

การวิเคราะห์ผลกระทบจากการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์
ที่ติดตั้งบนหลังคาพร้อมระบบแบตเตอรี่ในโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์
**IMPACT ANALYSIS OF A SOLAR ROOFTOP WITH BATTERIES
INSTALLED ON THE ROOF OF AN ORGANIC FERTILIZER PLANT**

บุญเลิศ สื่อเฉย¹ สมศักดิ์ สิริโปรรานานนท์² และ อรพิน วรณราช³

^{1,2}อาจารย์, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

19/1 ถนนเพชรเกษม เขตหนองแขม กรุงเทพมหานคร 10160,

¹tdlert@hotmail.com, ²somsaks@sau.ac.th

³วิศวกรไฟฟ้า, สำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร ศาลาว่าการกรุงเทพมหานคร 2

เขตดินแดง กรุงเทพมหานคร 10400, w.orapin@hotmail.com

Boonlert Suechoey¹ Somsak Siriporananon² and Orapin Wannaraj³

^{1,2}Lecturer, Department of Electrical Engineering, Graduate School, Faculty of Engineering,
Southeast Asia University, 19/1 Phetchakasem Rd., Nongkhaem, Bangkok, Thailand 10160,

¹tdlert@hotmail.com, ²somsaks@sau.ac.th

³Electrical Engineer, Environment Department BMA, Bangkok City Hall 2

Dindeang, Bangkok, Thailand 10400, w.orapin@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์ผลกระทบของระบบจำหน่ายแรงดันไฟฟ้าต่ำในการเชื่อมต่อบน
ผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา ใช้ระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง
(กฟน.) ในระบบจำหน่าย 24000-416/240 V ขนาดหม้อแปลงไฟฟ้า 2500 kVA มีภาระโหลดแบบ
กระจายอยู่สามส่วนหลักที่ 85%, 3% และ 12% ตามลำดับ โดยมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าในแต่ละ
ละวัน (Load Profile) ที่แตกต่างกัน คือโรงงานและสำนักงาน อ้างอิงตามตารางการทำงานใน
ปัจจุบันเพื่อออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา โดยใช้โปรแกรม
PVWatts Calculator ในการพยากรณ์กำลังผลิตติดตั้งของระบบ และใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์
(DigSILENT PowerFactory) เพื่อจำลองและวิเคราะห์การไหลของระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ
เสถียรภาพแรงดันไฟฟ้า และค่าตัวประกอบกำลังที่ส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้า ตลอดจน
พิจารณาศึกษาในกรณีที่มีและไม่มีติดตั้งแบตเตอรี่ในระบบ สำหรับผลลัพธ์ที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้

จะสร้างข้อเสนอแนะที่น่าสนใจต่อการนำไปพิจารณาใช้งานจริงในหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และเป็นข้อมูลสำหรับผู้สนใจศึกษานำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

คำสำคัญ: พลังงานทดแทน, พลังงานแสงอาทิตย์, พลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคา, พลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาและแบตเตอรี่

ABSTRACT

This paper presents the impact of grid-connected solar rooftop for high penetration in low voltage distribution network of the 24000-416/240 V grid system. Transformer capacity is 2500 kVA which each loaded 85%, 3% and 12% respectively. The study considers the different load profiles at factory and office. the hourly load profile of an organic fertilizer plant in Thailand base on work schedule is presented. Using the load profile, a solar rooftop system has been designed. PVWatts Calculator program has been used for forecasting capacity of the system. In this study, the DigSILENT PowerFactory program is used to simulate and analyze Power flow, Voltage stability and Power factor at the proposed distribution network. Therefore, this research presents the effect of installing a rooftop solar power system with and without a battery in an organic fertilizer plant. For the results obtained from this research, it will create recommendations that can be considered for practical use in.

KEYWORDS: Renewable Energy, Solar Energy, Solar Rooftop, Solar Rooftop with Battery

1. บทนำ

จากประเด็นปัญหาการเปลี่ยนแปลงระบบภูมิอากาศ (Climate System) [1-2] และปัญหาวิกฤติการณ์ราคาต้นทุนเชื้อเพลิงพลังงานที่มีความผันผวนเป็นอย่างมาก [3] ดังรูปที่ 1 และ 2 ก่อให้เกิดความกังวลต่อการจัดการปริมาณเชื้อเพลิงสำรองให้เพียงพอรองรับความต้องการใช้ที่มีอัตราเพิ่มขึ้น [4] ในภาคส่วนต่าง ๆ อาทิ ภาคการขนส่ง ภาคอุตสาหกรรม ตลอดจนการใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้า กระตุ้นให้เกิดความต้องการนำพลังงานหมุนเวียนที่มีอยู่หลากหลายมาใช้งาน หนึ่งในพลังงานหมุนเวียนที่มีการทำการศึกษาและได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลายว่ามีศักยภาพสูงสำหรับใช้ผลิตไฟฟ้าในประเทศไทยคือ พลังงานแสงอาทิตย์ [5] โดยเฉพาะการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ จะเห็นได้ว่าในช่วงระยะเวลา 10 ปีที่ผ่านมา มีการศึกษา วิจัยและการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต และการใช้ประโยชน์จากการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์อย่างต่อเนื่อง [6-13] และพลังงานจากแสงอาทิตย์สามารถนำมาใช้ทดแทนพลังงานที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 1 สถานการณ์ราคาต้นทุนเชื้อเพลิงพลังงาน [2]



