

การปรับปรุงระบบป้องกันฟ้าผ่าในโรงงานผลิตเครื่องยนต์ดีเซล

Improvement of Lightning Protection System in Diesel Engine Plant

ศิริปิณญา ฉิมงาม¹ พีระยศ แสนโกชน² และ วีรุฒิ กนกบรรณกร²

สาขาวิศวกรรมความปลอดภัย (ภาคพิเศษ) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์¹

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์²

E-mail : siripinya.ch@gmail.com¹, peerayot.s@ku.ac.th² and fengwwk@ku.ac.th³

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์ และการปรับปรุงระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอกที่ติดตั้งในโรงงานผลิตเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งในปัจจุบันโรงงานได้ใช้ระบบป้องกันฟ้าผ่าประเภทไมใช่แบบดั้งเดิม คือ ระบบที่ใช้แท่งอีเอสอีเป็นระบบป้องกันฟ้าผ่า หลังจากใช้งานพบว่าเกิดเหตุการณ์ฟ้าผ่าบริเวณโรงงานส่งผลให้เกิดความเสียหายกับอุปกรณ์ และโรงงาน จากการวิเคราะห์พบว่าระบบป้องกันฟ้าผ่าแบบอีเอสอียังมิได้มีการกำหนดเป็นมาตรฐานสำหรับการป้องกันฟ้าผ่าตามมาตรฐานสากล 62305 และมาตรฐานประเทศไทย 2009-53 ดังนั้นการวิจัยจึงศึกษาข้อดีข้อเสียของระบบป้องกันฟ้าผ่าแบบอีเอสอีและระบบป้องกันฟ้าผ่าที่กำหนดในมาตรฐานสากล และออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอกให้กับโรงงานให้เป็นไปตามมาตรฐาน โดยพิจารณาความเสี่ยง และโอกาสที่จะเกิดฟ้าผ่ากับตัวโรงงาน ลักษณะทางกายภาพของโรงงาน การต่อลงดิน และเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการปรับปรุงระบบป้องกันฟ้าผ่า

คำสำคัญ

ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอก; โรงงานผลิตเครื่องยนต์ดีเซล

Abstract

This paper proposes the analysis of external lightning protection system in diesel engine plant. Currently factory is using unconventional system (Early Streamer Emission; ESE). After using this lightning protection system, it was found that a lightning strike at the factory resulted in damage to equipment and factory. The study presents that ESE lightning protection has not been standardized for lightning protection in accordance with international standards (IEC 62305) and Thailand Standard (EIT Standard 2009-53); therefore, the research focuses on examination of the advantages and disadvantages of

ESE lightning protection systems as defining in international standards. In addition design of external lightning protection system to the factory to meet the standards was done by consider the risks and opportunity for lightning strikes against the factory, physical characteristics of the factory and grounding, and compared costs of improving lightning protection.

Keywords:

external lightning protection system; diesel engine plant.

1. บทนำ>>>

ฟ้าผ่าเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ และเกิดขึ้นอย่างไม่แน่นอน มีความซับซ้อนและทำนายไม่ได้ จึงเป็นการยากที่จะป้องกันไม่ให้เกิดขึ้น เมื่อฟ้าผ่าเกิดขึ้นแล้วย่อมสร้างความเสียหายมาสู่อาคารและสิ่งปลูกสร้าง รวมทั้งเกิดอันตรายต่อชีวิตได้ สาเหตุอาจมาจากการที่ไม่มีระบบป้องกันที่ดีพอ หรือระบบป้องกันไม่ได้มาตรฐาน และจากข้อมูลข่าวสารผ่านสื่อต่างๆ ที่แสดงให้เห็นถึงอันตรายที่เกิดจากฟ้าผ่าทั้งด้านชีวิตและทรัพย์สิน สถิติย้อนหลัง 5 ปี ข้อมูลจากสำนักทะเบียนราษฎร กรมการปกครอง สำนักนโยบายและยุทธศาสตร์ สำนักปลัดกระทรวงสาธารณสุข, 2558 พบว่า จำนวนการเสียชีวิตอันเนื่องมาจากถูกฟ้าผ่าทั้งประเทศ ระหว่างปี พ.ศ 2554 – 2558 มีจำนวน 433 คน เฉลี่ยปีละ 87 คน [1] ดังนั้นระบบป้องกันฟ้าผ่าจึงมีความสำคัญในการป้องกันอันตรายที่เกิดจากฟ้าผ่า เพื่อไม่ให้เกิดความสูญเสียต่อชีวิต และลดความเสียหายของสิ่งปลูกสร้าง อุปกรณ์ไฟฟ้า และระบบสื่อสารให้น้อยที่สุด

ดังนั้นการวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นในการศึกษาเพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกรณีเกิดฟ้าผ่า โดยการวิเคราะห์ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอกที่ติดตั้งใน

โรงงานผลิตเครื่องยนต์ดีเซลตั้งแต่การออกแบบระบบป้องกันอันตรายสำหรับอาคารและสิ่งปลูกสร้างแบบดั้งเดิม และเสนอแนวทางการปรับปรุงแก้ไข เพื่อให้สอดคล้องกับข้อกำหนดของมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

2. ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอก>>>

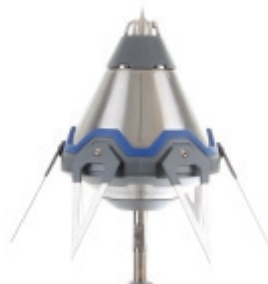
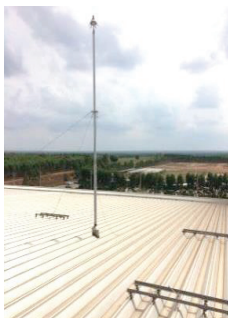
ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอก สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ประกอบด้วยแบบดั้งเดิม (Conventional System) หมายถึง ระบบที่ใช้แท่งแฟรงกลิน และกรงฟาราเดย์ และแบบไม่ใช่แบบดั้งเดิม (Unconventional System) หมายถึง ระบบทั้งหมดที่ไม่ใช่แท่งแฟรงกลิน หรือกรงฟาราเดย์ ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอก ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน ดังนี้

- ตัวนำล่อฟ้า (Air Terminal) เป็นเสาโลหะหรือสายตัวนำยึดไว้บนยอดสูงสุดของสิ่งก่อสร้างหรืออาคารหรือสิ่งที่ต้องการป้องกัน ตำแหน่งที่ติดตั้งเสาหรือตัวนำล่อฟ้าขึ้นอยู่กับลักษณะสิ่งก่อสร้างส่วนบนสุด

- ตัวนำลงดิน (Down Conductor) เป็นสายตัวนำไฟฟ้าซึ่งต่อกับตัวนำล่อฟ้า เมื่อฟ้าผ่าตัวนำล่อฟ้าแล้วกระแสไฟฟ้าจะไหลผ่านตัวนำลงดิน แล้วกระจายลงไปในดินอย่างรวดเร็วผ่านทางรากสายดิน

