

<http://journal.rmutp.ac.th/>

การจำลองทางคณิตศาสตร์เปรียบเทียบกับการปฏิบัติการโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็กแบบกระจายตัวในระบบจำหน่าย

มนัส บุญเที่ยรทอง ปพน งามประเสริฐ และ นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ*

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถนนประชากรราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

รับบทความ 5 กุมภาพันธ์ 2564 แก้ไขบทความ 11 มิถุนายน 2564 ตอรับบทความ 21 มิถุนายน 2564

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอการจำลองทางคณิตศาสตร์เปรียบเทียบกับการปฏิบัติการโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็กแบบกระจายตัวในระบบจำหน่าย ซึ่งการส่งกำลังไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็กแบบกระจายตัวด้วยโปรแกรมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ PVSyst และ IEC 61724 โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาร้อยละอัตราส่วนประสิทธิภาพโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็กกำลังผลิตสูงสุด 5.95 เมกกะวัตต์ ที่เชื่อมต่อในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ระดับแรงดันไฟฟ้า 22 เควี ดังนั้นจึงเสนอบทความนี้เพื่อเป็นการจำลองทางคณิตศาสตร์เปรียบเทียบกับการปฏิบัติการโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็กแบบกระจายตัว ผลจากการศึกษาพบว่าการปฏิบัติการโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็กแบบกระจายตัวเพิ่มประสิทธิภาพมีความสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้สูงสุดและมีความต่อเนื่อง โดยระบบสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 8,954.9 เมกกะวัตต์ชั่วโมงต่อปี และมีร้อยละอัตราส่วนสมรรถนะเฉลี่ยรายปีเท่ากับ 77.84 ได้รับความเข้มรังสีแสงอาทิตย์สูงสุดและได้ปริมาณพลังงานรวมรายปีมากที่สุดประมาณ 1,837 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตร

คำสำคัญ : โฟโตโวลตาอิก; ความเข้มแสง; ร้อยละอัตราส่วนประสิทธิภาพ; กำลังการผลิตกระแสไฟฟ้า

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทร: +666 1353 6426, ไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์: nattachote.r@rmutp.ac.th

<http://journal.rmutp.ac.th/>

The Mathematical Simulation Compared to Operations a Small Distributed Photovoltaic Power Plant in a Distribution System

Manat Boonthienthong Papon Ngamprasert and Nattachote Rugthaicharoencheep*

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology
Phra Nakhon
1381 Pracharat 1 Road, Wong Sawang Subdistrict, Bang Sue District, Bangkok 10800

Received 5 February 2021; Revised 11 June 2021 ; Accepted 21 June 2021

Abstract

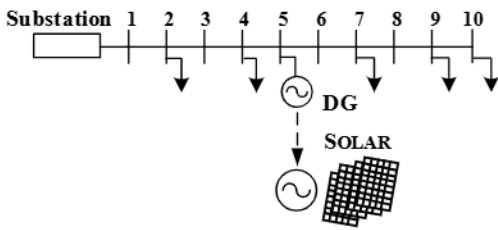
This paper presents a mathematical simulation to compared to operations a small distributed photovoltaic power plant in the distribution system. Practices transmission of electric power by small, distributed solar energy With the PVSyst and IEC 61724 mathematical modeling programs, the main objective was to study the % performance ratio photovoltaic power plants 5.95 MWp connected in the distribution system of the Provincial Electricity Authority, voltage level 22 kV. Therefore, this paper is presented as a mathematical simulation compared to operations a small distributed photovoltaic power plant in a distribution system. The results of the study show that the operation of small distributed solar power plants increases the efficiency to be able to produce the maximum electricity and continuously. The system was able to produce the highest power of 8,954.9 MWh/year and had an average annual efficiency ratio of 77.84%, receiving the highest solar radiation intensity and the highest annual total energy output of approximately 1,837 kWh/m².

Keywords : Photovoltaic; Irradiance; % Performance Ratio; Power Generation Capacity

* Corresponding Author. Tel.: +666 1353 6426, E-mail Address: nattachote.r@rmutp.ac.th

1. บทนำ

ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ประกอบด้วย แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีหน้าที่การผลิตไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current หรือ DC) เมื่อได้รับความเข้มของแสงอาทิตย์จะเริ่มจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปยังอุปกรณ์แปลงผันไฟฟ้าก่อนเชื่อมต่อเข้ากับระบบจำหน่าย (Grid Connected Inverter) เพื่อเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternative Current หรือ AC) และเชื่อมต่อเข้ากับระบบของการไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 1 [1]



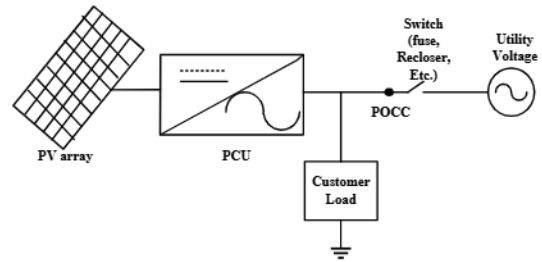
รูปที่ 1 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบกระจายตัวด้วย

เพื่อผลิตไฟฟ้าใช้เอง ลดค่าไฟ ประหยัดค่าไฟ หรือใช้ไฟฟ้าการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจำลองพฤติกรรมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Photovoltaic: PV) เพื่อรวมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้นแบบเหล่านี้เข้ากับระบบสาธารณูปโภคทั่วไปและเพื่อกำหนดพฤติกรรมของระบบที่เกิดขึ้น [2] ผลจากการศึกษาเหล่านี้แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าการใช้เซลล์แสงอาทิตย์สามารถรวมเข้ากับพลังงานแสงอาทิตย์เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้าระบบสาธารณูปโภคในปริมาณมากโดยไม่ต้องสร้างปัญหาที่ผิดปกติในการทำงานและการควบคุมระบบ มีการศึกษามาตรการควบคุมเพื่อลดผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงโหลดขนาดใหญ่ [3]

ในอดีตจนถึงปัจจุบันระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ได้นำมาใช้กับระบบกระจายตัวขนาดเล็ก โดยมีการออกแบบมาเป็นทฤษฎีของโครงการสาธิตโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 1 เมกะวัตต์ที่สถานี

ย่อยในประเทศสหรัฐอเมริกา ได้แก่ สถานี Lugo ใน Hesperia, California จากนั้นได้รับการออกแบบและดำเนินการเป็นโรงไฟฟ้ากลาง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ ซึ่งได้รับการตรวจสอบครั้งแรกตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2525 [4]

การเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าโซลาร์เซลล์กับโครงข่าย ดังแสดงในรูปที่ 2 [5]



รูปที่ 2 การเชื่อมต่อ PV กับโหลด

การปฏิบัติการโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็กแบบกระจายตัวอาจเป็นอันตรายต่อบุคคลและอุปกรณ์ จำเป็นต้องได้รับการป้องกัน ตามแผนการป้องกันที่มีอยู่ ซึ่งได้รับผลกระทบจากภายนอกหรือภายในที่ทำให้การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ล้มเหลวหรือหยุดชั่วคราว [5]

เมื่อมีระบบไฟฟ้าโซลาร์เซลล์มากกว่าหนึ่งโมดูล ระบบการควบคุมคุณภาพไฟฟ้า PV จะมีความซับซ้อนของระบบเพิ่มขึ้น ปัญหาเหล่านี้สามารถแก้ไขได้โดยใช้ระบบการสั่งการระยะไกล สำหรับการป้องกันแบบโหมดอิสระ (Islanding) รวมถึง การพิจารณาประสิทธิภาพในการป้องกันสูงสุด แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ของการป้องกันแบบโหมดอิสระบน Power Line Carrier Communications (PLCC). [6]

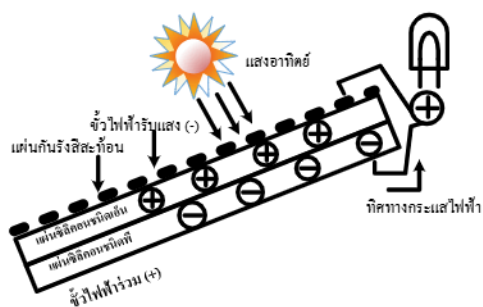
ดังนั้นบทความวิจัยนี้นำเสนอการจำลองทางคณิตศาสตร์เปรียบเทียบกับปฏิบัติการโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็กแบบกระจายตัวในระบบจำหน่าย [7] ซึ่งการส่งกำลังไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็กแบบกระจายตัว ด้วยโปรแกรม

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ PVSystem และ IEC 61724. [8] โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาอัตราการเสื่อมประสิทธิภาพของการจ่ายกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็ก

2. ระเบียบวิธีวิจัย

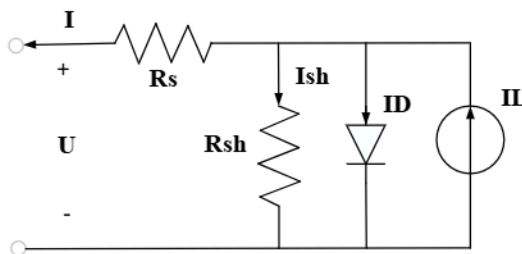
2.1 โฟโตโวลตาอิก

ในปี ค.ศ.1954 แดริลชาเป็ง (Daryl Chapin) แคลวินฟูลเลอร์ (Calvin Fuller) และเจอร์ราร์ด เพียร์สัน (Gerald Pearson) นักวิทยาศาสตร์จากห้องปฏิบัติการเบลล์ สหรัฐอเมริกาประสบความสำเร็จในการนำปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิกมาประยุกต์ใช้ประดิษฐ์เซลล์โฟโตโวลตาอิก ด้วยสารซิลิคอน (Si) เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ประกอบขึ้นจากสารกึ่งตัวนำ 2 ชนิด คือ P และ N สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ โดยอาศัยปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิก ดังแสดงในรูปที่ 3 [5]



รูปที่ 3 ลักษณะการทำงานของโฟโตโวลตาอิก

โฟโตโวลตาอิกเป็นวิธีผลิตกระแสไฟฟ้าโดยตรงจากพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยการกระตุ้นสารกึ่งตัวนำด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาวคลื่นแสง โดยอาศัยปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิก เทคโนโลยีโฟโตโวลตาอิกพลังแสงอาทิตย์ (Solar Photovoltaics) เป็นทางเลือกหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้าซึ่งจะทดแทนการผลิตกระแสไฟฟ้าจากถ่านหินปิโตรเลียม และแก๊สธรรมชาติ ดังแสดงในรูปที่ 4 [9]



รูปที่ 4 แบบจำลองไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาต์พุต U และกระแสไหลสามารถกำหนดได้ดังนี้ [10]

$$I = I_L - I_D = I_L - I_0 \left[\exp\left(\frac{U + RI_s}{\alpha}\right) - 1 \right] \quad (1)$$

โดยที่

- I คือ กระแสไหล (A)
- I_L คือ กระแสเซลล์แสงอาทิตย์ (A)
- I_D คือ กระแสไดโอด (A)
- I_0 คือ กระแสอิ่มตัว (A)
- U คือ แรงดันเอาต์พุต (V)
- R_s คือ ตัวต้านทานแบบอนุกรม (Ω)
- α คือ ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิแรงดันไฟฟ้า

