

โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการออกแบบเพื่อการติดตั้งตัวนำล่อฟ้า ในระบบโฟโตโวลตาอิก

Computer Program for Designing of Lightning Rod installation in PV Systems

ทรงพล อีฐรัตน์^{1*}, สมชัย หิรัญวโรดม,²บุญยัง ปลั่งกลาง³

Songpol Ittarat^{1*}, Somchai Hiranvarodom², Boonyang Plangklang³

Received : 15 October 2012 ; Accepted : 10 December 2012

บทคัดย่อ

ระบบผลิตกำลังไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ปัจจุบันได้มีการติดตั้งเพิ่มขึ้นอย่างแพร่หลายทั่วโลก ซึ่งปัจจุบันประเทศไทยมีกำลังการผลิตรวมมากกว่า 2,300 เมกกะวัตต์ซึ่งระบบโฟโตโวลตาอิกนี้เป็นที่ทราบกันว่าเป็นระบบที่ติดตั้งในที่โล่งแจ้งเพื่อนำแสงอาทิตย์มาเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าให้ได้มากที่สุด ดังนั้น จึงมีความเสี่ยงที่จะได้รับอันตรายจากการถูกฟ้าผ่า การออกแบบและติดตั้งระบบโฟโตโวลตาอิก จึงจำเป็นต้องคำนึงถึงระบบป้องกันฟ้าผ่าด้วย โดยในบทความนี้ได้นำเสนอการประเมินเชิงวิเคราะห์ ความเสี่ยงจากการถูกฟ้าผ่าของระบบโฟโตโวลตาอิก โดยใช้โปรแกรม MATLAB ช่วยออกแบบตัวนำล่อฟ้าของระบบโฟโตโวลตาอิก ในการกำหนดจุดติดตั้งและความสูงของตัวนำล่อฟ้าโดยการประยุกต์ใช้วิธีมุมป้องกันในการออกแบบ โปรแกรมในบทความนี้ได้นำไปทดลองใช้ออกแบบการติดตั้งตัวนำล่อฟ้าสำหรับระบบโฟโตโวลตาอิก ขนาด 25 กิโลวัตต์ซึ่งติดตั้งบนพื้นที่โล่งกลางแจ้ง 360 ตารางเมตร ในจังหวัดเพชรบุรี โดยนำผลการออกแบบไปทวนสอบด้วยโปรแกรม 3D เขียนแบบ พบว่าระบบ โฟโตโวลตาอิก ทั้งหมดได้รับการป้องกันจากตัวนำล่อฟ้าที่ออกแบบ

คำสำคัญ: โปรแกรมออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่า ป้องกันฟ้าผ่าระบบโฟโตโวลตาอิก ตัวนำล่อฟ้า

Abstract

Photovoltaic (PV) systems are increasingly being installed worldwide. A PV system installed in Thailand produces more 2,300 MW. Due to the fact that a PV system technically converts solar radiation into electric power, PV systems must be installed in out doo rareas. For this reason PV systems have the risk of damage from lightning strike. Therefore, designing and installation of a PV system must involve a lightning protection system. This paper presents an analytical evaluation of the risk of damage from lightning strikes. The MATLAB program was used to design the number of lightning rods that will be installed, position, and height of lightning rods based on the protective angle method. This computer program, which is to be developed in this work, will be applied to the selected PV system of 25 kW_p and installed at a 360 square meters area outdoor in the Phetchaburi province of Thailand. The results from the design are re-checked with another program called "3D", It has been shown that both results have the same solutions. This is proof that the developed program is able to be used for lightning protection solution for a PV system.

Keywords: Program for designing lightning protection system , Lightning Protection in PV System, Lightning Rod

¹ นิสิตปริญญาโท, ²ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ³อาจารย์, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110,

¹ Master degree student, ²Assist. Prof., ³Lecturer., Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Klong 6, Thanyaburi, Pathumthani 12110, Thailand. ³ Prof., Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Klong 6, Thanyaburi, Pathumthani 12110, Thailand.

