

การจัดการพลังงานไฟฟ้าในระบบจำหน่าย แบบสมาร์ทกริดอย่างมีประสิทธิภาพ

Effective Energy Management in Smart Grid Distribution System

เผด็จ ไชยมงคล, วิชัย สุระพัฒน์ และ คมสันต์ หงษ์สมบัติ
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

บทคัดย่อ

บทความนี้เสนอวิธีการจัดการพลังงานไฟฟ้าในระบบจำหน่าย 22 เควี ที่มีแหล่งผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ โดยหาขนาดและตำแหน่งติดตั้งระบบจัดเก็บพลังงานไฟฟ้าด้วยแบตเตอรี่ที่เหมาะสมสำหรับการจัดเก็บพลังงานไฟฟ้าในช่วงที่มีการใช้ไฟฟ้าต่ำสุด และจ่ายกลับคืนให้กับระบบในช่วงที่มีการใช้ไฟฟ้าสูงสุด เพื่อลดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบไม่ให้เกิน 8 MW โดยใช้โปรแกรม DlgSILENT ในการหาขนาด และตำแหน่งติดตั้งที่เหมาะสม วิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าผ่านแบบจำลองระบบไฟฟ้า โดยการสุ่มตำแหน่งของระบบจัดเก็บพลังงานไฟฟ้าด้วยแบตเตอรี่จนได้ตำแหน่งที่ทำให้ระบบมีพลังงานไฟฟ้าสูญเสียน้อยที่สุด การศึกษาแบ่งเป็น 48 กรณี ผลลัพธ์ที่ได้จะถูกนำมาวิเคราะห์สรุปผล รวมทั้งเสนอแนะวิธีการแก้ปัญหาและวางแผน เพื่อให้เกิดการตอบสนองต่อนโยบายการส่งเสริมการใช้พลังงานหมุนเวียนและสอดคล้องกับการก้าวเข้าสู่ระบบไฟฟ้าแบบสมาร์ทกริด ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่จะเกิดขึ้นในอนาคตต่อไป

คำสำคัญ

การจัดการพลังงานไฟฟ้า ระบบจัดเก็บพลังงานไฟฟ้าด้วยแบตเตอรี่ สมาร์ทกริด

Abstract

This paper presents a method for energy management of the 22-kV distribution power system including the distributed generation from solar PV systems. The proposed method is applied to determine the appropriate sizing and placement of the battery energy storage system (BESS) with the constraints that the BESS is charged when the power demand is low and is discharged when the power demand is high as well as the maximum power demand is kept within the limit of 8 MW. In this study, the DlgSILENT is used to solve the problem of sizing and placement of the BESS, and to analyze the power flow of the study power system by varying the placement of the BESS until the system power loss is minimum. The case study is divided into 48 possible scenarios. Finally, the obtaining results is analyzed in order to find the promising solutions to solve the issues

and to be used as the planning guidelines for power system planning with the smart grid environment of the Provincial Electricity Authority (PEA) in near future.

Keywords

Electrical Energy Management, Battery Energy Storage System, Smart Grid

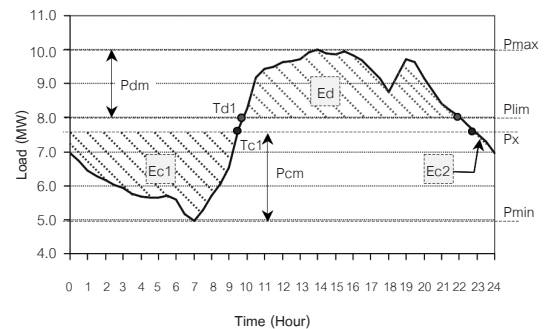
1. คำนำ

ปัจจุบันรัฐบาลและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) มีนโยบายสนับสนุนการใช้พลังงานหมุนเวียนในทิศทางที่เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ปริมาณโรงไฟฟ้าขนาดเล็กมีจำนวนเพิ่มขึ้นตาม หนึ่งในนั้นคือ โรงไฟฟ้าที่ผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ในบางระบบที่มีแหล่งผลิตไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ยังมีการจ่ายพลังงานไฟฟ้าไม่สอดคล้องกับโหลด เช่น กรณีที่โหลดมีค่าสูงสุดตอนกลางวันช่วงเวลา 19.00-20.00 น. แต่พลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ที่สามารถผลิตได้ในช่วงเวลากลางวันประมาณ 6.00 - 18.30 น. เท่านั้น ทำให้พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากแสงอาทิตย์ไม่สามารถนำมาช่วยจ่ายไฟในช่วง ที่มีการใช้ไฟฟ้าสูงสุดได้ และหากระบบนั้นมีค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดเกินหลักเกณฑ์การวางแผนระบบไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูง 22 เควี ซึ่งกำหนดไว้ 8 MW เกิดขึ้นในช่วงสั้นๆ จะส่งผลให้ต้องเตรียมการวางแผนก่อสร้างระบบไฟฟ้าเพิ่มเติมซึ่งเป็นการลงทุนที่สูง เพียงเพื่อรองรับโหลดในช่วงเวลาสั้นๆ เท่านั้น ดังนั้นการบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ที่มีอยู่ในระบบให้สามารถช่วยจ่ายโหลดได้อย่างเหมาะสมจะเป็นทางเลือกหนึ่งในการลดการลงทุนในการก่อสร้างระบบไฟฟ้าเพิ่มเติมได้

2. การหาขนาดระบบจัดเก็บพลังงานไฟฟ้าด้วยแบตเตอรี่ (Battery Energy Storage System; BESS)

ในขั้นตอนนี้จะคำนวณหาขนาดของ BESS ที่เหมาะสมสำหรับลดการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดลงไม่ให้มีค่าเกิน 8 MW โดยขนาดของ BESS ประกอบด้วย

