



## การประเมินผลกระทบด้านระดับแรงดันในระบบจำหน่ายแรงดันต่ำที่มีการเชื่อมต่อระบบโฟโตโวลตาอิกจำนวนมาก

ปานุพล ไตรรัตน์, ปิยदनัย ภาชนะพรรณณ์ และสุรเชษฐ์ กานต์ประชา

### Voltage level assessment in low voltage distribution networks with high penetration of photovoltaic systems

Panupon Trairat, Piyadanai Pachanapan and Surachet Kanpachar

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 65000

Department of Electrical and Computer Engineering, Faculty of Engineering, Naresuan University 65000

\*Corresponding author. E-mail: Piyadanaip@email.nu.ac.th

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการพัฒนาขั้นตอนและวิธีการสำหรับประเมินแรงดันเกินจากการเชื่อมต่อนระบบโฟโตโวลตาอิกเข้ากับระบบจำหน่ายแรงดันต่ำเป็นจำนวนมาก เพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของระบบโฟโตโวลตาอิกที่จะเชื่อมต่อเข้ามาในระบบได้ โดยที่ระบบจำหน่ายที่ถูกเลือก รวมถึงลักษณะความต้องการไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากระบบโฟโตโวลตาอิก จะถูกนำมาสร้างเป็นแบบจำลองบนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เช่น DIGSILENT PowerFactory เป็นต้น เพื่อใช้วิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันที่ตำแหน่งต่างๆ ในระบบเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของขนาดระบบโฟโตโวลตาอิกในระบบ โดยจะทำการประเมินผลกระทบแรงดันเกินนี้ตามเงื่อนไขของมาตรฐาน EN50160 และอ้างอิงระดับแรงดันที่เปลี่ยนแปลงตามมาตรฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่ระบุไว้  $\pm 9\%$  ของแรงดันในสภาวะปกติ ผลการทดสอบที่ได้พบว่ากำลังผลิตติดตั้งสูงสุดของระบบโฟโตโวลตาอิกของบ้านแต่ละหลังที่ประเมินจากแบบจำลองอาจจะมีค่าสูงกว่าหรือต่ำกว่าขนาดพิกัดสูงสุดที่กำหนดโดยการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ซึ่งค่าที่ประเมินได้นี้จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะระบบทดสอบและลักษณะการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟในพื้นที่นั้นๆ ดังนั้น การประเมินโดยอาศัยแบบจำลองบนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ก็จะช่วยให้ทราบคำตอบที่แท้จริงว่า ในระบบทดสอบที่สนใจหนึ่งๆ นั้น จะสามารถกำหนดให้บ้านแต่ละหลังสามารถติดตั้งระบบโฟโตโวลตาอิกได้ที่ขนาดพิกัดสูงสุดเท่าไรจึงจะไม่สร้างปัญหาแรงดันเกินขึ้น

**คำสำคัญ:** ระบบโฟโตโวลตาอิก การประเมินแรงดันเกิน ระบบจำหน่ายแรงดันต่ำ การควบคุมแรงดันเกิน ปริมาณการเชื่อมต่อนระบบโฟโตโวลตาอิก

#### Abstract

In this research work, the method for voltage level assessment in low voltage distribution networks with high penetration of PV systems is implemented, with the aim to define the suitable PV penetration level that will not cause voltage quality issues in the network. The test system with demand and PV generation profiles will be modelled in DIGSILENT PowerFactory software to simulate the changes of voltage levels in the network in different PV penetration levels. Hence, the changes of voltage levels will be investigated under the international power quality standard such as EN50160 to identify the maximum penetration level of PV systems in each distribution network, without over-voltage issues. The results from computer simulations with the assessments under EN50160 found that the level of PV penetration level may be different, case by case, depending on the characteristics of test system and demand profiles in the network. This proposed voltage level assessment will help the distribution network



operator to identify what is the exact penetration level of PV connections in each single distribution network, which may be different from the value defined in the Grid Code.

**Keywords:** Photovoltaic system, over-voltage assessment, low-voltage distribution networks, over-voltage control, photovoltaic penetration level

## บทนำ

ระบบโฟโตโวลตาอิกเป็นระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ผ่านแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นที่นิยมอย่างกว้างขวางสำหรับติดตั้งเป็นระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายในประเทศไทย ซึ่งปัจจุบันระบบโฟโตโวลตาอิกที่มีขนาดเล็กและเชื่อมต่อกับระบบแรงดันต่ำจะมีปริมาณเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะการเชื่อมต่อเข้ามาจากภาคครัวเรือนและชุมชน เนื่องจากราคาแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีแนวโน้มถูกลง ซึ่งการเพิ่มขึ้นของระบบโฟโตโวลตาอิกนี้อาจสร้างปัญหาทางคุณภาพไฟฟ้าถ้ามีการเชื่อมต่อบริเวณโฟโตโวลตาอิกเป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะช่วงเวลาที่มีการจ่ายพลังงานไฟฟ้าจากระบบโฟโตโวลตาอิกเข้ามาในระบบมากกว่าความต้องการไฟฟ้าของภาระไฟฟ้าในแนวสายจ่ายย่อยเดียวกัน ส่งผลให้มีการไหลของกำลังไฟฟ้าย้อนกลับ จากเดิมที่ไหลจากแหล่งจ่ายจากการไฟฟ้าไปที่บ้านเรือนหรือชุมชน กลายเป็นไหลย้อนกลับไปที่แหล่งจ่ายจากการไฟฟ้าแทน ซึ่งในสภาวะนี้จะเกิดปัญหาแรงดันเกินตลอดตามแนวสายจ่ายย่อยนั้น ซึ่งถ้ามีการเชื่อมต่อบริเวณโฟโตโวลตาอิกเข้ามามากเกินไป ก็อาจทำให้แรงดันสูงเกินกว่าค่ามาตรฐานของการไฟฟ้าฯ ได้

งานวิจัยนี้จะพัฒนาเครื่องมือเพื่อทำการวิเคราะห์หาปริมาณการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของระบบโฟโตโวลตาอิกในระบบ รวมทั้งวิเคราะห์หาปริมาณระบบโฟโตโวลตาอิกสูงสุดที่สามารถเชื่อมต่อได้โดยไม่สร้างปัญหาแรงดันไฟฟ้าเกินในระบบนั้น ๆ ข้อมูลที่ได้จะเป็นประโยชน์ต่อการไฟฟ้าต่างๆ ในการวางแผนและควบคุมการจ่ายไฟในระบบไฟฟ้าเพื่อรองรับกับการเพิ่มขึ้นของระบบโฟโตโวลตาอิกในอนาคตอันใกล้ เช่น กำหนดปริมาณความสามารถในการเชื่อมต่อเข้ากับในระบบหนึ่ง ๆ เป็นต้น โดยที่แบบจำลองระบบไฟฟ้าจะถูกพัฒนาขึ้นมา โดยอิงกับข้อมูลระบบจำหน่ายแรงดันต่ำที่มีอยู่จริงให้มากที่สุด เพื่อให้สามารถศึกษาพฤติกรรมการไหลของกำลังไฟฟ้าและการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันในระบบนั้นได้อย่างถูกต้อง ซึ่งการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับลักษณะความต้องการไฟฟ้าของผู้ใช้ และกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากระบบโฟโตโวลตาอิกในระบบนั้นภายในระยะ 1 วัน ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าที่ได้ จะถูกนำวิเคราะห์หาช่วงเวลาภายใน 1 วัน ที่ระบบได้รับผลกระทบในด้านแรงดันเกินมากที่สุด รวมทั้งค่าขนาดความต้องการไฟฟ้า และขนาดกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากระบบโฟโตโวลตาอิกสูง ณ ช่วงเวลาวิกฤตินั้น จากนั้น เมื่อได้ระดับการเชื่อมต่อที่ก่อให้เกิดแรงดันเกินขึ้นในระบบ จะทำการตรวจสอบโดยการทำซ้ำเพื่อหาจำนวนครั้งที่เกิดแรงดันเกินขึ้นในระบบตามมาตรฐาน EN50160 ซึ่งกำหนดให้มีการตรวจวัดทุก ๆ 10 นาที เป็นระยะเวลาอย่างน้อย 1 สัปดาห์

## ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

นำเสนอหลักการวิเคราะห์แรงดันที่เปลี่ยนแปลงในระบบจำหน่ายแบบเรเดียล โดยเฉพาะกรณีที่มีการเชื่อมต่อบริเวณผลิตไฟฟ้าแบบกระจาย แนวทางการประเมินผลกระทบด้านแรงดันเกินเมื่อมีระบบโฟโตโวลตาอิกเชื่อมกับระบบจำหน่ายแรงดันต่ำเป็นจำนวนมาก

### การเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายที่มีการเชื่อมต่อกับระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจาย

ระบบจำหน่ายแรงดันต่ำแบบเรเดียล ที่มีการเชื่อมต่อบริเวณผลิตไฟฟ้าแบบกระจาย (Distributed Generation: DG) ซึ่งในสภาวะปกติทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้าจริง ( $P$ ) และกำลังไฟฟ้าจินตภาพ ( $Q$ ) จะไหลจากแหล่งจ่ายหลักที่บัส 1 ผ่านอิมพีแดนซ์ของสายส่ง (ความต้านทานและรีแอคแตนซ์;  $R$  และ  $X$ ) ไปยังบัส 2 แสดงดังรูปที่ 1 [1]



จากรูปที่ 1 สามารถหาขนาดของแรงดันตก ( $\Delta V$ ) จากแรงดันที่เปลี่ยนแปลงระหว่างบัส 1 และ บัส 2 ได้จาก

$$\Delta V = V_1 - V_2 = \frac{PR + QX}{V_1} + j \frac{XP + RQ}{V_1} \quad (1)$$

จากสมการที่ 1 เนื่องจากค่าความเหนี่ยวนำในสายส่งมีค่าน้อยมากทำให้มุมระหว่าง  $V_1$  และ  $V_2$  มีขนาดเล็กมาก จึงสามารถละทิ้งแรงดันที่เกิดขึ้นจากค่าเหนี่ยวนำของสายส่งได้ และเขียนสมการการเปลี่ยนแปลงแรงดันใหม่ได้เป็นสมการที่ 2

$$\Delta V = V_1 - V_2 = \frac{PR + QX}{V_1} \quad (2)$$

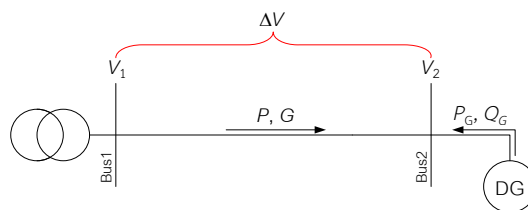
จากสมการที่ 2 และการวิเคราะห์ระบบโครงข่ายระบบไฟฟ้ากำลังโดยใช้ ต่อหน่วย (per unit) ดังนั้น ถ้าให้  $V_1$  มีค่าเท่ากับ 1 per unit สามารถเขียนสมการการเปลี่ยนแปลงแรงดันใหม่ได้เป็นสมการที่ 3

$$\Delta V = PR + QX \quad (3)$$

เมื่อมีการเชื่อมต่อบรรณผลิตไฟฟ้าแบบกระจายเข้าในระบบ รูปที่ 1 ด้วยการจ่ายกำลังไฟฟ้าจริง  $P_G$  และกำลังไฟฟ้าจินตภาพ  $Q_G$  ดังนั้นเขียนสมการการเปลี่ยนแปลงแรงดันใหม่ได้เป็นสมการที่ 4

$$\Delta V = (P - P_G)R + (Q - Q_G)X \quad (4)$$

ซึ่งจะพบว่ากำลังไฟฟ้าที่จ่ายเข้ามาจากระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจาย จะส่งผลให้เทอม  $(P - P_G)$  และ  $(Q - Q_G)$  ลดลง ทำให้  $\Delta V$  ลดลงตามด้วย ซึ่งแรงดันที่บัส 2 (จุดเชื่อมต่อกับระบบผลิตไฟฟ้า) จะมีขนาดสูงขึ้น ในสภาวะปกติระบบผลิตไฟฟ้าจะทำงานที่ค่าประกอบกำลังไฟฟ้าใกล้เคียง 1 ซึ่ง  $Q_G$  จะมีค่าประมาณ 0 ทำให้ระดับแรงดันที่เปลี่ยนแปลงจะขึ้นกับขนาดกำลังไฟฟ้าจริงที่จ่ายมาจากระบบผลิตไฟฟ้าแบบกระจายเป็นหลัก ซึ่งจะพบว่า  $V_2$  จะมีค่ามากกว่า  $V_1$  เกิดเป็นภาวะแรงดันเกินที่จุดต่อร่วม เมื่อ  $P_G$  มากกว่า  $P$  ซึ่งทำให้กำลังไฟฟ้าจะไหลย้อนเข้ามาที่สถานีไฟฟ้าย่อยหรือหม้อแปลงจำหน่ายไฟฟ้า



รูปที่ 1 ระบบจำหน่ายแรงดันต่ำที่มีการเชื่อมต่อบรรณผลิตไฟฟ้าแบบกระจายอยู่ในระบบ

แนวทางการประเมินผลกระทบต่อแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายแรงดันต่ำแบบเรเดียลที่มีการเชื่อมต่อกับระบบไฟโตโวลตาอิกเป็นจำนวนมาก

เนื่องจากความต้องการไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบไฟโตโวลตาอิกมีลักษณะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาภายใน 1 วัน ซึ่งจะส่งผลต่อลักษณะการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายที่มีการเชื่อมต่อกับระบบไฟโตโวลตาอิก โดยที่การเปลี่ยนแปลงจะขึ้นอยู่กับปริมาณและทิศทางของไหลของกำลังไฟฟ้าในช่วงเวลานั้น ๆ ซึ่งมีลักษณะแตกต่างกันตาม ฤดูกาล และ ประเภทของวันในสัปดาห์ ทำให้การประเมินระดับแรงดันที่เปลี่ยนแปลงจะต้องอยู่ในกรอบของช่วงเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อให้สามารถเห็นช่วงเวลาที่แรงดันในระบบมีระดับที่ผิดปกติ (สูงหรือต่ำเกินไป) จากงานวิจัยของ M. Thomson และ D. Infield [2] พบว่า ช่วงเวลาที่ระบบจะพบปัญหาแรงดันเกินคือ ช่วงเวลาที่ผู้ใช้ไฟ



ในระบบมีความต้องการไฟฟ้าต่ำ แต่กำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากระบบโฟโตโวลตาอิกมีการผลิตที่สูง โดยเฉพาะเวลากลางวันในวันธรรมดาที่บ้านเรือนส่วนใหญ่ไม่มีผู้อยู่เนื่องจากออกไปทำงานกัน ถ้าระบบไม่สามารถควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าจากระบบโฟโตโวลตาอิกได้ หรือ แทบของหม้อแปลงจำหน่ายไม่ได้ถูกตั้งไว้เพื่อรองรับแรงดันที่เปลี่ยนแปลง ก็จะทำให้กำลังไฟฟ้าไหลย้อนกลับมาที่แหล่งจ่ายของการไฟฟ้า ซึ่งอาจจะทำให้แรงดันในระบบจำหน่ายสูงเกินไปจนเกินค่ามาตรฐานได้

