

2ER-007 : การประมาณพิกัดและต้นทุนของระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ เพื่อแก้ปัญหาแรงดันเกินจากระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ แบบติดตั้งบนหลังคาเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้า

Rated and Cost Estimation of Battery Energy Storage Systems for Mitigation of Over-voltage Cause by Grid Connected Rooftop PV

สุวิชา ไสกุล¹ พีรพล จันทร์หอม^{1*} และ วีระพันธ์ ทิพย์เสน¹

Suwicha Sokul¹ Peerapon Chanhom^{1*} and Weeraphan Tiyapsane¹

บทคัดย่อ

ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา (Rooftop PV) มีปริมาณการติดตั้งเพิ่มมากขึ้นในประเทศไทยเพื่อผลิตและจำหน่ายกำลังไฟฟ้าให้ระบบ อย่างไรก็ตาม จากการศึกษพบว่าระบบดังกล่าวอาจทำให้เกิดปัญหาแรงดันไฟฟ้าเกิน (Over-voltage) โดยเฉพาะในบริเวณที่มีการกระจุกตัวของกำลังการผลิตสูง การแก้ปัญหาแรงดันเกินที่ผ่านมาสามารถทำได้โดยการปรับแท็ป (Tap Changing) ของหม้อแปลงจำหน่าย (Distribution Transformer) และการเปลี่ยนขนาดของสายตัวนำ ซึ่งวิธีดังกล่าวมีข้อจำกัดในด้านระเบียบหรือมาตรฐานในการดำเนินการและเกิดการสูญเสียรายได้จากการดับกระแสไฟฟ้าเพื่อดำเนินการ การใช้ระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ (Battery Energy Storage Systems) เป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าว และยังสามารถเพิ่มเสถียรภาพในการทำงานให้กับระบบไฟฟ้าได้ อย่างไรก็ตาม ระบบเก็บพลังงานปัจจุบันมีราคาค่อนข้างสูง ดังนั้น เพื่อให้คุ้มค่าในการลงทุน การคำนวณหาขนาดหรือพิกัดของระบบเก็บพลังงานให้เหมาะสมกับระบบที่ต้องการแก้ปัญหาจึงเป็นประเด็นสำคัญ ด้วยเหตุผลดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอวิธีการประมาณพิกัดและต้นทุนของระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่เพื่อแก้ปัญหาแรงดันเกิน โดยใช้โปรแกรม DigSILENT Power Factory ในการจำลองการทำงานเพื่อยืนยันความถูกต้องของวิธีการนำเสนอ ซึ่งข้อมูลที่น่าสนใจมาศึกษาเป็นข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์และมีกำลังผลิตรวมทั้งหมดในระบบที่ศึกษาประมาณ 180 กิโลวัตต์ โดยคิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ของการเชื่อมต่อกับข้อกำหนดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ระบบที่ใช้ในการศึกษาเป็นระบบจำหน่ายแรงดันต่ำ (Low-voltage) ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ในเขตเมืองจังหวัดนครราชสีมา ซึ่งผลที่ได้พบว่าระบบเก็บพลังงานที่คำนวณได้สามารถแก้ปัญหาแรงดันเกินได้ตามที่ออกแบบ และการประมาณต้นทุนสามารถนำไปใช้ประกอบการวางแผนในการลงทุนได้

คำสำคัญ: ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา แรงดันเกิน ระบบแรงดันต่ำ ระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่

Abstract

Grid connected rooftop PV solar systems are highly penetrating in the electrical grid of Thailand. This is due to it can gain a benefit from the energy selling. However, from a literature study, the generated power delivered to the electrical grid by the grid connected rooftop PV solar systems might cause the power congestion and lead to the over-voltage issue. From the previous study, the over-voltage could be mitigated by the tap changing technique and upgrading the distribution line capacity. However, these methods have the main drawback i.e., difficulty of operation from the complicated regulatory and the power outage during tap changing deployment. Nowadays, the battery energy storage system (BESS) is the state of the art device that could mitigate the low-voltage issue and also improve the reliability of the electrical grid. However, the main drawback of the BESS is it is expensive for investigation. As this reason, to be worthy of the investigation, this research has proposed the rated and cost estimation of BESSs for mitigating over-voltage cause by grid connected rooftop PV. The electrical grid system and solar radiation in the urban area of Nakhon Ratchasima province have been selected for study. The maximum generated power of PV penetration is set to 180 kW following to the regulation of PEA. To validate the research proposed, the DigSILENT Power Factory has been adopted to simulate the studied case. The simulation results shows the BESS can mitigate the over-voltage issue and, the rated and cost estimation proposed in this research could be used for practically planning.

