

แนวทางระบบจัดการพลังงานบนพื้นที่เกาะสมุย ด้วยโรงไฟฟ้าเสมือน

(Energy Management System on Samui Island using Virtual Power Plant)

นายสัมประสิทธิ์ ประสพสุข¹, นายวิชณ พรหมรัตน์²

¹กองวิศวกรรมและวางแผน ฝ่ายวิศวกรรมและบริการ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 2 (ภาคใต้) samprasit.pra@pea.co.th

²กองปฏิบัติการ ฝ่ายปฏิบัติการและบำรุงรักษา การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 2 (ภาคใต้) Witsanu.promrat@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอแนวทางจัดการพลังงานบนพื้นที่เกาะสมุยและเกาะช้างเคียงเพื่อแก้ปัญหาความไม่เพียงพอของแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าในกรณีที่เกิดเหตุขัดข้องกับสายส่งเคเบิลใต้น้ำวงจรหลักด้วยการผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กแบบกระจายด้วยระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา (Solar Rooftop) ขนาด 5 kW ร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานโดยใช้แบตเตอรี่ (Battery) ขนาด 5kW/18 kWh และ อินเวอร์เตอร์ จำนวน 4,100 หน่วย ร่วมกันจ่ายพลังงานผ่านระบบไฟฟ้าด้านแรงต่ำในพื้นที่ ผสมรวมข้อมูลสารสนเทศของแต่ละหน่วยให้สามารถควบคุมสั่งการได้เสมือนเป็นโรงไฟฟ้าขนาดกลางหรือขนาดใหญ่หน่วยหนึ่งเรียกว่าโรงไฟฟ้าเสมือน (Virtual Power Plant, VPP)

คำสำคัญ: Energy Management System, Virtual Power Plant, PV Generation, Solar Rooftop, BESS, Battery.

1. บทนำ

เกาะสมุยเป็นพื้นที่ท่องเที่ยวที่มีความนิยมเป็นอันดับต้นๆของประเทศไทยและมีชื่อเสียงในระดับโลก มีลักษณะเป็นเกาะตั้งอยู่กลางทะเลอ่าวไทย ห่างจากชายฝั่งประมาณ 35 กิโลเมตร ในแต่ละปีจะมีนักท่องเที่ยวเดินทางเข้ามาท่องเที่ยวเป็นจำนวนมาก พร้อมทั้งมีโรงแรมและห้างสรรพสินค้าเพื่ออำนวยความสะดวกแก่นักท่องเที่ยวกระจายโดยรอบพื้นที่ของเกาะ ส่งผลให้การใช้ไฟฟ้าในพื้นที่เกาะสมุยมีปริมาณมากตามไปด้วย

การส่งพลังงานไฟฟ้ามายังพื้นที่เกาะสมุย จะส่งผ่านสายส่งเคเบิลใต้น้ำ 115 kV จำนวน 2 วงจรหลัก และมีวงจรสำรองซึ่งเป็นวงจรเดิมใกล้เสื่อมสภาพขนาด 33 kV จำนวน 2 วงจร ซึ่งหากวงจรหลัก 115 kV วงจรใดวงจรหนึ่งชำรุด จะส่งผลให้ปริมาณแหล่งจ่ายไม่เพียงพอกับความต้องการใช้ไฟฟ้าในพื้นที่ ทำให้ต้องมีการปลดโหลดบางส่วน (Shedding Load)

ในบางช่วงเวลา จึงทำให้เกิดแนวคิดที่จะเพิ่มปริมาณแหล่งจ่ายในพื้นที่ เพื่อให้สามารถช่วยเสริมระบบไฟฟ้าหลัก (Main Grid) ในการจ่ายไฟได้บางส่วน

ระบบการจัดการพลังงาน (Energy Management System) [1] คือระบบการบริหารจัดการพลังงานทั้งฝั่งการผลิต (Generation Side) และ ฝั่งความต้องการใช้งาน (Demand Side) ให้มีกระบวนการเฝ้าสังเกต (Monitoring) ควบคุม (Controlling) และประหยัดพลังงาน (Conserving) มีกลไกผนวกรวมข้อมูลสารสนเทศที่เชื่อมกับองค์ประกอบย่อยขนาดเล็กในหน่วยต่างๆ ซึ่งมีจำนวนมาก และติดตั้งใช้งานอย่างกระจัดกระจายในระบบโครงข่ายไฟฟ้า ให้สามารถควบคุมสั่งการองค์ประกอบย่อยเหล่านั้นได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นเสมือนกับการสั่งการองค์ประกอบหลักในระบบโครงข่ายไฟฟ้า เช่น โรงไฟฟ้าเสมือน (Virtual Power Plant, VPP)

