

การตอบสนองของระบบสะสมพลังงานสำหรับอาคารที่มีการติดตั้งแผงพลังงาน
แสงอาทิตย์บนหลังคา กรณีศึกษาพลังงานแสงอาทิตย์มีความไม่สม่ำเสมอ

THE ENERGY STORAGE SYSTEM RESPONSE ON THE SOLAR-ROOF BUILDING CASE STUDY: FLUCTUATED SOLAR POWER

สมชาย เจียจิตต์สวัสดิ์¹ ประพันธ์ พิกุลทอง¹ ธเนศ วิลาสมงคลชัย^{2,*}
Somchai Jiajitsawat¹ Praphun Pikultong¹ Thanet Vilasmongkolchai^{2,*}

Received : 31 May 2020

Revised : 02 Jun 2020

Accepted : 28 Jun 2020

¹ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

² คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

*Corresponding author E-mail : thanetv@siamtechno.ac.th

บทคัดย่อ

พลังงานแสงอาทิตย์ได้รับผลกระทบจากความไม่สม่ำเสมอของแสงอาทิตย์และส่งผลกระทบต่อพลังงานที่ผลิตได้ไม่สม่ำเสมอ ซึ่งการใช้เทคโนโลยีเพื่อการพยากรณ์ตลอดจนระบบติดตามด้านพลังงานก็ไม่อาจแก้ไขปัญหาความผันผวนที่ส่งผลกระทบต่อสายส่งได้มากนัก ดังนั้นการแก้ไขปัญหาความผันผวนของพลังงานโดยใช้ระบบสะสมพลังงานจึงมีความจำเป็น แต่ต้องประกอบด้วยระบบการติดตามค่าพลังงานที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาได้ อย่างไรก็ตามความผันผวนของพลังงานแสงอาทิตย์รวมถึงสภาพอากาศฤดูฝนได้ส่งผลกระทบต่อระดับพลังงานที่สะสมอยู่ในแบตเตอรี่ทำให้ส่งผลกระทบต่อคุณภาพในการตอบสนองของระบบสะสมพลังงานเพื่อชดเชยการผันผวนของพลังงานดังกล่าว ในงานวิจัยนี้ได้มีการทดสอบระบบควบคุมแบบจัดลำดับความสำคัญ ซึ่งได้แสดงผลการตอบสนองที่ดีต่อการบันทึกผลตามช่วงสถานการณ์ ได้แก่ สถานการณ์พลังงานแสงอาทิตย์อยู่ในระดับต่ำ – สูง และมีความผันผวนนอกจากนี้ได้ทำการเปรียบเทียบผลในสถานการณ์ความต้องการกำลังไฟฟ้าสูง พบว่า ระบบสามารถตอบสนองได้ดี และในสถานการณ์สภาวะแบตเตอรี่ต่ำระบบจะมุ่งเน้นไปที่การประจุไฟฟ้าให้ระบบสะสมพลังงานเพื่อเตรียมการในช่วงความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงในช่วงค่ำ

คำสำคัญ: ระบบสะสมพลังงาน, พลังงานแสงอาทิตย์ไม่สม่ำเสมอ, เชื่อมต่อกริด

Abstract

Electrical energy generated from PV array affected by the solar fluctuation and make energy intermittent. The intermittent of environmental condition is the big problem of the using renewable energy, the forecast technology and monitoring system cannot manage for smoothing power as perfect. So, the use of energy storage system to solve the power fluctuation problem was necessary, but need to track the power changed instantaneously for the best in energy compensate. However, the highly fluctuated solar power and the rainy season has affected to the energy stored in batteries bank, then it cannot discharge to compensate perfectly. The priority based controlling scheme in this work shown the good results for high solar power and low solar power and also solar

power fluctuated. Besides, the high electricity demand scenario the system working well in peak shaving application. In case of low battery, the system would prior to charging energy storage first to prepare the energy prompt in the evening.

Keywords: Energy Storage System, Fluctuated Solar Power, Grid Connected

1. บทนำ

“พลังงาน” เป็นปัจจัยสำคัญหนึ่งในการผลักดันเศรษฐกิจ เนื่องจากว่าพลังงานเป็นต้นทุนหลักและส่งผลต่อการเติบโตทางภาคอุตสาหกรรม รวมถึงพลังงานและการเข้าถึงพลังงานก็ถือว่าเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้นของประชากร และด้วยความต้องการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นนั้น “ไฟฟ้า” ถือเป็นรูปแบบหนึ่งของพลังงานซึ่งมีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการดำรงชีวิตประจำวันในปัจจุบัน แต่ด้วยการตื่นตัวในสภาวะวิกฤตทางพลังงาน รัฐบาลในหลายประเทศทั่วโลก จึงได้มีการรณรงค์และออกนโยบายเพื่อสนับสนุนพลังงานหมุนเวียนมากขึ้น อย่างไรก็ตามการใช้ประโยชน์จากพลังงานหมุนเวียนนั้น ได้ส่งผลกระทบต่อพื้นที่เกษตรกรรม และพื้นที่อยู่อาศัย การสนับสนุนให้เกิดโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนให้มีการขยายตัวตามความต้องการใช้พลังงานจึงเป็นไปได้ยาก ดังนั้นการบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าเพื่อใช้ไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดจึงมีความจำเป็นในการดำเนินการในระดับเร่งด่วน

การบริหารโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ หรือ Smart Grid เป็นโครงข่ายไฟฟ้าที่ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารมาบริหารจัดการควบคุมการผลิต ส่ง และจ่ายพลังงานไฟฟ้า สามารถรองรับการเชื่อมต่อระบบไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทางเลือกที่สะอาดที่กระจายอยู่ทั่วไป (Distributed Energy Resource : DER) ในระดับผู้ผลิตและผู้ใช้ (Prosumer) ที่มีการติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา ก่อนจะนำจ่ายพลังงานส่วนที่เหลือใช้กลับเข้าสู่กริด ซึ่งในปัจจุบันยังมีกำแพงอย่างปัญหาทั้งในด้านของเสถียรภาพของพลังงานไฟฟ้าในระบบ การที่มีพลังงานจ่ายกลับและเกินขีดของสายส่ง เป็นต้น ดังนั้นแล้วการใช้เทคโนโลยีเพื่อติดตามการผลิตพลังงานไฟฟ้าและการใช้งานของแต่ละหน่วยอาคารจึงมีความสำคัญเพื่อให้สามารถบริหารจัดการการผลิตไฟฟ้าได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ และสามารถจัดการกับความผันผวนของพลังงานเนื่องจากสภาพแวดล้อมได้อีกด้วย ซึ่งพลังงานแสงอาทิตย์เองก็ได้รับผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมอย่างเห็นได้ชัด

