

กรณีศึกษาการลดผลกระทบจากฟ้าผ่าในระบบจำหน่าย โดยการปรับปรุงสายตัวนำลงดิน

อานนท์ ส่งแสง¹ นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ^{1*} และ อรรถ พยอมหอม²

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาการลดผลกระทบจากฟ้าผ่าโดยการปรับปรุงสายตัวนำลงดินในระบบจำหน่าย พร้อมนำเสนอลักษณะการเกิดฟ้าผ่าที่สร้างการรบกวนต่อคุณภาพไฟฟ้าด้วยการเกิดแรงดันวาวไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤตของพวงลูกถ้วยซึ่งก่อให้เกิดแรงดันเกินเหนี่ยวนำขึ้นในระบบจำหน่าย พร้อมนำเสนอแนวทางการปรับปรุงสายตัวนำลงดินด้วยเทคนิคการติดตั้งสายตัวนำลงดินเพิ่มนอกเสาส่งคอนกรีต โดยทำการเชื่อมต่อสายล่อฟ้า (Overhead Ground Wire) ไปยังแท่งหลักดินเพื่อลดอัตราการวาวไฟตามผิวย้อนกลับ และทดลองผลการปรับปรุงด้วยโปรแกรมจำลอง ATP-EMTP ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดัน 69 กิโลโวลต์ของการไฟฟ้านครหลวง จากการศึกษาพบว่าการปรับปรุงดังกล่าวสามารถลดแรงดันหัวเสาและสามารถลดอัตราการวาวไฟตามผิวย้อนกลับของลูกถ้วยลงได้

คำสำคัญ: การเกิดฟ้าผ่า, วาวไฟตามผิวอิมพัลส์, ปรับปรุงสายตัวนำลงดิน, ความต้านทานดิน

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

² ฝ่ายวางแผนระบบไฟฟ้า, การไฟฟ้านครหลวง

* ผู้ติดต่อ, อีเมล: nattachote.r@mmutp.ac.th รับเมื่อ 13 ตุลาคม 2558 ตอบรับเมื่อ 28 มีนาคม 2559

Case Studies Reducing The Impact of Lightning On Distribution System by Down Conductor Improvement

Arnon Songsang¹ Nattachote Rugthaichareoncheep^{1*} and Att Phayomhom²

Abstract

This paper presents the study on reducing the lightning impact in distribution systems by down conductor improvement and the interference of lightning on power quality by impulse surface flashover on suspension insulators. This causes the induced voltages in distribution systems. The paper also presents a technique of attachment on external down conductor connecting between overhead ground wires and ground rods to reduce the back flashovers. The study has been done by ATP-EMTP simulation in 69 kV system of Metropolitan Electricity Authority (MEA). The results show that the external down conductor can reduce the pole top voltages and back flashover in distribution systems.

Keywords : lightning, back flashover, down conductor improvement, ground resistance

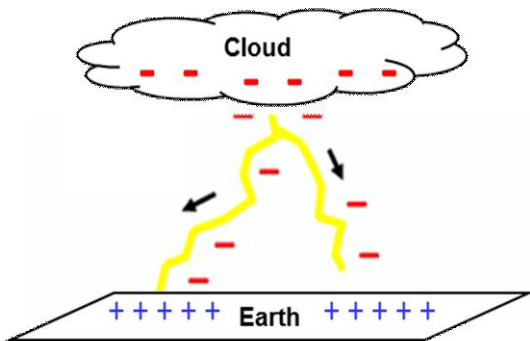
¹ Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Bangkok.

² Metropolitan Electricity Authority Pleonchit Road, Lumpini, Patumwan, Bangkok.

