.77	492.82	290.86	87.78	0.00	5063.74				
14	0.00	0.00	49.17	240.30	443.09	609.77	724.22	793.67	771.17	679.78	516.99	316.69	99.73	0.00	5244.59				
15	0.00	0.00	45.84	237.80	446.98	616.16	743.39	791.45	766.73	678.67	513.10	310.86	95.01	0.00	5245.98				
16	0.00	0.00	45.56	234.74	446.15	614.49	729.23	773.67	762.56	658.66	508.37	305.30	95.56	0.00	5174.30				
17	0.00	0.00	43.61	229.74	425.87	599.49	717.00	765.89	740.06	655.33	505.60	310.30	99.73	0.00	5092.63				
18	0.00	0.00	41.39	208.07	445.04	608.10	727.28	783.40	750.34	654.50	491.98	287.52	90.29	0.00	5087.91				
19	0.00	0.00	41.95	218.07	425.31	599.49	717.56	771.17	753.67	656.72	500.04	300.30	94.17	0.00	5078.46				
20	0.00	0.00	40.56	218.91	426.42	601.71	722.28	772.84	749.23	665.05	507.82	303.08	95.56	0.00	5103.46				
21	0.00	0.00	42.23	228.07	423.37	596.16	708.95	772.28	748.12	654.50	495.87	304.19	95.84	0.00	5069.57				
22	0.00	0.00	40.84	224.74	428.09	614.49	736.17	778.95	757.56	657.83	510.60	310.30	100.01	0.00	5159.58				
23	0.00	0.00	33.61	181.96	372.53	526.15	629.22	678.39	663.11	580.05	444.76	260.85	77.51	0.00	4448.13				
24	0.00	0.00	22.78	138.07	253.35	388.09	583.66	705.06	683.11	600.60	447.81	263.63	62.51	0.00	4148.67				
25	0.00	0.00	18.33	103.90	272.24	498.93	630.33	709.22	697.00	575.60	380.59	242.24	75.28	0.00	4203.67				
26	0.00	0.00	28.06	129.45	230.57	444.48	587.27	568.66	627.55	623.94	451.98	264.19	84.17	0.00	4040.32				
27	0.00	0.00	30.00	166.96	383.09	556.16	667.83	738.95	724.78	636.72	480.87	278.08	90.29	0.00	4753.71				
28	0.00	0.00	35.56	193.35	394.48	570.32	696.72	744.23	718.39	607.83	486.15	294.19	93.34	0.00	4834.55				
29	0.00	0.00	34.45	159.18	365.58	565.32	693.39	748.95	677.83	666.16	498.93	307.52	101.40	0.00	4818.72				
30	0.00	0.00	36.95	193.07	390.86	563.66	692.28	742.84	760.62	663.94	503.65	321.41	106.68	0.00	4975.95				
31	0.00	0.00	33.34	175.85	356.70	539.49	669.50	734.50	731.73	638.66	470.87	283.63	92.51	0.00	4726.77				
average	0.00	0.00	38.69	201.15	398.30	567.51	687.32	744.18	720.64	628.64	473.02	281.95	83.13	0.00	4824.55				

ภาพ 10 ตัวอย่างชุดข้อมูลรังสีอาทิตย์ (Solar Radiation) รายชั่วโมง และผลการคำนวณค่าเฉลี่ยฯ ที่ใช้

จากชุดข้อมูลข้างต้น สามารถนำผลการคำนวณค่าเฉลี่ยรายเดือนและกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้ารายชั่วโมงมาสรุปในรูปแบบดังตารางที่ 3

ตาราง 3 แสดงผลการคำนวณการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ราย ชั่วโมง

Time [hr]	G _s [W/m ²]	T _{mod} [°C]	P _o [W]
8:00	310	38	39
9:00	491	45.4	201
10:00	711	52.9	398
11:00	850	55.7	568
12:00	900	60.2	687
13:00	890	60.5	744
14:00	840	60.2	721
15:00	689	56.1	629
16:00	489	50.3	473
17:00	262	41.3	282

G_s [W/m²] คือ พลังงานรังสีอาทิตย์รวม (Global Solar Radiation)

T_{mod} [°C] คือ อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์

P_o [W] คือ กำลังการผลิตไฟฟ้าต่อชั่วโมงการทำงาน

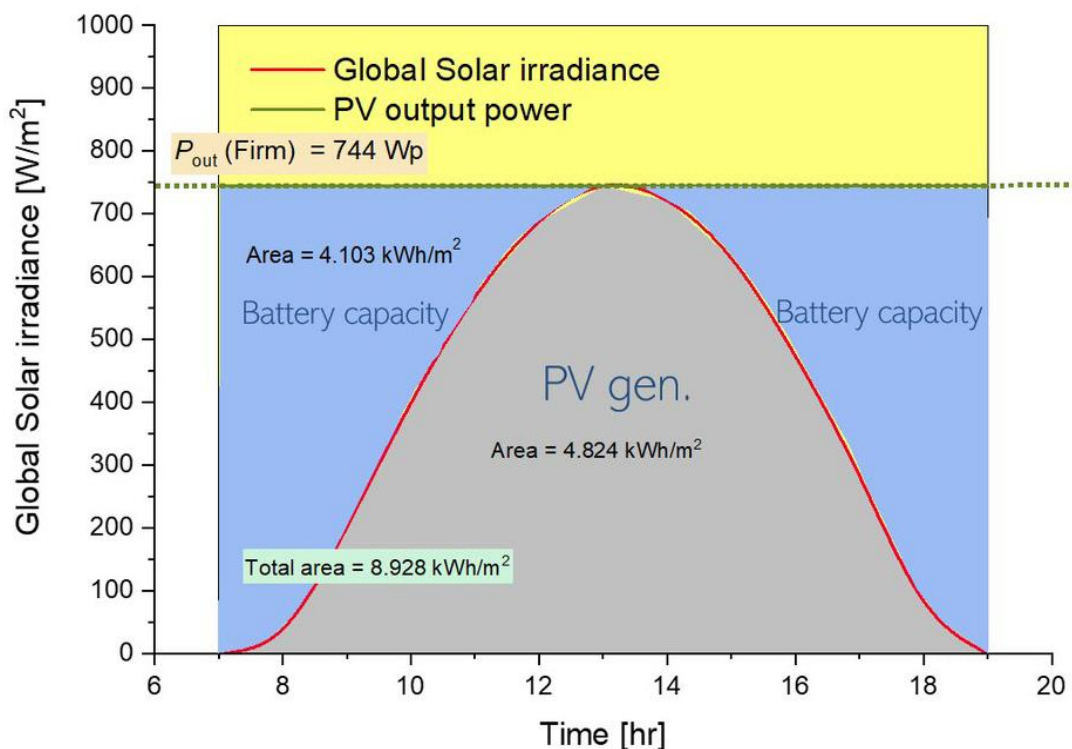
จากตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่ากำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์มีการแปรผันโดยตรงกับค่าพลังงานของรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบกับแผงเซลล์ โดยลักษณะการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะมีปริมาณมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดและประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดย ระบบฯ จะเริ่มผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 8:00 น. และมีกำลังไฟฟ้าต่อชั่วโมงสูงสุดในช่วงเวลา 13:00 น. มีค่าเท่ากับ 744 วัตต์ และเริ่มลดต่ำลงจนไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ ณ ช่วงเวลา 18:00 น. เป็นต้นไป โดยพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยของระบบฯ จากการคำนวณจะมีค่าเท่ากับ 4.824 kWh/day