อย่างไรก็ดี การผันผวนของพลังงานแสงอาทิตย์มีการเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว แม้ว่าจะมีระบบพยากรณ์ที่อาศัยข้อมูลเวลาจริง (real time) ก็ไม่อาจตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงอย่างทันท่วงทีเนื่องจากจะเกิดผลกระทบต่อพลังงานแสงอาทิตย์ในบริเวณกว้าง ทำให้มีความจำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีระบบสะสมพลังงานเพื่อให้ระบบตอบสนองต่อความต้องการพลังงานไฟฟ้าในขณะนั้นได้ และสามารถจัดสรรเพื่อเป็นการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งในปัจจุบันได้มีการนำระบบสะสมพลังงานมาใช้ในการลดความผันผวนของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังงานหมุนเวียน อาทิ พลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานลมกันมากขึ้น [1] รวมทั้งมีส่วนช่วยในการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าด้านความถี่ และแรงดัน ตลอดจนช่วยลดต้นทุนการผลิตไฟฟ้า โดยการเก็บพลังงานไฟฟ้าในช่วงที่ความต้องการพลังงานไฟฟ้าน้อย (off-peak) ที่มีราคาไฟฟ้าต่ำเพื่อนำไปจ่ายในช่วงที่ความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูง (on-peak) เป็นต้น หากแต่พื้นที่ตั้งของประเทศไทยมีการผันผวนของพลังงานแสงอาทิตย์ค่อนข้างสูง การลดความผันผวนของกำลังไฟฟ้าให้ได้กำลังไฟฟ้าคงที่ตลอดเวลานั้นต้องใช้ระบบเก็บพลังงานที่มีพิกัดกำลังและความจุพลังงานไฟฟ้าสูง ซึ่งทำให้การลงทุนต้องใช้งบประมาณที่สูงในปัจจุบัน จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาวิธีการสำหรับประเมินขนาดพิกัดที่เหมาะสมสำหรับระบบเก็บพลังงานด้วยเทคนิคการสร้างเส้นอ้างอิงกำลังไฟฟ้าขึ้นด้วยกันหลายวิธี เช่น วิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่อย่างง่าย (Simple Moving Average, SMA) วิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่เลขชี้กำลัง (Exponential Moving Average, EMA) หรือ การใช้ค่าตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter, LPF) [2, 3] นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่กล่าวถึงวิธีการควบคุมแบบตอบสนองต่อการแยกความถี่ ย่านความถี่

สามารถแยกโดยตัวกรองความถี่สูง (High Pass Filter, HPF) และความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter, LPF) ทำให้สามารถรักษาคุณภาพไฟฟ้าตามความต้องการของลูกค้าได้ ด้วยการพิจารณาให้มีการเก็บพลังงานในช่วงบวกและ นำมาจ่ายกลับคืนในช่วงลบของแต่ละช่วงการเปลี่ยนแปลงทำให้เป็นการประหยัดพลังงาน จากผลการทดสอบพบว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถปรับเรียบกำลังไฟฟ้าได้เป็นอย่างดีทำให้กำลังไฟฟ้าสุทธิก่อนส่งจ่ายสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้ามีคุณภาพดีขึ้น อีกทั้งยังเป็นการลดขนาดของระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ได้อย่างมากและ คุณภาพไฟฟ้าสามารถเปลี่ยนแปลงภายใต้ความต้องการของลูกค้า [4] ซึ่งได้มีงานวิจัยที่ได้พัฒนาต่อยอดโดยสร้างค่าอ้างอิงเป็นการบูรณาการระหว่าง 2 วิธีการแบบดั้งเดิมที่ได้รับการนำไปใช้ในการยับยั้งความผันผวนของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์วิธีแรกคือ วิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving Average method, MA) และวิธีการติดตามจุดกึ่งกลางของการผันผวนของกำลังไฟฟ้า (Fluctuation Centered Following Method, FCF) [5] ซึ่งการเก็บและคายประจุของระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่จะตัดสินใจเพื่อที่จะชดเชยส่วนที่ขาดหรือเกินจากค่าเป้าหมายที่ใช้เป็นค่าอ้างอิง ซึ่งวิธี MA เป็นการสร้างค่าอ้างอิงโดยการหาค่าเฉลี่ย โดยมีการกำหนดกลุ่มของจำนวนข้อมูลที่ต้องการหาค่าเฉลี่ยเป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งวิธีนี้จะคล้ายกับการใช้ตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter, LPF) ถ้าให้กลุ่มของข้อมูลในการหาค่าเฉลี่ยมากจะทำให้ได้ค่าอ้างอิงที่เรียบมีการเปลี่ยนแปลงน้อย แต่จะทำให้ต้องใช้ขนาดของระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากความแตกต่างระหว่างความผันผวนของกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นกับค่าอ้างอิงมีค่ามากขึ้นและ วิธี FCF วิธีนี้เป็นการประมาณค่าอ้างอิงจากค่าเฉลี่ยระหว่างค่าสูงสุดและ ค่าต่ำสุดของข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ในอดีต วิธี FCF สามารถลดขนาดฟักัดกำลังไฟฟ้าลงได้ เพราะค่าอ้างอิงได้จากจุดกึ่งกลางของความผันผวนของกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ในขณะที่ฟักัดพลังงานไฟฟ้าของระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าอย่างฉับพลัน ดังนั้นวิธีการทำนำเสนอจึงได้มีการกำหนดให้ในช่วงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าฉับพลันน้อยให้ใช้วิธี MA ในการสร้างข้อมูลอ้างอิง และในช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าฉับพลันด้วยความถี่สูงจะใช้วิธี FCF สร้างข้อมูลอ้างอิงกำลังไฟฟ้าแทน ดังนั้นจึงทำให้สามารถควบคุมทั้งขนาดฟักัดพลังงานไฟฟ้าและขนาดฟักัดกำลังไฟฟ้าของระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ในขณะที่ความสามารถในการยับยั้งความผันผวนของกำลังไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ยังคงประสิทธิภาพที่ดีไว้ได้

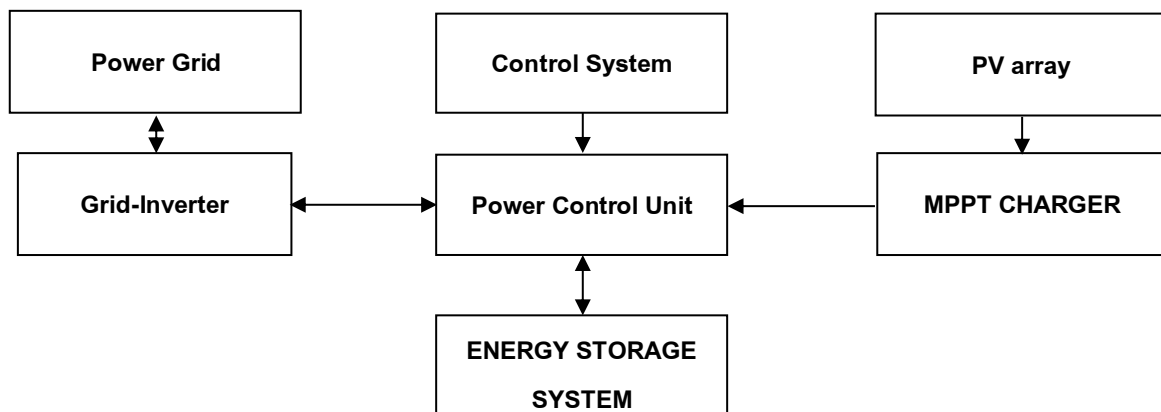
นอกจากการตอบสนองต่อการผันผวนของพลังงานแสงอาทิตย์แล้ว ระบบสะสมพลังงานยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการลดค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุด พบว่าเมื่อระบบถูกจำลองด้วยสถานการณ์การใช้ไฟฟ้าเชิงพาณิชย์ เซลล์แสงอาทิตย์ช่วยลดค่าความต้องการไฟฟ้าสูงสุดทั้ง 5 เครือข่ายไฟฟ้าในประเทศออสเตรเลียได้ถึง 0.05-1.51 % เมื่อนำระบบสะสมแบตเตอรี่ขนาด 12 kWh มาใช้ร่วม สามารถลดความต้องการสูงสุดเพิ่มได้อีก 1.31-2.02 % โดยที่กลยุทธ์การใช้แบตเตอรี่มีความสำคัญมากในการลดค่าความต้องการไฟฟ้า [6] อีกทั้งในส่วนของการพัฒนาระบบไมโครกริด การเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนถือว่ามีค่าเป็นอย่างมาก [7] การวิเคราะห์การทำงานของระบบไมโครกริดในช่วงโหมดแยกตัวเป็นอิสระ (Islanding mode) กับการประยุกต์ใช้งานระบบสะสมพลังงานแบตเตอรี่และการควบคุมการผลิตอัตโนมัติโดยใช้การจำลองแบบพลวัต สามารถเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบผลิตไฟฟ้าและมีการใช้งานเองภายในระบบได้