Keywords: Rooftop PV, Over-voltage, Low-voltage system, Battery Energy Storage Systems

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ นนทบุรี 11000

¹ Electrical Engineering Division, Faculty of Industrial Education, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Nonthaburi, 11000

* Corresponding author. E-mail: peerapon.c@rmutsb.ac.th

บทนำ

ในระยะ 10 ปีที่ผ่านมา ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ (Photovoltaic: PV) มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ทำให้ปัจจุบัน มีราคาลดลงและมีประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น จนกระทั่งสามารถผลิตได้เพียงพอต่อการใช้งานในภาคครัวเรือน รวมถึงจำหน่ายคืนให้กับระบบไฟฟ้าในราคาที่ไม่สูงมากนัก ปัจจุบันจึงเป็นที่นิยมและมีปริมาณการติดตั้งเพิ่มขึ้นในหลายประเทศทั่วโลก รวมถึงประเทศไทย อย่างไรก็ตาม พลังงานที่ผลิตได้ทั้งหมดที่ใช้ในครัวเรือนหรือจำหน่ายคืนให้กับระบบไฟฟ้าอาจมีผลกระทบต่อระบบไฟฟ้า ยกตัวอย่างเช่น ประเทศญี่ปุ่นมีการสถิติการใช้ระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาในจังหวัดกุมมะ และเกิดปัญหาแรงดันที่ปลายสายและจุดต่อร่วมซึ่งมีระดับแรงดันสูงเกินกว่ามาตรฐาน (มากกว่า 1.1 pu.) ซึ่งสาเหตุของการเกิดแรงดันสูงเกินเกิดจากเป็นช่วงที่ระบบพลังงานแสงอาทิตย์มีกำลังผลิตสูง ความหนาแน่นในการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ ปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้า (Ueda et al., 2005) ตำแหน่งการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์ ระดับการเข้ามาของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ และโครงสร้างของระบบจำหน่าย เป็นต้น

ที่ผ่านมาได้มีการนำเสนอวิธีการแก้ปัญหาแรงดันเกิน ยกตัวอย่างเช่น การใช้ระบบเก็บพลังงานตามบ้านเรือน (Miyamoto และ Sugihara, 2009) การเปลี่ยนขนาดสายตัวนำ (Chin Ho Tie และ Chin Kim Gan, 2013) การปรับแท็บหม้อแปลงจำหน่าย (Reinaldo et al., 2011) การปรับค่าตัวประกอบกำลัง (Power Factor) ให้มีค่าหลังทั้งโดยวิธีการติดตั้งคาปาซิเตอร์แบบกระจายถึงอุปกรณ์แฟคต์ (FACTS) (Shalwala และ Bleijs, 2010), (Chanhom และ Sirisukprasert, 2009) การจำกัดกำลังการผลิตของระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา (Demirok et al., 2009) และการควบคุมการผลิตกำลังไฟฟ้าและตั้งกำลังเสมือนจากส่วนกลาง (Yoshida et al., 2008) จากวิธีดังกล่าว การเปลี่ยนขนาดสายตัวนำและการปรับแท็บหม้อแปลงจำหน่ายเป็นวิธีที่สามารถดำเนินการได้สะดวก อย่างไรก็ตาม วิธีดังกล่าวมีข้อจำกัด เช่น กรณีของการเปลี่ยนขนาดสายตัวนำ หากมีกำลังการผลิตเชื่อมต่อเข้ามาในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำเป็นจำนวนมาก อาจทำให้เกิดปัญหาแรงดันเกินขึ้นอีก รวมถึงความไม่คุ้มทุนจากการเปลี่ยนขนาดสายตัวนำ นอกจากนี้ การปรับแท็บหม้อแปลงจำหน่ายต้องใช้เวลาในการเดินทางและต้องตัดกระแสไฟฟ้าเพื่อดำเนินการ ซึ่งทำให้เกิดการสูญเสียรายได้

นอกจากที่กล่าวในข้างต้น การติดตั้งระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ เป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถแก้ไขปัญหาแรงดันเกิน และยังสามารเพิ่มเสถียรภาพในการทำงานให้กับระบบไฟฟ้า อย่างไรก็ตาม ประเด็นที่สำคัญของการใช้ระบบเก็บพลังงานคือมีต้นทุนค่อนข้างสูง ดังนั้น การคำนวณหาขนาดหรือพิกัดของระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่จึงเป็นประเด็นที่ต้องพิจารณาเพื่อให้เกิดความคุ้มค่าในการลงทุน ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอวิธีการประมาณพิกัดและต้นทุนของระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่เพื่อแก้ปัญหาแรงดันเกินจากระบบผลิตพลังงานไฟฟ้า เพื่อยืนยันความถูกต้องของวิธีการนำเสนอ โปรแกรม DigSILENT Power Factory ถูกนำมาใช้จำลองการทำงานของกรณีศึกษา โดยข้อมูลที่นำมาศึกษาเป็นข้อมูลพลังงานแสงอาทิตย์และระบบจำหน่ายแรงดันต่ำของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ในเขตเมืองจังหวัดนครราชสีมา ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เรียบเรียงเนื้อหาไว้ดังนี้ 1) วิธีการศึกษาซึ่งประกอบด้วย การแสดงให้เห็นถึงปัญหาแรงดันต่ำที่อาจเกิดขึ้นในพื้นที่ที่ทำการศึกษา จากนั้นจึงแสดงวิธีแก้ปัญหาแรงดันเกินด้วยระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่โดยการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม DigSILENT Power Factory และแสดงการคำนวณหาพิกัดของระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ที่ใช้ในการจำลองการทำงาน และส่วนสุดท้ายคือ 2) อภิปรายผล

