

## การตรวจสอบและปรับปรุงระบบป้องกันฟ้าผ่าสำหรับเสาวิชญูคมนาคม กรณีศึกษา โรงพยาบาลพร้าว จังหวัดเชียงใหม่

### Inspection and Improvement of Lightning Protection System for the Guyed-Mast Tower a Case Study of PHRAO Hospital in Chiang Mai

บัณฑิต พิทักษ์วงศ์<sup>1</sup>, ภูมิวัฒน์ วิไลลักษณ์<sup>2</sup>, สุธธิพงษ์ ปันตา<sup>3</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนอร์ท-เชียงใหม่ bantoon@northcm.ac.th

<sup>2</sup>ศูนย์สนับสนุนบริการสุขภาพที่ 1 กรมสนับสนุนบริการสุขภาพ กระทรวงสาธารณสุข phimpiwat@gmail.com

<sup>3</sup>ศูนย์บริการเทคนิคสื่อสาร 51 ฝ่ายการสื่อสาร 5 กองตำรวจสื่อสาร สำนักงานตำรวจแห่งชาติ Suttipongpanta@gmail.com

#### บทคัดย่อ

โรงพยาบาลเป็นหนึ่งในสถานที่ที่ได้รับผลกระทบจากปรากฏการณ์ฟ้าผ่า สายฟ้าที่วابلงมาจะพุ่งไปที่จุดสูงสุดของอาคาร และหาทางลงสู่ดินในลักษณะที่ไม่สามารถควบคุมได้ ผ่านทางเสาวิชญูคมนาคม ทำให้เกิดอิมพัลส์แม่เหล็กไฟฟ้า ส่งผลให้ระบบสื่อสารถูกตัดขาดทันที ดังนั้นได้มีการตรวจสอบและปรับปรุงระบบป้องกันฟ้าผ่าสำหรับเสาวิชญูคมนาคมให้สอดคล้องตามมาตรฐาน วสท. 022001-22, 022014-22 และมาตรฐาน ITU-T K.56, ITU-T K.112 หลังการปรับปรุงระบบป้องกันฟ้าผ่า สรุปได้ว่าค่าความต้านทานของเสาวิชญูคมนาคมไม่ได้เป็นประเด็นสำคัญ แต่การลดผลกระทบจากฟ้าผ่าและศักย์ไฟฟ้าของดินที่เพิ่มขึ้น ที่ออกไปด้านนอกสถานีสื่อสารเป็นประเด็นที่สำคัญมากกว่า สำหรับความปลอดภัยต่อพื้นที่สาธารณะหรือชุมชนโดยรอบ จึงจำเป็นต้องได้รับการออกแบบรากสายดินโดยคำนึงถึงความยาวรากสายดินประสิทธิผล โดยปรับปรุงค่าความต้านทานจำเพาะของดินให้ต่ำเหมาะสมกับทุกฤดู เพิ่มจำนวนแท่งหลักดินเพื่อทำให้อัตราส่วนสัมประสิทธิ์อิมพัลส์ดีขึ้นและมีค่าความต้านทานของหลักดินเท่ากับ 5 โอห์ม ใช้ระบบป้องกันฟ้าผ่าชนิดกรงฟาราเดย์ โดยการคำนวณแบบทรงกลมกลิ้ง

**คำหลัก:** ระบบป้องกันฟ้าผ่า, ระบบการต่อลงดิน, เสาวิชญูคมนาคม

#### Abstract

Hospitals are among the places that are affected by lightning phenomena. Lightning bolts tend to reach the top of buildings and find their way to the ground in an uncontrolled manner through guyed-mast towers, creating electromagnetic impulses that immediately cut off communication systems. Therefore, lightning protection system for guyed-mast towers has been inspected and improved to comply with TISI standards

022001-22, 022014-22 and ITU-T K.56, ITU-T K.112. After improving the lightning protection system, it can be concluded that the resistance value of the radio tower is not an important issue, but reducing the impact of lightning and the increased ground potential rise that goes outside the communication station is a more important issue. It is necessary to design the grounding rods taking into account the effective length of the grounding rods, improving the specific resistance of the soil to be low enough for all seasons, increasing the number of grounding rods to improve the impulse coefficient ratio, and have the resistance of grounding rods 5 ohms, using a Faraday cage lightning protection system by rolling sphere model.

