

ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานร่วมกับระบบกักเก็บ

พลังงานอัจฉริยะสำหรับโหลดเครื่องชาร์จรถไฟฟ้า

Smart Hybrid Photovoltaic–Energy Storage System for EV Charging Loads

ศุภวุฒิ เนตรโพธิ์แก้ว¹ พนา ดุสิตากร¹ นาวัน รอดเรือง¹ ณัฏพล เรืองทรัพย์¹ ปพน งามประเสริฐ² และ นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ^{1*}

¹สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร nattachote.r@mutp.ac.th*

²สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันโคเซ็นแห่งสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานอัจฉริยะสำหรับโหลดเครื่องชาร์จรถไฟฟ้า บทความนี้จึงดำเนินการตรวจสอบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานที่จ่ายไปยังโหลดสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อพิจารณาสถานะการทำงานของระบบกักเก็บพลังงานและการจ่ายพลังงานให้กับระบบแบ่งออกเป็น 3 กรณีศึกษา กรณีที่ 1 การเชื่อมต่อบริษัทผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน กรณีที่ 2 ความสัมพันธ์ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน การเก็บพลังงาน และจ่ายพลังงาน กรณีที่ 3 โหลดรวม โหลดเครื่องชาร์จรถไฟฟ้าและความสัมพันธ์ระบบกักเก็บพลังงาน ทั้งนี้ผลลัพธ์แสดงถึงความสัมพันธ์โหลดเครื่องชาร์จรถไฟฟ้า การจ่ายพลังงานและการเก็บพลังงานระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคมเป็นเวลา 12 เดือน โดยโหลดเครื่องชาร์จรถไฟฟ้ารวม 17,863.20 กิโลวัตต์-ชั่วโมง การเก็บพลังงานไปยังระบบกักเก็บพลังงานรวม 18,849.40 กิโลวัตต์-ชั่วโมง การจ่ายพลังงานไปยังโหลดรวม 21,081.80 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ซึ่งแสดงให้เห็นประสิทธิภาพการจ่ายโหลด การเก็บพลังงาน และการจ่ายพลังงานที่สอดคล้องกันของระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานอัจฉริยะสำหรับโหลดเครื่องชาร์จรถไฟฟ้า

คำสำคัญ: ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน ระบบกักเก็บพลังงาน เครื่องชาร์จรถไฟฟ้า

Abstract

This article presents Smart hybrid photovoltaic–energy storage system for EV charging loads. This article therefore examines the operation of a hybrid solar photovoltaic power generation system supplying loads for an industrial facility, in order to assess the operating conditions of the energy storage system and the power delivery to the system. The study is divided into three case studies: Case 1 – the configuration of the hybrid solar photovoltaic power generation system; Case 2 – the relationship between the hybrid photovoltaic system, energy storage, and power delivery; and Case 3 – the total load, including electric vehicle charging load, and the

relationship with the energy storage system. The results present the relationship among EV charger load, power delivery, and energy storage from January to December, covering a 12-month period. The total EV charger load amounted to 17,863.20 kWh, the energy stored in the storage system totaled 18,849.40 kWh, and the power delivered to the total load was 21,081.80 kWh. These findings demonstrate the consistent efficiency of load supply, energy storage, and power delivery in the smart hybrid photovoltaic–energy storage system for EV charging loads.

Keywords: Smart Hybrid Photovoltaic Power System, Energy Storage System, EV Charging.

1. บทนำ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมมีการนำเทคโนโลยีพลังงานหมุนเวียนชนิดพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดพลังงานทางไฟฟ้า ซึ่งเป็นทางเลือกที่แพร่หลายและในบางอุตสาหกรรม ได้นำเทคโนโลยีระบบกักเก็บพลังงานเข้ามาผสมผสานกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ หรือเรียกว่า “ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน” บทความนี้ได้มีกรณีศึกษาเกี่ยวกับโหลดที่ใช้ในการสำรองระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