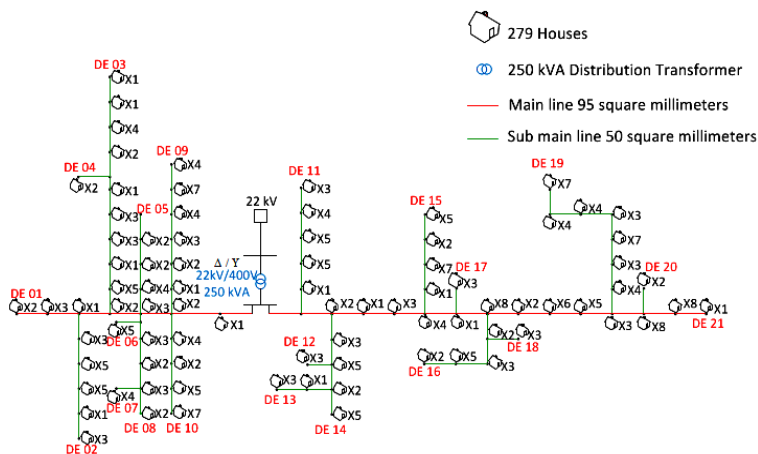
วิธีการศึกษา

ผลกระทบจากการผลิตไฟฟ้าด้วยระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายแรงดันต่ำของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ในเขตเมืองจังหวัดนครราชสีมา

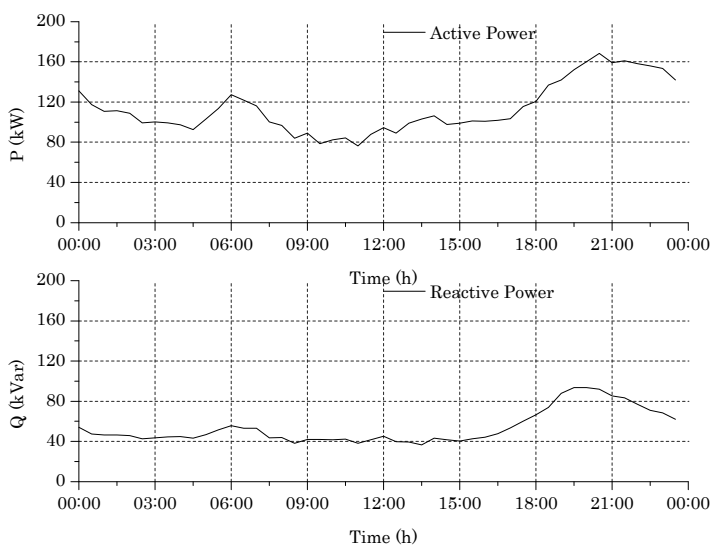
ในส่วนนี้ เป็นการแสดงให้เห็นถึงปัญหาแรงดันต่ำที่อาจเกิดขึ้น ในเขตเมืองจังหวัดนครราชสีมา จากการศึกษาผลกระทบจากการผลิตไฟฟ้าด้วยระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาที่มีการเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายแรงดันต่ำของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ในเขตเมืองจังหวัดนครราชสีมา โดยระบบจำหน่ายแรงดันต่ำ กฟภ. ที่ใช้ในการศึกษาแสดงดังรูปที่ 1 ซึ่งประกอบไปด้วยหม้อแปลง 250 เควีเอ สายจำหน่ายหลักขนาด 95

ตารางมิลลิเมตร และสายจำหน่ายย่อยขนาด 50 มิลลิเมตร และทำการศึกษาในระบบจำหน่ายแบบ 3 เฟสสมดุล (Suwicha Sokul et al., 2016)

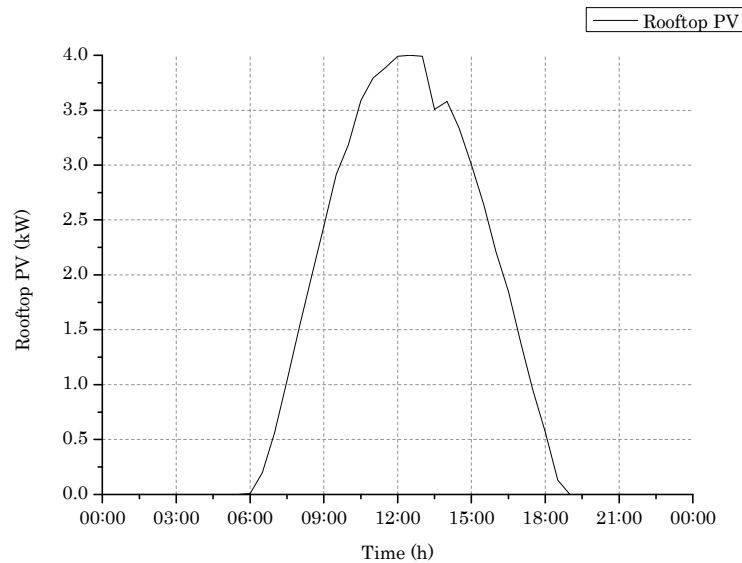
รูปที่ 2 แสดงภาระทางไฟฟ้าใน 1 วัน (Daily Load Profile) ซึ่งวัดได้จากมิเตอร์ ที่ไอยู (Time Of Use: TOU) ในพื้นที่ที่ทำการศึกษา ซึ่งถูกเลือกเพื่อนำมาเป็นตัวอย่างสำหรับคำนวณหาภาระทางไฟฟ้าใน 1 วัน ในส่วนของกำลังการผลิตไฟฟ้าด้วยระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา จะกำหนดให้แต่ละหลังคาเรือนมีปริมาณกำลังการผลิตไฟฟ้าสูงสุดใน 1 วัน หลังละไม่เกิน 4 กิโลวัตต์ (Suwicha Sokul et al., 2016) ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยเป็นการผลิตไฟฟ้าในสภาพอากาศท้องฟ้าปลอดโปร่ง



