

## งานวิศวกรรมสถานียไฟฟ้าแรงสูง(High Voltage Substation Engineering)

(ตอนที่ 6.2 ความรู้เบื้องต้นระบบป้องกันฟ้าผ่าสถานียไฟฟ้าแรงสูง)

พรชัย องค์กรวิศวกรรม

[pornchai.ong@egco.com](mailto:pornchai.ong@egco.com)

จากการที่เราได้ทราบถึงปรากฏการณ์การเกิดฟ้าผ่า ผลกระทบและอันตรายจากการถูกฟ้าผ่ามาแล้ว เราจะเห็นว่าฟ้าผ่าจะสร้างความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินเสมอมา ดังนั้น เราจึงจำเป็นต้องป้องกันฟ้าผ่าเพื่อที่จะลดความสูญเสียให้น้อยที่สุดหรือมิให้เกิดความสูญเสียเลยได้ยิ่งดี ดังที่เราคงจะสังเกตเห็นอาคารสูงหลายๆแห่ง จะมีระบบป้องกันฟ้าผ่าเพื่อป้องกันสิ่งมีชีวิต ทรัพย์สินภายในอาคารและตัวอาคารเองจากการถูกฟ้าผ่า ภายในสถานียไฟฟ้าแรงสูงก็เช่นกันเราจะต้องป้องกันมิให้ถูกฟ้าผ่าเพราะนอกจากจะสร้างความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินภายในสถานียไฟฟ้าแรงสูงแล้วยังส่งผลให้ผู้ใช้ไฟฟ้าเดือดร้อนและเศรษฐกิจเสียหายเนื่องจากไฟฟ้าดับ ดังนั้นในตอนนี้เราจะมาเรียนรู้ถึงวิธีการออกแบบการป้องกันฟ้าผ่า (วิธีการนี้ใช้กับการป้องกันฟ้าผ่าของสถานียไฟฟ้าแรงสูงเท่านั้น) ฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นกับสถานียไฟฟ้าแรงสูงนั้นมีทั้งฟ้าผ่าโดยตรง (Direct stroke) และโดยอ้อมในลักษณะของคลื่นจร(Travelling wave) วิ่งเข้ามาภายในสถานียไฟฟ้าแรงสูง เกิดจากสายส่งถูกฟ้าผ่านั่นเอง การป้องกันจะประกอบด้วยส่วนสำคัญ ดังนี้

1. ระบบการป้องกันฟ้าผ่า (Lightning Protection or Shielding System)
2. ระบบรากสายดินของสถานียไฟฟ้าแรงสูง (Substation Grounding System)
3. ความทนทานของฉนวนในระบบต่อแรงดันเกิน (Over Voltage)
4. กับดักฟ้าผ่า (Lightning Arrester)

**ระบบการป้องกันฟ้าผ่า** จะการป้องกันไม่ให้ฟ้าผ่า ฝ่าลงบนอุปกรณ์ภายในสถานียไฟฟ้าแรงสูง แต่จะให้ฟ้าผ่าไปยังตัวล่อฟ้าแทน

**ระบบรากสายดิน** เป็นระบบนำกระแสฟ้าผ่าที่เข้ามาในสถานียไฟฟ้าแรงสูงให้ไหลลงดิน ระบบรากสายดินนี้ ถ้ามีการออกแบบที่ดีหมายถึงค่าความต้านทานของระบบรากสายดินมีค่าต่ำ ( $R_g$ ) ก็จะสามารถระบายกระแสฟ้าผ่ารวมถึงกระแสฟอลต์ (Fault Current) ต่างๆ ให้ไหลลงดินได้เร็ว ซึ่งจะช่วยลดความเสียหายของระบบให้น้อยลงได้ นอกจากนี้ยังทำให้ระบบป้องกันฟ้าผ่ามีประสิทธิภาพในการล่อฟ้าให้ฟ้าผ่ามาที่ตัวล่อฟ้าได้ดีขึ้น เพราะตัวล่อฟ้าสามารถสร้าง สตรีมเมอร์ (Streamer) เพื่อขึ้นไปรับขั้นนำฟ้าผ่า (Step Leader) ได้ยาวกว่า ตัวล่อฟ้าที่มีระบบรากสายดินที่มีค่า  $R_g$  สูงๆ ซึ่งรายละเอียดจะกล่าวต่อไปในบทนี้

**ความทนทานของฉนวนในระบบต่อแรงดันเกิน** ฉนวนของอุปกรณ์ภายในสถานียไฟฟ้าแรงสูง จะต้องสามารถทนแรงดันเกินที่เกิดขึ้นได้ โดยไม่เกิดความเสียหาย แรงดันเกินนี้จะต้องมีขนาดตามมาตรฐานที่กำหนด

