ผลกระทบของการเชื่อมต่อระบบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็กที่ติดตั้งบนหลังคาจำนวนมากต่อแรงดันไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

Impact of High Solar Rooftop Photovoltaic Penetration on Voltage and Energy Loss in Distribution Systems

ฮาฟิซ แมแรกาเจ (Hafis Maeraekache)* ดร.สมพร สิริสำราญนุกุล (Dr.Somporn Sirisumrannukul)**

บทคัดย่อ

บทความนี้วิเคราะห์ผลกระทบของการเชื่อมต่อแหล่งผลิตพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาจำนวนมากต่อแรงดันและพลังงานไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยได้ใช้ระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) เป็นกรณีศึกษา โดยสมมติให้สายป้อนของระบบนั้นจ่ายไฟให้กับบ้านอยู่อาศัยจำนวน 360 หลังที่มีปริมาณกำลังผลิตไฟฟ้าที่แปรเปลี่ยนจาก 1 kW ไปจนถึง 15 kW ระบบจำหน่ายไฟฟ้า กราฟโหลด 24 ชั่วโมงสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัย และ กำลังผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์ได้ถูกจำลองโดยใช้โปรแกรม DigSilent Power Factory การวิเคราะห์ได้รวมถึงการติดตั้งแบตเตอรี่สำหรับแต่ละหลังคาเรือน ผลการศึกษาพบว่าการเชื่อมต่อแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าแบบแสงอาทิตย์ที่ 15 kW ทำให้เกิดแรงดันเกินในระบบ 400/230 V และทำให้พลังงานไฟฟ้าสูญเสียเพิ่มมากขึ้น ผลกระทบในแง่ลบดังกล่าวมาจากความจริงที่ว่ากำลังผลิตจากพลังงานแสงอาทิตย์และความต้องการใช้ไฟฟ้าของบ้านพักอาศัยไม่ได้อยู่ภายในช่วงเวลาเดียวกันและดังนั้นกำลังไฟฟ้าสามารถไหลย้อนกลับไปยังสถานีไฟฟ้าได้ ผลการศึกษายังพบว่าการติดตั้งแบตเตอรี่สามารถช่วยรักษาระดับแรงดันให้อยู่ในระดับมาตรฐานของ กฟภ. และช่วยลดพลังงานไฟฟ้าสูญเสียเป็นอย่างมาก

ABSTRACT

This paper analyzes the effect of high penetration level of solar rooftop on voltage and energy losses in a distribution system. A case study was carried out using a distribution system of Provincial Electricity Authority (PEA). It is assumed that the feeder of the system supplies 360 households with different amounts of solar PV generation varied from 1kW to 15 kW. The distribution system, a 24-hour profile of the residential customers and their solar PV generations were modeled using the software package DigSilent Power Factory. The analysis was extended to include a battery installation on each household. The study result found that a high penetration level of 15 kW solar PV for each household can cause overvoltage in 400/230 V System and also increase energy loss in MW. That negative impact comes from the fact that the generation of the solar PVs and the demand of the households are not coincident and therefore power flow can go reverse to the substation. It is also found that the battery can help to keep the voltage level to stay within the standard level of PEA and to reduce energy loss significantly.

คำสำคัญ: พลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาที่เชื่อมต่อกริด แรงดันเกินพลังงาน ไฟฟ้าสูญเสีย

Keywords: Grid-Connected Solar Rooftop, Overvoltage, Energy Loss

** นักศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*

*** รองศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*

บทนำ

ปัจจุบันทั่วโลกรวมทั้งประเทศไทยได้ให้ความสำคัญกับส่งเสริมสนับสนุนให้มีการผลิตและใช้งานพลังงานทดแทน โดยเฉพาะการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ เนื่องจากระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานที่สะอาดปราศจากมลพิษและเป็นพลังงานที่ใช้ไม่มีวันหมด พลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่ไม่ต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายเปรียบเสมือนเป็นพลังงานที่ได้เปล่า ปริมาณการติดตั้งสะสมการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยปี พ.ศ. 2554 พ.ศ. 2555 และ พ.ศ. 2556 มีปริมาณการติดตั้งสะสมประมาณ 242, 387 และ 823 เมกะวัตต์ ตามลำดับ จากข้อมูลดังกล่าวพบว่า 794.07 เมกะวัตต์เป็นการประยุกต์แบบเชื่อมต่อแบบจำหน่าย โดย 29.73 เมกะวัตต์เป็นการติดตั้งแบบอิสระรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณการติดตั้งแบ่งตามประเภทการใช้งานของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ของประเทศไทย

ปริมาณการติดตั้งสะสม			
พ.ศ.	เชื่อมต่อระบบจำหน่าย(MW)	แบบอิสระ(MW)	รวม(MW)
2547	1.76	9.07	10.83
2548	1.77	22.11	23.88
2549	1.86	28.66	30.52
2550	3.61	28.90	32.51
2551	4.06	29.34	33.39
2552	13.67	29.49	43.17
2553	19.57	29.65	49.22
2554	212.80	29.88	242.68
2555	357.38	30.19	387.57
2556	794.07	29.73	823.80

จากข้อมูลในตารางที่ 1 เราจะเห็นได้ว่าจากอดีตจนถึงปัจจุบันระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์มีการติดตั้งใช้งานเพิ่มขึ้นทุกๆ ปี ประกอบกับนโยบายของรัฐในการส่งเสริมสนับสนุนการใช้งานพลังงานทดแทน ซึ่งทำให้มีทิศทางในการใช้งานระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์มากขึ้น ในอนาคตมีการคาดการณ์ว่าจะมีแนวโน้มการติดตั้งใช้งานระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นต่อไปอีกเรื่อยๆ เป็นจำนวนมากจากนโยบายการผลิตพลังงานด้วยเซลล์แสงอาทิตย์อย่างอิสระ ดังนั้น เราจึงมีความจำเป็นมากที่จะต้องศึกษาผลกระทบของการติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดย 2 ปัจจัยหลักที่พิจารณาประกอบด้วย ปัจจัยด้านแรงดันไฟฟ้าและด้านกำลังไฟฟ้าสูญเสีย พร้อมทั้งประเมินค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาที่สามารถจ่ายเข้าสู่ระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้ โดยที่ระบบยังคงรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าได้ในขอบเขตของแรงดันไฟฟ้าไม่เกิน ± 5.00 %