จากข้อมูลและงานวิจัยที่ผ่านมาข้างต้นสามารถแสดงให้เห็นว่า ระบบควบคุมมีความสำคัญอย่างมากกับการบริหารจัดการพลังงานร่วมกับระบบสะสมพลังงาน ทั้งในการตอบสนองต่อความผันผวนของพลังงานแสงอาทิตย์ และ ลดความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุด การติดตั้งเครื่องมือวัดจึงมีความจำเป็นที่จะแสดงข้อมูลพลังงานที่ผลิตได้และการใช้ไฟฟ้าในขณะนั้น อย่างไรก็ตามการอาศัยเครื่องมือวัดเพียงอย่างเดียวจะไม่สามารถทำให้การบริหารจัดการพลังงานไม่สามารถทำได้ อย่างเต็มประสิทธิภาพ จึงได้มีผลงานวิจัยที่นำข้อมูลจากอินเทอร์เน็ต (Yahoo Weather Forecast) และทำการประเมินข้อมูลและแนวโน้มทางสถิติตลอดจนข้อมูลจากสภาพอากาศจึงได้ถูกนำมาใช้งานเพื่อประมวลผลร่วมในระบบควบคุมหลักของระบบบริหารจัดการพลังงาน [8]

งานวิจัยนี้จึงได้ทำการพัฒนาระบบควบคุมแบบจัดลำดับความสำคัญ พร้อมทั้งทำการทดสอบระบบตามช่วงสถานการณ์ความผันผวนของพลังงานแสงอาทิตย์ ตลอดจนสถานการณ์ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์อยู่ในระดับต่ำ ความต้องการกำลังไฟฟ้าสูง และเมื่อพลังงานในแบตเตอรี่อยู่ในระดับต่ำ เพื่อเป็นข้อมูลสำคัญในการปรับปรุงระบบควบคุมต่อไป

2. พื้นหลังของการทดลองและระบบ

งานวิจัยนี้จะสามารถมองระบบในภาพรวมได้ดังรูปที่ 1 ประกอบด้วยระบบบริหารจัดการพลังงานที่ทำหน้าที่เป็นศูนย์กลาง เพื่อสังเกตการใช้พลังงานของอาคารและพลังงานขาเข้า และบริหารจัดการตามสภาพของพลังงานแสงอาทิตย์และความต้องการใช้ไฟฟ้า สำหรับการจำลองระบบขั้นต้น ระบบควบคุมจะถูกออกแบบให้ทำงานตามเงื่อนไขโดยจะให้ความสำคัญกับความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารเป็นหลัก ซึ่งจะมีการทำงานของระบบสะสมพลังงานเพื่อตอบสนองต่อความผันผวนของพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อให้ความต้องการกำลังไฟฟ้าของอาคารอยู่ในระดับที่ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อภาพกว้างในการบริหารจัดการการผลิตและจ่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้า ทั้งนี้ระบบจึงมองความสำคัญกับพลังงานแสงอาทิตย์ที่ระดับต่ำที่สุด โดยมุ่งเน้นให้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นเพียงส่วนเติมเต็มระบบเพื่อลดการใช้พลังงานจากกริด โดยอาศัยระบบสะสมพลังงานในการเพิ่มเสถียรภาพด้านพลังงาน โดยระบบทดสอบนี้ได้ทำการติดตั้งกับบ้านพักอาศัยที่มีการผู้พักอาศัยจริง ที่มีแผงพลังงานแสงอาทิตย์กำลังการผลิตติดตั้ง 8 kW บนหลังคา และระบบสะสมพลังงานประเภทลิเทียมไอออนฟอสเฟต (LFP) ขนาด 10 kWh



รูปที่ 1 แผนภาพการทำงานโดยรวมของระบบ

ระบบควบคุมการทำงานของระบบสะสมพลังงานจะมีการจัดลำดับความสำคัญตามตารางที่ 1 ซึ่งมีการเรียงความสำคัญแทนด้วยตัวเลขจากน้อยไปหามากแสดงลำดับการตัดสินใจที่เปิดให้ความสำคัญกับตัวเลขน้อยก่อน โดยค่าระดับความสำคัญ 0 ถือว่าความสำคัญยิ่งยวด ได้แก่ ระดับความจุของแบตเตอรี่ต่ำกว่า 5% และ อุณหภูมิของเซลล์แบตเตอรี่สูงกว่า 60°C โดยที่ระดับความสำคัญเท่ากันจะมีการดำเนินการตามสถานะที่มีการเกิดขึ้นล่าสุด ซึ่งจากตารางจะเห็นได้ว่าระดับความสำคัญของการตอบสนองต่อการผันผวนของพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ในระดับต่ำที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากว่าระบบสะสมพลังงานควรมีการตอบสนองต่อการใช้งานจากผู้ใช้งานในระดับความสำคัญที่สูงกว่า

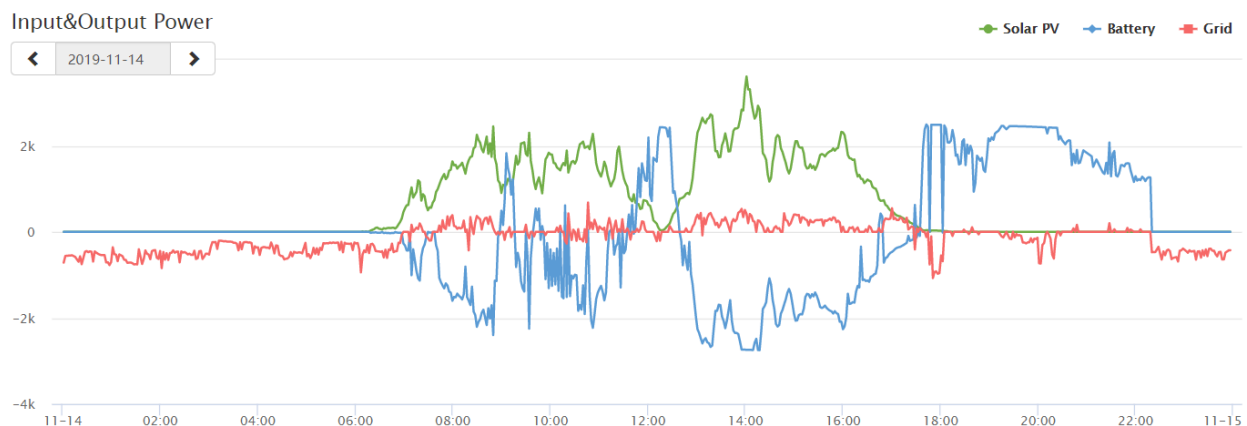
ตารางที่ 1 ตารางแผนการควบคุมการทำงานของระบบสะสมพลังงาน