รูปที่ 2 สถานการณ์ความต้องการพลังงานไฟฟ้าในปัจจุบัน [4]

ระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้เพียงในช่วงเวลากลางวัน โดยในแต่ละช่วงเวลาจะมีค่าไม่คงที่เนื่องจากความเข้มของแสงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศ และฤดูกาล ทำให้แรงดันไฟฟ้า ณ จุดที่มีเชื่อมต่อกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เกิดการกระเพื่อมของแรงดัน (Voltage Fluctuation) อันเป็นเหตุให้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่อยู่ในระบบทำงานผิดพลาดเสียหายได้ การเพิ่มระบบการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เข้าสู่ระบบไฟฟ้าจึงต้องคำนึงถึงผลกระทบต่อคุณภาพระบบไฟฟ้า ความมั่นคงของระบบไฟฟ้า

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอผลกระทบทางไฟฟ้าจากการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาพร้อมระบบแบตเตอรี่ในโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์ เพื่อนำผลที่ได้จากงานวิจัยนี้จะสร้างข้อเสนอแนะที่น่าสนใจต่อการนำไปพิจารณาใช้งานจริงในหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและเป็นข้อมูลสำหรับผู้สนใจศึกษานำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

2. การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

2.1 การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบ่งออกเป็น 3 ระบบ [10] คือ

2.1.1 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ (PV Stand Alone System)

เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่ได้รับการออกแบบสำหรับใช้งานในพื้นที่ชนบทที่ไม่มีระบบสายส่งไฟฟ้า อุปกรณ์ของระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต่อใช้งานตรงกับโหลดไฟฟ้า กระแสตรง และอีกรูปแบบหนึ่งคือ นำมาต่อให้ได้แรงดันตามความต้องการของอุปกรณ์ควบคุมการประจุแบตเตอรี่ (Solar Charge Controller) ซึ่งต่ออยู่ถัดมาและกำลังไฟฟ้าตามที่ต้องการใช้งานของโหลด ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากอุปกรณ์ควบคุมการประจุสามารถนำไปใช้งานโดยการต่อกับโหลดไฟฟ้ากระแสตรงได้เลย และในขณะเดียวกันถ้ากำลังไฟฟ้าเหลือก็สามารถนำไปชาร์ตเข้าแบตเตอรี่ (ควรเลือกใช้เป็นแบตเตอรี่แบบ Deep Cycle) และถัดมาเป็นอุปกรณ์แปลงผันพลังงานเพื่อเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบอิสระ โดยโหลดที่ใช้จะเป็นอุปกรณ์ที่ใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับ

2.1.2 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า (PV Grid Connected System)

ระบบผลิตไฟฟ้าที่ถูกออกแบบสำหรับผลิตไฟฟ้า อุปกรณ์ของระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งนำมาต่อให้ได้แรงดันตามความต้องการของอินเวอร์เตอร์ โดยต่อผ่านกล่องต่อสายและเบรกเกอร์ไฟฟ้ากระแสตรงและกำลังไฟฟ้าตามที่ต้องการใช้งานของโหลด ซึ่งแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้สามารถนำไปใช้งานได้โดยตรงโดยการต่อกับโหลดไฟฟ้ากระแสตรงหรือแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งสามารถนำไปใช้กับโหลดไฟฟ้ากระแสสลับ และในขณะเดียวกันก็สามารถต่อกับระบบโครงข่ายไฟฟ้า ผ่านสวิตช์ตัดตอนและมิเตอร์ กิโลวัตต์-ชั่วโมง ใช้ผลิตไฟฟ้าในเขตเมืองหรือพื้นที่ที่มีระบบโครงข่ายไฟฟ้าเข้าถึง

2.1.3 ระบบผลิตกระแสไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบผสมผสาน (PV Hybrid System)

ระบบผลิตไฟฟ้าที่ถูกออกแบบสำหรับผลิตไฟฟ้าร่วมกับอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าชนิดอื่น ๆ อุปกรณ์ของระบบที่สำคัญประกอบด้วยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งนำมาต่อให้ได้แรงดันตามความต้องการของ

อุปกรณ์แปลงผันพลังงานแบบผสมผสาน (Hybridge Inverter) โดยสามารถใช้งานร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กังหันลมผลิตไฟฟ้าและแบตเตอรี่ โดยไฟฟ้ากระแสสลับที่ได้มาจะนำไปใช้กับซึ่งสามารถนำไปใช้กับโหลดไฟฟ้ากระแสสลับ 230 Vac และในขณะเดียวกันก็สามารถต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้า