**Keywords:** Lightning Protection System, Grounding System, Guyed-Mast Tower

### ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากการลงพื้นที่ปฏิบัติงานตรวจสอบวิศวกรรมความปลอดภัยในโรงพยาบาล พื้นที่เขตสุขภาพที่ 1 ระหว่างปี พ.ศ. 2564-2566 พบว่าโรงพยาบาลชุมชนจำนวนกว่า 89 แห่ง ยังไม่มีการติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าที่ครอบคลุมทุกอาคาร และการติดตั้งยังไม่สอดคล้องตามมาตรฐาน รวมถึงยังขาดการบำรุงรักษาเชิงป้องกันของอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่า หากฟ้าผ่าลงมาและโครงสร้างของอาคารนั้นไม่มีตัวนำล่อฟ้า สายฟ้าที่วابلงมาจะพุ่งไปที่จุดสูงสุดของอาคารและหาทางลงสู่ดินในลักษณะที่ไม่สามารถควบคุมได้ ผ่านทางเสาวิทยุคมนาคม, เสาอาคาร, โครงสร้างคอนกรีต ท่อหรือสายเคเบิล เกิดความเสียหายทางกลต่อสาย การหลอมละลายของซิลด์และตัวนำ เกิดการชำรุดของฉนวน, เคเบิลและบริภัณฑ์ ทำให้เกิดความล้มเหลวหลัก คือ อิมพัลส์แม่เหล็กไฟฟ้ามีผลให้การทำงานของเครื่องมือแพทย์ถูกรบกวน และระบบสื่อสารภายในโรงพยาบาลถูกตัดขาดทันที

โดยสถิติความหนาแน่นฟ้าผ่าในประเทศไทย ระหว่างปี พ.ศ. 2559-2566 เมื่อพิจารณาในส่วนของพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ ปรากฏว่าความหนาแน่นของเหตุการณ์ฟ้าผ่าเท่ากับ 10.7 ครั้ง/ตารางกิโลเมตร/ปี [1] ซึ่งมีความหนาแน่นระดับปานกลาง มีความเสี่ยงที่จะได้รับผลกระทบจากปรากฏการณ์ฟ้าผ่าได้เช่นกัน ดังนั้นบทความนี้มีการตรวจสอบ ปรับปรุงระบบการต่อลงดินและป้องกันฟ้าผ่าสำหรับเสาวิทยุคมนาคม [2] กรณีศึกษา โรงพยาบาลพร้าว จังหวัดเชียงใหม่ ให้สอดคล้องตามมาตรฐาน วสท. 022001-22, มาตรฐาน วสท. 022014-22, มาตรฐาน ITU-T K.56 และมาตรฐาน ITU-T K.112

## อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

รูปแบบเดิมของการออกแบบนั้น เหมาะสำหรับค่าความต้านทานจำเพาะของดินต่ำ ๆ ( $\rho < 100 \Omega\text{-m}$ ) และค่าความต้านทานดินของหลักดิน ( $R_g$ ) ที่กำหนดไว้ 5  $\Omega$  ไม่สามารถตอบโจทย์เรื่องผลกระทบที่เกิดจากพฤติกรรมของฟ้าผ่าได้ เช่น แรงดันเกินที่เกิดจากฟ้าผ่า ส่งผลกระทบให้เกิดแรงดันฟ้าผ่าแบบเหนี่ยวนำที่เสาวิทยุคมนาคมมีค่าสูงมาก และเกิดความล้มเหลวของระบบไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ภายในสิ่งปลูกสร้าง

จึงมีแนวคิดใหม่ในการออกแบบระบบรากสายดินที่สอดคล้องกับมาตรฐาน วสท. 022001-22, มาตรฐาน วสท. 022014-22, มาตรฐาน ITU-T K.56 และมาตรฐาน ITU-T K.112 โดยให้คำนึงถึงความยาวรากสายดินที่เหมาะสมและค่าความต้านทานในรูปแบบอิมพีแดนซ์ [2]