เงื่อนไข	การทำงานของระบบสะสมพลังงาน	ระดับความสำคัญ
แสงอาทิตย์มีการผันผวน	คายประจุ	3
ช่วงความต้องการกำลังไฟฟ้าสูง	คายประจุ	2
ระดับความจุของแบตเตอรี่ต่ำกว่า 10%	จำกัดการจ่ายกระแส	1
ระดับความจุของแบตเตอรี่ต่ำกว่า 5%	หยุดการจ่ายกระแส	0
อุณหภูมิของเซลล์แบตเตอรี่สูงกว่า 50°C	จำกัดการจ่ายกระแส	1
อุณหภูมิของเซลล์แบตเตอรี่สูงกว่า 60°C	หยุดการจ่ายกระแส	0

3. ผลการดำเนินการวิจัยและการวิเคราะห์ผล

การดำเนินการวิจัยได้ทำการเก็บผลการทดสอบระบบเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบการตอบสนองต่อสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการผันผวนของพลังงานแสงอาทิตย์ โดยมีช่วงระยะเวลาในการบันทึกผลตั้งแต่วันที่ 10 พฤศจิกายน 2562 จนถึง 9 มีนาคม 2563 ดังนี้

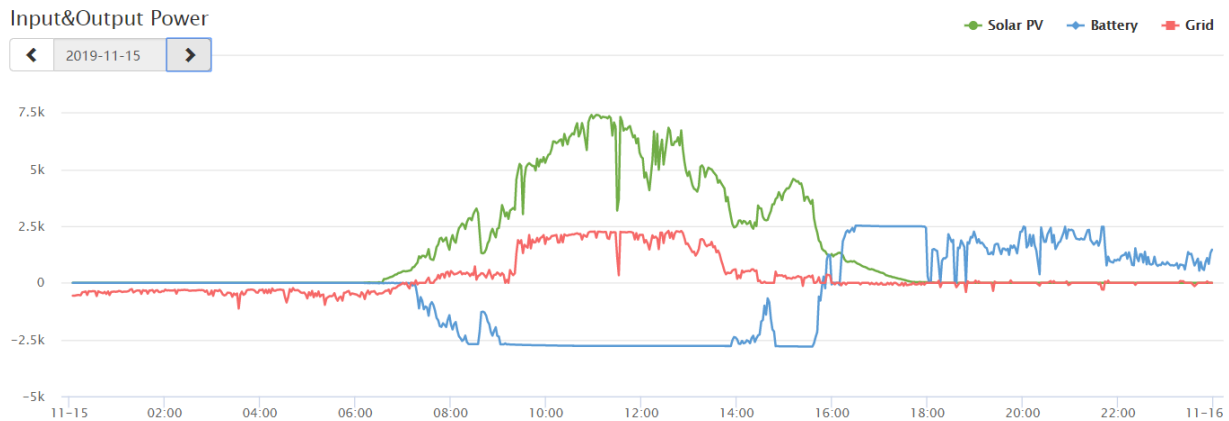
3.1 ผลการเปรียบเทียบสถานการณ์พลังงานแสงอาทิตย์อยู่ในระดับต่ำ-สูง และมีความผันผวน



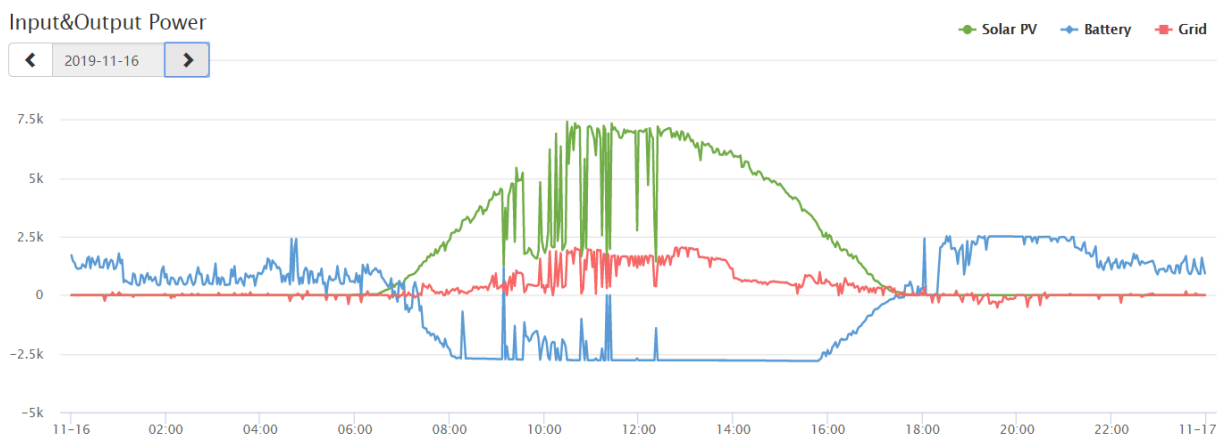
รูปที่ 2 การตอบสนองของระบบเมื่อพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ในระดับต่ำ

จากรูปที่ 2 ได้แสดงถึงพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ในระดับต่ำตลอดทั้งวัน โดยในช่วง 11:00 น. ถึง 13:00 น. อยู่ในสภาพอากาศมีดีคริมและมีฝนตก ทำให้กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบพลังงานแสงอาทิตย์ (กราฟสีเขียว) มีการลดระดับลงมาในระดับต่ำสุด โดยการทำงานของระบบจะมีความชัดเจนในช่วงของการตอบสนองของระบบสะสมพลังงาน (กราฟสีเขียว) มีการตอบสนองทันทีเมื่อปริมาณแสงอาทิตย์อยู่ในระดับต่ำ ทั้งนี้เพื่อลดการใช้พลังงานเพิ่มเติมจากกริด (กราฟสีแดง) รวมถึงมีการประจุไฟฟ้าเข้าระบบสะสมพลังงานเมื่อพลังงานที่ได้จากแสงอาทิตย์มีมากเกินไป (กราฟสีเขียวด้านลบ) โดยในช่วงเย็นหลังจากไม่มีพลังงานจากแสงอาทิตย์แล้วระบบจะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าระบบสะสมพลังงาน โดยมีการดึงพลังงานจากกริดร่วมด้วย (กราฟสีแดงด้านลบ) หากมีความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าที่สูง หรือระดับพลังงานของแบตเตอรี่อยู่ในระดับที่ต่ำกว่าที่กำหนดไว้ เมื่อพิจารณาการทำงานในวันที่มีพลังงานจากแสงอาทิตย์สูง ระบบสะสมพลังงานยังคงมีการ

ทำงานเช่นเดียวกับช่วงพลังงานแสงอาทิตย์ต่ำ คือมีการจ่ายพลังงานจากระบบสะสมพลังงานเพื่อลดการใช้พลังงานเพิ่มเติมจากกริด (ช่วง 08:30 น.) โดยจะเห็นช่วง 09:00 น. – 13:30 น. มีกำลังไฟฟ้าที่มากเกินไปและสามารถจ่ายกลับเข้ากริดได้ (ทั้งนี้จากการทดสอบได้ทำการทดสอบในระบบจำลองซึ่งมีโครงข่ายไฟฟ้าของตนเอง ซึ่งในสถานการณ์จริงอาจมีการปรับตั้งให้กำลังไฟฟ้าขาออกเป็นศูนย์ได้)