เนื่องจากเซลล์โฟโตโวลตาอิกเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยอาศัยปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิก เรียกแบบย่อว่า “แผงพีวี เซลล์” หรือ “Solar PV cell” ที่เซลล์แสงอาทิตย์ใช้แสงจากแหล่งอื่นนอกเหนือจากแสงอาทิตย์ เช่น หลอดไฟหรือแสงเทียมเรียกว่าเซลล์โฟโตโวลตาอิก เซลล์แสงอาทิตย์มีหลายชนิด ชนิดที่ใช้งานอยู่มากที่สุดในปัจจุบัน คือเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตโดยใช้ [5] เทคโนโลยีซิลิคอน (Silicon-Based Solar Cell) นอกจากนั้นยังมีเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง (Thin Film Solar Cell) เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสารอินทรีย์ (Organic Solar Cell) และเซลล์แสงอาทิตย์

ชนิดสีย้อมไวแสง (Dye-Sensitized Solar Cell) ดังแสดงในรูปที่ 5 [11]



รูปที่ 5 เซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic)

2.2 ความเข้มแสง

ความเข้มแสงจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) สามารถนำมาใช้ได้อย่างไม่สิ้นสุด และมีลักษณะกระจายไปถึงผู้ใช้โดยตรง อีกทั้งยังเป็นแหล่งพลังงานที่สะอาดปราศจากมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ตามปกติมนุษย์ใช้พลังงานแสงอาทิตย์จากธรรมชาติในกิจวัตรประจำวัน เมื่อสังคมมนุษย์มีการพัฒนาไปสู่ยุคเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ความต้องการพลังงานมีเพิ่มขึ้นจึงมีการใช้พลังงานจากแหล่งอื่นๆ [12] เพิ่มขึ้นด้วยที่สำคัญ ได้แก่ พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล (Fossil) ในรูปของน้ำมัน ถ่านหิน และก๊าซธรรมชาติ การใช้พลังงานเหล่านี้ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังเป็นแหล่งพลังงานที่มีปริมาณจำกัดซึ่งถ้าใช้อย่างต่อเนื่องก็จะหมดไปในอนาคต นับตั้งแต่เกิดวิกฤตการณ์พลังงานตั้งแต่ปี ค.ศ.1973 เป็นต้นมา [13] นักวิทยาศาสตร์จึงได้ทำการในการวิจัยและพัฒนาเพื่อนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ทดแทนพลังงาน

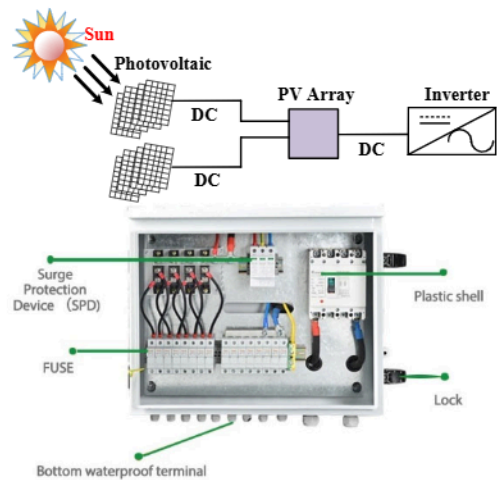
นอกจากนี้ยังมีเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์อีกหลายชนิดที่อยู่ระหว่างการดำเนินการวิจัยและพัฒนา โดยคาดว่าจะสามารถนำมาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพในอนาคต อย่างไรก็ตามการนำอุปกรณ์พลังงาน

แสงอาทิตย์เหล่านี้มาใช้ต้องมีประสิทธิภาพ [14] จึงจำเป็นต้องทราบศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของบริเวณที่จะใช้งานด้วย

โดยทั่วไปศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์ของพื้นที่แห่งหนึ่งจะสูงหรือต่ำขึ้นกับปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นที่นั้นโดยบริเวณที่ได้รับรังสีดวงอาทิตย์มากก็จะมีศักยภาพในการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้งานสูงสำหรับการใช้พลังงานแสงอาทิตย์ที่ต้องใช้อุปกรณ์รวมแสง จึงมีความจำเป็นต้องทราบสัดส่วนของรังสีรวมต่อรังสีกระจายด้วย

2.3 ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

ในระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ PV Cell อุปกรณ์พื้นฐานที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า รวมถึง PV Array ดังแสดงในรูปที่ 6 [11]



รูปที่ 6 วงจรและรูปแบบทั่วไปของ PV Array

ภายใน PV Array ได้แก่ ชุดประกอบของ PV Module, PV String หรือ PV Sub-Array ที่เชื่อมต่อกันทางไฟฟ้าและส่วนประกอบอื่นๆ จนถึงขั้วต่อสายด้านเข้าไฟฟ้ากระแสตรงของอินเวอร์เตอร์ หรืออุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้า หรือโหลดไฟฟ้ากระแสตรง มีพฤติกรรมเสมือนเป็นแหล่งกำเนิดกระแสภายใต้ค่า

อิมพีแดนซ์ต่ำ กระแสผิดพลาดจึงอาจมีค่ามากกว่าค่ากระแสโหลดสูงสุดปกติไม่มากนัก แม้จะเกิดการลัดวงจรไฟฟ้า กระแสผิดพลาดขึ้นอยู่กับจำนวนของแถวตำแหน่งความผิดพลาด และความเข้มแสงอาทิตย์ สิ่งเหล่านี้ทำให้การตรวจจับการลัดวงจรภายใน PV Array เป็นไปได้ยาก กระแสผิดพลาดจากอาร์กทางไฟฟ้าใน PV Array อาจไม่ทำให้อุปกรณ์ป้องกันกระแสเกินทำงาน