2 ส่วน คือ กำลังไฟฟ้าพิกัด (Rated Power) หน่วยเป็น MW และพลังงานไฟฟ้าพิกัด (Rated Energy) หน่วยเป็น MWh สำหรับการหาขนาดของ BESS จะหาค่าพลังงานไฟฟ้า (Energy) ในช่วงที่มีการใช้ไฟฟ้าเกิน 8 MW ซึ่งจะเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ BESS จะต้องจ่ายให้กับระบบ หรือคายประจุ (Discharge) เพื่อลดค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดลง จากนั้นหาค่าพลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลาอื่นที่มีค่ากำลังไฟฟ้าน้อยกว่า 8 MW โดยพลังงานไฟฟ้าในช่วงนี้ BESS จะต้องรับมาจากระบบ หรืออัดประจุ (Charge) และมีค่าเท่ากับค่าพลังงานในช่วง Discharge ทั้งนี้ในความเป็นจริงแล้ว BESS จะมีพลังงานไฟฟ้าสูญเสียระหว่างใช้งาน แต่ในบทความนี้จะไม่นำมาพิจารณา รายละเอียดทั้งหมดแสดงในภาพที่ 1 และ 2 และมีเงื่อนไขการทำงานตามสมการที่ (1) - (7) [1] - [4]



ภาพที่ 1 หลักการทำงานของ BESS ในช่วงอัดและคายประจุ

สมการที่เกี่ยวข้อง

$$Ec = Ec1 + Ec2 \quad (1)$$

$$Ec = Ed \quad (2)$$

$$Px \leq Plim \quad (3)$$

$$Pdm = Pmax - Plim \quad (4)$$

$$P_{cm} = P_x - P_{min} \quad (5)$$

$$P_{br} = \max(P_{cm}, P_{dm}) \quad (6)$$

$$E_{br} \geq E_c \quad (7)$$

กำหนดให้

E_c คือ พลังงานไฟฟ้าในช่วงอัดประจุ
หน่วยเป็น MWh

E_{c1} คือ พลังงานไฟฟ้าในช่วงอัดประจุ
ในช่วงเวลา $0 \leq T \leq T_{c1}$
หน่วยเป็น MWh

E_{d2} คือ พลังงานไฟฟ้าในช่วงอัดประจุ
ในช่วงเวลา $T_{c2} \leq T \leq 24$
หน่วยเป็น MWh

E_b คือ พลังงานไฟฟ้าในช่วงคายประจุ
ในช่วงเวลา $T_{d1} \leq T \leq T_{d2}$
หน่วยเป็น MWh

E_{br} คือ พลังงานไฟฟ้าพิกัด ของ BESS
(ค่าต่ำสุดไม่น้อยกว่าค่า E_c)
หน่วยเป็น MWh

P_{max}, P_{min} คือ กำลังไฟฟ้าสูงสุด
และกำลังไฟฟ้าต่ำสุด
ตามลำดับ หน่วยเป็น MW

P_{cm}, P_{dm} คือ กำลังไฟฟ้าสูงสุดช่วงอัดประจุ
และคายประจุ ตามลำดับ
หน่วยเป็น MW

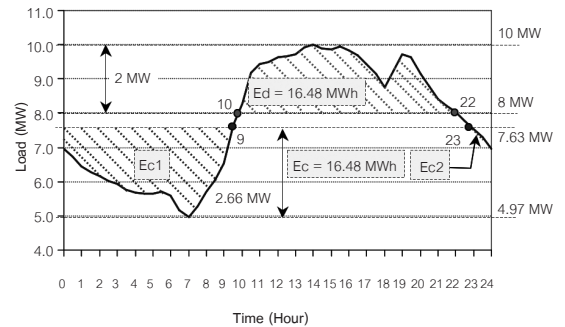
P_x คือ กำลังไฟฟ้าที่ต้องคำนวณเพื่อให้ได้
หน่วยเป็น MW

P_{lim} คือ กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่กำหนดไม่ให้เป็น
ในที่นี้ใช้ 8 MW) หน่วยเป็น MW

P_{br} คือ กำลังไฟฟ้าพิกัด ของ BESS
(ค่าสูงสุดระหว่างค่า P_{cm} และ P_{dm})
หน่วยเป็น MW

จากกราฟในภาพที่ 2 สรุปได้ว่า BESS ใน
การศึกษานี้มีขนาดกำลังไฟฟ้าพิกัดเท่ากับ 2.66
MW และพลังงานไฟฟ้าพิกัดเท่ากับ 16.48 MWh
โดยมีช่วงเวลาอัดประจุเริ่มตั้งแต่วันที่ 23.00-09.00 น.

รวม 10 ชั่วโมง โดยจะอัดประจุในช่วงเวลาที่มีการ
ใช้โหลดน้อย ซึ่งจะมีทั้งช่วงเวลาที่ไม่มีแสงแดด (06.00 -
09.00 น.) และช่วงเวลาที่ไม่มีแสงแดด (23.00 -
06.00 น.) ส่วนช่วงเวลาคายประจุ เริ่มตั้งแต่วันที่
10.00 - 22.00 น. รวม 12 ชั่วโมง



ภาพที่ 2 ผลลัพธ์จากการคำนวณขนาดและรูปแบบ
การทำงานของ BESS

3. ข้อมูลประกอบการศึกษา

ในการศึกษานี้ ใช้ข้อมูลประกอบด้วย แบบ
จำลองระบบไฟฟ้า รูปแบบการใช้โหลดรายวัน (Daily
Load Profile) แบบจำลองกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจาก
พลังงานแสงอาทิตย์ (Photo Voltaic Profile or PV)
และศึกษาเพื่อหาขนาดที่เหมาะสมของระบบจัด
เก็บพลังงานไฟฟ้าด้วยแบตเตอรี่ (Battery Energy
Storage System or BESS) ตามที่กล่าวมาแล้วใน
ข้อ 2

3.1 แบบจำลองระบบไฟฟ้า

แบบจำลองระบบไฟฟ้าที่ใช้ในบทความนี้
เป็นแบบจำลองที่ระดับแรงดัน 22 เควี จำนวน 9 บัส
8 จุดโหลด ใช้สายชนิด Space Aerial Cable (SAC)
ขนาด 185 ตร.มม. (185 SAC) มีความยาวสายรวม
เท่ากับ 28.24 กม. ซึ่งได้มาจากการวิเคราะห์การ
ไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยโปรแกรม DigSILENT ที่มี
แรงดัน ต้นทางเท่ากับ 1.05 เปรอร์ยูนิต โหลดรวม
สูงสุดต้นทางเท่ากับ 8 MW ตัวประกอบกำลังเท่ากับ
0.85 ความยาวดังกล่าวจะทำให้แรงดันที่ปลายทางสาย

