การศึกษาผลกระทบจากการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ที่ติดตั้งบนหลังคาพร้อมระบบแบตเตอรี่ในโรงงานอุตสาหกรรม
Impact of Solar Rooftop with Batteries Installed on the Roof of Industrial Plant

อรพิณ วรรณราช[1] สมศักดิ์ สิริโปราณานนท์[2] บุญเลิศ สื่อเฉย[2]
E-mail: tdlert@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอผลกระทบของระบบจำหน่ายแรงดันไฟฟ้าต่ำในการเชื่อมต่อระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา ใช้ระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) ในระบบจำหน่าย 24 kV ขนาดหม้อแปลงไฟฟ้า 2500 kVA มีภาระโหลดแบบกระจัดกระจายที่ 85%, 3% และ 12% ตามลำดับ โดยมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าในแต่ละวัน (Load Profile) ที่แตกต่างกันคือโรงงานและสำนักงาน อ้างอิงตามตารางการทำงานในปัจจุบันเพื่อออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา โดยใช้โปรแกรม PVWatts Calculator ในการพยากรณ์กำลังผลิตติดตั้งของระบบ และใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ DIgSILENT PowerFactory เพื่อจำลองและวิเคราะห์การไหลของระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ เสถียรภาพแรงดันไฟฟ้า และค่าตัวประกอบกำลังที่ส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้า ตลอดจนพิจารณาศึกษาในกรณีที่มีและไม่มีการติดตั้งแบตเตอรี่ในระบบ สำหรับผลลัพธ์ที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้จะสร้างข้อเสนอแนะที่น่าสนใจต่อการนำไปพิจารณาใช้งานจริงในหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และเป็นข้อมูลสำหรับผู้ที่สนใจศึกษานำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

คำสำคัญ: พลังงานทดแทน พลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา แบตเตอรี่

Abstract

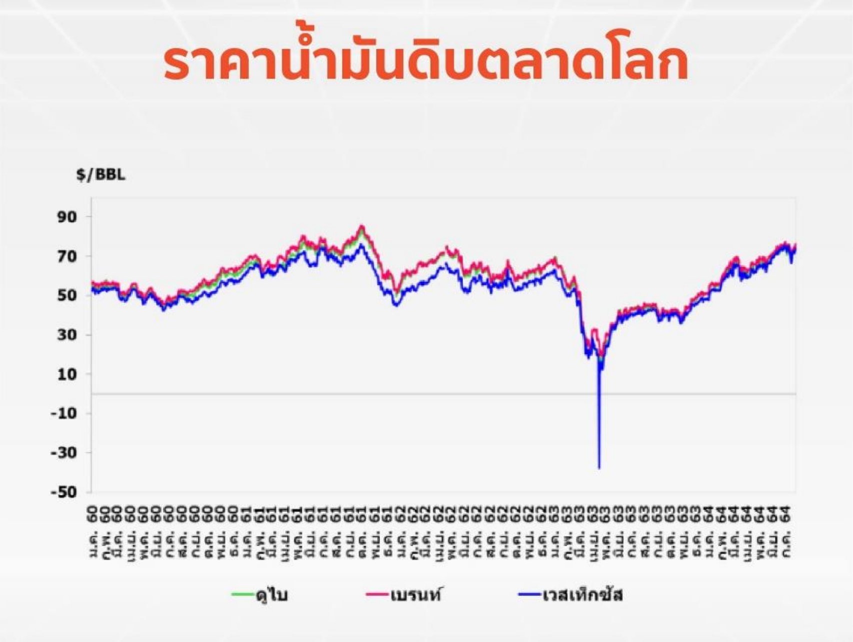
This research presents the impact of grid-connected solar rooftop for high penetration in low voltage distribution network of the 24 kV grid system. The transformer capacity is 2500 kVA which each loaded 85%, 3% and 12% respectively. The demand of load profile for the factory and the office are based on the work schedule in order to design the solar rooftop system. By using the PVWatts Calculator program to forecast the capacity of the system. And using the DIgSILENT PowerFactory program to simulate and analyze power flow, voltage stability and power factor that affect the distribution system. This research will consider the results between installing a solar rooftop system with and without a battery in the industrial plant. The results from this research will create recommendations that can be considered for practical use in.