ผู้วิจัยได้มีแนวคิดที่จะสร้างแบบจำลองเหตุการณ์ผลกระทบที่เกิดจากระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางวิศวกรรมไฟฟ้า DigSilent Power Factory เพื่อศึกษาดูผลกระทบต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยเลือกศึกษาตัวอย่างเป็นพื้นที่บ้านอยู่อาศัยมีจำนวนที่อยู่อาศัย 360 หลังคาเรือน โดยมีโหลดสูงสุดไม่เกิน10 kW ต่อหลังคาเรือน (อ้างอิงกับข้อมูลของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค) ในที่นี้ เรากำหนดให้แต่ละหลังคาเรือนมีการติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาทั้งหมดที่แปรเปลี่ยนค่ากำลังผลิตติดตั้ง โดยเริ่มจาก 1 kW, 5kW, 10 kW และ15 kW ต่อหลัง แล้วมาวิเคราะห์ผลกระทบของแรงดันและกำลังสูญเสียในระบบจำหน่ายตลอดระยะเวลา 24 ชั่วโมง หรือ 1 วัน

วัตถุประสงค์การวิจัย

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย คือเพื่อศึกษาผลกระทบของระบบจำหน่ายไฟฟ้าจากการเชื่อมต่อระบบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็กที่ติดตั้งบนหลังคาในด้านระดับแรงดันไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าสูญเสีย นอกจากนี้ งานวิจัยนี้ยังได้ทำการศึกษาผลกระทบของการติดตั้งแบตเตอรี่ในบ้านอยู่อาศัยสำหรับการใช้งานควบคู่กับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็กที่ติดตั้งบนหลังคา

วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลกระทบของระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดันต่ำ (400/230 V) ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (PEA) เป็นผู้รับผิดชอบดูแล โดยผู้วิจัยได้มีแนวคิดเพื่อศึกษาผลกระทบของระบบจำหน่ายแรงต่ำเมื่อได้นำระบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก (Distributed Generation) เช่น ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาเป็นจำนวนหลายหลังคาเรือน มาเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าจำหน่ายเพื่อขายไฟฟ้าให้กับการไฟฟ้า ปัจจัยที่พิจารณาประกอบด้วย ปัจจัยทางด้านแรงดัน และปัจจัยทางด้านกำลังสูญเสียในระบบรวมทั้งประเมินว่าสายป้อนที่พิจารณาอยู่นั้นสามารถรองรับกำลังเชื่อมต่อสูงสุดเท่าไร ที่จะไม่ส่งผลกระทบต่อระบบจำหน่ายตามมาตรฐานระดับแรงดันสูงสุดและต่ำสุดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค การศึกษายังคำนึงถึงการใช้งานร่วมกันระหว่างระบบเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็กที่ติดตั้งบนหลังคาร่วมกับแบตเตอรี่ การจำลองระบบไฟฟ้ากำลังได้ใช้โปรแกรม DigSilent Power Factory

1. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1.1 เซลล์แสงอาทิตย์

กระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ (Photo current) เกิดจากแสงสว่างไปทำให้เซลล์แสงอาทิตย์สร้างประจุพาหะอิสระให้ไหลผ่านโหลดที่ต่ออยู่เป็นสัดส่วนตรงกับความเข้มแสงที่ตกกระทบรอยต่อ PNJunction ซึ่งจะเขียนแทนด้วยไดโอดและแหล่งจ่ายกระแสในสมการที่ 1 สมการดังกล่าวแสดงถึงคุณลักษณะทางกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งจะเขียนอยู่ในรูปของฟังก์ชั่นเอ็กโพเนนเชียล

$$I_{pv} = I_p - I_o\left[e^{\frac{q(V_{pv}+R_s I_{pv})}{NkT}} - 1\right] - \frac{V_{pv}+R_s I_{pv}}{R_{sh}} \quad (1)$$

เมื่อกำหนดให้

I_p คือกระแสไฟฟ้าของพลังงานแสงอาทิตย์ (A)

V_{pv} คือแรงดันไฟฟ้าของพลังงานแสงอาทิตย์ (V)

I_o คือกระแสอิ่มตัว (A)

N คือIdeality Factor (A)

q คือประจุอิเล็กตรอนI

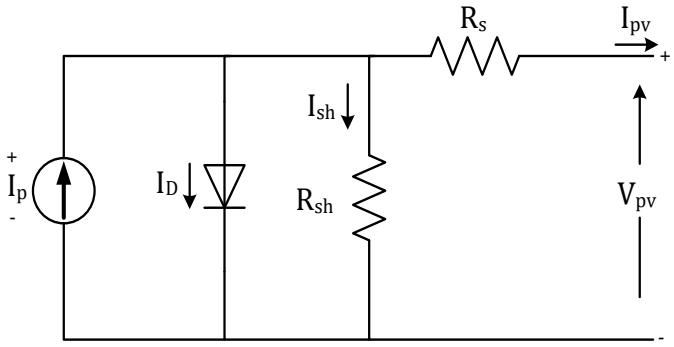
k คือค่าคงที Boltzmann

T คืออุณหภูมิ (K)

R_s คือความต้านทานอนุกรม (□)

R_{sh} คือ ความต้านทานขนาน (□)

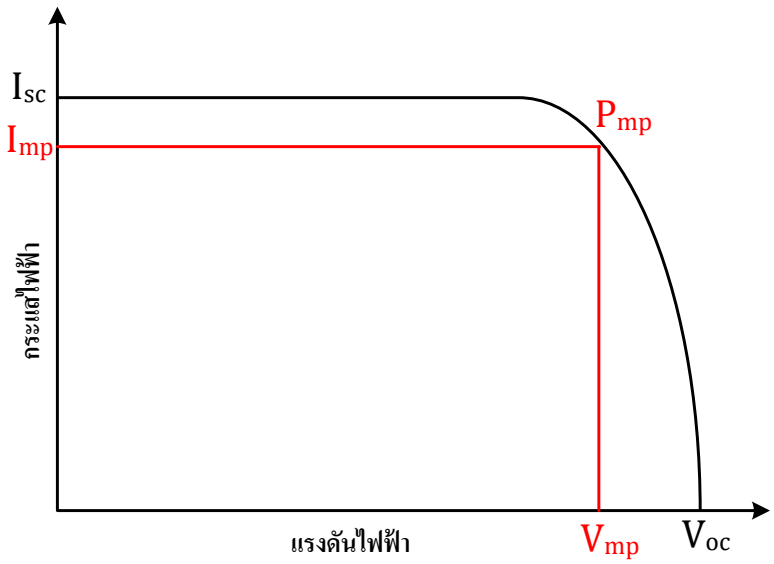
วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์ของสมการที่ 1 แสดงได้ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 วงจรสมมูลของเซลล์แสงอาทิตย์