* Corresponding author; Somchai Hiranvarodom ,BoonyungPlangklang, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Klong 6, Thanyaburi, Pathumthani 12110, Thailand. songpol_it@hotmail.com

บทนำ

เนื่องจากการติดตั้งระบบโฟโตโวลตาอิก จำเป็นต้องติดตั้งในที่โล่งแจ้งเพื่อให้สามารถผลิตพลังงานได้อย่างเต็มที่ซึ่งพื้นที่ในประเทศไทยนั้น มีลักษณะภูมิอากาศแบบร้อนชื้นและมีมรสุม โดยมีจำนวนวันพายุฝนฟ้าคะนองต่อปี (Thunderstorm day, Td) ตั้งแต่ 50-120 วันต่อปี¹ ดังนั้นระบบโฟโตโวลตาอิกจึงมีความเสี่ยงจากความเสียหายที่เกิดจากฟ้าผ่าทั้งทางตรงและทางอ้อม โดยในบทความนี้จะกล่าวถึงความเสียหายจากฟ้าผ่าทางตรงระบบป้องกันความเสียหายจากฟ้าผ่าทางตรงมีองค์ประกอบ 3 ส่วนคือ Air Terminal, Down Conductor และ Earth Terminal โดยการออกแบบตำแหน่งและความสูงของ Air Terminal มีผลต่อความสามารถในการป้องกันพื้นที่ทั้งหมดที่ติดตั้งระบบโฟโตโวลตาอิก ซึ่งการออกแบบความสูงและตำแหน่งของ Air Terminal ที่ใช้โดยทั่วไปมีอยู่ 3 วิธีคือ Rolling Sphere Method, Protective Angle Method และ Mesh Method²

จากการสำรวจข้อมูลพบว่าโปรแกรมที่ใช้ช่วยออกแบบการติดตั้งตัวนำล่อฟ้าที่ใช้งานในท้องตลาดนั้นมีชื่อว่า SESShield³ ซึ่งใช้ Rolling Sphere Method ร่วมกับการทำ 3D model เพื่อตรวจสอบว่าตัวนำล่อฟ้าที่ติดตั้งนั้นเพียงพอต่อการป้องกันหรือไม่ ซึ่งโปรแกรมดังกล่าวถูกใช้งานกับการออกแบบสถานีไฟฟ้า และงานวิจัยของภูวนารถ ชูณหพราน⁴ ได้ทำการสร้างโปรแกรมช่วยออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าของอาคารทั่วไปใช้ Rolling Sphere Method และ Le Viet Dung⁵ ได้ทำการสร้างโปรแกรมช่วยออกแบบการติดตั้งตัวนำล่อฟ้าเช่นกันและใช้ Rolling Sphere Method เพื่อตรวจสอบว่าตัวนำล่อฟ้าที่ติดตั้งนั้นเพียงพอต่อการป้องกันหรือไม่ ซึ่งโปรแกรมทั้งสามแบบที่กล่าวมาข้างต้นจำเป็นต้องมีการกำหนดจุดติดตั้งและความสูงของตัวนำล่อฟ้าก่อน

ในบทความนี้จะนำเสนอโปรแกรมช่วยออกแบบจุดติดตั้งและความสูงของตัวนำล่อฟ้าสำหรับใช้กับระบบโฟโตโวลตาอิก โดยผู้ใช้งานสามารถป้อนข้อมูลขนาดของระบบโฟโตโวลตาอิก และข้อมูลอื่นๆ โปรแกรมจะทำการคำนวณความสูงและ จำนวน ของตัวนำล่อฟ้า โดยโปรแกรมใช้เทคนิค Protective Angle Method