มีค่าเท่ากับ 0.95 เปอรียูนิต ซึ่งเป็นแรงดันต่ำสุดตามหลักเกณฑ์ในการวางแผนของ กฟภ. รายละเอียดค่าอิมพีแดนซ์ของสายแสดงดังตารางที่ 1 และรายละเอียดของแบบจำลองระบบไฟฟ้าแสดงตามภาพที่ 3

3.2 รูปแบบการใช้โหลดรายวัน

รูปแบบการใช้โหลดรายวันในบทความนี้ใช้ข้อมูลของสถานีไฟฟ้าสระบุรี 5 ในช่วงวันที่ 21-30 เม.ย. 2555 ซึ่งเป็นค่าการใช้กำลังไฟฟ้าทุกๆ 30 นาที รวมระยะเวลา 24 ชั่วโมง โดยหาตัวแทนรูปแบบการใช้ไฟฟ้าของสถานีนี้ ด้วยการหาค่าเฉลี่ยของ ข้อมูลข้างต้น แสดงดังภาพที่ 1 ซึ่งมีค่าโหลดสูงสุดเท่ากับ 10 MW

3.3 แบบจำลองกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังงานแสงอาทิตย์

ในบทความนี้จะใช้แบบจำลองค่าพลังงานไฟฟ้าของพลังงานแสงอาทิตย์ ตามข้อมูลของ IEA (2010) ซึ่งพลังงานไฟฟ้าแสงอาทิตย์ขึ้นกับเวลาในช่วงวันและสภาพอากาศ โดยสามารถจำลองค่าพลังงานไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ดังสมการ (8)

สำหรับ $6 < T < 18.5$

$$P_{pv}(T) = (-0.0000323955T^5 + 0.0012949488T^4 - 0.0133779943T^3 - 0.07745311T^2 + 2.0436509568T - 7.9849739044) \times WF \quad (8)$$

สำหรับ $T < 6$ และ $18.5 < T$ $P_{pv}(T) = 0$

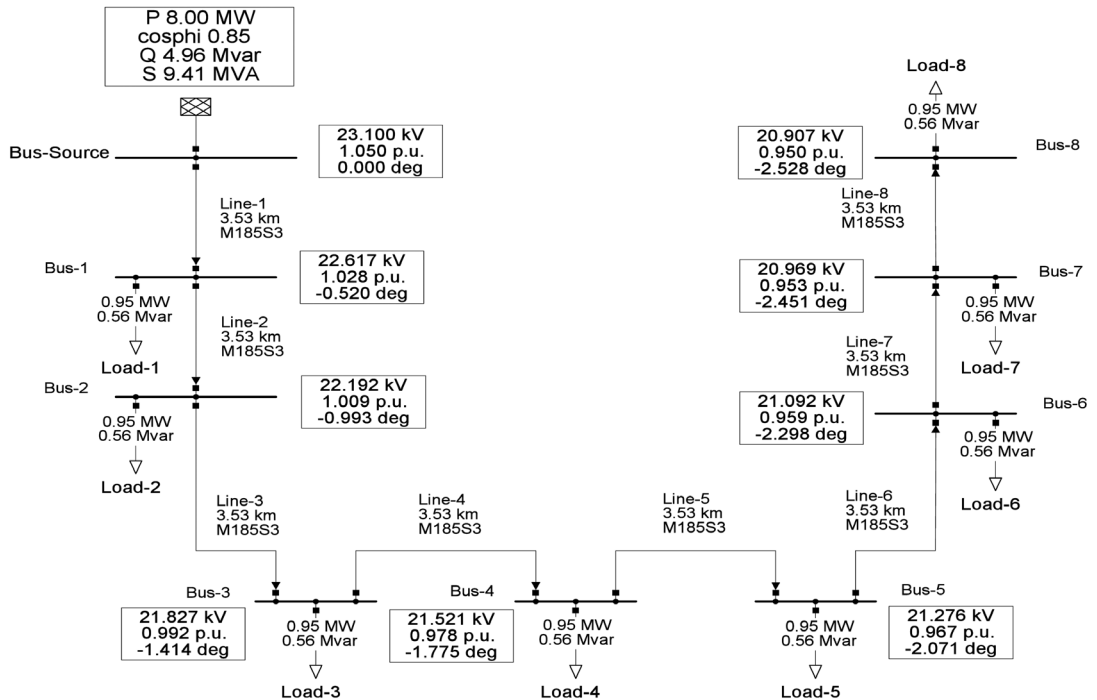
ตารางที่ 1 ค่าอิมพีแดนซ์ของสาย

ชนิดของสาย	R1	X1	R0	X0	B1	B0
	Ohm/km	Ohm/km	Ohm/km	Ohm/km	μS/km	μS/km
185SAC	0.2107	0.2986	0.4029	1.8579	5.9502	1.3632

เมื่อ T คือ เวลา เช่น 18.5 เป็นเวลา 18.30 น. และค่า WF คือ ค่าปัจจัยสภาพอากาศ โดยกำหนดให้สภาพอากาศที่ไม่มีฝนตก (Find weather) มีค่า $WF = 1$ สภาพอากาศมีเมฆมากมีฝนตกเล็กน้อย (Cloudy weather) มีค่า $WF = 0.65$ และสภาพอากาศมีฝนตกมาก (Rainy weather) มีค่า $WF = 0.16$

4. แนวทางในการศึกษา

ตามข้อมูลที่ได้จากข้อ 2 และ 3 สามารถนำมาวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม DigSILENT เพื่อหาค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสีย (Energy Losses) แรงดันบัล กำลังไฟฟ้าที่จ่ายมาจากต้นทาง กำลังไฟฟ้าที่จ่ายมาจาก PV กำลังไฟฟ้าที่จ่ายออกหรือรับเข้าไปสำหรับ BESS โดยจะพิจารณารูปแบบการกระจายตัวของแหล่งผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่แตกต่างกัน 4 รูปแบบ ความหนาแน่นของ PV จำนวน 3 แบบ และขนาดรวมของ PV (Total PV) จำนวน 4 แบบ คือ 2 4 6 8 MW ซึ่งขนาด 8 MW เป็นขนาดสูงสุดที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคอนุญาตให้เชื่อมต่อกับระบบ 22 เควีได้ [5] และเพื่อให้การศึกษามีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้นจึงพิจารณาวิเคราะห์ในขนาดอื่นๆ อีก 3 ขนาดคือ 2 4 และ 6 MW โดยมีรายละเอียดตามข้อ 4.1 และ 4.2 จากนั้นหาดำหนดติดตั้ง BESS ที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากตำแหน่งที่ติดตั้งแล้วทำให้ค่า Energy Losses ในระบบต่ำสุด ดังตัวอย่างขั้นตอนการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในกรณีที่ PV มีการกระจายตัวสม่ำเสมอ ตามภาพที่ 4 ส่วนการวิเคราะห์สำหรับการกระจายตัวของ PV แบบอื่นๆ ก็จะพิจารณาในทำนองเดียวกัน



