



การวิเคราะห์การติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าในระบบผลิตไฟฟ้า

พลังงานแสงอาทิตย์แบบติดบนหลังคา

The Analysis of Installation of Lightning Protection System
in Photovoltaic Rooftop System

นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ

ศุภวุฒิ เนตรโพธิ์แก้ว

สาคร วุฒิพัฒน์พันธุ์

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณกองทุนเพื่อการวิจัย

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2567

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อเรื่อง : การวิเคราะห์การติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าในระบบผลิตไฟฟ้า
พลังงานแสงอาทิตย์แบบติดบนหลังคา

ผู้วิจัย : รศ.ดร.นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.พระนคร
รศ.ดร.ศุภวุฒิ เนตรโพธิ์แก้ว สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.พระนคร
รศ.ดร.สาคร วุฒิพัฒน์พันธุ์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.พระนคร

พ.ศ. : 2567

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้นำเสนอการวิเคราะห์การติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าในระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดบนหลังคา วัตถุประสงค์ของโครงการเพื่อป้องกันระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดบนหลังคา โดยใช้การออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าบนหลังคา ซึ่งระบบป้องกันฟ้าผ่าจะช่วยแก้ปัญหาค่าความเสียหายเมื่อเกิดฟ้าผ่าบริเวณหลังคาที่ติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา ดังนั้นจึงเสนอการติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าในระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดบนหลังคา

Title : The Analysis of Installation of Lightning Protection System
in Photovoltaic Rooftop System

Researcher : Associate Professor Dr.Nattachote Rugthaicharoencheep,
Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, RMUTP
Associate Professor Dr.Supawud Nedphokaew,
Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, RMUTP
Associate Professor Dr.Sakhon Woothipatanapan,
Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, RMUTP
Year : 2024

Abstract

This research project presents an analysis of the installation of lightning protection systems for rooftop solar power generation systems. The objective of the project is to protect rooftop solar power generation systems by designing a lightning protection system for rooftops. The lightning protection system will help mitigate damage when lightning strikes the rooftop where the solar power generation system is installed. Therefore, the installation of a lightning protection system for rooftop solar power generation systems is proposed.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่อง การวิเคราะห์การติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าในระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนหลังคาได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2567 ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณผู้เกี่ยวข้องที่ไม่ได้กล่าวนามในที่นี้ ที่ให้ความช่วยเหลือตลอดมา ประโยชน์อันใดที่เกิดจากงานวิจัยในครั้งนี้ ล้วนเป็นผลมาจากความกรุณาทุกท่าน คณะผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยขอมอบบูชาแด่คณาจารย์ทุกท่านที่ประสาทวิชาความรู้แก่คณะผู้วิจัย

คณะผู้วิจัย



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
1.4 กรอบแนวคิด	1
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	1
1.6 นิยามศัพท์	2
1.7 คำสำคัญ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ทฤษฎีระบบป้องกันฟ้าผ่า	3
2.2 กลไกการเกิดฟ้าผ่า	3
2.3 ผลกระทบจากฟ้าผ่า	5
2.4 ชั้นของระบบป้องกันฟ้าผ่า	8
2.5 ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอก	9
2.6 การจัดวางตำแหน่งตัวนำล่อฟ้า	9
2.7 การติดตั้งรากสายดิน	14
2.8 การบำรุงรักษา และตรวจสอบพินิจระบบป้องกันฟ้าผ่า	15
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินการ	
3.1 บทนำ	16
3.2 ขั้นตอนการวิจัย	17
3.3 การประเมินด้านความประสิทธิภาพ	17
3.4 การประเมินความรุนแรงด้านสิ่งแวดล้อม	18

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินการ	
3.5 การประเมินความรุนแรงด้านความปลอดภัยหรือความน่าเชื่อถือ	19
3.6 การประเมินความรุนแรงด้านการเงิน	19
3.7 ทำการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่า	20
3.8 รื้อถอนระบบป้องกันฟ้าผ่า	20
3.9 ติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่า	22
บทที่ 4 ผลวิจัย	
4.1 วิธีการทดสอบเพื่อการประเมินสภาพ	23
4.2 ทำการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่า	26
4.3 การรื้อถอนระบบป้องกันฟ้าผ่า	28
4.4 การติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่า	29
4.5 การวัดค่าความต้านทานหลักดิน	31
บทที่ 5 สรุปผล และข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการจำลอง	33
5.2 ข้อเสนอแนะ	33
บรรณานุกรม	34
คณะผู้วิจัย	36

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

เนื่องจากประเทศระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา กำลังได้รับความนิยมในการติดตั้งเนื่องจากมีประโยชน์หลายประการ เป็นการประยุกต์ใช้พลังงานหมุนเวียน การลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และเป็นการลดค่าไฟฟ้าของสถานที่นั้นๆ แต่ถ้าบนหลังคาไม่มีระบบป้องกันฟ้าผ่าจะส่งผลให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่อยู่บนหลังคา

เทคนิคการการออกแบบระบบสายล่อฟ้าให้ได้ผลที่เหมาะสมที่สุดทั้งทางเทคนิคและทางเศรษฐศาสตร์จะเป็นไปได้ก็ต่อเมื่อใช้ประโยชน์ของส่วนโลหะของสิ่งปลูกสร้างเป็นส่วนประกอบของระบบสายล่อฟ้าด้วย การเลือกระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอกโดยส่วนใหญ่ ระบบสายล่อฟ้าภายนอกอาจจะยึดติดกับสิ่งปลูกสร้างที่จะป้องกัน ควรพิจารณาเลือกใช้ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอกแบบแยกอิสระ เมื่อเกิดการระเบิด ณ จุดฟ้าผ่า หรือบนตัวนำที่นำกระแสฟ้าผ่าอาจก่อความเสียหายต่อสิ่งปลูกสร้าง

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อการบูรณาการเทคโนโลยีการติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าเพื่อป้องกันระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา

1.2.2 เพื่อเป็นแนวทางในการติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าบนหลังคา

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 ศึกษาคุณสมบัติของระบบป้องกันฟ้าผ่าและอุปกรณ์ไฟฟ้า

1.3.2 ออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าและอุปกรณ์ไฟฟ้า

1.3.3 ทำการติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าและอุปกรณ์ไฟฟ้า

1.4 กรอบแนวคิด

เป็นการศึกษาระบบป้องกันฟ้าผ่าโดยการประเมินระบบป้องกันฟ้าผ่าที่ทำการติดตั้งด้วยอายุการใช้งานยาวนาน โดยสามารถนำมาพิจารณาออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่า เพื่อติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าที่ปลอดภัยต่อระบบและผู้คน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้ทราบถึงคุณสมบัติของระบบป้องกันฟ้าผ่าและอุปกรณ์ไฟฟ้า

1.5.2 ได้ทราบการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าและอุปกรณ์ไฟฟ้า

1.5.3 ได้เรียนรู้การติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าและอุปกรณ์ไฟฟ้า

1.6 นิยามศัพท์

1.6.1 เซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) เป็นสิ่งประดิษฐ์กรรมทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างขึ้นเพื่อเป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยการนำสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิกอน ซึ่งมีมากที่สุดบนพื้นโลกมาผ่านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เพื่อผลิตให้เป็นแผ่นบางบริสุทธิ์ และพื้นที่ที่แสงตกกระทบบนแผ่นเซลล์ รังสีของแสงที่มีอนุภาคของพลังงานประกอบที่เรียกว่าโฟตอน (Photon) จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอน (Electron) ในสารกึ่งตัวนำจนมีพลังงานมากพอที่จะกระโดดออกมาจากแรงดึงดูดของอะตอม (Atom) และเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ดังนั้นเมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ครบวงจรจะทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสตรงขึ้น เมื่อพิจารณาลักษณะการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์พบว่า เซลล์แสงอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพการผลิตไฟฟ้าสูงสุดในช่วงเวลากลางวัน ซึ่งสอดคล้องและเหมาะสมในการนำเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้ผลิตไฟฟ้า เพื่อแก้ไขปัญหาการขาดแคลนพลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลากลางวัน

1.6.2 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน

เป็นระบบผลิตกระแสไฟฟ้าที่ถูกออกแบบสำหรับทำงานร่วมกับอุปกรณ์ผลิตไฟฟ้าอื่นๆ เช่น ระบบเซลล์แสงอาทิตย์กับพลังงานลม และไฟฟ้าพลังน้ำ เป็นต้น โดยรูปแบบระบบจะขึ้นอยู่กับความต้องการออกแบบตามวัตถุประสงค์โครงการเป็นกรณีเฉพาะ

1.6.3 ระบบป้องกันฟ้าผ่า

ระบบป้องกันฟ้าผ่าแบ่งเป็น 2 ชนิด ได้แก่ 1. Early Streamer Emission (ESE) หลักการทำงานของระบบล่อฟ้าแบบ ESE หรือ หัวล่อฟ้าแบบ ESE เมื่อมีลำประจุเริ่มจากก้อนเมฆลงมา ทำให้สนามแม่เหล็กมีค่าสูงขึ้นทำให้หัวล่อฟ้าแบบ ESE นั้นปล่อยประจุออกมา และสร้างลำประจุอย่างรวดเร็วทำให้ฟ้าผ่าลงมาที่หัวล่อฟ้าแบบ ESE โดยหัวล่อฟ้าแบบ ESE นั้นถูกสร้าง ออกแบบ และออกมาตราฐาน โดยประเทศฝรั่งเศส 2. Faraday Cage หลักการทำงานของระบบสายล่อฟ้าแบบ Faraday Cage มีแท่งแฟรงกลิน เป็นตัวล่อ โดยมีการต่อเชื่อมกันของแท่งแฟรงกลิน ด้วยสายทองแดงเป็นตาราง แท่งแฟรงกลิน แต่ละแท่งนั้นจะห่างกันไม่เกิน 25-30 m ทำให้การติดตั้งระบบสายล่อฟ้าแบบฟาราเดย์ นั้นใช้สายทองแดง แท่งแฟรงกลิน และแท่งกราวด์เป็นจำนวนมาก

1.7 คำสำคัญ

ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบผสมผสาน, ระบบป้องกันฟ้าผ่า, ล่อฟ้าแบบ Faraday Cage

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีระบบป้องกันฟ้าผ่า

ปรากฏการณ์ฟ้าผ่าเป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ โดยในปี ค.ศ. 1752 ได้มีการพิสูจน์ให้เห็นได้อย่างชัดเจน จาก Benjamin Franklin และ Thomas Folger ที่เมืองฟิลาเดลเฟีย ประเทศสหรัฐอเมริกาว่า ปรากฏการณ์ฟ้าผ่า เกิดจากการสปาร์กไฟฟ้าซึ่งเป็นผลทำให้เกิดการดิสชาร์จของประจุไฟฟ้าในก้อนเมฆ จากการค้นพบในครั้งนี้ จึงทำให้เป็นจุดเริ่มต้นของการพัฒนาหลักของการป้องกันฟ้าผ่าด้วยเสาหล่อฟ้า ที่เรียกว่า Franklin rod มาจนถึงปัจจุบันนี้



รูปที่ 2.1 การทดลองปรากฏการณ์ฟ้าผ่าโดยใช้ว่าว [1]

2.2 กลไกการเกิดฟ้าผ่า

ฟ้าผ่าเป็นการปลดปล่อยประจุที่สะสมอยู่ในก้อนเมฆที่เรียกว่า เมฆฝนฟ้าคะนอง (Thundercloud) หรือนักอุตุนิยมวิทยาเรียกว่า เมฆคิวมูโลนิมบัส (cumulonimbus) [2] ดังแสดงในรูปที่ 2.2