## ความแตกต่างระหว่างกราวด์ไฟฟ้ากับกราวด์ฟ้าผ่า

ตาราง 1 ความแตกต่างระหว่างกราวด์ไฟฟ้าและกราวด์ฟ้าผ่า

กราวด์ไฟฟ้า	กราวด์ฟ้าผ่า
เน้นค่า $R_g$ ต่ำ ๆ	เน้นค่า $Z_g$ ต่ำ ๆ
จะทำให้ $R_g$ ต่ำได้ จะต้องฝังตัวนำปริมาณมาก ๆ หรือฝังลึก	จะทำให้ $Z_g$ ต่ำได้ จะต้องจัดวางรูปแบบรากสายดินเป็นแนวราบ หรือแผ่ออก เพื่อให้มีค่า $L$ ที่ต่ำ
กราวด์ลึกจะให้ค่า $R_g$ ที่ต่ำโดยใช้พื้นที่น้อย	รูปแบบที่เหมาะสม คือ Loop, Grid, Counterpoise
มีผลดีกับความปลอดภัยจากไฟฟ้า แต่มีผลเสียกับระบบป้องกันฟ้าผ่า	รูปแบบที่เป็นผลเสียอย่างมาก คือ กราวด์ลึก เพราะทำให้ค่า $L$ สูง

จากตาราง 1 เหตุผลที่คำนึงถึงค่าอิมพีแดนซ์ของดิน ( $Z_g$ ) คือ คุณสมบัติกระแสฟ้าผ่าเป็นกระแสคลื่นอิมพัลส์ ที่สำคัญคือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของกระแสต่อเวลาของกระแสฟ้าผ่า ( $di/dt$ ) สูง ทำให้เกิดแรงดันฟ้าผ่าแบบเหนี่ยวนำที่เสาวิทยุคมนาคม ( $L * di/dt$ ) มีค่าสูงมาก

## ก่อนการปรับปรุง

ลงพื้นที่สำรวจและตรวจสอบระบบการต่อลงดินและป้องกันฟ้าผ่าสำหรับเสาวิทยุคมนาคม ณ อาคารผู้ป่วยนอก โรงพยาบาลพร้าว จังหวัดเชียงใหม่ โดยตัวนำล่อฟ้าถูกติดตั้งบนยอดของเสาวิทยุคมนาคมที่ตั้งอยู่ด้านบนของอาคารผู้ป่วยนอก ดังภาพ 1 และ 2 ตามลำดับ พบว่าสิ่งปลูกสร้างได้รับผลกระทบจากปรากฏการณ์ฟ้าผ่า ดังภาพ 3



ภาพ 1 อาคารผู้ป่วยนอก โรงพยาบาลพร้าว จังหวัดเชียงใหม่



ภาพ 2 ตัวนำล่อฟ้าถูกติดตั้งบนยอดของเสาวิทยุคมนาคม



ภาพ 3 ผลกระทบจากปรากฏการณ์ฟ้าผ่า บริเวณอาคารผู้ป่วยนอก

จากผลการวัดค่าความต้านทานดินของหลักดินแบบแนวตั้ง ( $R_g$ ) จำนวน 1 แห่ง บริเวณอาคารผู้ป่วยนอก ที่วัดได้จำนวน 3 ครั้ง พบว่าค่าเฉลี่ยความต้านทานดินของหลักดิน มีค่าระหว่าง 35.4  $\Omega$  ถึง 42.6  $\Omega$  ดังตารางที่ 2 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่า 1  $\Omega$  ดังตารางที่ 3 แสดงว่าข้อมูลมีการกระจายน้อย

ตาราง 2 ค่าความถูกต้องและค่าเฉลี่ยของการวัดค่าความต้านทานดินของหลักดินแบบแนวตั้ง ( $R_g$ ) จำนวน 1 แห่ง

$x_i$ ( $\Omega$ )	<b>Accuracy = <math>\pm 3\%</math> of full scale</b>	
	<b>Low limit (<math>\Omega</math>)</b>	<b>High limit (<math>\Omega</math>)</b>
40	$40 - \left(\frac{3}{100} \times 120\right) = 36.4$	$40 + \left(\frac{3}{100} \times 120\right) = 43.6$
38	$38 - \left(\frac{3}{100} \times 120\right) = 34.4$	$38 + \left(\frac{3}{100} \times 120\right) = 41.6$
39	$39 - \left(\frac{3}{100} \times 120\right) = 35.4$	$39 + \left(\frac{3}{100} \times 120\right) = 42.6$
	$\sum x_i = 106.2$	$\sum x_i = 127.8$
	$\bar{x} = 35.4 \Omega$	$\bar{x} = 42.6 \Omega$

ตาราง 3 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการวัดค่าความต้านทานดินของหลักดินแบบแนวตั้ง ( $R_g$ ) จำนวน 1 แห่ง