- รากสายดิน (Earth Electrode) มีลักษณะเป็นแท่งโลหะชุบสังกะสี หรือเหล็กหุ้มทองแดง ฝังลงดิน ทำหน้าที่นำกระแสฟ้าผ่ากระจายลงสู่ดิน

ปัจจุบันโรงงานผลิตเครื่องยนต์ดีเซลใช้ระบบป้องกันฟ้าผ่าประเภทไมใช่แบบดั้งเดิม (Unconventional System) ซึ่งใช้ตัวนำล่อฟ้าที่เรียกว่าแท่งอีเอสอี โดยมีหลักการทำงาน คือ เมื่อมีลำประจุเริ่มจากก้อนเมฆลงมาทำให้สนามไฟฟ้ามีค่าสูงเพิ่มขึ้น แท่งอีเอสอีจะปล่อยประจุออกมา และสร้างลำประจุขึ้นมาได้อย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดฟ้าผ่าลงที่แท่งอีเอสอีแทนการผ่าลงที่จุดอื่นๆ



ภาพที่ 1 ตัวนำล่อฟ้าแท่งอีเอสอีที่ใช้ในโรงงานผลิตเครื่องยนต์ดีเซล

รัศมีป้องกันของแท่งตัวนำอีเอสอี (Protection area, R_p) จากข้อมูลบริษัทผู้ผลิตระบุว่ารัศมีป้องกันสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 1

$$R_p(h) = \sqrt{2rh - h^2 + \Delta(2r + \Delta)} \quad \text{for } h \geq 5 \text{ m} \quad (1)$$

เมื่อ $R_p(h)$ คือ รัศมีป้องกันที่ความสูงระยะ h (เมตร)

h คือ ความสูงของแท่งอีเอสอีเหนือพื้นที่ป้องกัน (เมตร)

r คือ Striking Distance (เมตร)

โดย $r = 20$ เมตร สำหรับระบบป้องกันฟ้าผ่าระดับที่ 1

$r = 30$ เมตร สำหรับระบบป้องกันฟ้าผ่าระดับที่ 2

$r = 45$ เมตร สำหรับระบบป้องกันฟ้าผ่าระดับที่ 3

$r = 60$ เมตร สำหรับระบบป้องกันฟ้าผ่าระดับที่ 4

$\Delta = \Delta T \times 10^6$ (วินาที) คือ ระยะที่แท่งล่อฟ้า

แบบอีเอสอีเริ่มปล่อยประจุก่อน และเป็นระยะป้องกันที่ครอบคลุมพื้นที่มากกว่าพื้นที่ป้องกันด้วยวิธีแบบดั้งเดิม

3. มาตรฐาน และข้อกำหนดของระบบป้องกันฟ้าผ่า>>>

3.1 มาตรฐาน และข้อกำหนดของประเทศไทย

โรงงานผลิตเครื่องยนต์ดีเซลก่อตั้งเมื่อปีพ.ศ. 2554 มีพื้นที่อาคารโรงงานขนาด 35,620 ตารางเมตร จัดเป็นอาคารขนาดใหญ่พิเศษตามกฎหมายกระทรวง ฉบับที่ 33 (พ.ศ. 2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ในปีพ.ศ. 2556 ได้มีกฎกระทรวง กำหนดมาตรฐานในการบริหารจัดการ และดำเนินการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับการป้องกันและระงับอัคคีภัย พ.ศ. 2555 ได้กล่าวถึงการป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่าซึ่งได้กำหนดไว้ชัดเจนเรื่องการติดตั้งระบบป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่าให้ปฏิบัติตามมาตรฐานของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.)

ต่อมาในปีพ.ศ. 2558 มีกฎกระทรวง กำหนดมาตรฐานในการบริหาร จัดการ และดำเนินการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับไฟฟ้า พ.ศ. 2558 กล่าวถึงการป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่า โดยให้เป็นไปตามมาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าของสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ หรือมาตรฐานสมาคมป้องกันอัคคีภัยแห่งชาติสหรัฐอเมริกา (National Fire Protection Association : NFPA) หรือมาตรฐานคณะกรรมการการระหว่างประเทศว่าด้วย

มาตรฐานสาขาอิเล็กทรอนิกส์ (International Electrotechnical Commission : IEC) หรือมาตรฐานอื่นตามที่อธิบดีประกาศกำหนดไว้

3.2 มาตรฐาน และข้อกำหนดในต่างประเทศ

มาตรฐานระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอกของสิ่งปลูกสร้างในต่างประเทศ ซึ่งกำหนดโดย The International Electrotechnical Commission (IEC) หมายเลขมาตรฐาน IEC 62305 ครอบคลุมการใช้ตัวนำอากาศแบบดั้งเดิม วิธีการคำนวณ การติดตั้ง และการประเมินความเสี่ยง ซึ่งในบทนำของมาตรฐาน 62305-1 หน้า 7 เขียนไว้ว่า ฟ้าผ่า เป็นปรากฏการณ์สภาพอากาศตามธรรมชาติซึ่งไม่มีอุปกรณ์หรือวิธีการใดที่สามารถปรับเปลี่ยนปรากฏการณ์ดังกล่าวให้ถึงระดับที่จะป้องกันดิสชาร์จฟ้าผ่าได้ ซึ่งหมายความว่ามาตรฐานดังกล่าวไม่ครอบคลุมอุปกรณ์อีเอสอี

ในประเทศสหรัฐอเมริกา ใช้มาตรฐาน NFPA780 ซึ่งกำหนดโดย National Fire Protection Association (NFPA) มีเนื้อหาครอบคลุมการใช้ระบบป้องกันแบบดั้งเดิม โดยในข้อ 1.1.3 ซึ่งไม่ครอบคลุมข้อกำหนดการติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าแบบอีเอสอี (Early Streamer Emission Systems) หรือ Charge Dissipation System

4. วิธีการ>>>

4.1 การตรวจสอบระบบป้องกันฟ้าผ่าเดิม

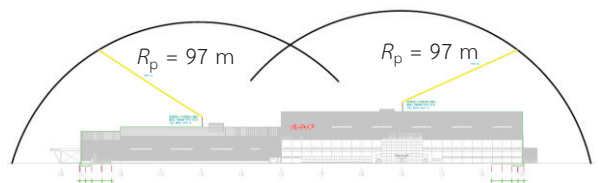
ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอกของโรงงานผลิตเครื่องยนต์ดีเซลที่ใช้งานในปัจจุบันเป็นแท่งล่อฟ้าอีเอสอี รุ่น S 6.6 ความสูง 5 เมตร รัศมีป้องกัน 97 เมตรตามมาตรฐานผู้ผลิต จำนวน 2 แท่ง และรุ่น