Keywords: renewable energy, solar rooftop, battery

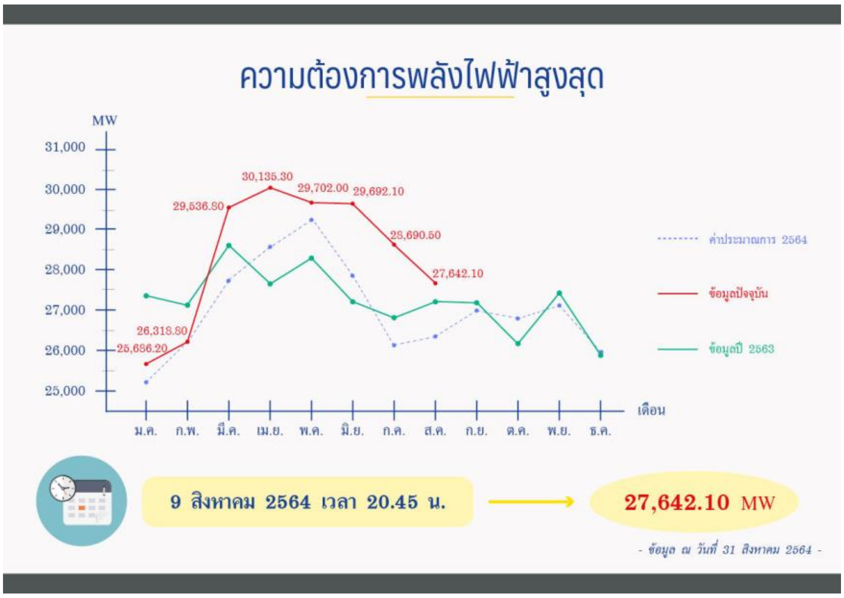
ความเป็นมาของปัญหา

จากปัญหาวิกฤติการณ์ราคาต้นทุนเชื้อเพลิงพลังงานที่มีความผันผวนเป็นอย่างมาก[Greenpeace. (2021), IPCC. (2014), EPPO. (2021)] ดังภาพที่ 1 และ 2 ก่อให้เกิดความกังวลต่อการจัดการปริมาณเชื้อเพลิงสำรองให้เพียงพอรองรับความต้องการใช้ที่มีอัตราเพิ่มขึ้น[EGAT. (2021)] ในภาคส่วนต่างๆ อาทิ ภาคการขนส่ง ภาคอุตสาหกรรม ตลอดจนการใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้า กระตุ้นให้เกิดความต้องการนำพลังงานหมุนเวียนที่มีอยู่หลากหลายมาใช้งาน หนึ่งในพลังงานหมุนเวียนที่ทำการศึกษาและได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลายว่ามีศักยภาพสูงสำหรับใช้ผลิตไฟฟ้าในประเทศไทยคือ พลังงานแสงอาทิตย์ [DEDE. (2021)] โดยเฉพาะการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ จะเห็นได้ว่าในช่วงระยะเวลา 10 ปีที่ผ่านมา มีการศึกษา วิจัยและการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตและการใช้ประโยชน์จากการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์อย่างต่อเนื่อง [Pratheep Fupol. (2010), Hafis Maeraekache, Somporn Sirisumrannukul. (2017 March 10), Naruemon Wongsawatsuriyha. (2018), Thitikorn Srivorakul. (2018), Teerapat Manmit, Parnjit Damrongkulkamjorn. (2015) และ Pairote Thongprasri. (2018)]

[1] นักศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์
[2] อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์



ภาพที่ 1 สถานการณ์ราคาต้นทุนเชื้อเพลิงพลังงาน[2]



ภาพที่ 2 สถานการณ์ความต้องการพลังงานไฟฟ้าในปัจจุบัน[4]

ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้เพียงในช่วงเวลากลางวัน โดยในแต่ละช่วงเวลาจะมีค่าไม่คงที่ เนื่องจากความเข้มของแสงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศและฤดูกาล ทำให้แรงดันไฟฟ้า ณ จุดที่มีการเชื่อมต่อกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เกิดการกระเพื่อมของแรงดัน (Voltage Fluctuation) อันเป็นเหตุให้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่อยู่ในระบบทำงานผิดพลาดเสียหายได้ การเพิ่มระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เข้าสู่ระบบไฟฟ้าจึงต้องคำนึงถึงผลกระทบต่อคุณภาพระบบไฟฟ้า ความมั่นคงของระบบไฟฟ้า

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอผลกระทบจากการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาพร้อมระบบแบตเตอรี่ในโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อผลที่ได้จากงานวิจัยนี้จะสร้างข้อเสนอแนะที่น่าสนใจต่อการนำไปพิจารณาใช้งานจริงในหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และเป็นข้อมูลสำหรับผู้ที่สนใจศึกษานำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาผลกระทบจากการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาพร้อมระบบแบตเตอรี่ในโรงงานอุตสาหกรรม และเพื่อหาผลกระทบต่อระบบจำหน่าย และขนาดแบตเตอรี่ที่เหมาะสมกับระบบเพื่อเป็นข้อมูลสำหรับนำไปพิจารณาใช้งาน