การหาค่าแรงดันไฟฟ้าในระบบที่ช่วงเวลาต่างๆ สามารถทำได้โดยวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในช่วงเวลานั้นๆ ถ้ามีข้อมูลของลักษณะปริมาณการใช้กำลังไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟในระบบ และ ลักษณะกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากระบบโฟโตโวลตาอิก ใน 1 วัน (24 ชั่วโมง) การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าจะถูกแบ่งเป็นช่วงเวลาต่างๆ แล้วนำค่าแรงดันที่คำนวณได้ทั้งหมด มารวบรวมต่อกันเป็นลักษณะแรงดันไฟฟ้าในช่วง 24 ชั่วโมงนั้น โดยความถูกต้องของค่าที่ได้จะขึ้นกับความถูกต้องของแบบจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ใช้ศึกษา ลักษณะความต้องการไฟฟ้าในช่วง 24 ชั่วโมงของแต่ละผู้ใช้ไฟ (บ้านแต่ละหลัง) และ ลักษณะการจ่ายกำลังไฟฟ้าในช่วงเวลาที่ระบบโฟโตโวลตาอิกทำงาน ซึ่งจะมีลักษณะแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ ประเภทวันในสัปดาห์และฤดูกาล

ได้มีการประยุกต์แนวทางการประเมินผลกระทบของการเชื่อมต่อนับระบบโฟโตโวลตาอิกกับกรณีศึกษาของระบบจำหน่ายในประเทศไทย โดย R. Punyachai และ W. Ongsakul [3] ได้ทำการประเมินระบบที่มีการต่อระบบโฟโตโวลตาอิกบนหลังคา ซึ่งใช้ข้อมูลลักษณะการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อบ้านหนึ่งหลังในพื้นที่ชนบทในจังหวัดเชียงใหม่ที่ได้มาจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และใช้ข้อมูลลักษณะความเข้มแสงที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยโปรแกรม PVWatts online โดยเลือกพิกัดทางภูมิศาสตร์ให้เหมาะสมกับพื้นที่ของระบบ กำหนดให้บ้านแต่ละหลังมีการติดตั้งระบบโฟโตโวลตาอิกบนหลังคา และมีข้อมูลลักษณะการใช้ไฟฟ้าและข้อมูลความเข้มแสงของบ้านทุกหลังเหมือนกัน ผลการจำลองพบว่ากำลังการผลิตติดตั้งสูงสุดของระบบโฟโตโวลตาอิกบนหลังคาต่อบ้านหนึ่งหลังไม่เกิน 20 kW (DC rating)

### ระบบทดสอบและขั้นตอนการประเมินผลกระทบแรงดันเกินในระบบจำหน่ายแรงดันต่ำที่เชื่อมต่อนับระบบโฟโตโวลตาอิกเป็นจำนวนมาก

การประเมินผลกระทบจะใช้วิธีจำลองจากระบบจำหน่ายแรงดันต่ำที่มีอยู่ในประเทศไทย โดยเน้นไปที่ผู้ใช้ไฟประเภทที่อยู่อาศัยชนิดบ้านเดี่ยวในบริเวณตัวเมือง เนื่องจากมีศักยภาพสูงที่จะสามารถติดตั้งระบบโฟโตโวลตาอิกบนหลังคาได้ ระบบทดสอบที่ถูกเลือกจะถูกนำมาสร้างแบบจำลองบนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์แรงดันที่เปลี่ยนแปลงในระบบเมื่อกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากระบบโฟโตโวลตาอิกมีขนาดที่แตกต่างกัน โดยที่ข้อมูลลักษณะความต้องการไฟฟ้าของระบบที่ทดสอบและลักษณะความเข้มแสงและอุณหภูมิ ได้จากการเก็บข้อมูลในระบบจริงทุก 10 นาที ระยะเวลาขั้นต่ำ 1 สัปดาห์ เพื่อให้การประเมินผลกระทบด้านคุณภาพไฟฟ้าเป็นไปตามมาตรฐาน EN50160 [4]

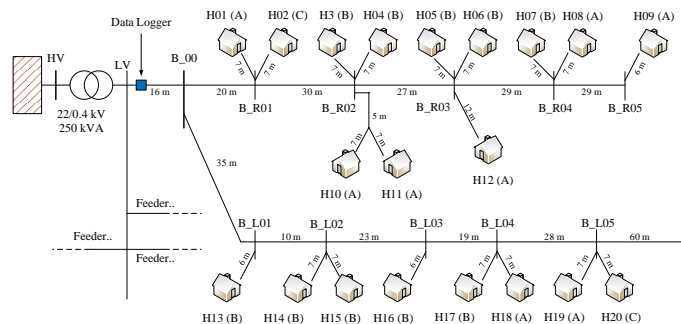
ภาพรวมของวิธีดำเนินงานวิจัย สามารถสรุปได้ดังนี้

1. เลือกพื้นที่ระบบจำหน่ายแรงต่ำเพื่อเป็นระบบที่ใช้ทดสอบ โดยเน้นเป็นระบบแรงดันต่ำ 3 เฟส 4 สาย แรงดัน 380/ 220 โวลต์ จำนวน 1 สายจ่ายย่อย และมีผู้ใช้ไฟเป็นชนิดบ้านที่อยู่อาศัยจำนวน 10 – 20 หลังคา กำหนดให้ทุกหลังมีการเชื่อมต่อนับระบบโฟโตโวลตาอิกบนหลังคาเข้ากับระบบจำหน่าย 1 เฟส
2. ทำการติดตั้งอุปกรณ์เครื่องมือวัดปริมาณไฟฟ้าแบบบันทึกค่าที่ต้นสายจ่ายย่อยทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลงของระบบที่เลือก เพื่อหาหลักความถี่ความต้องการไฟฟ้าของระบบ รวมทั้งมีการวัดค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิ เพื่อหาหลักกำลังไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้จากระบบโฟโตโวลตาอิก
3. พัฒนาแบบจำลองของระบบทดสอบ, ลักษณะความต้องการไฟฟ้า และข้อมูลกำลังผลิตไฟฟ้าจากระบบโฟโตโวลตาอิกบนโปรแกรม DIgSILENT PowerFactory
4. วิเคราะห์ผลกระทบด้านแรงดันเกินของแต่ละจุดต่อรวมในระบบทดสอบด้วยโปรแกรม DIgSILENT PowerFactory โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน EN50160 และข้อกำหนดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค



5. หาค่าระดับกำลังผลิตติดตั้งของระบบโฟโตโวลตาอิกที่สามารถเชื่อมต่อเข้ากับระบบทดสอบ โดยที่ไม่ทำให้เกิดปัญหาแรงดันเกินเกิดขึ้นในระบบ

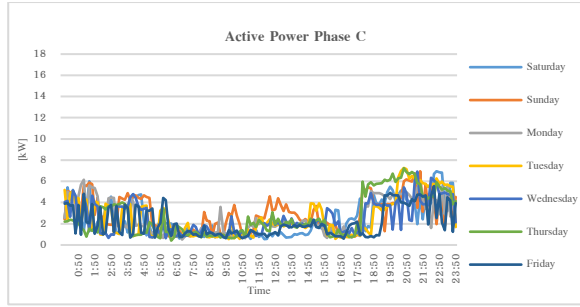
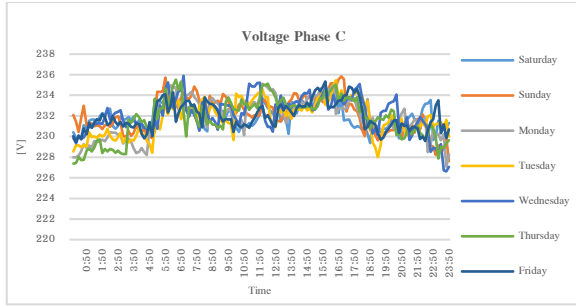
ระบบจำหน่ายแรงดันต่ำที่ถูกเลือกมาเป็นระบบทดสอบคือหมู่บ้านหรรษนันท์ 7 ต.บ้านคลอง อ.เมือง จ.พิษณุโลก (พิกัดทางภูมิศาสตร์ 16°48'57"N 100°15'49"E) มีลักษณะเป็นพื้นที่ของที่อยู่อาศัยในเขตชุมชนเมืองจำนวนหลายสิบหลังคาเรือน ซึ่งทั้งหมดเชื่อมต่อกับหม้อแปลงไฟฟ้า 250 kVA ชนิด 3 เฟส 4 สาย โดยทำการเลือกระบบมาจำนวน 1 สายจ่ายย่อย จากทั้งหมด 4 สายจ่ายย่อยที่เชื่อมต่อกับหม้อแปลงจำหน่ายตัวเดียวกันมาใช้เป็นระบบทดสอบ ซึ่งสายจ่ายย่อยที่ถูกเลือกจะมีลักษณะแยกออกเป็นสองกิ่งดังแสดงในรูปที่ 2 และในสายจ่ายย่อยนี้จะประกอบด้วยผู้ใช้ไฟประเภทที่อยู่อาศัยแบบบ้านเดี่ยวจำนวน 20 ราย โดยมีผู้ใช้ไฟที่มีการเชื่อมต่อเข้ากับเฟส a, b และ c เป็นจำนวน 8, 10 และ 2 ราย ตามลำดับ โดยขณะที่สำรวจบ้านแต่ละหลังยังไม่มีการติดตั้งระบบโฟโตโวลตาอิกเชื่อมต่อเข้ากับระบบจำหน่ายที่ถูกเลือกนี้ และเพื่อให้ทราบลักษณะความต้องการไฟฟ้าในระบบที่ถูกเลือก จึงมีการติดตั้งเครื่องมือวัดปริมาณไฟฟ้าแบบดิจิทัล เพื่อวัดและบันทึกปริมาณไฟฟ้า ในแต่ละเฟสของระบบทดสอบ ได้แก่ กำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้าจินตภาพ แรงดันและกระแสไฟฟ้า