TS 2.25 ความสูง 5 เมตร รัศมีป้องกัน 57 เมตร ตามมาตรฐานผู้ผลิต จำนวน 1 แท่ง

จากสมการที่ (1) แท่งล่อฟ้าอีเอสอี รุ่น S 6.6 ความสูง (h) 5 เมตร กำหนดให้เป็นระบบป้องกันระดับที่ 3 ซึ่งมีค่า r เท่ากับ 45 เมตร และค่าความแตกต่างของเวลาที่แท่ง แพรงกลืนและแท่งอีเอสอี เริ่มปล่อยประจุ (ΔT) ตามมาตรฐานผู้ผลิต เท่ากับ $60 \mu s$ ดังนั้นค่า Δ เท่ากับ 60 วินาที จะคำนวณรัศมีการป้องกันได้ ดังนี้

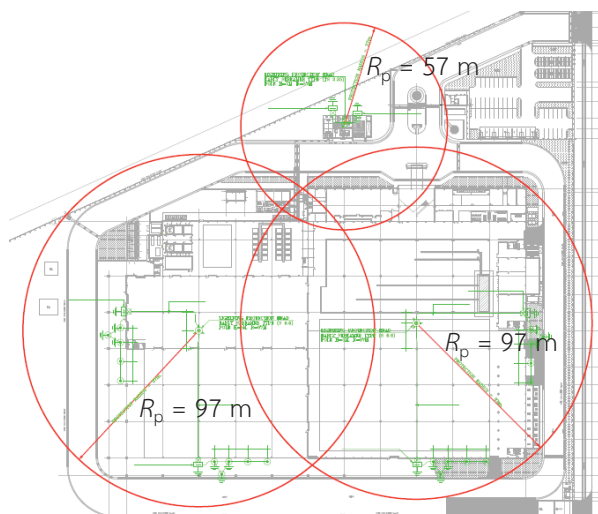
$$R_p = \sqrt{2(45)(5) - (5)^2 + 60(2(45) + 60)}$$

$$= 97 \text{ เมตร}$$



ภาพที่ 2 รัศมีการป้องกันของระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอก แบบแท่งล่อฟ้าอีเอสอีของโรงงานผลิตเครื่องยนต์ดีเซล มองจากด้านข้าง

จากภาพที่ 2, 3 จะพบว่ามุมป้องกันโดยแท่งตัวนำ ล่อฟ้าจะไม่ครอบคลุมพื้นที่ป้อมรปภ. ซึ่งเป็นพื้นที่ประกอบด้วยระบบสาธารณูปโภคที่สำคัญ เช่น ระบบกล้องวงจรปิด ระบบสัญญาณแจ้งเหตุเพลิงไหม้ เป็นต้น

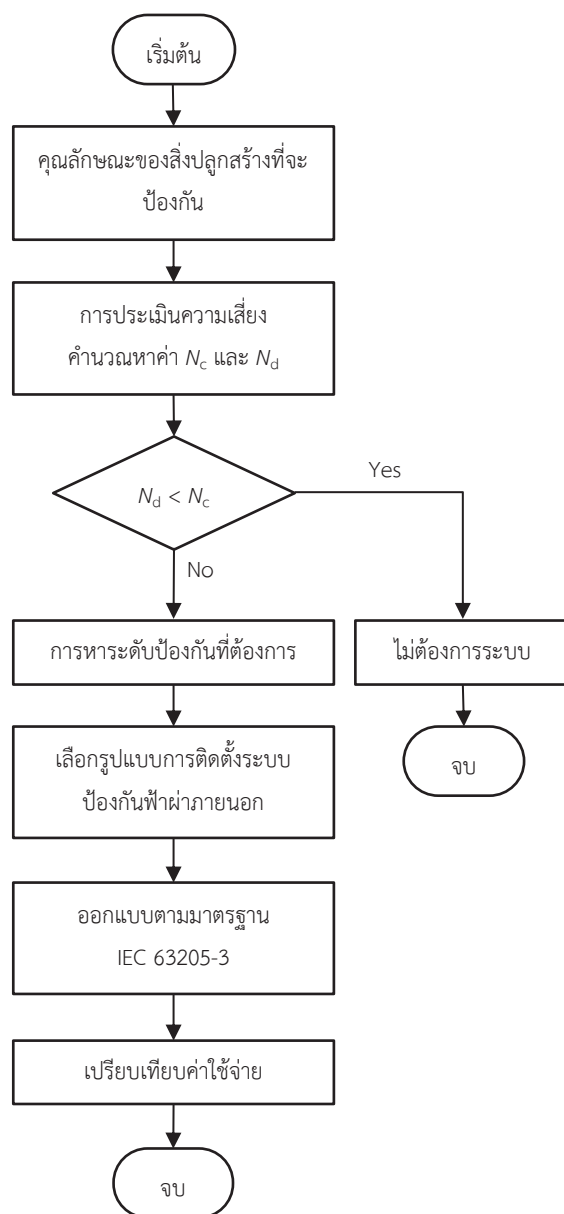


ภาพที่ 3 รัศมีการป้องกันของระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอกแบบแท่งล่อฟ้าไอเอสซีของโรงงานผลิตเครื่องยนต์ดีเซลมองจากด้านบน

จุดลงดินประกอบด้วยจุดตรวจสอบระบบตัวนำลงดิน (Lightning ground test box) จำนวน 6 จุด เครื่องนับจำนวนฟ้าผ่า (Lightning counter) 3 จุด จากการตรวจสอบการเกิดฟ้าผ่าบริเวณโรงงานผลิตเครื่องยนต์ดีเซลจากเครื่องนับจำนวนฟ้าผ่าทั้ง 3 จุด พบว่าเครื่องนับอ่านค่าได้เป็นศูนย์ครั้ง ส่วนระบบรากสายดินเป็นการจัดวางรากสายดินแบบ ก คือ จัดวางแท่งหลักดินแนวตั้ง ติดตั้งด้านนอกสิ่งปลูกสร้าง และต่อเข้ากับตัวนำลงดิน (Ground rod)

4.2 การออกแบบ และปรับปรุงระบบป้องกันฟ้าผ่า

ดังนั้นจึงได้ดำเนินการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าตามมาตรฐาน IEC 62305-3 ตามขั้นตอนดังนี้



ภาพที่ 4 ขั้นตอนการออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอก

4.2.1 ลักษณะทั่วไปของอาคารโรงงาน

พื้นที่โรงงานผลิตเครื่องยนต์ดีเซลมีขนาด 75,856 ตารางเมตร ประกอบด้วยอาคารโรงงานขนาด 35,620 ตารางเมตร ความสูง 25 เมตร เป็น

อาคารโครงสร้างเหล็กชั้นเดียว มีชั้นลอย หลังคาเป็นวัสดุแผ่นโลหะ (Metal sheets) ความหนา 0.50 มิลลิเมตร พื้นที่ตั้งอาคารเป็นพื้นที่โล่งซึ่งล้อมรอบด้วยต้นไม้ที่มีความสูงต่ำกว่าตัวอาคาร