$x_i$ ( $\Omega$ )	<b>Sample Standard Deviation (S.D)</b>	
	<b>Low limit (<math>\Omega</math>)</b>	<b>High limit (<math>\Omega</math>)</b>
40	$(36.4 - 35.4)^2 = 1$	$(43.6 - 42.6)^2 = 1$
38	$(34.4 - 35.4)^2 = 1$	$(41.6 - 42.6)^2 = 1$
39	$(35.4 - 35.4)^2 = 0$	$(42.6 - 42.6)^2 = 0$
	$\sum (x_i - \bar{x})^2 = 2$	$\sum (x_i - \bar{x})^2 = 2$
	$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{2}{2}} = 1$	$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{2}{2}} = 1$

มาตรฐาน วสท. 022001-22 ได้กำหนดค่าความต้านทานของหลักดินต้องไม่เกิน 5  $\Omega$  และสำหรับพื้นที่ที่ยากในการปฏิบัติ ถ้าความต้านทานดินของหลักดินเกินค่าดังกล่าว และทางการไฟฟ้า

เห็นชอบ อาจกำหนดให้มีค่าไม่เกิน  $25 \Omega$  ได้ [3] โดยค่าความต้านทานดินของหลักดินแบบแวนดิง ( $R_g$ ) จำนวน 1 แห่ง ที่วัดได้มีค่าสูงเกินกว่ามาตรฐาน ซึ่งไม่สามารถตอบโจทย์เรื่องผลกระทบที่เกิดจากพฤติกรรมของฟ้าผ่าได้ ส่งผลกระทบให้เกิดความล้มเหลวของระบบไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ภายในสิ่งปลูกสร้าง

### ออกแบบระบบการต่อลงดินและป้องกันฟ้าผ่า

ตามมาตรฐาน วสท. 022014-22 ภาคผนวก ค. ตารางที่ ค.1 ระบุว่า “โรงพยาบาล” อาคารที่มีความกว้าง 20 เมตร ความยาว 50 เมตร ความสูง 40 เมตร และมีพื้นที่รับฟ้าผ่าสมมูล 63,039 ตารางเมตร ให้เลือกชั้นของระบบป้องกันฟ้าผ่า (LPS) ชั้น 1 [4] และเลือกวิธีการจัดวางตำแหน่งตัวนำล่อฟ้าโดยวิธีทรงกลมกลิ้ง

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

โดยขนาดความยาวของแท่งตัวนำล่อฟ้า ได้จากสมการ (1) ดังนั้นจึงเลือกใช้งานแท่งตัวนำล่อฟ้าขนาดความยาว เท่ากับ 1 เมตร

เมื่อ  $p$  คือ ความสูงของแท่งตัวนำล่อฟ้า (เมตร)

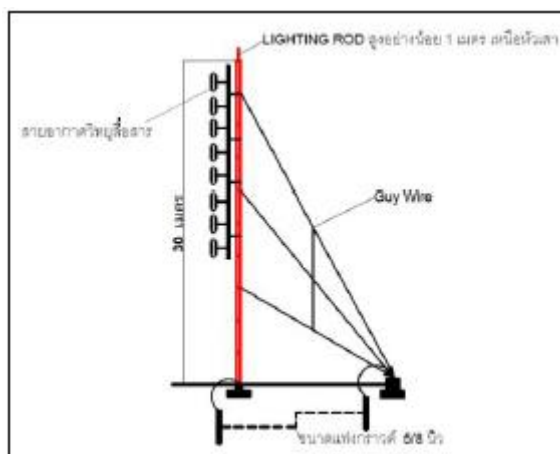
$r$  คือ รัศมีของทรงกลมกลิ้ง (เมตร)

ซึ่ง LPS Class I มีรัศมีของทรงกลมกลิ้งเท่ากับ 20 เมตร

$d$  คือ ระยะห่างระหว่างแท่งตัวนำล่อฟ้า 2 แท่ง (เมตร)

ซึ่ง LPS Class I มีระยะห่างโดยทั่วไปเท่ากับ 10 เมตร

เลือกใช้ตัวนำลงดินที่นำไฟฟ้าได้ดี คือ เหล็กเคลือบทองแดง แท่งกลม ตามมาตรฐาน IEC 62305-3 ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งหลักดิน 16 มิลลิเมตร ( $5/8$ " ) ความยาว 2.4 เมตร ออกแบบอุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกินชั่วขณะ (Surge Protective Device: SPD) โดยติดตั้ง SPD Type I, Class I ที่ตำแหน่งหลังมิเตอร์ไฟฟ้า และ SPD Type II, Class II ที่ตำแหน่งตู้จ่ายไฟฟ้าย่อยที่เสาวิทยุคมนาคมและในอาคาร พร้อมจัดทำรูปแบบรายการ และรายละเอียดคุณลักษณะเฉพาะของงานปรับปรุงระบบการต่อลงดินและป้องกันฟ้าผ่าสำหรับเสาวิทยุคมนาคม ดังภาพ 4