ดังนั้นในบทความนี้จึงได้ทำการศึกษาบทความที่เกี่ยวข้องกับระบบกักเก็บพลังงานสำหรับโหลดเครื่องชาร์จรถไฟฟ้า ในปี พ.ศ. 2568 [1] การส่งพลังงานที่เหมาะสมที่สุดของระบบจัดเก็บพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับสถานีเปลี่ยนแบตเตอรี่รถไฟฟ้าภายใต้การลดภาระตามกำหนดการของกริด บทความนี้นำเสนอการศึกษาระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานเนื่องจากการเก็บพลังงานและการจ่ายพลังงานของระบบจัดเก็บพลังงานบ่อยครั้งเมื่อชาร์จเครื่องชาร์จรถไฟฟ้า (Electric vehicle ; EV) ที่หมด โดยวิธีการเขียนโปรแกรมเชิงเส้นกำหนดการไหลของพลังงานที่เหมาะสมที่สุดในระบบที่เสนอเพื่อเก็บพลังงาน ระบบจัดเก็บพลังงานที่เหมาะสมสำหรับรถไฟฟ้า ผลการจำลองแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น โดยให้การไหลของพลังงานจัดตั้งที่เหมาะสมที่สุดในปี พ.ศ. 2566 [2] รูปแบบการควบคุมสำหรับเครื่องชาร์จรถไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่เชื่อมต่อกับกริดพร้อมระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน บทความนี้นำเสนอการกระจายพลังงานตาม

หลัก ตามสัดส่วนเป็นวิธีปฏิบัติในการใช้ประโยชน์จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานในเครื่องชาร์จรถไฟฟ้า ที่ใช้พลังงานแสงอาทิตย์ที่เชื่อมต่อกับกริด ในการศึกษาจะมีการกำหนดการกระจายพลังงานโดยเฉลี่ยระหว่างแหล่งจ่ายไฟและระบบกักเก็บพลังงาน และนำเสนอกลยุทธ์การจัดการพลังงานที่ใช้งานได้จริงและมีประสิทธิภาพ ในปี พ.ศ. 2565 [3] การควบคุมโหลดของครัวเรือนอัจฉริยะด้วยที่เก็บข้อมูล PV และรถไฟฟ้า โดยเทคนิคอัลกอริทึมต่อเนื่องการเขียนโปรแกรมแบบไดนามิก บทความนี้นำเสนอการปรับระดับโหลดของครัวเรือนที่อยู่อาศัยโดยการควบคุมที่ประสานกันระหว่างการจัดเก็บระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และการจัดเก็บระบบกักเก็บพลังงานรถยนต์ อัลกอริทึมการเขียนโปรแกรมแบบไดนามิกแบบต่อเนื่อง (Dynamic programming successive algorithm ; DPSA) ถูกนำมาใช้เพื่อให้ได้กลยุทธ์การเก็บพลังงานที่เหมาะสมที่สุด โดยลดความแปรปรวนของโหลด ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่ากลยุทธ์การเก็บพลังงานที่เหมาะสมที่สุดที่เสนอช่วยลดความแปรปรวนของโหลดเมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีการควบคุมของครัวเรือนอัจฉริยะ

ดังนั้นในบทความนี้จะนำเสนอทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ผลลัพธ์ บทสรุปของบทความระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานอัจฉริยะสำหรับโหลดเครื่องชาร์จรถไฟฟ้า

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

ระบบผลิตไฟฟ้าถูกออกแบบสำหรับทำงานร่วมกับอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าอื่นๆ การนำระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ซึ่งต่อร่วมกับแบตเตอรี่สามารถช่วยแก้ปัญหาแรงดันตกในระบบไฟฟ้าได้ การเชื่อมต่อนี้ระบบกักเก็บพลังงานเข้ากับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์พลังงานแสงอาทิตย์ [4]-[6] เป็นพลังงานที่มีศักยภาพสูง การใช้พลังงานแสงอาทิตย์สามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยการแปลงพลังงานจะเริ่มเมื่อมีแสงตกกระทบบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์รังสีของแสงที่มีอนุภาคของพลังงานโฟตอนจะถ่ายเทพลังงานให้กับพลังงานอิเล็กทรอนิกส์ที่มีพลังงานมากพอที่จะกระโดดออกมาจากแรงดึงดูดของอะตอมทำให้เคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ครบวงจรจึงทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสตรงขึ้น

2.2 ระบบกักเก็บพลังงาน

การติดตั้งและความปลอดภัยสำหรับระบบกักเก็บพลังงานแบตเตอรี่ (Battery energy storage system ; BESS) โดยที่แบตเตอรี่ถูกติดตั้งในห้องหรือพื้นที่ปิด เชื่อมต่อกับอุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้า (Power conversion equipment ; PCE) และทำงานร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดติดตั้งบนหลังคา (Rooftop photovoltaic system)