* Corresponding author, E-mail: nattachote.r@mutp.ac.th Received 13 October 2015, Accepted 28 March 2016

1. บทนำ

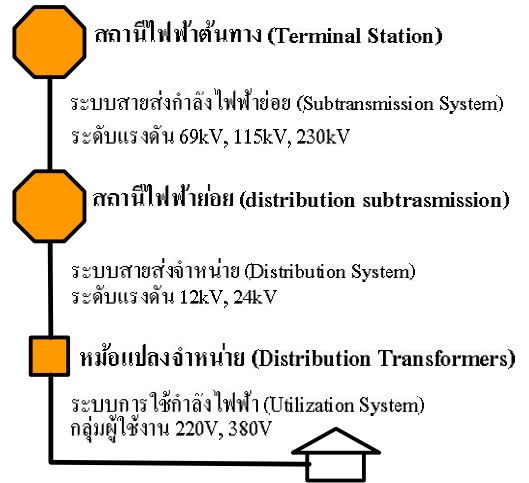
ฟ้าผ่า (Lightning) คือปรากฏการณ์ธรรมชาติที่เกิดจากการเริ่มก่อตัวของเมฆฟ้าผ่า (Cumulonimbus Cloud) มีทั้งประจุบวกและประจุลบที่อยู่ในก้อนเมฆ จนเกิดการสะสมประจุมากขึ้นเรื่อยๆ ส่งผลให้เกิดศักย์ไฟฟ้า หากการสะสมประจุมากจนถึงจุดสูงสุด จะทำให้เกิดการถ่ายเทประจุไฟฟ้าปริมาณมหาศาลระหว่างก้อนเมฆกับพื้นดิน ที่เรียกว่า ฟ้าผ่า อันก่อให้เกิดผลกระทบซึ่งสามารถจำแนกออกได้ 2 รูปแบบ คือ ผลกระทบทางตรง (Direct Lightning) และผลกระทบทางอ้อม (Indirect Lightning) ซึ่งผลกระทบจากฟ้าผ่าทางตรงคือความเสียหายที่เกิดจากกระแสฟ้าผ่าที่ผ่าลงมาโดยตรงที่วัตถุ ก่อให้เกิดแรงระเบิด แรงกล ความร้อน ส่วนผลกระทบทางอ้อมจากฟ้าผ่า ได้แก่ ไฟกระชอก (Surge) เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากระจายออกไปรบกวนระบบสื่อสาร และสัญญาณรบกวนทางไฟฟ้า ส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพการจ่ายไฟฟ้าของระบบจำหน่าย ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดไฟฟ้าดับ และส่งผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟฟ้าตามที่แสดงในรูปที่ 1 [1]



รูปที่ 1 ลักษณะการเกิดฟ้าผ่า

การไฟฟ้านครหลวง มีระบบส่งกำลังไฟฟ้าย่อย และระบบสายส่งจำหน่าย ซึ่งมีลักษณะการเดินสายส่งไฟฟ้า เป็นประเภทสายอากาศเหนือดิน (Overhead) และระบบสายใต้ดิน (Underground) โดยแยกเป็นระบบสายส่งกำลังไฟฟ้าย่อย มีระดับแรงดัน 230 กิโลโวลต์ 115 กิโลโวลต์ และ 69 กิโลโวลต์ ผ่านสถานีไฟฟ้าย่อย และลดระดับแรงดัน ในระบบสายส่งจำหน่าย ให้มีระดับแรงดัน 12 กิโลโวลต์ และ 24 กิโลโวลต์ ก่อนผ่านหม้อแปลงจำหน่าย เพื่อแปลงแรงดันไฟฟ้าให้กับกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้า ตามที่แสดงในรูปที่ 2 [2]