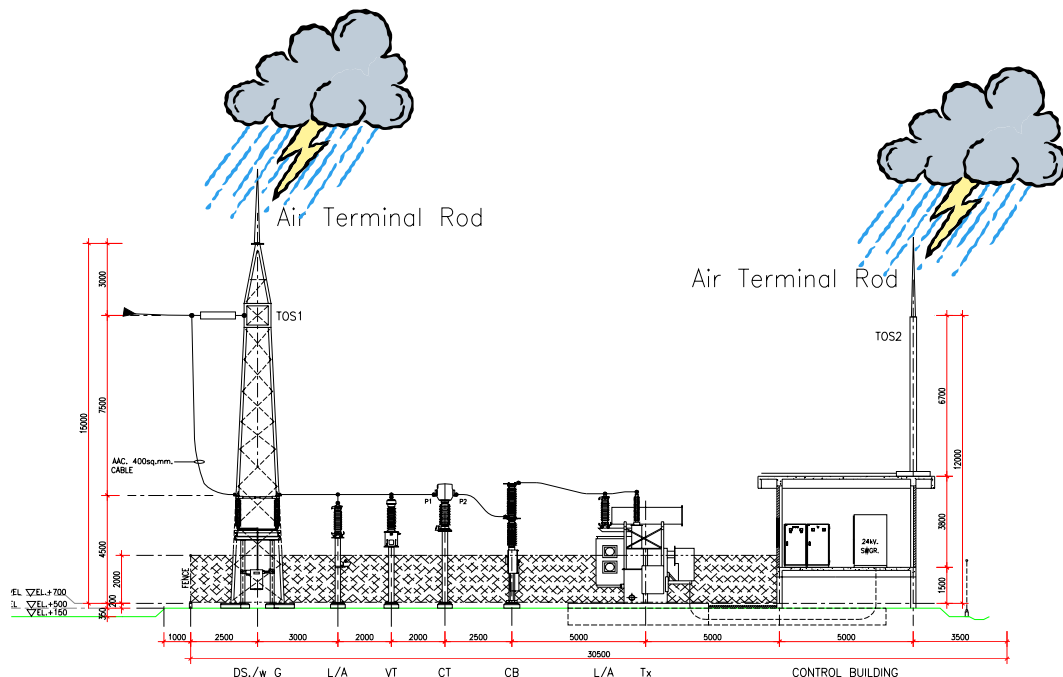
กับดักฟ้าผ่า เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ลดแรงดันเกินให้ต่ำลง ซึ่งประกอบด้วยความต้านทานไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear Resistor) คือค่าความต้านทานจะน้อยลงเมื่อกระแสไหลผ่านมากขึ้น จึงทำให้แรงดันเกินถูกตัดให้มีค่าต่ำลงมากๆ แต่ในสภาวะปกติกับดักฟ้าผ่าจะมีลักษณะเป็นฉนวน

**นิยามการป้องกันฟ้าผ่า** การป้องกันฟ้าผ่า หมายถึง การป้องกันมิให้สิ่งมีชีวิต สิ่งก่อสร้าง อาคาร ที่อยู่อาศัยรวมถึงระบบส่งไฟฟ้ากำลังได้รับผลกระทบต่างๆ ในรูปของความร้อน แสงกล และไฟฟ้าจากการถูกฟ้าผ่า จนเกิดความเสียหายหรือได้รับอันตราย

**การออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่า** ในสถานีไฟฟ้าแรงสูงมีการป้องกันอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงจากฟ้าผ่าด้วยกัน 3 วิธี ดังนี้

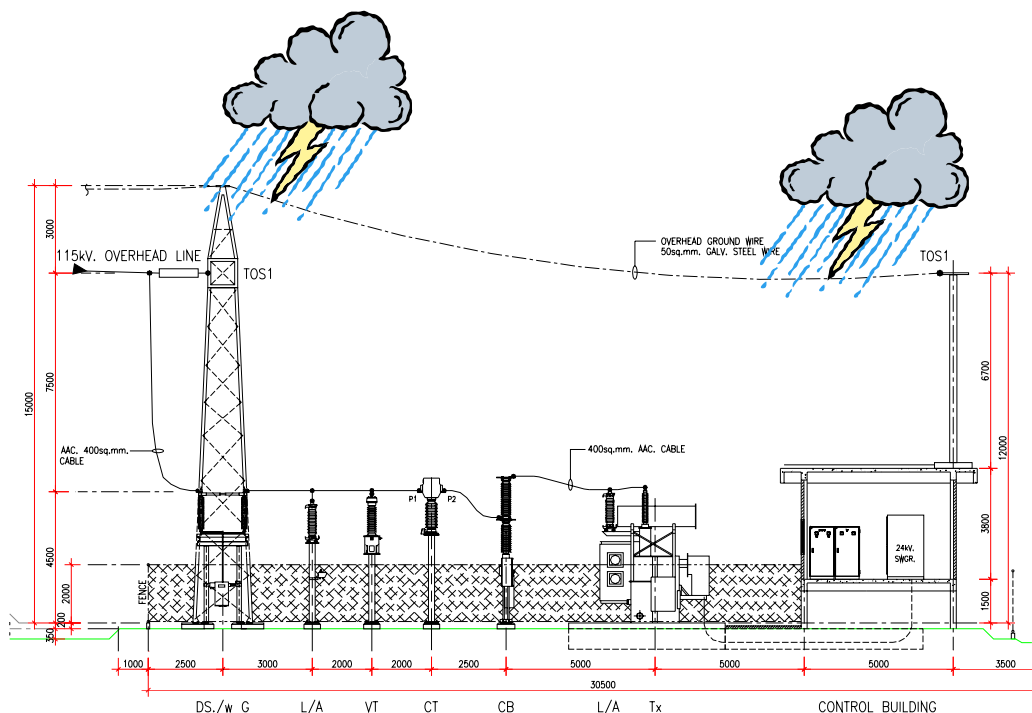
1. การป้องกันโดยใช้เสาหล่อฟ้า (High Mast Air Terminal )
2. การป้องกันโดยใช้สายดินล่อฟ้าวางเหนือระบบ (Overhead Ground Wire)
3. การป้องกันโดยใช้ทั้งเสาหล่อฟ้าและสายดินล่อฟ้าวางเหนือระบบ