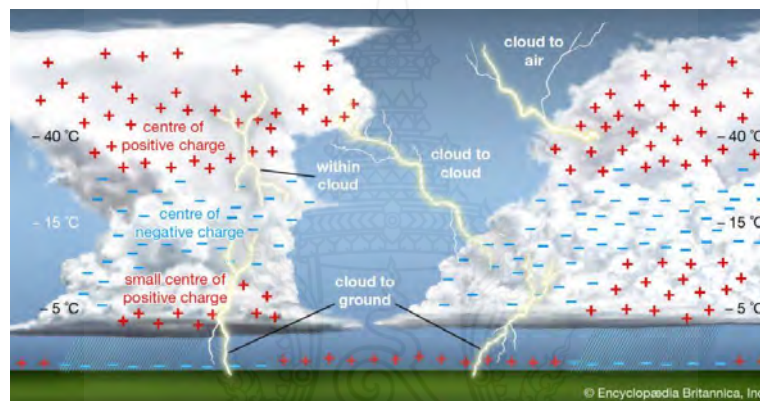
รูปที่ 2.2 เมฆคิวมูโลนิมบัส

ลมและอากาศแปรปรวนที่ทำให้เกิดการสะสมประจุไฟฟ้าในกลุ่มเมฆแบ่งเป็นสองประเภท คือ

- ลมพายุฤดูร้อน (Heat storm) เป็นลมที่เกิดในวันที่มีอากาศร้อนอบอ้าว อากาศร้อนจากบริเวณใกล้พื้นดินลอยตัวขึ้นและเย็นตัวลงในที่สูง ทำให้เกิดลมและเกล็ดน้ำแข็งขอลตามลมไปยังที่อื่น

- ลมพายุแนวปะทะอากาศ (Frontal storm) เกิดจากกลุ่มเมฆในอากาศที่เย็นกว่า เคลื่อนตัวไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง ทำให้เกิดเป็นลมพายุฤดูร้อนสลับกันไป

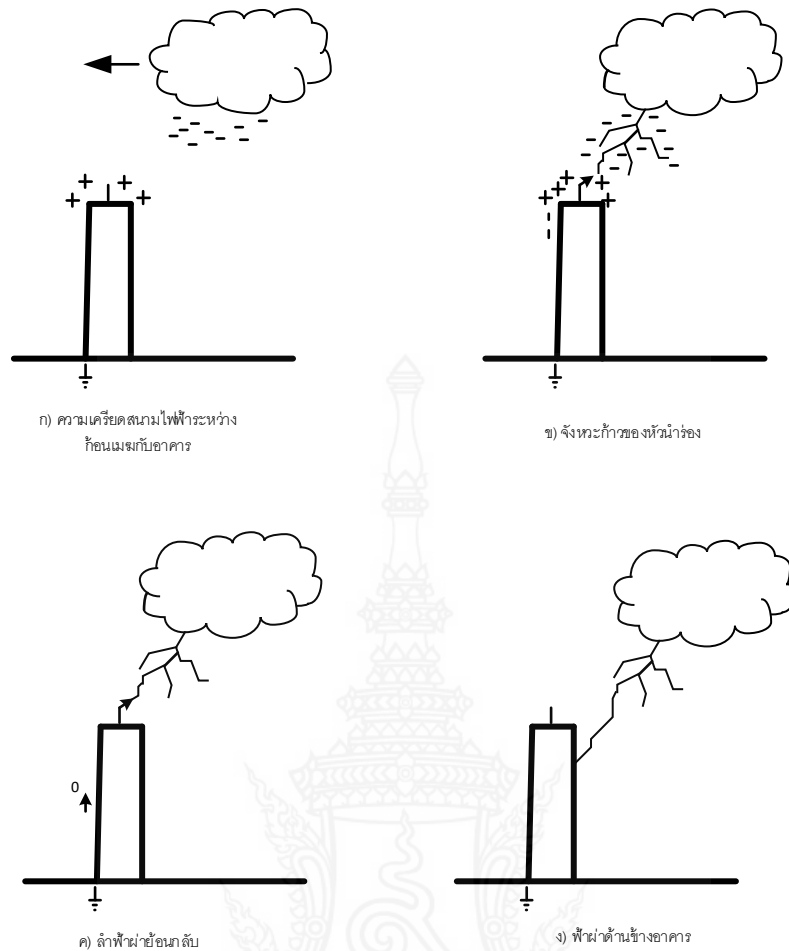
ในก้อนเมฆจะมีประจุไฟฟ้าอยู่โดยเฉพาะบริเวณฐานมีละอองน้ำที่จับประจุลบได้มาก และส่วนบนของก้อนเมฆมีละอองเกล็ดน้ำแข็งที่รับประจุบวกได้มากกว่า ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ในขณะที่เกิดพายุฟ้าคะนอง อากาศมีความแปรปรวน ประจุในก้อนเมฆเกิดการถ่ายเทเพื่อลดความเครียดสนามไฟฟ้า มีการเสียสภาพของอากาศ เกิดเป็นช่องฟ้าผ่าที่มีสภาพเป็นตัวนำกระแสไฟฟ้าชั่วขณะที่เกิดฟ้าผ่า



รูปที่ 2.3 ประจุในก้อนเมฆคิวมูโลนิมบัส

ฟ้าผ่าเริ่มเกิดจากการไอออไนเซชันของอากาศเมื่อความเครียดสนามไฟฟ้าที่ก้อนเมฆมีค่าอยู่ในช่วง 10 kV/cm ถึง 30 kV/cm อากาศเกิดการแตกตัวให้ประจุไฟฟ้า และในขณะเดียวกันประจุลบที่อยู่บริเวณฐานก้อนเมฆจะเหนี่ยวนำให้เกิดประจุบวกบนพื้นดินหรือสิ่งปลูกสร้างที่อยู่ใต้ก้อนเมฆ เกิดความเครียดสนามไฟฟ้าที่บริเวณดังแสดงในรูปที่ 2.4 กลไกการเกิดฟ้าผ่าเริ่มโดยหัวนำร่อง (Leader) จากก้อนเมฆที่มีความยาวประมาณ 50 m~ รอบๆหัวนำร่องมีการแตกตัวของอากาศในเซกต์มีประมาณ 30 cm ชักนำให้เกิดหัวนำร่องใหม่ในทิศทางที่อากาศแตกตัวได้ง่ายที่สุดในลักษณะจิ้งหะกั้ว (Step leader) แต่ละกั้วจิ้งหะใช้เวลาในระดับไมโครวินาที เมื่อหัวนำร่องขยายตัวเข้าใกล้พื้นดิน (ยอดอาคาร) ความเครียดสนามไฟฟ้าค่าสูงทำให้เกิดสตรีมเมอร์พุ่งขึ้นจากพื้นดินเข้าหาหัวนำร่อง เกิดเป็นลำฟ้าผ่ามีเสียงดังและแสงจ้าจากพื้นโลกขึ้นไปสู่ก้อนเมฆด้วยความเร็วประมาณ 50×10^3 km/s การไหลของประจุชั่วคราวข้ามขึ้นไปยังก้อนเมฆนี้เรียกว่า ลำฟ้าผ่าย้อนกลับ (Return stroke) แนวช่องที่มีการไหลของประจุในอากาศยังคงมีความนำไฟฟ้าสูง การไหลของประจุสามารถเกิดขึ้นได้อีกเพื่อถ่ายเทประจุจาก ก้อนเมฆลงสู่พื้นดินเกิดเป็นลำฟ้าผ่าซ้ำ (Multi stroke)

ระยะก้าวตามสุดท้ายก่อนหัวนำร่องจากก้อนเมฆกระโดดเข้าหาสตรีมเมอร์จากพื้นดินเรียกว่า ระยะฟ้าผ่า (striking distance) มีระยะเฉลี่ยประมาณ 50 m [3]



รูปที่ 2.4 การเกิดฟ้าผ่าจากก้อนเมฆมายังอาคาร

2.3 ผลกระทบจากฟ้าผ่า

2.3.1 ผลกระทบจากฟ้าผ่าด้านความร้อน

ผลทางความร้อน มีผลทำให้เกิดเพลิงไหม้กับสิ่งที่ถูกฟ้าผ่า เนื่องจากเมื่อเกิดฟ้าผ่าจะมีลำแสงจ้าจากฟ้าผ่าโดยลำแสงมีเส้นผ่านศูนย์กลางเป็น cm และมีอุณหภูมิสูงถึง 30,000 K

$$W = U \int_0^\infty i dt = U_{A-K} Q \quad (2.1)$$

โดยที่

W = พลังงานฟ้าผ่า

U_{A-K} = แรงดันตกคร่อมแอโนด-แคโทดตรงจุดที่ฟ้าผ่ากระทบ

Q = ประจุไฟฟ้าเป็นคูลอมบ์ (หรือแอมป์-วินาที)

ดังนั้นในการออกแบบระบบสายล่อฟ้า ซึ่งต้องใช้เสาต่อฟ้าเป็นตัวล่อหรือรับให้ฟ้าลง และมีสายตัวนำลงดินที่ทำหน้าที่เป็นทางนำกระแสฟ้าให้ลงสู่ดินโดยเร็วที่สุด โดยไม่ทำให้สายตัวนำลงดินหลอมละลายหรืออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น จนเป็นเหตุให้เกิดเพลิงไหม้ นั่นคือ สายตัวนำลงดินจะต้องมีพื้นที่ภาคตัดขวางขนาดใหญ่

2.3.2 ผลกระทบจากฟ้าผ่าทางแรกกลบิตหรือแรงระเบิด

แรงกลบิตหรือแรงระเบิดมีผลทำให้สิ่งที่ถูกฟ้าผ่าพังทลายลงได้ ลักษณะของแรงกลบิตที่เกิดขึ้นนั้น มีสองแบบ คือ แบบหนึ่ง เมื่อกระแสไหลผ่านตัวนำแล้ว ทำให้เกิดแรงบิดขึ้นกับตัวนำนั้น เป็นแรงดึงดูดหรือแรงผลัก ขนาดแรงที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสกำลังสองของ I^2 เป็นสัดส่วนกลับระยะห่างระหว่างสายตัวนำทั้งสอง d นั่นคือ แรงที่เกิดขึ้นต่อหน่วยความยาวของตัวนำจะคำนวณได้จากสมการ 2.2

$$(Fdt) = \frac{10^{-7}}{d} \int i^2 dt \frac{N \text{ sec}}{m} \quad (2.2)$$

ถ้าล่อฟ้าผ่าลงตั้งฉากกับแนวของตัวนำจะเกิดแรงอิมพัลส์กระทำต่อตัวนำในแนวต่อตรงออกไปของลำฟ้าผ่า ซึ่งคำนวณได้จากสมการ 2.3

$$\int F dt = 10^{-7} \int i^2 dt N \text{ sec} \quad (2.3)$$

เมื่อ $i^2 dt$ เป็น $A^2 \text{ sec}$

ถ้ากระแสไหลในตัวนำที่เป็นบ่วงหรือวงแหวน จะเกิดแรงทำให้บ่วงนั้นขยายหรือยืดวงกว้างออก ส่วนแรงกลแบบที่สอง เนื่องจากลำฟ้าผ่ามีอุณหภูมิสูงมากทำให้อากาศรอบๆ ลำฟ้าผ่าขยายตัวออกอย่างรวดเร็ว เป็นผลให้เกิดคลื่นความดันในย่านความเร็วเหนือแสงแผ่กระจายไปรอบลำฟ้าผ่า เกิดเสียงดังสนั่นหวั่นไหวที่เรียกว่าฟ้าร้องนั่นเอง สำหรับในกรณีที่ฟ้าผ่าลงวัสดุนั้นจะเปลี่ยนเป็นไอ เกิดความดัน อาจมีผลทำให้ระเบิดได้

2.3.3 ผลกระทบจากฟ้าผ่าทางไฟฟ้า

ผลทางไฟฟ้าเกิดแรงดันเกินในระบบส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าซึ่งเป็นเสียต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบ เกิดคลื่นรบกวนต่อระบบสื่อสาร และเกิดแรงช่วงกาวที่เป็นอันตรายแก่สิ่งมีชีวิต ผลทางไฟฟ้าจากฟ้าผ่ามีหลายลักษณะ ดังนี้