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ประเภทของการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยประยุกต์ในการวิเคราะห์ผลกระทบของระบบจำหน่ายแรงดันไฟฟ้าต่ำในการเชื่อมต่อระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาเพื่อนำผลที่ได้เป็นแนวทางในการวางแผนการใช้งานต่อไป

2. เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

เครื่องมือหลักที่ใช้ในงานวิจัยนี้ จะประกอบด้วย

2.1 ชุดเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาและอุปกรณ์ประกอบ

2.2 โปรแกรม PVWatts Calculator

2.3 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ DIgSILENT PowerFactory

ชุดเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาและอุปกรณ์ประกอบ จะประกอบด้วยหม้อแปลงไฟฟ้า 2500 kVA 3 ph 50 Hz 24000-416/240 V เวคเตอร์กรุ๊ป Dyn11 แบตเตอรี่ อินเวอร์เตอร์ และอุปกรณ์เครื่องมือวัดต่างๆ

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า (PV Grid Connected System) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ถูกออกแบบสำหรับผลิตไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์ที่สามารถแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อเชื่อมต่อเข้าสู่สายส่งไฟฟ้าระบบจำหน่ายโดยตรง อุปกรณ์ของระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งนำมาต่อให้ได้แรงดันตามความต้องการ และอินเวอร์เตอร์ชนิดต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ แรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้สามารถนำไปใช้งานได้โดยตรงด้วยการต่อกับโหลดไฟฟ้ากระแสตรง หรือแปลงไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งสามารถนำไปใช้กับโหลดไฟฟ้ากระแสสลับ และในขณะเดียวกันก็สามารถเชื่อมต่อกับโครงข่ายไฟฟ้า ผ่านสวิตช์ตัดตอนและมิเตอร์กิโลวัตต์-ชั่วโมง ใช้ผลิตไฟฟ้าในเขตเมืองหรือพื้นที่ที่มีระบบโครงข่ายไฟฟ้าเข้าถึง

3.2 ค่าพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์และวงจรสมมูล

กรณีมีแสงอาทิตย์ สามารถหาได้ดังสมการ

$$I=I_{ph}-I_s\left[\exp\frac{q(V+IR_s)}{N\times T\times K}-1\right]-\frac{(V+IR_s)}{R_{sh}} \qquad (1)$$

โดยที่

I_{ph} คือ กระแสไฟฟ้าที่สร้างขึ้นจากแสง ; A

I_s คือ กระแสไบอัสอิ่มตัวย้อนกลับของไดโอด ; A

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

N คือ Ideal factor โดยขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีในการผลิตโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์

K คือ ค่าคงที่ของ Boltzman มีค่าเท่ากับ 1.3806504×10^{-23} J/Kevin

T คือ อุณหภูมิที่รอยต่อขณะทำงานของเซลล์ ; Kevin

V คือ แรงดันที่ตกคร่อมไดโอด ; V

R_s คือ ค่าความต้านทานอนุกรมของเซลล์ ; Ω

R_{sh} คือ ค่าความต้านทานขนานของเซลล์ ; Ω

กรณีแสงอาทิตย์ดับ

เมื่อค่า I_{ph} เป็นกระแสที่สร้างขึ้นจากเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้แสงในการเปลี่ยนรูปพลังงาน ซึ่งค่ากระแสที่สร้างขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มแสงและอุณหภูมิตามสมการ

$$I_{ph}=\left[I_{sc}+K_1\left(T-T_{ref}\right)\right]\lambda \qquad (2)$$

โดยที่

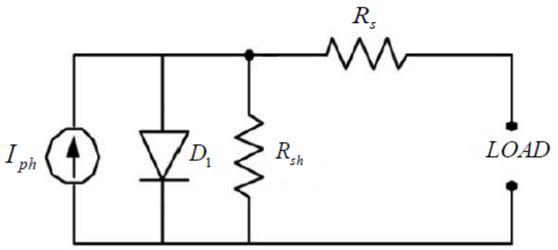
I_{sc} คือ กระแสลัดวงจรของเซลล์ที่ 25°C ; A

K_1 คือ สัมประสิทธิ์อุณหภูมิของกระแสลัดวงจร ; A/°C

T_{ref} คือ อุณหภูมิอ้างอิงของเซลล์ ; Kevin

λ คือ ความเข้มแสง ; kW/ m^2

วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ แสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ [11]

3.3 เสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง การเชื่อมต่อระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพ (Stability) และความน่าเชื่อถือ (Reliability) ของคุณภาพไฟฟ้าในระบบจำหน่าย (Power Quality) การเกิดแรงดันไฟฟ้าเกิน (Over Voltage) เนื่องจากการเชื่อมต่อระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่จ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ระบบที่มากเกินความต้องการของโหลดรวม จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเกินในระดับแรงดันต่ำ โดยขนาดความรุนแรงขึ้นอยู่กับขนาดกำลังไฟฟ้าของระบบพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์และตำแหน่งที่ติดตั้ง

ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor : P.F.) คือค่าตัวเลขอัตราส่วนของกำลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริงหรือ Real Power (P) ซึ่งมีหน่วยเป็นวัตต์ (Watt : W) หารด้วยค่ากำลังงานไฟฟ้าที่ปรากฏ หรือ Apparent Power (S) ซึ่งมีหน่วยเป็นโวลต์-แอมแปร์ (VA) แสดงได้ตามสมการ

$$\text{Power factor} = \cos\phi = \frac{\text{Real Power (W)}}{\text{Apparent Power (VA)}} \qquad (3)$$

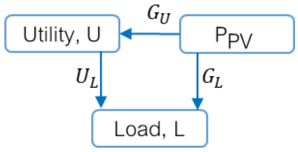
ผลกระทบที่เกิดจากตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ในกรณีที่มีการเชื่อมต่อเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อเข้าระบบจำหน่ายเนื่องจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์ส่วนใหญ่จะถูกตั้งค่าที่ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสูง หรือมีค่าเข้าใกล้ 1 มากที่สุด เพื่อที่จะให้ระบบผลิตกำลังงานไฟฟ้าที่ใช้งานจริงมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ โดยไม่คำนึงถึงกำลังรีแอคทีฟ (Reactive Power) ทำให้มีปริมาณสูงขึ้นในระบบจำหน่าย กล่าวคือ เมื่อทำให้ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของระบบลดต่ำลง ก่อให้เกิดปัญหากับหม้อแปลงไฟฟ้าของระบบจำหน่ายด้วย

4. ระบบกักเก็บพลังงาน

4.1 สมการทางคณิตศาสตร์ของแบบจำลองระบบไฟฟ้าในกรณีที่ไม่มีการกักเก็บพลังงาน

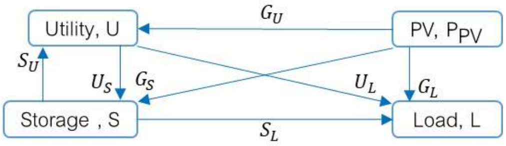
สมดุลกำลังไฟฟ้าของการผลิต คือ ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ (P_{PV}) เท่ากับ ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากระบบผลิตไปยังโครงข่าย รวมกับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากระบบผลิตไปยังโหลด ดังสมการ $P_{PV}=G_U+G_L$ และแบบจำลองระบบไฟฟ้าแสดงดังภาพที่ 4

สมดุลกำลังไฟฟ้าของโหลด คือ ปริมาณไฟฟ้าที่โหลดต้องการ (Load, L) เท่ากับ ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากระบบผลิตไปยังโหลด รวมกับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากโครงข่ายไปยังโหลด ดังสมการ $L = G_L+U_L$



ภาพที่ 4 แบบจำลองระบบไฟฟ้าในกรณีที่ไม่มีการกักเก็บพลังงาน

4.2 สมการทางคณิตศาสตร์ของแบบจำลองระบบไฟฟ้าในกรณีที่มีการกักเก็บพลังงาน



ภาพที่ 5 แบบจำลองระบบไฟฟ้าในกรณีที่มีการกักเก็บพลังงาน

สมดุลกำลังไฟฟ้าของการผลิต คือ ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ (P_{PV}) เท่ากับ ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากระบบผลิตไปยังโครงข่ายไฟฟ้า รวมกับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากระบบผลิตไปยังโหลด รวมกับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากระบบผลิตไปยังระบบกักเก็บพลังงาน ดังสมการ $P_{PV}=G_U + G_L + G_S$ และแบบจำลองแสดงดังภาพที่ 5