1.1.1 กราฟคุณลักษณะกระแสกับแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ (I-V Curve)

เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าเป็นกระแสตรง โดยที่แรงแรงดันและกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ขึ้นกับความเข้มรังสีอาทิตย์ และอุณหภูมิแผงเซลล์ ภาพที่2แสดงกราฟกระแสกับแรงดันไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อต่อกับโหลดที่แปรค่าตั้งแต่สภาวะวงจรลัด (Short circuit) ถึงสภาวะวงจรเปิด (Open circuit) โดยตัดแกนตั้งที่แรงดันเป็นศูนย์ จะได้ค่ากระแสที่สภาวะวงจรลัด (Short circuit current: I_{sc}) ส่วนจุดตัดแกนนอนที่กระแสเท่ากับศูนย์จะได้ค่าแรงแรงดันขณะวงจรเปิด (Open circuit Voltage: V_{oc}) เมื่อนำค่ากระแสคูณกับแรงดันก็จะได้กำลังของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งในกราฟต้องมีเพียงจุดเดียวที่มีค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด เรียกว่า กำลังไฟฟ้าที่จุดสูงสุด(Power at maximum point:P_{mp}) ส่วนกระแสกับแรงดันที่จุดนี้เรียกว่า กระแสที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Current at maximum power point: I_{mp}) กับแรงดันที่จุดกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Voltage at maximum power point:V_{mp}) ตามลำดับ



ภาพที่ 2 กราฟกระแสกับแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (I-V Curve)

1.2 ข้อมูลการรับซื้อไฟฟ้าจากการผลิตไฟฟ้า

สำหรับในประเทศไทยนั้น ได้มีมาตรการส่งเสริมสำหรับการรับซื้อไฟฟ้าจากการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา (Solar PV Rooftop) จะได้รับผลตอบแทนในรูปแบบ Feed-in Tariff (FIT) และมีระยะเวลาในการสนับสนุน25 ปีแต่เมื่อวันที่ 15 สิงหาคม 2557 ที่ผ่านมาคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติภายใต้

การดำเนินงานของคณะรักษาความสงบแห่งชาติ หรือคสช. มีมติเห็นชอบอัตราการรับซื้อไฟฟ้าในรูปแบบ Feed-in Tariffสำหรับการรับซื้อไฟฟ้าในปี 2557-2558 ให้ครบเต็มจำนวน 100 เมกะวัตต์ สำหรับบ้านอยู่อาศัย และสามารถจ่ายไฟฟ้าเข้าระบบภายในสิ้นปี 2558

ตารางที่ 2 ข้อมูลการรับซื้อไฟฟ้าจากการผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา

กลุ่มประเภทอาคาร	กำลังการผลิตติดตั้ง	อัตรารับซื้อไฟฟ้า (FIT)
บ้านอยู่อาศัย	ไม่เกิน 10 kWp	6.85บาท/หน่วย
อาคารธุรกิจขนาดเล็ก	มากกว่า 10 kWp ถึง 250 kWp	6.40บาท/หน่วย
อาคารธุรกิจขนาดกลาง-ใหญ่/โรงงาน	มากกว่า 250 kWp ถึง1050 kWp	6.01บาท/หน่วย

1.3 มาตรฐานทางด้านแรงดันไฟฟ้า

มาตรฐานทางด้านแรงดันไฟฟ้าสำหรับการเชื่อมต่อแหล่งผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคแสดงได้ดังตารางที่ 3 สำหรับระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่พิจารณา มีระดับแรงดันอยู่ที่ 22 kV สำหรับระดับสายป้อนและระดับ 220 V สำหรับระดับแรงดันใช้งานในบ้านอยู่อาศัย

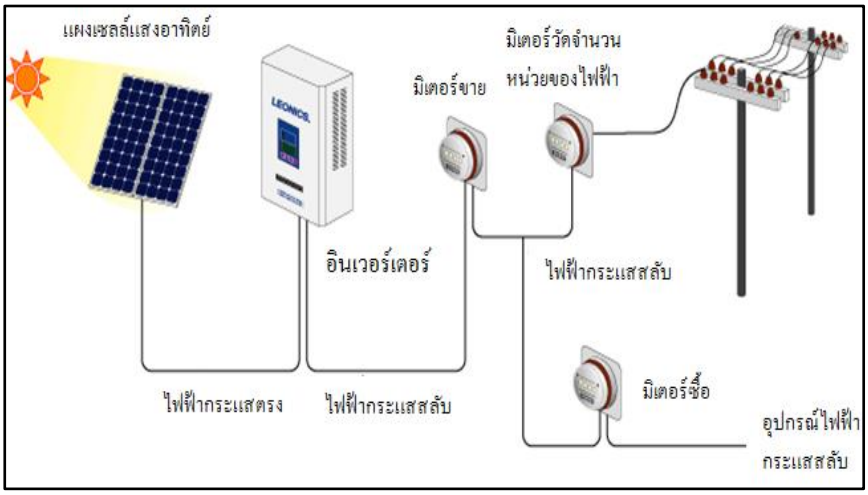
ตารางที่ 3 ตารางมาตรฐานระดับแรงดันสูงสุดและต่ำสุดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ระดับแรงดัน	ภาวะปกติ	
	ค่าสูงสุด	ค่าต่ำสุด
115 kV	120.7 kV	109.2 kV
33 kV	34.7 kV	31.3 kV
22 kV	23.1 kV	20.9 kV
380 V	418 V	342 V
220 V	240 V	200 V

ที่มา: ระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคว่าด้วยข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้า (2559)

1.4 การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid connected system)

ระบบผลิตไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับถูกออกแบบสำหรับผลิตไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์เปลี่ยนระบบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (Inverter) เข้าสู่ระบบสายจำหน่ายไฟฟ้าโดยตรงแสดงได้ดังภาพที่ 3ทั้งนี้ ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์จะขายให้กับการไฟฟ้าในอัตรารับซื้อไฟฟ้า (FIT) ผ่านมิเตอร์ขาย ขณะที่ไฟฟ้าที่ใช้ภายในบ้านอยู่อาศัย ผู้ใช้ไฟฟ้าจะเสียค่าๆไฟฟ้าเท่ากับอัตราค่าไฟฟ้าที่กำหนดไว้ในโครงสร้างค่าไฟฟ้า ผ่านมิเตอร์ซื้อโดยอัตรารับซื้อจะสูงกว่าอัตราค่าไฟฟ้า



ภาพที่ 3 การผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อกับระบบจำหน่าย (PV Grid connected system)

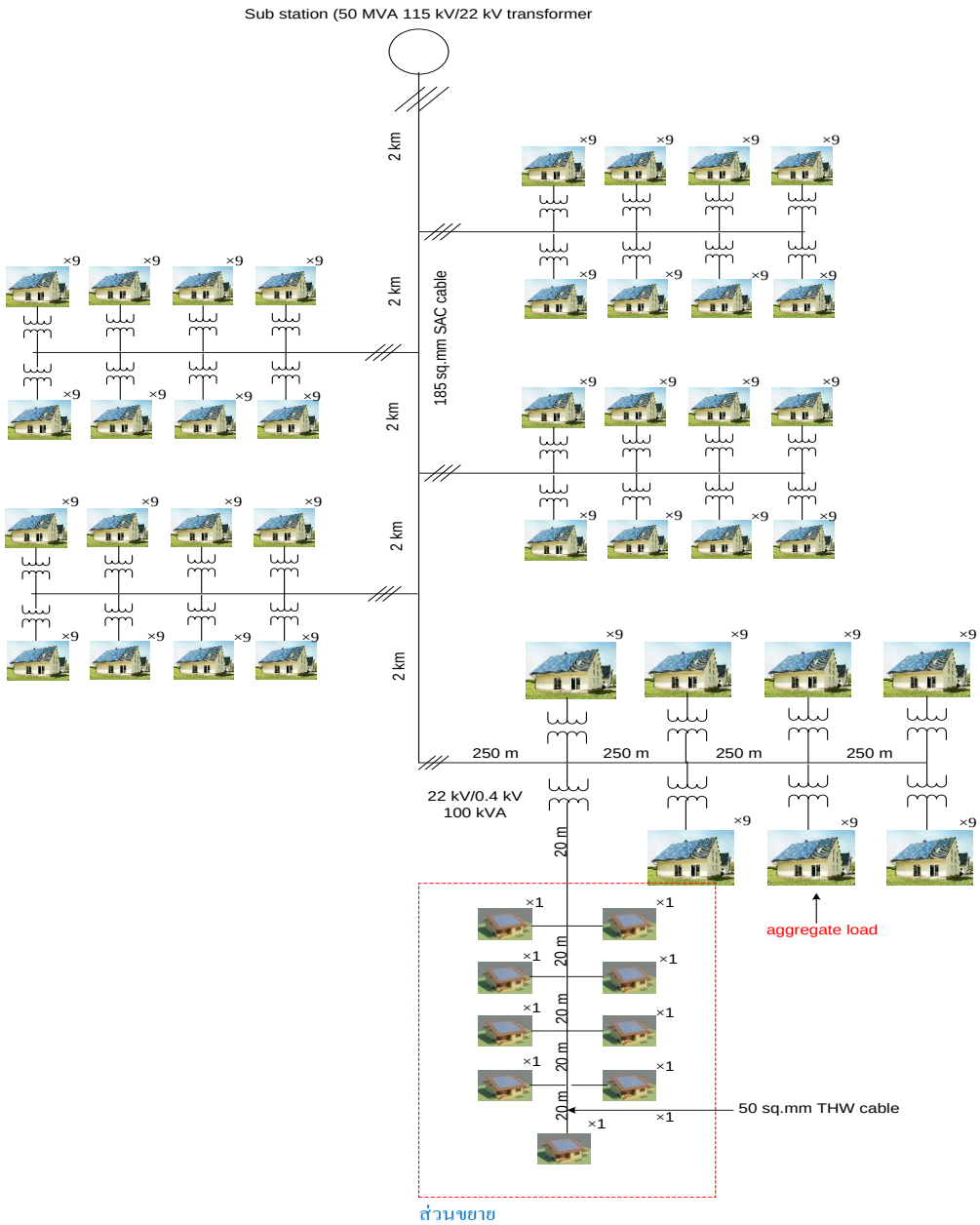
2. รูปแบบ Solar Rooftop สำหรับบ้านอยู่อาศัย

ภาพที่ 4 ลักษณะภาพรวมบ้านอยู่อาศัยพื้นที่ชานเมือง (Suburban area)