ภาพที่ 3 แบบจำลองระบบไฟฟ้า

4.1 การกระจายตัวของแหล่งผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

ในบทความนี้จะพิจารณาการกระจายตัวของแหล่งผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์หรือ PV แบ่งเป็น 4 แบบ ประกอบด้วย

- 4.1.1 การกระจายตัวแบบสม่ำเสมอ คือ PV1 ถึง PV4 กระจายตัวตามแนวสายเท่ากัน
- 4.1.2 การกระจายตัวแบบหนาแน่นต้นทาง คือ PV1 ถึง PV4 เชื่อมต่อกับ Bus-1 ถึง Bus-4 ตามลำดับ
- 4.1.3 การกระจายตัวแบบหนาแน่นปลายทาง คือ PV1 ถึง PV4 เชื่อมต่อกับ Bus-5 ถึง Bus-8 ตามลำดับ
- 4.1.4 การกระจายตัวแบบหนาแน่นกลางทาง คือ PV1 ถึง PV4 เชื่อมต่อกับ Bus-3 ถึง Bus-6 ตามลำดับ

4.2 ความหนาแน่นของของแหล่งผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

ในการศึกษาของบทความนี้นอกจากจะกำหนดรูปแบบการกระจายตัวของแหล่งผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็น 4 แบบแล้ว ยังกำหนดรูปแบบความหนาแน่นของ PV1 ถึง PV4 เป็นค่าแตกต่างกัน อีก 3 รูปแบบ คือหนาแน่นต้นทางสม่ำเสมอ และปลายทาง พร้อมทั้งพิจารณาผลรวมของ PV (Total PV) ทั้ง 4 จุด ในค่าที่แตกต่างกัน คือ 2 4 6 และ 8 MW โดยมีรายละเอียดตามผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 2 ถึง 5

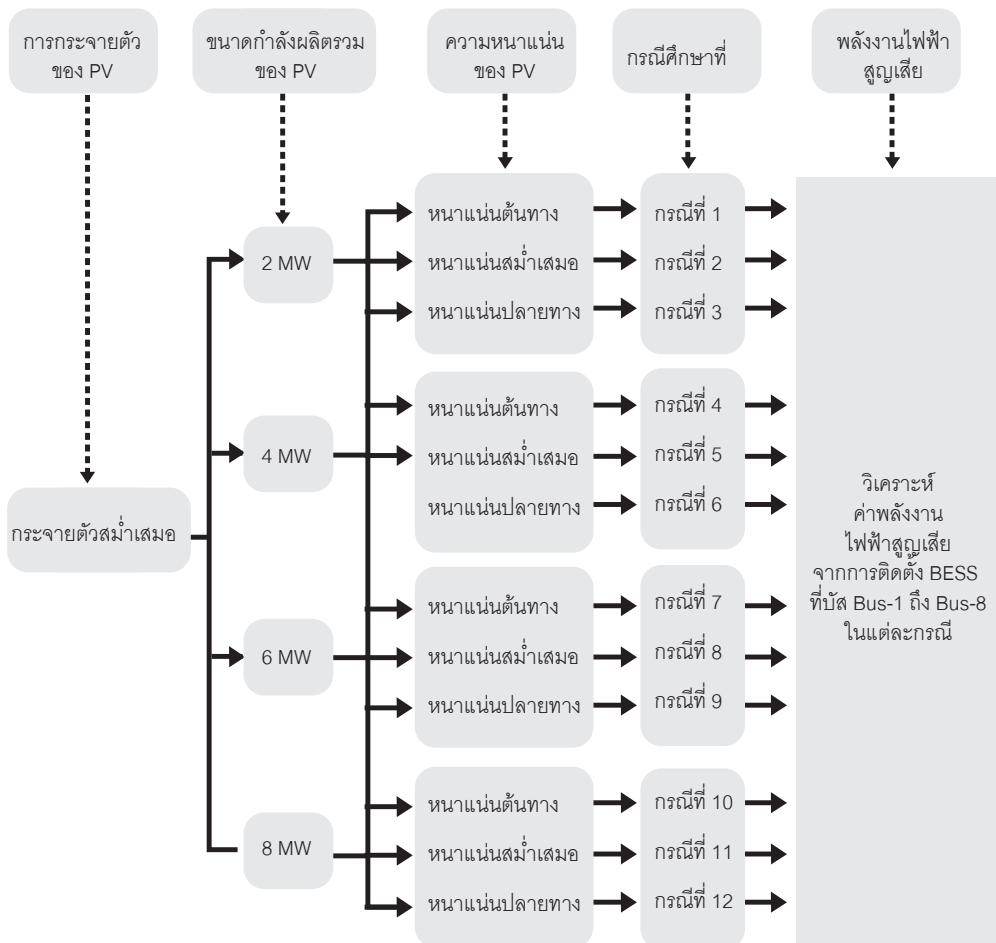
5. ผลการศึกษาการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยใช้โปรแกรม DigSILENT

ในการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าเพื่อหาค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียในระบบจากกรณีศึกษาทั้งหมด 48 (4x3x4) กรณีนั้น ใช้ฟังก์ชัน Time