**การป้องกันโดยใช้เสาหล่อฟ้า** (High Mast Air Terminal ) เป็นการป้องกันฟ้าผ่าโดยการใช้นำล่อฟ้า (Air Terminal Rod) ติดตั้งบนเสาสูง (High Mast) โดยที่ระยะความสูงของปลายตัวนำล่อฟ้าจะสูงไม่เกินค่าระยะเฉื่อย (Striking Distance) และมีขอบเขตพื้นที่ปลอดภัย (Zone Protection) ของการติดตั้งอุปกรณ์ตามข้อกำหนด ดังรูปที่ 1



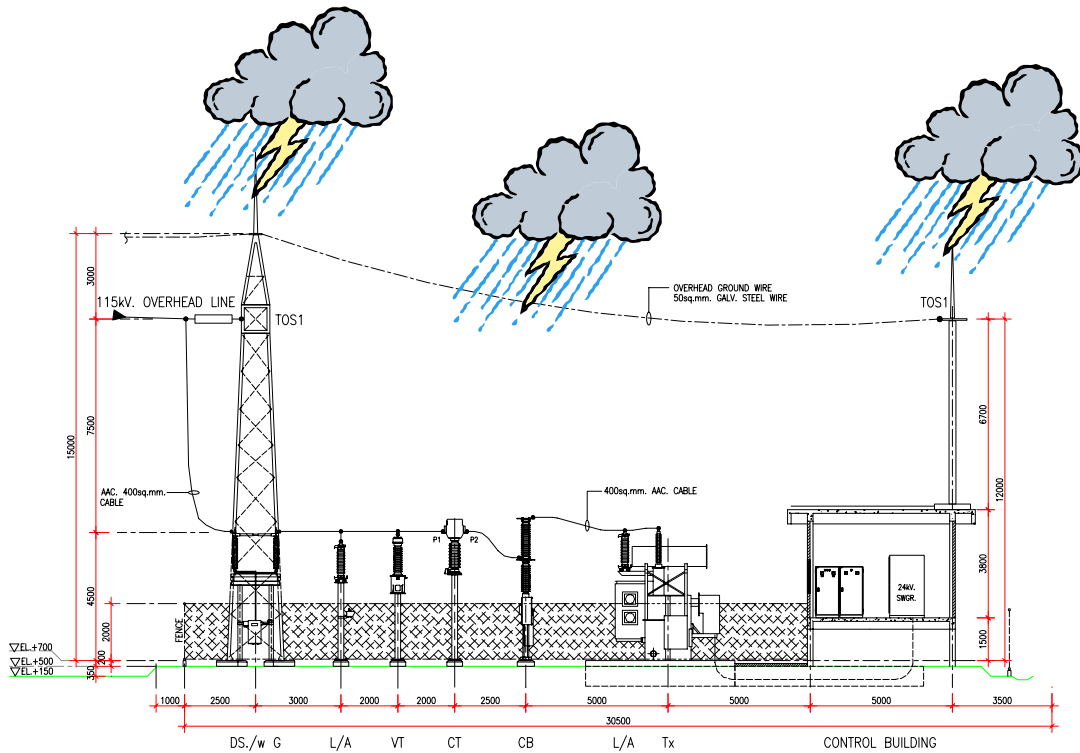
รูปที่ 1 แสดงสถานีไฟฟ้าแรงสูงที่มีระบบป้องกันฟ้าผ่า โดยใช้เสาหล่อฟ้า ติดตั้งบน Take off Structure และ High Mast

**การป้องกันโดยใช้สายดินล่อฟ้าวางเหนือระบบ** (Overhead Ground Wire ; OHGW) เป็นการป้องกันฟ้าผ่าโดยการใช้ ตัวนำสายดินล่อฟ้า (Overhead Ground Wire) ติดตั้งเหนือระบบ เป็นวิธีการที่นิยมใช้กับงานออกแบบ-ก่อสร้างในระบบสายส่ง (Transmission Line) และลานไกวไฟฟ้า(Switchyard) โดยมีการซึ่งสายเปลือยประเภทสายเหล็ก(strand Galvanized Steel) ขนาด 35-70 Sq.mm. (PEA. Standard), 3/8 นิ้ว 7 Stand Galvanized Steel.(EGAT. Standard) โดยมีขอบเขตพื้นที่ปลอดภัย(Zone Protection) ในการติดตั้งอุปกรณ์ตามข้อกำหนด ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงสถานีไฟฟ้าแรงสูงที่มีระบบป้องกันฟ้าผ่า โดยใช้สายดินล่อฟ้าซึ่งบนอากาศเหนือสถานีไฟฟ้า