โดยผลการวิเคราะห์ข้อมูลจะแสดงให้เห็นว่าตามหลักทฤษฎีค่าอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ T_{mod} [°C] จะแปรผันโดยตรงกับแรงดันไฟฟ้า คือ อุณหภูมิสูงขึ้นจะส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าลดลง แต่ด้วยระบบที่นำมาเป็นต้นแบบการวิจัย มีกำลังการผลิตติดตั้งรวมสูงสุด 1.2 กิโลวัตต์ ซึ่งอาจจะไม่ส่งผลกระทบต่อพลังงานไฟฟ้าในภาพรวม เนื่องจากปัจจุบันเทคโนโลยีการแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter) จะมีช่วงของการรับค่าแรงดันไฟฟ้าที่กว้างและมีประสิทธิภาพการ

แปลงกระแสไฟฟ้าที่มากกว่า 90% เป็นส่วนใหญ่ แต่ในกรณีที่เป็นลักษณะ Solar Farm อาจจะต้องมีการพิจารณาประเด็นดังกล่าวเพิ่มเติมด้วย

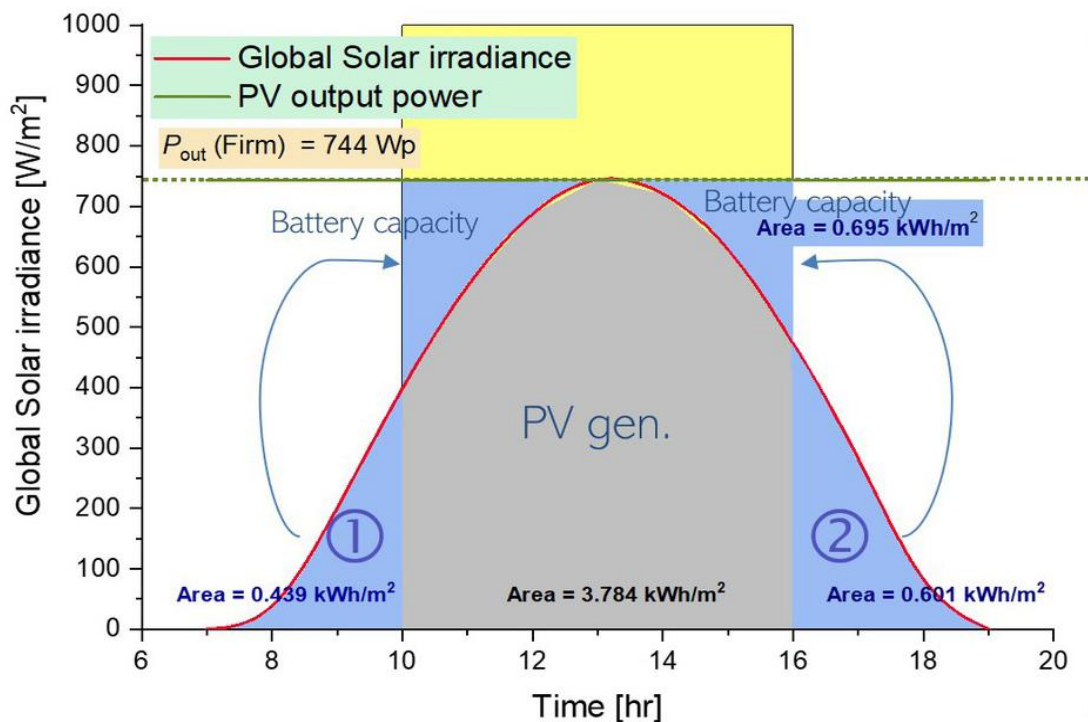
ผลการออกแบบระบบกักเก็บพลังงานร่วมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์

จากผลการวิเคราะห์และเชื่อมโยงข้อมูลคุณลักษณะการผลิตพลังงานไฟฟ้ารายชั่วโมง จะเห็นได้ว่าระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ จะมีลักษณะการผลิตพลังงานในรูปแบบระฆังคว่ำ ซึ่งเป็นรูปแบบ Non-Firm โดยในงานวิจัยนี้ จะมีแนวความคิดการนำระบบกักเก็บพลังงานชนิดแบตเตอรี่เข้ามาช่วยเสริมการผลิตพลังงานไฟฟ้าในระบบฯ จากภาพที่ 11 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์มีกำลังการผลิตสูงเท่ากับ 744 วัตต์ ณ ช่วงเวลา 13:00 น. กำลังการผลิตตั้งแต่เวลา 07:00 – 19:00 น. จำนวนพลังงานไฟฟ้าสุทธิที่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ต่อวันเท่ากับ 4.824 kWh ในส่วนของงานวิจัยนี้จะแบ่งแนวคิด รูปแบบและโมเดลการทำงานร่วมกันได้ 2 แนวคิด คือ