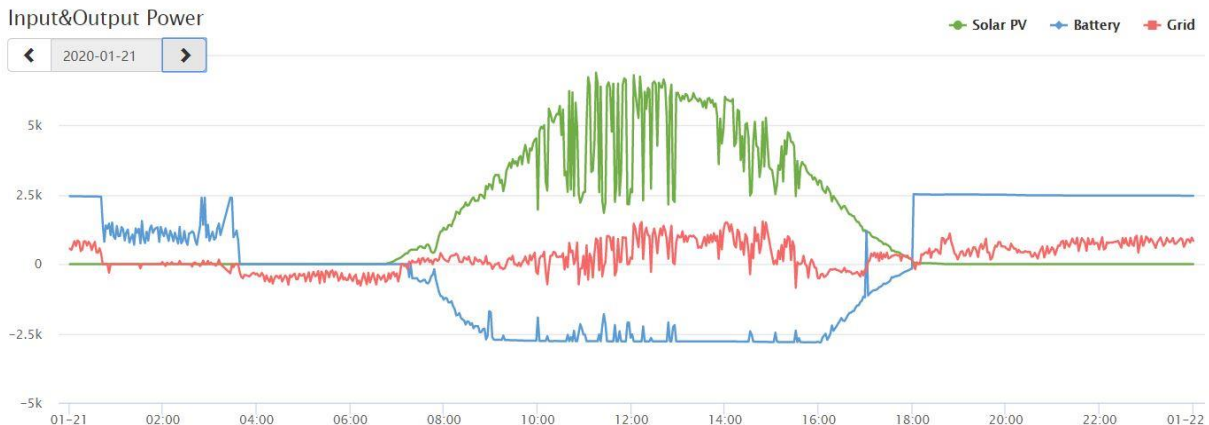


รูปที่ 3 การตอบสนองของระบบเมื่อพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ในระดับสูง



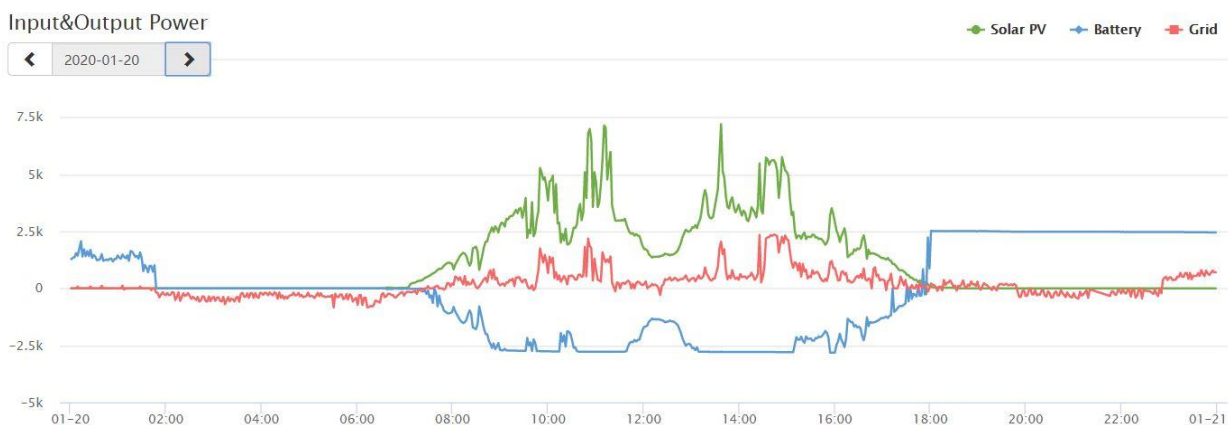
รูปที่ 4 การตอบสนองของระบบเมื่อพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ในระดับสูงแต่ไม่คงที่ สภาวะแบตเตอรี่ปกติ

รูปที่ 4 แสดงข้อมูลต่อเนื่องจากรูปที่ 3 ซึ่งได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ในระดับสูงมาตลอดวันทำให้พลังงานที่สะสมในระบบสะสมพลังงานมีมากพอที่จะจ่ายให้กับอาคารตลอดทั้งคืน และเมื่อมีพลังงานแสงอาทิตย์ ระบบสะสมพลังงานก็เริ่มทำงานเพื่อสะสมพลังงานไฟฟ้าอีกครั้ง ซึ่งในรูปที่ 3 นี้ จะเป็นตัวอย่างของความผันผวนของพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วงที่มีกำลังการผลิตที่สูงแล้ว และความผันผวนดังกล่าวทำให้กำลังไฟฟ้าที่ได้จากพลังงานแสงอาทิตย์ลดลงในระดับต่ำอย่างทันทีทันใด ทำให้ระบบจัดการจ่ายไฟฟ้าส่วนเกินเข้ากริดเพื่อให้ระบบสามารถประจุไฟฟ้าเข้าระบบสะสมพลังงานในระดับที่คงที่ โดยเมื่อมีความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าของอาคารสะสมพลังงานมีการตอบสนองให้คายประจุหรือลดกำลังไฟฟ้าในการประจุไฟฟ้าเข้าระบบสะสมพลังงาน (ช่วง 09:00 น. – 11:30 น.) เช่นเดียวกับรูปที่ 5 ที่ได้แสดงถึงการผันผวนของพลังงานแสงอาทิตย์ในระดับที่สูง แต่ระดับแบตเตอรี่อยู่ในระดับต่ำ โดยจะสังเกตได้ว่าการหยุดทำงานของระบบสะสมพลังงานเวลาประมาณ 04:00 น. และเมื่อพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ในระดับสูงแต่ไม่คงที่ แบตเตอรี่จะเลือกทำการลดการจ่ายไฟฟ้าส่วนเกินเข้ากริด เช่นเดียวกับรูปที่ 4 เพื่อให้ระบบสามารถประจุไฟฟ้าเข้าระบบสะสมพลังงานในระดับคงที่



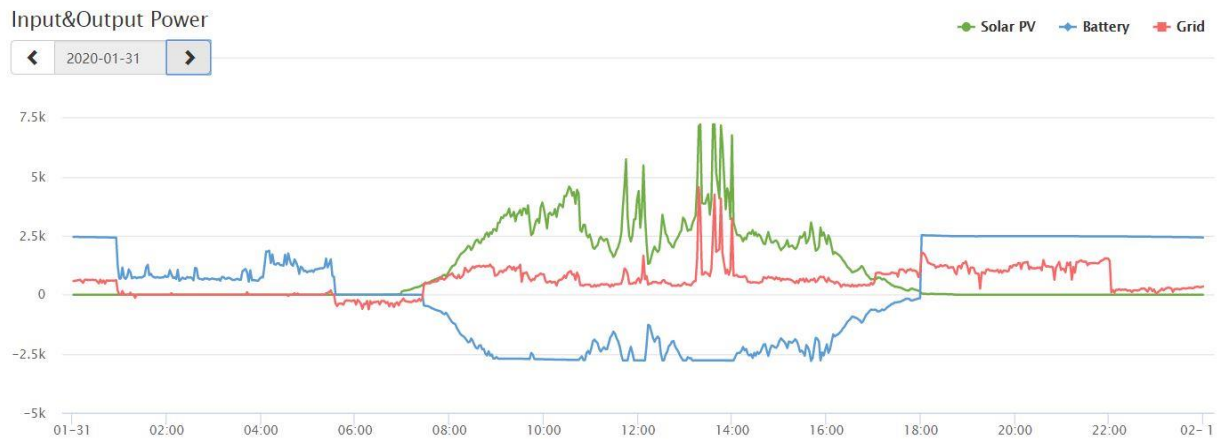
รูปที่ 5 การตอบสนองของระบบเมื่อพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ในระดับสูงแต่ไม่คงที่ สภาวะแบตเตอรี่ต่ำ

ในสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับพลังงานแสงอาทิตย์ ฝนตกเป็นเหตุการณ์ทั่วไปซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้ โดยการที่ฝนตกจะลดทอนกำลังการผลิตของพลังงานแสงอาทิตย์ลง รูปที่ 6 ได้แสดงถึงพลังงานแสงอาทิตย์ลดระดับลงในช่วงเวลาประมาณ 11:00 น. – 13:00 น. การตอบสนองของระบบสะสมพลังงานจะแตกต่างจากพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ในระดับต่ำตลอดทั้งวัน (รูปที่ 2) ซึ่งพลังงานแสงอาทิตย์ที่ผลิตได้และความต้องการใช้พลังงานในช่วงเวลาดังกล่าวอยู่ในระดับที่เพียงพอ การตอบสนองของระบบสะสมพลังงานจึงเพียงแต่ลดระดับกระแสในการอัดประจุลงเท่านั้น เมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 7 และ 8 จะพบว่ารูปแบบการทำงานจะอยู่ในรูปแบบเดียวกัน คือ ไม่มีการจ่ายพลังงานจากระบบสะสมพลังงานเพื่อนำมาใช้ระหว่างวันในขณะที่ฝนตกหรือแสงอาทิตย์อยู่ในระดับต่ำ เพียงแต่ในรูปที่ 8 จะแสดงให้เห็นถึงช่วงการตอบสนองของระบบสะสมพลังงานซึ่งมีการคายประจุเพื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลาประมาณ 15:30 น. ซึ่งมีความต้องการกำลังไฟฟ้าของอาคารที่สูงกว่าระบบผลิตได้



รูปที่ 6 การตอบสนองของระบบเมื่อพลังงานแสงอาทิตย์ลดระดับลงเมื่อมีฝนตก ตัวอย่างข้อมูลที่ 1

<http://jeet.siamtechu.net>

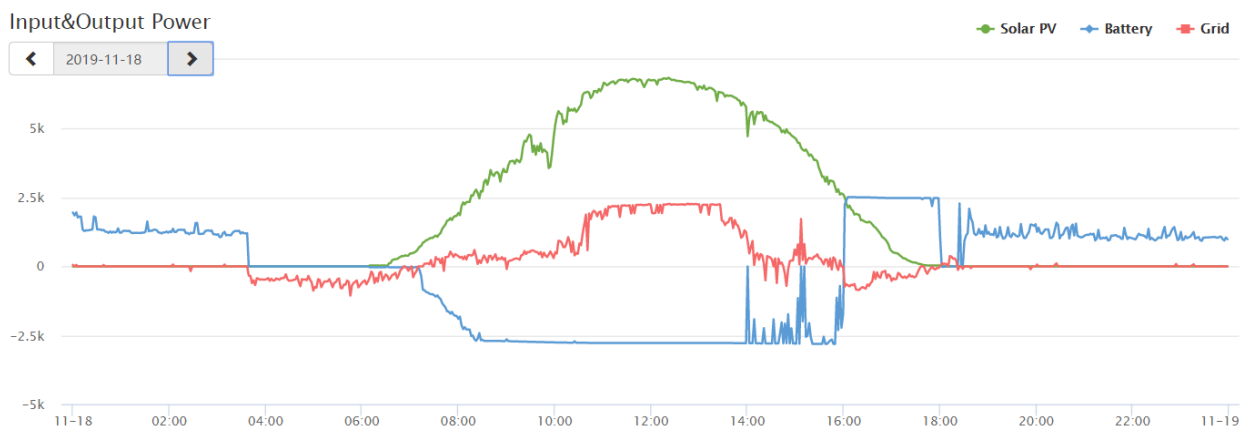


รูปที่ 7 การตอบสนองของระบบเมื่อพลังงานแสงอาทิตย์ลดระดับลงเมื่อมีฝนตก ตัวอย่างข้อมูลที่ 2



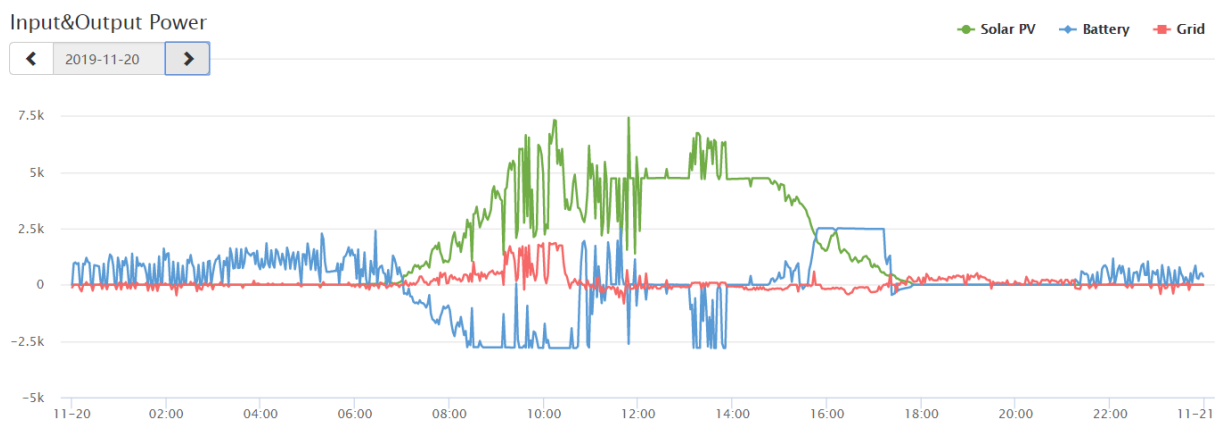
รูปที่ 8 การตอบสนองของระบบเมื่อพลังงานแสงอาทิตย์ลดระดับลงเมื่อมีฝนตก ตัวอย่างข้อมูลที่ 3

3.2 ผลการเปรียบเทียบการตอบสนองต่อสถานการณ์ความต้องการกำลังไฟฟ้าสูง



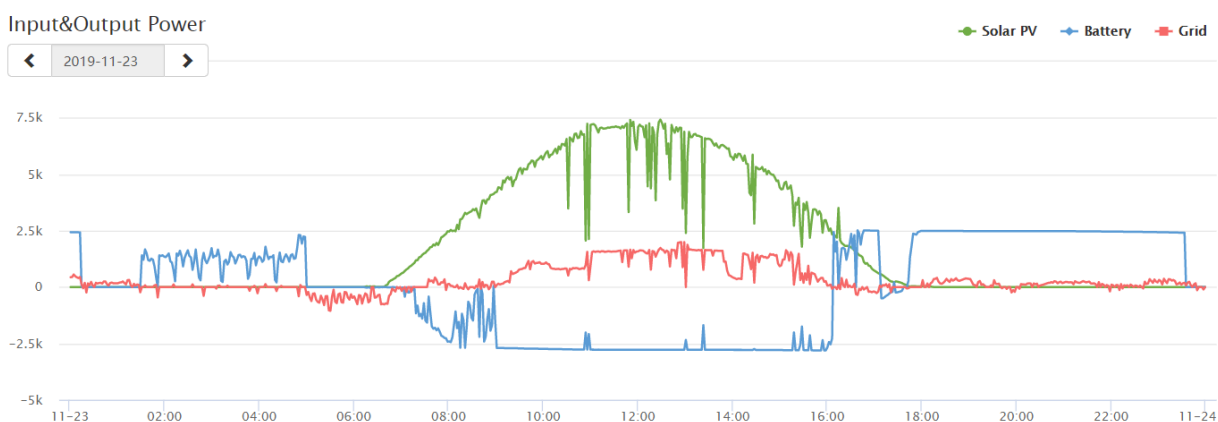
รูปที่ 9 การตอบสนองของระบบเมื่อมีความต้องการกำลังไฟฟ้าสูง