2.2.1 สถานที่ติดตั้ง

ระบบแบตเตอรี่ต้องมีการป้องกันความเสียหายทางกล สภาพแวดล้อม และปัจจัยภายนอก ต้องติดตั้งระบบแบตเตอรี่ในสิ่งห่อหุ้ม (Enclosure) หรือห้อง (Room) เท่านั้น

สิ่งห่อหุ้ม คือ กล่องหรือกรอบของเครื่องสำเร็จหรือรั้ว หรือผนังล้อมรอบการติดตั้งเพื่อป้องกันมิให้บุคคลมิให้สัมผัสกับส่วนที่มีแรงดันไฟฟ้าหรือเพื่อป้องกันบริเวณที่ไม่ให้เสียหาย

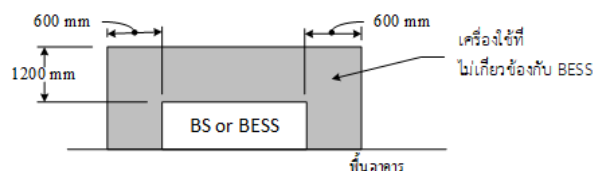
ห้อง คือ พื้นที่ปิดที่สามารถเข้าถึงได้ด้วยประตูที่มีขนาดใหญ่มากพอให้คนเข้าไปและเดินภายในพื้นที่ได้ และห้ามติดตั้งระบบแบตเตอรี่ในพื้นที่ต่อไปนี้

- ก. บนฝ้า
- ข. ช่องว่างผนัง
- ค. บนหลังคา
- ง. ใต้พื้นของห้องพักอาศัย
- จ. ใต้บันได (ไม่รวมห้องใต้บันได) หรือ
- ฉ. ใต้ทางเดินที่มีการใช้งาน ในอาคารที่พักอาศัย ห้ามติดตั้ง BS และ BESS ในห้องที่มีผู้พักอาศัย (Habitable room)

2.2.2 ข้อกำหนดเรื่องสถานที่

ห้ามติดตั้ง BS หรือ BESS ตามข้อต่อไปนี้

- ก. ในบริเวณอันตรายตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยของ วสท.
 - ข. ในระยะ 600 มม. จากทางออก
 - ค. ในระยะ 600 มม. จากเครื่องใช้หรือแหล่งความร้อนที่ไม่ใช่ส่วนหนึ่งของ BS หรือ BESS
 - ง. ในระยะ 1,200 มม. ใต้ทางออกหรือแหล่งความร้อนที่ไม่ใช่ส่วนหนึ่งของ BS หรือ BESS
 - จ. ใต้หน้าต่างหรือช่องระบายอากาศในอาคาร
- อ้างอิงข้อกำหนดการติดตั้งตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยของ วสท. [7] ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ข้อกำหนดการติดตั้งตามมาตรฐาน

2.3 โหลดเครื่องชาร์จรถไฟฟ้า

EV charging infrastructure หมายถึง เครือข่ายอุปกรณ์ สถานี และระบบที่จัดเตรียมพลังงานไฟฟ้าเพื่อชาร์จรถไฟฟ้า (EV) ซึ่งรวมถึงเครื่องชาร์จแบบทั่วไป (AC), เครื่องชาร์จเร็ว (DC fast chargers), และสถานีแลกเปลี่ยนแบตเตอรี่ (Battery exchange stations) [8]

การไฟฟ้านครหลวง หรือ MEA กล่าวว่า MEA ในฐานะหน่วยงานรัฐวิสาหกิจ เป็นผู้ดำเนินการขับเคลื่อนการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทย มุ่งมั่นขับเคลื่อน วิสัยทัศน์พลังงานเพื่อวิถีชีวิตเมืองมหานคร พร้อมส่งเสริมการใช้นโยบายไฟฟ้าและพลังงานทดแทนที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม MEA มี