ดังนั้นการออกแบบ PV Array ควรเพิ่มความความระมัดระวังในเรื่องต่อไปนี้ [15]

ก. ในการติดตั้งต้องป้องกันการเกิดความผิดพลาดระหว่างสาย (Phase-to-Phase Fault) ความผิดพลาดลงดิน (Earth Fault) และสายหลุดหลวมโดยไม่ได้ตั้งใจใน PV Array ใน้อยที่สุด

ข. การตรวจจับและการเตือนความผิดพลาดลงดิน และการหยุดจ่ายไฟ ต้องเป็นส่วนหนึ่งของฟังก์ชันระบบป้องกันเพื่อลดความเสี่ยงในการเกิดอัคคีภัย

การติดตั้งต้องไม่ก่อให้เกิดความร้อนเกินพิกัดอุณหภูมิการทำงานสูงสุดขององค์ประกอบใดๆ ของระบบพลังงานแสงอาทิตย์

ค่าพิกัดของ PV Module จากผู้ผลิต คือ ค่าที่ได้จากการทดสอบตามสภาวะทดสอบมาตรฐาน [9]

ในการติดตั้งโดยทั่วไปจะทำให้ PV Module มีอุณหภูมิสูงขึ้น โดยคาดการณ์ว่า PV Module จะทำงานที่อุณหภูมิสูงขึ้นมากกว่าอุณหภูมิแวดล้อมประมาณ 25 องศาเซลเซียส ในสภาวะที่มีการระบายอากาศที่ดี ภายใต้ความเข้มแสงที่ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร (Full Sun) หากระดับความเข้มแสงมากกว่า 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร และมีการระบายอากาศที่ไม่ดี อุณหภูมิของ PV Module จะเพิ่มขึ้นเกินกว่านี้มาก (มีความเป็นไปได้ที่อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นอาจเพิ่มขึ้นอีก 40-50 องศาเซลเซียส จากอุณหภูมิแวดล้อม)

สำหรับการออกแบบ PV Array จากคุณลักษณะของการทำงานของ PV Module ดังแสดงในตารางที่ 1 [15]

ตารางที่ 1 ค่าปรับแก้แรงดันสำหรับ PV Module ชนิดผลึกซิลิกอนและชนิดหลายผลึก

อุณหภูมิที่คาดว่าจะต่ำสุด (องศาเซลเซียส)	ค่าปรับแก้
25 (T_{STC})	1.00
24 ถึง 20	1.02
19 ถึง 15	1.04
14 ถึง 10	1.06
9 ถึง 5	1.08
4 ถึง 0	1.10
-1 ถึง -5	1.12
-6 ถึง -10	1.14
-11 ถึง -15	1.16
-16 ถึง -20	1.18
-21 ถึง -25	1.20
-26 ถึง -30	1.21
-31 ถึง -35	1.23
-36 ถึง -40	1.25

ก. สำหรับเทคโนโลยี PV ส่วนใหญ่ ประสิทธิภาพจะลดลงเมื่ออุณหภูมิใช้งาน (Operating Temperature) สูงขึ้น (สำหรับ PV Cell แบบผลึกซิลิกอน (Crystalline Silicon) กำลังสูงสุดลดลงระหว่างร้อยละ 0.4-0.5 ต่อทุกๆ องศาเซลเซียสที่เพิ่มขึ้นในอุณหภูมิใช้งานเหนือกว่าอุณหภูมิแวดล้อม) ดังนั้นเป้าหมายหนึ่งในการออกแบบคือ ให้มีการถ่ายเทอากาศที่เพียงพอสำหรับ PV Array เพื่อให้แน่ใจว่าได้สมรรถนะการทำงานที่ดีที่สุดของทั้ง PV Module และส่วนประกอบอื่นที่เกี่ยวข้อง

ข. บริภัณฑ์และส่วนประกอบอื่นๆ ทุกตัวที่อาจจะสัมผัสโดยตรง หรือใกล้กับ PV Array (สายตัวนำอุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้า ตัวเชื่อมต่อและอื่นๆ) ต้องสามารถทนต่ออุณหภูมิสูงสุดที่คาดว่าจะเกิดขึ้นจากการทำงานของ PV Array

3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

3.1 ร้อยละอัตราส่วนประสิทธิภาพ

ร้อยละอัตราส่วนประสิทธิภาพจากการจำลองทางคณิตศาสตร์ (PVSystem) ดังแสดงในตารางที่ 2 การสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ ดังแสดงในรูปที่ 7 ร้อยละของพลังงาน PV แบบ On-Grid

และ Off-Grid ในประเทศที่รายงาน IEA ดังแสดงในรูปที่ 8

ร้อยละอัตราส่วนประสิทธิภาพดังสมการที่ (1)

และ (2) [12]

