

การศึกษาปัจจัยการป้องกันฟ้าผ่าสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์

Study of Lightning Protection Factors for Photovoltaic Power Generation Systems

นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ^{1*}, สาคร วุฒิพัฒน์พันธุ์², ปพน งามประเสริฐ³, จิรวัดน์ ไม้แก่น⁴
Nattachote Rugthaicharoencheep^{1*}, Sakhon Woothipatanapan², Papon Ngamprasert³,
Jirawhate Maikaen⁴

^{1,2,3,4}สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

¹Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology
Phra Nakhon, Thailand

*Corresponding Author. E-mail: nattachote.r@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาปัจจัยการป้องกันฟ้าผ่าสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ โดยทำการศึกษาระงัดไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดจากผลกระทบจากฟ้าผ่าและความเหนี่ยวนำเนื่องจากผลกระทบจากฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นกับตัวโครงสร้างและสายตัวนำภายในระบบนี้ จากนั้นได้สร้างแบบจำลองผลกระทบจากฟ้าผ่าด้วยโปรแกรมแมตแลบ แบบจำลองที่สร้างขึ้นมาเป็นระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์อย่างง่ายซึ่งประกอบด้วยการจัดเรียงของตัวแผงเซลล์แสงอาทิตย์ในรูปแบบทั่วไปโดยกำหนดให้ความสูงระหว่างแผงกับโครงสร้างอลูมิเนียมโปรไฟล์คือ 0.09 เมตร ผลการจำลองคือเกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระจายตัวซึ่งมีอยู่หนึ่งจุดที่มีปริมาณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสูงสุด ส่วนผลกระทบจากปริมาณแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่จะทำให้อินเวอร์เตอร์เกิดความเสียหายนั้นจะทดสอบโดยใช้แรงดันเหนี่ยวนำอิมพัลส์ขนาด 10/350 μ S และ 0.25/100 μ S ผลที่เกิดขึ้นแสดงให้เห็นว่าขนาดของโครงสร้างที่รองรับแผงเซลล์แสงอาทิตย์และจุดที่เกิดกระแสฟ้าผ่ามีผลต่อการเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นบริเวณจุดเชื่อมต่อของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยปริมาณแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นสามารถนำมาใช้เพื่อพิจารณาเลือกพิกัดของอุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกินได้อย่างถูกต้อง

คำสำคัญ : ระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ ความเหนี่ยวนำ แบบจำลองผลกระทบจากฟ้าผ่า แรงดันเหนี่ยวนำอิมพัลส์

ABSTRACT

This paper presents the study of lightning protection factors for photovoltaic power generation systems. The induced voltages were investigated obtained from the lightning effects and inductance due to the lightning effects on structures and conductors in this system. After

Received 13-12-2020

Revised 14-03-2021

Accepted 05-04-2021

that, a model of the lightning effects on the structure was simulated using a MATLAB program. The model was developed as a simple photovoltaic system consisting of a typical arrangement of solar panels, the height between the panel and the aluminum profile was 0.09 m. The simulation result found that an electromagnetic field was dispersed resulting in the highest electromagnetic fields at one point. The effects of the amount of induced voltage on the inverter damage was tested by the induced voltage impulse to 10/350 μ S and 0.25/ 100 μ S. The results showed that the size of the structure supporting the solar panel and the point of lightning current influenced the generation of induced voltage at the junction of the solar panels. The amount of induced voltage generated can be more accurate to determine the rating of the over voltage protection device.

Keyword: Photovoltaic power generation system, Induced voltage, Inductance, Lightning effect model, Induce voltage impulse

1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีการสนับสนุนการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งผลิตพลังงานทดแทนเนื่องจากนำมาใช้ทดแทนวัตถุดิบประเภทเชื้อเพลิง ซึ่งมีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็ว ๆ โดยรัฐบาลได้กำหนดแผนการพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกตามเป้าหมายที่กำหนด 25% ใน 10 ปี ตั้งแต่ พ.ศ. 2555-2564 [1]

ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ประกอบด้วย แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีหน้าที่การผลิตไฟฟ้ากระแสตรง (Direct current หรือ DC) เมื่อได้รับความเข้มของแสงอาทิตย์จะเริ่มจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าไปยังอุปกรณ์แปลงผันไฟฟ้าก่อนเชื่อมต่อเข้ากับระบบจำหน่าย (Grid connected inverter) เพื่อเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternative current หรือ AC) และเชื่อมต่อเข้ากับระบบของการไฟฟ้า เพื่อผลิตไฟฟ้าใช้เอง ลดค่าไฟ ประหยัดค่าไฟหรือใช้ไฟฟ้า การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจำลองพฤติกรรมของ

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Photovoltaic หรือ PV) เพื่อรวมเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้นแบบเหล่านี้เข้ากับระบบสาธารณูปโภคทั่วไปและเพื่อกำหนดพฤติกรรมของระบบที่เกิดขึ้น [2] ผลจากการศึกษาเหล่านี้แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าการใช้เซลล์แสงอาทิตย์สามารถรวมเข้ากับระบบสาธารณูปโภคในปริมาณมากโดยไม่ต้องสร้างปัญหาที่ผิดปกติในการทำงานและการควบคุมระบบ มีการศึกษามาตรการควบคุมเพื่อลดผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงโหลดขนาดใหญ่ [3]