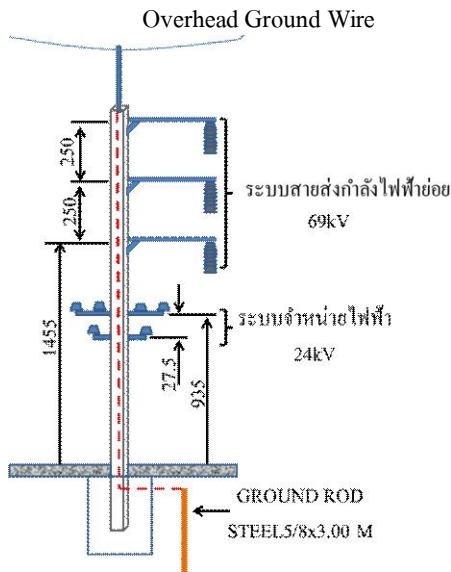
การไฟฟ้านครหลวง



รูปที่ 2 ระบบจำหน่ายของการไฟฟ้านครหลวง

หากพิจารณาที่ระบบสายส่งกำลังไฟฟ้าย่อย ร้อยละ 90 จะเดินสายประเภทสายอากาศเหนือดิน (Overhead) การไฟฟ้านครหลวงจะทำการติดตั้งสายส่งกำลังไฟฟ้าย่อย 69 กิโลโวลต์ ไว้บนเสาคอนกรีตต้นเดียวกันกับสายส่งในระบบจำหน่าย 24 กิโลโวลต์ และส่วนปลายเสาจะติดตั้งสายล่อฟ้า (Overhead Ground Wire) ซึ่งเชื่อมต่อ

สายซึ่งอากาศผ่านสายตัวนำภายในเสาคอนกรีตไปยังแท่งหลักดินที่โคนเสาเพื่อป้องกันไม่ให้ฟ้าผ่าโดยตรงไปยังสายไฟ และลดผลกระทบจากฟ้าผ่าโดยทำหน้าที่นำกระแสฟ้าผ่าลงสู่ดิน ให้กับสายส่งกำลังไฟฟ้าย่อย 69 กิโลโวลต์ และระบบจำหน่าย 24 กิโลโวลต์ แสดงในรูปที่ 3 [3]

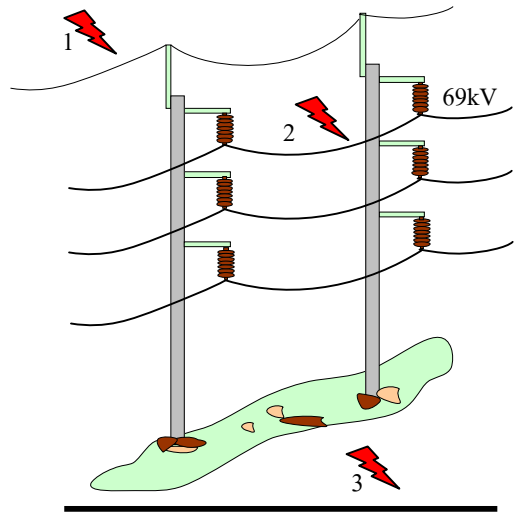


รูปที่ 3 เสาไฟฟ้าในระบบจำหน่ายของ กฟน.

โดยก่อนหน้านี้ ชวงส์ วัฒนศักดิ์ภูบาล [4] เคยนำเสนอการวิจัย การลดปัญหากระแสไฟฟ้าขัดข้องเนื่องจากฟ้าผ่าสายส่ง 115 กิโลโวลต์ ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยการต่อลงดินนอกเสา ซึ่งทำการเชื่อมต่อกับสายตัวนำระหว่างสายตัวนำล่อฟ้ากับจุดต่อลงดินนอกเสา เพื่อลดค่าความต้านทานของรากสายดินและค่าเสิร์จอิมพีแดนซ์ของเสา ซึ่งจะส่งผลให้แรงดันเกินฟ้าผ่าที่ตกคร่อมลูกถ้วย การเกิดวาบไฟตามผิวย้อนกลับลดลง และยังสามารถลดความรุนแรงของเสิร์จที่เดินทางเข้าสู่สถานีจำหน่ายไฟฟ้า