ภาพ 11 ข้อมูลกำลังการผลิตระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการคิดคำนวณการติดตั้งระบบกักเก็บพลังงานเพิ่มเติมเป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมง

- 1) **แนวคิดที่ 1** ต้องการให้ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าในรูปแบบ Firm ทั้งในส่วนกำลังการผลิต (Capacity) ที่ 744 วัตต์ และพลังงานไฟฟ้าสุทธิที่ผลิตได้ (Energy) ตั้งแต่เวลา 07:00 – 19:00 น. เป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมง (แต่ละชั่วโมงเท่ากับ 744 Wh) ผลการวิเคราะห์ข้อมูลจะต้องติดตั้งระบบกักเก็บพลังงานชนิดแบตเตอรี่เพิ่มเติมขนาด 4.103 kWh รวมพลังงานสุทธิตลอดทั้งวันเท่ากับ 8.928 kWh แบ่งเป็นพลังงานจากระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์เท่ากับ 4.824 kWh และติดตั้งระบบกักเก็บพลังงานเพิ่มเติม 4.103 kWh แต่ด้วยแนวคิดดังกล่าวจำเป็นต้องติดตั้งระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มเติมอีก 1 เท่าตัว เพื่อนำพลังงานส่วนเกินมากักเก็บไว้ในส่วนระบบกักเก็บพลังงานชนิดแบตเตอรี่ เพื่อให้เท่ากับพลังงานสุทธิตามที่ต้องการ ซึ่งในกรณีนี้จะต้องมีการลงทุนระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเพิ่มเติมร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานฯ



ภาพ 12 ข้อมูลกำลังการผลิตระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการคิดคำนวณการติดตั้งระบบกักเก็บพลังงานเพิ่มเติมเป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง

- 2) **แนวคิดที่ 2** ต้องการให้ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าในรูปแบบ Firm ทั้งใน ส่วนกำลังการผลิต (Capacity) ที่ 744 วัตต์ และพลังงานไฟฟ้าสุทธิที่ผลิตได้ (Energy) ตั้งแต่เวลา 10:00 – 16:00 น. เป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง (แต่ละชั่วโมงเท่ากับ 744 Wh) ผลการวิเคราะห์ข้อมูลตามแนวคิดนี้พบว่าจะใช้พลังงานสุทธิจากระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์เท่ากับ 3.784 kWh ณ ช่วงเวลา 10:00 – 16:00 น. ซึ่งพลังงานส่วนเกินช่วง 8:00 – 10:00 น. (ในส่วนของ 1 ของภาพที่ 12) และ 16:00 – 18:00 น. (ในส่วนของ 2 ของภาพที่ 12) เท่ากับ 0.439 kWh และ 0.601 kWh ตามลำดับ นำมาชาร์จกับระบบกักเก็บพลังงาน และจ่ายกระแสไฟฟ้าร่วมกับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในช่วงเวลา 10:00 – 16:00 น. ซึ่งแนวคิดนี้จะลงทุนเฉพาะในส่วนของระบบกักเก็บพลังงานไฟฟ้าชนิดแบตเตอรี่เท่านั้น โดยไม่ต้องลงทุนในส่วนของระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มเติมแต่อย่างใด

จากผลการศึกษาข้างต้น สามารถนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับการออกแบบในการใช้งานระบบกักเก็บพลังงานร่วมกับโรงไฟฟ้าเซลล์โซลาร์ขนาดใหญ่ (Solar Farm) เพื่อเพิ่มประโยชน์โดยการเลือกแนวทางการติดตั้งระบบกักเก็บพลังงานชนิดแบตเตอรี่เพิ่มเติม นั้น สามารถดำเนินการได้ทั้ง 2 แนวคิด โดยต้องมีการนำวัตถุประสงค์และอัตราผลตอบแทน (Incentive) ของการติดตั้งและใช้งานระบบกักเก็บพลังงานฯ เพิ่มเติมมาร่วมวิเคราะห์ โดยเบื้องต้น **แนวคิดที่ 1** จะเหมาะสมกับการปรับเปลี่ยนระบบเซลล์แสงอาทิตย์ให้สามารถจำหน่ายไฟฟ้าได้ในระยะเวลาที่ใกล้เคียงหรือเหมือนโรงไฟฟ้าทั่วไปในลักษณะ Firm ที่อาจจะให้บริการได้ไม่ถึง 24 ชั่วโมง โดยในผลการศึกษาก็จะสามารถให้บริการได้ที่ 12 ชั่วโมง โดยในการใช้งานจริงจะต้องมีการคำนวณอัตราผลตอบแทน (Incentive Model) ที่ควรได้รับที่มีมูลค่าเพิ่มสูงขึ้นจากทางภาครัฐ และวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์การเงิน และ **แนวคิดที่ 2** จะเกิดความเหมาะสมถ้าภาครัฐกำหนดนโยบายให้โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถจำหน่ายไฟฟ้าเข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้าฯ ในลักษณะ Firm ที่ระยะเวลาช่วงกลางวัน (Daytime) เท่านั้น โดยไม่สามารถเพิ่มกำลังการผลิตของสัญญาซื้อขายระบบฯ ที่ได้ดำเนินการไว้แล้วนั่นเอง จากผลการศึกษาระบบฯ จะสามารถจำหน่ายไฟฟ้าได้ตั้งแต่เวลา 10:00 – 16:00 น. จำนวน 6 ชั่วโมง โดยแนวคิดนี้ก็ควรจะต้องได้รับผลตอบแทนในอัตราที่เพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน แนวคิดดังกล่าวก็จะเกิดความเหมาะสม เพราะเป็นการลงทุนในส่วนของระบบกักเก็บพลังงานชนิดแบตเตอรี่เพียงอย่างเดียวเท่านั้น