รูปที่ 2 ระบบจำหน่ายแรงดันต่ำที่เชื่อมต่อกับหมู่บ้านหรรษนันท์ 7

ข้อมูลปริมาณไฟฟ้าที่บันทึกได้ใช้เวลาในการบันทึกอย่างน้อยหนึ่งสัปดาห์ บันทึกข้อมูลเป็นแบบรายวันโดยข้อมูลบันทึกทุก ๆ 10 นาที ทั้งสามเฟสของสายจ่ายย่อย การบันทึกข้อมูลระยะเวลาหนึ่งสัปดาห์ตั้งแต่วันที่ 11 - 17 มิถุนายน พ.ศ. 2559 รูปที่ 3 แสดงข้อมูลแรงดันและกำลังไฟฟ้าของหมู่บ้านหรรษนันท์ 7 ใน 1 สัปดาห์





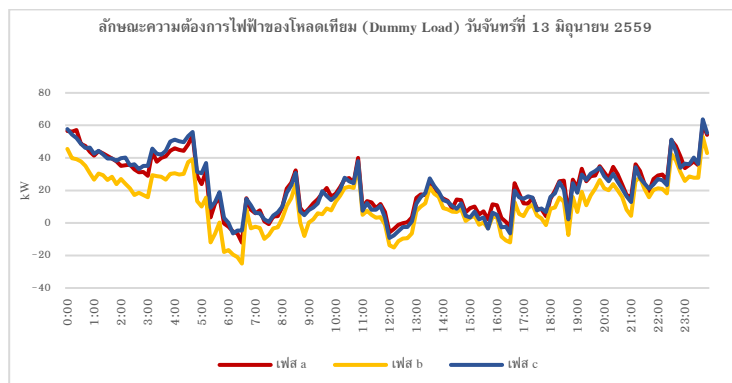
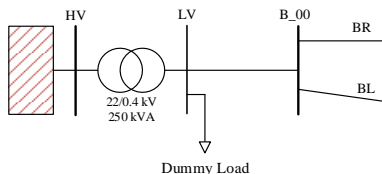
รูปที่ 3 แรงดันไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าแต่ละเฟสใน 1 สัปดาห์ ที่บันทึกได้ของหมู่บ้านหรรษนันท์ 7

เมื่อทำการเก็บข้อมูลต่างๆ ด้วยวิธีเดินสำรวจ พบว่า ระบบทดสอบมีระยะของสายส่งในระบบรวมทั้งสิ้น 326 เมตร โดยที่ระยะห่างระหว่างบ้านและระยะทางที่บ้านแต่ละหลังถึงสายไฟเข้ามา แสดงไว้ในรูปที่ 2 ซึ่งระบบจำหน่ายแรงดันต่ำที่ถูกเลือกนี้มีพารามิเตอร์ของสายเมน และสายต่อเข้าบ้าน เป็นต้นี้ สายเมนขนาด 50 mm<sup>2</sup> ชนิด THW ติดตั้งบนอากาศ มีค่าความต้านทาน 0.4723 ohm/km ค่าความเหนี่ยวนำ 0.8168 mH/km และค่าความจุไฟฟ้า 0.0134 μF/km ส่วนสายต่อเข้าบ้านขนาด 25 mm<sup>2</sup> ชนิด THW ติดตั้งบนอากาศ มีค่าความต้านทาน 0.8698 ohm/km ค่าความเหนี่ยวนำ 0.8906 mH/km และค่าความจุไฟฟ้า 0.0124 μF/km

### การสร้างแบบจำลองระบบทดสอบบนโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ระบบจำหน่ายแรงดันต่ำที่ถูกเลือกเป็นระบบทดสอบจะถูกจำลองลงบนโปรแกรม DIgSILENT PowerFactory โดยซึ่งระบบทดสอบที่ถูกสร้างในโปรแกรมจะต้องกำหนดค่าพารามิเตอร์ของหม้อแปลงจำหน่าย, สายเมนและสายต่อเข้าบ้าน นอกจากนี้ตำแหน่งบัสและบ้านในระบบ รวมทั้งความยาวสายระหว่างบ้านและที่ต่อเข้าบ้านแต่ละหลัง

จากการที่ระบบทดสอบที่เป็นเพียงแค่อายจ่ายย่อยเส้นเดียว จากทั้งหมด 4 เส้นที่เชื่อมต่อกับหม้อแปลงจำหน่ายลูกเดียวกัน ทำให้ลักษณะแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสที่วัดได้ที่ฝั่งแรงดันต่ำของหม้อแปลงจำหน่ายนั้น เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของโหลดทั้งหมดที่เชื่อมต่อเข้ากับทั้ง 4 สายจ่ายย่อย ไม่ใช่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของโหลดในระบบทดสอบอย่างเดียวนั้น ดังนั้นเพื่อให้แรงดันที่ออกจากสถานีไฟฟ้าย่อยในแบบจำลองบนโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีความใกล้เคียงกับค่าที่วัดได้จากการเก็บข้อมูล จึงได้ทำการติดตั้งโหลดเทียม (Dummy load) ที่ด้านแรงดันต่ำของหม้อแปลงจำหน่าย เพื่อแทนการเปลี่ยนแปลงความต้องการไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟทั้งหมดที่เชื่อมต่อกับสายจ่ายย่อยอีก 3 เส้นที่นอกเหนือจากสายจ่ายย่อยที่พิจารณาเป็นระบบทดสอบ ซึ่งตำแหน่งและลักษณะความต้องการไฟฟ้า 3 เฟสของโหลดเทียมที่ติดตั้งเพิ่มนี้ แสดงในรูปที่ 4 (กรณีศึกษา วันจันทร์ที่ 13 มิถุนายน พ.ศ. 2559)