4.2.2 การประเมินความเสี่ยงจากการถูกฟ้าผ่าของโรงงานผลิตเครื่องยนตดีเซล

4.2.2.1 การประเมินค่าความถี่ของการเกิดวาบฟ้าผ่าที่ยอมรับได้กับสิ่งปลูกสร้าง N_c ครั้ง/ปี [2] สามารถคำนวณได้โดยสมการที่ 2

$$N_c = A \times B \times C \times D \quad (2)$$

ตารางที่ 1 ค่าที่ใช้ประเมินค่าความถี่ของการเกิดวาบฟ้าผ่าที่ยอมรับได้กับสิ่งปลูกสร้าง [2]

เงินลงทุนของระบบ	A
ต่ำ (น้อยกว่า 100,000 บาท)	1.0
ปานกลาง (100,000 - 2,000,000 บาท)	0.1
สูง (มากกว่า 2,000,000 บาท)	0.01
มูลค่าของอุปกรณ์อื่นๆ ที่จะเสียหาย	B
ต่ำ (น้อยกว่า 100,000 บาท)	1.0
ปานกลาง (100,000 - 2,000,000 บาท)	0.1
สูง (มากกว่า 2,000,000 บาท)	0.01
ความต้องการใช้พลังงานจากระบบ	C
ยอมหยุดได้มากกว่า 1 อาทิตย์	1.0
ยอมหยุดได้ไม่เกิน 1 อาทิตย์	0.1
ยอมหยุดได้ไม่เกิน 1 วัน	0.01
ความเสียหายอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง	D
ต่ำ	1.0
ปานกลาง	0.5
สูง	0.1
สูงมาก	0.01

สำหรับโรงงานผลิตเครื่องยนตดีเซล ในบทความนี้ใช้เงินลงทุนด้านระบบป้องกันฟ้าผ่า 2 ล้านบาท มูลค่าของอุปกรณ์อื่นๆ ที่จะเสียหายมีค่าต่ำ โรงงานมีการผลิตทุกวันสามารถหยุดงานได้มากกว่า 1 อาทิตย์ และความเสียหายอื่นๆ มีค่าต่ำ ดังนั้นจึงคำนวณค่า N_c ได้ดังนี้

$$N_c = 0.1 \times 1.0 \times 1.0 \times 1.0$$

$$N_c = 0.1 \text{ ครั้ง/ปี}$$

4.2.2.2 การประเมินค่าความถี่ของการเกิดวาบฟ้าผ่าโดยตรงกับสิ่งปลูกสร้าง N_d ครั้ง/ปี คำนวณได้จากสมการที่ 3

$$N_d = N_g \times A_e \times C_e \times 10^{-6} \quad (3)$$

โดยที่ค่า N_g คือ ค่าเฉลี่ยของจำนวนครั้งการเกิดฟ้าผ่าต่อปีในพื้นที่นั้นๆ โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4

$$N_g = 0.04 \times T_d^{1.25} \quad (4)$$

เมื่อ T_d คือ จำนวนวันที่มีฝนฟ้าคะนองต่อปี สำหรับโรงงานผลิตเครื่องยนตดีเซล ตั้งอยู่ในพื้นที่จังหวัดฉะเชิงเทรา ซึ่งมีค่า $T_d = 71.4$ วันต่อปี [3] ดังนั้นจึงคำนวณค่า N_g ได้ 8.302 ครั้งต่อตารางกิโลเมตรต่อปี A_e คือ พื้นที่รับฟ้าผ่าสมมูลของสิ่งปลูกสร้างพิจารณาคำนวณได้จากสิ่งปลูกสร้างที่มีรูปร่างสี่เหลี่ยมมุมฉาก ดังสมการที่ 5

$$A_e = L \times W + 6 \times H \times (L + W) + 9 \times \pi \times (H)^2 \quad (5)$$

หรือสิ่งปลูกสร้างที่มีรูปร่างซับซ้อน คำนวณได้จากสมการที่ 6

$$A_e' = 9\pi \times (H_p)^2 \quad (6)$$

H_p คือ ความสูงของส่วนที่โผล่สูงขึ้น (เมตร) โดย L , W , H คือ ความยาว ความกว้าง และความสูงของอาคารตามลำดับ

สำหรับโรงงานผลิตเครื่องยนต์ดีเซลค่า A_e คำนวณได้เท่ากับ 128,085.03 ตารางเมตร และค่า C_e หมายถึงสัมประสิทธิ์ของพื้นที่ติดตั้ง มีค่าดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตัวประกอบตำแหน่งที่ตั้ง C_e [4]

ตำแหน่งที่ตั้งสัมพัทธ์	C_e
วัตถุซึ่งล้อมรอบด้วยวัตถุหรือต้นไม้ที่สูงกว่า	0.25
วัตถุซึ่งล้อมรอบด้วยวัตถุหรือต้นไม้ที่มีความสูงเท่ากันหรือน้อยกว่า	0.5
วัตถุแยกอิสระ ไม่มีวัตถุอื่นอยู่ในบริเวณใกล้เคียง	1
วัตถุแยกอิสระอยู่บนยอดเขาหรือเนินเขา	2

จากตารางที่ 2 ค่า C_e ของโรงงานผลิตเครื่องยนต์ดีเซลในบทความนี้เท่ากับ 0.5 ดังนั้นจากสมการที่ 3 จะคำนวณค่า N_d ได้เท่ากับ 0.53 ซึ่งมีค่ามากกว่า N_c ดังนั้นโรงงานนี้จำเป็นต้องมีการป้องกันฟ้าผ่า

4.3 พิจารณาเลือกระดับป้องกันสำหรับอาคารนั้น ๆ (Protection Level)

ความเสี่ยงของอาคารแต่ละชนิดพิจารณาจากค่าความถี่ของการเกิดวาบฟ้าผ่าโดยตรงกับสิ่งปลูกสร้างนั้นต่อปี N_d และค่าความถี่ของการเกิดวาบฟ้าผ่าที่ยอมรับได้กับสิ่งปลูกสร้าง N_c จากนั้นหาค่าประสิทธิภาพของระบบป้องกันฟ้าผ่า E_c ดังสมการที่ 7

$$\begin{aligned}
 E_c &= 1 - N_c / N_d \\
 &= 1 - 0.1 / 0.53 \\
 &= 81.2 \%
 \end{aligned}
 \quad (7)$$