เนื่องจากผู้วิจัยทำงานในฐานะผู้บริหารระดับสูงของบริษัทมหาชนแห่งหนึ่ง ซึ่งประกอบธุรกิจและลงทุนพัฒนาโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน โดยเฉพาะการลงทุนและดำเนินงานในโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ตามสัญญาซื้อขายไฟฟ้า (Power Purchase Agreement) กับกริดไฟฟ้าทั้งสามการจำนวนกว่า 120 โครงการ อีกทั้งบริษัทขออยู่ในระหว่างการดำเนินการก่อสร้างและพัฒนาโครงการโรงไฟฟ้าไฮบริดซึ่งผสมผสานระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 49.1962 เมกะวัตต์พีค (MWp) และ ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานก๊าซชีวภาพขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 0.99 เมกะวัตต์ร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานขนาด 136.24 เมกะวัตต์-ชั่วโมง (MWh) เสนอขายไฟฟ้าตามสัญญาซื้อขายไฟฟ้ากับกริดไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยในรูปแบบ Semi-Firm 16 เมกะวัตต์ที่ราคาเสนอขายแบบ $FIT_{fix} + FIT_v = 2.91$ บาทต่อหน่วย (กิโลวัตต์-ชั่วโมง) ซึ่งระหว่างการยื่นเสนอขายไฟฟ้าตามนโยบายรับซื้อไฟฟ้างดงกล่าว ผู้วิจัยในฐานะผู้รับผิดชอบการพัฒนาโครงการได้ศึกษาเพิ่มเติมและวิเคราะห์ตัวเลขทางการเงินเพื่อประเมินความคุ้มค่าการลงทุน ซึ่งพิจารณาจากมูลค่าการลงทุนที่เกิดขึ้นจริงรวมของทั้งโครงการที่ 2,080 ล้านบาท ซึ่งแบ่งออกได้ดังนี้

- 1) มูลค่าการลงทุนรวมของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 49 เมกะวัตต์พีค (MWp) ที่ 1,000,515,000 บาท
- 2) มูลค่าการลงทุนรวมของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานก๊าซชีวภาพขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 0.99 เมกะวัตต์ (MW) ที่ 73,480,000 บาท
- 3) มูลค่าการลงทุนรวมของระบบกักเก็บพลังงาน (BESS) ขนาด 136.24 เมกะวัตต์-ชั่วโมง (MWh) ที่ 785,333,000 บาท
- 4) มูลค่าการลงทุนรวมของสถานีไฟฟ้าแรงสูงระดับ 115kV และระบบสายส่ง 22kV ทั้งหมดในโรงไฟฟ้ารวมค่าใช้จ่ายอื่นๆ ที่ 220,695,000 บาท

เมื่อพิจารณารวมกับประมาณการปริมาณไฟฟ้าที่จะผลิตได้จากโรงไฟฟ้านี้ตลอดอายุสัญญาที่ 20 ปี ซึ่งพิจารณา Degradation ของระบบทั้งหมดรวมถึงค่า Loss ของการ Charge และ Discharge ของระบบกักเก็บพลังงาน (BESS) โดยประมาณการ Energy-to-Grid จาก HOMER and PVSYST Simulation ซึ่งจัดทำโดย DNVGL และ TRACTEBEL ซึ่งเป็นบริษัทที่ปรึกษาของบริษัท มีผลการคำนวณปริมาณไฟฟ้าที่คาดว่าจะจำหน่ายได้ตลอดอายุสัญญาที่ 1,517.548 GWh หรือเฉลี่ยที่ 75.8774 GWh ต่อปี จึงสรุปและเชื่อได้ว่าการออกแบบปริมาณการผลิตระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ผสมผสานกับระบบกักเก็บพลังงานแบบ BESS พร้อมเสริมด้วยระบบผลิตไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ สามารถจ่ายไฟฟ้าในลักษณะ

FIRM ในช่วงเวลา PEAK คือ 9:00 น. ถึง 22:00 น. ได้ในอัตราต้นทุนค่าไฟฟ้าต่อหน่วย (kWh) ที่ไม่เกิน 2.663 บาทต่อหน่วย ซึ่งจากข้อมูลนี้การเสริมความมั่นใจของผู้วิจัยที่ว่า การจะเปลี่ยนแปลงระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ให้สามารถจ่ายไฟฟ้าเข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้าในรูปแบบ FIRM สามารถทำได้แน่นอน ขึ้นอยู่กับการกำหนดช่วงระยะเวลา และปัจจัยมูลค่าการลงทุนทั้งส่วนที่ต้องเพิ่มกำลังการผลิตด้านเซลล์แสงอาทิตย์ และการลงทุนตามขนาดของระบบก็เก็บพลังงานที่เหมาะสม

อย่างไรก็ตามข้อมูลและตารางการคำนวณเพื่อยืนยันเนื้อหาของวิทยานิพนธ์ในย่อหน้าก่อนนี้ ทางผู้วิจัยไม่สามารถนำมาแสดงหรือตีพิมพ์โดยละเอียดได้เนื่องจากเป็นข้อมูลความลับทางธุรกิจของบริษัท จึงเรียนขอภัยมา ณ โอกาสนี้