ในอดีตจนถึงปัจจุบันระบบไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ได้นำมาใช้กับระบบกระจายตัวขนาดเล็กโดยมีการออกแบบมาเป็นทฤษฎีของโครงการสาธิตโรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 1 เมกะวัตต์ที่สถานีย่อยในประเทศสหรัฐอเมริกา ได้แก่ สถานี Lugo ใน Hesperia, California จากนั้นได้รับการออกแบบและดำเนินการเป็นโรงไฟฟ้ากลาง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ ซึ่งได้รับการตรวจสอบครั้งแรกตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2525[4]

ระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับความนิยมมากขึ้นอย่างต่อเนื่องจึงก่อให้เกิดคำถามเกี่ยวกับความปลอดภัยของระบบป้องกันฟ้าผ่าในระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์โดยเฉพาะอย่างยิ่งภายใต้สภาพอากาศที่รุนแรง เช่น พายุฝนฟ้าคะนอง ระบบไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์โดยส่วนใหญ่แล้วโครงสร้างที่รองรับตัวแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะมีวัสดุเป็นโลหะหรือเป็นอลูมิเนียม สายเชื่อมต่อระหว่างแผงแต่ละแผงจะเชื่อมต่อกันเป็นชุดหรือคู่ขนาน โดยส่วนปลายของแผงจะเชื่อมต่อเข้ากับอินเวอร์เตอร์ เป็นจุดประสงค์หลักของระบบป้องกันฟ้าผ่าในระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อป้องกันกระแสฟ้าผ่าบางส่วนที่เหนี่ยวนำเข้ามาภายในระบบที่มีการติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่า [5] จึงต้องพิจารณาถึงปัจจัยที่มีผลกระทบจากการเหนี่ยวนำไฟฟ้า ถ้าหากข้อกำหนดนี้เป็นจริงแล้วการติดตั้งเสิร์จที่ระดับการป้องกันที่สองในฝั่งกระแสตรง โดยการทดสอบนี้จะจำลองผลผ่านโปรแกรมจำลองผลเพื่อดูว่าหากมีกระแสฟ้าผ่าไหลผ่านระบบป้องกันฟ้าผ่าที่อยู่ บริเวณใกล้เคียงอาจก่อให้เกิดการเหนี่ยวนำบริเวณสายตัวนำซึ่งจะส่งผลให้เกิดกระแสอิมพัลส์ภายในลูปตัวนำปิด [6]

2. วิธีดำเนินการวิจัย

2.1 โฟโตโวลตาอิก

ในปี ค.ศ.1954 แดริลชาแป็ง (Daryl Chapin) แคลวินฟูลเลอร์ (Calvin Fuller) และเจอร์ราร์ด เพียร์สัน (Gerald Pearson) นักวิทยาศาสตร์จากห้องปฏิบัติการเบลล์ สหรัฐอเมริกาประสบความสำเร็จในการนำปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิกมาประยุกต์ใช้ประดิษฐ์เซลล์โฟโตโวลตาอิก ด้วยสารซิลิคอน (Si) เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า

โฟโตโวลตาอิกเป็นวิธีผลิตกระแสไฟฟ้าโดยตรงจากพลังงานแสงอาทิตย์ด้วยการกระตุ้นสารกึ่งตัวนำ ด้วยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาวคลื่นแสง โดยอาศัยปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิก เทคโนโลยีโฟโตโวลตาอิก พลังแสงอาทิตย์ (Solar photovoltaics) เป็นทางเลือกหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นไฟฟ้าซึ่งจะทดแทนการผลิตกระแสไฟฟ้าจากถ่านหิน ปิโตรเลียม และแก๊สธรรมชาติ

เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่สะอาด เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และใช้ได้ไม่มีวันหมดเซลล์แสงอาทิตย์และเซลล์โฟโตโวลตาอิกเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยอาศัยปรากฏการณ์โฟโตโวลตาอิก มักเรียกแบบย่อว่า “แผงพีวีเซลล์” หรือ “Solar PV cell” ที่เซลล์แสงอาทิตย์ใช้แสงจากแหล่งอื่นนอกเหนือจากแสงอาทิตย์ เช่น หลอดไฟหรือแสงเทียมเรียกว่าเซลล์โฟโตโวลตาอิก เซลล์แสงอาทิตย์มีหลายชนิด ชนิดที่ใช้งานอยู่มากที่สุดในปัจจุบัน คือเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตโดยใช้เทคโนโลยีซิลิคอน (Silicon-based solar cell) นอกจากนั้นยังมีเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง (Thin film solar cell) เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสารอินทรีย์ (Organic solar cell) และเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (Dye-sensitized solar cell)

2.2 ปรากฏการณ์ฟ้าผ่า

จากการค้นพบประจุไฟฟ้าในอากาศครั้งนี้นำไปสู่ความคิดในการประดิษฐ์สายล่อฟ้า เพื่อระบายประจุไฟฟ้าในอากาศไม่ทำให้เกิดความเสียหายจากฟ้าผ่า ในปี ค.ศ. 1752 [7] แฟรงคลินได้ประดิษฐ์สายล่อฟ้าขึ้นสำเร็จเป็นครั้งแรก สายล่อฟ้าของแฟรงคลิน มีลักษณะเป็นโลหะปลายแหลมผูกติดไว้