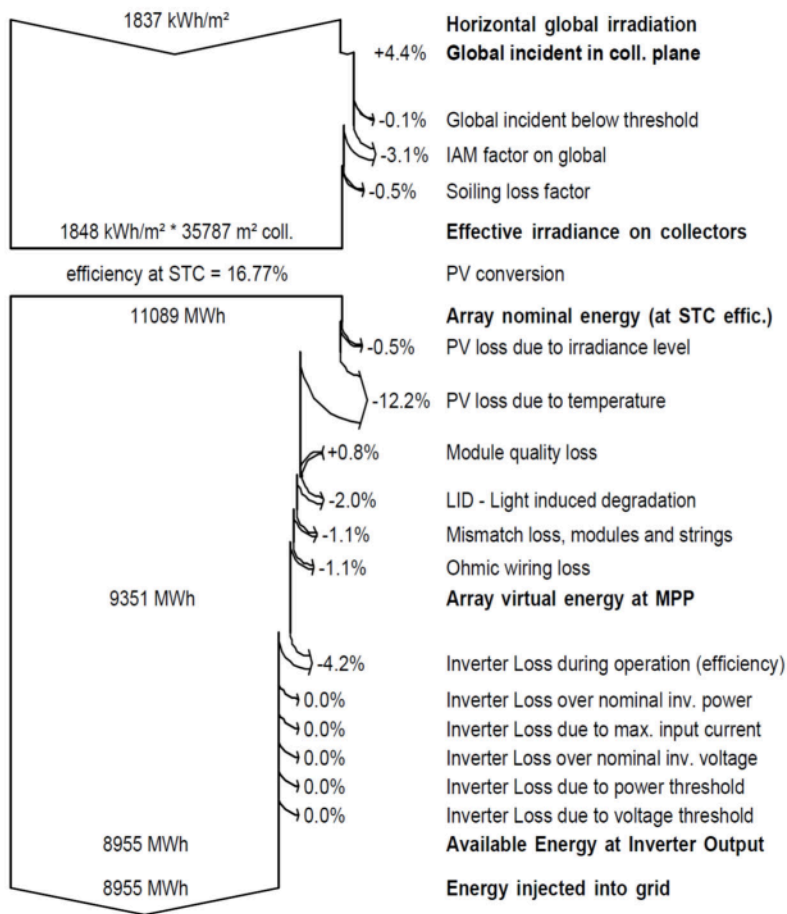
$$PR = \frac{E_{Grid}}{(GlobInc \times P_{nom}PV)} \quad (1)$$

$$PR_{(corr)} = \frac{E_{Grid}}{\left(P_{nom}PV \times \sum hours \left(\frac{GlobInc}{G_{ref} \times (1 - \mu_{mp} \times (T_{array} - T_{array,ref}))} \right) \right)} \quad (2)$$

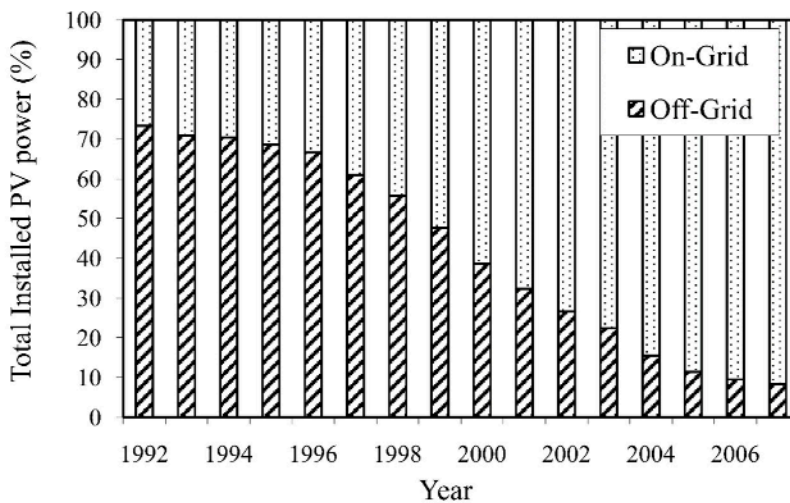
ตารางที่ 2 ผลลัพธ์ของร้อยละอัตราส่วนประสิทธิภาพจากการจำลองทางคณิตศาสตร์ (PVSystem)

	GlobHor	DiffHor	T Amb	GlobInc	GlobEff	EArray	E_Grid	%PR
	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	kWh/m ²	kWh/m ²	MWh	MWh	
January	145.5	55.20	23.39	170.1	164.3	837.3	803.2	0.787
February	144.6	56.44	25.97	161.3	155.9	780.7	748.8	0.773
March	172.2	72.70	28.66	181.3	175.1	863.1	827.7	0.761
April	170.7	79.93	29.93	169.6	163.5	806.7	773.2	0.760
May	179.9	86.65	28.20	171.6	165.1	834.0	798.4	0.775
June	158.4	83.28	27.19	148.0	141.9	728.3	695.9	0.784
July	175.5	84.58	27.37	165.5	159.1	811.0	775.5	0.781
August	127.0	88.13	27.29	124.0	118.8	614.7	587.0	0.789
September	135.0	74.43	26.69	137.2	132.0	673.1	643.3	0.782
October	144.2	69.44	26.70	155.7	150.2	760.0	727.9	0.779
November	131.4	58.49	24.56	149.2	144.0	737.2	707.0	0.790
December	152.5	41.35	23.25	183.8	177.9	904.1	867.0	0.786
Year	1836.9	850.60	26.60	1917.4	1847.7	9350.1	8954.9	0.778

Legends:	GlobHor	Horizontal global irradiation	GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings
	DiffHor	Horizontal diffuse irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
	T Amb	Ambient Temperature	E_Grid	Energy injected into grid
	GlobInc	Global incident in coll. plane	PR	Performance Ratio