บทความ [2] นำเสนอ DG แบบกระจาย และ VPP ในระบบจำหน่าย โดย VPP สามารถร่วมกันจ่ายพลังงานในพื้นที่ได้ แต่พบปัญหาในเรื่องของความพร้อมใช้งาน (Availability) และความแปรปรวนของแหล่งพลังงาน, ใน [3] นำเสนอระบบพยากรณ์และคาดการณ์ปริมาณการใช้โหลดล่วงหน้า 24 ชั่วโมง เพื่อวางแผนการจ่ายโหลด (Dispatch Scheduling) ของ VPP

จากปัญหาการจ่ายโหลดในพื้นที่เกาะสมุยในกรณีฉุกเฉินเมื่อเกิดเหตุขัดข้องกับสายส่งเคเบิลใต้น้ำวงจรหลัก บทความนี้นำเสนอแนวทางการจัดการพลังงานในพื้นที่เกาะสมุยด้วยโรงไฟฟ้าเสมือน

2. ทฤษฎีและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

2.1 โรงไฟฟ้าเสมือน (Virtual Power Plant, VPP)

โรงไฟฟ้าเสมือน (Virtual Power Plant, VPP) [4] เป็นการผนวกรวมข้อมูลสารสนเทศจากการผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กแบบกระจาย (Distribution Generation, DG) หรือการผลิตและกักเก็บพลังงานขนาดเล็กแบบกระจาย (Distribution

Energy Resource) ในพื้นที่ เพื่อให้สามารถควบคุมสั่งการได้เสมือนเป็นโรงไฟฟ้าขนาดกลางหรือขนาดใหญ่หน่วยหนึ่ง

2.2 ชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic, PV) [5]

ชุดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ใช้สำหรับแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current) ติดตั้งรวมกันหลายแผงเป็นระบบผลิตไฟฟ้า (PV Generation System) โดยขนาดกำลังผลิตติดตั้งอาจพิจารณาจากความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดของพื้นที่ หรือพิจารณาร่วมกับแหล่งพลังงานอื่น โดยจะมีการควบคุมการทำงานของระบบผลิตผ่านอินเวอร์เตอร์ (Inverter)

2.2 อินเวอร์เตอร์ (Inverter) [5]

อินเวอร์เตอร์ (Inverter) ใช้แปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ สามารถเชื่อมต่อและส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เข้าสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้ากระแสสลับของ กฟผ. โดยมีการควบคุมการทำงานของ PV Generation System 2 วิธี คือ 1. ควบคุมกำลังไฟฟ้าจริง (Real Power) และกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (Reactive Power) หรือ PQ Control Mode 2. ควบคุมกำลังไฟฟ้าจริง (Real Power) และ แรงดันไฟฟ้า (Voltage) หรือ PV Control Mode และมีฟังก์ชัน การติดตามการทำงานให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Point Tracking, MPPT) การป้องกันการแยกโดด (Anti Islanding) การข้ามผ่านความผิดปกติ (Fault Ride Through)

2.3 มิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart Meter) [6]

การพัฒนาของ มิเตอร์ไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart Meter) เริ่มจากเทคโนโลยี Automated Meter Reading (AMR) คือ การควบคุมและจัดการจากทางไกลในทิศทางเดียว เพื่อแก้ปัญหาการเดินทางไปจดหน่วยและการตรวจสอบปริมาณการใช้ไฟฟ้า จากนั้นพัฒนาเป็น Automated Meter Management (AMM) ซึ่งสามารถสื่อสารได้ 2 ทาง เพื่อป้องกันการใช้ไฟฟ้าที่ไม่ถูกต้อง โดยผู้ควบคุมระบบสามารถสั่งการให้หยุดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ทันที และสุดท้ายเป็นเทคโนโลยี Automated Demand Respond (ADR) มีความสามารถในการปรับเปลี่ยนการใช้พลังงานของผู้ใช้ไฟฟ้าให้เหมาะสมเสถียรภาพของระบบผลิตพลังงาน (Generation Side)