2.2 ค่าพลังงานของโซลาร์เซลล์และวงจรสมมูล

กรณีมีแสงอาทิตย์ สามารถหาได้ดังสมการ

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

โดยที่

I_{ph} คือ กระแสไฟฟ้าที่เกิดจากแสง; A

I_s คือ กระแสไบอัสอิ่มตัวย้อนกลับของไดโอด; A

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

N คือ Ideal factor โดยขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีในการผลิตโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์

K คือ ค่าคงที่ของ Boltzman มีค่าเท่ากับ $1.3806504 \times 10^{-23}$ 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

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

โดยที่

I_{sc} คือ กระแสลัดวงจรของเซลล์ที่ 25°C ; A

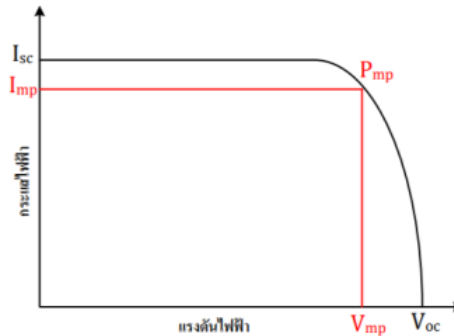
K_1 คือ สัมประสิทธิ์อุณหภูมิของกระแสลัดวงจร; $\text{A}/^\circ\text{C}$

T_{ref} คือ อุณหภูมิอ้างอิงของเซลล์; Kevin

λ คือ ความเข้มแสง; kW/m^2

2.3 กราฟคุณลักษณะกระแสกับแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ (I-V Curve) [12]

ลักษณะกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ (I-V Curve) แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 กระแสและแรงดันของวงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์

3. เสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง

การเชื่อมต่อบรรยากาศผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพ (Stability) และ ความน่าเชื่อถือ (Reliability) ต่อคุณภาพของไฟฟ้าในระบบจำหน่าย (Power Quality)

การเกิดแรงดันไฟฟ้าเกิน (Over Voltage) การเชื่อมต่อบรรยากาศผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ที่ จ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ระบบที่มากเกินไปเกินความต้องการของโหลดรวมจะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเกินใน ระดับแรงดันต่ำ โดยขนาดความรุนแรงขึ้นอยู่กับขนาดกำลังไฟฟ้าของระบบพลังงานไฟฟ้า แสงอาทิตย์และตำแหน่งที่ติดตั้ง

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

$$\text{Power factor} = \cos \phi = \frac{\text{Active power (W)}}{\text{Apparent power (VA)}} \quad (3)$$

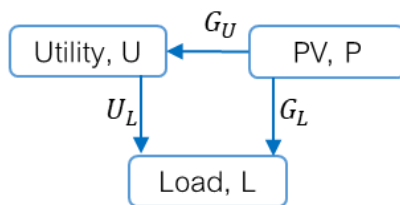
ผลกระทบที่เกิดจากตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor) ในกรณีที่มีการเชื่อมต่อเครื่อง แปลงกระแสไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อเข้าระบบจำหน่ายของระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์อุปกรณ์ อินเวอร์เตอร์ส่วนใหญ่จะถูกตั้งค่าที่ตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสูง หรือมีค่าเข้าใกล้ 1 มากที่สุด เพื่อที่จะให้ระบบผลิตพลังงาน Active Power มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ โดยไม่คำนึงถึง Reactive Power ทำให้มีปริมาณสูงขึ้นในระบบจำหน่าย กล่าวคือ เมื่อทำให้ค่า Power Factor ของระบบลดต่ำลง ก่อให้เกิดปัญหาหม้อแปลงไฟฟ้าของระบบจำหน่ายด้วย ทำให้หม้อแปลงไฟฟ้าจ่ายกำลังไฟฟ้า

ไปยังโหลดได้น้อยลง และเมื่อตัวประกอบกำลังไฟฟ้าต่ำกว่าที่การไฟฟ้า กำหนดก็จะทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น

4. ระบบกักเก็บพลังงาน

4.1 สมการทางคณิตศาสตร์ของแบบจำลองระบบไฟฟ้าในกรณีที่ไม่มีการกักเก็บพลังงาน

สมดุลกำลังไฟฟ้าของการผลิต คือ ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ (PV, P) เท่ากับ ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากระบบผลิตไปยังโครงข่าย รวมกับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากระบบผลิตไปยังโหลด ดังสมการ $P = G_U + G_L$ และแบบจำลองระบบไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แบบจำลองระบบไฟฟ้าในกรณีที่ไม่มีการกักเก็บพลังงาน