รูปที่ 7 การสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์



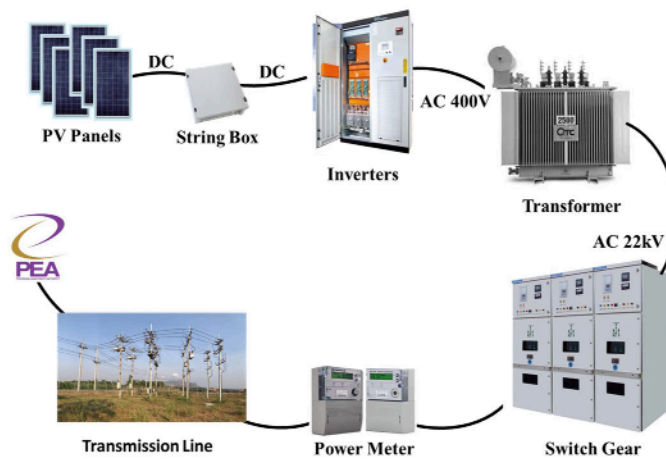
รูปที่ 8 ร้อยละของพลังงาน PV แบบ On-Grid และ Off-Grid ในประเทศที่รายงาน IEA

3.2 กำลังการผลิตกระแสไฟฟ้า

การผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ถือเป็นระบบการผลิตไฟฟ้าที่ได้รับความนิยมอย่างยิ่ง ด้วยความที่การผลิตไฟฟ้าในยุคนี้จำเป็นต้องอาศัยหลักการหลายอย่าง แต่ด้วยความที่ขั้นตอนการผลิตต่างๆ หากยิ่งนานวันเข้าสิ่งที่ใช้ก็ย่อมหมดไป ดังนั้นการใช้พลังงานแสงอาทิตย์จึงเป็นทางเลือกที่ดีที่จะช่วยให้การผลิตกระแสไฟฟ้าเป็นสิ่งที่ทำได้ต่อเนื่อง เพราะพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานที่ไม่มีวันหมดไปจากโลกนี้อย่างแน่นอน

เซลล์แสงอาทิตย์หรือที่เราเรียกว่า โซลาร์เซลล์ เป็นสิ่งประดิษฐ์แบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์

ให้กลายเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ทำมาจากสารกึ่งตัวนำ มีการดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์แล้วมีการเปลี่ยนให้กลายเป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งไฟฟ้าที่ได้นี้จะเป็นไฟฟ้าในระบบกระแสตรง เซลล์แสงอาทิตย์ถือเป็นอุปกรณ์ผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ไม่จำเป็นต้องเลือกใช้เชื้อเพลิงอื่นๆ นอกจากแสงอาทิตย์ ถือว่าพลังงานเหล่านี้เป็นพลังงานที่สะอาดไม่มีของเสียที่จะก่อให้เกิดมลพิษในระหว่างการใช้งาน ถือเป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่กับที่ ไม่มีการเคลื่อนที่ขณะที่กำลังทำงาน ทำให้ไม่ต้องเป็นกังวลเรื่องปัญหาการสึกหรอหรือต้องมีการบำรุงรักษาอยู่บ่อยๆ เหมือนกับอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าประเภทอื่นๆ [16] ซึ่งระบบไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ดังแสดงรูปที่ 9

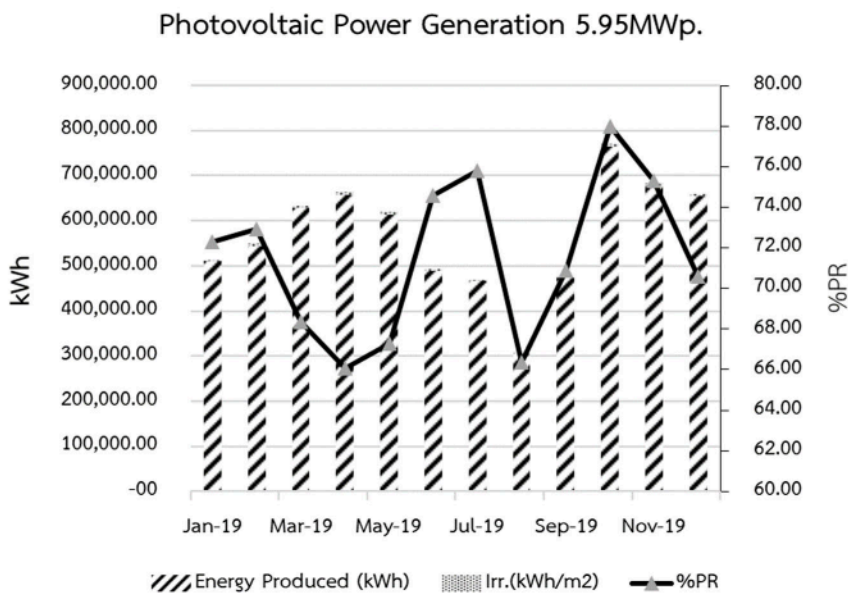


รูปที่ 9 ระบบการผลิตกระแสไฟฟ้า (Power Generation System)