ภาพ 4 รูปแบบรายการของงานปรับปรุงระบบการต่อลงดินและป้องกันฟ้าผ่าสำหรับเสาวิทยุคมนาคม

### หลังการปรับปรุง

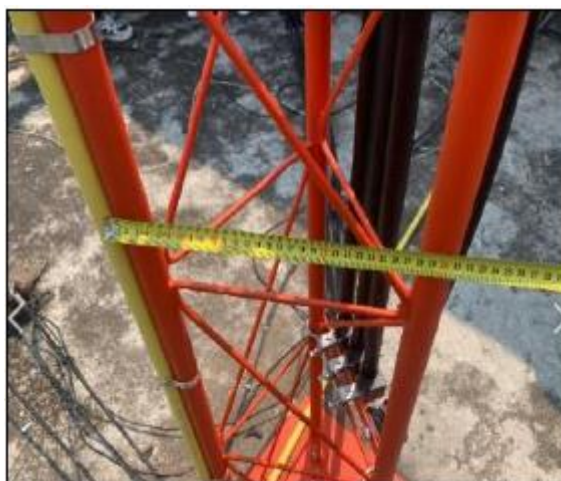
หลังการติดตั้งแท่งตัวนำล่อฟ้าแฟรงกลิน ดังภาพ 5 บนยอดของเสาวิทยุคมนาคม โดยมีความยาวของแท่งตัวนำล่อฟ้า 1 เมตร และประสานสัณยสัญญาณเข้ากับเสาวิทยุคมนาคม บริเวณจุดใกล้กับสายอากาศด้านบนสุด จุดบารักราวด์ที่หน้าต่างก่อนเข้าอาคาร (เพื่อป้องกันการเกิดวาบไฟ (Flashover) และลดค่าอิมพีแดนซ์เหนี่ยวนำ) รวมทั้งการติดตั้งกับดักฟ้าผ่า (Lightning Arrester) ของสายนำสัญญาณ ดังภาพ 6



ภาพ 5 แท่งตัวนำล่อฟ้าแฟรงกลิน ความยาว 1 เมตร ติดตั้งอยู่บนยอดของเสาวิทยุคมนาคม



ภาพ 6 การประสานสายนำสัญญาณเข้ากับเสาวิทยุคมนาคม และการติดตั้งกับดักฟ้าผ่า (Lightning Arrester) ของสายนำสัญญาณ



ภาพ 7 การวัดความกว้างของเสาวิทยุคมนาคม

จากการประสานสายนำสัญญาณเข้ากับเสาวิทยุคมนาคม เพื่อลดค่าอิมพีแดนซ์ของเสาวิทยุคมนาคม ( $Z_t$ ) ให้มีค่ามีค่าประมาณ 100-400  $\Omega$  พบว่าค่าอิมพีแดนซ์ของเสาวิทยุคมนาคม ( $Z_t$ ) เท่ากับ 295.14  $\Omega$  ซึ่งสามารถตอบโจทย์เรื่องผลกระทบที่เกิดจากพฤติกรรมของฟ้าผ่าได้ โดยคำนวณจากสมการ (2) และวัดความกว้างของเสาวิทยุคมนาคม ดังภาพ 7

$$Z_t = 60 \ln \left( \sqrt{2} \sqrt{\left(\frac{h}{r}\right)^2 + 1} \right) \quad (2)$$

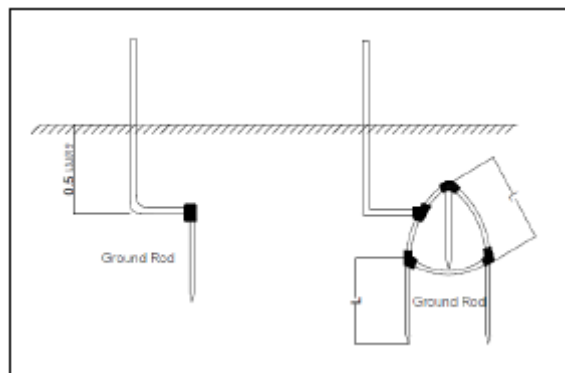
เมื่อ  $h$  คือ ความสูงของเสา (มีค่าเท่ากับ 30 เมตร)