Smart Meter เป็นตัววัดพลังงานและยังเป็นตัวเชื่อมต่อระหว่างโครงข่ายไฟฟ้ากับผู้ใช้/ผลิตไฟฟ้า (Prosumer) ทำให้ผู้ดูแลโครงข่ายสามารถควบคุม บริหารจัดการการผลิตไฟฟ้า จ่ายไฟฟ้า จัดเก็บและใช้พลังงานไฟฟ้าได้ มีความสามารถสื่อสาร 2 ทางได้ โดยมีคุณสมบัติรองรับดังนี้ 1. การรับและสั่งการใช้ไฟฟ้าแบบ Real Time 2. การรับรู้สถานการณ์ใช้ไฟฟ้า ค่าไฟฟ้า ณ เวลานั้น 3. การควบคุมและจัดการอุปกรณ์ไฟฟ้า

จากระยะทางไกล 4. มีข้อมูลคุณภาพไฟฟ้า 5. รับรู้ข้อมูลกระแสไฟฟ้าขัดข้องและสถานการณ์แก้ไขได้

2.4 โครงสร้างพื้นฐานด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ [5]

โครงสร้างพื้นฐานด้านเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร (ICT Infrastructure) คือการเชื่อมโยงและบูรณาการเพื่อให้องค์ประกอบของโครงข่ายไฟฟ้าสามารถทำงานร่วมกันได้ (Interoperability) ตามฟังก์ชันที่ต้องการโดยใช้เทคโนโลยีระบบสื่อสารเช่น สายใยแก้วนำแสง (Optical Fiber) ระบบสื่อสารข้อมูลผ่านสายไฟฟ้า (Power Line Communication, PLC) หรือการสื่อสารแบบไร้สาย เช่น ระบบ UHF

2.5 ระบบกักเก็บพลังงานไฟฟ้า [7]

ระบบกักเก็บพลังงานไฟฟ้า (Energy Storage System) คือระบบที่สามารถเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานรูปอื่นเพื่อสะสมไว้ (Charge) และสามารถเปลี่ยนกลับมาจ่ายคืนเป็นพลังงานไฟฟ้า (Discharge) ได้เมื่อความต้องการ โดยสามารถแบ่งได้หลายเทคโนโลยี เช่น ระบบกักเก็บพลังงานแบบสูบน้ำกลับ (Pump Hydro Energy Storage System) ระบบกักเก็บพลังงานชนิดอัดอากาศ (Compress Air Energy Storage System) ระบบกักเก็บพลังงานชนิดล้อกระตุ่นกำลัง (Flywheel Energy Storage System) และระบบกักเก็บพลังงานชนิดแบตเตอรี่ (Battery Energy Storage System)

2.6 ข้อมูลการส่งพลังงานไฟฟ้ามาพื้นที่เกาะสมุย

ปริมาณการใช้กระแสไฟฟ้าบนเกาะสมุยประมาณ 135 MW โดยจ่ายจากสถานีไฟฟ้าเกาะสมุย 1 ประมาณ 59 MW และ สถานีไฟฟ้าเกาะสมุย 2 ประมาณ 76 MW (ข้อมูล ณ วันที่ 18 เม.ย. 2562)

ตารางที่ 1 ข้อมูล Capacity พื้นที่ อ.เกาะสมุย

Submarine Cable	Nominal Voltage	Type	Capacity (MW)
1.KN-KMA	33	XLPE	15 (Emergency)
2.KN-KMA	33	Oil Filled	14 (Emergency)
3.KN-KMA	115	XLPE	66
4.KN-KMB	115	XLPE	86
Total Capacity			181

3. การออกแบบ EMS ด้วย VPP

จากข้อมูลการส่งพลังงานไปยังเกาะสมุย พบว่าหากวงจรที่มี Capacity สูงที่สุดชำรุดไป 1 วงจร จะส่งผลให้ แหล่งจ่ายพลังงาน (Supply) ไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้ไฟฟ้า

(Demand) แต่ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่ 135 MW จะมีแค่ช่วงประมาณเดือน เมษายน ซึ่งในเดือนอื่นจะมีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าประมาณ 100 MW หากมีแหล่งพลังงานขนาด 10 MW เพิ่มขึ้น เมื่อเกิดเหตุขัดข้องกับสายเคเบิลใต้น้ำในเดือนอื่นนอกเหนือจากเดือนเมษายนก็จะเพียงพอต่อปริมาณการใช้ภายในพื้นที่ บทความนี้จึงนำเสนอการออกแบบการจัดการพลังงานด้วยโรงไฟฟ้าเสมือน (VPP) ขนาด 10 MW โดยการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา (Solar Rooftop) ร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานโดยใช้แบตเตอรี่ (Battery) และอินเวอร์เตอร์ กระจายในพื้นที่อำเภอเกาะสมุยและเกาะช้างเคียงในพื้นที่รับผิดชอบของ กพอ.เกาะสมุย ร่วมกันจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้ระบบไฟฟ้าหลัก(Main Grid) โดยการเชื่อมต่อที่ระดับแรงดันต่ำ Solar Rooftop ร่วมกันผลิตพลังงานไฟฟ้าตามรูปที่ 1 และ VPP สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าขนาด 10 MW ตลอดในช่วง Peak (on peak period (09:00-22:00)) ดังแสดงในรูปที่ 2 (ภาพประกอบในรูปที่ 1 และ 2 จาก [8])