ความห่วงใยผู้ใช้ไฟฟ้าที่จะขอติดตั้ง EV Charger กำหนดมาตรฐานความปลอดภัยของระบบไฟฟ้าสำหรับ EV มาตรฐานการติดตั้งเครื่องอัดประจุไฟฟ้าสำหรับสถานีอัดประจุไฟฟ้า มาตรฐานการติดตั้งเครื่องอัดประจุไฟฟ้าสำหรับสถานีชาร์จเรือไฟฟ้า ข้อกำหนดการเชื่อมต่อและติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับผู้ประกอบการสถานีอัดประจุไฟฟ้าสำหรับ EV และมาตรฐานการติดตั้งเครื่องอัดประจุไฟฟ้าภายในบ้านที่อยู่อาศัย ทั้งแบบเต้ารับสำหรับสายชาร์จแบบพกพา และเครื่องชาร์จแบบติดผนัง เพื่อความปลอดภัยจะต้องผ่านการตรวจสอบโดยช่างผู้ชำนาญโดยเฉพาะ การขอเพิ่มขนามิเตอร์ไฟฟ้า การติดตั้งสายเมนวงจร ต้องติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมไฟฟ้า อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินไฟฟ้า และหลักดินชาร์จ EV รวมถึงการติดตั้งเครื่องชาร์จไฟแบบติดผนัง (Wall mounted charger) และเต้ารับสำหรับสายชาร์จแบบพกพา (EV socket-outlet) ระบบวงจรไฟฟ้าต้องออกแบบเพื่อรองรับกับเครื่องชาร์จไฟยานยนต์ไฟฟ้าตามมาตรฐานและความปลอดภัย ปัจจุบัน MEA ดำเนินการวิจัยและพัฒนาใช้งานยานยนต์ไฟฟ้าภายในองค์กรอย่างจริงจัง ในโครงการ MEA EV car sharing จำนวน 47 คัน และกำลังพัฒนาทดสอบการวิ่งรถโดยสารไฟฟ้า E-bus ของ MEA รวมทั้งมีแผนในการนำรถจักรยานยนต์ไฟฟ้า (E- motorbike) และ รถตุ๊กตุ๊กไฟฟ้า (E-tuk tuk) เพื่อใช้ในกิจการสนองตอบนโยบายขับเคลื่อนการใช้งานยานยนต์ไฟฟ้า ลดการสร้างมลภาวะอันเป็นสาเหตุสำคัญของฝุ่น PM2.5 [9]

2.3.1 ข้อมูลโหลด

จากการสำรวจพื้นที่จริงของโรงงาน พบว่าโหลดเครื่องชาร์จรถไฟฟ้า มีการใช้งานชาร์จรถไฟฟ้าคลิฟท์ถึง 5 คัน ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 โหลดไฟฟ้าที่ชาร์จรถไฟฟ้า

การวัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลอยู่ในสายไฟเส้นหนึ่ง (L1) จากระบบ 3 เฟสของตู้ที่จ่ายไปยังโหลดเครื่องชาร์จรถไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 การวัดกระแส L1

การวัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลอยู่ในสายไฟเส้นที่สอง (L2) จากระบบ 3 เฟสของตู้ที่จ่ายไปยังโหลดเครื่องชาร์จรถไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 การวัดกระแส L2

การวัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลอยู่ในสายไฟเส้นที่สาม (L3) จากระบบ 3 เฟสของตู้ที่จ่ายไปยังโหลดเครื่องชาร์จรถไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 การวัดกระแส L3

2.4 ข้อมูลอุปกรณ์ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

ข้อมูลแผงโซลาร์เซลล์ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลแผงโซลาร์เซลล์ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

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

ข้อมูลอินเวอร์เตอร์ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ข้อมูลอินเวอร์เตอร์ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

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

ข้อมูลระบบกักเก็บพลังงานของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน [10] ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ข้อมูลระบบกักเก็บพลังงานของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

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

3. ผลลัพธ์

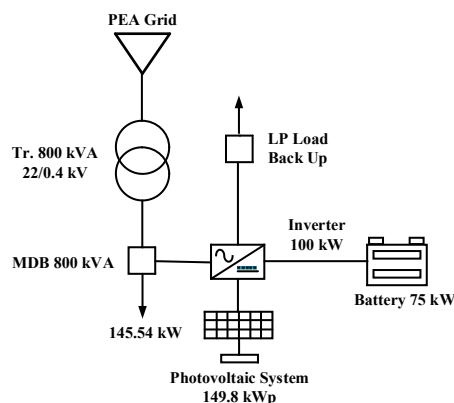
3.1 กรณีศึกษา

บทความนี้ศึกษาการระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานอัจฉริยะสำหรับโหลดเครื่องชาร์จรถไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 3 กรณีศึกษา ดังนี้