บนยอดอาคารสูง ส่วนปลายโลหะเชื่อมต่อกับสายไฟยาวลงไปในแนวตั้ง ห้ามคดหรืองอเด็ดขาด มิฉะนั้นอาจเกิดไฟฟ้าลัดวงจรได้ ปลายของสายไฟจะถูกฝังลึกลงในพื้นดินพอสมควร ซึ่งบริเวณด้านล่างของหลุมนี้จะมีแผ่นโลหะขนาดใหญ่ปูเอาไว้ เพื่อให้กระแสไฟฟ้าที่ไหลลงมานั้นกระจายออกไปบนแผ่นโลหะนี้ สายล่อฟ้าของแฟรงคลินถือว่าเป็นสิ่งประดิษฐ์ที่มีประโยชน์อย่างยิ่งในการป้องกันความเสียหายของอาคารสูง ที่มีมักจะถูกฟ้าผ่าได้ง่าย อีกทั้งผู้คนที่เดินบนท้องถนนไม่ให้ถูกฟ้าผ่าจนถึงแก่ชีวิตได้

ฟ้าผ่านั้นเกิดขึ้นจากปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เกิดขึ้นภายใต้ก้อนเมฆฝนฟ้าคะนองหรือที่นักอุตุนิยมวิทยาเรียกกันว่าเมฆคิวมูโลนิมบัส (cumulonimbus) ซึ่งจะเป็นเมฆที่มีลักษณะเป็นก้อนขนาดใหญ่ที่มีบริเวณฐานของเมฆ (ขอบล่าง) นั้นจะสูงจากพื้นราว ๆ 2 กิโลเมตรและที่ส่วนของยอดเมฆ (ขอบบน) นั้นอาจจะสูงถึง 20 กิโลเมตรและเมื่อก่อนเมฆนั้นเคลื่อนที่ก็จะมีการไหลเวียนของกระแสอากาศภายในอย่างรวดเร็วและรุนแรง ทำให้หยดน้ำและก้อนน้ำแข็งในเมฆเสียดสีกันจนเกิดประจุไฟฟ้าและพบว่าประจุบวกมักจะรวมตัวกันอยู่บริเวณยอดเมฆ ส่วนประจุลบจะอยู่บริเวณฐานเมฆ ทั้งนี้ ประจุลบที่ฐานเมฆอาจจะเหนี่ยวนำทำให้พื้นผิวของโลกที่อยู่ “ใต้เงา” ของมันมีประจุเป็นบวก เป็นผลทำให้เกิด สนามไฟฟ้าระหว่างกลุ่มประจุเหล่านั้น เมื่อประจุ มีการสะสมจำนวนมาก ทำให้ความเครียดของสนามไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นจนเกินค่าความคงทน ของอากาศต่อแรงดันไฟฟ้า จนทำให้เกิดการคายประจุขึ้นอันเป็นจุดกำเนิดของการเกิด ฟ้าผ่าขึ้น การคายประจุอาจเกิดขึ้น ระหว่างก้อนเมฆ หรือ ระหว่าง ก้อนเมฆกับพื้นโลก ซึ่งเรียก ปรากฏการณ์ นี้ว่า "ฟ้าผ่า" [8]

2.3 แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเนื่องจากผลกระทบจากฟ้าผ่า

การเกิดปรากฏการณ์ฟ้าผ่าขึ้นในบริเวณจุดที่ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์นั้นส่งผลให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำปริมาณมหาศาลเหนี่ยวนำเข้าสู่ระบบผ่านทางสื่อตัวนำต่าง ๆ [6] คำวนณได้จากสมการ (1)

$$U_{ip} = k_C \times L_M \times \frac{di}{dt} \quad (1)$$

โดยที่

U_{ip} คือ แรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำภายในระบบ (kV)

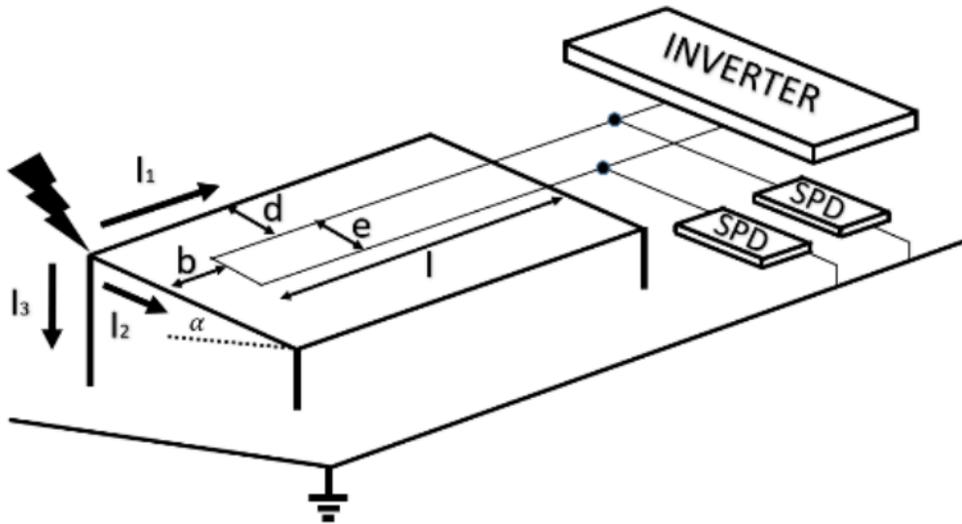
k_C คือ ค่าสัมประสิทธิ์คองที่ ระหว่างสายตัวนำล่อฟ้ากับ สายตัว (k_C มีเท่ากับ 1 เมื่อมีตัวนำลงดินหนึ่งตัว k_C มีค่าเท่ากับ 0.5 เมื่อมีตัวนำลงดินสองตัว และมีค่าเท่ากับ 0.44 เพื่อมีตัวนำลงดินตั้งแต่สามตัวขึ้นไป