3.1 การออกแบบกำลังผลิตติดตั้งของ PV

การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์มีลักษณะเป็น Sinusoidal Function ดังรูปที่ 1 การหาขนาดกำลังผลิตติดตั้งของ PV (P_{max}) เพื่อให้สามารถชาร์จแบตเตอรี่ได้เพียงพอสำหรับการจ่ายพลังงานขนาด 10 MW ตลอดช่วงพีคสามารถคำนวณได้จากสมการ (1) และ (2) [8] โดยผลการคำนวณเพื่อหาลำโพงผลิตติดตั้งทั้งหมดของ PV ได้เท่ากับ 20.42 MW

$$P_{pv} = P_{max} \sin \pi f t \quad (1)$$

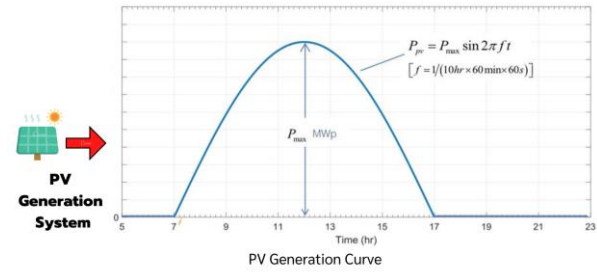
$$E_{PV} = P_{max} \int_{t_0}^{t_n} \sin \pi f t \quad (2)$$

หาขนาดพลังงานของ VPP ได้จากสมการ (3)

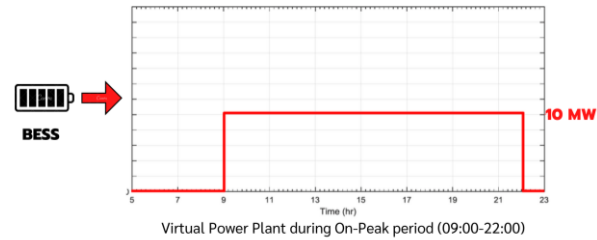
$$E_{VPP} = MW \times t \quad (3)$$

ขนาดพลังงานของ VPP เท่ากับ

$$E_{VPP} = (10MW)(22 - 9) = 130 MWh$$



รูปที่ 1 กราฟการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์



รูปที่ 2 กราฟการจ่ายพลังงานขนาด 10 MW ของ VPP ช่วง On-Peak

หาลำโพงผลิตติดตั้งได้จากสมการ (4)

$$E_{PV} = P_{max} \int_0^{10} \sin \pi f t \quad (4)$$

$$E_{PV} = P_{max} (6.3662)$$

กำลังผลิตติดตั้ง (PV Generation) เท่ากับ

$$P_{max} = 20.42 MW$$

โดยถ้าติดตั้ง PV Panel ขนาด 5 kW จะต้องติดตั้งประมาณ 4,100 แผง

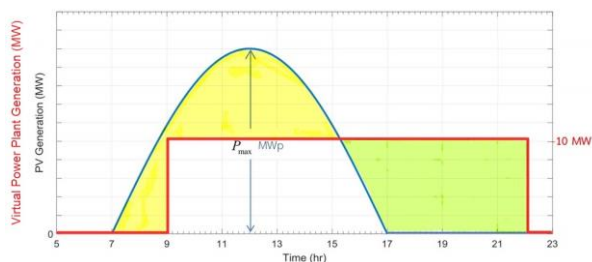
3.2 การออกแบบขนาดของ BESS

การออกแบบขนาดของ BESS ให้มีความเหมาะสม ในบทความนี้ออกแบบให้ส่วนเหลือในช่วงกลางวันมีการ Charge เข้าแบตเตอรี่ (พื้นที่เหลือในกราฟพระจันทร์) ของรูปที่ 3 และ Discharge จ่ายให้ระบบไฟฟ้าหลักในช่วงเย็น (พื้นที่สีเขียว) สามารถคำนวณได้จาก (5) ขนาดของ BESS เท่ากับ 57.57 MW