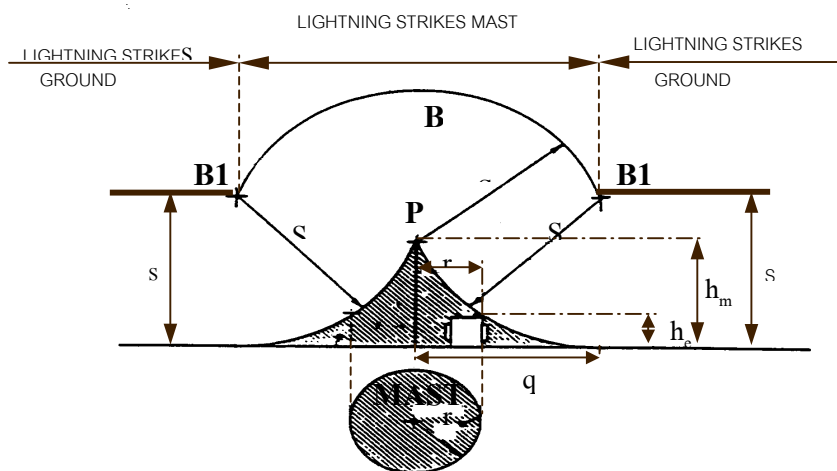
**การป้องกันโดยใช้เสาล่อฟ้าและสายดินล่อฟ้าวางเหนือระบบร่วมกัน** (High Mast Air Terminal & Overhead Ground Wire) เป็นการป้องกันฟ้าผ่าโดยการใช้ ทั้งสองวิธีข้างบนมารวมกัน ซึ่งเป็นวิธีที่ดี ถ้าหากมีการติดตั้งอุปกรณ์สถานีไฟฟ้าห่างออกไปเกินขอบเขตพื้นที่ปลอดภัยของวิธีสายดินล่อฟ้าOHGW เพราะไม่มีหรือไม่สามารถสร้างโครงสร้าง (Structure) มาซึ่ง สาย OHGW เพื่อให้ครอบคลุมอุปกรณ์สถานีไฟฟ้าแรงสูงได้ เราก็สามารถใช้ เสาล่อฟ้า (High Mast Air Terminal) มาเสริมในระบบได้ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงสถานีไฟฟ้าแรงสูงที่มีระบบป้องกันฟ้าผ่า โดยใช้เสาหล่อฟ้าและสายดินหล่อฟ้าร่วมกัน

### พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในการออกแบบ

ในการคำนวณการออกแบบการป้องกันฟ้าผ่าสถานีไฟฟ้าแรงสูง เราต้องมาทำความเข้าใจความหมายของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่จะนำไปใช้ในการคำนวณเพื่อให้เกิดความเข้าใจก่อน จากรูปที่ 4 คือ การป้องกันการเกิดฟ้าผ่าโดยการใส่เสาหล่อฟ้า 1 ต้น



รูปที่ 4 แสดงระบบป้องกันฟ้าผ่า โดยใช้เสาหล่อฟ้า 1 ต้น

จากรูปที่ 4 จุด P คือตำแหน่งติดตั้งเสาหล่อฟ้า (Mast) มีความสูง  $h_m$  เมตร และติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าซึ่งเป็นหม้อแปลงไฟฟ้าโดย Bushing ของหม้อแปลง มีความสูงเท่ากับ  $h_e$  เมตร วางห่างจากเสาหล่อฟ้า  $r$  เมตร ระยะ  $S$  คือ **ระยะเผื่อ** ซึ่งเป็นค่ารัศมีของทรงกลม ใช้จุด P เป็นจุดศูนย์กลาง แล้วลากเส้นวงกลม  $B$  และใช้ระยะรัศมีเดิมลากเส้นขนานกับพื้นจะได้จุดตัดทั้งสองข้างที่จุด  $B_1$  และที่ใช้จุด  $B_1$  เป็นจุดศูนย์กลางโดยมีรัศมีเท่าเดิม ลากเส้นโค้งให้สัมผัสกับจุด P และพื้นดิน ทั้งสองข้างและพื้นที่ใต้เส้นโค้งดังกล่าวก็คือพื้นที่ปลอดภัย (Safety Zone) ของระบบป้องกันนั้นๆ ดังแสดงในรูปที่ 4 ตามพื้นที่ที่แลเงา จากรูปที่แสดงจะเป็นภาพ 2 มิติ แต่ความเป็นจริงแล้วในการป้องกันจะเป็นการป้องกันทั้ง 3 มิติ โดยภาพโค้งที่ได้จะเป็นภาพเส้นโค้งที่เกิดจากการนำลูกทรงกลมที่มีรัศมีเท่ากับระยะ  $S$  มากลิ่งรอบแกน P ในลักษณะแบบ Rolling Sphere ดังนั้นจะเห็นว่าการที่เราจะหาค่าระยะ  $r$  และระยะ  $q$  ได้จะต้องหาค่า  $S$  ให้ได้ก่อน โดยมีวิธีการหาได้ดังนี้