การประเมินความเสี่ยงจากการถูกฟ้าผ่าของระบบโฟโตโวลตาอิก

ได้มีการศึกษาเกี่ยวกับการประเมินความเสี่ยงจากการถูกฟ้าผ่าของระบบโฟโตโวลตาอิก⁶ เพื่อใช้ประเมินว่าสมควรติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าหรือไม่ โดยประเมินจากสองตัวแปรหลักคือ

1. ค่าความถี่ของการเกิดวาบฟ้าผ่าที่ยอมรับได้กับสิ่งปลูกสร้าง Nc

2. ค่าความถี่ของการเกิดวาบฟ้าผ่าโดยตรงกับสิ่งปลูกสร้าง Nd

โดยถ้า $N_d \geq N_c$ หมายถึงระบบไม่จำเป็นต้องติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่า แต่ถ้า $N_d \leq N_c$ หมายถึงระบบจำเป็นต้องติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่า ในบทความนี้จะนำเสนอตัวอย่างการประเมินความเสี่ยงในระบบโฟโตโวลตาอิก 25 กิโลวัตต์ซึ่งติดตั้งใน ณ อำเภอท่ายาง จังหวัดเพชรบุรี โดยการประเมินค่า Nc และ Nd มีรายละเอียดดังนี้

2.1 การประเมินค่า Nc

Nc เป็นตัวเลขที่แสดงถึงค่าความถี่ของการเกิดวาบฟ้าผ่าที่ยอมรับได้กับสิ่งปลูกสร้าง โดยสามารถคำนวณตามสมการที่ 1 [6] โดยค่า A, B, C และ D เป็นไปตามตารางที่ 1[6]

$$N_c = A \times B \times C \times D \quad (1)$$

Table 1 Individual factor for determination of the accepted frequency of direct lightning discharge in solar systems Nc²

Investment value of the PV Systems	A
Low Investment < 100,000 Bath	1.0
Average Investment 100,000 – 2,000,000 Bath	0.1
Hi Investment > 2,000,000 Bath	0.01
Investment value of any equipment also damaged	B
Low Investment < 100,000 Bath	1.0
Average Investment 100,000 – 2,000,000 Bath	0.1
Hi Investment > 2,000,000 Bath	0.01
Demands on availability	C
Failure acceptable for several day to weeks	1.0
Failure acceptable to a limited extent for several day to weeks	0.1
Failure not acceptable for several day to weeks	0.01
Other consequential damage (apart from material damage and consequences of the failure)	D
Low	1.0
Moderate	0.5
High	0.1
Very high	0.01

สำหรับระบบโพลีโวลตาอิกที่ใช้ในบทความนี้ใช้เงินลงทุน 2.5 ล้านบาทมูลค่าอุปกรณ์อื่นๆที่จะเสียหายมีค่าปานกลาง ระบบมีการจำหน่ายไฟฟ้าดังนั้นไม่สามารถหยุดงานได้และความเสียหายอื่นๆมีค่าต่ำ ดังนั้นจึงคำนวณค่า N_c ได้เท่ากับ 0.00001 หรือ 10×10^{-6}

2.2 การประเมินค่า Nd

N_d เป็นตัวเลขที่แสดงถึง ความถี่ของการเกิดวาวฟ้าผ่าโดยตรงกับสิ่งปลูกสร้าง โดยสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 2⁶

$$N_d = N_g \times A_e \times C_e \times 10^{-6} \quad (2)$$

โดยค่า N_g หมายถึง ค่าเฉลี่ยของจำนวนครั้งการเกิดฟ้าผ่าต่อปีในพื้นที่นั้นๆ โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3²

$$N_g = 0.04 \times T_d^{1.25} \quad (3)$$

โดยค่า T_d หมายถึงจำนวนวันที่มีฝนฟ้าคะนองต่อปี สำหรับระบบโพลีโวลตาอิก ในบทความนี้ติดตั้งที่อำเภอท่ายาง จังหวัดเพชรบุรี ซึ่งมีค่า $T_d = 60$ วันต่อปี⁷ ดังนั้นจึงคำนวณค่า N_g ได้ 6.68 ครั้งต่อตารางกิโลเมตรต่อปี A_e คือ พื้นที่รับฟ้าผ่าสมมูลของสิ่งปลูกสร้างพิจารณาคำนวณได้จากสมการที่ 4²