รูปที่ 1 ระบบจำหน่ายแรงดันต่ำที่ทำการศึกษา



รูปที่ 2 ภาระทางไฟฟ้าใน 1 วัน

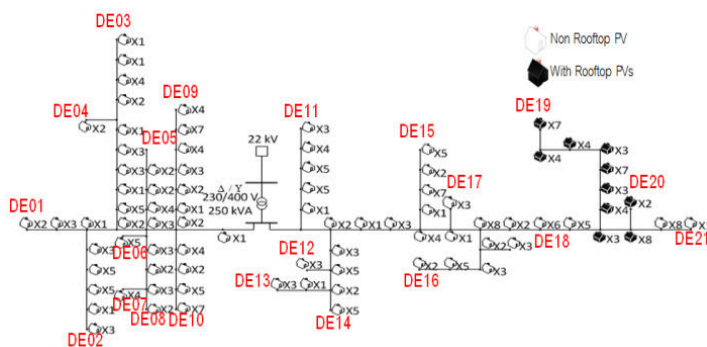


รูปที่ 3 ปริมาณกำลังกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาใน 1 วัน ในสภาพอากาศท้องฟ้าปลอดโปร่ง

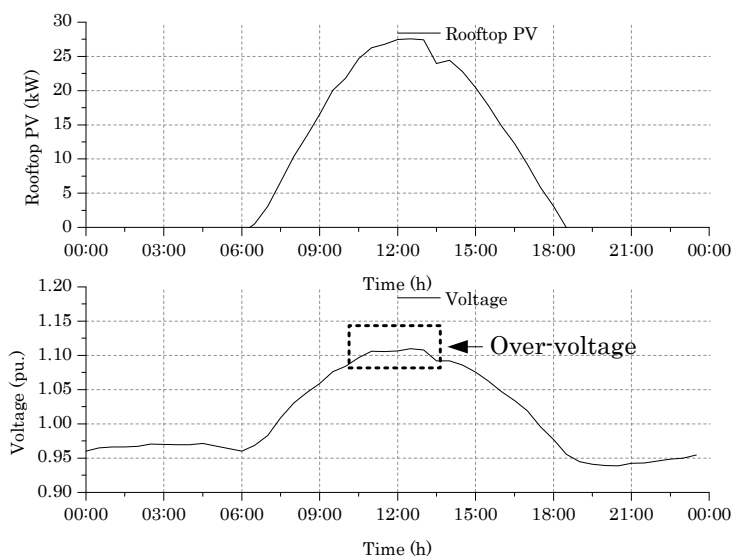
จากข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาของ กฟภ. ที่กำหนดให้ระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าชนิด 3 เฟส สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้เข้าสู่ระบบได้ไม่เกิน 56 กิโลวัตต์ต่อหลังคาเรือน และกำลังไฟฟ้ารวมทั้งหมดในระบบไฟฟ้าที่ผลิตได้จะต้องไม่เกิน 80% ของพิกัดหม้อแปลงจำหน่ายในขณะหม้อแปลงจำหน่ายทำงานที่ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ (Power Factor) เท่ากับ 0.9 ดังนั้น จากระบบที่ทำการศึกษากำลังไฟฟ้ารวมที่ผลิตได้จากระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาที่สามารถจ่ายเข้าสู่ระบบจะมีปริมาณไม่เกิน 180 กิโลวัตต์ (เมื่อคำนวณจากขนาดหม้อแปลง 250 เควีเอ) ซึ่งปริมาณดังกล่าวคิดเป็น 100% ของระดับการขายกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้เข้าสู่ระบบสูงสุดตามข้อกำหนดของ กฟภ. และจากที่กล่าวในข้างต้นที่กำหนดให้ในแต่ละหลังคาเรือนมีกำลังผลิตไฟฟ้าสูงสุดไม่เกิน 4 กิโลวัตต์ ดังนั้นในพื้นที่ที่ทำการศึกษาก็สามารถติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาได้ประมาณ 45 หลังคาเรือน

การศึกษาผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าในงานวิจัยนี้จะทำการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม DigSILENT Power Factory ซึ่งมีตำแหน่งการติดตั้งระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาดังแสดงในรูปที่ 4 ในกรณีดังกล่าวจะทำให้เกิดปัญหาแรงดันเกินในช่วงเวลา 10.30 น.-13.30 น. (มากกว่า 1.1 pu.) ที่บริเวณปลายสาย 19 ซึ่งมีบ้านผู้ใช้ไฟเชื่อมต่อบนระบบพลังงานแสงอาทิตย์จำนวน 7 หลังคาเรือน ทำให้บัสที่ปลายสาย 19 มีกำลังไฟฟ้าจริงประมาณ 28 กิโลวัตต์ ดังแสดงในรูปที่ 5