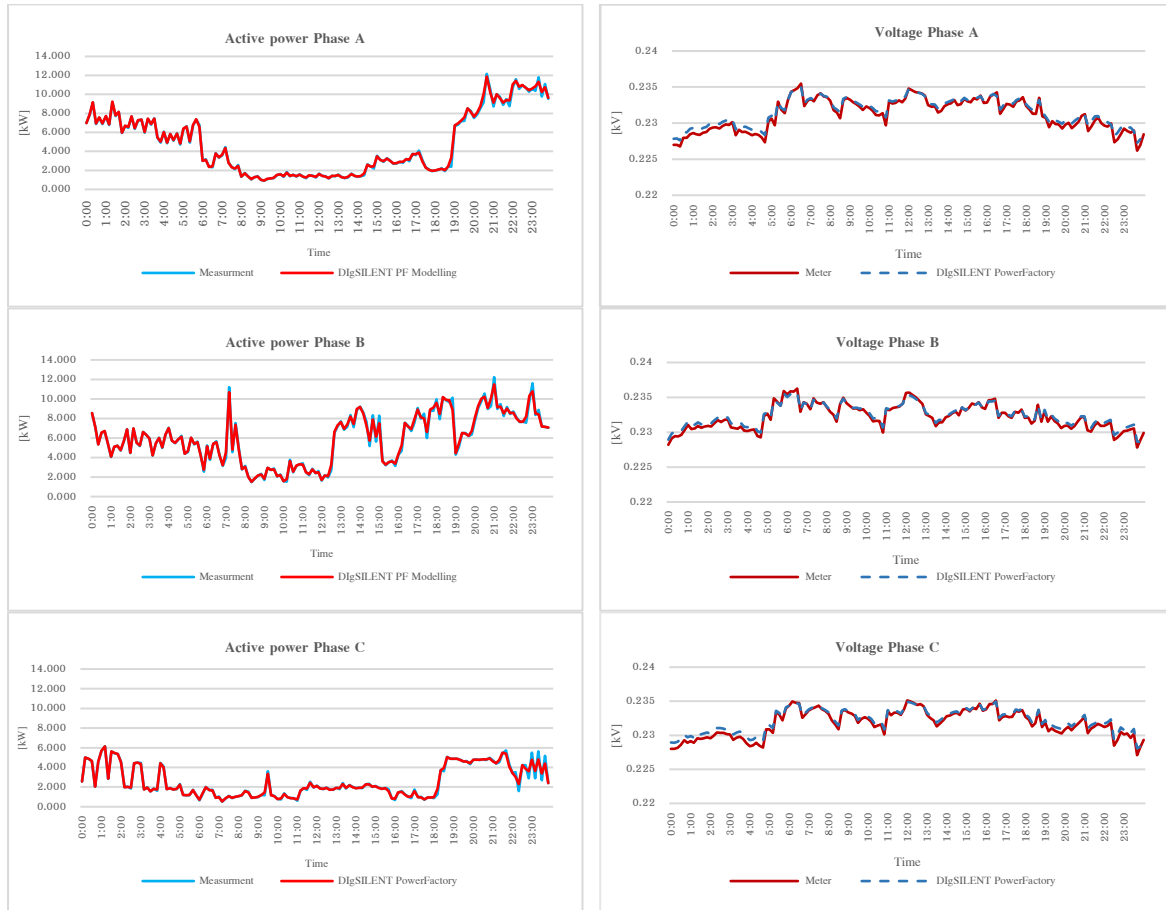


รูปที่ 4 ตัวอย่างลักษณะความต้องการไฟฟ้า 3 เฟสของโหลดเทียม (Dummy load)

เนื่องจากข้อมูลลักษณะความต้องการไฟฟ้าทั้ง 3 เฟสของแต่ละวันที่วัดได้จากเครื่องมือวัดปริมาณไฟฟ้าเป็นข้อมูลของทั้งสายจ่ายย่อย ไม่ใช่จากของบ้านแต่ละหลัง จึงกำหนดให้ผู้ใช้ไฟแต่ละรายที่เชื่อมต่อกับเฟสเดียวกันนั้นมี



ลักษณะความต้องการไฟฟ้าเหมือนกัน โดยลักษณะความต้องการไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟแต่ละรายจะหาได้จากการนำข้อมูลลักษณะกำลังไฟฟ้าจริงที่วัดได้ในแต่ละวันมาหารด้วยจำนวนผู้ใช้ไฟทั้งหมดที่เชื่อมต่อกับเฟสนั้น ๆ และเมื่อแทนลักษณะความต้องการไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟแต่ละรายในแบบจำลองบนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ แล้วทำการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบ พบว่า ลักษณะความต้องการไฟฟ้าที่คำนวณได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับที่วัดได้จากเครื่องมือวัดปริมาณไฟฟ้ามีความใกล้เคียงกันมาก โดยรูปที่ 5 เปรียบเทียบลักษณะความต้องการไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าทั้ง 3 เฟส ที่ได้จากแบบจำลองและที่ได้จากการวัดจริงของวันจันทร์ที่ 13 มิถุนายน พ.ศ. 2559



รูปที่ 5 ตัวอย่างลักษณะความต้องการไฟฟ้าและแรงดันในระบบ 3 เฟส เปรียบเทียบระหว่างค่าที่วัดจริงกับที่ได้จากแบบจำลองบนโปรแกรมคอมพิวเตอร์

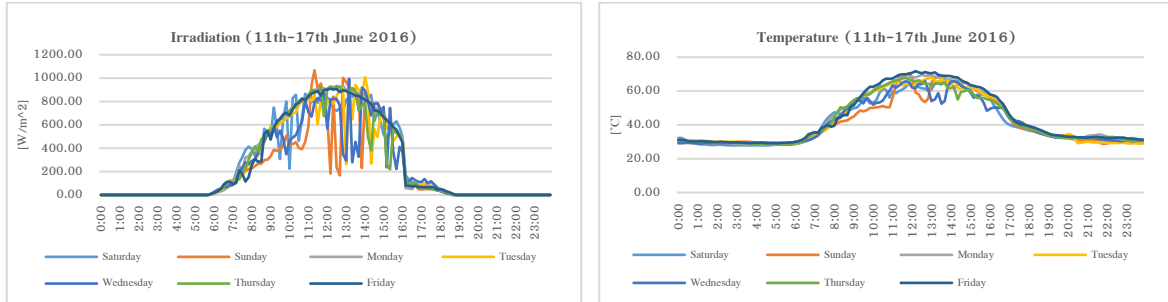
### ข้อมูลลักษณะกำลังไฟฟ้าที่ผลิตไฟฟ้าจากระบบโฟโตโวลตาอิก

กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบโฟโตโวลตาอิกจะเกิดขึ้นเฉพาะในช่วงเวลาที่มีแสงอาทิตย์โดยขึ้นอยู่กับค่าความเข้มแสงและผลจากอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ตามช่วงเวลาต่าง ๆ ของวัน เมื่อทราบข้อมูลทั้งสองส่วนนี้สามารถแปลงให้เป็นข้อมูลกำลังไฟฟ้ากระแสสลับที่จ่ายออกมาจากระบบโฟโตโวลตาอิก โดยจะต้องรวมผลของค่าสูญเสียทางไฟฟ้าต่าง ๆ ทั้งที่บริเวณแผงเซลล์แสงอาทิตย์และที่อินเวอร์เตอร์ ซึ่งประสิทธิภาพของระบบโฟโตโวลตาอิกในปัจจุบันจะอยู่ที่ประมาณ 82.5 % [5]

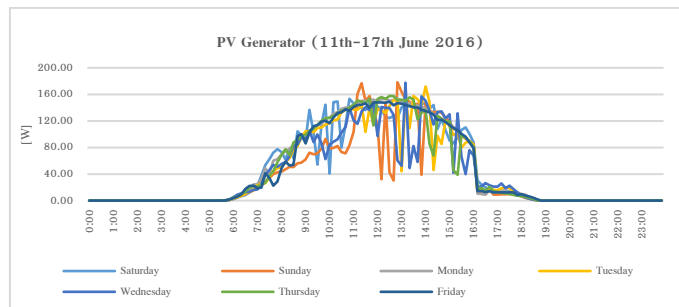
ในงานวิจัยนี้จะใช้ข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์และข้อมูลอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์จากการบันทึกและเก็บข้อมูลทุกๆ 10 นาที ที่บริเวณวิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยนเรศวร จ. พิษณุโลก ซึ่งอยู่ห่างจากบริเวณที่เป็นระบบทดสอบ ประมาณ 10 กิโลเมตร รูปที่ 6 แสดงข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์และข้อมูลอุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้จากการจัดเก็บในช่วงวันที่ 11-17 มิถุนายน พ.ศ. 2559