2. การเกิดฟ้าผ่าในระบบจำหน่าย

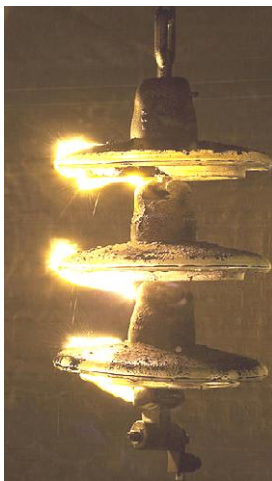
การเกิดแรงดันเกินเนื่องจากฟ้าผ่าในระบบจำหน่าย จะส่งผลให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเกินในระบบ อันทำให้เกิดการเจาะทะลุบนลูกถ้วย จนเกิดลัดวงจรลงดิน และเกิดความร้อนพองขึ้นในระบบจำหน่าย ส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพ และความเชื่อถือได้ของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า ซึ่งสามารถแบ่งลักษณะการเกิดฟ้าผ่าในระบบจำหน่าย ได้เป็น 3 กรณี (IEEE Standard 1410, 2004) ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของการเกิดฟ้าผ่า ดังนี้ 1) ฟ้าผ่าโดยตรงที่สายล่อฟ้า 2) ฟ้าผ่าโดยตรงลงสายเฟส และ 3) ฟ้าผ่าในบริเวณใกล้เคียงสายส่ง ดังแสดงในรูปที่ 4 [5]



รูปที่ 4 ลักษณะการเกิดฟ้าผ่าในระบบจำหน่าย

บทความวิจัยนี้จะมุ่งเน้นการนำเสนอ การเกิดฟ้าผ่าลงสายล่อฟ้าโดยตรง ที่ระบบส่งกำลังไฟฟ้าย่อย 69 กิโลโวลต์ ซึ่งจะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำในสายเฟส เมื่อเกิดฟ้าผ่าจะมีคลื่นจากหัวเสา วิ่งผ่านสาย

ตัวนำภายในเสาคอนกรีตลงสู่พื้นดินตัวนำในเสาคอนกรีตจะมีค่าความต้านทานอิมพีแดนซ์อยู่ค่าหนึ่ง ที่เรียกว่า เสิร์จอิมพีแดนซ์ (Surge Impedance) และในกรณีที่เสิร์จอิมพีแดนซ์มีค่าน้อยกว่าค่าอิมพีแดนซ์ที่แท่งกรวดจะทำให้เกิดคลื่นสะท้อนกลับเป็นบวก ในกรณีที่ค่าเสิร์จอิมพีแดนซ์ มีค่ามากกว่าค่าอิมพีแดนซ์ที่แท่งกรวดก็จะทำให้เกิดคลื่นสะท้อนกลับเป็นลบ หากมีการรวมกันของคลื่นที่ทำให้โครงสร้างเสาคอนกรีตมีแรงดันสูงเกินกว่าค่าการวาบไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤตของพวงลูกถ้วย (Critical Impulse Flashover Voltage: CFO) ก็จะทำให้เกิดการวาบไฟตามผิวฉนวนลูกถ้วยย้อนกลับเข้าสู่ระบบ (Back Flashover :BFO) [6] ซึ่งการเกิดวาบไฟตามผิวฉนวนย้อนกลับนั้นเป็นดัชนีที่สำคัญในการประเมินประสิทธิภาพการป้องกันฟ้าผ่าในระบบสายส่ง ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 การเกิดวาบไฟตามผิวฉนวนลูกถ้วยย้อนกลับ

ซึ่งกรณีการเกิดฟ้าผ่าโดยตรง ลงสายเฟส จะทำให้ฉนวนในระบบเกิดความเสียหายและเกิดแรงดันเกิน

ที่รุนแรงที่สุด จาก 3 กรณีที่ได้กล่าวมา แต่การเกิดแรงดัน ไฟฟ้าเกินในระบบจะพบบ่อยจากกรณีที่เกิดฟ้าผ่าในบริเวณใกล้เคียงสายส่ง

2.1 ค่าเสิร์จอิมพีแดนซ์ของเสา

เสิร์จอิมพีแดนซ์ของเสาคอนกรีตในระบบส่งจ่ายเป็นอิมพีแดนซ์ของระบบดินของเสา จะขึ้นอยู่กับขนาดและความสูงในระบบเสาส่ง ตามลักษณะมาตรฐานของการใช้งาน และตามระดับของแรงดันไฟฟ้าในระบบ ดังนั้นอิมพีแดนซ์ของเสาขึ้นอยู่กับความสูงของเสาและขนาดของสายตัวนำลงดิน แสดงในสมการที่ 1 [7]

$$Z_T = 60 \ln \left(\frac{H}{r} \right) + 90 \left(\frac{r}{H} \right) - 60 \quad (1)$$