การแก้ไขปัญหาแรงดันเกินในงานวิจัยนี้ได้ดำเนินการโดยใช้ระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ ซึ่งนอกจากสามารถแก้ไขปัญหาแรงดันเกิน ยังสามารถเพิ่มเสถียรภาพในการทำงานให้กับระบบไฟฟ้า เนื่องจากแบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์เก็บพลังงานที่สามารถตอบสนองต่อการทำงานได้อย่างรวดเร็ว และสามารถเก็บและจ่ายพลังงานไฟฟ้าในพิกัดที่สูงตั้งแต่ระดับสิบถึงหลายร้อยกิโลวัตต์ (หรือระดับเมกกะวัตต์ในอนาคต) โดยรายละเอียดในการจำลองการทำงานเพื่อแก้ไขปัญหาแรงดันเกินด้วยระบบเก็บพลังงาน และการคำนวณหาพิกัดของระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่มีดังนี้



รูปที่ 4 ตำแหน่งการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา



รูปที่ 5 ระดับแรงดันที่ปลายสาย 19

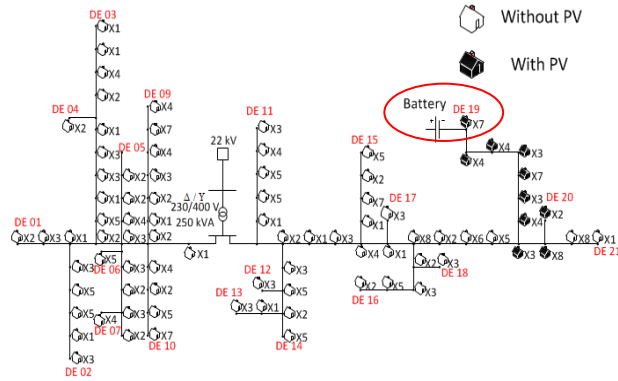
การแก้ปัญหาแรงดันเกินด้วยระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่

ในงานวิจัยนี้จะจำลองการทำงานโดยระบบจำหน่าย 22 กิโลโวลต์ เป็นแหล่งจ่ายแบบ External Grid หรือแหล่งจ่ายอนันต์ จ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านหม้อแปลง 250 เควีเอ ผ่านสายตัวนำขนาด 90 และ 50 ตารางมิลลิเมตร จำหน่ายกระแสไฟฟ้าไปยังบ้านเรือนของผู้ใช้ไฟฟ้า ซึ่งภาระทางไฟฟ้าจำลองด้วย General Load โดยป้อนปริมาณการใช้กำลังกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือน ระบบพลังงานแสงอาทิตย์และระบบเก็บพลังงานจำลองด้วยแหล่งกำเนิดแบบสแตติก (Static Generator) โดยระบบพลังงานแสงอาทิตย์ป้อนพิกัดกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ทำงานที่ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์เท่ากับ 1 ส่วนระบบกักเก็บพลังงานป้อนพิกัดการอัดประจุกำลังไฟฟ้า ซึ่งพิกัดของระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่สามารถคำนวณได้ตามวิธีการดังนี้

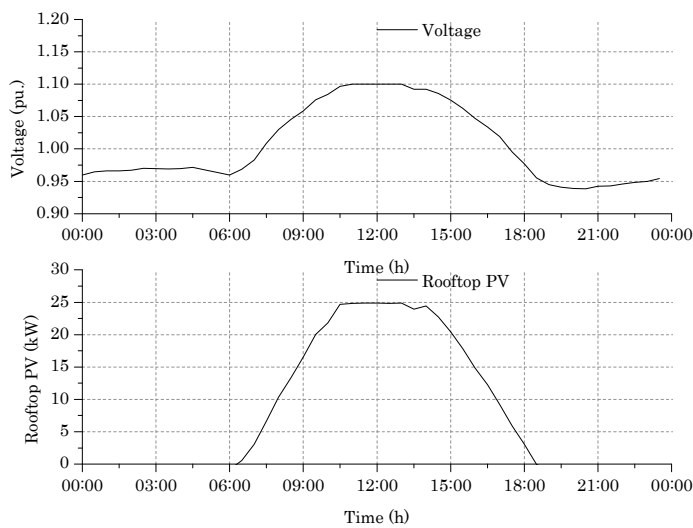
การคำนวณหาพิกัดของระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่

การพิจารณาหาพิกัดของระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ สามารถทำได้โดยการจำลองการทำงานโดยเชื่อมต่อระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่เข้ากับระบบจำหน่ายที่ปลายสาย 19 ดังแสดงในรูปที่ 6 โดยใช้ตัวควบคุม Local Voltage Controllers Options เพื่อรักษาระดับแรงดันให้ไม่เกิน 1.1 pu. ซึ่งควบคุมการจ่ายและรับกำลังไฟฟ้าของระบบกักเก็บพลังงานเพื่อรักษาระดับแรงดัน และจะทำการชาร์จประจุหรือกักเก็บพลังงานจากระบบไฟฟ้าเข้าสู่ระบบเก็บพลังงานเมื่อแรงดันเกิน 1.1 pu. ซึ่งจากการจำลองการทำงานโดยใช้โปรแกรม DiGSILENT Power Factory