$\frac{di}{dt}$ คือ ความชันหลังจากเกิดกระแส (200, 150 และ 100 kA/ μ s ขึ้นอยู่กับช่วง LPL)

L_M คือ ความเหนี่ยวนำซึ่งเกิดจากกระแสฟ้าผ่ากับสายตัวนำลงดิน

2.4 ความเหนี่ยวนำเนื่องจากผลกระทบจากฟ้าผ่ากับตัวโครงสร้างและสายตัวนำภายในระบบ

ระบบป้องกันฟ้า (Lightning protection system : LPS) มีการต่อประสานเข้ากับตัวแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่วัสดุเป็นตัวนำ กระแสฟ้าผ่าที่ไหลผ่านจะถูกแบ่งเป็นสามทาง [5-6,9] ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ผลกระทบจากฟ้าผ่ากับตัวโครงสร้าง

จากภาพที่ 1 ในกรณีนี้สามารถคำนวณความเหนี่ยวนำเนื่องจากฟ้าผ่าได้จากสมการที่ (2)

$$L_M = 0.2 \times 1 \times \ln \frac{d + e + r}{d + r} \quad (2)$$

โดยที่

- L_M คือ ความเหนี่ยวนำซึ่งเกิดจากกระแสฟ้าผ่ากับสายตัวนำลงดิน
- d คือ ระยะห่างระหว่างสายตัวนำกับโครงสร้างวัสดุโลหะ
- e คือ ระยะห่างระว่างลูปสายตัวนำ
- r คือ รัศมีโครงสร้างตัวแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่วัสดุเป็นโลหะที่ต่อประสานร่วม

กระแสลัดวงจรที่ไหลวนในลูปสูงสุดคือ กระแสที่สัมพันธ์กับกระแสฟ้าผ่าในช่วงแรก (200, 150 หรือ 100 kA ขึ้นอยู่กับช่วง LPL ที่เลือกพิจารณา ในที่นี้พิจารณาที่ระดับสองหรือ Class II) กระแส

ลัดวงจรสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3) ตามมาตรฐาน IEC (EN) 62305 [10]

$$I_{SC} = k_C \times I \times \frac{L_M}{L_S} \quad (3)$$

โดยที่

- I_{SC} คือ ค่ากระแสลัดวงจรที่ไหลวนในลูปสูงสุด
- k_C คือ ค่าสัมประสิทธิ์คองที่ ระหว่างสายตัวนำล่อฟ้ากับสาย ตัวนำลงดิน (k_C มีเท่ากับ 1 เมื่อมีตัวนำลงดินหนึ่งตัว k_C มีค่าเท่ากับ 0.5 เมื่อมีตัวนำลงดินสองตัว และมีค่าเท่ากับ 0.44 เพื่อมีตัวนำลงดินตั้งแต่สามตัวขึ้นไป)
- I คือ ค่าปริมาณกระแสฟ้าผ่าช่วงแรก (พิจารณาจากช่วง LPL)
- L_S คือ ค่าความเหนี่ยวนำแฝงในวงลูป

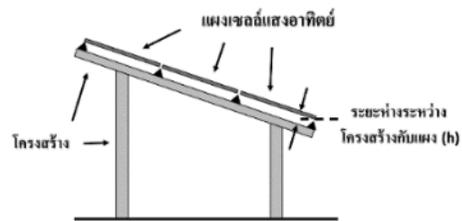
$$L_S = 0.8 \times \sqrt{r^2 + e^2} - 0.8 \times (1 - e) + 0.4 \times I$$

$$\times \ln \left[\frac{\frac{2e}{r}}{1 + \sqrt{1 + \left(\frac{e}{I}\right)^2}} \right] + 0.4 \times e \times \ln \left[\frac{\frac{2I}{r}}{1 + \sqrt{1 + \left(\frac{e}{I}\right)^2}} \right] \times 10^{-6} \quad (4)$$

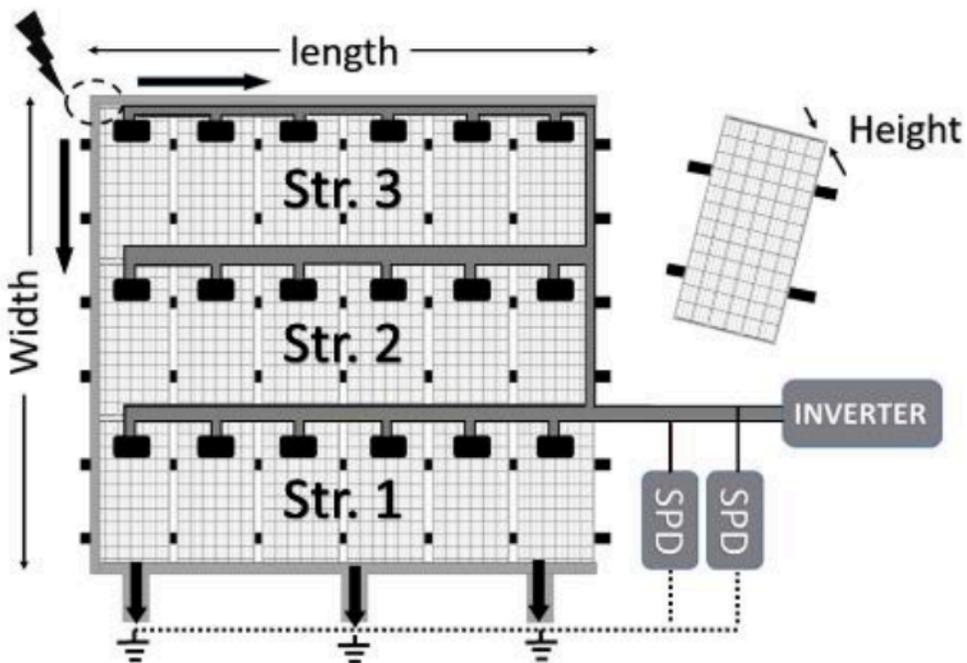
3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