- เมื่อ Z_T คือ เสิร์จอิมพีแดนซ์ของเสา (โอห์ม)
- H คือ ความสูงของเสาคอนกรีต (เมตร)
- r คือ รัศมีของสายตัวนำลงดิน (เมตร)

2.2 การวาบไฟผิวอิมพัลส์วิกฤตของลูกถ้วย

ลูกถ้วยที่ใช้ในระบบสายส่ง 69 กิโลโวลต์ ของการไฟฟ้านครหลวง ตามมาตรฐานการก่อสร้างกำหนดให้ใช้ลูกถ้วยชนิด 52-3 ตามมาตรฐาน มอก.354 จำนวน 7 ลูกถ้วย เพื่อให้ระบบจำหน่ายรองรับการเปลี่ยนระดับแรงดันไปเป็น 115 กิโลโวลต์ สำหรับระบบจำหน่าย 24 กิโลโวลต์ ใช้ลูกถ้วยชนิด 56/57-2 จำนวน 1 ลูกถ้วย โดยลูกถ้วยมีคุณลักษณะของการวาบไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤตของพวงลูกถ้วย ดังแสดงตารางที่ 1 โดยใช้ค่าของสัมประสิทธิ์ของความผันแปร (Coefficient Variance) เท่ากับ 3 %

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของฉนวนลูกถ้วย [8 - 9]

ชนิดของ ฉนวน	ผิวสัมผัสผิวทึบของ ทางลูกถ้วย (กิโลโวลต์)		สัมประสิทธิ์ของความต้านแปร (กิโลโวลต์)	
	ลำดับบวก	ลำดับลบ	ลำดับบวก	ลำดับลบ
52-3	695	670	674.15	649.90
56/57-2	180	205	174.60	198.85



ก) ลูกถ้วยชนิด 52-3 ใช้จำนวน 7 ลูก

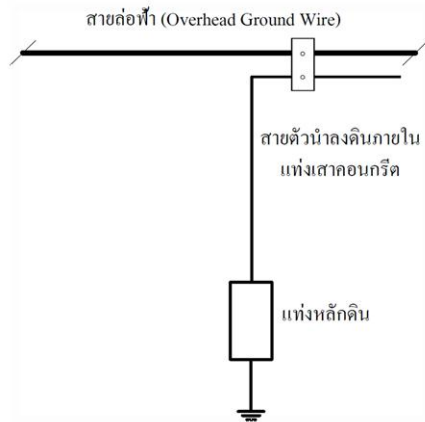


ข) ลูกถ้วยชนิด 56/57-2 ใช้จำนวน 1 ลูก
รูปที่ 6 ลูกถ้วยที่ใช้ในระบบ 24 และ 69 กิโลโวลต์

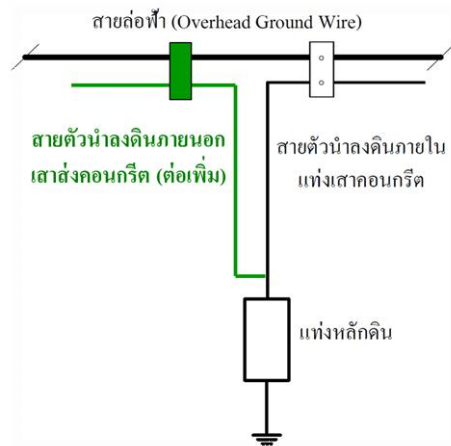
3. การศึกษาเพื่อลดผลกระทบจากฟ้าผ่า

3.1 การติดตั้งสายตัวนำลงดินเพิ่มนอกเสาส่ง

เทคนิคการติดตั้งสายตัวนำลงดินเพิ่มนอกเสาส่งคอนกรีต เพื่อศึกษาการลดค่าของอัตราความไวไฟตามผิวย้อนกลับ ซึ่งเชื่อมต่อเพิ่มระหว่างสายล่อฟ้าไปยังแท่งหลักดินที่โคนเสาโดยใช้ขนาดลวดเหล็กกล้าเคลือบสังกะสี ดีเกลือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.93 มิลลิเมตร ตามที่แสดงในรูปที่ 7