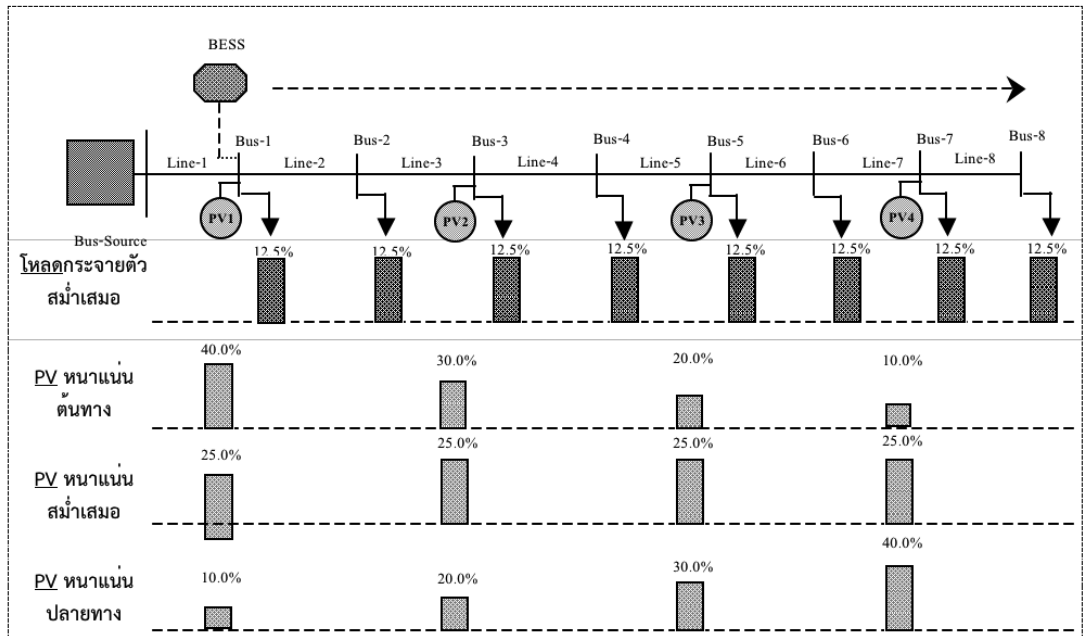
Sweep MW ซึ่งเป็น Digsilent Programming Language (DPL Script) ของโปรแกรม DlgSILENT วิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าแบบ 24 ชั่วโมง โดยผลการวิเคราะห์จะแสดงภาพแบบจำลองระบบไฟฟ้าพร้อมรูปแบบการกระจายตัวของโหลด การกระจายตัว ความหนาแน่น และขนาดรวมของแหล่งผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ พร้อมค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในแต่ละตำแหน่งที่มีการติดตั้ง BESS ดังรายละเอียดในภาพที่ 5 ถึง 8 และตารางที่ 2 ถึง 5

จากผลการวิเคราะห์ข้างต้นเมื่อนำค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในกรณีที่มีค่าต่ำสุดจากทั้งหมด 48 กรณีมาพิจารณาแยกตามค่า Total PV ขนาด 2 4 6 และ 8 MW จะมีค่าพลังงานไฟฟ้าสูญเสียต่ำสุดเท่ากับ 5.810 4.631 4.228 และ 4.138 MWh ที่ระยะทาง 62.5 37.5 12.5 และ 12.5 เพอร์เซ็นต์ตามลำดับ รายละเอียดดังภาพที่ 9

รูปแบบของ PV ในแบบจำลอง



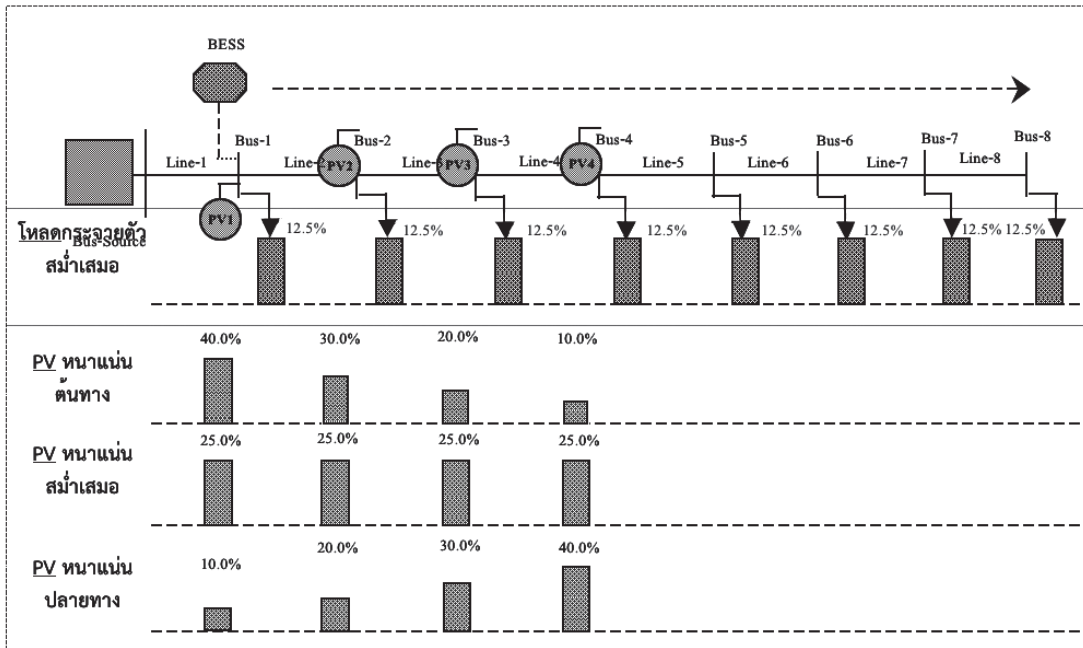
ภาพที่ 4 ตัวอย่างขั้นตอนการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในกรณีที่ PV มีการกระจายตัวสม่ำเสมอ



ภาพที่ 5 โหลดและแหล่งผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์กระจายตัวแบบสม่ำเสมอ