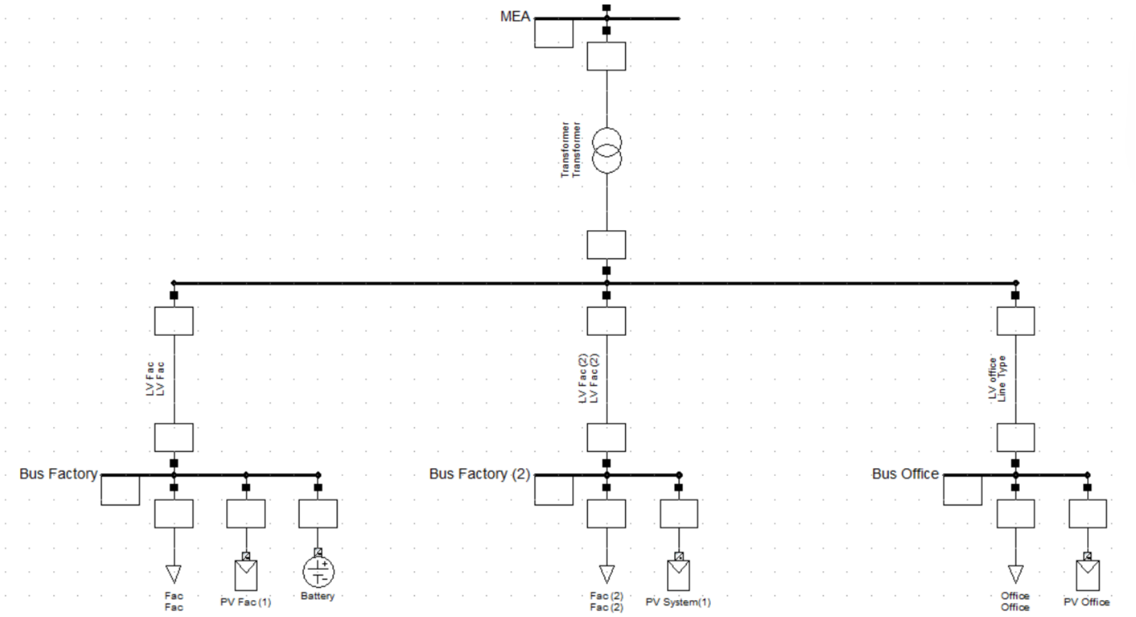
สมดุลกำลังไฟฟ้าของโหลด คือ ปริมาณไฟฟ้าที่โหลดต้องการ (Load, L) เท่ากับ ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากระบบผลิตไปยังโหลด รวมกับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากระบบกักเก็บพลังงานไปยังโหลด รวมกับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากโครงข่ายไปยังโหลด ดังสมการ $L = G_L + S_L + U_L$

สมดุลกำลังไฟฟ้าของการอัดประจุ คือ ปริมาณไฟฟ้าที่อัดประจุไว้ในแบตเตอรี่ (Charging Power, C) เท่ากับ ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากระบบผลิตไปยังระบบกักเก็บพลังงาน รวมกับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากโครงข่ายไปยังระบบกักเก็บพลังงาน ดังสมการ $C=G_S + U_S$

สมดุลกำลังไฟฟ้าของการคายประจุ คือ ปริมาณไฟฟ้าที่คายประจุออกจากแบตเตอรี่ (Discharging Power, D) เท่ากับ ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากระบบกักเก็บพลังงานไปยังโครงข่ายไฟฟ้า รวมกับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากระบบกักเก็บพลังงานไปยังโหลด ดังสมการ $D=S_U + S_L$

5. การจำลองระบบไฟฟ้าที่นำเสนอ

การสร้างแบบจำลองในการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาผลกระทบต่อระบบจำหน่าย และขนาดแบตเตอรี่ที่เหมาะสมกับระบบเพื่อเป็นข้อมูลสำหรับนำไปพิจารณาใช้งาน สำหรับการติดตั้งพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์บนหลังคา ในรูปแบบโหลดการใช้งานที่มีกลุ่มกำลังไฟฟ้าไม่เท่ากัน โดยพิจารณาเลือกโรงงานอุตสาหกรรมที่มีการใช้หม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 2500 kVA จำลองและวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ DIgSILENT PowerFactory แบ่งเป็น 3 กรณีศึกษาหลัก 11 กรณีศึกษาย่อย แบบจำลองแสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 แบบการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ข้อมูลค่าพารามิเตอร์แต่ละองค์ประกอบที่เกี่ยวข้อง แสดงดังตารางที่ 1 และ 2 ดังนี้

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ขนาดสายป้อนต่างๆ

ขนาดสาย (mm^2)	ชนิด	R (Ω/km)	L (mH/km)	X_L (Ω/km)	Z (Ω/km)
3×50	CV	0.4938	0.3300	0.1037	0.5046
3×240	THW	0.0915	0.41635	0.1308	0.1596
3×300	THW	0.0736	0.41508	0.1304	0.1479

กำหนดข้อมูลขนาดการติดตั้งพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์บนหลังคาที่จะทำการติดตั้งด้วยโปรแกรม PVWatts Calculator โดยอาศัยข้อมูลพิกัดที่ตั้งของพื้นที่ที่เป็นกรณีศึกษา

ตารางที่ 2 ค่าพารามิเตอร์ระยะสายส่ง, ประเภทโหลด, ตำแหน่งและขนาดของ PV

	โรงงาน		สำนักงาน
BUS	Factory (1)	Factory (2)	Office
ระยะสายส่ง (km)	0.80	1.20	1.20
Load (kW)	1,091.89	43.83	153.40
Max PV(kW)	280	190	190