บทที่ 5

บทสรุป

งานวิจัยนี้นำเสนอแนวคิดต้นแบบเพื่อนำผลการศึกษาไปประยุกต์ใช้งานออกแบบระบบ กักเก็บพลังงานชนิดแบตเตอรี่ให้เหมาะสมและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าเซลล์ แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่ เพื่อการตอบสนองความต้องการไฟฟ้าที่แตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลา โดย สามารถสรุปได้ว่าถ้าต้องการให้ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ให้บริการผลิต พลังงานไฟฟ้าในลักษณะ Firm ทั้งในส่วนของกำลังการผลิต (Capacity) และพลังงานสุทธิ (Energy) ที่ระยะเวลา 12 ชั่วโมง ต้องมีการติดตั้งและลงทุนทั้งระบบผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงาน แสงอาทิตย์และระบบกักเก็บพลังงานชนิดแบตเตอรี่เพิ่มเติมทั้ง 2 ส่วน ซึ่งต้องมีการประเมินผล ความคุ้มค่าการลงทุนเทียบกับอัตราผลตอบแทน (Incentive) ที่เพิ่มสูงขึ้นซึ่งทางภาครัฐจะเป็นผู้ กำหนดอัตราผลตอบแทนให้ แต่ถ้าต้องการ Firm ที่ระยะเวลา 6 ชั่วโมง ผลการศึกษาแสดงให้เห็น ว่าระยะเวลาดังกล่าวจะมีความเหมาะสมมากกว่าในกรณีที่ไม่ต้องมีการลงทุนในส่วนของระบบ ผลิตกระแสไฟฟ้าเพิ่มเติม และมีความเหมาะสมในกรณีที่ต้องการให้โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ขนาดใหญ่จ่ายพลังงานไฟฟ้าชนิด Firm ในตลอดระยะเวลาช่วงกลางวัน (Daytime) ซึ่งโมเดล ดังกล่าวสามารถนำไปเป็นต้นแบบการประยุกต์ใช้งานออกแบบระบบกักเก็บพลังงานให้เหมาะสม กับโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ของประเทศไทยได้ในอนาคต นอกจากนี้ผลการศึกษาายังช่วยส่งผลให้การ ไฟฟ้าฯ สามารถบริหารโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ที่เดิมนั้นอาจจะมีกำลังการผลิตที่ผันผวนตลอด ทั้งวัน สามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบโดยที่มีการติดตั้งและทำงานร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานชนิด แบตเตอรี่ให้สามารถจำหน่ายพลังงานไฟฟ้าได้เสมือนโรงไฟฟ้าทั่ว ๆ ไป (Conventional Power Plant) ที่ไม่มีความผันผวนของกำลังการผลิตฯ ก่อให้เกิดความเสถียรภาพในระบบโครงข่ายไฟฟ้า ของประเทศ สอดรับกับแนวคิดทางภาครัฐที่กำลังมีการส่งเสริมการผลิตและใช้พลังงานสะอาดใน ทิศทางที่เพิ่มสูงขึ้น เพื่อลดการปลดปล่อยมลภาวะเข้าสู่ชั้นบรรยากาศต่อไป

บรรณานุกรม

- [1] คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน. (2564). **ระเบียบการรับซื้อไฟฟ้าจาก VSPP สำหรับการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน พ.ศ. 2549**. สืบค้นเมื่อ 15 พฤษภาคม 2564; จาก: <https://www.erc.or.th/>.
- [2] จอมภพ แววศักดิ์, สมพล ชีวมงคลกานต์, อภิชาติ คงแป้น, และ อูทัย บุญดำ และ ปราณี หนูทอง แก้ว. (2559). **สมรรถนะของการผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อระบบกริดที่ติดตั้งบนหลังคาขนาดกำลังการผลิตติดตั้ง 3.5 กิโลวัตต์สูงสุด ณ ศูนย์การเรียนรู้สินธุ์แพรของจังหวัดพัทลุง, 2559** ในการประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทยครั้งที่ 9. : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา (ดอยสะเก็ด).
- [3] วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร. (2554). **การศึกษาผลกระทบของระบบจำหน่ายไฟฟ้าจากการเชื่อมต่อระบบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็กที่ติดตั้งบนหลังคากรณีปริมาณติดตั้งสะสมรวมในระดับเมกะวัตต์ (รายงานผลการวิจัย)**. กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน.
- [4] กรมพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (ม.ป.ป.). **การประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์**. สืบค้นเมื่อ 15 พฤษภาคม 2564; จาก: https://www.cssckmutt.in.th/cssc/cssc_training/doc/Designer_CH1toCH5.pdf.
- [5] Vazquez, S., S.M. Lukic, E. Galvan, L.G. Franquelo, and J.M. Carrasco. (2010). Energy Storage Systems for Transport and Grid Applications. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. 57(12): p. 3881-3895.
- [6] Baker, J.N. and A. Collinson. (1999). Electrical energy storage at the turn of the Millennium. *Power Engineering Journal*. 13(3): p. 107-112.
- [7] Chen, H., T.N. Cong, W. Yang, C. Tan, Y. Li, and Y. Ding. (2009). Progress in electrical energy storage system: A critical review. *Progress in Natural Science*. 19(3): p. 291-312.
- [8] Ibrahim, H., A. Ilinca, and J. Perron. (2008). Energy storage systems—Characteristics and comparisons. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 12(5): p. 1221-1250.
- [9] Lasseter, R.H. (2002). MicroGrids. *Proceeding of IEEE Power Engineering Society*