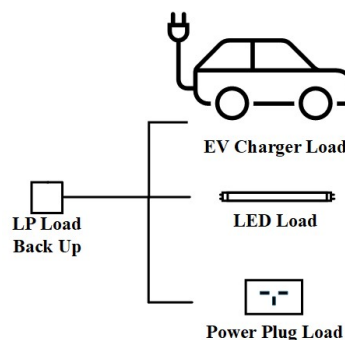
- กรณีที่ 1 : การเชื่อมต่อระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน
- กรณีที่ 2 : ความสัมพันธ์ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน การเก็บพลังงาน และจ่ายพลังงาน
- กรณีที่ 3 : โหลดรวม โหลดเครื่องชาร์จรถไฟฟ้าและความสัมพันธ์ระบบกักเก็บพลังงาน

3.2 ผลการวิจัย

กรณีที่ 1 การเชื่อมต่อระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน โดยมีการเชื่อมต่อดังนี้ ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อที่ตู้ MDB ที่รับพลังงานไฟฟ้าจากหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 800 kVA ดังแสดงในรูปที่ 6-7



รูปที่ 6 การเชื่อมต่อระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน



รูปที่ 7 การเชื่อมต่อโหลดสำรองของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

กรณีที่ 2 ความสัมพันธ์ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน การนำเข้าจากการไฟฟ้า การเก็บพลังงาน และจ่ายพลังงาน มีผลลัพธ์ความสัมพันธ์ ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ความสัมพันธ์ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน การนำเข้าจากการไฟฟ้า การเก็บพลังงาน และจ่ายพลังงาน

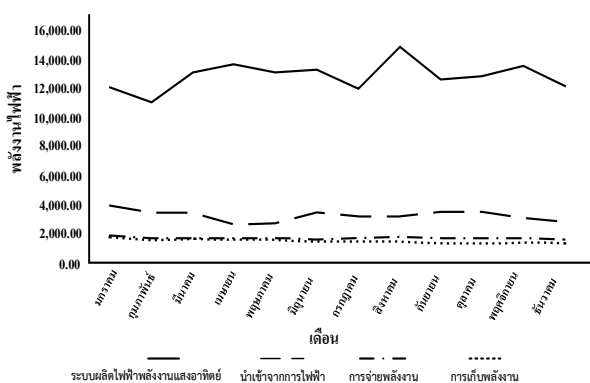
เดือน	จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (kWh)	นำเข้าจากการไฟฟ้า (kWh)	การเก็บพลังงานไปยังระบบกักเก็บพลังงาน (kWh)	การจ่ายพลังงานไปยังโหลด (kWh)
มกราคม	12,172.80	4,006.80	1,844.40	1,929.00
กุมภาพันธ์	11,187.60	3,535.90	1,659.50	1,719.70
มีนาคม	13,216.30	3,466.50	1,717.90	1,794.40
เมษายน	13,762.00	2,693.70	1,682.50	1,756.70

ตารางที่ 4 (ต่อ) ความสัมพันธ์ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน การนำเข้าจากการไฟฟ้า การเก็บพลังงาน และจ่ายพลังงาน

เดือน	จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (kWh)	นำเข้าจากการไฟฟ้า (kWh)	การเก็บพลังงานไปยังระบบกักเก็บพลังงาน (kWh)	การจ่ายพลังงานไปยังโหลด (kWh)
พฤษภาคม	13,224.20	2,773.80	1,649.60	1,745.00
มิถุนายน	13,428.70	3,565.70	1,575.00	1,662.00
กรกฎาคม	12,092.90	3,256.50	1,558.70	1,726.00
สิงหาคม	15,008.30	3,219.40	1,502.70	1,811.90
กันยายน	12,712.70	3,551.10	1,407.90	1,738.80
ตุลาคม	12,979.00	3,529.00	1,402.20	1,765.60
พฤศจิกายน	13,685.00	3,167.10	1,452.20	1,756.00
ธันวาคม	12,313.60	2,922.40	1,396.80	1,676.70
รวม	155,783.10	39,687.90	18,849.40	21,081.80

จากตารางที่ 4 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน การนำเข้าจากการไฟฟ้า การเก็บพลังงาน และจ่ายพลังงานรวม 12 เดือน จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์รวม 155,783.10 กิโลวัตต์-ชั่วโมง นำเข้าจากการไฟฟ้ารวม 39,687.90 กิโลวัตต์-ชั่วโมง การเก็บพลังงานไปยังระบบกักเก็บพลังงานรวม 18,849.40 กิโลวัตต์-ชั่วโมง การจ่ายพลังงานไปยังโหลดรวม 21,081.80 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