2.3.3.1 การรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้า

การเกิดฟ้าผ่าจะเกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแผ่กระจายออกไปรบกวนระบบสื่อสารก่อให้เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ที่มีความไวต่อสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเกิดแรงดันเหนี่ยวนำจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นในตัวนำ ถ้าแรงดันเหนี่ยวนำสูงพอก็อาจเกิดสปาร์คได้

2.3.3.2 แรงดันสปาร์คด้านข้าง

ถ้ากระแสไฟฟ้า i ไหลผ่านตัวนำที่มีความเหนี่ยวนำ L และมีความต้านทานของดิน R_e จะทำให้แรงดันตกคร่อมความเหนี่ยวนำ และความต้านทาน ซึ่งอาจคำนวณได้จากสมการ 2.4

$$\Delta U = R_e i + L \frac{di}{dt} \quad (2.4)$$

โดยที่ di/dt คือความชันของของคลื่นกระแสไฟฟ้า

ถ้าความต้านทานของรากสายดินหรือความเหนี่ยวนำของสายตัวนำลงดินมีค่าสูงจะทำให้ศักย์ไฟฟ้า ΔU นี้มีค่าสูงอาจมากพอที่จะทำให้เกิดสปาร์คด้านข้าง หรือกระโดดเข้าหาส่วนที่ต่อลงดินอย่างดี ซึ่งการเกิดสปาร์คด้านข้างนี้ อาจทำให้เกิดเพลิงไหม้ได้

2.3.3.3 แรงดันเกินบนสายส่งจ่าย

ถ้าเกิดฟ้าผ่าลงบนสายส่งกำลังไฟฟ้า โดยตรง ย่อมทำให้เกิดแรงดันเกินขึ้นบนสายส่ง คือ ลำฟ้าผ่าเปรียบเสมือนเป็นต้นกำเนิดของตัวจ่ายกระแส เมื่อมีกระแสฟ้าผ่า i วิ่งลงบนสายส่ง ซึ่งมีค่าเสรีจิมพีแดนซ์ Z_w จะเกิดแรงดันสูงเป็นคลื่นจร วิ่งไปบนสายส่งทั้งสองทางของจุดที่ฟ้าลงมา มีค่าเท่ากับแรงกดต้นสูงคลื่นจรนี้ เมื่อวิ่งไปถึงจุดที่มีอุปกรณ์ไฟฟ้าต่ออยู่ เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า อาจทำให้เกิดความเสียหายแก่อุปกรณ์เหล่านั้นได้

2.3.3.4 แรงดันเกินในระบบแรงดันต่ำ

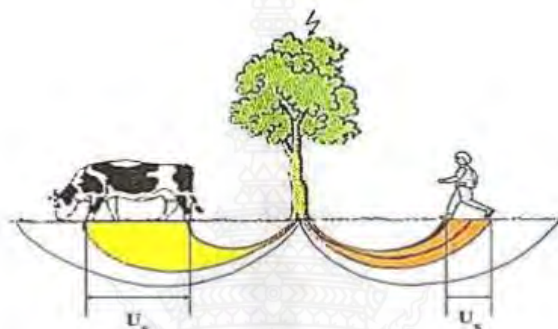
แรงดันเกินที่เกิดขึ้นอาจจะมีค่าไม่สูงเหมือนเช่นที่เกิดขึ้นในระบบสายส่งกำลังแรงสูงแต่มีค่าสูงพอที่จะทำให้เกิดความเสียหายแก่อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในบ้าน ภายในอาคารสำนักงาน หรือโรงงานเพาะอุปกรณ์แรงดันต่ำเหล่านี้ ความเป็นฉนวนมีค่าต่ำ ไม่อาจจะทนแรงดันเกินที่มีค่าเป็นสิบๆ KV ได้

2.3.3.5 อันตรายจากฟ้าผ่าที่เกิดแก่คนโดยตรง

โดยธรรมชาติแล้ว ฟ้าจะผ่าลงที่ที่อยู่สูงเด่นกว่าสิ่งอื่น เช่น สิ่งก่อสร้างหรืออาคารสูงต้นไม้สูงเด่น หรือคนที่ยืนอยู่ในที่โล่ง อันตรายจากฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นแก่คนที่อยู่ภายนอกอาคารบ้านเรือนนั้นมีโอกาสเป็นไปได้ถ้าหากไปยืนเด่นในกลางที่แจ้ง เช่น ท้องทุ่ง สนามบริเวณที่กว้างปราศจากต้นไม้ในแม่น้ำกว้างใหญ่ ในทะเล หรืออยู่ในเส้นทางผ่านของกระแสไฟฟ้าได้สะดวก เช่น ยืนพิงต้นไม้สูงเด่นที่ถูกฟ้าผ่า หรือหลบฝนอยู่โคนต้นไม้สูงเด่นหรือต้นเตี้ยกลางทุ่งนา ซึ่งมักจะถูกฟ้าผ่าได้ง่าย เกิดอันตรายแก่คนที่หลบใกล้โคนต้นไม้ ทั้งนี้เนื่องจากฟ้าผ่าลงต้นไม้ กระแสไฟฟ้าไหลลงมาตามต้นไม้ลงสู่ดินนั้น ทำให้ต้นไม้ไม่มีศักย์ไฟฟ้าสูงมากพอ จึงเกิดสปาร์คผ่านอากาศเข้าหาคนได้

2.3.3.6 อันตรายจากแรงดันช่วงก้ำวและแรงดันสัมผัส

แรงดันช่วงก้ำวและแรงดันสัมผัส เป็นผลมาจากกระแสฟ้าผ่าไหลลงสู่พื้นดินซึ่งมีความต้านทาน การออกแบบระบบบรากสายดินที่ดีและถูกต้อง จะต้องคำนึงถึงการป้องกันอันตรายแรงดันช่วงก้ำว และแรงดันสัมผัสสองประการนี้แก่คนและสัตว์ เมื่อมีกระแสไฟไหลลงสู่ดิน แผ่กระจายออกไปในดิน ซึ่งมีความต้านทานจะทำให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างเท้าซ้ายและเท้าขวาในขณะก้าวเดิน กรณีคนจะคิดเท่ากับ 1 m หรือระหว่างเท้าหน้าหลังของสัตว์ เรียกว่าแรงดันช่วงก้ำว ส่วนแรงดันสัมผัส หมายถึงความต่างศักย์ระหว่างตัวนำหรือโครงสร้างที่กระแสไหลผ่านลงไปสู่บรากสายดิน ที่คนมีโอกาสสัมผัสถึงดินที่ยืนอยู่ [4]



รูปที่ 2.5 แรงดันช่วงก้ำว U_s (Stepped Voltages)

2.4 ชั้นของระบบป้องกันฟ้าผ่า

ลักษณะเฉพาะของระบบป้องกันฟ้าผ่าหาได้จากลักษณะเฉพาะของสิ่งปลูกสร้างที่จะป้องกันและจากระดับป้องกันฟ้าผ่าที่พิจารณา ซึ่งเป็นตัวกำหนดชั้นของระบบป้องกันฟ้าผ่าแบ่งออกเป็น 4 ชั้น [5]-[6] ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ระดับชั้นป้องกันฟ้าผ่า

ระดับการป้องกันฟ้าผ่า (LPL)	ชั้นของระบบป้องกันฟ้าผ่า (class of LPS)	ประสิทธิภาพของระดับการป้องกัน (%)
I	I	99
II	II	97
III	III	91
IV	IV	84

จากตารางที่ 2.2 ระดับการป้องกันฟ้าผ่าที่ I เป็นระดับการป้องกันที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

2.5 ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอก

จุดมุ่งหมายของระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอก คือ การรับวาบฟ้าผ่าโดยตรงลงสู่ปลุกสร้างรวมทั้งวาบฟ้าผ่าเข้าสู่ด้านข้างสิ่งปลูกสร้าง และนำกระแสฟ้าผ่าจากจุดฟ้าผ่าลงสู่ดิน อีกหนึ่งจุดประสงค์ คือ การกระจายกระแสฟ้าผ่าลงสู่ดินโดยไม่ทำให้เกิดความเสียหายทางกลและความร้อน รวมทั้งไม่ทำให้เกิดประกายอันตรายที่อาจจุดชนวนให้เกิดเพลิงไหม้ หรือการระเบิด

2.5.1 ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอกแบบไม่แยกอิสระ

ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอกแบบไม่แยกอิสระ คือ ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอกที่ยึดติดกับสิ่งปลูกสร้างที่จะป้องกัน ข้อเสีย คือ ถ้าเกิดความร้อนที่จุดฟ้าผ่าหรือบนตัวนำที่นำกระแสฟ้าผ่าอาจทำความเสียหายให้กับสิ่งปลูกสร้าง ระยะห่างระหว่างตัวนำของระบบป้องกันฟ้าผ่ากับวัสดุที่ติดไฟได้ต้องมีค่าน้อย 0.1 เมตร (10 เซนติเมตร)

2.5.2 ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอกแบบแยกอิสระ

ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอกแบบแยกอิสระจะพิจารณาเลือกใช้เมื่อสิ่งที่อยู่ภายในสิ่งปลูกสร้างไม่สามารถรับระดับการรบกวนของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากพัลส์กระแสฟ้าผ่าที่ไหลผ่านตัวนำลงดิน ทำให้ต้องลดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

ระบบป้องกันฟ้าผ่าแบบแยกอิสระก็ยังติดตั้งบนสิ่งปลูกสร้างที่ทำจากวัสดุเช่น อิฐ หรือ ไม้ และต้องไม่มีการต่อเข้ากับส่วนตัวนำของสิ่งปลูกสร้างหรือเข้ากับบริเวณที่ติดตั้งอยู่ภายใน ยกเว้นเพียงการต่อเข้ากับรางสายดินที่ระดับดินระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอกที่ยึดติดกับสิ่งปลูก

2.6 การจัดวางตำแหน่งตัวนำล่อฟ้า

วิธีการที่ยอมรับที่ใช้ในการหาตำแหน่งการจัดวางระบบตัวนำล่อฟ้า [7] ได้แก่

- วิธีมุมป้องกัน เหมาะสำหรับอาคารที่มีรูปทรงง่าย ๆ
- วิธีทรงกลมกลิ้ง เหมาะสำหรับทุกกรณี
- วิธีตาข่าย เหมาะสำหรับป้องกันพื้นผิวที่เป็นระนาบ

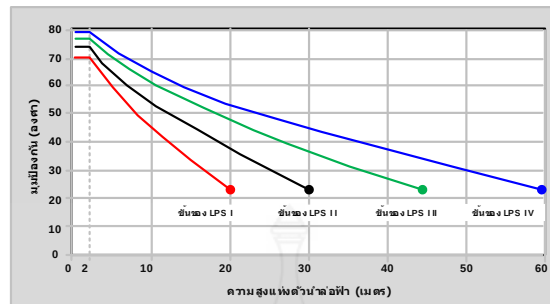
2.6.1 การจัดวางตำแหน่งระบบตัวนำล่อฟ้าโดยวิธีมุมป้องกัน

ลักษณะพื้นที่ของการป้องกันจะเป็นรูปทรงกรวย [8] การวางตำแหน่งของตัวนำล่อฟ้าต้องให้สิ่งปลูกสร้างที่จะป้องกันทั้งหมดอยู่ในปริมาตรป้องกันของระบบตัวนำล่อฟ้าตัวนำล่อฟ้า แท่งตัวนำล่อฟ้า เสาล่อฟ้า และลวดซึ่ง ควรมีการจัดวางตำแหน่งเพื่อให้ส่วนต่าง ๆ ของสิ่งปลูกสร้างที่จะป้องกันอยู่ในปริมาตรป้องกัน ระนาบอ้างอิงด้วยมุม ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ระบายอ้างอิงด้วยมุม