ก) แสดงรูปการเชื่อมต่อสายตัวนำ ก่อนปรับปรุง



ข) แสดงรูปการเชื่อมต่อสายตัวนำ หลังปรับปรุง
รูปที่ 7 ลักษณะการเชื่อมต่อสายตัวนำลงดินก่อนและหลังการปรับปรุง

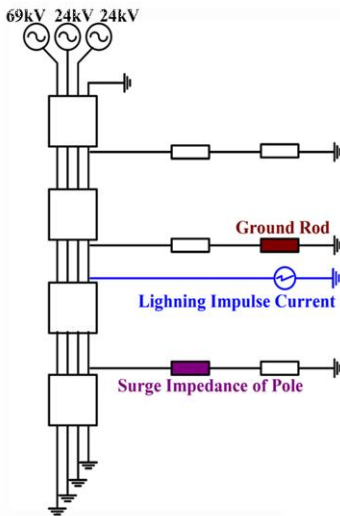
3.2 การสร้างแบบจำลอง

ในการสร้างแบบจำลองการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม ATP-EMTP (Alternative Transient Program - Electromagnetic Transient Program) มาประมวลผลเพื่อประเมินประสิทธิภาพการป้องกันฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นในระบบส่ง โดยใช้ค่าคงที่ของสายรูปแบบ J.Marti's

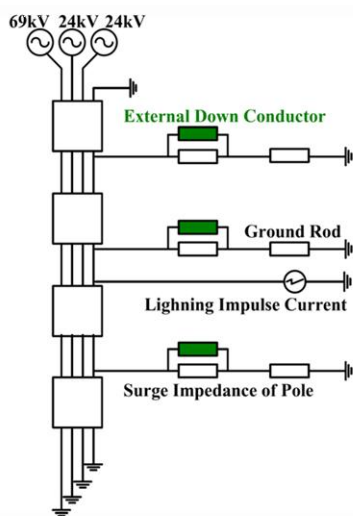
ซึ่งประกอบไปด้วยแหล่งจ่ายกระแสสลับ 3 เฟส สายส่งย่อย สายจำหน่าย และสายล่อฟ้าเหนือศีรษะตามที่แสดงในรูปที่ 8

3.3 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลอง

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม ATP-EMTP มีข้อมูล ดังตารางที่ 2



ก) แสดงแบบจำลอง ก่อนปรับปรุง



ข) แสดงแบบจำลอง หลังปรับปรุง

รูปที่ 8 แบบจำลองระบบ โดยโปรแกรม ATP-EMTP

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลอง

Detail	Values	Model
1. Lightning current		
- Amplitude (kA)	34.40	Ramp
- Front time/tail time (μ s)	10/350	
2. OHGW		
- Diameter (mm)	7.94	
- DC resistance (Ω /km)	3.60	
3. Phase conductor of 69 kV		
- Diameter (mm)	25.65	J.Marti
- DC resistance (Ω /km)	0.0778	
4. Phase conductor of 24 kV		
- Diameter (mm)	15.35	
- DC resistance (Ω /km)	0.164	
5. Pole		
- Height (m)	20	
- Span (m)	80	
- Surge impedance (Ω)	451.4	
- Wave velocity (m/ μ s)	123	
6. External ground		Distributed Parameter
- Diameter (mm)	7.94	
- Length (m)	20	
- Surge impedance (Ω)	411.27	
- Wave velocity (m/ μ s)	300	
7. Ground rod (5-100 Ω)		
- Diameter (mm)	16	
- Length (m)	3	