$$A_e = L \cdot W + 6 \cdot H \cdot (L + W) + 9 \cdot \pi \cdot H^2 \quad (4)$$

โดย L, W, H คือ ความยาว ความกว้างและ ความสูงของระบบโพลีโวลตาอิก ซึ่งระบบตัวอย่างในบทความนี้คำนวณ A_e ได้เท่ากับ 2,396.38 ตารางเมตรและค่า C_e หมายถึง สัมประสิทธิ์ของพื้นที่ที่ติดตั้งระบบมีค่าดังตารางที่ 2⁶

Table 2 Coefficient for the consideration of the surroundings of the object²

Relative location of the object	Ce
Object in a large area with buildings or trees of the same height or higher	0.25
Object Surrounded by smaller buildings	0.5
Free-standing object on further object within a distance of tree time the height of the free standing object	1
Free-standing object on a mountain peak or brow	2

จากตารางที่ 2 ค่า C_e ของระบบตัวอย่างในบทความนี้เท่ากับ 1 ดังนั้นจากสมการที่ 2 จะคำนวณค่า N_c ได้เท่ากับ 16.01×10^{-3} ซึ่งมีค่ามากกว่า N_d ดังนั้นระบบนี้จึงจำเป็นต้องมีการป้องกันฟ้าผ่า

3. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ออกแบบติดตั้งตัวนำป้องกันฟ้าผ่าระบบโพลีโวลตาอิก

โปรแกรมในบทความนี้ประยุกต์ใช้วิธีการมุมป้องกันในการออกแบบ โดยบริเวณที่อยู่ในรูปกรวยตามรูปที่ 1 ได้รับการป้องกันจากการถูกฟ้าผ่า

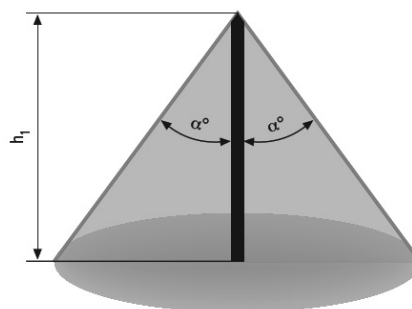


Figure 1 Protective Angle Method

โดยค่าของมุมป้องกัน α° จะขึ้นอยู่กับความสูง h_1 และ ระดับชั้นของการป้องกัน (Protection Class) รูปแบบการติดตั้งตัวนำล่อฟ้าสำหรับระบบโพลีโวลตาอิก นั้นจะต้องระวังไม่ให้เกิดเงาบังบนแผงระบบโพลีโวลตาอิก ดังนั้นรูปแบบการติดตั้งจึงต้องติดตั้งด้านหลังของแผงระบบโพลีโวลตาอิก โดยความสูงต้องไม่สูงจนเงาไปบังแผงระบบโพลีโวลตาอิก ด้านหลัง ดังรูปที่ 2 และระยะห่างของแต่ละเสาต้องเท่ากัน

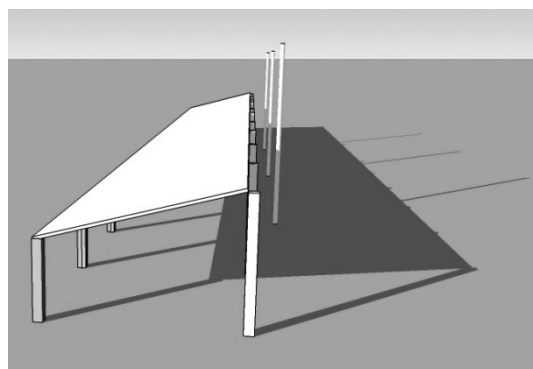


Figure 2 Shadow of lightning rod across to the rear

จุดติดตั้งของตัวนำล่อฟ้าจะต้องทำให้แผงระบบโพลีโวลตาอิก ทั้งหมดอยู่ในเขตป้องกัน โดยพิจารณาระยะไกลที่สุด p และความสูงของระบบระบบโพลีโวลตาอิก t ให้อยู่ในเขตป้องกัน ดังรูปที่ 3