ความสูงแท่ง ตัวนำล่อฟ้า h (เมตร)	ชั้นของระบบป้องกัน ฟ้าผ่าระดับ I		ชั้นของระบบป้องกันฟ้าผ่า ระดับ II		ชั้นของระบบป้องกันฟ้าผ่า ระดับ III		ชั้นของระบบป้องกันฟ้าผ่า ระดับ IV	
	มุม ป้องกัน ๑ (องศา)	รัศมีของ บริเวณ ป้องกัน (เมตร)	มุมป้องกัน ๑ (องศา)	รัศมีของ บริเวณ ป้องกัน (เมตร)	มุมป้องกัน ๑ (องศา)	รัศมีของ บริเวณ ป้องกัน (เมตร)	มุมป้องกัน ๑ (องศา)	รัศมีของ บริเวณ ป้องกัน (เมตร)
1	71	2.90	74	3.49	77	4.33	79	5.14
2	71	5.81	74	6.97	77	8.66	79	10.29
3	66	6.74	71	8.71	74	10.46	76	12.03
4	62	7.52	68	9.90	72	12.31	74	13.95
5	59	8.32	65	10.72	70	13.74	72	15.39
6	56	8.90	62	11.28	68	14.85	71	17.43
7	53	9.29	60	12.12	66	15.72	69	18.24
8	50	9.53	58	12.80	64	16.40	68	19.80
9	48	10.00	56	13.34	62	16.93	66	20.21
10	45	10.26	54	13.76	61	18.04	65	21.45
11	43	10.07	52	14.08	59	18.31	64	22.55
12	40	10.16	50	14.30	58	19.20	62	22.57
13	38	10.17	49	14.95	57	20.02	61	23.45
14	36	10.12	47	15.01	55	19.99	60	24.25
15	34	10.00	45	15.00	54	20.65	59	24.96
16	32	9.42	44	15.45	53	21.23	58	25.61
17	29	9.17	42	15.31	51	20.99	57	26.18
18	27	8.86	40	15.10	50	21.45	56	26.69
19	25	8.49	39	15.39	49	21.86	55	27.13
20	23		37	15.07	48	22.21	54	27.53
21			36	15.26	47	22.52	53	27.87
22			34	14.84	46	22.78	52	28.16
23			33	14.94	45	23.00	51	28.40
24			32	15.00	44	23.18	50	28.60
25			30	14.43	43	23.31	49	28.76
26			29	14.41	41	22.60	49	29.91
27			27	13.76	40	22.66	48	29.99
28			26	13.66	39	22.67	47	30.03
29			25	13.52	38	22.66	46	30.03
30			23	12.73	37	22.61	45	30.00

จากตารางที่ 2.2 ค่าของมุมป้องกันมีค่าคงที่ของความสูงที่ต่ำกว่า 2 เมตร มุมป้องกันที่สมนัยกับชั้นของระบบป้องกันฟ้าผ่า ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 มุมป้องกันที่สมนัยกับชั้นของระบบป้องกันฟ้าผ่า

2.6.2 การจัดวางตำแหน่งระบบตัวนำล่อฟ้าโดยวิธีทรงกลมกลิ้ง

การวางตำแหน่งระบบตัวนำล่อฟ้าต้องไม่มีจุดใดของสิ่งปลูกสร้างที่จะป้องกันสัมผัสกับทรงกลมที่มีรัศมีตามชั้นของระบบป้องกันฟ้าผ่า ดังแสดงในตารางที่ 2.3

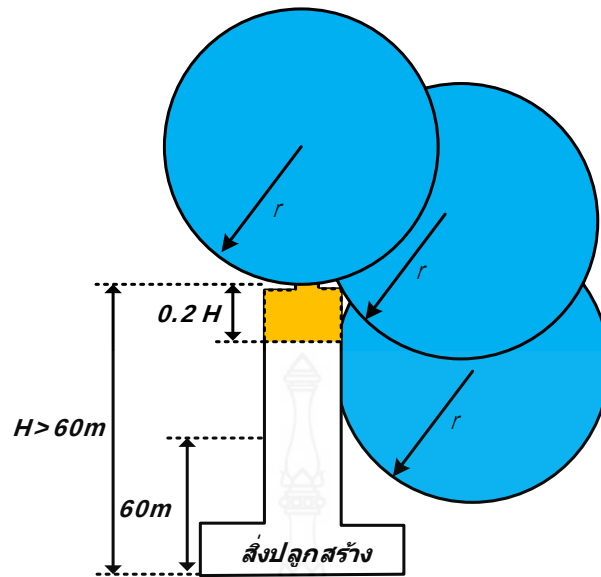
ตารางที่ 2.3 ค่าสูงสุดของรัศมีทรงกลมกลิ้ง ตามชั้นของระบบป้องกันฟ้าผ่า

ชั้นของระบบป้องกันฟ้าผ่า	รัศมีของทรงกลมกลิ้ง (เมตร)
I	20
II	30
III	45
IV	60

โดยกลิ้งทรงกลมไปโดยรอบและด้านบนของสิ่งปลูกสร้างทุกทิศทางที่เป็นไปได้ ทรงกลมนี้จะสัมผัสกับระบบตัวนำล่อฟ้าเท่านั้น รัศมีของทรงกลมกลิ้งจะสัมพันธ์กับค่ายอดของกระแสฟ้าผ่าที่ผ่าลงสิ่งปลูกสร้างสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.5

$$r = 10 \times i^{(0.65)} \quad (2.5)$$

จากสมการที่ 2.5 i มีหน่วยเป็น kA และ r มีหน่วยเป็นเมตร การออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าด้วยวิธีทรงกลมกลิ้ง ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าด้วยวิธีทรงกลมกลิ้ง

เมื่อทรงกลมกลิ้งใช้กับสิ่งปลูกสร้างและสัมผัสกับตัวนำล่อฟ้าในกรณีตัวนำล่อฟ้าแนวระดับ 2 เส้นขนานกันวางอยู่เหนือระนาบอ้างอิงแนวระดับ ระยะล่งล้ำ p ของทรงกลมกลิ้งที่ต่ำกว่าระดับของตัวนำล่อฟ้าในปริมาตรระหว่างตัวนำล่อฟ้าทั้งสองสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.6

$$p = r - \left[r^2 - \left(\frac{d}{2} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (2.6)$$

จากสมการที่ 2.6 h_t คือ ความสูงของแท่งตัวนำล่อฟ้าเหนือระนาบอ้างอิง

p คือ ระยะล่งล้ำของทรงกลมกลิ้ง

h คือ ความสูงของตัวนำล่อฟ้า

r คือ รัศมีของทรงกลมกลิ้ง

d คือ ระยะการแยกระหว่างลวดขึงล่อฟ้าแนวระดับ 2 เส้นที่ขนานกันหรือระหว่างแท่งตัวนำล่อฟ้า 2 แท่ง

2.6.3 การจัดวางตำแหน่งระบบตัวนำล่อฟ้าโดยวิธีตาข่าย

กรณีที่ต้องการป้องกันพื้นผิวราบ การใช้ตาข่ายถือว่าป้องกันพื้นผิวได้ทั้งหมด

2.3.3.1 ตำแหน่งของตัวนำล่อฟ้าต้องติดตั้งที่

- แนวขอบหลังคา
- ที่ยื่นออกมาของหลังคา
- แนวเส้นสันหลังคา กรณีความชันของหลังคามากกว่า 1/10

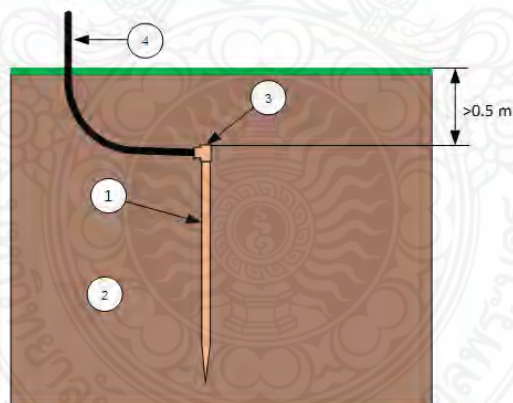
โดยที่วิธีตาข่ายเหมาะสมกับหลังคาราบและเอียงที่ไม่มีความโค้ง เหมาะสำหรับผิวราบ ด้านข้าง เพื่อป้องกันวบบฟ้าผ่าด้านข้าง และถ้าความชันของหลังคาเกิน 1/10 อาจใช้ตัวนำล่อฟ้าเดินขนานกันแทนตาข่ายโดยให้ระยะห่างระหว่างตัวนำล่อฟ้ามีค่าไม่มากกว่าความกว้างของตาข่ายที่ต้องการ ค่าสูงสุดของตาข่ายตามชั้นของระบบป้องกันฟ้าผ่า ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ค่าสูงสุดของตาข่ายตามชั้นของระบบป้องกันฟ้าผ่า

ชั้นของระบบป้องกันฟ้าผ่า	รัศมีของทรงกลมกลิ้ง (เมตร)
I	5 X 5
II	10 X 10
III	15 X 15
IV	20 X 20

2.7 การติดตั้งรากสายดิน

ค่าความต้านทานการต่อลงดินต้องไม่เกิน 5 โอห์ม ยกเว้นพื้นที่ที่ยากในการปฏิบัติและการไฟฟ้าฯ เห็นชอบยอมให้ค่าความต้านทานของหลักการต่อลงดินดินดินต้องไม่เกิน 25 โอห์ม หากทำการวัดแล้วยังมีค่าเกิน ให้ปักหลักดินเพิ่มอีก 1 แท่งและต่อสายเชื่อมกับหลักดินทุกแท่งเข้าด้วยกันอย่างใช้ได้ดี [9] การจัดวางรากสายดินแบบ ก ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การจัดวางรากสายดินแบบ ก

- จากรูปที่ 2.8
- 1 คือ แท่งรากสายดินที่ต่อเพิ่มความยาวได้
 - 2 คือ ข้อต่อแท่งรากสายดิน
 - 3 คือ ดิน
 - 4 คือ แคลมป์ยึดตัวนำ (สายดิน) กับแท่งรากสายดิน
 - 5 คือ ตัวนำรากสายดิน

2.8 การบำรุงรักษา และตรวจสอบพินิจระบบป้องกันฟ้าผ่า

วัตถุประสงค์ของการตรวจพินิจ มีดังนี้

- เพื่อให้ระบบป้องกันฟ้าผ่าเป็นไปตามมาตรฐาน
- เพื่อให้องค์ประกอบทั้งหมดของระบบป้องกันฟ้าผ่าอยู่ในสภาพที่ดีสามารถทำหน้าที่ได้ถูกต้อง ไม่มี

การกัดกร่อน และมีความพร้อมใช้งานทางกายภาพ

- เพื่อให้ระบบสาธารณูปโภคและการก่อสร้างใหม่เพิ่มเติมใด ๆ มีความปลอดภัยตามมาตรฐานป้องกันฟ้าผ่า

คาบเวลาสูงสุดระหว่างการตรวจพินิจระบบป้องกันฟ้าผ่าแต่ละครั้ง ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 คาบเวลาสูงสุดระหว่างการตรวจพินิจระบบป้องกันฟ้าผ่าแต่ละครั้ง

ชั้นของระบบป้องกันฟ้าผ่า	การตรวจพินิจ (ปี)	การตรวจพินิจแบบ สมบูรณ์ (ปี)	การตรวจพินิจทั้งหมดใน กรณีที่มีสถานที่เฉพาะ ^{(ก),(ข)} (ปี)
1 และ 2	1	2	1
3 และ 4	2	4	1

^ก ระบบป้องกันฟ้าผ่าที่ใช้งานซึ่งรวมถึงสิ่งปลูกสร้างที่มีความเสี่ยงจากวัฏธรรเบิด ควรมีการตรวจพินิจทุก 6 เดือน การทดสอบทางไฟฟ้าของการติดตั้งควรทำทุก 1 ปี ข้อยกเว้นที่ยอมรับได้ต่อคาบเวลาในการทดสอบประจำปี คือ จะทดสอบเป็นรอบ 14 ถึง 15 เดือน ในกรณีที่พิจารณาว่าจะมีประโยชน์ที่จะทำการทดสอบความต้านทานดินในระยะเวลาที่ต่างกันของปี เพื่อจะได้ทราบการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาล

^ข สถานที่เฉพาะหมายถึง สิ่งปลูกสร้างที่มีระบบภายในที่อ่อนไหว กลุ่มอาคารสำนักงาน อาคารพาณิชย์ สถานที่ซึ่งอาจมีคนอยู่จำนวนมาก หรือสิ่งปลูกสร้างที่เคยถูกฟ้าผ่า

2.8.1 แผนงานการบำรุงรักษา

แผนงานการบำรุงรักษาต้องจัดเตรียมดังต่อไปนี้

- การทวนสอบตัวนำทั้งหมดของระบบป้องกันฟ้าผ่า และองค์ประกอบอื่น ๆ ของระบบ
- การทวนสอบความต่อเนื่องทางไฟฟ้าของสิ่งติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่า
- การวัดความต้านทานดินของระบบรากสายดิน
- การทวนสอบอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จ
- การกวดยึดขององค์ประกอบและตัวนำ

- การทวนสอบเพื่อให้แน่ใจว่าประสิทธิภาพของระบบป้องกันฟ้าผ่าไม่ลดลงภายหลังการเพิ่มเติมหรือการเปลี่ยนแปลงในสิ่งปลูกสร้างและสิ่งติดตั้งติดตั้งของสิ่งปลูกสร้าง

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินการ

3.1 บทนำ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการประเมินระบบป้องกันฟ้าผ่า อาคารสำนักงานของโรงงานไทยคาร์บอน (รังสิต) เซอร์วิส จำกัด จังหวัดปทุมธานี โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์โหมดความล้มเหลว ผลกระทบ และความรุนแรง (Failure Modes, Effects, and Criticality Analysis : FMECA) การนำเสนอส่วนย่อยของแต่ละส่วนในการประเมินความปลอดภัย โดยใช้ FMECA ผ่านโปรแกรม Microsoft Excel หลังจากทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FMECA ผลลัพธ์ที่ได้นำไปเปรียบเทียบกับเมทริกซ์วิกฤต ดังแสดงในรูปที่ 3.1 โดยแบ่งออกเป็นแถบสี 4 แถบ ดังนี้ สีแดง สีส้ม สีเหลือง และสีเขียว ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงระดับความเสี่ยงสูงมาก ความเสี่ยงสูง ความเสี่ยงปานกลาง และความเสี่ยงต่ำ ตามลำดับ ตัวเลข 1 ถึง 25 เป็นการแสดงความรุนแรงจากต่ำไปสูง

	ความวิกฤต				
ความล้มเหลว	5	10	15	20	25
	4	8	12	16	20
	3	6	9	12	15
	2	4	6	8	10
	1	2	3	4	5

รูปที่ 3.1 เมทริกซ์วิกฤต

การวิเคราะห์ FMECA ถูกนำมาใช้ในการกำหนดความเสี่ยงของระบบป้องกันฟ้าผ่า ซึ่งระบุความสำคัญเกณฑ์ต่างๆ ได้แก่ ประสิทธิภาพ ความปลอดภัย สิ่งแวดล้อม และการเงินของระบบป้องกันฟ้าผ่า หลังจากวิเคราะห์เกณฑ์ทั้งหมดแล้ว วิธีการบำรุงรักษาและเกณฑ์การวิพากษ์ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การวิเคราะห์ความสำคัญและการบริหารจัดการการบำรุงรักษา

คะแนน	คำอธิบาย
22 - 25	เป็นระดับที่ยอมรับไม่ได้เลย เร่งหาทางแก้ไข
16 - 21	ระดับที่ยอมรับไม่ได้ ต้องหาทางแก้ไข
5 - 15	ระดับที่ยอมรับได้แต่ต้องมีการตรวจสอบและป้องกัน
1 - 4	ระดับที่ยอมรับได้เลย

3.2 ขั้นตอนการวิจัย

ทำการประเมิน และออกแบบเพื่อทำการรื้อถอนระบบป้องกันฟ้าผ่าที่ชำรุด ติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าที่ออกแบบด้วยวิธีกำหนดตัวนำแบบตาข่ายและวัดค่าทดสอบระบบป้องกันฟ้าผ่า ดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการวิจัย

3.3 การประเมินด้านความประสิทธิภาพ

เกณฑ์ประสิทธิภาพพิจารณาสภาพของเซอร์ระบบป้องกันฟ้าผ่า ในรูปแบบของดัชนีสุขภาพ (%HI) ของระบบป้องกันฟ้าผ่าจำเป็นต้องใช้หลายวิธีการทดสอบและการตรวจสอบด้วยสายตาเพื่อประเมินสภาพของส่วนประกอบในแต่ละกลุ่มตามที่น่าเสนอแสดงในตารางที่ 3.2 %HI คำนวณและแสดงในสมการที่ 3.1 วิธีการถ่วงน้ำหนักและการให้คะแนน (WSM) ถูกนำมาใช้ ในขณะที่วิธีการกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (AHP) ถูกใช้เพื่อระบุน้ำหนักของวิธีการทดสอบ [10-11]

$$\% HI = \frac{\sum_{i=1}^N (S_i \times W_i)}{\sum_{i=1}^N (S_i \times W_i)} \times 100 \quad (3.1)$$

เมื่อ S_i คือ คะแนน
 S_{max} คือ คะแนนสูงสุด
 W_i คือ ค่าน้ำหนักของผลการวินิจฉัยลำดับที่

ตารางที่ 3.2 การประเมินสภาพของส่วนประกอบระบบป้องกันฟ้าผ่า

เกณฑ์	คะแนน				
	1	2	3	4	5
การตรวจด้วยสายตา	ปกติ	มีสนิมเล็กน้อย	มีสนิม	เริ่มฉีกขาด	สายตัวนำสัมผัส หลังคา
วัดค่าความต้านทาน สายดิน (Ω)	0 - 5	6 - 10	11 - 15	16 - 25	มากกว่า 25
ตรวจสอบเครื่องนับ จำนวนฟ้าผ่า	เพิ่มขึ้น				ไม่เพิ่มขึ้น

ข้อมูลทางเทคนิคและผลการทดสอบจะถูกรวบรวมและใช้ในการคำนวณ %HI ของส่วนประกอบระบบป้องกันฟ้าผ่า จะถูกแปลงเป็นคะแนนสำหรับการวิเคราะห์ความรุนแรงด้านประสิทธิภาพดังแสดงในตารางที่ 3.1

3.4 การประเมินความรุนแรงด้านสิ่งแวดล้อม

การประเมินความรุนแรงด้านสิ่งแวดล้อม[12-13] มี 3 เกณฑ์ เช่น อายุการใช้งาน ผลกระทบต่อหลังคา และสถานที่ตั้ง เป็นต้น ที่ใช้ในการได้คะแนนสำหรับการวิเคราะห์ความรุนแรงในเรื่องสิ่งแวดล้อมดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 คะแนนสำหรับการวิเคราะห์ความรุนแรงในเรื่องสิ่งแวดล้อม

เกณฑ์	คะแนน				
	1	2	3	4	5
อายุการใช้งาน	0 - 2	3 - 5	6 - 8	9 - 10	11 ปีขึ้นไป
ผลกระทบต่อหลังคา	ไม่มี ผลกระทบ		สายตัวนำหย่อน		สายตัวนำสัมผัส หลังคา
สถานที่ติดตั้ง	ติดตั้งที่โล่ง				พื้นที่สัตว์ชุกชุม

3.5 การประเมินความรุนแรงด้านความปลอดภัยหรือความน่าเชื่อถือ

การประเมินความรุนแรงด้านความปลอดภัยหรือความน่าเชื่อถือมี 3 เกณฑ์ เช่น ค่าความต้านทานสายดิน (Ω) ระบบแรงดัน (V) และการป้องกัน เป็นต้น ที่ใช้ในการได้คะแนนสำหรับการวิเคราะห์ความรุนแรงในเรื่องสิ่งแวดล้อมดังแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 คะแนนสำหรับการวิเคราะห์ความปลอดภัยหรือความน่าเชื่อถือ

เกณฑ์	คะแนน				
	1	2	3	4	5
ค่าความต้านทาน สายดิน	0 – 5	6 – 10	11 – 15	16 – 25	มากกว่า 25
ระบบแรงดัน (V)	220 - 146	11 – 33 k	69 k	115 k	มากกว่า 115 k
การป้องกัน	ต่อลงดินตาม มาตรฐาน		ต่อลงดินไม่ตาม มาตรฐาน		ต่อลงดินแบบ ผิดวิธี

3.6 การประเมินความรุนแรงด้านการเงิน

ตารางที่ 3.5 เกณฑ์คะแนนการประเมินความรุนแรงด้านการเงิน

คะแนน	คำอธิบาย
1	น้อยกว่า 10% ต่อราคาทั้งหมด
2	10 – 29% ต่อราคาทั้งหมด
3	30 – 49% ต่อราคาทั้งหมด
4	50 – 69% ต่อราคาทั้งหมด
5	70 – 100% ต่อราคาทั้งหมด

ตารางที่ 3.6 ค่าใช้จ่ายของส่วนประกอบย่อยระบบป้องกันฟ้าผ่า

ส่วนประกอบ	ราคา (บาท)	อัตราร้อยละ (%)
หัว Air Terminal สูง 0.60 เมตร	49,500.00	8.714
สายทองแดงเปลือย 70 ตร.มม.	294,120.00	51.78
แท่งตัวนำลงดินเส้นผ่าศูนย์กลาง 5/8"×10'	20,400.00	3.591
บ่อกราวด์	17,200.00	3.028
ท่อพีวีซี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 1/4"	7,600.00	1.338
Ground Test Box	29,200.00	5.141
Sandle Clamp Support	93,000.00	16.373
Exthermo Weld	42,000.00	7.394
Test Commissioning	15,000.00	2.641
รวม	568,020.00	100%

3.7 ทำการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่า

ระบบป้องกันฟ้าผ่ามีอายุการใช้งานและเสื่อมสภาพตามการใช้งาน ระบบป้องกันฟ้าผ่าควรได้รับการปรับปรุงอย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้การประเมินเพื่อหาวิธีที่มีประสิทธิภาพจะพิจารณาเกณฑ์ความรุนแรง 4 ประการ ดังนี้ ประสิทธิภาพ สิ่งแวดล้อม ความปลอดภัยหรือ ความน่าเชื่อถือ และการเงิน โดยการเก็บข้อมูลด้วยโปรแกรม Microsoft Excel และแสดงผลการวิเคราะห์ความสำคัญและการบริหารจัดการการบำรุงรักษาระบบป้องกันฟ้าผ่า โดยใช้เทคนิค FMECA ทำการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าตามมาตรฐาน

3.8 รื้อถอนระบบป้องกันฟ้าผ่า

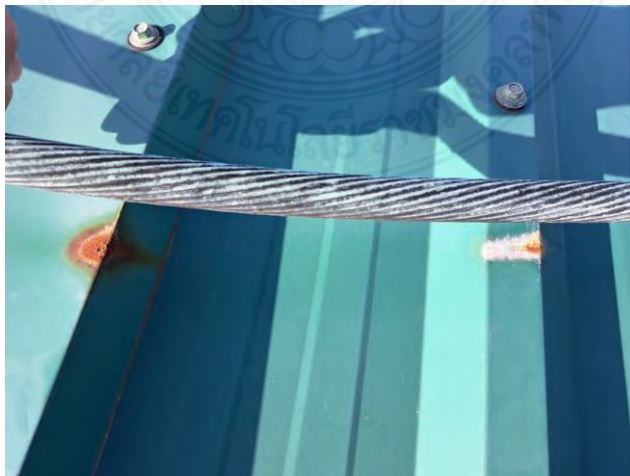
ทำการกำหนดเวลาในการรื้อถอนระบบป้องกันฟ้าผ่าที่ใช้งานมานาน ด้วยสภาพและความชำรุดของระบบป้องกันฟ้าผ่าจึงต้องมีการรื้อถอน เพื่อติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าที่ออกแบบตามมาตรฐาน รูปภาพอุปกรณ์และความเสียหายหลังคาของระบบป้องกันฟ้าผ่าที่ติดตั้งมานานแสดงดังรูปที่ 3.3 – 3.5