ตารางที่ 2 กำลังไฟฟ้าสูญเสียในการกักตัว BESS ในระบบตามภาพที่ 5

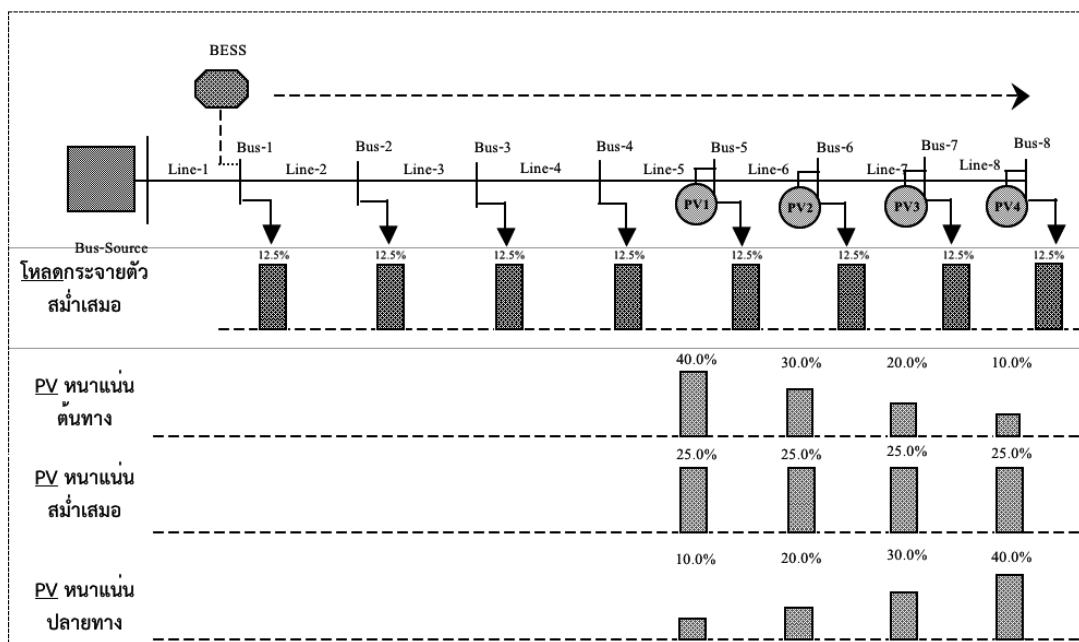
กรณี ที่	Total PV (MW)	ความหนาแน่น ของ PV	ขนาดของ PV (MW)				พลังงานไฟฟ้าสูญเสียทั้งระบบ ณ จุดติดตั้งแต่ละบัส ของ BESS (MWh)							
			PV 1	PV 2	PV 3	PV 4	12.5%	25.0%	37.5%	50.0%	62.5%	75.0%	87.5%	100%
							Bus-1	Bus-2	Bus-3	Bus-4	Bus-5	Bus-6	Bus-7	Bus-8
1	2	ต้นทาง	0.8	0.6	0.4	0.2	7.360	7.135	6.960	6.816	6.727	6.678	6.684	6.735
2	2	สม่ำเสมอ	0.5	0.5	0.5	0.5	6.972	6.764	6.607	6.485	6.418	6.384	6.406	6.457
3	2	ปลายทาง	0.2	0.4	0.6	0.8	6.620	6.432	6.293	6.191	6.145	6.127	6.162	6.213
4	4	ต้นทาง	1.6	1.2	0.8	0.4	6.110	5.950	5.839	5.734	5.681	5.648	5.666	5.717
5	4	สม่ำเสมอ	1.0	1.0	1.0	1.0	5.530	5.402	5.323	5.257	5.242	5.238	5.282	5.332
6	4	ปลายทาง	0.4	0.8	1.2	1.6	5.088	4.989	4.940	4.910	4.930	4.952	5.021	5.072
7	6	ต้นทาง	2.4	1.8	1.2	0.6	5.235	5.134	5.082	5.011	4.989	4.970	4.998	5.049
8	6	สม่ำเสมอ	1.5	1.5	1.5	1.5	4.627	4.568	4.557	4.539	4.569	4.588	4.651	4.702
9	6	ปลายทาง	0.6	1.2	1.8	2.4	4.293	4.272	4.299	4.329	4.405	4.458	4.552	4.603
10	8	ต้นทาง	3.2	2.4	1.6	0.8	4.709	4.661	4.660	4.619	4.626	4.618	4.656	4.706
11	8	สม่ำเสมอ	2.0	2.0	2.0	2.0	4.205	4.208	4.257	4.280	4.347	4.387	4.467	4.517
12	8	ปลายทาง	0.8	1.8	2.4	3.2	4.138	4.187	4.279	4.359	4.480	4.559	4.674	4.724



ภาพที่ 6 โหลดกระจายตัวสม่ำเสมอแหล่งผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์กระจายตัวต้นทาง