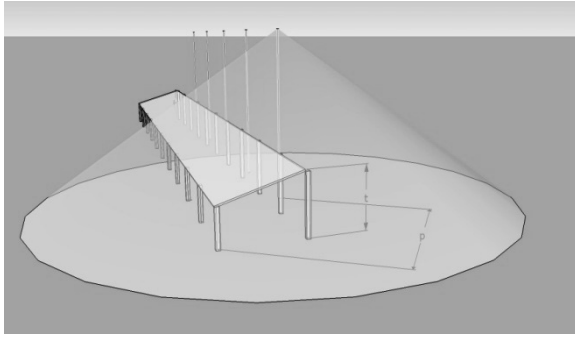


Figure 3 The (P) and (t) Distance in defensive line

โดยระยะ P คำนวณได้จากสมการที่ 5 ดังนี้

$$p = \sqrt{\left(\frac{l}{n+1}\right)^2 + (w+s)^2} \quad (5)$$

l คือ ความยาวของพื้นที่ติดตั้งระบบโฟโตโวลตาอิก

n คือ จำนวนต้นของตัวนำล่อฟ้า, ต้น

w คือ ความยาวของพื้นที่ติดตั้งระบบโฟโตโวลตาอิก, เมตร

s คือ ระยะห่างเพื่อความปลอดภัยระหว่างระบบกับเสาตัวนำล่อฟ้า, เมตร

p คือ ระยะป้องกันที่ไกลที่สุด, เมตร

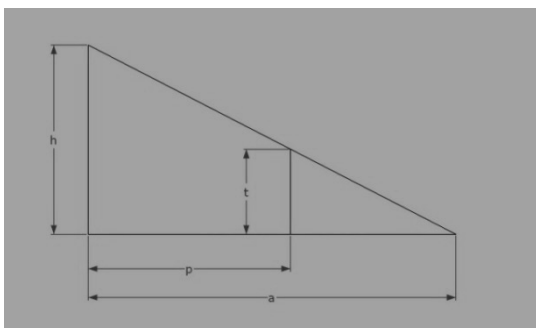


Figure 4 The distance protection a

จากรูปที่ 4 เพื่อให้เขตป้องกันครอบคลุมความสูง t และระยะ p ต้องเลือกใช้ตัวนำล่อฟ้าที่มีระยะป้องกันมากกว่าหรือเท่ากับ a ซึ่งจากกฎของสามเหลี่ยมคล้ายสามารถหาค่า a ได้จากสมการที่ 6 ดังนี้

$$a \geq \frac{h \times p}{h - t} \quad (6)$$

นำหลักการที่กล่าวมาข้างต้นสร้างโปรแกรมเพื่อช่วยในการออกแบบการติดตั้งตัวนำล่อฟ้าด้วย MATLAB โดยใช้ Flow Chart ดังรูปที่ 5 ดังนี้