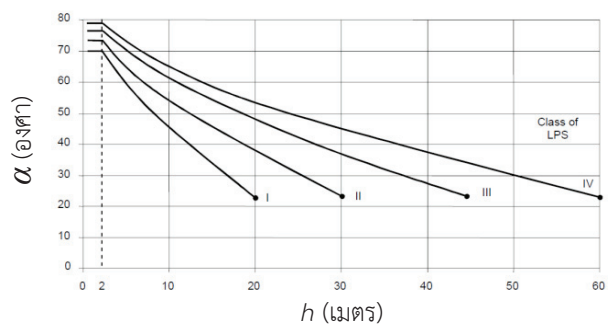
ดังนั้นระดับป้องกันที่เหมาะสมกับอาคารโรงงานผลิตเครื่องยนต์ดีเซล คือ ระดับป้องกัน 3

หลังจากคำนวณเพื่อเลือกระดับป้องกันสำหรับอาคารที่ต้องการแล้ว จึงได้ออกแบบระบบป้องกัน

ฟ้าผ่าจากข้อมูลข้างต้น โดยใช้โปรแกรม Autocad โดยมีวิธีการออกแบบดังนี้

4.4 ออกแบบระบบตัวนำล่อฟ้า ตามมาตรฐาน IEC 62305-3 โดยใช้ 3 วิธีในการออกแบบร่วมกัน คือ วิธีมุมป้องกัน (Protective angle) วิธีทรงกลมกลิ้ง (Rolling sphere) และวิธีตาข่าย (Mesh size) ตารางที่ 3 ค่าสูงสุดของรัศมีของทรงกลมกลิ้ง ขนาดตาข่าย และมุมป้องกัน ตามชั้นของระบบป้องกันฟ้าผ่า

ชั้นของระบบป้องกันฟ้าผ่า	วิธีป้องกัน		
	รัศมีของทรงกลมกลิ้ง r (เมตร)	ขนาดตาข่าย w (เมตร)	มุมป้องกัน α (องศา)
1	20	5 x 5	ดูกราฟด้านล่าง
2	30	10 x 10	
3	45	15 x 15	
4	60	20 x 20	



ภาพที่ 5 กราฟแสดงมุมป้องกัน α (องศา) ตามชั้นของระบบป้องกันฟ้าผ่า [5]

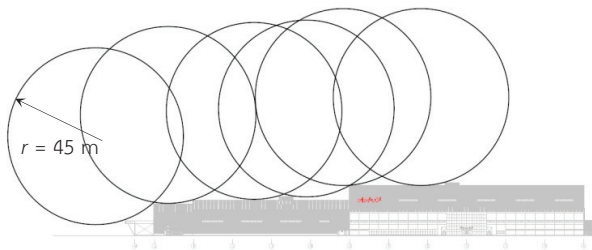
4.4.1 วิธีทรงกลมกลิ้ง

แนวคิดเกี่ยวกับทรงกลมกลิ้ง คือ นำระยะฟ้าผ่าขั้นสุดท้ายเป็นรัศมีของทรงกลมกลิ้ง โดยนำค่า Minimum peak current; I ชั้นของระบบป้องกันฟ้าผ่า 3 คือ 10 kA แทนค่าในสมการที่ 8

$$r = 10 / 0.65 \quad (8)$$

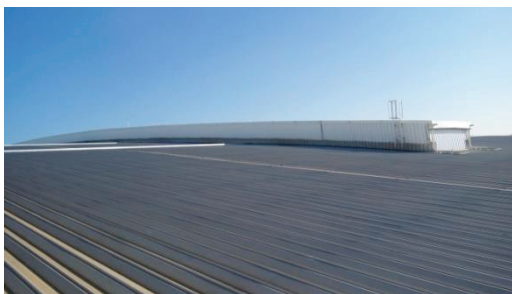
โดย r คือ รัศมีของทรงกลมกลิ้ง (เมตร)

จะไดรัศมีของทรงกลมกลิ้ง r คือ 45 เมตร โดยกลิ้งทรงกลมไปโดยรอบและด้านบนของตัวอาคารทุกทิศทาง หากส่วนของทรงกลมกลิ้งสัมผัสกับอาคารจะต้องมีระบบตัวนำล่อฟ้ามารองรับเพื่อป้องกันการเกิดฟ้าผ่าที่อาจเกิดขึ้น เมื่อวางทรงกลมที่มีรัศมี 45 เมตรและกลิ้งผ่านตัวอาคารโรงงานดังภาพที่ 6 จะเห็นได้ว่ามีส่วนของทรงกลมที่สัมผัสกับตัวหลังคาโรงงานจึงต้องมีการติดตั้งตัวนำล่อฟ้ามารองรับ



ภาพที่ 6 พื้นที่ป้องกันฟ้าผ่าของโรงงานผลิตเครื่องยนต์ดีเซล ตามหลักการทรงกลมกลิ้ง

ด้านบนหลังคาจะมีส่วนของหลังคาที่ยื่นขึ้นไประยะ 2.8 เมตร ติดตั้งพัดลมระบายอากาศ ดังภาพที่ 7 เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นจึงออกแบบให้มีการติดตั้งแท่งตัวนำล่อฟ้า 2 แท่งขนานกันวางอยู่เหนือระนาบอ้างอิงแนวระดับห่างกันในระยะ 5 เมตร



ภาพที่ 7 แนวหลังคาที่ยื่นขึ้นไปเพื่อติดตั้งพัดลมระบายอากาศโรงงาน

ระยะช่วงลำของทรงกลมกลิ้ง p ที่ต่ำกว่าระดับของตัวนำในปริมาตรระหว่างตัวนำทั้งสอง คือ 0.07 เมตร เมื่อรัศมีของทรงกลมกลิ้ง r 45 เมตร ดังสมการที่ 9

$$p = r - [r^2 - (d / 2)^2]^{1/2} \quad (9)$$

โดย p คือ ระยะช่วงลำ (เมตร)

ตารางที่ 4 แสดงการคำนวณระยะช่วงลำ p

ระยะห่าง d (เมตร)	ระดับ ป้องกัน	รัศมีทรง กลมกลิ้ง	ระยะช่วงลำ p (เมตร)
5	3	45	0.07

4.4.2 วิธีมุมป้องกัน

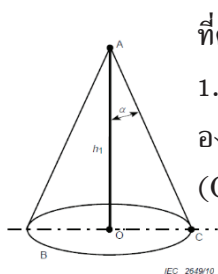
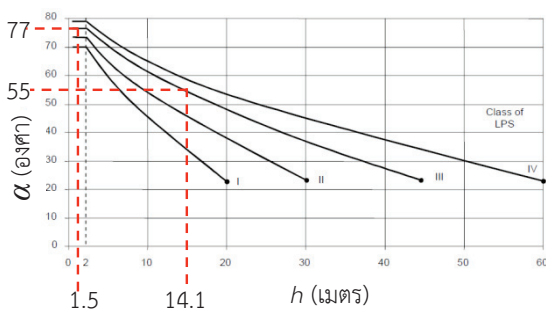
หลังคาอาคารโรงงานเป็นแผ่นโลหะ (Metal sheets) ความหนา 0.50 มิลลิเมตร ซึ่งไม่สามารถเป็นตัวนำล่อฟ้าได้โดยตรง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการติดตั้งตัวนำล่อฟ้า โดยเลือกใช้ Single rod air terminal (16 mm. x 1.5 m.)