ความสัมพันธ์ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานสูงสุดเดือนสิงหาคม 15,008.30 กิโลวัตต์-ชั่วโมง การนำเข้าจากการไฟฟ้าสูงสุดเดือนมิถุนายน 3,565.70 กิโลวัตต์-ชั่วโมง การเก็บพลังงานสูงสุดเดือนมีนาคม 1,717.90 กิโลวัตต์-ชั่วโมง และจ่ายพลังงานสูงสุดเดือนสิงหาคม 1,811.90 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน การนำเข้าจากการไฟฟ้า การเก็บพลังงาน และจ่ายพลังงาน

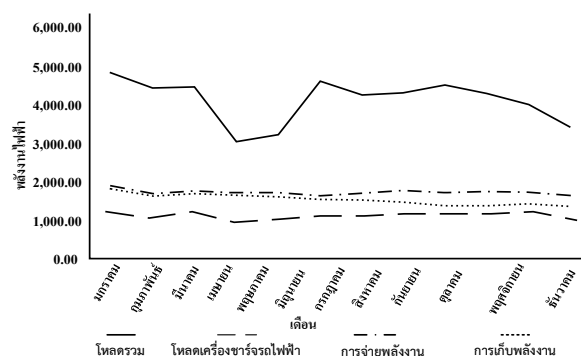
กรณีที่ 3 โหลดรวม โหลดเครื่องชาร์จรถไฟฟ้าและความสัมพันธ์ระบบกักเก็บพลังงาน ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 โหลดรวม โหลดเครื่องชาร์จรถไฟฟ้าและความสัมพันธ์ระบบกักเก็บพลังงาน

เดือน	โหลดรวม (kWh)	โหลดเครื่องชาร์จรถไฟฟ้า (kWh)	การเก็บพลังงานไปยังระบบกักเก็บพลังงาน (kWh)	การจ่ายพลังงานไปยังโหลด (kWh)
มกราคม	4,885.90	1,290.12	1,844.40	1,929.00
กุมภาพันธ์	4,475.50	1,141.26	1,659.50	1,719.70
มีนาคม	4,506.50	1,290.12	1,717.90	1,794.40
เมษายน	3,075.50	1,042.02	1,682.50	1,756.70
พฤษภาคม	3,259.20	1,091.64	1,649.60	1,745.00
มิถุนายน	4,658.80	1,190.88	1,575.00	1,662.00
กรกฎาคม	4,296.90	1,190.88	1,558.70	1,726.00
สิงหาคม	4,358.70	1,240.50	1,502.70	1,811.90
กันยายน	4,555.70	1,240.50	1,407.90	1,738.80
ตุลาคม	4,344.70	1,240.50	1,402.20	1,765.60
พฤศจิกายน	4,046.40	1,290.12	1,452.20	1,756.00
ธันวาคม	3,465.50	1,091.64	1,396.80	1,676.70
รวม	49,929.30	14,340.20	18,849.40	21,081.80

จากตารางที่ 5 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์โหลดรวม โหลดเครื่องชาร์จรถไฟฟ้าและความสัมพันธ์ระบบกักเก็บพลังงานรวม 12 เดือน จากโหลดรวมทั้งหมด 49,929.30 กิโลวัตต์-ชั่วโมง โหลดเครื่องชาร์จรถไฟฟ้ารวม 14,340.20 กิโลวัตต์-ชั่วโมง การเก็บพลังงานไปยังระบบกักเก็บพลังงานรวม 18,849.40 กิโลวัตต์-ชั่วโมง การจ่ายพลังงานไปยังโหลดรวม 21,081.80 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

ความสัมพันธ์ของจากโหลดรวมสูงสุดเดือนมกราคม 4,885.90 กิโลวัตต์-ชั่วโมง การเก็บพลังงานสูงสุดเดือนมีนาคม 1,717.90 กิโลวัตต์-ชั่วโมง และจ่ายพลังงานสูงสุดเดือนสิงหาคม 1,811.90 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 โหลดรวม โหลดเครื่องชาร์จรถไฟฟ้าและความสัมพันธ์ระบบกักเก็บพลังงาน