$$E_{charge} = \left[P_{max} \int_7^9 \sin \pi f t \right] + \left[\left[P_{max} \int_9^{15.74} \sin \pi f t \right] - [(10MW)(15.74 - 9)] \right] \quad (5)$$

$$E_{charge} = 57.57 MW$$

ใช้ Lithium-ion Battery มี Nominal Energy = 18 kWh, Max. DOD 80%, Nominal Voltage 47.8 v, Maximum Continuous Power 5 kW (2C Rating)



รูปที่ 3 กราฟแสดงการ Charge และ Discharge ของ VPP

3.3 เทคโนโลยีของระบบสารสนเทศพื้นฐาน (AMI)

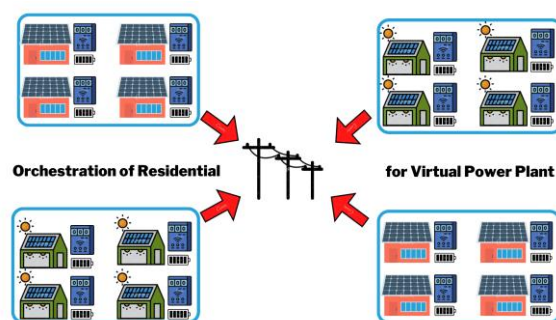
การทำงานของ VPP ต้องอาศัยโครงสร้างสารสนเทศและการสื่อสารเพื่อเชื่อมโยงข้อมูลการผลิตขนาดเล็กที่กระจายตามพื้นที่ต่างๆ เข้าด้วยกัน ในบทความนี้จะนำเสนอเทคโนโลยีสื่อสารที่ใช้มาตรฐานแบบเปิดที่สามารถแลกเปลี่ยนและบูรณาการข้อมูลเพื่อประโยชน์ในการตรวจวัด ควบคุม สั่งการได้ โดยแบ่งเป็น 5 กลุ่ม คือ 1. Smart Meter อาศัยเทคโนโลยีสื่อสาร 2 ท วั ง (Two-way communications) 2. Wide Area communications เช่น GE-PON สายใยแก้วนำแสง (Optical Fiber) หรือเทคโนโลยีไร้สาย GPRS, 3G, LTE (Wireless Cellular) 3. Home (Local) area network (HAN, NAN) เช่น PLC (Power Line), ZigBee, 6LoWPAN (2.4GHz 20dBm, Sub-GHz (10dBm)), Hi-Power RF (5.8GHz 30 dBm) 4. เท ค โ น โล ยี Meter Data Management Systems (MDMS) 5. Security

4 ระบบที่นำเสนอ

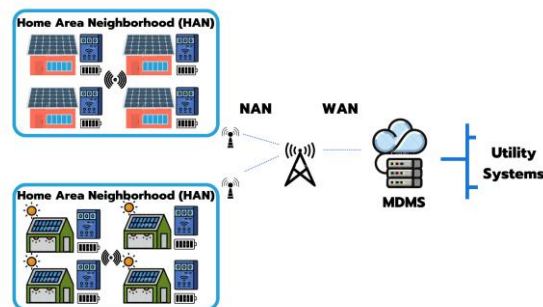
บทความนี้นำเสนอแนวทางการจัดการพลังงานในพื้นที่เกาะสมุยด้วยวิธีโรงไฟฟ้าเสมือน (VPP) โดยการใช้ ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์บนหลังคาและใช้แหล่งกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ โดยออกแบบความสามารถในการจ่ายกำลังที่ 5 kW และสามารถกักเก็บที่ 5kW/18 kWh ร่วมกันจ่ายให้ระบบไฟฟ้าหลักดังรูปที่ 4

การส่งข้อมูลกำลังผลิตที่ได้จากระบบผลิตไฟฟ้าจาก PV ของแต่ละหน่วยอาศัย Smart Meter เป็นตัวกลางในการส่งข้อมูลและควบคุมการจ่ายมายังระบบไฟฟ้าหลัก ผ่านโครงข่ายการสื่อสารเป็นระดับชั้นตั้งแต่ Home Area Neighborhood (HEM), Neighborhood Area Network (NAN), Wide Area Network (WAN) ไปยังระบบ Meter Data Management System (MDMS) ดังแสดงในรูป 5