3.1 รูปแบบจำลองผลกระทบจากฟ้าผ่าที่ตัวโครงสร้าง

โครงสร้างที่ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์เป็นโครงสร้างอลูมิเนียม เนื่องจากวัสดุดังกล่าวเป็นที่นิยมอย่างมากอีกทั้งยังมีสมบัติที่คงทนต่อการกัดกร่อนในสภาพอากาศต่าง ๆ ได้ดี ดังแสดงในภาพที่ 2 และภาพที่ 3 [11]



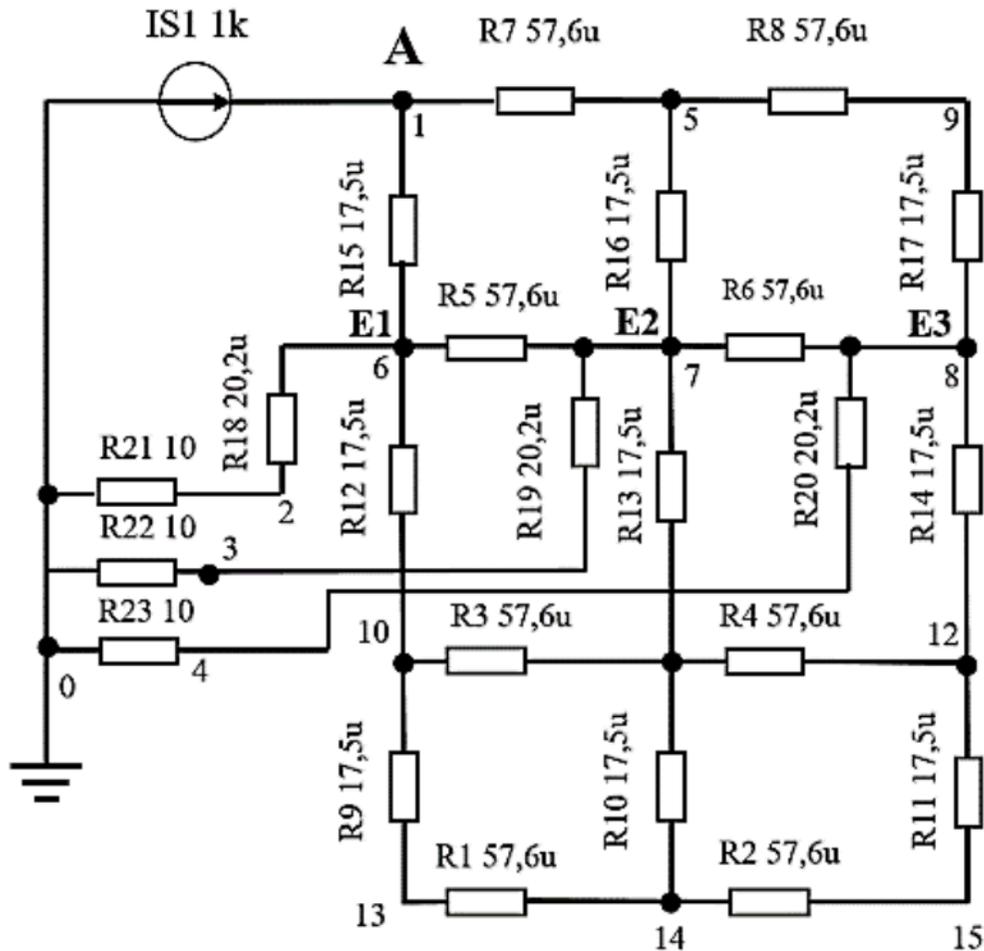
ภาพที่ 2 โครงสร้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์



ภาพที่ 3 แบบจำลองการติดตั้งที่ใช้ในการจำลองผล

จากภาพที่ 2 และภาพที่ 3 เป็นแบบจำลองที่ถูกกำหนดขึ้นจากสถานที่ติดตั้งจริงโดยยกตัวอย่างมาเพื่อใช้ในการจำลองผลสำหรับดูความเหมาะสมของระบบค้นหาสถานที่ที่ติดตั้งไปนั้นถูกต้องตามที่มาตรฐานได้กล่าวไว้จริง

หรือไม่ โดยทำการร่างโครงข่ายความต้านทานของชุดโครงสร้างอลูมิเนียมแต่ละจุดของโครงสร้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยโปรแกรมแมตแลบดังแสดงในภาพที่ 4 [11-13]