รูปที่ 3.3 ฐานตัวจับยึดแท่งตัวนำ



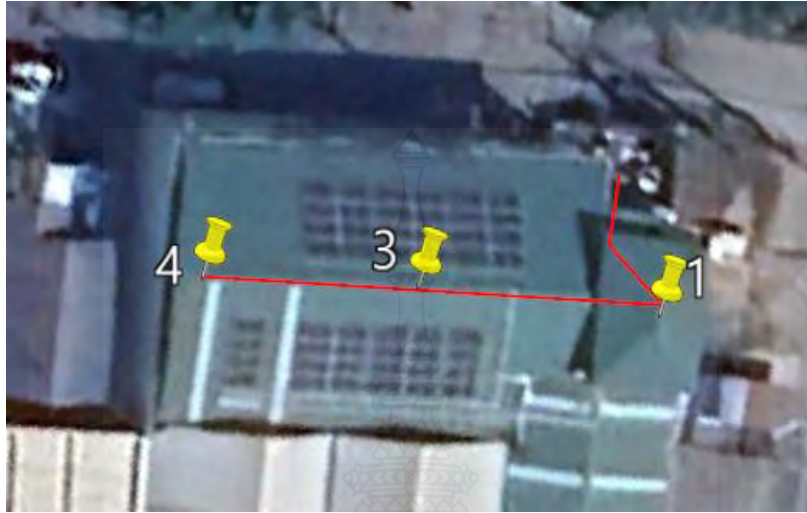
รูปที่ 3.4 ตัวจับยึดสายตัวนำ



รูปที่ 3.5 สายตัวนำหย่อนติดหลังคา

3.9 ติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่า

ทำการติดตั้งตามการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่า ด้วยขั้นตอนตามมาตรฐานและกำหนด การติดตั้ง ล่อฟ้าใน Google Earth เพื่อประมาณขนาดก่อนติดตั้งจริง



รูปที่ 3.6 วางแผนติดตั้งใน Google Earth



บทที่ 4

ผลวิจัย

4.1 วิธีการทดสอบเพื่อการประเมินสภาพ

ในการประเมินสภาพระบบป้องกันฟ้าผ่า ถูกแบ่งออกเป็น 8 ส่วนประกอบ ซึ่งประกอบด้วย หัว Air Terminal, สายทองแดงเปลือย, แท่งตัวนำลงดิน, บ่อกราวด์, ท่อพีวีซี, Ground Test Box, Sandle Clamp Support และ Exthermo Weld วิธีการทดสอบที่จำเป็นสำหรับการประเมินสภาพของแต่ละกลุ่มดังแสดงในตารางที่ 4.1 [14]

ตารางที่ 4.1 วิธีการทดสอบเพื่อการประเมินสภาพ

ลำดับ	ส่วนประกอบ	การทดสอบ
1	หัว Air Terminal สูง 0.60 เมตร	การตรวจพินิจด้วยสายตา
2	สายทองแดงเปลือย 70 ตร.มม.	การตรวจพินิจด้วยสายตา, วัดความต้านทาน
3	แท่งตัวนำลงดินเส้นผ่าศูนย์กลาง 5/8"x10"	การตรวจพินิจด้วยสายตา
4	บ่อกราวด์	การตรวจพินิจด้วยสายตา
5	ท่อพีวีซี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 1/4"	การตรวจพินิจด้วยสายตา
6	Ground Test Box	การตรวจพินิจด้วยสายตา, ทดสอบการใช้งาน
7	Sandle Clamp Support	การตรวจพินิจด้วยสายตา
8	Exthermo Weld	การตรวจพินิจด้วยสายตา

การคำนวณความวิกฤติของระบบป้องกันฟ้าผ่า หลังจากกำหนดฐานข้อมูลจากผลการทดสอบในด้านประสิทธิภาพ สิ่งแวดล้อม ความปลอดภัย และการเงิน ดังแสดงในตาราง 4.2

ตารางที่ 4.2 การคำนวณความวิกฤติของระบบป้องกันฟ้าผ่า

ส่วนประกอบของระบบป้องกันฟ้าผ่า	ความรุนแรง				ความล้มเหลว	ความวิกฤติ			
	ประสิทธิภาพ	สิ่งแวดล้อม	ความ	การเงิน		ประสิทธิภาพ	สิ่งแวดล้อม	ความ	การเงิน
แท่งตัวนำ	4	4	4	1	4	16	16	16	4
สายทองแดงเปลือย 70 ตร.มม.	4	4	4	4	4	16	16	16	16
แท่งตัวนำลงดินขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5/8"x10'	4	4	4	1	4	16	16	16	4
บ่อกราวด์	4	4	4	1	4	16	16	16	5
ท่อพีวีซี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 1/4"	4	4	4	1	4	16	16	16	4
Ground Test Box	4	4	4	1	4	16	16	16	5
Sandle Clamp Support	4	4	4	2	4	16	16	16	8
Exthermo Weld	4	4	4	1	4	16	16	16	4

ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่ามีความเสี่ยงสูงที่สุดในการปฏิบัติงาน เนื่องจากความสำคัญในด้านประสิทธิภาพ สิ่งแวดล้อม ความปลอดภัยหรือความน่าเชื่อถือ อยู่ในเขตโซนสีแดงสำหรับทุกส่วนประกอบย่อยของระบบ เนื่องจาก ระบบป้องกันฟ้าผ่ามีอายุการใช้งานและอยู่ในสภาพที่ไม่ดี ทั้งเสี่ยงต่อการเกิดการฟ้าผ่าตามสถิติการเกิดฝนฟ้าคะนอง ของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ ได้กล่าวว่าเฉลี่ยการเกิดฝนตั้งแต่ปี พ.ศ. 2549 - พ.ศ. 2564 ค่าเฉลี่ยเกิดฝนสูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 67 ในด้านการเงินอยู่ในเขตสีเขียว เหลือง และแดง แสดงดังภาพที่ 4.1 – 4.4

ความล้มเหลว	ประสิทธิภาพ				
	5	10	15	20	25
	4	8	12	16	20
	3	6	9	12	15
	2	4	6	8	10
	1	2	3	4	5

รูปที่ 4.1 เมทริกซ์วิกฤติของระบบป้องกันฟ้าผ่าด้านประสิทธิภาพ

	สิ่งแวดล้อม				
ความล้มเหลว	5	10	15	20	25
	4	8	12	1 2 3 4 5 6 7 8 16	20
	3	6	9	12	15
	2	4	6	8	10
	1	2	3	4	5

รูปที่ 4.2 เมทริกซ์วิกฤตของระบบป้องกันฟ้าผ่าด้านสิ่งแวดล้อม

	ความปลอดภัย				
ความล้มเหลว	5	10	15	20	25
	4	8	12	1 2 3 4 5 6 7 8 16	20
	3	6	9	12	15
	2	4	6	8	10
	1	2	3	4	5

รูปที่ 4.3 เมทริกซ์วิกฤตของระบบป้องกันฟ้าผ่าด้านความปลอดภัย

	การเงิน				
ความล้มเหลว	4 6 5	10	15	20	25
	1 3 5 8 7 4	8	12	2 16	20
	3	6	9	12	15
	2	4	6	8	10
	1	2	3	4	5

รูปที่ 4.4 เมทริกซ์วิกฤตของระบบป้องกันฟ้าผ่าด้านการเงิน

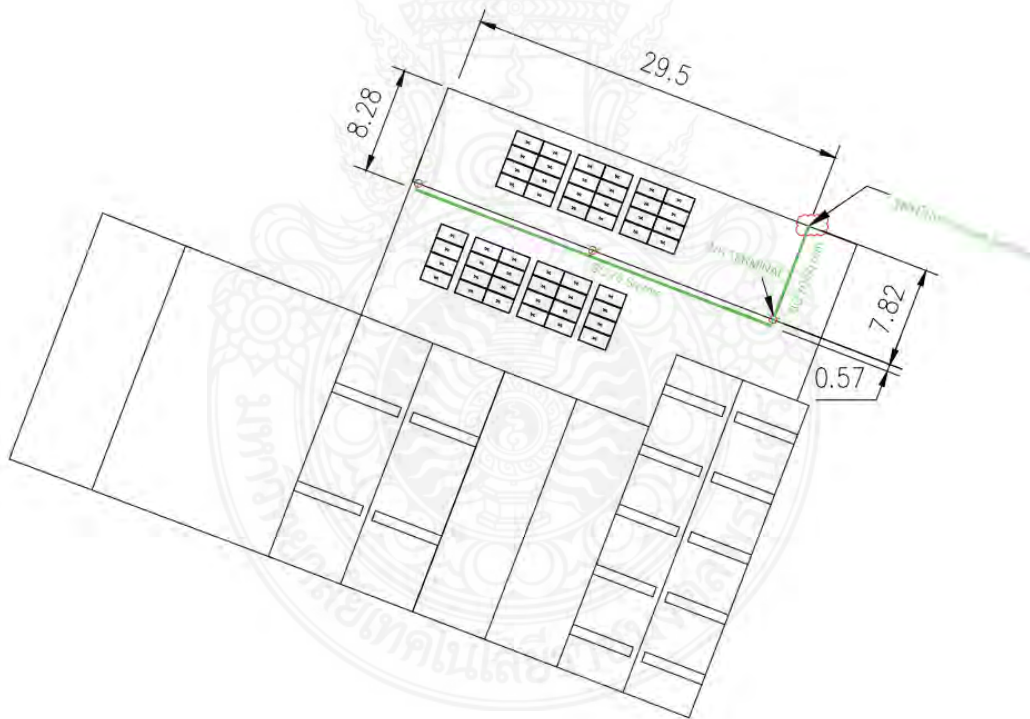
4.2 ทำการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่า

ในการออกแบบและติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่า มีการออกแบบเสาให้ครอบคลุมหลังคาอาคารโรงงานดังแสดงในรูปที่ 4.5 โดยมีรายละเอียดอุปกรณ์และแบบติดตั้งแสดงในรูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7

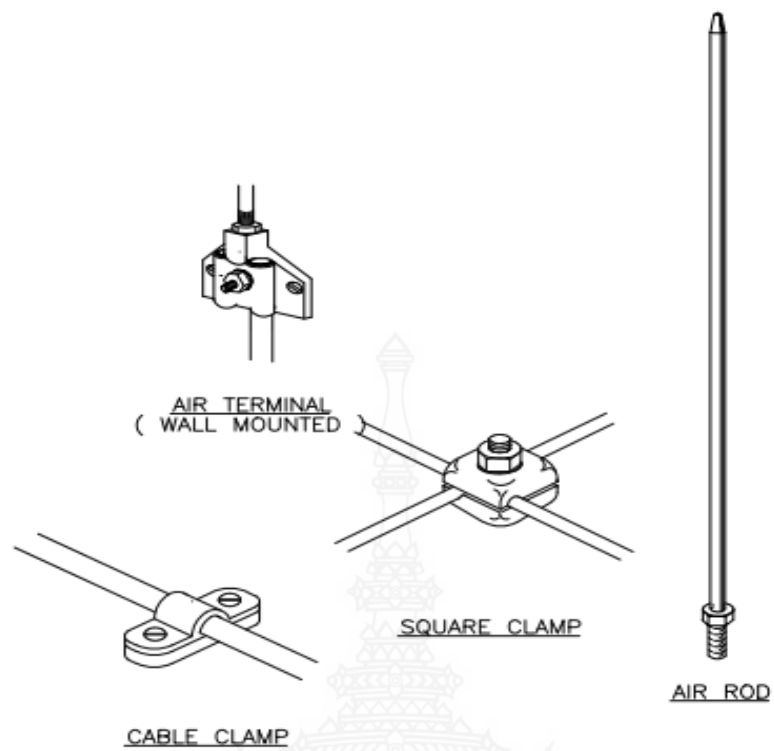
เมื่อใช้วิธีการจัดวางตำแหน่งตัวนำล่อฟ้าวิธีตาข่ายในการออกแบบและติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่า ซึ่งจะได้ผลลัพธ์อยู่ใน Class 2 นั่นคือ ขนาดตาราง (M) คือ 10 X 10 M ดังข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ตารางการออกแบบล่อฟ้า