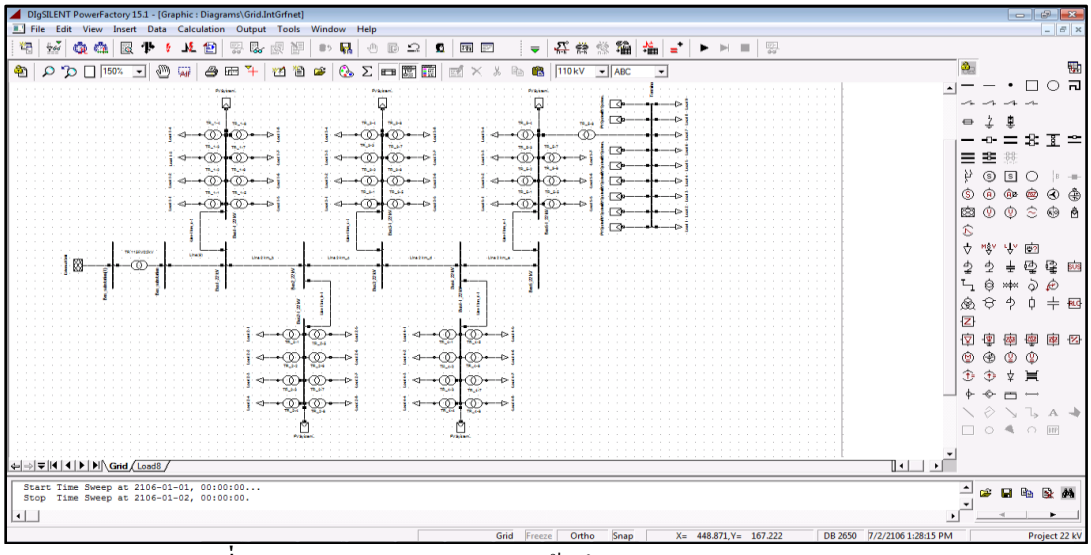
ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์มีแนวโน้มที่จะมีการติดตั้งในพื้นที่เมือง (Urban area) หรือ ในพื้นที่ชานเมือง (Suburban area) ซึ่งมีประชากรยังอยู่อาศัยหนาแน่นกว่าเขตชนบท (Rural area) ที่อยู่ไกลออกไปโดยโหลดส่วนใหญ่จะเป็นบ้านที่อยู่อาศัย ซึ่งโหลดในลักษณะนี้เวลากลางวันความต้องการโหลดจะต่ำเพราะ พื้นที่เมืองและพื้นที่เขตชานเมืองเป็นที่อยู่อาศัยของคนที่ทำงานแบบไปเช้าเย็นกลับเพราะฉะนั้นเมื่อมีระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา (Solar Rooftop) ในพื้นที่จำนวนมากๆจึงอาจจะส่งผลกระทบกับระบบจำหน่ายอย่างแน่นอน โดยเฉพาะค่าของแรงดันจะสูงขึ้นจนทำให้เกิดแรงดันเกินในระบบจำหน่ายซึ่งอาจจะส่งผลกระทบกับอุปกรณ์ภายในบ้านให้เสียหายได้ จากภาพที่ 4คือตัวอย่างบางส่วนของระบบจำหน่ายของเขตชานเมือง (Suburban area) เป็นระบบ 3 เฟส 22 kV โดยรับไฟฟ้าจากสายส่ง 115 kV ผ่านหม้อแปลง 25 MVA, 115kV/22kV จำนวน 1 ลูก เพื่อปรับลดระดับแรงดันจำหน่ายลงที่พิกัดแรงดัน 22 kV โดยใช้สายส่งชนิด Space Arial Cable (SAC) ขนาด 185 ตร.มม.(185 SAC) แล้วผ่านหม้อแปลง 100 kVA 22kV/400Vเพื่อจ่ายกับโหลดบ้านพักอาศัยซึ่งบ้านที่อยู่อาศัยจะใช้แรงดันไฟฟ้า 400/230 V 3 เฟส 4 สาย

3. แบบจำลองระบบไฟฟ้า

การสร้างแบบจำลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่ากำลังสูงสุดสำหรับระบบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา (Solar Rooftop) ต่อครัวเรือน โดยมีวัตถุประสงค์ คือ จะต้องไม่ส่งผลกระทบต่อแรงดันในระบบตามระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้กำหนด ดังตารางที่ 3 โดยผู้วิจัยได้ทำการศึกษา ลักษณะของโหลดรวมถึงความเข้มแสงอาทิตย์ตลอดทั้งวันและค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ซึ่งรูปแบบการจำลอง Solar Rooftop แสดงได้ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แบบการจำลอง Solar Rooftop ในพื้นที่ชานเมือง



ภาพที่ 6 แบบการจำลอง Solar Rooftop ด้วยโปรแกรม DigSilent Power Factory

การวิเคราะห์ผลกระทบทางด้านระบบไฟฟ้าของแบบจำลองในภาพที่ 5 แสดงได้ดังภาพที่ 6 โดยการจำลองระบบด้วยโปรแกรมทางวิศวกรรมไฟฟ้ามีค่าพารามิเตอร์ของแต่ละองค์ประกอบดังนี้

- หม้อแปลง:พารามิเตอร์ของหม้อแปลงตามมาตรฐาน IEC ตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 พารามิเตอร์ของหม้อแปลง

Parameters	Power transformer	Distribution transformer
Rating	50 MVA	100 kVA
Voltage level	115 kV/22 kV	22 kV/0.4 kV

- สายส่งจำหน่าย: โดยมีสายป้อนหลัก (Main Feeder Line) ขนาดสาย 185 sq.mm มีความยาว 10 กิโลเมตร และมีสายกิ่ง (Branch Line) ขนาดสาย 50 sq.mm ทั้ง 5 กลุ่ม แต่ละกลุ่มยาวทั้งหมด 1 กิโลเมตร สายส่งจะมีค่าพารามิเตอร์ดังแสดงในตารางที่ 5

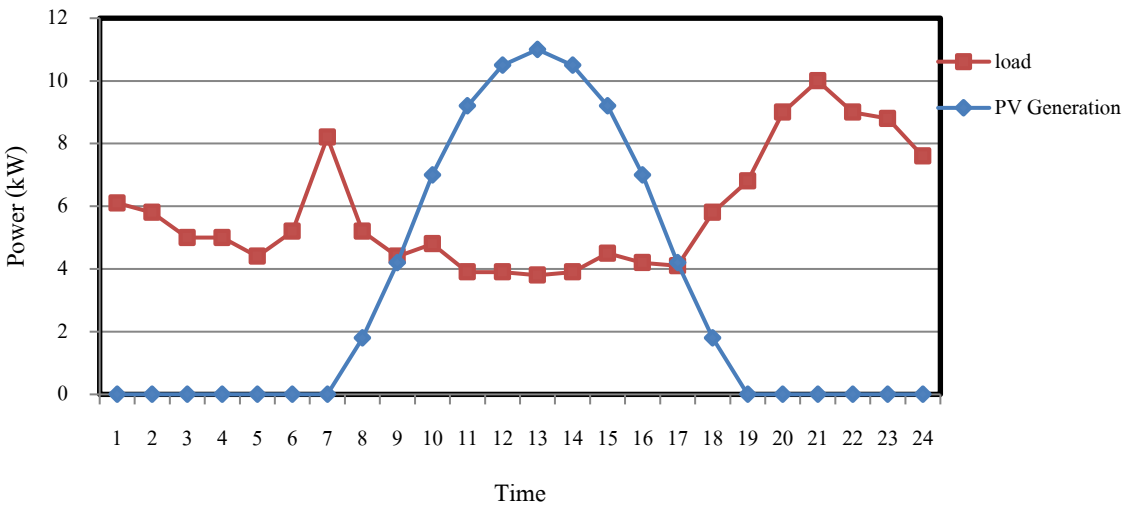
ตารางที่ 5 พารามิเตอร์ของสายป้อน

Parameters	Main Feeder Line	Branch Line
Cross-section	185 sq.mm	50 sq.mm
Type	SAC	SAC
R (□/km)	0.164	0.321
L (m.henry/km.)	0.697	0.827
C(μF/km.)	0.242	0.156