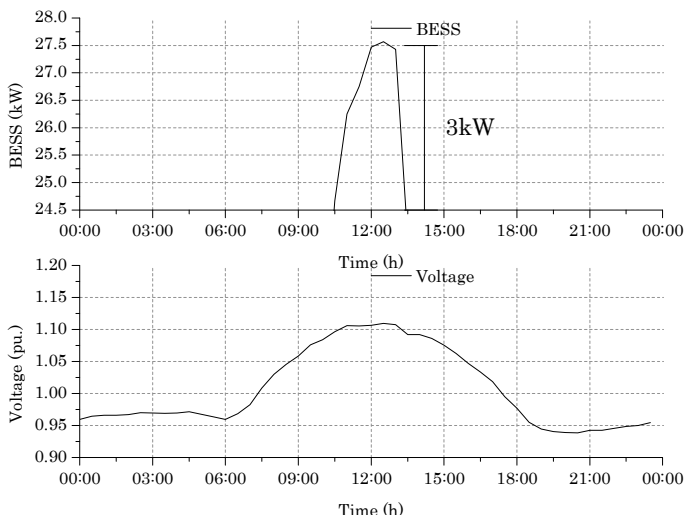
เมื่อมีการติดตั้งระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ ในกรณีที่เกิดปัญหาแรงดันเกิน พบว่า ระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่สามารถรักษาระดับแรงดันให้คงที่ตามที่กำหนดคือ 1.1 pu. ในช่วงเวลาที่เกิดปัญหาแรงดันเกิน (ประมาณ 10:30-13:30 น.) ดังแสดงในรูปที่ 7 ซึ่งกำลังไฟฟ้าและระยะเวลาที่ระบบเก็บพลังงานต้องดำเนินการเพื่อแก้ไขปัญหาแรงดันสูงเกินมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 6 ตำแหน่งติดตั้งระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่



รูปที่ 7 ระดับแรงดันที่ปลายสาย 19 เมื่อติดตั้งระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่



รูปที่ 8 การคำนวณหาขนาดแบตเตอรี่

จากผลการจำลองการทำงานดังกล่าว พิกัดของระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ประกอบด้วยพิกัดกำลังไฟฟ้า (Power) และพิกัดพลังงานไฟฟ้า (Energy) โดยพิกัดกำลังไฟฟ้าสามารถพิจารณาได้จากกำลังไฟฟ้าส่วนเกิน ที่ต้องเก็บเข้าสู่ระบบเก็บพลังงานดังแสดงในรูปที่ 8 ตามสมการที่ (1)

$$P_{BESS} = \frac{P_{Excess}}{\eta_{Converter}} \tag{1}$$

และพิกัดพลังงานไฟฟ้าสามารถพิจารณาได้ตามสมการที่ (2)

$$E_{BESS} = P_{BESS} \times Times \tag{2}$$

โดยที่

- P_{BESS} คือ พิกัดกำลังไฟฟ้าของระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ (kW)
- P_{Excess} คือ กำลังไฟฟ้าที่ต้องการจัดเก็บในระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ (kW)
- $\eta_{Converter}$ คือ ประสิทธิภาพของคอนเวอร์เตอร์
- E_{BESS} คือ พิกัดพลังงานไฟฟ้าของระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ (kWh)
- $Times$ คือ ระยะเวลาในการเก็บพลังงาน (h)

ดังนั้น พิกัดของระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ของระบบที่ทำการศึกษามารถสรุปได้ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 พิกัดของระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ของระบบที่ทำการศึกษา

P_{BESS} (kW)	E_{BESS} (kWh)	Times (h)	$\eta_{Converter}$
3.19	5.74	3	0.94

การคำนวณต้นทุนของระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่

ต้นทุนของระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ โดยทั่วไปจะประกอบด้วยต้นทุนของระบบเก็บพลังงานซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

$$Cost_{BESS} = (E_{BESS} Cost_{Battery} + P_{BESS} Cost_{Converter}) \% Cost_{Installation} \tag{3}$$

และต้นทุนในการดำเนินการ รวมถึงต้นทุนในการติดตั้งที่สามารถคำนวณได้จาก

$$Cost_{O\&M} = Cost_{BESS} (\% Cost_{Operations} + \% Cost_{Maintenance}) \tag{4}$$

โดยประโยชน์ที่เกิดจากการใช้งาน BESS ซึ่งคิดเป็นรายได้จะมาจากกำไรส่วนต่างที่เกิดจากการซื้อขายพลังงานไฟฟ้าซึ่งสามารถคำนวณได้ตาม

$$Benefits_{BESS} = E_{BESS} \times Cost_{Unit} \times n \quad (5)$$

ซึ่งการติดตั้ง BESS จะคืนทุนภายในช่วงเวลาตาม

$$Time_{Payback} = \frac{Cost_{BESS}}{(Benefits_{BESS} - Cost_{O\&M})} \quad (6)$$