ตารางที่ 3 กำลังไฟฟ้าสูญเสียในการติดตั้ง BESS ในระบบตามภาพที่ 6

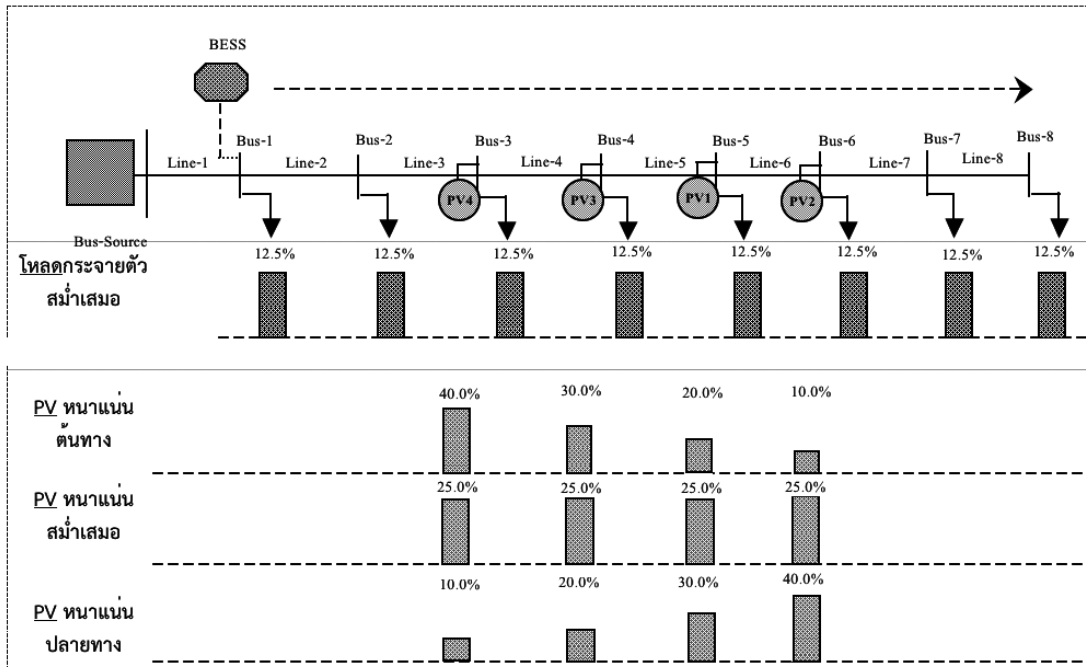
กรณี ที่	Total PV (MW)	ความหนาแน่น ของ PV	ขนาดของ PV (MW)				พลังงานไฟฟ้าสูญเสียทั้งระบบ ณ จุดติดตั้งแต่ละบัส ของ BESS (MWh)							
			PV 1	PV 2	PV 3	PV 4	12.5%	25.0%	37.5%	50.0%	62.5%	75.0%	87.5%	100%
							Bus-1	Bus-2	Bus-3	Bus-4	Bus-5	Bus-6	Bus-7	Bus-8
13	2	ต้นทาง	0.8	0.6	0.4	0.2	7.801	7.566	7.357	7.190	7.070	7.008	7.004	7.055
14	2	สม่ำเสมอ	0.5	0.5	0.5	0.5	7.530	7.311	7.125	6.974	6.856	6.796	6.793	6.843
15	2	ปลายทาง	0.2	0.4	0.6	0.8	7.277	7.076	6.910	6.775	6.659	6.600	6.598	6.649
16	4	ต้นทาง	1.6	1.2	0.8	0.4	6.853	6.682	6.513	6.364	6.253	6.197	6.196	6.257
17	4	สม่ำเสมอ	1.0	1.0	1.0	1.0	6.411	6.270	6.139	6.020	5.913	5.859	5.859	5.910
18	4	ปลายทาง	0.4	0.8	1.2	1.6	6.035	5.923	5.828	5.739	5.635	5.584	5.585	5.634
19	6	ต้นทาง	2.4	1.8	1.2	0.6	6.177	6.062	5.927	5.796	5.693	5.642	5.643	5.694
20	6	สม่ำเสมอ	1.5	1.5	1.5	1.5	5.880	5.815	5.707	5.580	5.480	5.431	5.433	5.484
21	6	ปลายทาง	0.6	1.2	1.8	2.4	5.509	5.472	5.415	5.316	5.220	5.174	5.178	5.229
22	8	ต้นทาง	3.2	2.4	1.6	0.8	5.752	5.691	5.587	5.472	5.375	5.329	5.333	5.384
23	8	สม่ำเสมอ	2.0	2.0	2.0	2.0	5.204	5.193	5.156	5.094	5.004	4.963	4.969	5.019
24	8	ปลายทาง	0.8	1.8	2.4	3.2	4.886	4.924	4.949	4.956	4.852	4.815	4.822	4.873



ภาพที่ 7 โหลดกระจายตัวสม่ำเสมอแหล่งผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์กระจายตัวปลายทาง

ตารางที่ 4 กำลังไฟฟ้าสูญเสียในการกักตัว BESS ในระบบตามภาพที่ 7

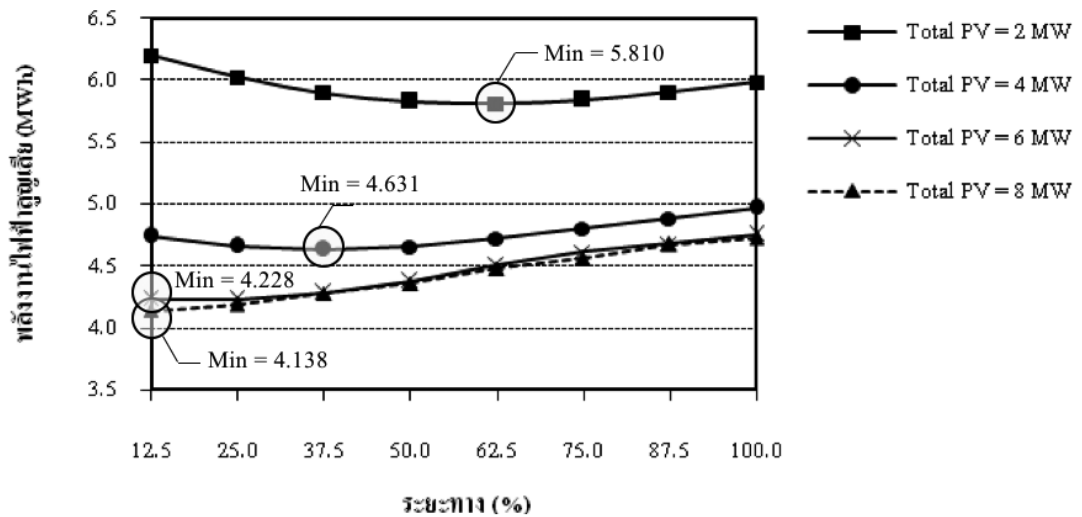
กรณี ที่	Total PV (MW)	ความหนาแน่น ของ PV	ขนาดของ PV (MW)				พลังงานไฟฟ้าสูญเสียทั้งระบบ ณ จุดติดตั้งแต่ละบัส ของ BESS (MWh)							
			PV 1	PV 2	PV 3	PV 4	12.5%	25.0%	37.5%	50.0%	62.5%	75.0%	87.5%	100%
							Bus-1	Bus-2	Bus-3	Bus-4	Bus-5	Bus-6	Bus-7	Bus-8
25	2	ต้นทาง	0.8	0.6	0.4	0.2	6.854	6.668	6.533	6.419	6.334	6.288	6.286	6.337
26	2	สม่ำเสมอ	0.5	0.5	0.5	0.5	6.683	6.499	6.367	6.269	6.203	6.171	6.170	6.221
27	2	ปลายทาง	0.2	0.4	0.6	0.8	6.530	6.349	6.218	6.135	6.089	6.071	6.071	6.121
28	4	ต้นทาง	1.6	1.2	0.8	0.4	5.418	5.329	5.290	5.240	5.192	5.163	5.166	5.217
29	4	สม่ำเสมอ	1.0	1.0	1.0	1.0	5.178	5.092	5.057	5.034	5.021	5.017	5.022	5.072
30	4	ปลายทาง	0.4	0.8	1.2	1.6	5.002	4.919	4.886	4.889	4.909	4.930	4.935	4.986
31	6	ต้นทาง	2.4	1.8	1.2	0.6	4.626	4.624	4.668	4.671	4.654	4.639	4.647	4.697
32	6	สม่ำเสมอ	1.5	1.5	1.5	1.5	4.396	4.397	4.444	4.483	4.513	4.532	4.541	4.591
33	6	ปลายทาง	0.6	1.2	1.8	2.4	4.290	4.358	4.469	4.540	4.591	4.603	4.615	4.665
34	8	ต้นทาง	3.2	2.4	1.6	0.8	4.409	4.482	4.599	4.648	4.657	4.655	4.666	4.716
35	8	สม่ำเสมอ	2.0	2.0	2.0	2.0	4.249	4.324	4.443	4.535	4.601	4.640	4.652	4.702
36	8	ปลายทาง	0.8	1.8	2.4	3.2	4.291	4.368	4.486	4.619	4.736	4.814	4.828	4.877