4. ลักษณะโหลดรายวันและกำลังผลิต Solar cell

โดยทั่วไปแล้วประเทศไทยจะมีลักษณะความต้องการกำลังไฟฟ้ารายวัน (Daily Load Curve) ของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทบ้านอยู่อาศัยจะมีลักษณะกราฟดังภาพที่ 7 ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดอยู่ในช่วงระหว่างเวลา 19.00 น.-24.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่คนส่วนใหญ่อยู่บ้านมากที่สุด และได้มีการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น เครื่องทำความเย็น โทรทัศน์ คอมพิวเตอร์ เครื่องใช้ในครัว และเครื่องแสงสว่างต่างๆ เป็นต้น หลังจากช่วงเวลา 24.00 น. ความต้องการกำลังไฟฟ้าจะค่อยๆลดลงเนื่องจากเป็นเวลานอนจนถึง 6.00 น. และจะเพิ่มอีกครั้งช่วงเวลา 6.00 น.-8.00 น.ซึ่งเป็นช่วงที่คนต้องเตรียมตัวออกไปทำงานในทางกลับกันความต้องการกำลังไฟฟ้าต่ำๆอยู่ในช่วงระหว่างเวลา 9.00 น.-18.00 น. เนื่องจากที่คนส่วนใหญ่ออกไปทำงานหรือเรียนหนังสือ

ลักษณะกำลังผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ใน 1 วัน จะมีลักษณะเปลี่ยนแปลงตามสภาพภูมิอากาศของประเทศนั้นและที่สำคัญสามารถผลิตไฟฟ้าได้เฉพาะในเวลากลางวัน โดยปกติ ตั้งแต่เวลา 07.00 น.-18.00 น. และผลิตไฟฟ้าได้สูงสุดในช่วงเวลา 11.00 น.-14.00 น. ดังแสดงในภาพที่ 7 เราพบว่า ช่วงเวลาความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดของบ้านอยู่อาศัยและช่วงเวลากำลังผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์สูงสุดในรอบ 1 วันไม่ตรงกัน ปัญหาดังกล่าวส่งผลกระทบต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้าทั้งในส่วนของแรงดันไฟฟ้าเกินในช่วงเวลากลางวัน และอาจจะนำไปสู่กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่มากขึ้นเนื่องจากกำลังไฟฟ้าสามารถไหลย้อนกลับไปยังระบบจำหน่ายผ่านสายป้อนของการไฟฟ้า



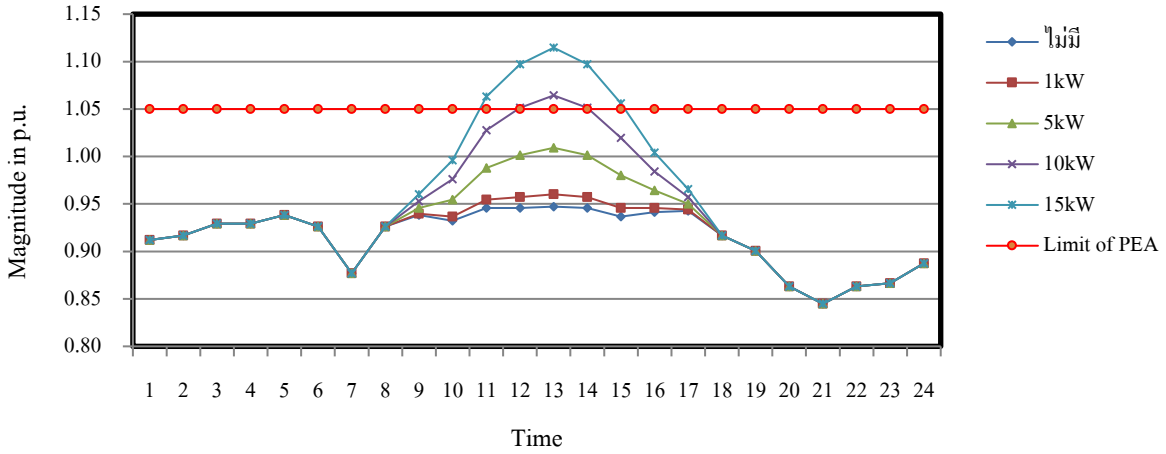
ภาพที่ 7 ลักษณะโหลดรายวันต่อครัวเรือนและกำลังผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

ผลการวิจัย

1. การศึกษาผลกระทบด้านคุณลักษณะแรงดันกับขนาดของกำลังผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา

1.1 กรณีไม่มีระบบจัดเก็บพลังงานไฟฟ้าด้วยแบตเตอรี่ (Battery Energy Storage System)

จากการศึกษาผลกระทบกับแรงดันในระบบจำหน่ายเมื่อนำพลังงานแสงอาทิตย์แบบบนหลังคาเชื่อมต่อเข้ามาในระบบ โดยกำหนดให้กำลังผลิตพลังงานแสงอาทิตย์เข้ามาเชื่อมต่อในระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (PEA) ทุกๆบ้านแล้วทดสอบระบบจำหน่ายที่มีกำลังผลิตพลังงานแสงอาทิตย์เข้ามาเชื่อมต่อ โดยเริ่มจาก 1 kWต่อหลังคาเรือน จากนั้นทำการเพิ่มเป็น 5 kW, 10 kWและ15kWตามลำดับหลังจากนั้นวิเคราะห์ผลตอบสนองของแรงดันที่เกิดขึ้นดังนี้