**ค่าเสิร์จอิมพีแดนซ์ (Surge Impedance)** ในขณะที่เกิดฟ้าผ่าลงบนระบบส่งจะเกิดค่า เสิร์จอิมพีแดนซ์ ในระบบ โดยมีค่า โดยประมาณ 200-600  $\Omega$  โดยค่าที่ได้จะได้จากสูตร

$$Z_s = \sqrt{\frac{L}{C}} = 60 \ln \frac{2 h_e}{r}$$

โดยที่  $Z_s$  = เสิร์จอิมพีแดนซ์

$h_e$  = ความสูงเฉลี่ยของตัวนำที่จะป้องกัน [m]

$r$  = รัศมีภายนอกของตัวนำ [m]

**ค่ากระแสฟ้าผ่า (Lightning Current)** เป็นค่ากระแสฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นในระบบ โดยที่ได้จากคุณสมบัติของฉนวนตามมาตรฐานการผลิตที่กำหนดใช้ในระบนั้น โดยจะต้องมีการตรวจสอบว่าอุปกรณ์ที่นำมาใช้ เป็นมาตรฐาน IEC หรือ NEMA standard โดยปกติอุปกรณ์ภายในสถานีไฟฟ้าจะมีมาตรฐานเดียวกัน แต่หากพบว่ามีการใช้อุปกรณ์ที่มีมาตรฐานต่างกันให้นำค่าที่ต่ำกว่ามาใช้ในการคำนวณ

$$I_s = \frac{\text{impulse Flashover } (-)}{\text{Surge impedance}} = \frac{(BIL)}{Z_s / 2}$$

โดยที่  $I_s$  = กระแสฟ้าผ่า [kA]

BIL = Basic Lightning Impulse Insulation Level [kV]

$Z_s$  = เสิร์จอิมพีแดนซ์

2 = เป็นค่าที่ในขณะที่เกิดฟ้าผ่าจะเกิดการแบ่งไหลของกระแสเป็นสองทาง

**หมายเหตุ** เนื่องจากค่า Impulse flashover positive เป็นค่าที่สูงกว่า BIL ในการคำนวณเราก็สามารถใช้แทนได้

ค่ากระแสฟ้าผ่าวิกฤต (Critical Lightning Current) คือ กระแสฟ้าผ่าที่คำนึงถึงค่าความต้านทานของดินเป็น ศูนย์

$$I_{sc} = 1.1 I_s$$

โดยที่  $I_{sc}$  = กระแสฟ้าผ่าวิกฤต [kA]

$I_s$  = กระแสฟ้าผ่า [kA]

ระยะเผชิญ (Striking Distance) คือระยะฟ้าผ่าช่วงสุดท้ายที่วัตถุที่จะถูกผ่าสร้างสตรีมเมอร์ ขึ้นไปรับชั้นนำฟ้าผ่า (Step Leader) ทำให้เกิดการถ่ายเทประจุและมีกระแสฟ้าผ่าไหลลงไปที่วัตถุนั้น โดยระยะเผชิญนี้จะเป็นระยะที่สำคัญในการกำหนดพื้นที่ที่ปลอดภัยของการป้องกันฟ้าผ่า คำนี้นหาได้จากการคำนวณตามสมการ

$$S = 8.5 k I_{sc}^{2/3}$$

โดยที่  $S$  = ระยะฟ้าผ่า [m]

$I_{sc}$  = กระแสฟ้าผ่าวิกฤต [kA]

$k$  = 1 สำหรับ การป้องกันโดยใช้ สายดิน

= 1.2 สำหรับ การป้องกันโดยใช้ เสาหล่อฟ้า

**ตัวอย่าง 1** การคำนวณจากรูปที่ 5 เป็น 115/22 kV. สถานีไฟฟ้าอุตสาหกรรมที่มีความสูงของตัวล่อฟ้าในรูปแบบ เสาหล่อฟ้า โดยมีความสูงที่ติดตั้ง Air Terminal ให้สูง  $h_m = 15.0 + 1.2$  เมตร และมีตัวสายตัวนำขนาด 400 Sq.mm. สูง  $h_e = 4.5$  เมตร ของอุปกรณ์ โดยระบบมีค่า BIL = 550 kV. ต้องการตรวจสอบว่าหากมี หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังติดตั้งอยู่ห่างออกจาก Take off ที่ติดตั้งที่ระยะ 14.0 เมตร จะมีความปลอดภัยจากการถูกฟ้าผ่าหรือระยะ 14.0 เมตร จะมีความปลอดภัยจากการถูกฟ้าผ่าหรือไม่