การวางระบบแท่งตัวนำล่อฟ้า บางส่วนของอาคารที่ทรงกลมกลิ้งสัมผัสจะต้องติดตั้งแท่งตัวนำล่อฟ้า จึงได้ออกแบบระบบตัวนำล่อฟ้าโดยใช้วิธีมุมป้องกันสำหรับความสูงต่างๆ โดยตัวนำล่อฟ้าที่ติดตั้งบนสิ่งปลูกสร้าง ต้องวางในตำแหน่งหัวมุม จุดที่เปิดโล่ง และริมขอบ โดยเฉพาะระดับบนของส่วนปิดหน้าอาคาร งานวิจัยนี้เลือกใช้ความสูงของแท่งตัวนำล่อฟ้า 1.5 เมตร มุมป้องกันระดับ 3 (77 องศา) จะได้ระยะห่างในแนวระดับ คือ 6.49 เมตร เพื่อให้สอดคล้องกับการจัดวางแบบตาข่ายที่มีมาตรฐานกำหนด 15 x 15 เมตร หากใช้ความสูงของแท่งตัวนำล่อฟ้า 2 เมตร มุมป้องกันระดับ 3 (77 องศา) จะได้ระยะห่างในแนวระดับ คือ 8.66 เมตร การจัดวางแบบตาข่ายจะ

ไม่สอดคล้องตามมาตรฐานกำหนด หรือหากใช้ความสูงของแท่งตัวนำล่อฟ้า 1 เมตร มุมป้องกันระดับ 3 (77 องศา) จะได้ระยะห่างในแนวระดับ คือ 4.33 เมตร จะทำให้เกิดการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย ดังแสดงในตาราง 5

ตารางที่ 5 สรุประยะห่างในแนวระดับโดยใช้วิธีกราฟ [5]

ความสูงของแท่งตัวนำล่อฟ้า (เมตร)	มุมป้องกันระดับ 3 (องศา)	ระยะห่างในแนวระดับ (เมตร)
1	77	4.33
1.5	77	6.49
2	77	8.66



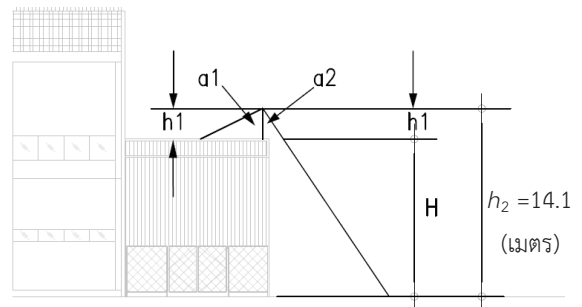
ที่ความสูงของแท่งตัวนำล่อฟ้า (h_1) 1.5 เมตร และมุมป้องกัน (α_1) 77 องศา จะได้ระยะห่างในแนวระดับ (OC) คือ 6.49 เมตร

ภาพที่ 8 การหามุมป้องกันโดยใช้วิธีกราฟ และการหา ระยะห่างในแนวระดับของแท่งตัวนำล่อฟ้า

จากตารางที่ 5 หาระยะห่างจากแท่งตัวนำล่อฟ้า โดยอ้างอิงความสูงทางกายภาพของแท่งตัวนำล่อฟ้า ซึ่งเท่ากับความสูงจากพื้นผิวหลังคาที่ทำการวัด (ระนาบ

อ้างอิง) มีทั้งสิ้น 112 จุด และมุมป้องกันระดับ 3 สามารถอ่านค่าได้จากกราฟ คือ 77 องศา

ปริมาตรป้องกันโดยแท่งตัวนำล่อฟ้าแนวดิ่ง (ด้านข้างของตัวอาคาร) พิจารณาที่ความสูงของแท่งตัวนำล่อฟ้าเหนือพื้นดิน h_2 ซึ่งระดับความสูงของหลังคาจากพื้นดินแต่ละจุดไม่เท่ากันเนื่องจากหลังคาบางจุดมีแนวลาดเอียงแตกต่างกันออกไป และมุมป้องกันระดับ 3 สามารถอ่านค่าได้จากกราฟ



ภาพที่ 9 แสดงมุมป้องกัน α_2 (องศา) ที่ความสูงของแท่งตัวนำล่อฟ้าเหนือพื้นดิน h_2 (เมตร)

จากภาพที่ 9 ความสูงของแท่งตัวนำล่อฟ้าเหนือพื้นดิน h_2 ของอาคารโรงงาน คือ 14.1 เมตร (ความสูงของอาคารจากพื้นดิน 12.6 เมตร + ความสูงของแท่งตัวนำล่อฟ้า 1.5 เมตร) เมื่ออ่านค่าจากกราฟที่ระดับป้องกัน 3 จะได้มุมป้องกัน 55 องศา

4.4.3 วิธีตาข่าย

การป้องกันพื้นผิวหลังคาในแนวราบ จากมาตรฐานกำหนดมิติตาข่ายของโครงข่ายตัวนำล่อฟ้าไม่ใหญ่กว่า 15 x 15 เมตร ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้ 13 x 13 เมตร สอดคล้องตามมาตรฐานกำหนด โดยวางตามแนวหลังคาที่ติดตั้งแท่งตัวนำล่อฟ้าขนาดความสูง 1.5 เมตร (ระยะห่างในแนวระดับ 6.49 เมตร) ใช้สายทองแดงขนาด 50 มม. ความยาว 7,576 เมตรโดย

ติดตั้งตัวจับยึดเพิ่มเติม (ตัวจับยึด + ตัวหนีบหลังคา จำนวน 7,576 ชุด) เนื่องจากวัสดุหลังคาโรงงานไม่สามารถรับฟ้าผ่าได้โดยตรง

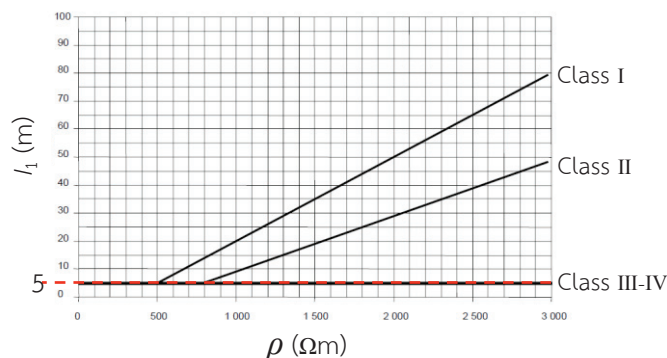
ระบบตัวนำลงดิน จำนวนและตำแหน่งของตัวนำลงดินจะสัมพันธ์และต่อเนื่องมาจากตำแหน่งการติดตั้งตัวนำล่อฟ้า และวิธีตายายโดยจัดวางให้กระจายอย่างสม่ำเสมอตามแนวเส้นรอบอาคาร และมีลักษณะสมมาตรกัน ระยะห่างตัวนำลงดิน 13 เมตร ซึ่งอยู่ในค่ามาตรฐานกำหนดที่ว้าชั้นของระบบป้องกันฟ้าผ่า 3 ระยะห่างไม่เกิน 15 เมตร การติดตั้งยึดตำแหน่งตามระยะการติดตั้งแท่งตัวนำล่อฟ้า เพื่อให้มีความต่อเนื่องโดยตรงกับตัวนำล่อฟ้าให้มากที่สุดเท่าที่ทำได้ ในการปฏิบัติ ใช้สายทองแดงขนาด 50 มม. เดินในท่อ PVC 1-4" จำนวน 63 ท่อ