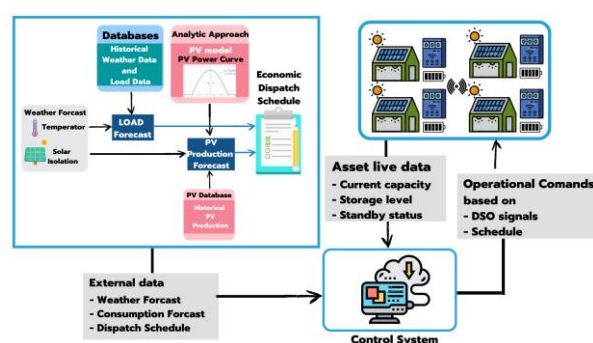
ภาพใหญ่ของระบบ VPP ที่นำเสนอเป็นการผนวกของข้อมูลจากระบบพยากรณ์อากาศและคาดคะเนปริมาณโหลดใน 24 ชั่วโมงถัดไป ร่วมกับสถานะกำลังผลิตปัจจุบัน ความพร้อมในการจ่ายไฟ โดยมีศูนย์ควบคุมเป็นผู้พิจารณาบริหารจัดการระบบจำหน่าย ดังรูปที่ 6



รูปที่ 4 การร่วมกันจ่ายพลังงานของหน่วยผลิตแบบกระจายให้กริดหลัก



รูปที่ 5 การเชื่อมโยงข้อมูลสารสนเทศและการสื่อสารของ VPP



รูปที่ 6 ระบบควบคุมของ VPP

5 สรุป

บทความนี้กล่าวถึงแนวทางการเพิ่มกำลังผลิตที่พึ่งพาได้จากการผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กแบบกระจายด้วยระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา (Solar Rooftop) ร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานโดยใช้แบตเตอรี่ (Battery) และ อินเวอร์เตอร์ ร่วมกันจ่ายพลังงานในพื้นที่อำเภอเกาะสมุยและเกาะช้างเคียง เพื่อแก้ปัญหาการปลดโหลดบางส่วน กรณีการเกิดเหตุขัดข้องกับสายส่งเคเบิลใต้น้ำวงจรหลัก และเพื่อเป็นการชะลอการลงทุนก่อสร้างสายส่งเคเบิลใต้น้ำ โดยเฉพาะกรณีมีข้อจำกัดด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติทางทะเล

สำหรับแนวทางในการพัฒนาและพิจารณาให้สามารถดำเนินการได้จริงจะต้องพิจารณาค่าใช้จ่ายในการลงทุน (Capital Expenses, CAPEX) ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ (Operational Expenses, OPEX) ร่วมด้วย

เอกสารอ้างอิง

- [1] H. A. Mostafa, R. E. Shatshat and M. M. A. Salama, "A review on energy management systems," 2014 IEEE PES T&D Conference and Exposition, 2014, pp. 1-5, doi: 10.1109/TDC.2014.6863413.
- [2] L. I. Dulău, M. Abrudean and D. Bică, "Distributed generation and virtual power plants," 2014 49th International Universities Power Engineering Conference (UPEC), 2014, pp. 1-5, doi: 10.1109/UPEC.2014.6934630.
- [3] S. Essakiappan, E. Shoubaki, M. Koerner, J. Rees and J. Enslin, "Dispatchable Virtual Power Plants with forecasting and decentralized control, for high levels of distributed energy resources grid penetration," 2017 IEEE 8th International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG), 2017, pp. 1-8, doi: 10.1109/PEDG.2017.7972554.
- [4] N. Etherden, V. Vyatkin and M. H. J. Bollen, "Virtual Power Plant for Grid Services Using IEC 61850," in IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 12, no. 1, pp. 437-447, Feb. 2016, doi: 10.1109/TII.2015.2414354.
- [5] นนทบุรี ทุนเจริญ, “การพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริด กรณีศึกษาเมืองแม่ฮ่องสอน”, 2559, กรุงเทพมหานคร, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [6] สุนทรีย์ ชัยพิชิต, “Smart Meter”, วารสาร Technology Promotion, 2013.
- [7] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, “เทคโนโลยีกักเก็บพลังงาน Energy Storage System”, 2016.
- [8] Asst. Prof. Surapong Suwankawin, D.Eng. “Lecture Sheet of Power Electronics for Smart Grids and Renewable Energy”, Department of Electrical Engineering, FACULTY OF ENGINEERING, CHULALONGKORN UNIVERSITY.