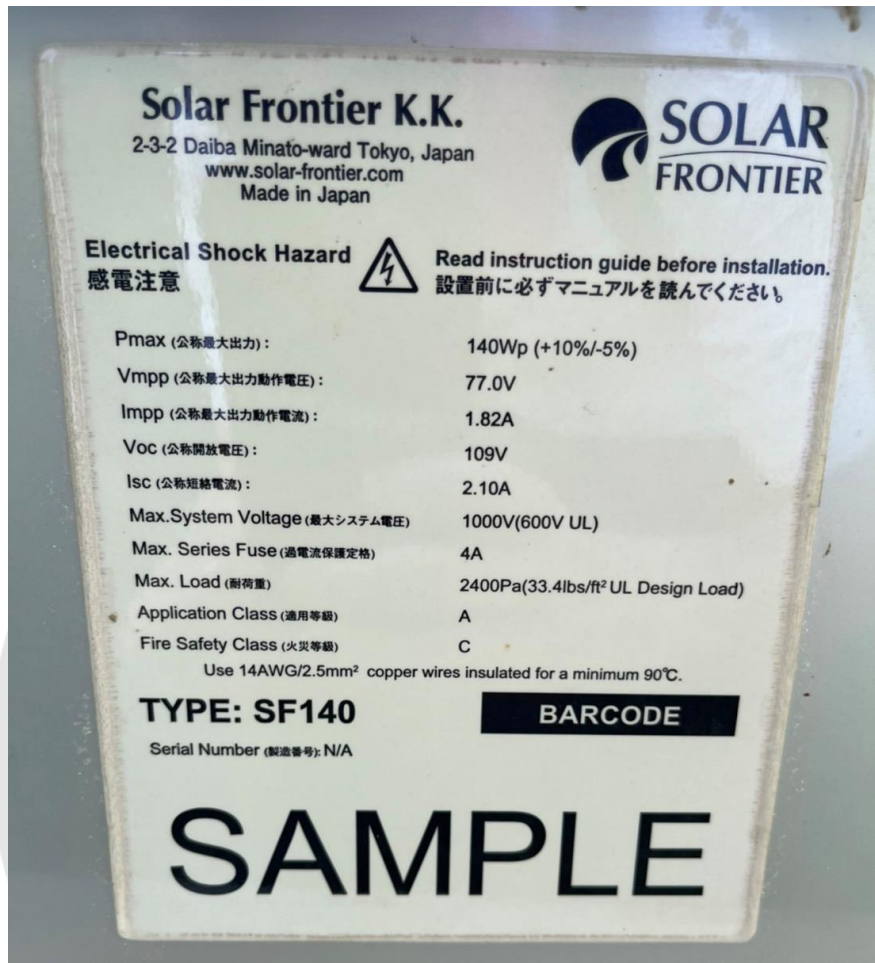
- Winter Meeting. 1(1): p. 305-308.
- [10] International Electrotechnical Commission. (2014). **Microgrids for disaster preparedness and recovery**, 2014.
- [11] Carlos Moreira and M. Voumvoulakis. (2007). **MicroGrids On-Line Security Assessment 2007**.
- [12] Michael Angelo Pedrasa and T. Spooner. (2006). **A survey of techniques used to control microgrid generation and storage during island operation**, 2006.
- [13] A. Zobaa, E. (2013). **Energy Storage -Technologies and Applications**, 2013. InTech.
- [14] EUROBAT. (2011). **Important of Battery Energy Storage for Renewable Energy Supply: An analysis of battery systems and their application in Off-grid, Mini-grid and On-grid Configurations**, 2011.
- [15] Imre Gyuk, Mark Johnson, John Vetrano, Kevin Lynn, William Parks, Rachna Handa, Landis Kannberg, Sean Hearne, Karen Waldrip, and Ralph Braccio. (2013). **Grid Energy storage**, 2013. Department of Energy: U.S.
- [16] G. M. A. Delille. (2010). **Contribution du Stockage à la Gestion Avancée des Systèmes Électriques: approches Organisationnelles et Technico-économiques dans les Réseaux de Distribution**, 2010. Ecole Centrale de Lille.
- [17] Barton, J.P. and D.G. Infield. (2004). Energy storage and its use with intermittent renewable energy. **IEEE Transactions on Energy Conversion**. 19(2): p. 441-448.
- [18] Electrical Energy storage project team. (2011). **Electrical Energy Storage**, 2011. International Electrotechnical Commission.
- [19] ABB. (2019). **ESSPro Grid Battery energy storage systems** สืบค้นเมื่อ 21 ธันวาคม 2564; จาก: www.abb.com.
- [20] Sandia National Laboratories. **DOE Global Energy Storage Database**. สืบค้นเมื่อ 15 พฤษภาคม 2564; จาก: <http://www.energystorageexchange.org>.
- [21] Hara, R., H. Kita, T. Tanabe, H. Sugihara, A. Kuwayama, and S. Miwa. (2009). Testing the technologies. **IEEE Power and Energy Magazine**. 7(3): p. 77-85.



ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยนครพนม

ภาคผนวก ก รายละเอียดคุณลักษณะเฉพาะระบบผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์



ภาพ 13 คุณลักษณะเฉพาะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Amorphous Silicon ที่ใช้ในการวิจัย



APOLLO G-300 series GRID CONNECTED INVERTER

SPECIFICATIONS

MODEL	Wall Mount type Rack Mount type*	G-303	G-304	G-304M2	G-305	G-305M2
RATED POWER	PV input AC output	2.8 kW _p 2.5 kW	3.9 kW _p 3.5 kW	4.7 kW _p 4.2 kW	5.6 kW _p 5 kW	6.25 kW _p 5 kW
SYSTEM	Controller Technology	intelligent with microcomputer controlled IGBT technology				
DC INPUT	Operating voltage range Max. allowable voltage (for short period of time)	165 - 300 V 350 V				
GRID LINE	Voltage and phase	+10%, -15% for 220 Vac and 230 Vac (single phase) according to standards of IEC 61727 and IEC 62116 200 - 240 Vac for 220 Vac (single phase) according to standards of IEC 61727 and IEC 62116 (for PEA grid line) 209 - 240 Vac for 230 Vac (single phase) according to standards of IEC 61727 and IEC 62116 (for MEA grid line)				
	Frequency	50 / 60 Hz = 0.5 Hz for 220 Vac and 230 Vac 50 / 60 Hz = 0.6 Hz for 240 Vac 48 - 51 Hz for 220 Vac and 230 Vac according to standards of IEC 61727 and IEC 62116 (for PEA and MEA grid line)				
AC OUTPUT	Power factor Total harmonic distortion	more than 0.98 total less than 4%, each less than 3%				
ISOLATION	Current limiting Galvanic isolation	110% yes				
EFFICIENCY	Peak efficiency	more than 91%				
CONTROL		automatic cooling fans / MPPT control / unity power factor control				
PROTECTION	Input / Output Islanding Over heat	over voltage / under voltage (AC & DC), frequency (AC) voltage and phase shift detection auto shutdown and auto restart				
INDICATOR	Surge energy dissipation LED LCD display	280 Joules / 0.1 / 0.001 microsec wave form Main, Operating, Alarm DC / AC voltage, Current, Watt, Today kWh, Accumulated kWh, Calendar, Clock, Condition setting, Fault mains failure, inverter fault (inhibitable)				
AUDIABLE ALARM	Multiple tone sound with reset for silence					
COMMUNICATION	DB-9 connector	RS-232 serial interface port				
INTERFACE	RS-485 Adaptor	RS-485 interface (option)				
ACOUSTIC NOISE	At 1 metre	less than 50 dBA				
ENVIRONMENT	Temperature Humidity	0 - 45°C 0 - 95% (non - condensing)				
DIMENSION	Wall mount case Rack mount case	37.5 x 49 x 22.9 48.2 x 19.6 x 47	37.5 x 49 x 22.9 48.2 x 19.6 x 47	43.9 x 52 x 28 48.2 x 22 x 49.7	43.9 x 52 x 28 48.2 x 22 x 49.7	43.9 x 52 x 28 48.2 x 22 x 49.7
WEIGHT in kg. (approximate)	Wall mount case Rack mount case	24 23	24 23	31 26	31 26	31 26
DESIGN REGULATION	Tested according to	AS 4777, AS 3100, IEC 61727 and IEC 62116				

*The rack mount case models are not included the floor standing rack mount enclosure. Continuous product development is our commitment. In that manner, the above specifications may be changed without prior notice.