ภาพที่ 4 โครงข่ายความต้านทานของตัวโครงสร้างอลูมิเนียม

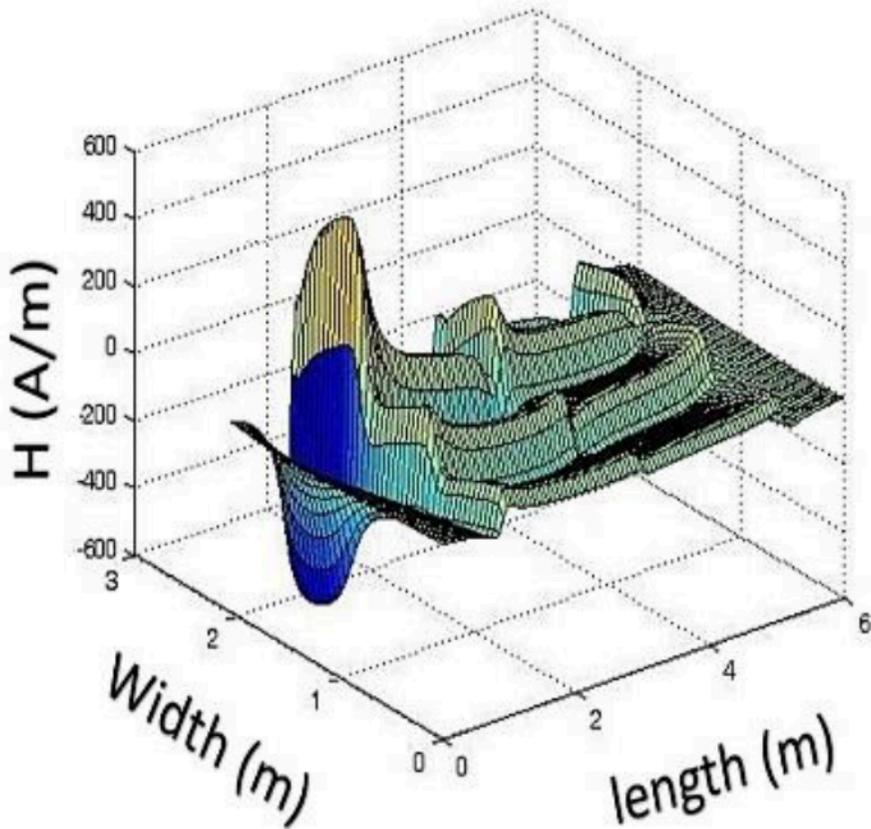
จากภาพที่ 4 อธิบายได้ว่ากระแสเหนี่ยวนำที่เข้ามายังตัวโครงสร้างนั้น ค่าความต้านทาน R และจุดที่โครงสร้างติดตั้งผ่านลงดินนั้นเกิดความต้านทาน RE ขึ้น ซึ่งค่าความต้านทานต่าง ๆ มีผลต่อค่ากระแสที่เหนี่ยวนำเข้ามาภายในระบบ [14-15]

3.2 ผลจากการจำลองผ่านโปรแกรม Network simulation program และ MATLAB

จากที่กล่าวมาข้างต้นนั้นเป็นที่ทราบอยู่แล้วว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อปริมาณแรงดันเหนี่ยวนำในระบบนั้นส่วนหนึ่งมาจากการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยการต่อสายระหว่างแผงหนึ่งไปยัง

อีกแผงหนึ่งในจุดนี้หากมีการเพิ่มวงลูบการเชื่อมต่อสายโดยมีระยะที่มากเกินไปจะส่งผลให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำในวงลูบสูงขึ้นตามไปด้วย [16] และอีกปัจจัยหนึ่งคือวัสดุที่นำมาใช้เป็นโครงสร้างติดตั้งและ

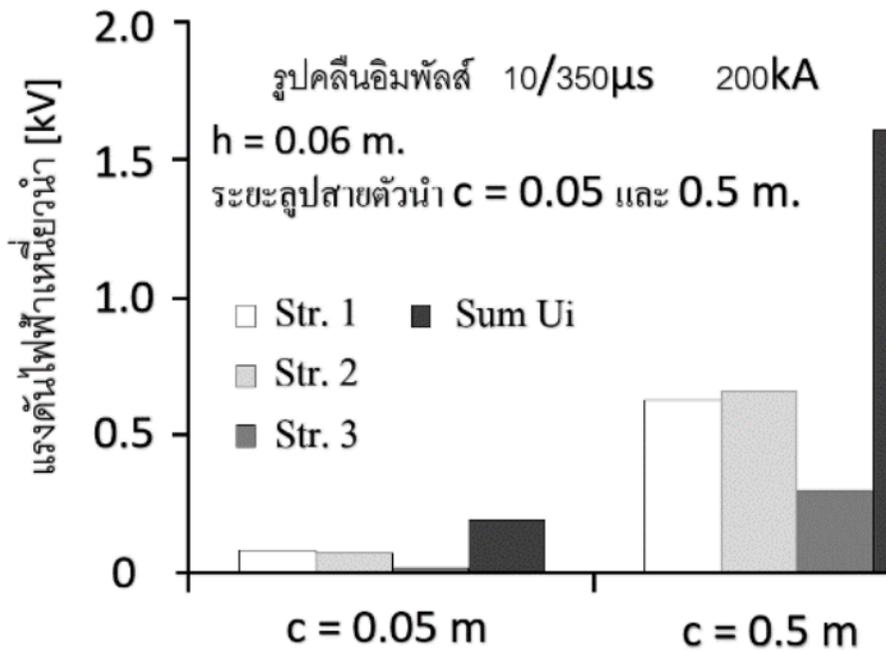
ระบบสายดินซึ่งความต้านทานของตัวโครงสร้างและความต้านทานดินก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการไหลเวียนของปริมาณแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำ [17] ดังแสดงในภาพที่ 5