ค่าเสิร์จอิมพีแดนซ์ (Surge Impedance)

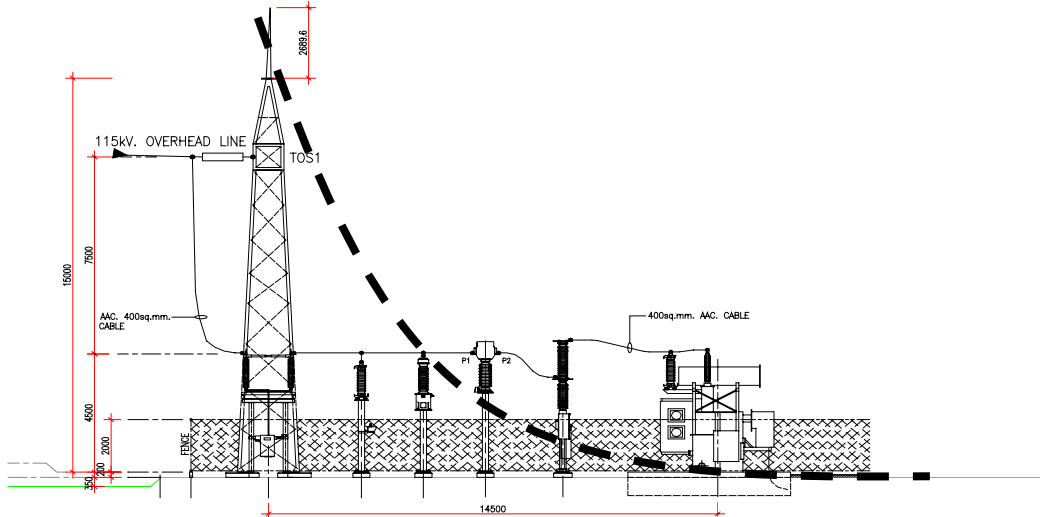
$$Z_s = 60 \ln \frac{2 h_{av}}{r} = 60 \ln \frac{2 \times 4.5}{0.0636} = 297.14 \Omega$$

ค่ากระแสฟ้าผ่า (Lightning Current)

$$I_s = \frac{\text{impluse Flashover (+)}}{\text{Surge impedance}} = \frac{(BIL)}{Z_s / 2} = \frac{550}{297.14 / 2} = 3.702 \text{ kA}$$

ค่ากระแสฟ้าผ่าวิกฤต (Critical Lightning Current)

$$I_{sc} = 1.1 I_s = 1.1 * 3.702 = 4.072 \text{ kA}$$



รูปที่ 5 แสดงผลการคำนวณสถานีไฟฟ้าแรงสูงที่มีระบบป้องกันฟ้าผ่า โดยใช้เสาหล่อฟ้า ติดตั้งบน Take off Str. และ High Mast

ค่าระยะฟ้าผ่า (Striking Distance)

$$S = 8.5 kI_{sc}^{2/3} = 8.5 * 1.2 * 4.072^{2/3} = 26.01 \text{ m.}$$

สามารถคำนวณหาค่า r ที่มีความสูงของอุปกรณ์  $h_e$  ได้ดังนี้

$$r = \sqrt{S^2 - (S - h_m)^2} - \sqrt{S^2 - (S - h_e)^2}$$

$$= \sqrt{26.01^2 - (26.01 - 16.2)^2} - \sqrt{26.01^2 - (26.01 - 4.5)^2} = 24.09 - 14.62 = 9.46 \text{ m.}$$

โดยที่  $r$  = รัศมีของพื้นที่ที่ถูกป้องกัน (m)

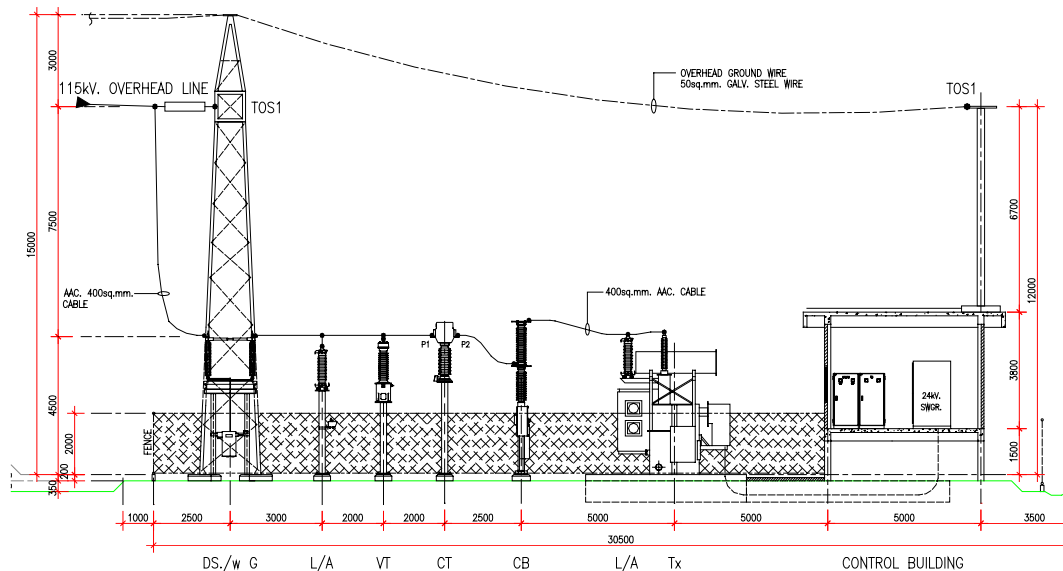
$h_m$  = ความสูงของเสาหล่อฟ้า [m]