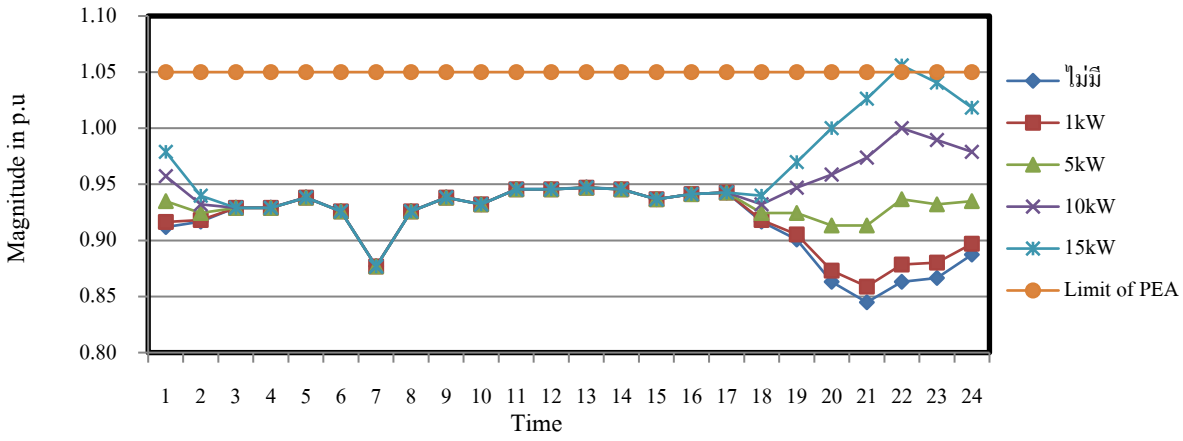


ภาพที่ 8 ลักษณะแรงดันในระบบจำหน่ายแรงดันต่ำ 400/230 V เมื่อตั้งติด PV

จากภาพที่ 8 เราจะเห็นได้ว่าเมื่อมีการติดตั้ง PV ทุกบ้านในระบบจำหน่าย จาก 1kW ต่อหลังแล้วค่อยๆเพิ่มจนถึง 15kW ต่อหลังในระบบจำหน่ายแรงดันต่ำ 400/230 V ที่มีการติดตั้ง PV ในปริมาณ 1 kW-10kW ต่อหลังคาเรือน ระบบจำหน่ายยังสามารถทำงานได้ปกติซึ่งไม่ทำให้เกิดแรงดันเกินที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนด อย่างไรก็ตาม หากมีการติดตั้ง PV ในปริมาณ 15 kW ต่อหลังคาเรือน ก็จะทำให้เกิดแรงดันเกินในระบบแรงดันต่ำ เราสามารถสรุปได้ว่าขนาดความสามารถของกำลังผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาที่จ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ระบบที่มากเกินความต้องการของโหลดรวมในระบบจะส่งผลให้แรงดันสูงขึ้นในระดับแรงดันต่ำ โดยขนาดความรุนแรงนั้นขึ้นอยู่กับขนาดของกำลังไฟฟ้าที่ระบบพลังงานแสงอาทิตย์จ่ายเข้าสู่ระบบ

1.2 กรณีมีระบบจัดเก็บพลังงานไฟฟ้าด้วยแบตเตอรี่ (Battery Energy Storage System)

จากผลกระทบกับแรงดันเกินในระบบจำหน่ายเมื่อนำพลังงานแสงอาทิตย์เข้ามาในระบบ เราสามารถแก้ปัญหาโดยการติดตั้งระบบจัดเก็บพลังงานไฟฟ้าด้วยแบตเตอรี่ (Battery Energy Storage System) ทุกๆหลังคาเรือนเพื่ออัดประจุ (Charge) ช่วงกลางวันหรือช่วงที่ต้องการโหลดน้อย แล้วนำพลังงานที่สะสมไว้มาใช้ในช่วงกลางคืน ซึ่งทำให้ช่วงเวลาความต้องการโหลดสูงสุดกับกำลังผลิตจากพลังงานแสงอาทิตย์อยู่ในช่วงเดียวกัน ผลการวิเคราะห์แสดงได้ จึงทำให้สามรถลดผลกระทบแรงดันเกินในระบบจำหน่ายได้ ดังภาพที่9สำหรับระบบ 400/230 V

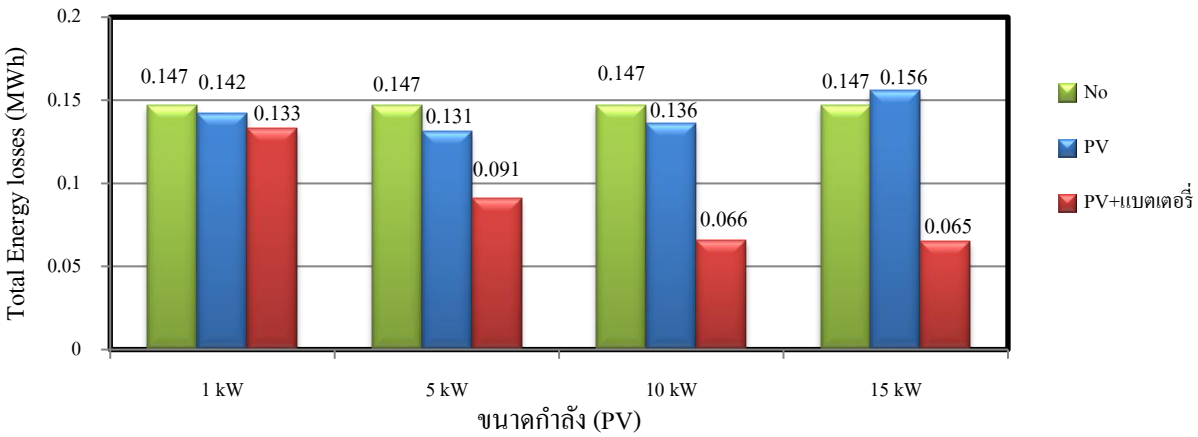


ภาพที่ 9 ลักษณะแรงดันในระบบจำหน่ายแรงดันต่ำ 400/230 V เมื่อตั้งติด PVและ แบตเตอรี่

2. การศึกษาผลกระทบด้านกำลังไฟฟ้าสูญเสียกับขนาดของกำลังผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา

หัวข้อนี้นำเสนอผลกระทบด้านกำลังไฟฟ้าสูญเสียอันเนื่องจากกาเชื่อมต่อแหล่งผลิตพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาผลการจำลองระบบไฟฟ้าแสดงได้ดังภาพที่ 10สำหรับระบบแรงดันต่ำ ข้อสังเกตจากภาพดังกล่าว คือ หากบ้านอาศัยแต่ละหลังมีกำลังผลิตไม่เกิน 10 kW พลังงานไฟฟ้าสูญเสียตลอด 24 ชั่วโมง รวมในระบบมีค่าต่ำลงเนื่องจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์สามารถตอบสนองความต้องการใช้ไฟฟ้าภายในแต่ละครัวเรือนทำให้ความต้องการใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้าลดลง อย่างไรก็ตามหากแต่ละครัวเรือนติดตั้งแหล่งผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เท่ากับ 15 kW จะทำให้พลังงานไฟฟ้าสูญเสียตลอด 24 ชั่วโมงมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากเกิดกำลังไฟฟ้าที่เหลือใช้จากแหล่งผลิตพลังงานแสงอาทิตย์ไหลย้อนกลับไปยังสถานีไฟฟ้าโดยเฉพาะตอนช่วงเวลากลางวัน ซึ่งก็เป็นสาเหตุทำให้แรงดันเกินนั่นเองตามที่ได้กล่าวมาแล้ว