โดยที่

$Cost_{BESS}$	คือ ราคาต่อหน่วยของระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่
$Cost_{Battery}$	คือ ราคาต่อ kWh ของแบตเตอรี่
$Cost_{Converter}$	คือ ราคาต่อ kW ของคอนเวอร์เตอร์
$\%Cost_{Installation}$	คือ ราคาร้อยละของราคาติดตั้งต่อหน่วยของระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ต่อปี
$\%Cost_{Operations}$	คือ ราคาร้อยละของราคาดำเนินการต่อหน่วยของระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ต่อปี
$\%Cost_{Maintenance}$	คือ ราคาร้อยละของราคาซ่อมบำรุงต่อหน่วยของระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ต่อปี
$Benefits_{BESS}$	คือ ประโยชน์จากการใช้งาน BESS ซึ่งคิดเป็นรายได้ต่อปี
$Cost_{Unit}$	คือ ราคาหน่วยรับซื้อไฟฟ้าที่ขายเข้าสู่ระบบโดย BESS
n	คือ จำนวนครั้งที่เกิดการรับซื้อไฟฟ้าต่อปี

ตารางที่ 2 แสดงรายละเอียดของข้อมูลต่างๆ ที่จำเป็นในการคำนวณหาต้นทุนการติดตั้งระบบกักเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ ในงานวิจัยนี้จะแสดงตัวอย่างการเลือกใช้แบตเตอรี่ชนิด ลิเทียมไอออนฟอสเฟต (Lithium Iron Phosphate: LiFePO4) เนื่องจากแบตเตอรี่ชนิดดังกล่าวมีความสามารถในการอัดและคายประจุไฟฟ้าได้อย่างรวดเร็ว และเก็บพลังงานได้สูงกว่าแบตเตอรี่ทั่วไป นอกจากนี้ยังมีอายุการใช้งานยาวนานกว่าแบตเตอรี่ชนิดอื่นๆ

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์ต่างๆ ในการคำนวณต้นทุนของระบบเก็บพลังงาน

พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	มูลค่า	หน่วย	แหล่งที่มา
ราคาต่อ kWh ของแบตเตอรี่ชนิด LiFePO4	$Cost_{BESS}$	$300 \times 35 = 10,500$	\$/kWh	Balqon Corporation
ราคาต่อ kWh ของคอนเวอร์เตอร์	$Cost_{Converter}$	$400 \times 35 = 14,000$	\$/kWh	SANDIA
ราคาร้อยละของราคาติดตั้งต่อหน่วยของระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่	$Cost_{Installation}$	5	%	EPRI
ราคาร้อยละของราคาดำเนินการต่อหน่วยของระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่	$Cost_{Operations}$	5	%/Year	-
ราคาร้อยละของราคาซ่อมบำรุงต่อหน่วยของระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่	$Cost_{Maintenance}$	5	%/Year	-
ประสิทธิภาพของคอนเวอร์เตอร์	$\eta_{Converter}$	0.94	-	-
ราคาหน่วยรับซื้อไฟฟ้าที่ขายเข้าสู่ระบบโดย BESS	$Cost_{Unit}$	16	Baht	-
จำนวนครั้งที่เกิดการรับซื้อไฟฟ้า	n	200	Time/Year	-

*คิดอัตราการแลกเปลี่ยนเงินตราที่ 1USD=35Baht

จากข้อมูลในตารางที่ 2 สามารถนำมาคำนวณหาพิคและต้นทุนของระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่สำหรับการแก้ไขปัญหาแรงดันไฟฟ้าในงานวิจัยนี้ได้ดังแสดงในตารางที่ 3 โดยพบว่าประโยชน์ที่เกิดจากการใช้งาน BESS ซึ่งคิดเป็นรายได้จะมาจากกำไรส่วนต่างที่เกิดจากการซื้อขายพลังงานไฟฟ้าที่ราคาหน่วยรับซื้อไฟฟ้าที่ขายเข้า

ผู้ระบบโดย BESS ซึ่งยกตัวอย่างที่ประมาณ 16 บาท จะสามารถทำให้เกิดการคืนทุน (โดยไม่คิดอัตราดอกเบี้ย) ที่ประมาณ 15 ปี ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการคำนวณตามตารางที่ 3 เป็นข้อมูลที่สำคัญสำหรับใช้ในการวิเคราะห์วางแผนในการลงทุน เช่น หากต้องการปรับเปลี่ยนให้มีระยะเวลาคืนทุนที่สั้นลงจะต้องมีการปรับเปลี่ยนงบประมาณหรือพารามิเตอร์ในส่วนใด เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ระยะเวลาการคืนทุนของระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่นั้นยังสามารถปรับปรุงให้มีระยะเวลาสั้นลงได้จากการใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ เช่น การปรับปรุงค่าพาวเวอร์แฟคเตอร์ และการป้องกันการผันผวนของกำลังไฟฟ้าที่เกิดจากความไม่แน่นอนของแสงอาทิตย์ เป็นต้น

ตารางที่ 3 หาพิกัดและต้นทุนของระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่สำหรับการแก้ไขปัญหาแรงดันไฟฟ้าในงานวิจัย