4. สรุป

จากการวิจัยบทความระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานร่วมกับระบบกักเก็บพลังงานอัจฉริยะสำหรับโหลดเครื่องชาร์จรถไฟฟ้า ความสัมพันธ์ระหว่างเดือนมกราคมถึงเดือนธันวาคมเป็นเวลา 12 เดือน จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์รวม 155,783.10

กิโลวัตต์-ชั่วโมง โหลดรวมของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน คือ 49,929.30 กิโลวัตต์-ชั่วโมง โหลดเครื่องชาร์จรถไฟฟ้ารวม 17,863.20 กิโลวัตต์-ชั่วโมง การเก็บพลังงานไปยังระบบกักเก็บพลังงานรวม 18,849.40 กิโลวัตต์-ชั่วโมง การจ่ายพลังงานไปยังโหลดรวม 21,081.80 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ผลลัพธ์แสดงให้เห็นประสิทธิภาพการจ่ายโหลดเครื่องชาร์จรถไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ การเก็บพลังงาน และการจ่ายพลังงานที่สอดคล้องกันของระบบ

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันโคเซ็นแห่งสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้การสนับสนุนและความช่วยเหลือในการจัดทำบทความนี้ ซึ่งได้ช่วยให้บทความนี้สำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

- [1] L. T. -E. Nyamayoka, L. Masisi and D. G. Dorrell, "Optimal power dispatch of solar PV-battery storage system for electric vehicle battery swapping stations under grid scheduled load-shedding," 2025 33rd Southern African Universities Power Engineering Conference (SAUPEC), Pretoria, South Africa, 2025, pp. 1-6, doi: 10.1109/SAUPEC65723.2025.10944320.
- [2] P. K. Kanth, P. Kumar Tiwari and N. Boda, "A Control Scheme for Grid Connected Solar Powered EV Charging Station With Hybrid Energy Storage System," 2023 IEEE Silchar Subsection Conference (SILCON), Silchar, India, 2023, pp. 1-6, doi: 10.1109/SILCON59133.2023.10405219.
- [3] F. Hafiz, P. Fajri and I. Husain, "Load regulation of a smart household with PV-storage and electric vehicle by dynamic programming successive algorithm technique," 2016 IEEE Power and Energy Society General Meeting (PESGM), Boston, MA, USA, 2016, pp. 1-5, doi: 10.1109/PESGM.2016.7741717.
- [4] A. Balal and M. Giesselmann, "Demand Side Management and Economic Analysis Using Battery Storage System (BSS) and Solar Energy," 2021 IEEE 4th International Conference on Power and Energy Applications (ICPEA), 2021, doi: 10.1109/ICPEA52760.2021.9639359.
- [5] A. H. Canada, "Solar voltaic generation power plants: 1000 MW to 10 kW photovoltaic plant design and application guide for the Pacific Northwest," IEEE Technical Applications Conference and Workshops. Northcon/95. Conference Record, 1995, doi: 10.1109/NORTHCON.1995.485071.
- [6] P. Ngamprasert, N. Rugthaicharoencheep, S. Woothipatanapan, "Application Improvement of Voltage Profile by Photovoltaic Farm on Distribution System," 2019 International Conference on Power, Energy and Innovations (ICPEI), 2019, doi: 10.1109/ICPEI47862.2019.8944997.
- [7] คณะกรรมการมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย. (2565). มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย. ระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา.
- [8] T. Panklib., "ENERGY STORAGE TECHNOLOGIES FOR RENEWABLE ENERGY," Journal of Energy and Environment Technology. Vol. 9, no.1, pp.107-113, 2022,
- [9] คณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (2563). มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับบริษัทจ่ายไฟยานยนต์ไฟฟ้า เพื่อการอัดประจุไฟฟ้า สำหรับประเภทบ้านอยู่อาศัย อาคารชุด อาคารสำนักงานและลักษณะที่คล้ายกัน.
- [10] ปพน งามประเสริฐ ณรงค์พันธ์ จุ่งเจริญ ชุมพลศิริวัฒนสิทธิ์ กันต์ วุฒิพิทักษ์ สาคร วุฒิพัฒน์พันธุ์ และณัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ, "การปฏิบัติการระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสานสำหรับระบบกักเก็บพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม," UTK RESEARCH JOURNAL, ปี 18, ฉบับที่ 1, น. 11-21, มิ.ย. 2024.