ระบบรากสายดิน ในการออกแบบระบบรากสายดินของเดิมเป็นแบบ ก ซึ่งออกแบบใหม่เป็นแบบ ก และ ข โดยเชื่อมโยงกับระบบตัวนำล่อฟ้าแบบตายาย และระบบตัวนำลงดินที่มีหลายเส้นเพิ่มขึ้นมา การจัดวางประกอบด้วยรากสายดินแบบวงแหวนวาง

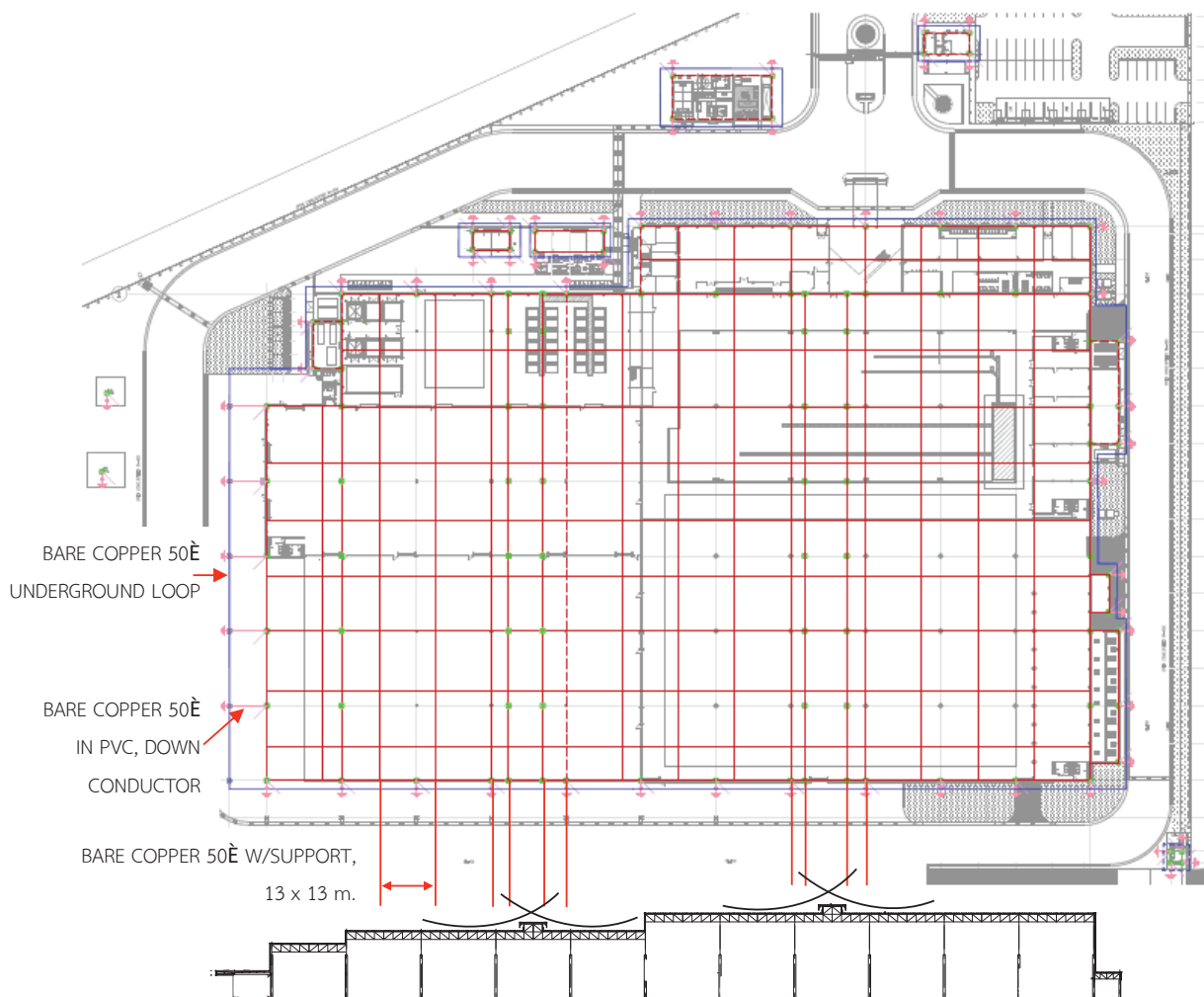
ภายนอกสิ่งปลูกสร้างด้วยการเดินสายตัวนำ (BAR COPPER 50E) รอบอาคารโรงงาน ทั้งนี้ต้องมีจุดต่อ (Earth Pit) เพิ่มเติมถึง 63 จุด และแท่งกราวด์เชื่อมโยงจากระบบตัวนำลงดิน 63 จุด เนื่องจากจำนวนรากสายดินต้องไม่น้อยกว่าจำนวนตัวนำลงดิน รากสายดินแบบ ข ต้องให้รัศมี r_e ของพื้นที่ที่ล้อมรอบมีค่าไม่น้อยกว่า r_1

$$r_e \geq r_1 \quad (10)$$

โดยที่ค่า r_1 คือ ค่าความยาวต่ำสุดของรากสายดินแนวระดับ (เมตร) แสดงในภาพที่ 10 ตามชั้นของระบบป้องกันฟ้าผ่า 1 2 3 และ 4 ในที่นี้ชั้นของระบบป้องกันฟ้าผ่า 3 จะได้ค่า I_1 เท่ากับ 5 เมตรรากสายดินแบบ ข หรือรากสายดินวงแหวน นิยมใช้กับอาคารขนาดใหญ่ เพราะสามารถทำให้ความต้านทานดินต่ำ โดยทำให้ศักย์ไฟฟ้าเท่ากันระหว่างตัวนำลงดินทั้ง 63 จุด ที่ระดับดิน และยังทำหน้าที่ลดแรงดันช่วงก้าว (Step Voltage) ได้ ซึ่งนิยมใช้ร่วมกับรากสายดินแนวตั้ง [6] โดยค่าความต้านทานดินน้อย สามารถทำได้โดยการเพิ่มจำนวนการต่อลงดินให้เพิ่มขึ้น[7]