ผลการวิจัย

1. ผลการศึกษาคุณภาพระบบไฟฟ้า (Voltage Profile) แสดงได้ดังตารางที่ 3 และภาพที่ 7

โดยกรณีศึกษา Case 0 เป็นการศึกษาระบบไฟฟ้าที่สนใจ เมื่อยังไม่ได้ทำการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และแบตเตอรี่

Case 1 เป็นการศึกษาระบบไฟฟ้าที่สนใจ เมื่อทำการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เข้าสู่ระบบ

Case 2 เป็นการศึกษาระบบไฟฟ้าที่สนใจ เมื่อทำการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และแบตเตอรี่เข้าสู่ระบบ

ตารางที่ 3 Voltage Profile จากการจำลองระบบในกรณีศึกษาต่างๆ

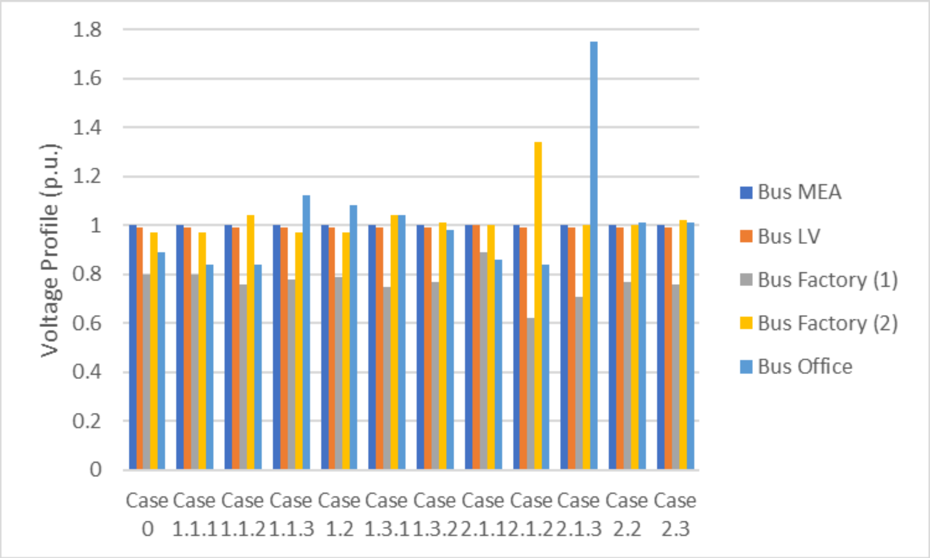
กรณีศึกษา	Bus MEA (p.u.)	Bus LV (p.u.)	Bus Factory (1) (p.u.)	Bus Factory (2) (p.u.)	Bus Office (p.u.)
Case 0	1	0.99	0.80	0.97	0.89
Case 1					
▪ Case 1.1					
• Case 1.1.1	1	0.99	0.80	0.97	0.84
• Case 1.1.2	1	0.99	0.76	1.04	0.84
• Case 1.1.3	1	0.99	0.78	0.97	1.12
▪ Case 1.2	1	0.99	0.79	0.97	1.08
▪ Case 1.3					
• Case 1.3.1	1	0.99	0.75	1.04	1.04
• Case 1.3.2	1	0.99	0.77	1.01	0.98
Case 2					
▪ Case 2.1					
• Case 2.1.1	1	1	0.89	1	0.86
• Case 2.1.2	1	0.99	0.62	1.34	0.84
• Case 2.1.3	1	0.99	0.71	1	1.75
▪ Case 2.2	1	0.99	0.77	1	1.01
▪ Case 2.3	1	0.99	0.76	1.02	1.01

2. ผลการศึกษาค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าในแต่ละกรณีศึกษา แสดงได้ดังตารางที่ 4 โดยแยกกรณีศึกษาดังนี้

Case 0 เป็นการศึกษาระบบไฟฟ้าที่สนใจ เมื่อยังไม่ได้ทำการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และแบตเตอรี่

Case 1 เป็นการศึกษาระบบไฟฟ้าที่สนใจ เมื่อทำการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เข้าสู่ระบบ

Case 2 เป็นการศึกษาระบบไฟฟ้าที่สนใจ เมื่อทำการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และแบตเตอรี่เข้าสู่ระบบ