การทำงานของระบบโดยปกติแล้วจะมีการตั้งเงื่อนไขการทำงานของระบบโดยพิจารณาจากพลังงานที่ได้จากแสงอาทิตย์เป็นหลัก โดยมีการจำแนกการทำงานของระบบสะสมพลังงานแต่ละชนิด แต่เหนือสิ่งอื่นใด เมื่อมีความต้องการกำลังไฟระบบสะสมพลังงานมีความจำเป็นต้องพร้อมต่อการใช้งานอยู่เสมอ ในรูปที่ 9 ได้แสดงให้เห็นถึงความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงตั้งแต่ช่วง 14:00 น. โดยเริ่มสังเกตเห็นการทำงานของระบบสะสมพลังงานที่ลดระดับกำลังไฟในการประจุไฟฟ้าลงเป็นช่วงๆ และจะเห็นการทำงานของระบบสะสมพลังงานอย่างเต็มกำลังในช่วงเวลา 16:00 น. ก่อนจะมีการลดระดับความต้องการกำลังไฟฟ้าลงในช่วง 18:00 น. (ในช่วงเวลาดังกล่าวมีการทดสอบการประจุไฟฟ้าให้รถยนต์ไฟฟ้า) ก่อนจะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าในระดับปกติ



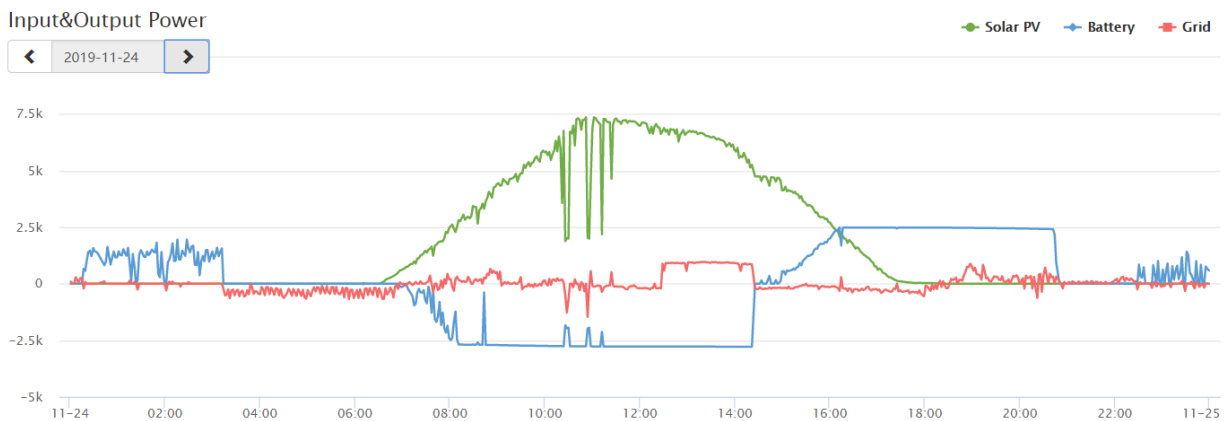
รูปที่ 10 การตอบสนองต่อความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงและมีการจำกัดกำลังไฟจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์

รูปที่ 10 เป็นผลที่ได้จากการทดสอบการจำกัดกำลังไฟจากระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่ระดับ 5kW ในช่วงบ่าย ตั้งแต่เวลา 12:00 น. ซึ่งระหว่างนี้ให้มีการเดินโหลดจำลองขนาด 5kW เพื่อสังเกตการณ์ตอบสนองของระบบ โดยมีการปลดการจำกัดกำลังไฟฟ้าเพื่อทดสอบการทำงานของระบบสะสมพลังงานในช่วง 13:00 น. – 14:00 น. จะเห็นได้ว่าระบบสะสมพลังงานมีการประจุไฟฟ้าเข้าหลังจากการปลดการจำกัดกำลังไฟฟ้าในช่วงเวลาดังกล่าว ก่อนที่ระดับพลังงานแสงอาทิตย์จะลดต่ำลงและระบบสะสมพลังงานทำการจ่ายเพื่อชดเชยให้เพียงพอต่อความต้องการกำลังไฟฟ้าในช่วงเวลาประมาณ 16:00 น. และปิดโหลดจำลองในช่วงเวลาประมาณ 17:30 น.

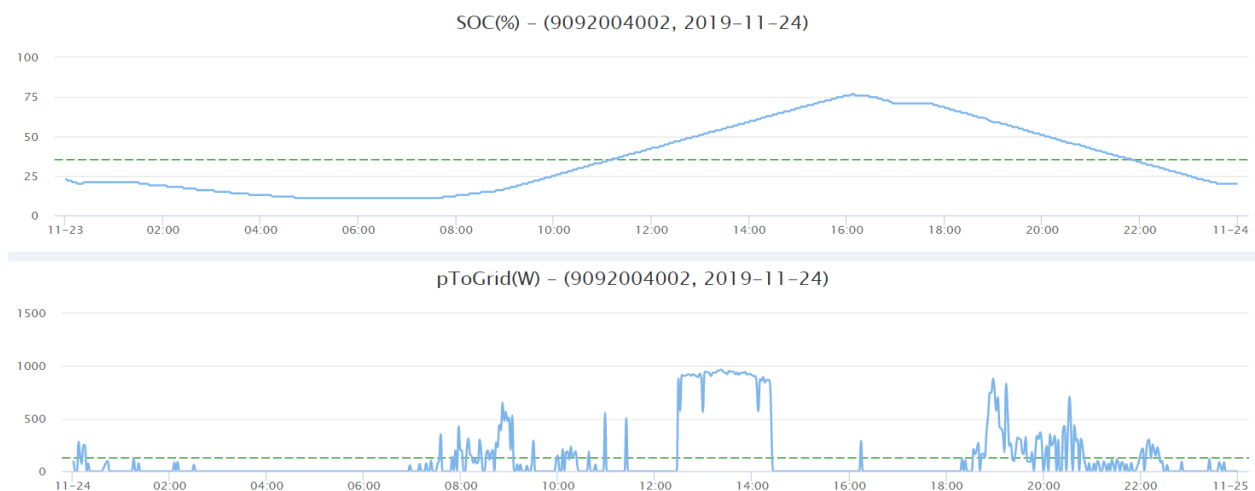


รูปที่ 11 การตอบสนองต่อความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงต่อเนื่อง

เมื่อมีความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงต่อเนื่องระบบจะทำการตอบสนองให้ระบบสะสมพลังงานจ่ายพลังงานออกเพื่อลดการใช้พลังงานจากกริด โดยรูปที่ 11 ได้มีการทดสอบการเปิดโหลดจำลองที่ระดับ 2.5kW ต่อเนื่องตั้งแต่เวลา 18:00 น. ไปจนถึงเวลา 24:00 น. และมีความต้องการกำลังไฟฟ้าต่อเนื่องในช่วงหลัง 00:00 น. ของวันถัดไป (ดังรูปที่ 12) ซึ่งจะสามารถแสดงค่าระดับความจุของระบบสะสมพลังงานได้ดังรูปที่ 13 โดยระบบสะสมพลังงานจะคายประจุจนสิ้นสุดที่ระดับความจุวิกฤติที่ 10% SOC