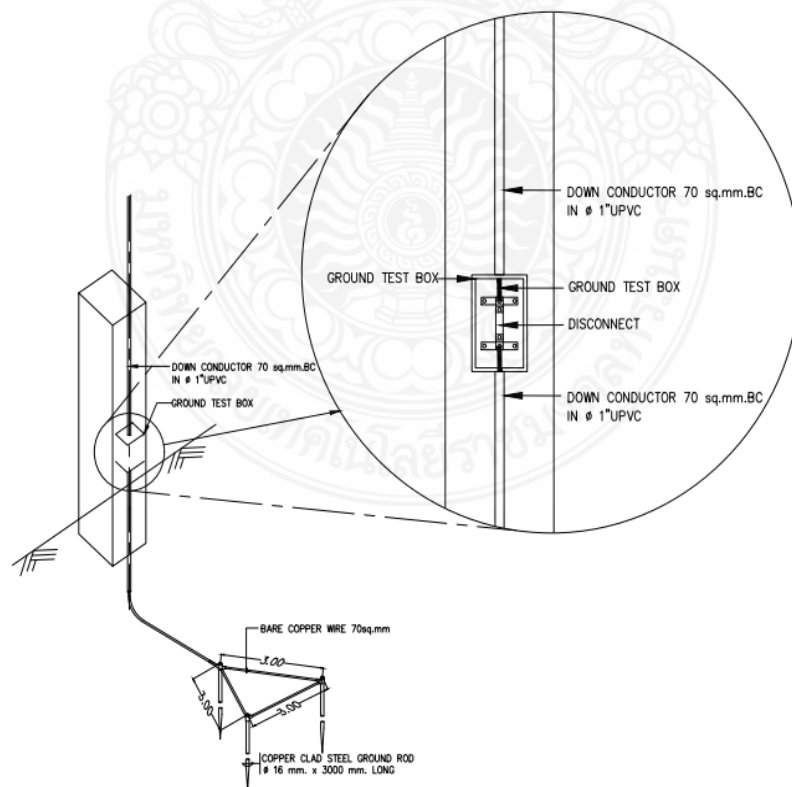
Class of LPS	Radius of the rolling sphere (R)	Mesh size (M)
1	20 m	5 x 5 m
2	30 m	10 x 10 m
3	45 m	15 x 15 m
4	60 m	20 x 20 m



รูปที่ 4.5 แบบในการติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่า



รูปที่ 4.6 รายละเอียดโดยทั่วไปของการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่า



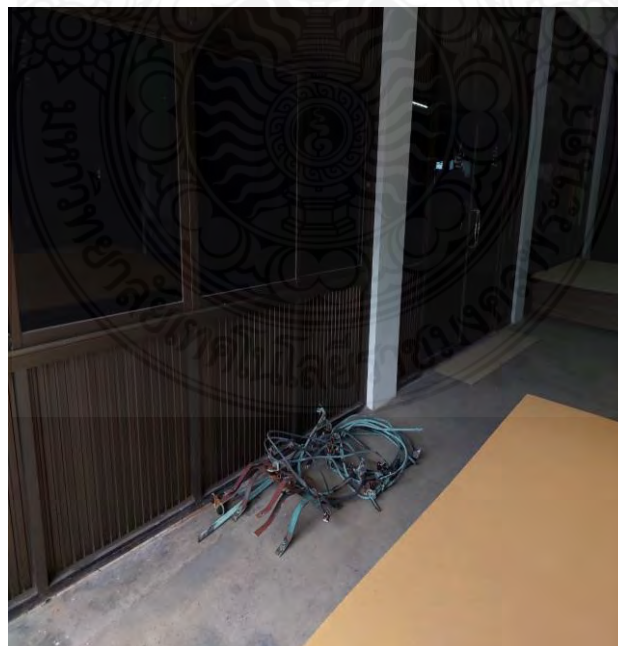
รูปที่ 4.7 แบบติดตั้ง Down Conductor

4.3 การรื้อถอนระบบป้องกันฟ้าผ่า

รื้อถอนระบบป้องกันฟ้าผ่าที่ชำรุด



รูปที่ 4.8 ถอดเสาและรื้อถอนระบบป้องกันฟ้าผ่าเก่า



รูปที่ 4.9 นำส่งระบบป้องกันฟ้าผ่าเก่าให้กับโรงงาน

4.4 การติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่า

ติดตั้งเสาหล่อฟ้า เสาตัวนำล่อฟ้าที่อยู่ใกล้เคียงสิ่งปลูกสร้างหรือบริเวณที่จะป้องกัน มีวัตถุประสงค์เพื่อลดความเป็นไปได้ที่จะเกิดฟ้าผ่าลงสิ่งปลูกสร้างภายในย่านการป้องกันที่มีการติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าแบบแยกอิสระ เมื่อมีการติดตั้งเสาตัวนำมากกว่าหนึ่งต้น อาจมีการต่อถึงกันโดยตัวนำเหนือดิน และบริเวณใกล้เคียงของสิ่งติดตั้งไปยังระบบป้องกันฟ้าผ่าต้องมีระยะการแยก



รูปที่ 4.10 การติดตั้งแท่งตัวนำ

ติดตั้งสายตัวนำและตัวจับยึด ตัวนำบนหลังคาและการต่อแท่งตัวนำล่อฟ้าอาจติดยึดเข้ากับหลังคาโดยใช้ตัวคั่นและตัวจับยึดที่เป็นตัวนำหรือฉนวนก็ได้ ตัวนำอาจติดตั้งบนพื้นผิวของผนังก็ได้ถ้าผนังทำจากวัสดุไม่ติดไฟ ระยะห่างระหว่างตัวจับยึดที่แนะนำของตัวนำแสดงในตารางที่ 4.4 และแสดงในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 การติดตั้งสายตัวนำ

ตารางที่ 4.4 ตารางการออกแบบล่อฟ้า

การจัดวาง	ระยะห่างระหว่างตัวจับยึด สำหรับ ตัวนำที่เป็นเทป ตัวนำตีเกลียว และ ตัวนำกลมแบบอ่อน (soft drawn) (มิลลิเมตร)	ระยะห่างระหว่างตัวจับยึด สำหรับ ตัวนำกลมตัน (มิลลิเมตร)
ตัวนำแนวระดับบนพื้นผิวแนวระดับ	1,000	1,000
ตัวนำแนวระดับบนพื้นผิวแนวตั้ง	500	1,000
ตัวนำแนวตั้งที่สูงจากพื้นจนถึง ระยะ 20 เมตร	1,000	1,000
ตัวนำแนวตั้งที่สูงจากพื้น 20 เมตร ขึ้นไป	500	1,000

ติดตั้ง Ground Test Box กล่องทดสอบกราวด์มิให้ใช้เพื่อวัดความต้านทานของระบบชั่วคราวและความต่อเนื่องของจุดเชื่อมต่อในระบบชั่วคราวที่จุดเชื่อมต่อของชั่วคราวแต่ละตัว ตัวนำกราวด์แต่ละตัวต้องติดตั้งกล่องทดสอบกราวด์



รูปที่ 4.12 งานติดตั้ง Ground Test Box

ติดตั้งบ่อกราวด์คอนกรีต ต้องติดตั้งขั้วไฟฟ้าลงดินโดยให้ปลายด้านบนอยู่ลึกอย่างน้อย 0.5 เมตร และควรติดตั้งให้กระจายอย่างสม่ำเสมอมากที่สุดเพื่อลดผลกระทบจากการเชื่อมต่อทางไฟฟ้าภายในดิน ดังแสดงในรูปที่ 4.13



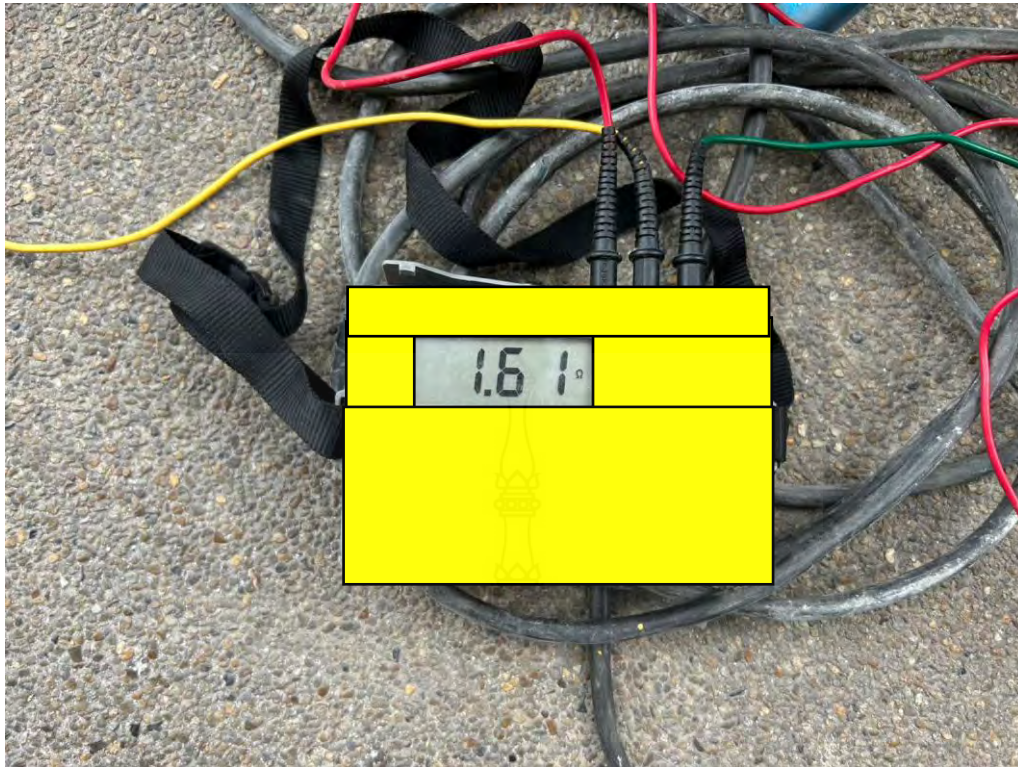
รูปที่ 4.13 งานติดตั้งบ่อกราวด์คอนกรีต

4.5 การวัดค่าความต้านทานหลักดิน

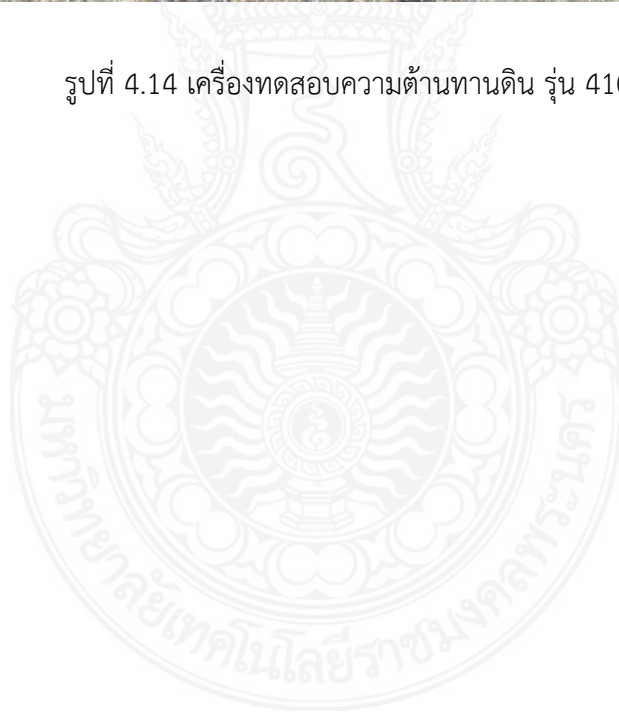
ใช้อุปกรณ์ Earth Tester 4105A วัดค่าความต้านทานหลักดินของระบบป้องกันฟ้าผ่าที่ออกแบบและติดตั้งได้ค่าความต้านทานตามจุดที่ทำการวัดดังแสดงในตารางที่ 4.5 และแสดงในรูปที่ 4.14

ตารางที่ 4.5 ผลการวัดค่าความต้านทานดิน

No.	Point of Measurement	Ohm Resistance Value
1	Earth Bus	1.61 Ohm.
2	Earth Bus	1.62 Ohm.
3	Earth Bus	1.60 Ohm.
4	Earth Bus	1.61 Ohm.