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

สมดุลกำลังไฟฟ้าของการซื้อไฟฟ้าจากโครงข่าย คือ ปริมาณไฟฟ้าที่ซื้อจากโครงข่าย (Importing Power, I) เท่ากับ ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากโครงข่ายไปยังโหลด ดังสมการ $I = U_L$

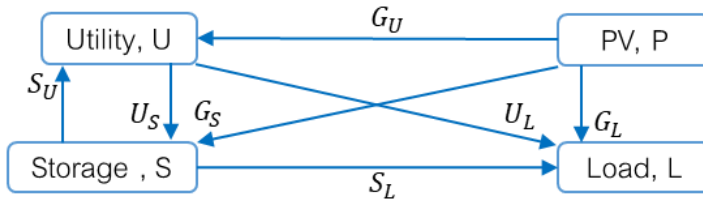
สมดุลกำลังไฟฟ้าของการขายไฟฟ้าเข้าสู่โครงข่าย คือ ปริมาณไฟฟ้าที่ขายเข้าสู่โครงข่าย (Exporting Power, E) เท่ากับ ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากระบบผลิตไปยังโครงข่าย ดังสมการ $E = G_U$

สมดุลกำลังไฟฟ้าของระบบ (Balance of Power System) คือ ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้รวมกับ ปริมาณไฟฟ้าที่ซื้อจากโครงข่าย เท่ากับ ปริมาณไฟฟ้าที่โหลดต้องการรวมกับปริมาณไฟฟ้าที่ขายเข้าสู่โครงข่าย ดังสมการ $P + I = L + E$ และ $(G_U + G_L) + (U_L) = (G_L + U_L) + (G_U)$

4.2 สมการทางคณิตศาสตร์ของแบบจำลองระบบไฟฟ้าในกรณีที่มีการกักเก็บพลังงาน

สมดุลกำลังไฟฟ้าของการผลิต คือ ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ (PV, P) เท่ากับ ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากระบบผลิตไปยังโครงข่ายไฟฟ้า รวมกับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากระบบผลิตไป

ยังไหลต รวมกับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากระบบผลิตไปยังระบบกักเก็บพลังงาน ดังสมการ $P = G_U + G_L + G_S$ และแบบจำลองแสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แบบจำลองระบบไฟฟ้าในกรณีที่มีการกักเก็บพลังงาน

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

สมดุลกำลังไฟฟ้าของการซื้อไฟฟ้าจากโครงข่าย คือ ปริมาณไฟฟ้าที่ซื้อจากโครงข่าย (Importing Power, I) เท่ากับ ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากโครงข่ายไปยังโหลด รวมกับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากโครงข่ายไปยังระบบกักเก็บพลังงาน ดังสมการ $I = U_L + U_S$

สมดุลกำลังไฟฟ้าของการขายไฟฟ้าเข้าสู่โครงข่าย คือ ปริมาณไฟฟ้าที่ขายเข้าสู่โครงข่าย (Exporting Power, E) เท่ากับ ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากระบบผลิตไปยังโครงข่ายรวมกับ ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลจากระบบกักเก็บพลังงานไปยังโครงข่าย ดังสมการ $E = G_U + S_U$

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

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

สมดุลกำลังไฟฟ้าของระบบ (Balance of Power System) คือ ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้รวมกับ ปริมาณไฟฟ้าที่คายประจุออกจากแบตเตอรี่และรวมกับปริมาณไฟฟ้าที่ซื้อจากโครงข่าย เท่ากับ ปริมาณไฟฟ้าที่โหลดต้องการรวมกับปริมาณไฟฟ้าที่อัดประจุไว้ในแบตเตอรี่และรวมกับปริมาณไฟฟ้าที่ขายเข้าสู่โครงข่าย ดังสมการ $P + D + I = L + C + E$