รูปที่ 12 ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดต่อเนื่องจากรูปที่ 11



รูปที่ 13 ระดับความจุของระบบสะสมพลังงานตลอดการทำงานของค่ากำลังไฟฟ้าในรูปที่ 12

3.3 ผลการเปรียบเทียบการตอบสนองต่อสถานการณ์แบตเตอรี่อยู่ในระดับที่ต่ำ

สืบเนื่องจากการทดสอบความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงต่อเนื่อง พบว่าระบบควบคุมการทำงานของแบตเตอรี่ (BMS) จะคายประจุจนสิ้นสุดที่ระดับความจุวิกฤติที่ 10% SOC ตามที่ปรับตั้งไว้ แต่อย่างไรก็ตามความจุวิกฤติเป็นจุดที่ไม่ควรให้ระบบสะสมพลังงานทำงานถึงจุดดังกล่าว เนื่องจากจะส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานของแบตเตอรี่ ดังนั้นในการปรับตั้งระบบควบคุมการทำงานของแบตเตอรี่จึงได้จำแนกช่วงการทำงานตามระดับของแบตเตอรี่ออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ สภาวะการทำงานปกติ สภาวะการทำงานแบบจำกัดกระแส และสภาวะหยุดการทำงาน โดยสถานะดังกล่าวจะใช้ระดับของแบตเตอรี่เป็นจุดแบ่งแยกสภาวะการทำงานที่ ระดับแบตเตอรี่สูงกว่า 20% ระดับต่ำกว่า 20% แต่สูงกว่า 10% และระดับต่ำกว่า 10% ซึ่งถือเป็นจุดวิกฤติ ตามลำดับ

รูปที่ 14 เป็นชุดข้อมูลที่เห็นได้ชัดถึงการทำงานทั้ง 3 สถานะการทำงาน โดยนับจาก 00:01 น. – 00:30 น. จะมีการทำงานแบบปกติไม่มีการจำกัดกระแส โดยจะเริ่มจำกัดกระแสตั้งแต่ 00:31 น. – 02:45 น. และเข้าสู่การหยุดการทำงานไปจนถึงเวลา 9:00 น. เมื่อมีพลังงานแสงอาทิตย์มากเพียงพอ ทั้งนี้สามารถแสดงระดับความจุของระบบสะสมพลังงานตลอดการทำงานได้ดังรูปที่ 15



รูปที่ 14 สถานการณ์การทำงานของระบบสะสมพลังงานตามระดับความจุ



รูปที่ 15 ระดับความจุของระบบสะสมพลังงานตลอดการทำงานของค่ากำลังไฟฟ้าในรูปที่ 14

4. สรุปผลการวิจัย

การทดสอบการตอบสนองของระบบสะสมพลังงานสำหรับอาคารที่มีการติดตั้งแผงพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา กรณีศึกษาพลังงานแสงอาทิตย์มีความไม่สม่ำเสมอ ได้ทำการรวบรวมข้อมูลจะพิจารณาผลการตอบสนองเพื่อให้สามารถเปรียบเทียบการตอบสนองต่อสถานการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการผันผวนของพลังงานแสงอาทิตย์ได้เป็น 3 สถานการณ์ ได้แก่ สถานการณ์พลังงานแสงอาทิตย์อยู่ในระดับต่ำ-สูง และมีความผันผวน สถานการณ์ความต้องการกำลังไฟฟ้าสูง และสถานการณ์แบตเตอรี่อยู่ในระดับที่ต่ำ ซึ่งทั้งสามสถานการณ์นี้จะครอบคลุมสำหรับการใช้งานระบบสะสมพลังงานเพื่อ

ตอบสนองต่อระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และการใช้งานจริง เนื่องจากประเทศไทยอยู่ในเขตร้อนชื้นมีภูมิอากาศแบบมรสุมความผันผวนของพลังงานแสงอาทิตย์ในสถานการณ์พิจารณาที่หนึ่งจึงเป็นส่วนสำคัญและสามารถปรับใช้ได้กับการใช้ระบบสะสมพลังงานในการเพิ่มเสถียรภาพของพลังงานแสงอาทิตย์ และในสถานการณ์พิจารณาที่สองซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้ในฤดูฝน พลังงานแสงอาทิตย์ที่อยู่ในระดับต่ำ โดยที่ปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้ามีปริมาณที่ลดลงเพียงเล็กน้อย นอกจากนี้ที่ขาดไม่ได้คือการตอบสนองเมื่อมีความต้องการกำลังไฟฟ้าสูง ซึ่งระบบจะต้องมีการตอบสนองให้สามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานลงและลดภาระของสายส่งในช่วงความต้องการไฟฟ้าสูงได้ ทั้งนี้สามารถนำผลการทดสอบไปขยายผลเพื่อปรับปรุงทั้งในส่วนระบบควบคุม รวมถึงการลดความจุของแบตเตอรี่ลง และ/หรือมีการใช้งานร่วมกับระบบสะสมพลังงานชนิดอื่น เพื่อให้ได้ต้นทุนที่ต่ำลงและสามารถใช้งานได้อย่างแพร่หลาย

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] ชัยวัฒน์ งามสมโส, “วิธีการลดขนาดพิกัดระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่ใช้ร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์, วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต-วิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์”, 2557.
- [2] Akatsuka, M., R. Hara, H. Kita, T. Ito, Y. Ueda, S. Miwa, N. Matsuno, K. Takitani and M. Saito., “Suppression of Large-scaled PV Power Station Output Fluctuation using Sodium-Sulfur Battery”. *IEEE Transaction on PE* 130(2), 2010, pp. 223-231.
- [3] Sheikh, M.R.I., M.A. Motin, M.A. Hossain and M. Shahed., “Reference Power Selection for Smoothing Wind Power Fluctuations with Reduced Energy Capacity. *IEEE ICECE*, 2012, pp. 746-749.
- [4] Sadegh Shajari and Reza Key Pour., “Reduction of Energy Storage System for Smoothing Hybrid wind-PV Power Fluctuation”. *IEEE EEEIC*, 2012, pp. 115-117.
- [5] Watanabe, R., Y. Ito, Y. Hida, R. Yokoyama, K. Iba and T. Tsukada., “Optimal Capacity Selection of Hybrid Energy Storage Systems for Suppressing PV Output Fluctuation”. *IEEE PES ISGT ASIA*, 2012, pp. 1-5.
- [6] Alex Park and Petros Lappas., “Evaluating demand charge reduction for commercial-scale solar PV coupled with battery storage. *Renewable Energy* 108, 2017, pp. 523-532.
- [7] W. Srithiam, S. Asadamongkol, T. Sumranwanich., “Application of Battery Energy Storage System in Coordination with MicroEMS for Mae Hong Son Microgrid during Islanding Mode”. *International Council on Large Electric Systems : AORC Technical meeting*, 2014.
- [8] F.A.T. Al-Saedi., “Peak Shaving Energy Management System for Smart House”, *International Journal of Computer Science Engineering and Technology (IJCSET)*, 3(10), 2013, pp. 359-366.