ภาพที่ 7 กราฟเปรียบเทียบ Voltage Profile ในกรณีศึกษาต่างๆ จากการจำลองระบบ

ตารางที่ 4 ผลการศึกษาค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

กรณีศึกษา	ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า
Case 0	- 0.22
Case 1	
▪ Case 1.1	
• Case 1.1.1	0.28
• Case 1.1.2	0.15
• Case 1.1.3	0.08
▪ Case 1.2	0.52
▪ Case 1.3	
• Case 1.3.1	0.72
• Case 1.3.2	0.34
Case 2	
▪ Case 2.1	
• Case 2.1.1	0.86
• Case 2.1.2	0.89
• Case 2.1.3	0.77
▪ Case 2.2	0.86
▪ Case 2.3	0.85

อภิปรายผล

ผลการศึกษาความเป็นไปได้และตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้ง แบ่งได้ดังนี้

1. กรณีต้องการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาในระบบที่ทำการศึกษาพบว่า มีกรณีศึกษาที่น่าสนใจ และมีความเป็นไปได้ 2 กรณี ดังนี้

1.1 หากต้องการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาเพียงหนึ่งบัสในระบบที่ทำการศึกษา ควรทำการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาเต็มกำลังตามขนาดพื้นที่ ในบัสที่มีโหลดสูงที่สุด จะเป็นผลดีกับค่า

แรงดันของระบบไฟฟ้าที่ทำการศึกษา เนื่องจากไม่ทำให้เกิดแรงดันเกินขึ้นในบัสอื่นๆ ที่อยู่ในระบบ แต่จะต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้อยู่ในเกณฑ์ที่การไฟฟ้าฯ แนะนำ

1.2 หากต้องการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาทุกบัสในระบบที่ทำการศึกษา ควรทำการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาโดยใช้เกณฑ์ตามที่การไฟฟ้าฯ ได้กำหนด คือ 15% ของพิกัดหม้อแปลง [MEA. (2015)] ซึ่งในการศึกษานี้ หม้อแปลงที่ใช้ในการศึกษามีพิกัด 2500 kVA กำลังผลิตติดตั้งสูงสุดของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาเท่ากับ 300 kW โดยแบ่งการติดตั้งเป็นบัสละ 100 kW จะเป็นผลดีกับค่าแรงดันของระบบไฟฟ้าที่ทำการศึกษา แต่จะต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้อยู่ในเกณฑ์ที่การไฟฟ้าฯ แนะนำ

2. ต้องการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาและแบตเตอรี่ ในระบบที่ทำการศึกษา เป็นการใช้การจำลองผ่านโปรแกรมเพื่อหาค่าแบตเตอรี่ที่เหมาะสมจะนำมาใช้งาน โดยใช้หลักเกณฑ์ว่าแบตเตอรี่ที่นำมาติดตั้งนั้นจะต้องสามารถปรับปรุงให้ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของระบบมีค่าเหมาะสมตามหลักเกณฑ์ที่การไฟฟ้าแนะนำ (P.F. ≥ 0.85) โดยไม่ได้พิจารณาถึงชนิดและมูลค่าของแบตเตอรี่ที่จะนำมาใช้ พบว่ามีกรณีศึกษาที่น่าสนใจ และมีความเป็นไปได้ 3 กรณี ดังนี้

2.1 เป็นการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาและแบตเตอรี่ในบัสที่มีโหลดสูงที่สุด พบว่า ไม่ทำให้เกิดแรงดันเกินในระบบ และสามารถปรับปรุงให้ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของระบบให้มีค่าเท่ากับ 0.86 แบตเตอรี่ที่จะนำมาใช้ติดตั้งมีขนาด 800 kW 300 kVAR

2.2 เป็นการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาและแบตเตอรี่ในสองบัสที่มีโหลดสูงที่สุด (Bus Factory (1) และ Bus Office) พบว่า แบตเตอรี่ที่จะนำมาใช้ติดตั้งที่ Bus Factory (1) และ Bus Office มีขนาด 600 kW และ 100 kW ตามลำดับ จึงจะสามารถปรับปรุงให้ระบบมีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 0.86 ซึ่งอยู่ในระดับหลักเกณฑ์ที่การไฟฟ้าฯ แนะนำ ไม่ทำให้เกิดแรงดันเกินขึ้นในระบบ และช่วยเสริมความมั่นคงในกรณีระบบจ่ายไฟของการไฟฟ้าฯ ขัดข้องได้

3. เป็นการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาและแบตเตอรี่ทุกบัส พบว่า แบตเตอรี่ที่มีความน่าสนใจจะนำมาใช้ติดตั้งที่ Bus Factory (1), Bus Factory (2) และ Bus Office มีขนาด 500 kW 50 kW และ 100 kW ตามลำดับ จึงจะสามารถปรับปรุงให้ระบบมีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 0.85 ซึ่งอยู่ในระดับหลักเกณฑ์ที่การไฟฟ้าฯ แนะนำ ไม่ทำให้เกิดแรงดันเกินขึ้นในระบบ และช่วยเสริมความมั่นคงในกรณีระบบจ่ายไฟของการไฟฟ้าขัดข้องได้