$h_e$  = ความสูงของอุปกรณ์ [m]

**ผลสรุป** จากการคำนวณและตรวจสอบจากการเดินโค้งวงกลมรัศมี S จะได้ระยะพื้นที่ปลอดภัยได้เส้นโค้ง มีระยะห่างจากเสาหล่อฟ้าที่ระยะ  $r = 9.46$  เมตร และที่ระยะดังกล่าวอุปกรณ์สถานีไฟฟ้าที่มีระยะสูง 4.5 เมตรจะอยู่ในพื้นที่ปลอดภัย (Safety Zone) แต่หากมี หม้อแปลงไฟฟ้ากำลังติดตั้งอยู่ห่างออกจาก Take off ที่ติดตั้งที่ระยะ 14.0 เมตร จะไม่มีความปลอดภัยจากการถูกฟ้าผ่า เพราะอยู่นอกพื้นที่ปลอดภัย ดังนั้นถ้าเราเลือกที่จะใช้ระบบ High Mast Air Terminal เราจะต้องมี

การติดตั้งเพิ่มอีกฝั่งและตรวจสอบรายการคำนวณเพิ่มอีกครั้ง เพื่อสร้างพื้นที่ปลอดภัย (Safety Zone) ให้ครอบคลุมสถานีไฟฟ้าทั้งหมด

**ตัวอย่าง 2** การคำนวณจากรูปที่ 6 เป็น 115/22 kV. สถานีไฟฟ้าอุตสาหกรรมที่มีความสูงของตัวล่อฟ้าในรูปแบบสายดินล่อฟ้า (Overhead Ground Wire; OHGW.) โดยมีความสูงที่ติดตั้ง OHGW. ให้สูง  $h_m = 15.0$  เมตร และมีตัวสายตัวนำขนาด 400 Sq.mm. สูงของอุปกรณ์ ตัวที่สูงที่สุดในระบบคือ Power Circuit breaker มี  $h_e = 5.2$  เมตร โดยระบบมีค่า BIL = 550 kV. มีอุปกรณ์สถานีไฟฟ้าที่ติดตั้งรวมอาคารควบคุม (Major Equipment & Control Building) ที่ต้องการตรวจสอบว่ามีความปลอดภัยจากการถูกฟ้าผ่าหรือไม่ ขนาดพื้นที่ 5.0 X 30.00 เมตร



รูปที่ 6 แสดงสถานีไฟฟ้าแรงสูงที่มีระบบป้องกันฟ้าผ่า โดยใช้สายดินล่อฟ้า ติดตั้งระหว่าง Take off Str.

ค่าเสิร์จอิมพีแดนซ์ (Surge Impedance)

$$Z_s = 60 \ln \frac{2h_{av}}{r} = 60 \ln \frac{2 \times 5.2}{0.0636} = 305.82 \Omega$$

ค่ากระแสฟ้าผ่า (Lightning Current)

$$I_s = \frac{\text{impluse Flashover (+)}}{\text{Surge impedance}} = \frac{(BIL)}{\frac{Z_s}{2}} = \frac{550}{\frac{305.82}{2}} = 3.6 \text{ kA}$$

ค่ากระแสฟ้าผ่าวิกฤต (Critical Lightning Current)

$$I_{sc} = 1.1 I_s = 1.1 \times 3.6 = 3.96 \text{ kA}$$

ค่าระยะฟ้าผ่า (Striking Distance)