ภาพ 14 คุณลักษณะเฉพาะของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter) ที่ใช้ในการวิจัย

Day	Hourly global radiation (MJ/m ² -h)																			19 Daily (MJ/m ² -day)
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18							
1	0	0	0.182	0.835	1.543	2.254	2.643	2.79	2.667	2.306	1.727	0.963	0.277	0	18.187					
2	0	0	0.165	0.836	1.635	2.27	2.651	2.771	2.695	2.34	1.746	0.91	0.178	0	18.197					
3	0	0	0.192	0.974	1.674	2.285	2.671	2.765	2.653	2.278	1.686	0.956	0.243	0	18.377					
4	0	0	0.166	0.867	1.666	2.277	2.669	2.83	2.687	2.302	1.709	0.995	0.25	0	18.418					
5	0	0	0.171	0.847	1.664	2.287	2.683	2.844	2.74	2.376	1.751	1.021	0.253	0	18.637					
6	0	0	0.178	0.829	1.6	2.182	2.572	2.697	2.586	2.219	1.683	0.963	0.253	0	17.762					
7	0	0	0.117	0.627	1.421	1.352	1.547	2.479	2.448	2.142	1.486	0.838	0.223	0	14.68					
8	0	0	0.139	0.731	1.465	1.694	2.483	2.657	2.597	1.876	1.691	0.922	0.253	0	16.508					
9	0	0	0.1	0.385	0.843	1.893	2.267	2.459	1.884	1.76	1.129	0.922	0.266	0	13.908					
10	0	0	0.088	0.734	1.456	2.031	2.314	2.489	2.518	2.149	1.627	0.97	0.262	0	16.638					
11	0	0	0.139	0.686	1.469	2.079	2.48	2.691	2.61	2.26	1.705	0.993	0.283	0	17.395					
12	0	0	0.133	0.717	1.468	2.129	2.56	2.672	2.605	2.247	1.696	1.013	0.282	0	17.522					
13	0	0	0.157	0.844	1.598	2.194	2.608	2.757	2.63	2.303	1.774	1.047	0.316	0	18.228					
14	0	0	0.177	0.865	1.595	2.195	2.607	2.857	2.776	2.447	1.861	1.14	0.359	0	18.879					
15	0	0	0.165	0.856	1.609	2.218	2.676	2.849	2.76	2.443	1.847	1.119	0.342	0	18.884					
16	0	0	0.164	0.845	1.606	2.212	2.625	2.785	2.745	2.371	1.83	1.099	0.344	0	18.626					
17	0	0	0.157	0.827	1.533	2.158	2.581	2.757	2.664	2.359	1.82	1.117	0.359	0	18.332					
18	0	0	0.149	0.749	1.602	2.189	2.618	2.82	2.701	2.356	1.771	1.035	0.325	0	18.315					
19	0	0	0.151	0.785	1.531	2.158	2.583	2.776	2.713	2.364	1.8	1.081	0.339	0	18.281					
20	0	0	0.146	0.788	1.535	2.166	2.6	2.782	2.697	2.394	1.828	1.091	0.344	0	18.371					
21	0	0	0.152	0.821	1.524	2.146	2.552	2.78	2.693	2.356	1.785	1.095	0.345	0	18.249					
22	0	0	0.147	0.809	1.541	2.212	2.65	2.804	2.727	2.368	1.838	1.117	0.36	0	18.573					
23	0	0	0.121	0.655	1.341	1.894	2.265	2.442	2.387	2.088	1.601	0.939	0.279	0	16.012					
24	0	0	0.082	0.497	0.912	1.397	2.101	2.538	2.459	2.162	1.612	0.949	0.225	0	14.934					
25	0	0	0.066	0.374	0.98	1.796	2.269	2.553	2.509	2.072	1.37	0.872	0.271	0	15.132					
26	0	0	0.101	0.466	0.83	1.6	2.114	2.047	2.259	2.246	1.627	0.951	0.303	0	14.544					
27	0	0	0.108	0.601	1.379	2.002	2.404	2.66	2.609	2.292	1.731	1.001	0.325	0	17.112					
28	0	0	0.128	0.696	1.42	2.053	2.508	2.679	2.586	2.188	1.75	1.059	0.336	0	17.403					
29	0	0	0.124	0.573	1.316	2.035	2.496	2.696	2.44	2.398	1.796	1.107	0.365	0	17.346					
30	0	0	0.133	0.695	1.407	2.029	2.492	2.674	2.738	2.39	1.813	1.157	0.384	0	17.912					
31	0	0	0.12	0.633	1.284	1.942	2.41	2.644	2.634	2.299	1.695	1.021	0.333	0	17.015					

ภาพ 15 ตัวอย่างชุดข้อมูลรังสีอาทิตย์ (Solar Radiation) รายชั่วโมงที่ใช้ในการวิเคราะห์ และออกแบบงานวิจัย