สรุปผลการวิจัย

จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า หากระบบที่นำเสนอจะพิจารณาติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา โดยติดตั้งเต็มกำลังการผลิตตามขนาดพื้นที่ ควรทำการติดตั้งในบัสที่มีโหลดขนาดใหญ่ที่สุด หรือหากต้องการพิจารณาติดตั้งกระจายทุกบัสเพื่อให้ได้กำลังผลิตที่เพิ่มขึ้น ควรทำการติดตั้งที่ขนาดไม่เกิน 15% ของขนาดหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของการไฟฟ้าฯ [MEA. (2015)] จะช่วยปรับปรุงค่าแรงดันในบัสที่มีโหลดสูงได้ แต่ต้องทำการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของระบบ

หากระบบที่นำเสนอจะพิจารณาติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาพร้อมแบตเตอรี่ โดยใช้หลักเกณฑ์ว่า การติดตั้งดังกล่าวจะไม่ส่งผลให้เกิดแรงดันเกินในระบบและแบตเตอรี่ที่นำมาติดตั้งนั้นจะต้องสามารถปรับปรุงให้ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของระบบมีค่าเหมาะสมตามหลักเกณฑ์ที่การไฟฟ้าแนะนำ (P.F. ≥ 0.85) พบว่ามีความเป็นไปได้ 3 กรณีคือ

1. ติดตั้งเต็มกำลังการผลิตตามขนาดพื้นที่ในบัสที่มีโหลดสูงสุด
2. ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคากระจายทุกบัสที่ขนาดไม่เกิน 15% ของขนาดหม้อแปลงไฟฟ้า และทำการติดตั้งแบตเตอรี่ใน 2 บัสที่มีโหลดสูงสุด
3. ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคากระจายทุกบัสที่ขนาดไม่เกิน 15% ของขนาดหม้อแปลงไฟฟ้า และทำการติดตั้งแบตเตอรี่ทุกบัส

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

สามารถนำแนวทางจากงานวิจัยที่นำเสนอไปวิเคราะห์ วางแผนการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของระบบอุตสาหกรรมอื่นได้

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

คือทำการสำรวจลักษณะการใช้ไฟฟ้าโดยแยกลักษณะการใช้งานในลักษณะต่างๆ ให้มีความละเอียดมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

DEDE. (2021). **Solar Radiation Maps of Thailand**. <https://www.dede.go.th/ewt_news.php?nid=47736&filename=index> (cited 2021 June 28).

EGAT. (2021). **Maximum Electric Power Demand**. <https://www.egat.co.th/index.php?option=com_content&view=>article&id=348&Itemid=116> (cited 2021 Jun 28).

EPPO. (2021). **Fuel Cost**. <http://www.eppo.go.th/index.php/en/component/k2/item/16150-news-170963> (cited 2021 June 28).

Greenpeace. (2021). **Climate System**. <https://www.greenpeace.org/thailand/explore/%20protect/climate/climate-change/> (cited 2021 June 28).

Hafis Maeraekache, Somporn Sirisumrannukul. (2017 March 10). Impact of High Solar Rooftop Photovoltaic Penetrationon Voltage and Energy Loss in Distribution Systems. in Proc. **NIGRC 2017 conference: The National and International Graduate Research Conference 2017**. Thailand. p. 362-373 (in Thai).

MEA. (2015). **MEA Grid Connect rule 2015**. <https://www.mea.or.th/miniengine/modules/m_files_store/download.php?ref=NzQ1X3NuRGtkaHg=> (cited 2021 June 28).

Naruemon Wongsawatsuriyha. (2018). **Impact of Solar Photovoltaic Rooftop Penetration on Voltage Profiles and Power Losses in Electrical Distribution System**. Thesis. Chiang Mai University (in Thai).

Pairote Thongprasri. (2018). **Analysis of the Relationship between Solar Power and Rated Load for Installation of Stand-Alone PV System**. Thesis Kasetsart University (in Thai).

Pratheep Fupol. (2010). **A study of electrical losses in distribution system from installing Distribution Generation**. Thesis. Srinakharinwirot University (in Thai).

Teerapat Manmit, Parnjit Damrongkulkamjorn. (2015). **Optimal Battery Energy Storage System for PV Grid Connector for Customer with Time-Of- Use Tariff**. Thesis Kasetsart University (in Thai).

The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2014). IPCC Fifth Assessment Synthesis Report Summary for Policymakers (in Thai).

Thitikorn Srivorakul. (2018). **Impact of Grid-Connected Solar Roof-Top System on Low Voltage Distribution System**. Thesis Rajamangala of Technology Thanyaburi University (in Thai).