จากปัญหาการติดตั้งกำลังผลิตของระบบเซลล์แสงอาทิตย์มากเกินความต้องการในตอนกลางวัน จะทำให้กำลังสูญเสียในระบบจะเพิ่มขึ้น เราจึงมีวิธีแก้ปัญหาดังกล่าวโดยการนำระบบจัดเก็บพลังงานไฟฟ้าด้วยแบตเตอรี่มาใช้ ผลการจำลองระบบไฟฟ้าแสดงได้ดังภาพที่ 10 เมื่อมีการติดตั้งกำลังผลิตของระบบเซลล์แสงอาทิตย์1 kW ต่อครัวเรือนจะสามารถลดกำลังสูญเสียในระบบได้ 6.33 % เมื่อเพิ่มระบบเซลล์แสงอาทิตย์เป็น 5 kW 10 kW และ 15 kW ทำให้เกิดกำลังสูญเสียลดลงได้ 30.53 % 51.47% และ 58.33% ตามลำดับ ดังนั้นหากแต่ละครัวเรือนมีการติดตั้งแบตเตอรี่เราพบว่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบนั้นลดลงเป็นอย่างมาก เนื่องจากการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์กับความต้องการใช้ไฟฟ้าภายในครัวเรือนนั้นสามารถบริหารจัดการให้อยู่ภายในช่วงเวลาเดียวกันได้นั่นเอง



ภาพที่ 10 เปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายแรงดันต่ำ 400/230 V ขณะไม่ติดตั้ง PV, ติดตั้ง PV, และ ติดตั้ง PV+แบตเตอรี่ ตามลำดับ

อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

การเชื่อมต่อแหล่งผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาขนานเข้าสู่ระบบจำหน่ายไฟฟ้านั้นส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันและกำลังสูญเสียโดยสามารถสรุปได้ดังนี้

1. การเปลี่ยนแปลงระดับแรงดันเนื่องจากแหล่งผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์พบว่าขนาดของระดับแรงดันที่เกิดขึ้นนั้นเกินจากมาตรฐานที่การไฟฟ้ากำหนด ที่ 0.95-1.05 p.u. (กฟภ., 2559) ทั้งนี้เนื่องมาจากขนาดของกำลังไฟฟ้าที่

ระบบพลังงานแสงอาทิตย์จ่ายเข้าสู่ระบบนั้น ส่งผลให้ระดับแรงดันของระบบสูงขึ้น โดยความรุนแรงนั้นขึ้นอยู่กับขนาดของกำลังไฟฟ้าที่ระบบพลังงานแสงอาทิตย์จ่ายเข้าสู่ระบบดังแสดงในภาพที่ 8

2. ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าได้ดีในตอนกลางวันซึ่งเป็นช่วงโหลดรวมมีค่าค่าต่ำในพื้นที่ชานเมืองจึงส่งผลกระทบต่อแรงดันดันเกินในเวลากลางวันแต่จะไม่ส่งผลทางด้านแรงดันเกินในช่วงเวลากลางคืน

3. ระบบไฟฟ้าที่มีแหล่งผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์มาต่อเชื่อมจะส่งผลต่อความสูญเสียโดยตรงซึ่งความสูญเสียนั้นจะเพิ่มขึ้นหรือลดลง ขึ้นอยู่กับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้า ซึ่งสามารถสรุปได้ 2 กรณี คือ ความสูญเสียเพิ่มขึ้นเนื่องจากกำลังไฟฟ้าที่ระบบพลังงานแสงอาทิตย์จ่ายกระแสย้อนกลับมาในสายอันเนื่องมาจากปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลย้อนมีค่าสูงกว่ากำลังไฟฟ้าที่ไหลในสภาวะก่อนติดตั้งระบบพลังงานแสงอาทิตย์และกรณีความสูญเสียลดลง เนื่องจากกำลังไฟฟ้าที่ระบบพลังงานแสงอาทิตย์ ช่วยจ่ายกระแสไฟฟ้าที่ไหลจากต้นทางมีขนาดน้อยลง ซึ่งกรณีนี้เกิดขึ้นได้เมื่อความต้องการพลังงานสูงกว่ากำลังผลิตจากพลังงานแสงอาทิตย์หรือได้นำระบบจัดเก็บพลังงานไฟฟ้าด้วยแบตเตอรี่ (Battery Energy Storage System) มาใช้แต่ละบ้าน

เอกสารอ้างอิง

เผด็จไชยมงคล. การจัดการพลังงานไฟฟ้าระบบจำหน่ายแบบสมาร์ทกริดอย่างมีประสิทธิภาพโดยใช้ BESS [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า]. กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์; 2556.

ธนนท์ แดงมณี. การศึกษาผลกระทบด้านคุณภาพไฟฟ้าของแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายตัวต่อระบบจำหน่ายไฟฟ้า [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า]. กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ; 2555.

Chin Ho Tie, Chin Kim Gan. Impact of Grid-Connected Residential PV Systems on the Malaysia Low Voltage Distribution Network.2013 IEEE 7th International Power Engineering and Optimization Conference; 2013 June 3-4; Langkawi, Malaysia.

Jimmy TrioPutra, Sarjiya. Impact ofHigh Penetration of Photovoltaic Generation on Voltage Fluctuation of Transmission and Distribution Systems.Proc. of 2015 2nd Int.conference on Information Technology; 2015 Oct 16-18; Indonesia.

Reinaldo Tonkoski, Dave Turcotte, and Tarek H. M. EL-Fouly.Impact of High PV Penetration on Voltage Profiles in Residential Neighborhoods. IEEE Transactions on Sustainable Energy;2012 July; p. 518-527.

Rung Punyacha, Weerakorn Ongsakul, and Uwe Schmidt.Impact of High Solar Rooftop PV Penetration on Voltage Profiles in Distribution Systems.International Conference and Utility Exhibition 2014 on Green Energy for Sustainable Development;2014 March 19-21; Pattaya City, Thailand.