ภาพที่ 10 ความยาวต่ำสุด I_1 ของรากสายดินแต่ละชุดจำแนกตามชั้นของระบบป้องกันฟ้าผ่า [5]



ภาพที่ 11 แบบระบบป้องกันฟ้าผ่าที่ใช้แท่งแฟรงกลิน และกรงฟาราเดย์

4.5 การประเมินค่าใช้จ่าย

จากนั้นได้เปรียบเทียบการประเมินค่าใช้จ่ายของการติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าสำหรับโรงงานผลิตเครื่องยนต์ดีเซลทั้งสองรูปแบบ ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่ารูปแบบดั้งเดิม (Conventional System) นั้นจะมีค่าใช้จ่ายที่มากกว่ารูปแบบอีเอสอี (Early Streamer Emission System) ค่าใช้จ่ายที่มากกว่านั้นมาจากการติดตั้งหลักล่อฟ้า (Single Rod Air Terminal) ที่มีจำนวนมากกว่า มีการทำระบบ

ตัวนำล่อฟ้าแบบตาข่ายซึ่งต้องใช้สายทองแดง 50 มม. ความยาว 7,576 เมตร และแท่งกราวด์พร้อมอุปกรณ์ประกอบ (Ground Rods & Grounding Accessories) ที่มีความถี่มากขึ้น ซึ่งต้องสกัดพื้นทำจุดต่อ (Earth Pit) อุปกรณ์ประกอบในการติดตั้งมากขึ้น ผู้รับเหมาต้องทำงานบนที่มีความสูง และใช้ระยะเวลาในการทำงานมากกว่า ทำให้ค่าแรงและค่าเดินทางก็ต้องเพิ่มขึ้นตามมาด้วย ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าสำหรับโรงงานผลิตเครื่องยนต์ดีเซลทั้งสองรูปแบบ

รายการอุปกรณ์	จำนวน	ราคา	
		ESE System	Conventional System
Lightning Rod (ESE), $r = 57$ m.	2	197,400.00	-
Lightning Rod (ESE), $r = 97$ m.	2	257,600.00	-
Single Rod Air Terminal (16 mm. x 1.5 m.)	112	-	336,000.00
Bare Copper, 50	7,576 M.	-	2,121,280.00
Ground Rods & Grounding Accessories (70 mm) และ Earth Pit	63	-	1,134,000.00
อุปกรณ์ประกอบ Test Terminal Box, Digital Lightning Counter, 6 Digits, ค่าแรงในการติดตั้งจนแล้วเสร็จ, ค่าเช่า และอื่นๆ	1	741,200.00	5,694,870.00
รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด		1,196,200.00	9,286,150.00

5. วิจัยนผลการศึกษา>>>

ในการปรับปรุงเพิ่มเติมระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอกเดิมที่มีอยู่นั้นต้องมั่นใจว่ามีแบบแปลนที่ถูกต้อง และข้อมูลอื่นๆ ที่สำคัญต่อการคำนวณอย่างครบถ้วน เพราะหากข้อมูลไม่ครบถ้วนแล้วการคำนวณระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอกใหม่ที่ต่อเข้าไปนั้นอาจจะ

ผิดพลาดได้ และก่อนการติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอกควรมีการประสานงานกับผู้รับเหมาและอธิบายรายละเอียดของระบบที่ออกแบบไว้ให้ชัดเจนเพื่อลดข้อผิดพลาดที่จะเกิดขึ้น หลังจากติดตั้งเสร็จเรียบร้อยแล้ว

6. สรุปผลการศึกษา>>>

ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอกสำหรับโรงงานผลิตเครื่องยนต์ดีเซลแบบดั้งเดิม (Conventional System) ที่ได้ออกแบบใหม่ พบว่า เป็นระบบที่ใช้แท่งแฟรงกลิน และกรงฟาราเดย์ เหมาะสำหรับอาคารโรงงาน และช่วยป้องกันการเกิดฟ้าผ่าตัวอาคารได้ดี โดยใช้การออกแบบระบบตัวนำล่อฟ้า 3 วิธีในการออกแบบร่วมกัน ตามมาตรฐาน IEC62305-3 ประกอบด้วยวิธีมุมป้องกัน วิธีทรงกลมกลิ้ง และวิธีตาข่าย โดยออกแบบให้ติดตั้งร่วมเข้ากับระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอกที่มีอยู่เดิม ซึ่งได้ยกเลิกระบบที่ใช้แท่งอีเอสอีเพื่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบป้องกันฟ้าผ่า แต่ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบหลังจากที่ได้ออกแบบไว้ 2 รูปแบบสุดท้ายได้แสดงการคำนวณให้เป็นไปตามมาตรฐาน และการรับรองระบบป้องกันที่ได้ออกแบบใหม่ให้ตรงตามมาตรฐาน IEC 62305-3 ที่กำหนด

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัย ขอขอบคุณกรมอุตุนิยมวิทยา และสำนักนโยบายและยุทธศาสตร์ สำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุขที่เอื้อเฟื้อข้อมูลสถิติการเกิดฟ้าคะนอง และจำนวนการเสียชีวิตจากการถูกฟ้าผ่ามาประกอบจนสำเร็จ

เอกสารอ้างอิง

- [1] สำนักนโยบายและยุทธศาสตร์, (2558). สำนักปลัดกระทรวงสาธารณสุข, จำนวนการตายจากถูกฟ้าผ่า, นนทบุรี.
- [2] Becker H., VaaBen W., VaBen F., Bosanac M. and Katic I (2000). Energie, kLightning and Overvoltage protection for PV Systemm, The European Commission Directorate-General for Energy and Transport 200, rue de la Loi.
- [3] แผนกบริการข้อมูลสถิติย้อนหลัง, (2558). กรมอุตุนิยมวิทยา, ข้อมูลจำนวนครั้งที่เกิดฟ้าคะนอง, กรุงเทพฯ.
- [4] คณะกรรมการสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. มาตรฐานป้องกันฟ้าผ่าภาค 2 การบริหารความเสี่ยง. EIT Stadard.2008-53. กรุงเทพฯ. : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553
- [5] IEC Std, Protection Against Lightning, Part 3: Physical damage to structures and life hazard. IEC Public No. 62305-3, 2010(E). Edition 2.0 2010-12

[6] อนวัช วรรณศรี. (2551). การศึกษาการต่อลงดินของระบบป้องกันฟ้าผ่าโดยใช้รอกสายดินฐานราก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

[7] ศรัณย์ สุวิทย์พันธุ์ และ เกียรติยุทธ กวีญาณ (2559). การศึกษาผลกระทบระบบแรงต่ำต่อการต่อลงดินของหม้อแปลงแบบต่อแยกและแบบต่อร่วม เมื่อเกิดความผิดปกติที่ระบบแรงสูง. วิศวกรรมสาร มก. ฉบับที่ 95 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.