จากนั้นทำการแปลงข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์และข้อมูลอุณหภูมิของเซลล์แผงอาทิตย์ให้เป็นข้อมูลกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากระบบโฟโตโวลตาอิก โดยใช้ข้อมูลคุณลักษณะของแผงเซลล์อาทิตย์ของบริษัท MITSUBISHI ELECTRIC ขนาด 250 วัตต์ รุ่น PV-MLU250HC [6] และเมื่อคิดค่าความสูญเสียในระบบทั้งหมด (รวมผลของความสูญเสียที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์และอินเวอร์เตอร์) จะได้ข้อมูลกำลังไฟฟ้ากระแสสลับที่ออกจากระบบโฟโตโวล-ตาอิกขนาด 250 วัตต์ ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 6 ลักษณะความเข้มแสงอาทิตย์ลักษณะอุณหภูมิมิรายภาคและในรอบ 1 สัปดาห์ที่ได้จากวิทยาลัยพลังงานทดแทน



รูปที่ 7 ลักษณะกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบโฟโตโวลตาอิกขนาด 250 วัตต์

### ขั้นตอนการประเมินผลกระทบแรงดันเกินเมื่อมีการเชื่อมต่อบนระบบโฟโตโวลตาอิกเป็นจำนวนมาก

การประเมินผลกระทบด้านแรงดันเกินจะใช้การซิมูเลชันโดยอาศัยแบบจำลองระบบทดสอบบนโปรแกรม DIgSILENT PowerFactory โดยกำหนดให้บ้านแต่ละหลังติดตั้งระบบโฟโตโวลตาอิกขนาดเท่ากัน เพื่อวิเคราะห์หาพิกัดกำลังไฟฟ้าติดตั้งสูงสุดที่บ้านแต่ละหลังสามารถติดตั้งได้โดยไม่ส่งผลให้เกิดสภาวะแรงดันเกินมาตรฐาน ซึ่งในส่วนลักษณะกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากระบบโฟโตโวลตาอิกของผู้ใช้ไฟแต่ละรายจะมีลักษณะเหมือนกัน และขนาดของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จะขึ้นกับขนาดกำลังไฟฟ้าติดตั้งของระบบโฟโตโวลตาอิก

สามารถทำการวิเคราะห์ลักษณะแรงดันไฟฟ้าในระบบที่เปลี่ยนแปลงเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดกำลังไฟฟ้าติดตั้งของระบบโฟโตโวลตาอิกของบ้านทั้งหมดในระบบทดสอบ ด้วยการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าบนแบบจำลองระบบทดสอบ จากลักษณะแรงดันไฟฟ้าที่ได้ จึงทำการวิเคราะห์ระดับแรงดันไฟฟ้าทั้ง 3 เฟสที่จุดต่อร่วมต่างๆ ในระบบทดสอบ ว่าเป็นไปตามข้อกำหนดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคหรือไม่ โดยจะทำการประเมินระดับแรงดันเปลี่ยนแปลงเป็นเวลา 7 วัน ตามมาตรฐาน EN50160 ถ้าขนาดกำลังไฟฟ้าติดตั้งของระบบโฟโตโวลตาอิกที่กำหนดไม่ทำให้ระดับแรงดันที่แต่ละจุดต่อร่วมเกิดปัญหาแรงดันเกินตามมาตรฐาน EN50160 ก็จะทำให้การเพิ่มขนาดกำลังไฟฟ้าติดตั้งของระบบโฟโตโวลตาอิกขึ้นอีกครั้งละ 250 วัตต์ต่อบ้านหนึ่งหลัง (ซึ่งเป็นขนาดทั่วไปของแผงเซลล์แสงอาทิตย์) แล้วทำซ้ำขั้นตอนที่ได้กล่าวมาข้างต้น จนได้ขนาดกำลังไฟฟ้าติดตั้งของระบบโฟโตโวลตาอิกสูงสุดที่บ้านแต่ละหลังในระบบทดสอบที่ส่งผลให้เกิดแรงดันเกินขึ้นตามข้อกำหนดของการไฟฟ้าภูมิภาค (ไม่เกิน 240 โวลต์) [7] และมาตรฐาน EN50160 ที่บังคับบัสหนึ่งในระบบ

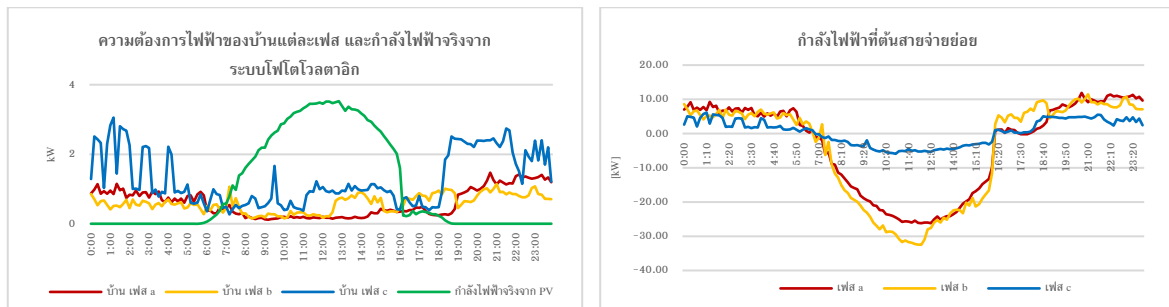




เมื่อได้ระดับการเชื่อมต่อระบบโฟโตโวลตาอิกที่ก่อให้เกิดแรงดันเกินขึ้นในระบบ จะทำการตรวจสอบโดยการทำซ้ำเพื่อหาจำนวนครั้งที่เกิดแรงดันเกินขึ้นที่แต่ละจุดต่อร่วมในระบบตามมาตรฐาน EN50160 ซึ่งกำหนดให้มีการตรวจวัดทุก ๆ 10 นาที เป็นระยะเวลาไม่น้อยกว่า 1 สัปดาห์ และในสภาวะปกติจำนวนครั้งของการเกิดแรงดันเกินของแต่ละเฟสต้องไม่เกินกว่า 5 % ของจำนวนค่าที่ได้จากการตรวจวัดทั้งหมด ซึ่งที่ความละเอียดของข้อมูลทุก 10 นาที ในหนึ่งสัปดาห์จะมีทั้งหมด 1008 ค่า ดังนั้นในหนึ่งสัปดาห์ หากพบว่ามิจุดต่อร่วมใดเกิดระดับแรงดันเกินมากกว่า 50 ครั้ง จะถือว่าระบบที่ ถูกทดสอบนั้น เกิดปัญหาสภาวะแรงดันเกิน เนื่องจากการเชื่อมต่อของระบบโฟโตโวลตาอิกมีระดับที่มากเกินไป ทำให้สามารถระบุได้ว่าระบบทดสอบนั้นควรมีระดับการเชื่อมต่อของระบบโฟโตโวลตาอิกที่ระดับเท่าใดโดยไม่ทำให้เกิดสภาวะแรงดันเกินขึ้นในระบบตามมาตรฐานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