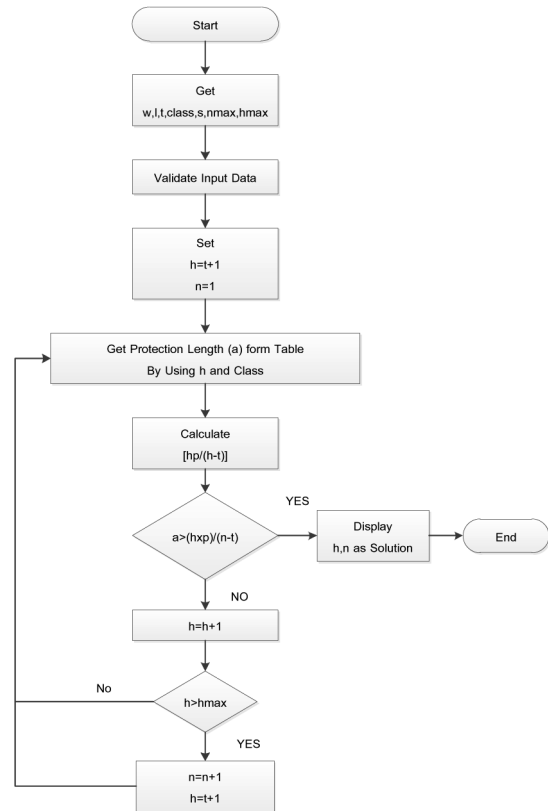


Figure 5 Flow chart of the program

โดยโปรแกรมรับค่าต่างๆจากผู้ใช้โปรแกรมจะกำหนดค่าความสูงเริ่มต้นของตัวนำล่อฟ้าเปิดตารางเพื่อรับข้อมูลระยะป้องกัน a และ คำนวณหาค่าตามสมการที่ 6 ถ้ายังไม่สามารถป้องกันระบบได้ทั้งหมดโปรแกรมจะเพิ่มค่าความสูงของตัวนำล่อฟ้าและ/หรือจำนวนต้นของตัวนำล่อฟ้าจนระบบโฟโตโวลตาอิก ทั้งหมดได้รับการป้องกัน

การทดลองและผลการทดลอง

ทำการทดสอบการทำงานของโปรแกรมด้วยการออกแบบการติดตั้งตัวนำล่อฟ้าให้กับระบบโฟโตโวลตาอิกแบบเชื่อมต่อสายส่งขนาด 25 กิโลวัตต์ติดตั้งในที่โล่งแจ้งอำเภอท่ายาง จังหวัดเพชรบุรี พื้นที่ติดตั้งระบบโฟโตโวลตาอิก กว้าง 6 เมตร ยาว 60 เมตร ด้านที่สูงที่สุดของระบบโฟโตโวลตาอิก สูง 4 เมตร ต้องการระดับชั้นการป้องกันที่ 3 ให้ระยะห่างระหว่างตัวนำล่อฟ้ากับอุปกรณ์ในระบบเท่ากับ 1 เมตรและไม่ต้องการให้ตัวนำล่อฟ้าสูงเกิน 12 เมตร



Figure 6 PV Plant use test atThayangPetchaburi Province

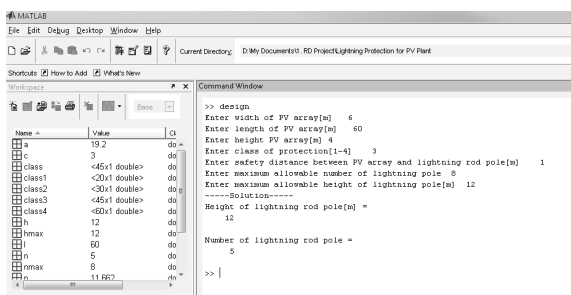


Figure 7 Examples of applications MATHLAB

จากผลลัพธ์การออกแบบของโปรแกรมได้ว่าต้องติดตั้งตัวนำล่อฟ้าสูง 12 เมตรจำนวน 5 ต้น ซึ่งแต่ละต้นจะอยู่ด้านหลังแผงระบบโฟโตโวลตาอิก และแต่ละต้นจะอยู่ห่างกัน 10 เมตร จากข้อมูลดังกล่าวนำมาตรวจสอบด้วยโปรแกรมเขียนแบบสามมิติของระบบโฟโตโวลตาอิก และตัวนำล่อฟ้าโดยเขียนพื้นที่ป้องกันตามตารางของวิธี Protective Angle เพื่อตรวจสอบพื้นที่ที่ได้รับการป้องกันจากตัวนำล่อฟ้าพบว่าแผงระบบโฟโตโวลตาอิก ทั้งหมดอยู่ในเขตป้องกันดังรูปที่ 8