ภาพที่ 8 โหลดกระจายตัวสม่ำเสมอแหล่งผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์กระจายตัวกลางทาง

ตารางที่ 5 กำลังไฟฟ้าสูญเสียในการติดตั้ง BESS ในระบบตามภาพที่ 8

กรณี ที่	Total PV (MW)	ความหนาแน่น ของ PV	ขนาดของ PV (MW)				พลังงานไฟฟ้าสูญเสียทั้งระบบ ณ จุดติดตั้งแต่ละบัส ของ BESS (MWh)							
			PV 1	PV 2	PV 3	PV 4	12.5%	25.0%	37.5%	50.0%	62.5%	75.0%	87.5%	100%
							Bus-1	Bus-2	Bus-3	Bus-4	Bus-5	Bus-6	Bus-7	Bus-8
37	2	ต้นทาง	0.8	0.6	0.4	0.2	6.312	6.134	6.006	5.935	5.917	5.918	5.945	6.004
38	2	สม่ำเสมอ	0.5	0.5	0.5	0.5	6.247	6.069	5.943	5.872	5.855	5.870	5.915	5.987
39	2	ปลายทาง	0.2	0.4	0.6	0.8	6.198	6.022	5.896	5.826	5.810	5.838	5.900	5.984
40	4	ต้นทาง	1.6	1.2	0.8	0.4	4.793	4.703	4.673	4.694	4.763	4.817	4.869	4.935
41	4	สม่ำเสมอ	1.0	1.0	1.0	1.0	4.739	4.660	4.631	4.652	4.722	4.799	4.881	4.968
42	4	ปลายทาง	0.4	0.8	1.2	1.6	4.752	4.673	4.644	4.666	4.736	4.835	4.946	5.053
43	6	ต้นทาง	2.4	1.8	1.2	0.6	4.228	4.231	4.281	4.378	4.515	4.610	4.682	4.752
44	6	สม่ำเสมอ	1.5	1.5	1.5	1.5	4.263	4.266	4.316	4.412	4.550	4.674	4.786	4.883
45	6	ปลายทาง	0.6	1.2	1.8	2.4	4.410	4.412	4.461	4.556	4.692	4.846	4.994	5.119
46	8	ต้นทาง	3.2	2.4	1.6	0.8	4.495	4.570	4.687	4.845	5.039	5.166	5.253	5.326
47	8	สม่ำเสมอ	2.0	2.0	2.0	2.0	4.649	4.722	4.838	4.995	5.187	5.350	5.484	5.589
48	8	ปลายทาง	0.8	1.8	2.4	3.2	4.978	5.049	5.162	5.317	5.507	5.703	5.881	6.018



ภาพที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้าสูญเสียและระยะทางในการติดตั้ง BESS

6. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาที่ได้ข้างต้นจะเห็นว่าในแบบจำลองระบบไฟฟ้าตัวอย่างที่โหลดมีการกระจายตัวแบบสม่ำเสมอ ผลการหาตำแหน่งติดตั้งของ BESS ที่เหมาะสมที่ทำให้พลังงานไฟฟ้าสูญเสียในระบบน้อยที่สุดนั้น ขึ้นอยู่กับรูปแบบของแหล่งผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ทั้ง ขนาดรวม การกระจายตัว และความหนาแน่น โดยตำแหน่งที่เหมาะสมของ BESS สำหรับ Total PV ขนาด 2 4 6 MW คือ ระยะทาง 62.5 37.5 12.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งทั้ง 3 ขนาด PV มีการกระจายตัว แบบกลางทาง และมีความหนาแน่นแบบ ปลายทาง สม่ำเสมอ และต้นทาง ตามลำดับ ส่วน Total PV ขนาด 8 MW ตำแหน่งติดตั้ง BESS

ที่เหมาะสม คือ 12.5 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ PV กระจายตัวสม่ำเสมอและหนาแน่นปลายทาง ดังรายละเอียดตามภาพที่ 9

อนึ่งในการศึกษาของบทความนี้จะพิจารณาเฉพาะในกรณีที่โหลดในแบบจำลองระบบไฟฟ้ามีการกระจายตัวแบบสม่ำเสมอเท่านั้นโดยสามารถใช้เป็นแนวทางในการพิจารณาเบื้องต้นสำหรับการหาขนาดและตำแหน่งติดตั้งของ BESS ที่เหมาะสมเพื่อลดกำลังไฟฟ้าสูงสุดไม่ให้เกินค่าที่กำหนดและสอดคล้องกับขนาด Total PV ทั้งนี้ต้องมีการควบคุมแรงดันที่สถานีไฟฟ้าให้สอดคล้องกับขนาดของ Total PV ที่เชื่อมโยงในระบบ เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาแรงดันเกินได้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Oudalov A., Cherkaoui R., Beguin A., “ Sizing and Optimal Operation of Battery Energy Storage System for Peak Shaving Application”, IEEE Lausanne Power Tech, July. 2007, pp. 621-625
- [2] Oudalov A., Chartouni D., Ohler C., Linhofer G., “ Value Analysis of Battery Energy Storage Application in Power Systems ”, IEEE PES ”, Power Systems Conference and Exposition, Nov. 2006, pp. 2206-2211
- [3] Venu C., Riffonneau Y., Bacha S., Baghzouz Y., “ Battery Storage System Sizing in Distribution Feeders with Distributed Photovoltaic Systems ”, IEEE Bucharest Power Tech, July. 2009, pp. 1-5
- [4] การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค 2553. หลักเกณฑ์การวางแผนระบบไฟฟ้า
- [5] กองแผนงานระบบไฟฟ้า 2549. การพิจารณารับเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (VSPP)