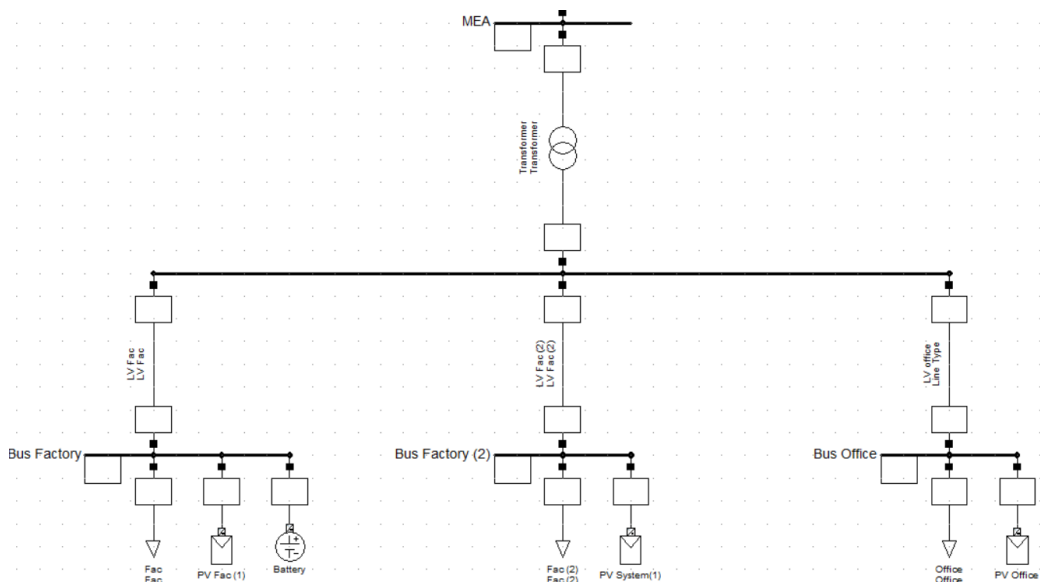
5. การจำลองระบบไฟฟ้าที่นำเสนอ

การสร้างแบบจำลองในการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาจุดที่เหมาะสมและผลกระทบทางไฟฟ้าต่อระบบจำหน่าย และขนาดแบตเตอรี่ที่เหมาะสมกับระบบเพื่อเป็นข้อมูลสำหรับนำไปพิจารณาใช้งาน สำหรับการติดตั้งพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์บนหลังคา ในรูปแบบโหลดการใช้งานที่มีกลุ่มกำลังไฟฟ้าไม่เท่ากัน โดยพิจารณากลุ่มใช้ไฟฟ้าคือโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์ที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ศูนย์กำจัดมูลฝอยอ่อนนุช โดยใช้หม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 2500 kVA, 3 ph, 50 Hz, 24000-416/240 V จำลองและวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (DigSILENT PowerFactory) แบ่งเป็น 3 กรณีศึกษาหลัก 11 กรณีศึกษาย่อย แบบจำลองแสดงดังรูปที่ 6

Case 0 เป็นการศึกษาาระบบไฟฟ้าที่สนใจ เมื่อยังไม่ได้ทำการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และแบตเตอรี่

Case 1 เป็นการศึกษาาระบบไฟฟ้าที่สนใจ เมื่อทำการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เข้าสู่ระบบ

Case 2 เป็นการศึกษาาระบบไฟฟ้าที่สนใจ เมื่อทำการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และแบตเตอรี่เข้าสู่ระบบ



รูปที่ 6 แบบการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ข้อมูลค่าพารามิเตอร์แต่ละองค์ประกอบที่เกี่ยวข้อง แสดงดังตารางที่ 1 และ 2 กำหนดข้อมูลขนาดการติดตั้งพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์บนหลังคา ที่จะทำการติดตั้งด้วยโปรแกรม PVWatts Calculator โดยอาศัยข้อมูลพิกัดที่ตั้งของพื้นที่ที่เป็นกรณีศึกษา

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์ขนาดสายป้อนต่าง ๆ

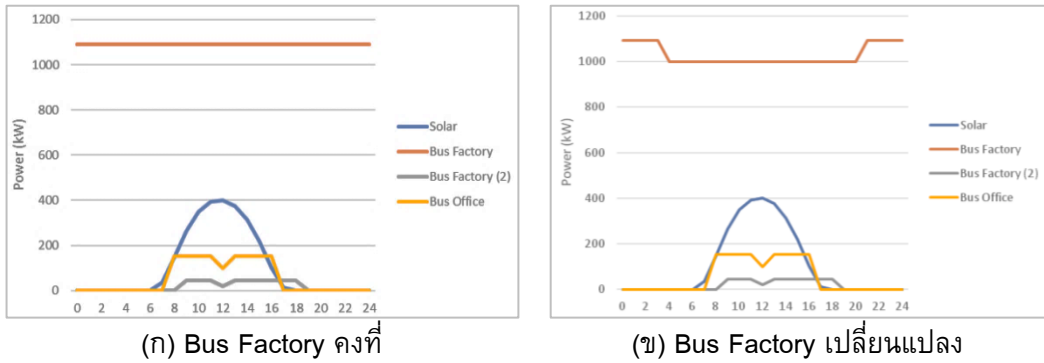
ขนาดสาย (mm ²)	ชนิด	R (Ω/km)	L (mH/km)	XL (Ω/km)	Z (Ω/km)
3×50	CV	0.4938	0.3300	0.1037	0.5046
3×240	THW	0.0915	0.41635	0.1308	0.1596
3×300	THW	0.0736	0.41508	0.1304	0.1479