รูปที่ 4.14 เครื่องทดสอบความต้านทานดิน รุ่น 4105A



บทที่ 5

สรุปผลการจำลอง และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการจำลอง

จากการประเมินพบว่า ระบบป้องกันฟ้าผ่ามีอายุการใช้งานและเสื่อมสภาพตามการใช้งาน ระบบป้องกันฟ้าผ่าควรได้รับการปรับปรุงอย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้การประเมินเพื่อจัดหาวิธีที่มีประสิทธิภาพจะพิจารณาเกณฑ์ความรุนแรง 4 ประการ ดังนี้ ประสิทธิภาพ สิ่งแวดล้อม ความปลอดภัยหรือความน่าเชื่อถือ และการเงิน โดยการเก็บข้อมูลด้วยโปรแกรม Microsoft Excel และแสดงผลการวิเคราะห์ความสำคัญและการบริหารจัดการการบำรุงรักษา ระบบป้องกันฟ้าผ่า โดยใช้เทคนิค FMECA

ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่ามีความเสี่ยงสูงสุดในการปฏิบัติงาน เนื่องจากความสำคัญในด้านประสิทธิภาพ สิ่งแวดล้อม ความปลอดภัยหรือความน่าเชื่อถือ อยู่ในเขตโซนสีแดงสำหรับทุกส่วนประกอบย่อยของระบบ เนื่องจาก ระบบป้องกันฟ้าผ่ามีอายุการใช้งานและอยู่ในสภาพที่ไม่ดี ทั้งเสี่ยงต่อการเกิดการฟ้าผ่าตามสถิติการเกิดฝนฟ้าคะนองของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ ได้กล่าวว่าเฉลี่ยการเกิดฝนตั้งแต่ปี พ.ศ. 2549 - พ.ศ. 2564 ค่าเฉลี่ยเกิดฝนสูงสุดอยู่ที่ร้อยละ 67 ในด้านการเงินอยู่ในเขตสีเขียว เหลือง และแดง เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษายังสามารถรับได้ วิธี FMECA สามารถใช้เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการประเมินระบบป้องกันฟ้าผ่าเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานในการบำรุงรักษาและเสริมความน่าเชื่อถือและความเสถียรของระบบป้องกันฟ้าผ่าด้วยงบประมาณที่เหมาะสม และทำการนำเสนอการติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าใหม่ โดยการออกแบบตามมาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ด้วยวิธีการจัดวางตำแหน่งตัวนำล่อฟ้าวิธีด้ายในการออกแบบและติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่า ซึ่งจะได้ผลลัพธ์อยู่ใน Class 2 นั่นคือ ขนาดตาราง (M) คือ 10 X 10 M

จากการติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าและทำการทดสอบด้วยอุปกรณ์ Earth Tester 4105A วัดค่าความต้านทานหลักดินของระบบป้องกันฟ้าผ่าที่ออกแบบและติดตั้ง ได้ค่าความต้านทานตามจุดที่ทำการวัด อยู่ที่เฉลี่ย 1.61 โอห์ม ซึ่งวิธีนี้เป็นการใช้ตัวนำล่อฟ้าแนวนราบซึ่งบนส่วนของอาคารส่วนที่สูงที่สุดการติดตั้งที่มีการป้องกันที่ดี จะต้องติดตั้งตัวนำแนวนราบ โดยรอบอาคาร ค่าความต้านทานหลักดินที่ตรวจวัดได้ของระบบป้องกันฟ้าผ่าที่ออกแบบและติดตั้งนี้ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย แสดงว่าระบบป้องกันฟ้าผ่าที่นำเสนอนี้สามารถใช้งานได้จริง

จากผลการศึกษาส่งผลให้บรรลุวัตถุประสงค์ของงานวิจัยทั้ง 2 ข้อ ได้แก่

1. เพื่อการบูรณาการเทคโนโลยีการติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าเพื่อป้องกันระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา
2. เพื่อเป็นแนวทางในการติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าบนหลังคา

5.2 ข้อเสนอแนะ

ตามมาตรฐานวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ระบบป้องกันฟ้าผ่าต้องมีการตรวจพินิจและทำการประเมินประสิทธิภาพ เพื่อทำการซ่อมแซมระบบป้องกันฟ้าผ่า ซึ่งเป็นระบบสำคัญของโรงงานที่เสี่ยงต่อการเกิดฟ้าผ่า รวมไปถึงระบบต่างๆของอาคาร โรงงานต่างๆ

บรรณานุกรม

- [1] Md. Saifur Rahman. (2008). Basic of Electricity, Retrieved from (PDF) Basics of Electricity (researchgate.net)
- [2] DEHN SE & Co KG, “When Lightning Strikes: What to do during a Thunderstrom”, 2012.
- [3] ณัฐพงศ์ ตัญจนุช. วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2564. เลขหน้า (348-350).
- [4] สำรวย สังข์สะอาด. 2553. ปราบกฏการณ์ฟ้าผ่าและมาตรการความปลอดภัย. กรุงเทพฯ : ณ ศูนย์การประชุมแห่งชาติไบเทค บางนา, 2553.
- [5] สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. มาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่า พ.ศ. 2565 = Lightning Protection Standard 2022. กรุงเทพฯ : สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2565.
- [6] เจษฎา เวียงจันทิก. การประเมินการป้องกันฟ้าผ่าสำหรับโครงสร้างภายนอกอาคารของรถไฟฟ้าสายสีม่วง. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2559). เลขหน้า (27).
- [7] สำรวย สังข์สะอาด. 2549. วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549. เลขหน้า (9-25-9-26).
- [8] วิศรุต อัสฉัตรสกุล. แนวทางการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดตั้งบนพื้นดิน. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2561). เลขหน้า (41-43).
- [9] วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564 Thai Electrical Code 2021.- กรุงเทพฯ : สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2565. เลขหน้า (4-14)
- [10] T.L. Saaty, “Relative measurement and its generalization in decision making why pairwise comparisons are central in mathematics for the measurement of

intangible factors the analytic hierarchy/network process” In Review of the Royal Spanish Academy of SSciences, vol. 102, pp. 251–318, 2008.

- [11] H. Tanaka, S.Tssukao, D. Yamashita, T. Niimmura, and R. Yokoyama “Multiple Criteria Assessment of Substation Conditions by Pair-Wise Comparison of Analytic Hierarchy Process” IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 25, No.4, pp. 3017–3023, 2010.
- [12] J. Chitpong, C. Suwanasri, and T. Suwanasri, “ Evaluation criteria for condition and importance assessment of high voltage transmission line,” 2016 13th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), Chiangmai, Thailand, 2016
- [13] C. Suwanasri, S. Saribut, W. Luejai, and T. Suwanasri, “Risk Assessment of HV Transmission Lines Using Failure Modes, Effects and Criticality Analysis” International Electrical Engineering Transactions., vol. 6, No.1, pp. 21–27, 2020.
- [14] C. Suwanasri, T. Suwanasri, and W. Luejai, “ Cost-Benefit for HV Transmission Line Renovation and Replacement Based on Failure Probability and Risk-Based Maintenance,” Proceedings of the 21st International Symposium on High Voltage Engineering, pp. 197–207, 2020.

ไม่มีเนื้อหาจากต้นฉบับ



คณะผู้วิจัย



รองศาสตราจารย์ ดร.นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
E-mail: nattachote.r@rmutp.ac.th

การศึกษา

ปร.ด. (วิศวกรรมไฟฟ้า) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
วศ.ม. (วิศวกรรมไฟฟ้า) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
วศ.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
คอ.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า) สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทเวศร์

งานวิจัยที่สนใจ

การวางแผนและปฏิบัติการในระบบไฟฟ้ากำลัง ผลกระทบของการเชื่อมต่อแหล่งผลิตไฟฟ้า
แบบกระจายในระบบจำหน่ายไฟฟ้า และเทคนิคการหาค่าเหมาะสมที่สุด

ใบอนุญาตประกอบวิชาชีพ

ใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม ระดับสามัญวิศวกร สาขาไฟฟ้า งานไฟฟ้ากำลัง
ใบอนุญาตผู้ตรวจสอบอาคาร

สมาชิกสมาคมวิชาชีพ

- สมาคมวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า (แห่งประเทศไทย)
- สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.) วุฒิสมาชิก ตลอดชีพ
- Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology Association of Thailand (ECTI Thailand)
- Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE)

คณะผู้วิจัย



รองศาสตราจารย์ ดร.ศุภวุฒิ เนตรโพธิ์แก้ว
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
E-mail: supawud.n@rmutp.ac.th

การศึกษา

Ed.D.(Educational administration)

University of Northern Philippines

วศ.ม.(วิศวกรรมไฟฟ้า)

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วศ.บ.(วิศวกรรมไฟฟ้า)

สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล

งานวิจัยที่สนใจ

- วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง
- การประยุกต์ทางวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง
- วิศวกรรมพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก
- การประยุกต์ทางวิศวกรรมไฟฟ้า

งานทางวิชาการ

- การสร้างชุดอิเล็กทรอนิกส์ทดสอบค่าความคงทนได้อิเล็กตริกของฉนวนน้ำมันหม้อแปลงอ้างอิงตามมาตรฐาน IEC156
- การปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียที่เกิดจากการเผาไหม้ของเหง้าทะเลลายปาล์มของโรงไฟฟ้าชีวมวลด้วยโอโซนที่ได้จากโครโนดิสซาร์จ
- การวิเคราะห์เซอร์กิตเบรกเกอร์ 115 kV สำหรับการวางแผนซ่อมบำรุง 115 kV Circuit Breaker Analysis for Maintenance Plan

คณะผู้วิจัย



รองศาสตราจารย์ ดร.สาคร วุฒิพัฒน์พันธุ์
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
E-mail: sakhon.w@rmutp.ac.th

การศึกษา

วศ.ด.(วิศวกรรมไฟฟ้า)

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วศ.ม.(วิศวกรรมไฟฟ้า)

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

วศ.บ.(วิศวกรรมไฟฟ้า)

สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล

งานวิจัยที่สนใจ

- อิเล็กทรอนิกส์กำลัง
- การประยุกต์ใช้งานอิเล็กทรอนิกส์กำลังกับระบบไฟฟ้ากำลัง
- คุณภาพกำลังไฟฟ้า
- ระบบเซลล์แสงอาทิตย์

งานทางวิชาการ

- การลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายไฟฟ้าด้วยเทคนิคการเชื่อมต่อตัวเก็บประจุไฟฟ้า
- การประเมินความเสี่ยงและการป้องกันฟ้าผ่าสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์
- การออกแบบเครื่องกรองความถี่แบนด์พาสแบบปรับตัวได้
- ผลกระทบค่าความเหนี่ยวนำแฝงของความต้านทานปรับหน้าคลื่นของเครื่องกำเนิดแรงอัดไฟฟ้า