$r$  คือ ความกว้างของเสา (มีค่าเท่ากับ 0.31 เมตร)

สำหรับระบบการต่อลงดิน ดำเนินการต่อสายตัวนำจากขาเสาวิทยุคมนาคมลงไปเชื่อมกับระบบ รากสายดินในระดับใต้พื้นดิน โดยการเชื่อมด้วยความร้อน ดังภาพที่ 8 และต่อสายยึดโยง (Guy Wire) ลง ระบบรากสายดินด้วยแคลมป์ (Clamp) ซึ่งดำเนินการตอกหลักดินเพิ่มจำนวน 2 แห่ง ตอกหลักดินเป็นรูป สามเหลี่ยมด้านเท่า ดังภาพที่ 9 มีความลึกจากพื้นที่ 0.5 เมตร และจัดให้ระยะห่างระหว่างแท่งหลักดินไม่ น้อยกว่า 2.4 เมตร [5-6] พร้อมติดตั้งกล่องทดสอบภาคพื้นดิน (Ground Test Box) และอุปกรณ์นับ จำนวนครั้งฟ้าผ่า (Lightning Strike Counter) ดังภาพ 10



ภาพ 8 การเชื่อมต่อสายตัวนำกับระบบรากสายดิน โดยการเชื่อมด้วยความร้อน (Exothermic Welding)



ภาพ 9 รูปแบบการตอกหลักดินเป็นรูปสามเหลี่ยมด้านเท่า มีความลึกจากพื้นที่ 0.5 เมตร และจัดให้ ระยะห่าง ระหว่างแท่งหลักดินไม่น้อยกว่า 2.4 เมตร



ภาพ 10 กล่องทดสอบภาคพื้นดิน (Ground Test Box) และอุปกรณ์นับจำนวนครั้งฟ้าผ่า (Lightning Strike Counter)

จากผลการวัดค่าความต้านทานดินของหลักดินแบบแนวตั้ง ( $R_g$ ) จำนวน 3 แห่ง บริเวณอาคารผู้ป่วยนอก ที่วัดได้จำนวน 3 ครั้ง พบว่าค่าเฉลี่ยความต้านทานดินของหลักดิน มีค่าระหว่าง  $0.71 \Omega$  ถึง  $1.43 \Omega$  ดังตารางที่ 4 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่า  $0.45 \Omega$  ดังตารางที่ 5 แสดงว่าข้อมูลมีการกระจายน้อย

ตาราง 4 ค่าความถูกต้องและค่าเฉลี่ยของการวัดค่าความต้านทานดินของหลักดินแบบแนวตั้ง ( $R_g$ ) จำนวน 3 แห่ง

$x_i (\Omega)$	<i>Accuracy = <math>\pm 3\%</math> of full scale</i>	
	<i>Low limit (<math>\Omega</math>)</i>	<i>High limit (<math>\Omega</math>)</i>
1	$1 - \left(\frac{3}{100} \times 12\right) = 0.64$	$1 + \left(\frac{3}{100} \times 12\right) = 1.36$
1.2	$1.2 - \left(\frac{3}{100} \times 12\right) = 0.84$	$1.2 + \left(\frac{3}{100} \times 12\right) = 1.56$
1	$1 - \left(\frac{3}{100} \times 12\right) = 0.64$	$1 + \left(\frac{3}{100} \times 12\right) = 1.36$
	$\sum x_i = 2.12$	$\sum x_i = 4.28$
	$\bar{x} = 0.71 \Omega$	$\bar{x} = 1.43 \Omega$

ตาราง 5 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการวัดค่าความต้านทานดินของหลักดินแบบแนวตั้ง ( $R_g$ ) จำนวน 3 แห่ง