$$S = 8.5kI_{sc}^{2/3} = 8.5 * 1.0 * 3.96^{2/3} = 21.28 \text{ m.}$$

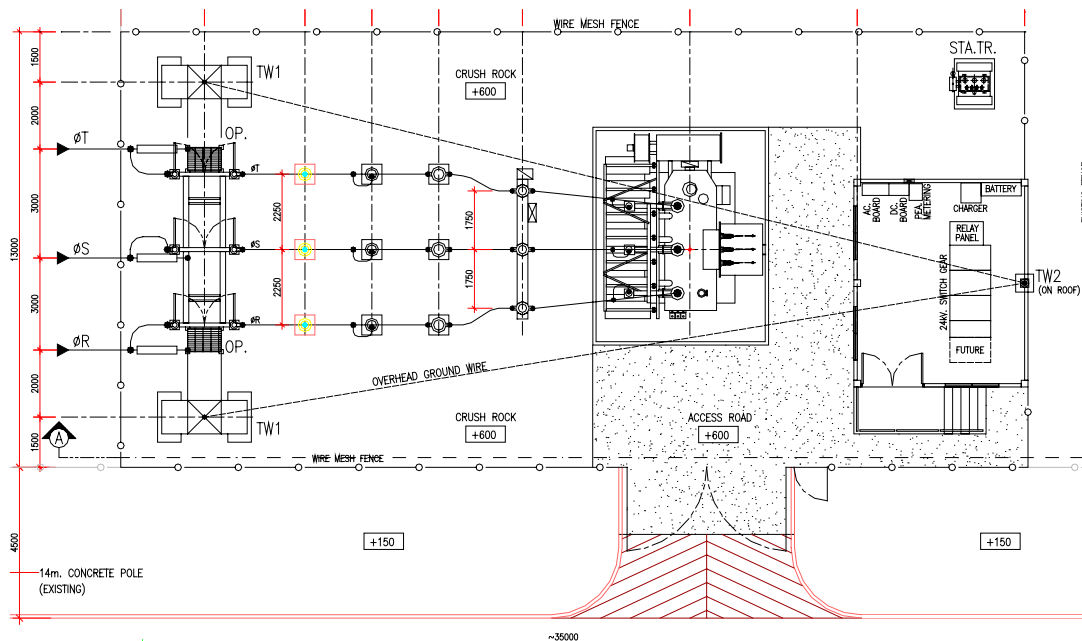
สามารถคำนวณหาค่า r ที่มีความสูงของอุปกรณ์  $h_e$  ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} r &= \sqrt{S^2 - (S - h_m)^2} - \sqrt{S^2 - (S - h_e)^2} \\ &= \sqrt{21.28^2 - (21.28 - 15.0)^2} - \sqrt{21.28^2 - (21.28 - 5.2)^2} \\ &= 20.33 - 13.94 = 6.39 \text{ m.} \end{aligned}$$

โดยที่ r = รัศมีของพื้นที่ที่ถูกป้องกัน (m)

$h_m$  = ความสูงของสายดินล่อฟ้า [m]

$h_e$  = ความสูงของอุปกรณ์ [m]



**ผลสรุป** จากการคำนวณและตรวจสอบจากการเดินโค้งวงกลมรัศมี S จะได้ระยะพื้นที่ปลอดภัยได้เส้นโค้ง มีระยะห่างจากเสาล่อฟ้าที่ระยะ  $r = 6.39$  เมตร และที่ระยะดังกล่าวอุปกรณ์สถานีไฟฟ้าที่มีระยะสูง 5.2 เมตรจะอยู่ในพื้นที่ปลอดภัย (Safety Zone) แต่หากมี อุปกรณ์ที่ติดตั้ง ซึ่งสูงกว่า 5.2 เมตร จะไม่มีความปลอดภัยจากการถูกฟ้าผ่าเพราะอยู่นอกพื้นที่ปลอดภัย ดังนั้นถ้าเราเลือกที่จะใช้ระบบ Overhead Ground Wire (OHGW.) เราจะต้องมีการติดตั้งเพิ่มอีก 1 เส้น และตรวจสอบรายการคำนวณเพิ่มอีกครั้ง เพื่อสร้างพื้นที่ปลอดภัย (Safety Zone) ให้ครอบคลุมสถานีไฟฟ้าทั้งหมด

จะเห็นว่าปรากฏการฟ้าผ่า มีอัตราอย่างยิ่งต่อระบบไฟฟ้าและสิ่งมีชีวิต ดังนั้นในการออกแบบสถานีไฟฟ้าจึงต้องมีการคำนึงถึงอันตรายดังกล่าว ในตอนที่ 6.2 จะเป็นตอนที่กล่าวถึงการใช้วิธีการป้องกันภัยจากการเกิดฟ้าผ่าลงบนสถานีไฟฟ้าแรงสูง ด้วยวิธีที่ดีที่สุดในการออกแบบ แต่ทั้งนี้หากการออกแบบดังกล่าวไม่สามารถป้องกันการเกิดฟ้าผ่าได้ในบางประเภท เรายังมีระบบป้องกันอุปกรณ์สถานีไฟฟ้าอีกระบบคือ ตัวรีดแอมป์และกับดักเสิร์จ (Surge Arrester) โดยติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันเข้ากับอุปกรณ์ที่ต้องการได้รับการป้องกัน

---

ขอขอบคุณผู้ร่วมในการเสนอบทความและเอกสารอ้างอิง

1. รองศาสตราจารย์ ดร. สำรวย สังข์สะอาด อาจารย์ผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง
2. นายชัชวาล เฉลิมวัฒน์ชัย วิศวกรระดับ 8 กองวิศวกรรมสถานีไฟฟ้าแรงสูง การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

- เอกสารอ้างอิง
1. **Consultants Handbook “Recommendations for the Protection of Structures against Lightning”**, Furse A member of the Thomas Robinson Group PLC.
  2. **ANSI / IEEE Std.80-1986; "Guide for Safety in AC Substation Grounding"**, IEEE-John & Son, New York , August 1986
-