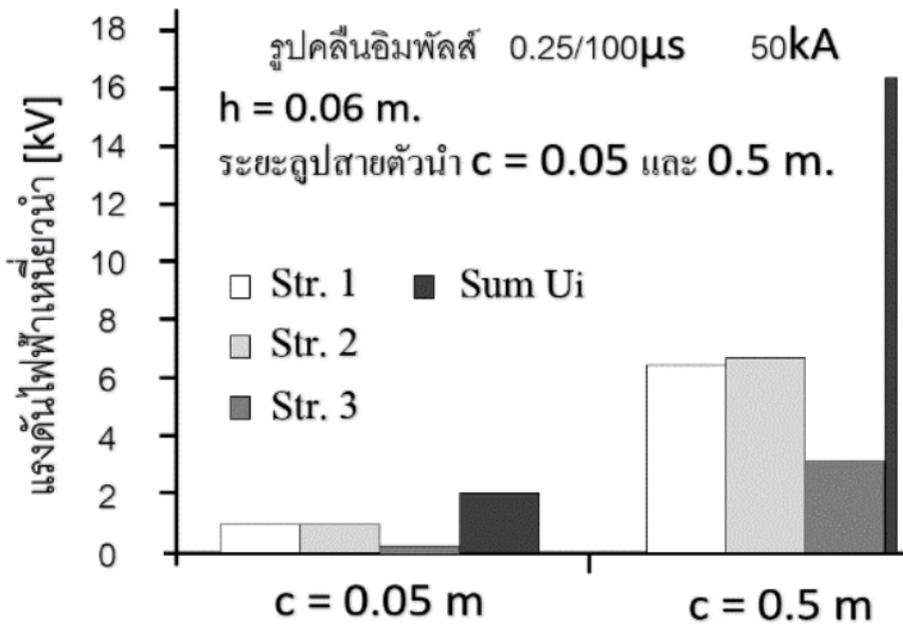
ภาพที่ 5 รูปแบบสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นที่จุด A

จากภาพที่ 5 ความสูงระหว่างแผงกับโครงสร้างอลูมิเนียม $h = 0.09$ เมตร จะเห็นว่าสนามแม่เหล็กไฟฟ้ามีการกระจายตัว และจุดที่ A จะมีปริมาณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่สูงที่สุด ในส่วนของปริมาณแรงดันไฟฟ้า

เหนี่ยวนำซึ่งส่งผลให้เกิดความเสียหายต่ออินเวอร์เตอร์ ในที่นี้ กำหนดให้ ความยาวแต่ละแถวของแผง (Length) $a = 6$ เมตร และความกว้างลูบ (width) $c = 0.05$ และ 0.5 เมตรดังแสดงในภาพที่ 6 และภาพที่ 7



ภาพที่ 6 แรงดันเหนี่ยวนำอิมพัลส์ 10/350 μ s ที่จุด A



ภาพที่ 7 แรงดันเหนี่ยวนำอิมพัลส์ 0.25/100 μ s ที่จุด A

จากผลแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำจากการจำลองในภาพที่ 6 และภาพที่ 7 แสดงให้เห็นว่าระยะความกว้างของการเชื่อมต่อสายระหว่างแผงที่ปริมาณต่างกันก่อให้เกิดการเหนี่ยวนำของแรงดันไฟฟ้าที่ต่างกัน [18] กรณีเกิดอิมพัลส์ฟ้าผ่า $10/350 \mu\text{s}$ ที่ระยะ 0.5 เมตร จะมีปริมาณแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นเฉลี่ย 0.5kV เมื่อเทียบกับที่ระยะ 0.05 เมตร ซึ่งมีปริมาณแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นเฉลี่ย 0.1 kV ส่วนกรณีเกิดอิมพัลส์ฟ้าผ่า $0.25/100 \mu\text{s}$ ที่ระยะ 0.5 เมตร จะมีปริมาณแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นเฉลี่ย 5 kV เมื่อเทียบกับที่ระยะ 0.05 เมตร ซึ่งมีปริมาณแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเกิดขึ้นเฉลี่ย 1 kV ทั้งนี้จากผลปริมาณแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้น สามารถนำมาใช้พิจารณาในการเลือกใช้ขนาดพิกัดของอุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกิน (Surge protection device : SPD) ทั้งนี้จากผลทดสอบและสถานที่ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์จึงเลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกิน Class II เนื่องจากระบบดังกล่าวไม่ได้ถูกติดตั้งใกล้เสาตัวนำล่อฟ้าส่วนการพิจารณาพิกัดแรงดันเกินของอุปกรณ์ ที่ระยะ $c = 0.05$ เมตร จะเลือกใช้พิกัดแรงดัน < 2kV ที่พิกัดกระแส In 30kA และ I_{max} 60kA ในการใช้งาน [19]

4. สรุปผลการทดลอง

บทความนี้ได้นำเสนอการศึกษาปัจจัยการป้องกันฟ้าผ่าสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ โดยทำการศึกษาระบบแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำเนื่องจากผลกระทบจากฟ้าผ่าและความเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นกับตัวโครงสร้างและสายตัวนำ จากการศึกษาพบว่าปัจจัยหลัก