ตารางที่ 2 ค่าพารามิเตอร์ระยะสายส่ง ประเภทโหลด ตำแหน่งและขนาดของ PV

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

5.1 ลักษณะโหลดรายวัน

โรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้ทำการศึกษาคือเป็นโรงงานของรัฐบาล ซึ่งในบริเวณพื้นที่จะมีการแบ่งส่วนพื้นที่เพื่อใช้ในการทำงาน อาทิ ส่วนอาคารสำนักงาน ส่วนปรับปรุงคุณภาพ และส่วนการบรรจุ ทำให้มีโหลดไฟฟ้าที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ใช้งาน เมื่อทำการติดตั้งกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์บนหลังคา ลักษณะกำลังผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ใน 1 วัน จะมีลักษณะเปลี่ยนแปลงตามสภาพภูมิอากาศ ของประเทศนั้น และที่สำคัญสามารถผลิตไฟฟ้าได้เฉพาะในเวลากลางวัน โดยปกติ ตั้งแต่เวลา 07.00 น.-18.00 น. และผลิตไฟฟ้าได้สูงสุดในช่วงเวลา 11.00 น.-14.00 น. พบว่า ช่วงเวลาความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดของโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์ในวันที่ไม่ได้มีการเดินเครื่องการผลิตเต็มกำลังและช่วงเวลากำลังผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์สูงสุดในรอบ 1 วัน ไม่ตรงกัน ปัญหาดังกล่าวส่งผลกระทบต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าทั้งในส่วนของแรงดันไฟฟ้าเกินในช่วงเวลากลางวัน



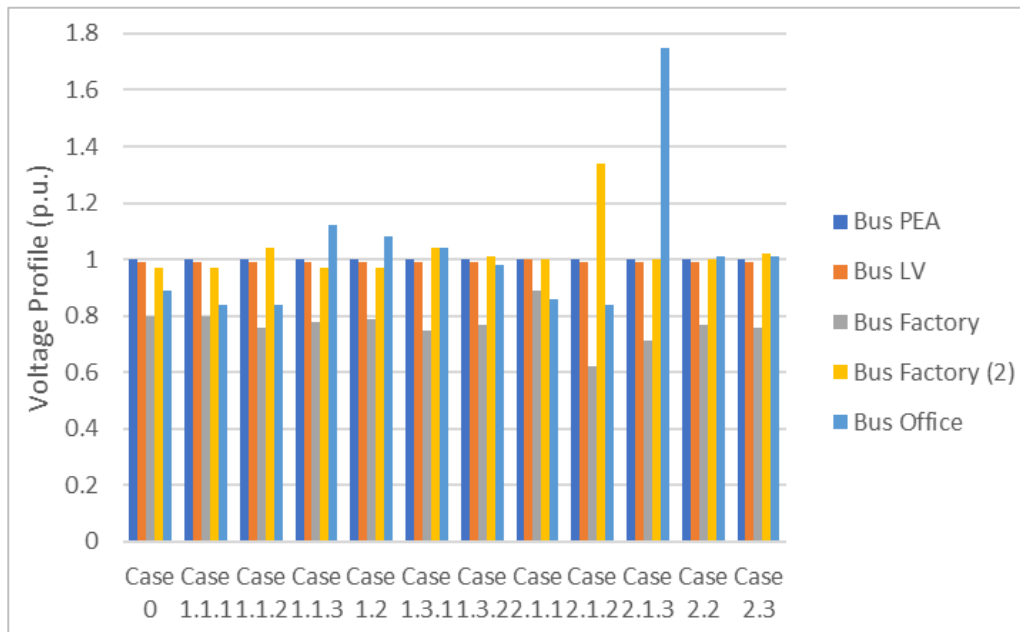
รูปที่ 7 ลักษณะโวลตรายวันของโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์

6. ผลการทดลองและอภิปรายผล

6.1 ผลการศึกษาคุณภาพระบบไฟฟ้า (Voltage Profile)

ตารางที่ 3 บันทึกค่า Voltage Profile จากการจำลองระบบในกรณีศึกษาต่าง ๆ

Case Study	Bus PEA (p.u.)	Bus LV (p.u.)	Bus Factory (p.u.)	Bus Factory(2) (p.u.)	Bus Office (p.u.)
Case 0	1.00	0.99	0.80	0.97	0.89
Case 1					
Case 1.1					
Case 1.1.1	1.00	0.99	0.80	0.97	0.84
Case 1.1.2	1.00	0.99	0.76	1.04	0.84
Case 1.1.3	1.00	0.99	0.78	0.97	1.12
Case 1.2	1.00	0.99	0.79	0.97	1.08
Case 1.3					
Case 1.3.1	1.00	0.99	0.75	1.04	1.04
Case 1.3.2	1.00	0.99	0.77	1.01	0.98
Case 2					
Case 2.1					
Case 2.1.1	1.00	1.00	0.89	1.00	0.86
Case 2.1.2	1.00	0.99	0.62	1.34	0.84
Case 2.1.3	1.00	0.99	0.71	1.00	1.75
Case 2.2	1.00	0.99	0.77	1.00	1.01
Case 2.3	1.00	0.99	0.76	1.02	1.01



รูปที่ 8 กราฟเปรียบเทียบ Voltage Profile ในกรณีศึกษาต่าง ๆ จากการจำลองระบบ

6.2 ผลการศึกษาค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า

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

ตารางที่ 4 ผลการศึกษาค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (ต่อ)