**ผลการประเมินแรงดันเกินในระบบทดสอบเมื่อมีการเชื่อมต่อระบบโฟโตโวลตาอิกเป็นจำนวนมาก**

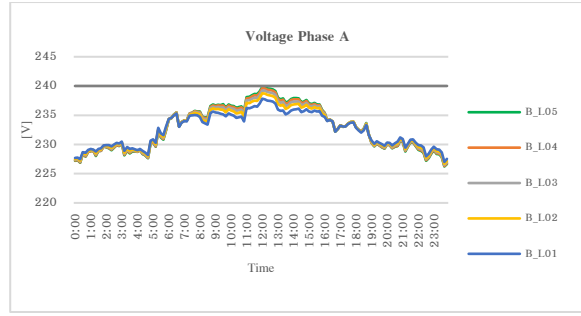
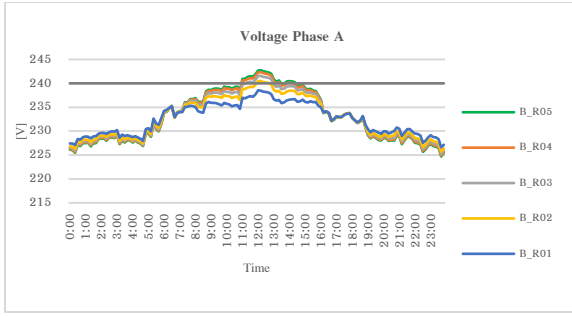
จากขั้นตอนการประเมินเพื่อหาปริมาณกำลังผลิตติดตั้งของระบบโฟโตโวลตาอิกสูงสุดที่สามารถเชื่อมต่อในระบบได้โดยไม่ส่งผลให้เกิดปัญหาแรงดันเกินที่อธิบายข้างต้น แบบจำลองระบบทดสอบบนโปรแกรม DIgSILENT PowerFactory จะถูกนำมาวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า เพื่อประเมินลักษณะแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสที่บัสต่างๆ ในระบบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขนาดกำลังผลิตติดตั้งของระบบโฟโตโวลตาอิกของแต่ละผู้ใช้ไฟ จากการประเมินผลกระทบแรงดันเกิน พบว่าขนาดกำลังผลิตติดตั้งของระบบโฟโตโวลตาอิกขนาด 5 kW ซึ่งเป็นขนาดพิกัดสูงสุดที่ยอมให้บ้าน 1 เฟสสูงสุดเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าได้ตามข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้า พ.ศ. 2559 ยังไม่สร้างปัญหาแรงดันเกินเมื่อพิจารณาตามมาตรฐาน EN50160 จึงทำการเพิ่มขนาดกำลังผลิตติดตั้งของระบบโฟโตโวลตาอิกขึ้นทีละ 250 W ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของลักษณะแรงดันไฟฟ้า 3 เฟส ที่บัส B\_R05 จากการทดสอบพบว่าที่ขนาดระบบโฟโตโวลตาอิกที่พิกัดกำลังติดตั้งเท่ากับ 5.75 kW จะสร้างปัญหาแรงดันเกินที่บัส B\_R05 เป็นไปตามเงื่อนไขของมาตรฐาน EN50160 โดยมีลักษณะการผลิตกำลังไฟฟ้าจากระบบโฟโตโวลตาอิกของบ้านแต่ละหลัง และการไหลของกำลังไฟฟ้าย้อนกลับมาที่หม้อแปลงจำหน่ายไฟฟ้า (ตำแหน่งเครื่องมือวัดปริมาณไฟฟ้าที่หลังหม้อแปลง) แสดงดังรูปที่ 8



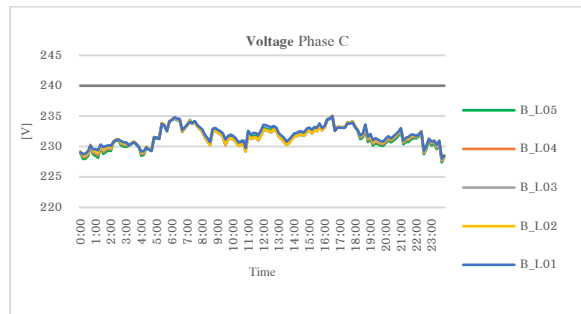
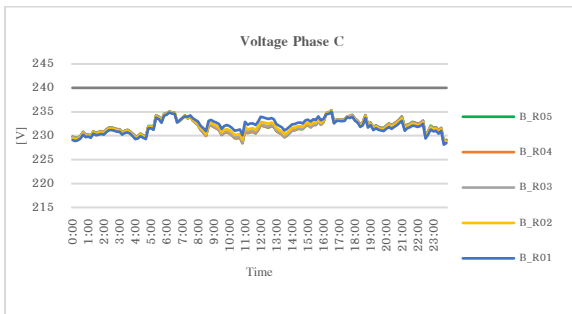
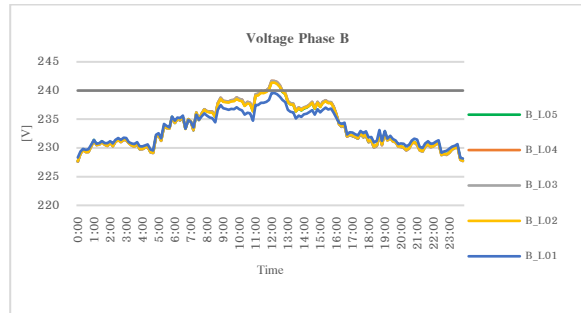
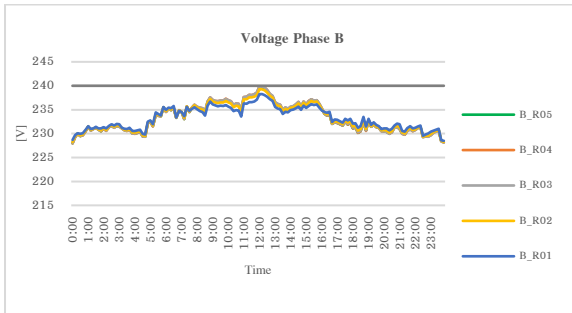
รูปที่ 8 ลักษณะความต้องการไฟฟ้าของบ้านแต่ละเฟสและกำลังผลิตจากระบบโฟโตโวลตาอิกขนาดพิกัด 5.75 kW

รวมทั้งกำลังไฟฟ้า 3 เฟสที่ไหลในสายจ่ายย่อย

เมื่อทำการวิเคราะห์ลักษณะแรงดันไฟฟ้า 3 เฟสของทั้ง 10 บัสในระบบ (เฉพาะวันจันทร์ที่ 11 มิถุนายน 2559) ดังแสดงในรูปที่ 9 พบว่า ในช่วงเวลาประมาณ 11.00 น. ถึง 13.20 จะเกิดแรงดันเกินที่เฟส a ที่บัส B\_R03 ถึง B\_R05 แรงดันเกินที่เฟส b ที่บัส B\_L02 ถึง B\_L05 ซึ่งจะทำให้มีจำนวนผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบในด้านแรงดันเกินนี้จำนวน 7 ราย (คิดเป็น 35 % ของผู้ใช้ไฟทั้งหมดในระบบทดสอบนี้) แบ่งเป็น ผู้ใช้ไฟที่เชื่อมต่อกับเฟส a เข้าที่บัส B\_R03 ถึง B\_R05 จำนวน 3 ราย และ ผู้ใช้ไฟที่เชื่อมต่อกับเฟส b เข้าที่บัส B\_L02 ถึง B\_L05 จำนวน 4 ราย



รูปที่ 9 ลักษณะแรงดันไฟฟ้า 3 เฟส บัส B\_R01 ถึง B\_R05 และ B\_L01 ถึง B\_L05: กรณีศึกษาบ้านแต่ละหลังที่มีการเชื่อมต่อบริษัทไฟโตโวลตาอิกขนาด 5.75 kW ในวันที่ 13 มิถุนายน 2559



รูปที่ 9 (ต่อ) ลักษณะแรงดันไฟฟ้า 3 เฟส บัส B\_R01 ถึง B\_R05 และ B\_L01 ถึง B\_L05: กรณีศึกษาบ้านแต่ละหลังที่มีการเชื่อมต่อบริษัทไฟโตโวลตาอิกขนาด 5.75 kW ในวันที่ 13 มิถุนายน 2559

จากการประเมินเป็นระยะเวลา 7 วัน ระหว่างวันที่ 11-17 มิถุนายน 2559 จำนวนครั้งที่เกิดแรงดันเกินในแต่ละบัส (พิจารณาทั้ง 3 เฟส) และกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบของแต่ละวัน ในกรณีที่ทุกบ้านมีการเชื่อมต่อบริษัทไฟโตโวลตาอิกขนาด 5.75 kW พบว่าจำนวนครั้งที่เกิดแรงดันเกิน (เฟส a) ที่บัส B\_R05 มีมากกว่า 5% (ตั้งแต่ 50 ค่าขึ้นไป) ตามที่กำหนดไว้ในเงื่อนไขของมาตรฐาน EN50160 ดังตารางที่ 1 เพราะฉะนั้น ถ้าทุกบ้านมีระบบไฟโตโวลตาอิกที่ขนาดกำลังผลิตติดตั้งขนาด 5.75 kW เชื่อมต่อกับระบบทดสอบนี้ จะถือว่ามีปัญหาแรงดันเกินเกิดขึ้นในระบบโดยเฉพาะบ้านที่เชื่อมต่อกับระบบบริเวณปลายสายจ่ายย่อย และต้องให้แต่ละบ้านลดขนาดติดตั้งของระบบไฟโตโวลตาอิกที่สามารถเชื่อมต่อกับระบบได้ลงมา