ที่มีผลต่อปริมาณแรงดันเหนี่ยวนำในระบบฯ คือ ความสูงระหว่างแผงกับโครงสร้างที่มีผลต่อระยะวงลูบการต่อสายระหว่างแผง วัสดุที่ใช้ทำโครงสร้างและระบบสายดิน ผลจากการศึกษาคือเกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้ากระจายตัว แต่มีปริมาณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสูงสุดอยู่หนึ่งจุด ส่วนผลกระทบจากปริมาณแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ทำให้เกิดความเสียหายต่ออินเวอร์เตอร์ พบว่าการใช้ระยะลูบสายตัวนำที่สั้นจะทำให้เกิดแรงดันเหนี่ยวนำน้อยกว่าการใช้ระยะลูบสายตัวนำที่ยาวเมื่อเกิดอิมพัลส์ฟ้าผ่าในปริมาณเดียวกัน รวมทั้งผลการศึกษาในบทความนี้ ยืนยันว่าระบบป้องกันฟ้าผ่าที่พิจารณาระดับ 2 (Class II) ที่นิยมติดตั้งด้านกระแสตรงจึงเป็นเพียงอุปกรณ์หนึ่งที่ช่วยลดผลกระทบจากฟ้าผ่าแค่บางส่วนเท่านั้น แต่ไม่สามารถป้องกันผลจากแรงดันอิมพัลส์ได้ ข้อมูลจากการศึกษาในบทความนี้อาจนำไปใช้ประกอบการตัดสินใจเลือกชนิดและพิกัดอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าของระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์ เช่น อุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกิน เป็นต้น

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้การสนับสนุนบทความนี้จนประสบความสำเร็จ

6. อ้างอิง

- [1] Ministry of Energy. Alternative Energy Development Plan: AEDP 2015 [Internet]. Bangkok: Energy Policy and Planning Office Ministry of Energy; 2015[cited 2021]. Available from:

- <http://www.eppo.go.th/index.php/th/pla-n-policy/tie-b/a-e-d-p>
- [2] Papon Ng, Nattachote R, Sakhon W. Application Improvement of Voltage Profile by Photovoltaic Farm on Distribution System. 2019 International Conference on Power, Energy and Innovations (ICPEI) , 2019 Oct 16-18; Pattaya, Thailand. IEEE: 2019. p98-101.
- [3] Chalmers S, Hitt M, Underhill J, et al. The Effect of Photovoltaic Power Generation on Utility Operation. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, 1985; PAS-104(3). 1985 March; IEEE. p.524–530.
- [4] Patapoff N. Mattijetz D. Utility Interconnection Experience with an Operating Central Station MW- Sized Photovoltaic Plant. IEEE Transactions on Power Systems and Apparatus, 1985; PAS- 104(8). 1985 March; IEEE. p.2020–2024.
- [5] General principles. Protection against lightning-Part 1. IEC (EN) 62305-1.
- [6] Risk management. Protection against lightning-Part 2. IEC (EN) 62305-2.
- [7] เบนจามิน แฟรงคลิน: Benjamin Franklin [อินเทอร์เน็ต]. [เข้าถึงเมื่อ 2564]. จาก: http://122.155.197.218/index.php?option=com_k2&view=item&id=2281:benjamin-franklin&Itemid=335
- [8] พวงร้อย. ฟิสิกส์ของฟ้าผ่า [อินเทอร์เน็ต]. [เข้าถึงเมื่อ 2564]. จาก: <http://www.rmutphysics.com/physics/oldfront/53/Lighting/index2.htm>
- [9] Physical damage to Structures and life hazard. Protection against lightning - Part 3. IEC (EN) 62305-3.
- [10] Electrical and electronic systems within the structures. Protection against lightning-Part 4. IEC (EN) 62305-4.
- [11] Protection of PV installation against Over Voltages. TS 50539-12:2009.
- [12] Roberto P, Riccardo T. Risk assessment and lightning protection for PV systems and solar power plants. International Conference on Renewable Energies and Power Quality; 2012 March 20-30; Santiago de Compostela, Spain; 2012. P.1186-9.
- [13] Benesova Z, Haller R. Overvoltage in Photovoltaic Systems Induced by Lightning Strik. International Conference on Lightning Protection (ICLP); 2012 Sept 2-7; Vienna, Austria; IEEE; 2012.
- [14] Mirra C, Porrin A, Ardito A, et al. Lightning over voltages in low voltage networks. International Conference on Electricity Distribution. 1997 June 2-5; Birmingham, UK; IET:2002.
- [15] Zaini N H, Abidin M Z. Lightning Surge Analysis on a Large Scale Grid-Connected Solar Photovoltaic System. Energies. 2017; 10(12).
- [16] Araneo R, Maccioni M, Lauria S. Analysis of the lightning transient response of the

- earthing system of large-scale ground-mounted PV plants. International Conference on Power Tech; 2017, IEEE Manchester PowerTech; 2017.
- [17] Kisielewicz T, Lo Piparo G B, Napolitano F, et al. SPD dimensioning in front of indirect flashes to overhead low voltage power lines. IEEE International Conference on Environ. Electr. Eng; 2015; June 10-13; Rome, Italy; 2015. P.1216–21.
- [18] Araneo R, Celozzi S. Transient behavior of wind towers grounding systems under lightning strikes. Inter. Journal Energy Environ. Eng. 2016; 7(2):235-47.
- [19] Mendez Y, Acosta I, Rodriguez J, et al. Effects of the PV- generator's terminals connection to ground on electromagnetic transients caused by lightning in utility scale PV- plants. International Conference on Lightning Protection (ICLP). 2016 Sept 25-30; Estoril, Portugal; 2016. P.1-8.