Cost _{BESS} (Baht)	Cost _{O&M} (Baht/Year)	Benefit _{BESS} (Baht/Year)	Time _{Payback} (Years)
110,250.00	11,025.00	18,368	15

อภิปรายผล

ระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่สามารถแก้ปัญหาแรงดันเกินที่ปลายสายซึ่งเกิดจากระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา (Rooftop PV) ที่มีปริมาณการติดตั้งเพิ่มมากขึ้นในประเทศไทยเพื่อผลิตและจำหน่ายกำลังไฟฟ้าให้ระบบ พิกัดของระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่สามารถคำนวณได้จากพื้นที่ได้กราฟของกำลังไฟฟ้าในจุดที่เกิดปัญหา การคำนวณหาพิกัดของระบบเก็บพลังงานจากพื้นที่ได้กราฟของกำลังไฟฟ้าง่าวนั้นต้องพิจารณาออกเป็นพิกัดกำลังและพลังงานไฟฟ้า เนื่องจากระบบเก็บพลังงานต้องสามารถเก็บหรือจ่ายกำลังไฟฟ้าตามที่ต้องการแล้วต้องสามารถเก็บพลังงานไฟฟ้าได้ตามระยะเวลาที่ระบบต้องการ ดังนั้น การประมาณต้นทุนของระบบเก็บพลังงานจะต้องพิจารณาจากทั้งพิกัดกำลังและพลังงานไฟฟ้า ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการและแสดงตัวอย่างการคำนวณพิกัดและการประมาณต้นทุนของระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่เพื่อแก้ปัญหาแรงดันเกินในระบบที่ทำการศึกษา ซึ่งผลจากการจำลองการทำงานแสดงให้เห็นว่าระบบเก็บพลังงานที่คำนวณได้สามารถแก้ไขปัญหาแรงดันเกิน และการประมาณต้นทุนของระบบเก็บพลังงานสามารถนำไปประกอบการวางแผนการลงทุน ในงานวิจัยส่วนต่อไปทางผู้วิจัยจะได้นำการศึกษาต่อในประเด็นของการประโยชน์ในด้านอื่นๆ ของระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่ เช่น การปรับปรุงค่าพาวเวอร์แฟคเตอร์ และการป้องกันการผันผวนของกำลังไฟฟ้าที่เกิดจากความไม่แน่นอนของแสงอาทิตย์ เป็นต้น เพื่อแสดงให้เห็นถึงความคุ้มค่าในการใช้งานและการลดระยะเวลาในการคืนทุนของการลงทุนในระบบเก็บพลังงานด้วยแบตเตอรี่

เอกสารอ้างอิง

- Ueda, Y Oozeki, T., Kurokawa, K., Itou, T., Kitamura, K., Miyamoto, Y., Yokata, M., Sugihara, H. and Nishikawa, S. 2005. Detailed performance analyses results of grid-connected clustered PV systems in Japan-First 200 systems results of demonstrative research on clustered PV systems. : 20th European PVSEC. Barcelona
- Miyamoto, Y. and Sugihara, H. 2009. Demonstrative research on clustered PV systems. pp. 512-516 : IEEE. 34th Specialist Conference (PVSC).
- Chin Ho Tie and Chin Kim Gan. 2013. Impact of grid-connected residential PV systems om the Malaysia Low Voltage distribution network. pp. 670-675 : IEEE. 7thInternational Power Engineering and Optimization Conference (PEOCO 2013). Langkawi. Malaysia. (3-4 June, 2013).
- Reinaldo Tonkoski, Luiz A., C. Lopes and Tarek H. M. El-Fouly. 2011. Coordinated active power curtailment of grid connected PV Inverters for overvoltage penetration. vol. 2. No 2. pp. 139-147 : IEEE Transaction on Sustainable Energy.(April 2011).

- Shalwala, R. A. and Bleijs, J. A. M. 2010. Impact of grid-connected PV systems on voltage regulation of a residential area network in Saudi Arabia. pp. 1-5. : 1st International Nuclear and Renewable Energy Conference (INREC). Amman. Jordan. (21-24 March, 2010).
- Chanhom, C and Sirisukprasert, S. 2009. Distributed Static Compensator with fuel cell for power quality improvement and hybrid power generation. International Conference on 6th ECTI-CON (6-9 May 2009).
- Demirok, E., Sera, D., Teodorescu, R., Rodriguez, P. and Borup, U. 2009. Clustered PV Inverters in LV network: An overview of impacts and comparison of voltage control strategies. pp.1-6. : IEEE, Electrical Power & Energy Conference (EPEC).
- Yoshida, K., Kouchi, K., Nakanishi, Y., Ota, H., and Yokoyama, R. 2008. Centralized control of clustered PV generations for loss minimization and power quality. pp.1-6. : IEEE, Power and Energy Society General Meeting-Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century.
- Suwicha Sokul, Peerapon Chanhom and Siriroj Sirisukprasert. 2016. Impact of photovoltaic power generations on voltage level of Low-Voltage distribution systems. pp. 538-540 : The 5th International Symposium on the Fusion of science and Technology 2016 (ISFT2016). New Delhi. India. (8-12 January. 2016)