$x_i$ ( $\Omega$ )	<i>Sample Standard Deviation (S.D)</i>	
	<i>Low limit</i> ( $\Omega$ )	<i>High limit</i> ( $\Omega$ )
1	$(1 - 0.71)^2$ $= 0.0841$	$(1 - 1.43)^2 = 0.1849$
1.2	$(1.2 - 0.71)^2$ $= 0.2401$	$(1.2 - 1.43)^2 = 0.0529$
1	$(1 - 0.71)^2$ $= 0.0841$	$(1 - 1.43)^2 = 0.1849$
	$\sum (x_i - \bar{x})^2$ $= 0.4083$	$\sum (x_i - \bar{x})^2 = 0.4227$
	$s$ $= \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$ $= \sqrt{\frac{0.4083}{2}}$ $= 0.45 \Omega$	$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$ $= \sqrt{\frac{0.4227}{2}} = 0.46 \Omega$

โดยค่าความต้านทานดินของหลักดินแบบแนวตั้ง ( $R_g$ ) จำนวน 3 แห่ง ที่วัดได้มีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน ซึ่งสามารถตอบโจทย์เรื่องผลกระทบที่เกิดจากพฤติกรรมของฟ้าผ่าได้ และจากการตรวจสอบระบบการต่อลงดินและป้องกันฟ้าผ่าภายหลังการติดตั้ง โดยตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของจุดเชื่อมต่อประสานต่าง ๆ รวมถึงจุดเชื่อมต่อสายตัวนำกับแท่งหลักดิน การทำงานของตัวนับครั้งจำนวนฟ้าผ่า ยังคงสภาพใช้งานได้ปกติ และตรวจสอบความต่อเนื่องทางไฟฟ้าโดยใช้เครื่องมือวัดทางไฟฟ้า

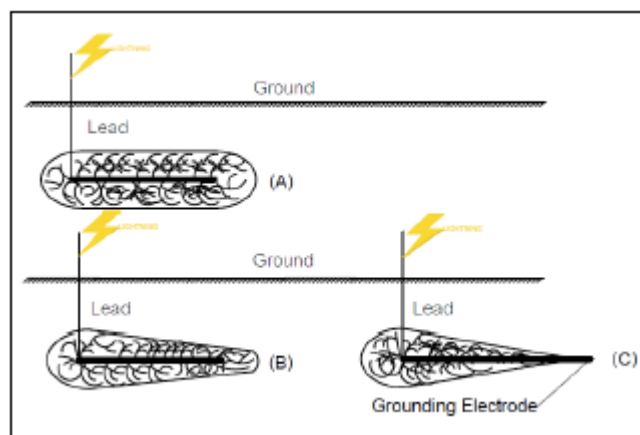
### อภิปรายผล

หลังการปรับปรุงระบบการต่อลงดินและป้องกันฟ้าผ่า และเก็บข้อมูลตั้งแต่เดือนมีนาคมถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2566 พบว่ายังไม่มีผลกระทบจากปรากฏการณ์ฟ้าผ่า แต่สรุปได้ว่าระบบการต่อลงดินและป้องกันฟ้าผ่าของเสาวิทยุคมนาคมเป็นส่วนสำคัญที่สุดสำหรับความปลอดภัยต่อพื้นที่สาธารณะโดยรอบความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงานและอุปกรณ์ต่าง ๆ ในสิ่งปลูกสร้าง จำเป็นต้องได้รับการออกแบบรากสายดินเสาวิทยุคมนาคม โดยคำนึงถึงความยาวรากสายดินประสิทธิผล (Effective length)

การลดค่าอิมพีแดนซ์ ( $Z_g$ ) ให้ต่ำในทางปฏิบัติ คือ ต้องพยายามลดค่าอิมพีแดนซ์ ( $Z_g$ ) หรือค่าความเหนี่ยวนำ ( $L$ ) ของเสาวิทยุคมนาคม โดยพฤติกรรมของค่าอิมพีแดนซ์ ( $Z_g$ ) กับความยาวแท่งหลัก

ดิน พบว่าในขณะที่กระแสฟ้าผ่าที่ไหลผ่านแท่งหลักดิน ทำตัวเหมือนคลื่นความถี่สูงที่ไหลไปตามสายส่งที่มี อัตราการสูญเสียสูง