กรณีศึกษา	ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า
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

6.3 ผลการศึกษาความเป็นไปได้และตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้ง

กรณีต้องการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาในระบบที่ทำการศึกษา พบว่า มีกรณีศึกษาที่น่าสนใจ และมีความเป็นไปได้ 2 กรณี ดังนี้

6.3.1 หากต้องการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาเพียงหนึ่งบัสในระบบที่ทำการศึกษา ควรทำการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาเต็มกำลังตามขนาดพื้นที่ ในบัสที่มีโหลดสูงที่สุด จะเป็นผลดีกับค่าแรงดันของระบบไฟฟ้าที่ทำการศึกษา แต่จะต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้อยู่ในเกณฑ์การไฟฟ้า ฯ แนะนำ

6.3.2 หากต้องการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาทุกบัสในระบบที่ทำการศึกษา ควรทำการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาโดยใช้เกณฑ์ตามที่การไฟฟ้าได้กำหนด คือ 15% ของพิกัดหม้อแปลง ซึ่งในการศึกษานี้ หม้อแปลงที่ใช้ในการศึกษามีพิกัด 2500 kVA กำลังผลิตติดตั้งสูงสุดของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาเท่ากับ 300 kW โดยแบ่งการติดตั้งเป็นบัสละ 100 kW จะเป็นผลดีกับค่าแรงดันของระบบไฟฟ้าที่ทำการศึกษา แต่จะต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้อยู่ในเกณฑ์การไฟฟ้า ฯ แนะนำ

กรณีต้องการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาและแบตเตอรี่ในระบบที่ทำการศึกษา เป็นการใช้การจำลองผ่านโปรแกรมเพื่อหาค่าแบตเตอรี่ที่เหมาะสมจะนำมาใช้งาน โดยใช้หลักเกณฑ์ว่าแบตเตอรี่ที่นำมาติดตั้งนั้นจะต้องสามารถปรับปรุงให้ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของระบบมีค่าเหมาะสมตามหลักเกณฑ์ที่การไฟฟ้าแนะนำ ($PF \geq 0.85$) โดยไม่ได้พิจารณาถึงชนิดและมูลค่าของแบตเตอรี่ที่จะนำมาใช้ จากผลการศึกษาดังตารางที่ 3 ตารางที่ 4 และรูปที่ 8 พบว่า มีกรณีศึกษาที่น่าสนใจ และมีความเป็นไปได้ 3 กรณี ดังนี้

1) เป็นการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาและแบตเตอรี่ในบัสที่มีโหลดสูงที่สุด พบว่า ไม่ทำให้เกิดแรงดันเกินในระบบ และสามารถปรับปรุงให้ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของระบบให้มีค่าเท่ากับ 0.86 แบตเตอรี่ที่จะนำมาใช้ติดตั้งมีขนาด 800 kW 300 kVAR

2) เป็นการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาและแบตเตอรี่ในสองบัสที่มีโหลดสูงที่สุด (บัสการผลิตและบัสสำนักงาน) พบว่า แบตเตอรี่ที่จะนำมาใช้ติดตั้งที่บัสการผลิตและบัสสำนักงาน มีขนาด 600 kW และ 100 kW ตามลำดับ จึงจะสามารถปรับปรุงให้ระบบมีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 0.86 ซึ่งอยู่ในระดับหลักเกณฑ์ที่การไฟฟ้า แนะนำ ไม่ทำให้เกิดแรงดันเกินขึ้นในระบบ และช่วยเสริมความมั่นคงในกรณีระบบจ่ายไฟของการไฟฟ้า ชัดชองได้

3) เป็นการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาและแบตเตอรี่ทุกบัส พบว่า แบตเตอรี่ที่มีความน่าสนใจ จะนำมาใช้ติดตั้งที่บัสการผลิต บัสการบรรจุ และบัสสำนักงาน มีขนาด 500 kW 50 kW และ 100 kW ตามลำดับ จึงจะสามารถปรับปรุงให้ระบบมีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 0.86 ซึ่งอยู่ในระดับหลักเกณฑ์ที่การไฟฟ้าแนะนำ ไม่ทำให้เกิดแรงดันเกินขึ้นในระบบ และช่วยเสริมความมั่นคงในกรณีระบบจ่ายไฟของการไฟฟ้าชัดชองได้

7. สรุปผล

จากผลการศึกษานี้สามารถสรุปได้ว่า หากระบบที่นำเสนอจะพิจารณาติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา โดยติดตั้งเต็มกำลังการผลิตตามขนาดพื้นที่ ควรทำการติดตั้งในบัสที่มีโหลดขนาดใหญ่ที่สุด หรือหากต้องการพิจารณาติดตั้งกระจายทุกบัสเพื่อให้ได้กำลังผลิตที่เพิ่มขึ้น ควรทำการติดตั้งที่ขนาดไม่เกิน 15% ของขนาดหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของการไฟฟ้า จะช่วยปรับปรุงค่าแรงดันในบัสที่มีโหลดสูงได้ แต่ต้องทำการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของระบบ

หากระบบที่นำเสนอจะพิจารณาติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาพร้อมแบตเตอรี่ โดยใช้หลักเกณฑ์ว่า การติดตั้งดังกล่าวจะไม่ส่งผลให้เกิดแรงดันเกินในระบบและแบตเตอรี่ที่นำมาติดตั้งนั้นจะต้องสามารถปรับปรุงให้ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของระบบมีค่าเหมาะสมตามหลักเกณฑ์ที่การไฟฟ้าแนะนำ ($PF \geq 0.85$) พบว่ามีความเป็นไปได้ 3 กรณีคือ

- 1) ติดตั้งเต็มกำลังการผลิตตามขนาดพื้นที่ในบัสที่มีโหลดสูงที่สุด
- 2) ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคากระจายทุกบัสที่ขนาดไม่เกิน 15% ของขนาดหม้อแปลงไฟฟ้า และทำการติดตั้งแบตเตอรี่ใน 2 บัสที่มีโหลดสูงที่สุด
- 3) ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคากระจายทุกบัสที่ขนาดไม่เกิน 15% ของขนาดหม้อแปลงไฟฟ้า และทำการติดตั้งแบตเตอรี่ทุกบัส

References

- [1] Greenpeace. Climate system [Internet]. 2021 [cited 2021 Jun 28]. Available from: <https://www.greenpeace.org/thailand/explore/%20protect/climate/climate-change/>
- [2] The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). IPCC fifth assessment synthesis report summary for policymakers. 2014. (In Thai).
- [3] Energy Policy and Planning Office. Fuel cost [Internet]. 2021 [cited 2021 Jun 28]. Available from: <http://www.eppo.go.th/index.php/en/component/k2/item/16150-news-170963>
- [4] Electricity Generating Authority of Thailand. Maximum electric power demand [Internet]. 2021 [cited 2021 Jun 28]. Available from: https://www.egat.co.th/index.php?option=com_content&view=article&id=348&Itemid=116
- [5] Energy Policy and Planning Office. Solar radiation maps of Thailand [Internet]. 2021 [cited 2021 Jun 28]. Available from: https://www.dede.go.th/ewt_news.php?nid=47736&filename=index
- [6] Fupol P. A study of electrical losses in distribution system from installing distribution generation [Thesis]. Bangkok, Thailand: Srinakharinwirot University; 2010. (In Thai).
- [7] Growatt New Energy Technology Co., LTD. Residential energy storage solution [Internet]. 2020 [cited 2020 Jan 10]. Available from: <http://www.ginverter.com/Residential-storage-solution.html>
- [8] Wongsawat Suriyha N. Impact of solar photovoltaic rooftop penetration on voltage profiles and power losses in electrical distribution system [Thesis]. Chiang Mai, Thailand: Chiang Mai University; 2018. (In Thai).
- [9] Srivorakul T. Impact of grid-connected solar rooftop system on low voltage distribution system [Thesis]. Pathum Tani, Thailand: Rajamangala of Technology Thanyaburi University; 2018. (In Thai).
- [10] Suechoey B, Siriporananon S, Boonprasert P. The discharge time analysis of the battery energy storage system to reduce the peak demand. Kasem Bundit Engineering Journal 2021;11:22-37. (In Thai).
- [11] Manmit T, Damrongkulkamjorn P. Optimal battery energy storage system for PV grid connector for customer with time-of-use tariff [Thesis]. Bangkok, Thailand: Kasetsart University; 2015. (In Thai).

- [12] Thongprasri P. Analysis of the relationship between solar power and rated load for installation of stand-alone PV system [Thesis]. Bangkok, Thailand: Kasetsart University; 2018. (In Thai).
- [13] Maeraekache H, Sirisumrannukul S. Impact of high solar rooftop photovoltaic penetration on voltage and energy loss in distribution systems. In Proceeding of The National and International Graduate Research Conference 2017 (NIGRC2017). Khon Kaen, Thailand: Khon Kaen University; 2017. p. 362-73. (In Thai).

ประวัติผู้เขียนบทความ



รศ.ดร.บุญเลิศ สือเฉย ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้อำนวยการหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์



ผศ.ดร.สมศักดิ์ สิริโปรภานานนท์ ปัจจุบันดำรงตำแหน่งอาจารย์ประจำหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์



อรพิน วรรณราช ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง วิศวกรไฟฟ้าปฏิบัติการ สำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร ทำงานด้านควบคุมและบริหารสัญญาโครงการจ้างเหมาเอกชนควบคุมโรงงานกำจัดสิ่งปฏิกูลอ่อนนุช ควบคุมและวางแผนงานโรงงานผลิตปุ๋ยอินทรีย์อ่อนนุช

Article History:

Received: January 30, 2022

Revised: August 28, 2022

Accepted: August 29, 2022