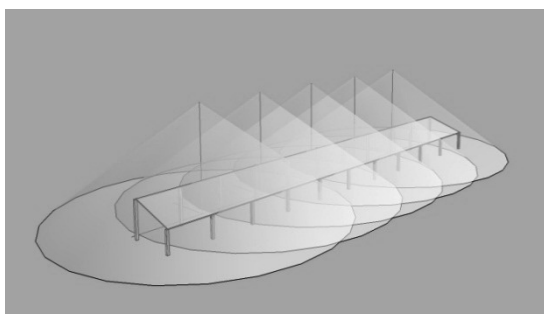


Figure 8 Validation on result by 3D drawing

สรุปผล

ระบบโฟโตโวลตาอิก มักติดตั้งในที่โล่งแจ้งซึ่งมีความเสี่ยงที่จะได้รับความเสียหายจากการถูกฟ้าผ่า บทความนี้ได้นำเสนอวิธีการประเมินความเสี่ยงต่อการถูกฟ้าผ่าและวิธีการตัดสินใจว่าจะติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าให้กับระบบโฟโตโวลตาอิก หรือไม่ โดยใช้ระบบตัวอย่างขนาด 25 กิโลวัตต์ซึ่งติดตั้งบนพื้นที่ 360 ตารางเมตร ณ อำเภอท่ายาง จังหวัดเพชรบุรี ซึ่งพบว่าระบบดังกล่าวมีความจำเป็นต้องติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่า พร้อมทั้งได้นำเสนอโปรแกรมช่วยออกแบบการติดตั้งตัวนำล่อฟ้าด้วย MATLAB ที่ช่วยกำหนดความสูงและจำนวนของตัวนำล่อฟ้าที่จะใช้งาน และได้ทำการทดสอบผลการออกแบบที่ได้จากโปรแกรมด้วยการใช้โปรแกรมเขียนแบบสามมิติของระบบโฟโตโวลตาอิก และตัวนำล่อฟ้าที่ได้จากโปรแกรมออกแบบ โดยเขียนพื้นที่ป้องกันตามตารางของวิธี Protective Angle และตรวจสอบพื้นที่ที่ได้รับการป้องกันจากตัวนำล่อฟ้า พบว่าแผงระบบโฟโตโวลตาอิก ทั้งหมดอยู่ในเขตป้องกันตามที่ออกแบบด้วยโปรแกรมที่นำเสนอ

เอกสารอ้างอิง

- [1] ชัยมงคล คำสุข, ระบบป้องกันและกำจัดฟ้าผ่าของ ทศท., วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขา วิศวกรรมศาสตร์ไฟฟ้า, บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์; 2543.
- [2] สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. มาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าสำหรับสิ่งปลูกสร้าง 2546. มาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย 2003.
- [3] SESShield-3D, Graphical Analysis and Design of Lightning Shielding Systems for Complex Geometries, Available form: www.sestech.com/Products/SoftUtil/SESShield.htm. Accessed February 21, 2011.
- [4] ภูวนารถ ชุณหปราณ, โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าของอาคารทั่วไป, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขา วิศวกรรมศาสตร์ไฟฟ้า, บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2543.
- [5] Le Viet Dung and Petcharak K., Lightning Protection System Design for Substation by using Mast and Matlab. World Academy of Science Engineering and Technology; 2010.

- [6] Becker H., VaaBen W., VaBen F., Bosanac M., Katic I. Lightning and Over voltage protection for PV System. The European Commission Directorate-General for Energy and Transport 200; 2000.
- [7] กรมอุตุนิยมวิทยา ข้อมูลจำนวนครั้งที่เกิดฟ้าคะนองประจำปี 2554