Day	Hourly global radiation (kW/m ²)														Daily (kW/m ² -day)
	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
1	0.00	0.00	50.56	231.96	428.65	626.16	734.23	775.06	740.89	640.61	479.76	267.52	76.95	0.00	5052.35
2	0.00	0.00	45.84	232.24	454.20	630.61	736.45	769.78	748.67	650.05	485.04	252.80	49.45	0.00	5055.13
3	0.00	0.00	53.34	270.58	465.04	634.77	742.00	768.12	737.00	632.83	468.37	265.58	67.51	0.00	5105.13
4	0.00	0.00	46.11	240.85	462.81	632.55	741.45	786.17	746.45	639.50	474.76	276.41	69.45	0.00	5116.52
5	0.00	0.00	47.50	235.30	462.26	635.33	745.34	790.06	761.17	660.05	486.43	283.63	70.28	0.00	5177.36
6	0.00	0.00	49.45	230.30	444.48	606.16	714.50	749.23	718.39	616.44	467.54	267.52	70.28	0.00	4934.28
7	0.00	0.00	32.50	174.18	394.75	375.59	429.76	688.67	680.05	595.05	412.81	232.80	61.95	0.00	4078.10
8	0.00	0.00	38.61	203.07	406.98	470.59	689.78	738.11	721.45	521.15	469.76	256.13	70.28	0.00	4585.92
9	0.00	0.00	27.78	106.95	234.19	525.88	629.77	683.11	523.38	488.93	313.64	256.13	73.89	0.00	3863.64
10	0.00	0.00	24.45	203.91	404.48	564.21	642.83	691.44	699.50	596.99	451.98	269.47	72.78	0.00	4622.04
11	0.00	0.00	38.61	190.57	408.09	577.55	688.94	747.56	725.06	627.83	473.65	275.86	78.62	0.00	4832.33
12	0.00	0.00	36.95	199.18	407.81	591.44	711.17	742.28	723.67	624.22	471.15	281.41	78.34	0.00	4867.61
13	0.00	0.00	43.61	234.46	443.92	609.49	724.50	765.89	730.61	639.77	492.82	290.86	87.78	0.00	5063.74
14	0.00	0.00	49.17	240.30	443.09	609.77	724.22	793.67	771.17	679.78	516.99	316.69	99.73	0.00	5244.59
15	0.00	0.00	45.84	237.80	446.98	616.16	743.39	791.45	766.73	678.67	513.10	310.86	95.01	0.00	5245.98
16	0.00	0.00	45.56	234.74	446.15	614.49	729.23	773.67	762.56	658.66	508.37	305.30	95.56	0.00	5174.30
17	0.00	0.00	43.61	229.74	425.87	599.49	717.00	765.89	740.06	655.33	505.60	310.30	99.73	0.00	5092.63
18	0.00	0.00	41.39	208.07	445.04	608.10	727.28	783.40	750.34	654.50	491.98	287.52	90.29	0.00	5087.91
19	0.00	0.00	41.95	218.07	425.31	599.49	717.56	771.17	753.67	656.72	500.04	300.30	94.17	0.00	5078.46
20	0.00	0.00	40.56	218.91	426.42	601.71	722.28	772.84	749.23	665.05	507.82	303.08	95.56	0.00	5103.46
21	0.00	0.00	42.23	228.07	423.37	596.16	708.95	772.28	748.12	654.50	495.87	304.19	95.84	0.00	5069.57
22	0.00	0.00	40.84	224.74	428.09	614.49	736.17	778.95	757.56	657.83	510.60	310.30	100.01	0.00	5159.58
23	0.00	0.00	33.61	181.96	372.53	526.15	629.22	678.39	663.11	580.05	444.76	260.85	77.51	0.00	4448.13
24	0.00	0.00	22.78	138.07	253.35	388.09	583.66	705.06	683.11	600.60	447.81	263.63	62.51	0.00	4148.67
25	0.00	0.00	18.33	103.90	272.24	498.93	630.33	709.22	697.00	575.60	380.59	242.24	75.28	0.00	4203.67
26	0.00	0.00	28.06	129.45	230.57	444.48	587.27	568.66	627.55	623.94	451.98	264.19	84.17	0.00	4040.32
27	0.00	0.00	30.00	166.96	383.09	556.16	667.83	738.95	724.78	636.72	480.87	278.08	90.29	0.00	4753.71
28	0.00	0.00	35.56	193.35	394.48	570.32	696.72	744.23	718.39	607.83	486.15	294.19	93.34	0.00	4834.55
29	0.00	0.00	34.45	159.18	365.58	565.32	693.39	748.95	677.83	666.16	498.93	307.52	101.40	0.00	4818.72
30	0.00	0.00	36.95	193.07	390.86	563.66	692.28	742.84	760.62	663.94	503.65	321.41	106.68	0.00	4975.95
31	0.00	0.00	33.34	175.85	356.70	539.49	669.50	734.50	731.73	638.66	470.87	283.63	92.51	0.00	4726.77
average	0.00	0.00	38.69	201.15	398.30	567.51	687.32	744.18	720.64	628.64	473.02	281.95	83.13	0.00	4824.55

ภาพ 16 ผลการคำนวณค่ารังสีอาทิตย์ (Solar Radiation) เฉลี่ยรายชั่วโมงที่ใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบงานวิจัย

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-นามสกุล ชั้พมนต์ จันทรพงศ์พันธ์ุ
วัน เดือน ปี เกิด
ที่อยู่ปัจจุบัน
ที่ทำงานปัจจุบัน บริษัท ซุปเปอร์ เอนเนอร์ยี คอร์ปอเรชั่น จำกัด (มหาชน)
223/61 อาคารคันทรีคอมเพล็กซ์ เอ ชั้น 19 ถนนสรรพาวุธ
แขวงบางนาใต้ เขตบางนา กรุงเทพมหานคร 10260
ตำแหน่งหน้าที่ปัจจุบัน กรรมการ และ รองกรรมการผู้จัดการ (สายงานพัฒนาธุรกิจใหม่และการ
ลงทุนในต่างประเทศ)
ประวัติการศึกษา พ.ศ. 2539 บริหารธุรกิจบัณฑิต (การเงินการธนาคาร)
มหาวิทยาลัยรังสิต
รางวัลที่ได้รับ ชั้พมนต์ จันทรพงศ์พันธ์ุ, ธวัช สุวิงษ์ และยอดธง เม่นสิน. การประยุกต์ใช้
ระบบกักเก็บพลังงานร่วมกับโรงไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดใหญ่เพื่อเพิ่ม
ประสิทธิภาพ. การประชุมวิชาการระดับชาติ นเรศวรวิจัยและนวัตกรรม
ครั้งที่ 17 “Resilience for Never Normal Era”, 2564