ดังนั้นส่วนใหญ่จึงสูญเสียไปตามต้นทาง ขนาดกระแสลดลงอย่างรวดเร็ว เพราะคลื่นความถี่สูง จะพยายามไหลออกจากผิวแท่งหลักดินไปที่ดินรอบข้างได้ดีกว่าคลื่นความถี่ต่ำ ดังภาพที่ 11(A) ซึ่งมีความ ยาวแท่งหลักดินสั้นเกินไป แสดงให้เห็นว่าแท่งหลักดินบริเวณผิวจะเกิดการถ่ายกระแสไฟฟ้ามากกว่าแท่ง หลักดินที่ลึกลงไป (Ionization effect and Induction effect) หากความยาวแท่งหลักดินยาวพอดี ทั้ง คลื่นความถี่สูงและคลื่นความถี่ต่ำจะไหลออกจากผิวแท่งหลักดินรอบๆ อย่างสม่ำเสมอ นั่นคือ ค่า อิมพีแดนซ์ ( $Z_g$ ) ต่ำใกล้ๆ เท่ากับค่าความต้านทานดิน ( $R_g$ ) ดังภาพที่ 11(B) และเมื่อแท่งหลักดินยาว เกินค่าหนึ่งแท่งจะไม่มีมีการถ่ายประจุลงดินเลย ดังภาพที่ 11(C) [7]



ภาพ 11 การถ่ายประจุในแท่งหลักดิน

### สรุปผล

เมื่อเกิดกระแสฟ้าผ่า หลักดินที่ยาวขึ้น ทำให้ค่าความต้านทานดิน ( $R_g$ ) ลดลง แต่ค่าความเหนี่ยวนำ ( $L$ ) กลับเพิ่มขึ้น ผลคือ ค่าอิมพีแดนซ์ ( $Z_g$ ) ไม่ลดลง ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์อิมพัลส์ ( $A$ ) เพิ่มขึ้น ซึ่งการลากสายดินให้ได้ตามความยาวที่เหมาะสมได้ โดยเลือกจัดวางรากสายดินแนวราบ Loop, Grid, Counterpoise และคำนวณออกแบบให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์อิมพัลส์ ( $A$ ) ที่ต่ำสุด โดย 1.เพิ่มจำนวนตัวนำที่ฝังอยู่ในพื้น (Counterpoise) 2.ใช้สารปรับปรุงค่าความต้านทานดินร่วมกับตัวนำที่ฝังอยู่ในพื้น และ 3.ใช้ระบบป้องกันฟ้าผ่าชนิดกรงฟาราเดย์ โดยการคำนวณแบบทรงกลมกลิ้ง

สิ่งสำคัญ คือ การต่อประสาน (ต่อฝาก) หลักดินหรือรากสายดินของทุกระบบที่แยกจากกันเข้าด้วยกัน เพื่อป้องกันแรงดันเกินที่จะเกิดขึ้นจากฟ้าผ่า และศักย์ไฟฟ้าที่ไม่เท่ากันทุกจุด และจะต้องพิจารณาออกแบบการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกินชั่วคราว (Surge Protection Device: SPD) ควบคู่กันไปด้วย เพื่อป้องกันแรงดันเกินชั่วคราวที่อาจจะไหลเข้าไปในระบบไฟฟ้าได้ โดยระบบไฟฟ้าและระบบสื่อสาร หากจะต่อประสานศักย์ถึงกัน จะต้องทำการต่อผ่านอุปกรณ์ป้องกันแรงดันเกินชั่วคราว

## เอกสารอ้างอิง

- คัมเวล คอร์ปอเรชั่น จำกัด มหาชน. (2564). *การต่อลงดินและป้องกันฟ้าผ่า สำหรับเสาสื่อสาร และ  
กรณีศึกษา*. กรุงเทพฯ: บริษัท คัมเวล คอร์ปอเรชั่น จำกัด มหาชน.
- ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์. (2565). *การออกแบบระบบไฟฟ้า*. กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนจำกัด โซติอเนชั่น ครีเอชั่น.
- วิวัฒน์ กุลวงศ์วิทย์. (2565). *การติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับสถานที่เฉพาะ; ความปลอดภัยในสถานพยาบาล  
(Medical Location Safety)*. กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนจำกัด โซติอเนชั่น ครีเอชั่น.
- สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. (2565). *มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า  
สำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2564*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. (2565). *มาตรฐานป้องกันฟ้าผ่า พ.ศ.  
2565*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Finland. VAISALA Company. (2023). *Interactive Global Lightning Density Map*. Accessed:  
Sep, 2023. [Online]. Available: <https://interactive-lightning-map.vaisala.com/>.
- H. Jinliang & G. Yanqing. (2005). Effective Length of Counterpoise Wire under Lightning  
Current. *IEEE Trans. Power Del.*, vol. 20, no. 2, Apr. 2005, pp. 1585-1591.