ตารางที่ 1 จำนวนครั้งที่เกิดแรงดันเกินและกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบระหว่าง วันที่ 11-17 มิถุนายน 2559: กรณีศึกษาบ้านแต่ละหลังที่มีการเชื่อมต่อระบบโฟโตโวลตาอิกขนาด 5.75 kW

บัส	11/06/5	12/06/5	13/06/5	14/06/5	15/06/5	16/06/5	17/06/5	รวม
	9	9	9	9	9	9	9	
BR_05 (เฟส a)	1	8	14	10	11	15	4	63
BR_04 (เฟส a)	0	5	12	5	10	9	2	43
BR_03 (เฟส a)	0	2	7	1	4	5	0	19
BR_02 (เฟส a)	0	0	1	0	0	0	0	1
BR_01 (เฟส a)	0	0	0	0	0	0	0	0
BL_05 (เฟส b)	0	0	4	0	0	3	0	7
BL_04 (เฟส b)	0	0	4	0	0	3	0	7
BL_03 (เฟส b)	0	0	4	0	0	3	0	7
BL_02 (เฟส b)	0	0	4	0	0	3	0	7
BL_01 (เฟส b)	0	0	0	0	0	0	0	0
รวม	1	15	50	16	25	41	6	154
กำลังไฟฟ้าสูญเสีย รวม (kWh)	33.135	34.038	38.608	36.453	33.882	38.505	33.74	248.36 1

ในทำนองเดียวกันเมื่อทำการประเมินระบบโดยเปลี่ยนข้อมูลลักษณะความต้องการไฟฟ้าทั้ง 3 เฟส ให้เป็นข้อมูลชุดใหม่ (ระหว่างวันที่ 18-24 มิถุนายน 2559) พบว่าในกรณีที่ทุกบ้านมีการเชื่อมต่อระบบโฟโตโวลตาอิกขนาด 5.5 kW มีจำนวนครั้งที่เกิดแรงดันเกิน เฟส a ที่บัส B\_R05 มีมากกว่า 5% (ตั้งแต่ 50 ค่าขึ้น) ตามที่กำหนดไว้ในเงื่อนไขของมาตรฐาน EN50160 ดังตารางที่ 2 ซึ่งขนาดพิกัดกำลังผลิตติดตั้งสูงสุดที่หาวีเคราะห์ได้ทั้ง 2 สัปดาห์มีขนาดใกล้เคียงกัน กอปรกับในสัปดาห์ที่สองจำนวนครั้งที่เกิดแรงดันเกินที่บัส B\_R05 ยังเกินค่ากำหนดไม่มาก จึงอาจวิเคราะห์ได้ว่าขนาดพิกัดกำลังผลิตติดตั้งสูงสุดของระบบโฟโตโวลตาอิกของบ้านแต่ละที่จะเชื่อมต่อเข้ากับระบบนี้ คือ ไม่ควรเกิน 5.5 kW



ตารางที่ 2 จำนวนครั้งที่เกิดแรงดันเกินและกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบระหว่าง วันที่ 18-24 มิถุนายน 2559: กรณีศึกษาบ้านแต่ละหลังที่มีการเชื่อมต่อระบบโฟโตโวลตาอิกขนาด 5.5 kW

บัส	18/06/5	19/06/5	20/06/5	21/06/5	22/06/5	23/06/5	24/06/5	รวม
	9	9	9	9	9	9	9	
BR_05 (เฟส a)	6	4	12	8	4	5	12	51
BR_04 (เฟส a)	5	2	8	7	4	4	10	40
BR_03 (เฟส a)	0	1	7	2	2	2	8	22
BR_02 (เฟส a)	0	0	2	0	0	0	2	4
BR_01 (เฟส a)	0	0	0	0	0	0	0	0
BL_05 (เฟส b)	0	1	0	0	0	2	3	5
BL_04 (เฟส b)	0	1	0	0	0	2	5	7
BL_03 (เฟส b)	0	1	0	0	0	2	5	7
BL_02 (เฟส b)	0	1	0	0	0	1	3	4
BL_01 (เฟส b)	0	0	0	0	0	0	0	0
รวม	11	11	29	17	10	18	48	140
กำลังไฟฟ้าสูญเสีย รวม (kWh)	31.821	33.824	38.856	34.575	31.095	31.855	33.837	235.86 3

### สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบขั้นตอนการศึกษาเพื่อประเมินผลกระทบด้านแรงดันเกินอันเนื่องจากการเชื่อมต่อของระบบโฟโตโวลตาอิกในระบบจำหน่ายแรงดันต่ำเป็นจำนวนมาก จากการทดสอบพบว่า สามารถประเมินแรงดันเกินด้วยการใช้แบบจำลองบนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้สำหรับหาขนาดกำลังผลิตติดตั้งสูงสุดของระบบโฟโตโวลตาอิกที่สามารถเชื่อมต่อได้ในระบบไฟฟ้าหนึ่ง ๆ ซึ่งขนาดระบบโฟโตโวลตาอิกที่หาได้อาจมีขนาดมากกว่าหรือน้อยกว่าที่กำหนดไว้ในข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายของการไฟฟ้าต่าง ๆ ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบในงานวิจัยนี้ พบว่า สามารถเพิ่มขนาดกำลังผลิตติดตั้งของระบบโฟโตโวลตาอิกของบ้านแต่ละหลัง ได้อีกประมาณ 10- 15 % เมื่อเทียบกับขนาดสูงสุดที่กำหนดโดยการไฟฟ้าภูมิภาค จึงจะพบปัญหาแรงดันเกินตามเงื่อนไขมาตรฐาน EN50160 โดยตำแหน่งที่เกิดปัญหาแรงดันเกินตามมาตรฐาน EN50160 คือที่บริเวณปลายสายจ่ายย่อย ส่งผลให้มีผู้ใช้ไฟได้รับผลกระทบ 1 ราย (เชื่อมต่อเฟส a ที่บัส B\_R05)

### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งในโครงการวิจัย เรื่อง การประเมินผลกระทบด้านระดับแรงดันในระบบจำหน่ายแรงต่ำที่มีการเชื่อมต่อระบบโฟโตโวลตาอิกจำนวนมาก งบประมาณแผ่นดิน มหาวิทยาลัยนเรศวร ปีงบประมาณ 2558



### เอกสารอ้างอิง

- การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. (2559). ระเบียบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคว่าด้วยข้อกำหนดการเชื่อมต่อระบบโครงข่ายไฟฟ้า พ.ศ.2559.
- Jenkins, N., Ekanayake, J.B., & Strbac, G. (2010). *Distribution Generation* (1<sup>st</sup> ed.). The Institution of Engineering and Technology.
- Thomson, M., & Infield, D. (2007). Impact of widespread photovoltaics generation on distribution systems. *Renewable Power Generation Journal*, 33 – 40
- Punyachai, R., Ongsakul, W., & Schmidt, U. (2014). Impact of high solar rooftop PV penetration on voltage profiles in distribution systems. *International Conference and Utility Exhibition on Green Energy for Sustainable Development*, 1 – 7.
- European Committee for Electrotechnical Standardization, (1999). Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution system. The EN50160: 1999.
- Dobos, A. P. (2014). Technical report the PVWATTS version 5 manual. *National Renewable Energy Laboratory (NREL) of U.S.*
- Mitsubishi Electric & Electronics USA. PV Modules. Retrieved August 25, 2016 from the World Wide Web: [http://www.mitsubishielectricsolar.com/images/uploads/documents/specs/MLU\\_spec\\_sheet\\_250W\\_255W.pdf](http://www.mitsubishielectricsolar.com/images/uploads/documents/specs/MLU_spec_sheet_250W_255W.pdf)