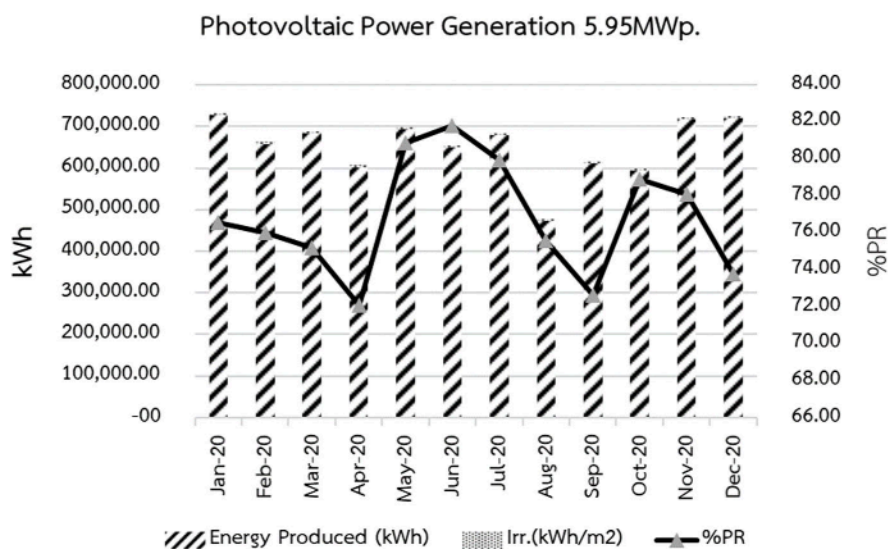
โดยมีหลักการการทำงานของตัวระบบดังนี้

1. พอลแสงอาทิตย์ตกกระทบกับแผงโซลาร์เซลล์ แผงโซลาร์เซลล์ทั้งหมดจะทำการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยตรงผ่านระบบควบคุมเข้าสู่อินเวอร์เตอร์
2. อินเวอร์เตอร์นี้ก็จะทำการเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสตรงให้กลายเป็นไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อจ่ายเข้าสู่ระบบไฟฟ้า

3. หากช่วงเวลาที่ความเข้มข้นของแสงอาทิตย์มีไม่มากพอหรือการใช้อุปกรณ์ที่มีกำลังการใช้ไฟฟ้าสูงมากกว่ากำลังที่ผลิตขึ้นมาได้จากโซลาร์เซลล์ ระบบจะมีการนำกำลังไฟฟ้าส่วนที่ขาดจากระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบปกติของการไฟฟ้าออกมาใช้ เพื่อให้อุปกรณ์ไฟฟ้าสามารถใช้งานได้ตามปกติ



รูปที่ 9 ผลการผลิตพลังงานไฟฟ้าขนาด 5.95MWp. ปี 2562



รูปที่ 10 ผลการผลิตพลังงานไฟฟ้าขนาด 5.95MWp. ปี 2563

ผลลัพธ์ของร้อยละอัตราส่วนประสิทธิภาพจากการผลิตพลังงานไฟฟ้าขนาด 5.95MWp. ปี 2562-2563 ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลลัพธ์ของร้อยละอัตราส่วนประสิทธิภาพจากการผลิตพลังงานไฟฟ้าขนาด 5.95MWp. ปี 2562-2563

Month	Energy			Month	Energy		
	Produced (kWh)	Irr.(kWh/m ²)	%PR		Produced (kWh)	Irr.(kWh/m ²)	%PR
Jan-19	509,840.00	3,965.83	72.28	Jan-20	726,422.00	5,586.88	76.58
Feb-19	544,480.00	4,673.86	72.93	Feb-20	658,146.00	5,485.77	76.01
Mar-19	628,480.00	4,846.79	68.37	Mar-20	683,528.00	5,458.04	75.20
Apr-19	657,920.00	5,916.67	66.08	Apr-20	602,438.00	5,184.13	72.08
May-19	614,400.00	5,251.55	67.27	May-20	693,880.00	5,129.04	80.86
Jun-19	489,298.00	4,048.53	74.59	Jun-20	648,862.00	4,943.94	81.82
Jul-19	466,506.00	2,935.13	75.79	Jul-20	678,318.00	5,030.66	79.96
Aug-19	305,975.00	2,756.90	66.35	Aug-20	473,050.00	3,745.84	75.57
Sep-19	472,676.00	4,257.05	70.91	Sep-20	610,954.00	5,233.79	72.65
Oct-19	765,362.00	5,940.93	77.99	Oct-20	593,340.00	4,479.13	78.91
Nov-19	677,803.00	6,207.27	75.33	Nov-20	717,602.00	5,580.45	78.08
Dec-19	654,809.00	5,510.19	70.58	Dec-20	719,834.00	5,719.20	73.77
Sum	6,787,549.00	4,692.56	71.54	Sum	7,806,374.00	5,131.41	76.79

จากการศึกษาพบว่าร้อยละอัตราส่วนประสิทธิภาพการปฏิบัติการโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็กมีค่าต่ำกว่าการจำลองทางคณิตศาสตร์ จากตารางที่ 3 เปรียบเทียบกับตารางที่ 2 ผลลัพธ์ของร้อยละอัตราส่วนประสิทธิภาพจากการจำลองทางคณิตศาสตร์ (PVsyst) ตลอดทั้งปีที่ค่า 77.8% ซึ่งผลลัพธ์ของร้อยละอัตราส่วนประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าขนาด 5.95MWp. ปี 2562 และปี 2563 ตลอดทั้งปีมีค่า 71.54% และ 76.79% ดังแสดงในรูปที่ 9 ผลการผลิตพลังงานไฟฟ้าขนาด 5.95MWp. ปี 2562 และรูปที่ 10 ผลการผลิตพลังงานไฟฟ้าขนาด 5.95MWp. ปี 2563 ตามลำดับ

4. สรุป

การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนพื้นดินและเชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายขนาด

กำลัง 5.95 กิโลวัตต์ (kWp.) [17] ในพื้นที่อำเภอท่าสองยาง จังหวัดตาก มีความเหมาะสมและให้ประสิทธิภาพสูง ระบบสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าสูงสุด เท่ากับ 8,954.9 เมกกะวัตต์-ชั่วโมงต่อปี โดยมีอุณหภูมิเฉลี่ยทั้งปีอยู่ที่ 26.60 องศาเซลเซียส และมีอัตราส่วนสมรรถนะเฉลี่ยรายปีร้อยละ 77.84 ควรเลือกใช้เซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Poly-Crystalline Si และรองรับกำลังการผลิตไฟฟ้าด้วยกริดอินเวอร์เตอร์ขนาด 330 กิโลวัตต์ จำนวน 15 เครื่อง ที่เหมาะสมและการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ควรหันไปทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ (SE) จึงจะได้รับความเข้ม รังสีแสงอาทิตย์สูงสุด และได้ปริมาณพลังงานรวมรายปีมากที่สุด ประมาณ 1,837 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตารางเมตร รวมทั้งการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มุมเอียง 15 องศา จะให้พลังงานไฟฟ้าและปริมาณพลังงานรวมรายปีมากที่สุด

บทความนี้นำเสนอการจำลองทางคณิตศาสตร์เปรียบเทียบกับ การปฏิบัติการโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็กแบบกระจายตัวในระบบจำหน่ายด้วยโปรแกรมแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ PVSystem และ IEC 61724 เพื่อวิเคราะห์และเพิ่มประสิทธิภาพการปฏิบัติการโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดเล็กแบบกระจายตัวให้มีความสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้สูงสุด และมีความต่อเนื่อง

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่สนับสนุนในการทำวิจัยนี้ให้สำเร็จตามเป้าหมายอย่างสมบูรณ์

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] P. Ngamprasert, P. Wannakarn and N. Rugthaicharoencheep, "Enhance Power Loss in Distribution System Synergy Photovoltaic Power Plant," *2020 International Conference on Power, Energy and Innovations (ICPEI)*, pp. 173-176, May 2021.
- [2] P. Ngamprasert, N. Rugthaicharoencheep and S. Woothipatanapan, "Application Improvement of Voltage Profile by Photovoltaic Farm on Distribution System," in *Proceeding of 2019 International Conference on Power, Energy and Innovations (ICPEI)*, 2019, pp. 98-101.
- [3] S. Chalmers, M. Hitt, J. Underhill, P. Anderson, P. Vogt and R. Ingersoll, "The Effect of Photovoltaic Power Generation on Utility Operation," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, vol. PAS-104, no. 3, pp. 524-530, 1985.
- [4] N. Patapoff and D. Mattijetz, "Utility Interconnection Experience with an Operating Central Station MW-Sized Photovoltaic Plant," *IEEE Transactions on Power Systems and Apparatus*, vol. PAS-104, no. 8, pp. 2020-2024, 1985.
- [5] N. Rugthaicharoencheep, M. Boonthienthong, S. Netphokaew and P. Ngamprasert, "A Case Study of the Operation of a Small Photovoltaic in a Distribution System," in *Proceeding of the 42nd Electrical Engineering Conference (EECON-42)*, 2019, pp. 17-20.
- [6] M. E. Ropp, K. Aaker, J. Haigh and N. Sabbah, "Using Power Line Carrier Communications to Prevent Islanding," in *Proceedings of the 28th IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, 2000, pp. 1675-1678.
- [7] J. S. Savier and D. Das, "Impact of network reconfiguration on loss allocation of radial distribution systems," *IEEE Trans. on Power Delivery*, vol. 22, no. 4, pp. 2473-2480, 2007.
- [8] P. Ngamprasert, P. Wannakarn and N. Rugthaicharoencheep, "Assessing the Power Generation Potential DC from Photovoltaic Power Plants in the Power Distribution System," *UTK Research Journal*, vol. 14, no. 2, pp. 38-49, 2020.
- [9] P. Ngamprasert, S. Woothipatanapan, P. Wannakarn and N. Rugthaicharoencheep, "Improvement for Voltage Sag with Photovoltaic Performance on Distribution System," *IEET-International Electrical*

- Engineering Transactions*, vol. 6, no. 10, pp. 28-33, 2020.
- [10] M. Cortés-Carmona, J. Vega, and M. Cortés-Olivares, "Power flow algorithm for analysis of distribution networks including distributed generation," *IEEE PES Transmission & Distribution Conference and Exhibition - Latin America (T&D-LA)*, Lima, Perú, pp.1-5, 2018.
- [11] P. Ngamprasert, P. Wannakarn and N. Rugthaicharoencheep, "Assessing the Power Distribution Potential DC from Photovoltaic Power Plants in Distribution Systems," in *Proceeding of the 43rd Electrical Engineering Conference (EECON-43)*, 2020. pp. 37-40.
- [12] P. Ngamprasert, M. Boonthienthong, T. Lngthathong and N. Rugthaicharoencheep, "The Sustainable Application of Photovoltaic Power Systems to the Foundational Communities," in *Proceeding of the 13th Conference on Application Research and Development (ECTI-CARD 2021)*, April 2021.
- [13] F. Sarkar and R. Ramya, "Voltage sag and distortion mitigation in a hybrid power system using FACTs device," *International Journal of Science and Research*, vol. 4, no. 5, pp. 311-317, 2015.
- [14] S. Aarif and Er. R. K. Randhawa, "Improvement of power quality using photovoltaic dynamic voltage restorer," *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology*, vol. 5, no. 9, pp. 703-708, 2017.
- [15] The Engineering Institute of Thailand Under H.M. The King's Patronage. Thailand Electrical Installation Standard: Solar Rooftop Power Supply Installations. 1st edit. EIT Standard 022013-16. Bangkok, THAILAND: EIT. 2013.
- [16] A. Kiswantono, E. Prasetyo and A. Amirullah, "Comparative Performance of Mitigation Voltage Sag/Swell and Harmonics Using DVR-BES-PV System with MPPT-Fuzzy Mamdani/MPPT-Fuzzy Sugeno," *International Journal of Intelligent Engineering and Systems*, vol. 12, no. 2, pp. 222-235, 2019.
- [17] M. Cortés-Carmona, J. Vega and M. Cortés-Olivares, "Power flow algorithm for analysis of distribution networks including distributed generation," *IEEE PES Transmission & Distribution Conference and Exhibition - Latin America (T&D-LA)*, Lima, Perú, pp. 1-5, 2018.