4. ดัชนีที่ใช้ในการประเมินประสิทธิภาพการป้องกันฟ้าผ่า

ดัชนีที่ใช้ในการประเมินประสิทธิภาพการป้องกันฟ้าผ่า มีดังนี้ คือ 1) แรงดันไฟฟ้าหัวเสา 2) กระแสวิกฤต 3) อัตราการวาวไฟตามผิวย้อนกลับ โดยพิจารณาแรงดันไฟฟ้าที่หัวเสาแรงดันเทียบกับดิน กระแสวิกฤตคือค่ากระแสที่ทำให้เริ่มเกิดการวาวไฟตามผิวย้อนกลับที่พวงลูกถ้วย หลังจากนั้นก็จะนำไปคำนวณค่าอัตราการวาวไฟตามผิวย้อนกลับ ตามสมการ 2-5 [10 - 11]

$$BFOR = P(I \geq I_C) \cdot N_1 \tag{2}$$

$$P(I) = \frac{1}{\left(1 + \left(\frac{I}{M}\right)^B\right)} \tag{3}$$

$$N_1 = N_g \left(\frac{28h^{0.6} + b}{10} \right) \tag{4}$$

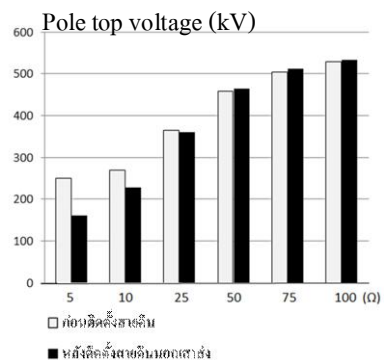
$$N_g = 0.0133T_d^{1.25} \tag{5}$$

เมื่อ	BFOR	คือ	อัตราการเกิดวาวไฟตามผิวย้อนกลับ (ครั้ง/100 วงจร-กม./ปี)
	P(I)	คือ	ความน่าจะเป็นสะสมที่กระแสฟ้าผ่า I สูงกว่าหรือเท่ากับกระแสวิกฤต (%)
	I	คือ	กระแสฟ้าผ่าค่ายอด

M	คือ	กระแสฟ้าผ่ามัธยฐาน 34.4 กิโลแอมป์
B	คือ	ค่าคงที่สำหรับประเทศไทย 2.5
h	คือ	ความสูงเฉลี่ยของสายดิน (เมตร)
N ₁	คือ	จำนวนครั้งที่ฟ้าผ่าจะผ่าลงสายดิน (ครั้ง/100 วงจร-กม./ปี)
b	คือ	ระยะห่างระหว่างสายดิน (เมตร)

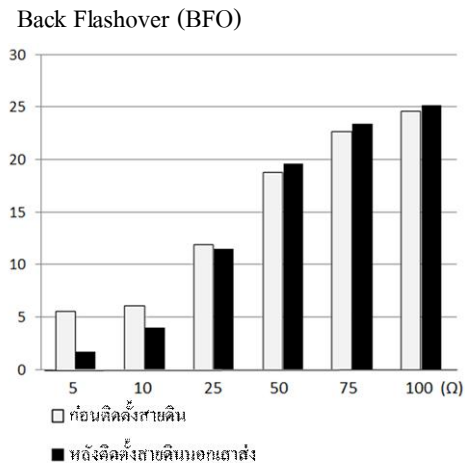
5. การประมวลผลของโปรแกรม

จากกรณีศึกษาได้ทำการทดลองกับระบบจำหน่ายของการไฟฟ้านครหลวง ระดับแรงดัน 69 กิโลโวลต์ กรณีฟ้าผ่าโดยตรงที่ตำแหน่งหัวเสา ด้วยคลื่น 10/350 ไมโครวินาที และเปลี่ยนค่าความต้านทานอิมพัลส์ตั้งแต่ 5, 10, 25, 50, 75 และ 100 โอห์ม ด้วยค่ากระแสฟ้าผ่าขนาด 34.4 กิโลแอมป์ ซึ่งเป็นค่ากระแสมาตรฐานของ ประเทศไทย ในช่วงปี พ.ศ. 2536-2540 ใช้ค่าของจำนวนวันที่พายุฟ้าคะนองต่อปีเท่ากับ 116 วัน [12] พร้อมเปรียบเทียบค่าแรงดันหัวเสา (Pole top voltage) และอัตราการเกิด การวาวไฟตามผิวฉนวนลูกถ้วยย้อนกลับ ก่อนและหลังปรับปรุงสายตัวนำลงดินแสดงผลในรูปแบบที่ 9 – 10



รูปที่ 9 เปรียบเทียบค่าแรงดันหัวเสา

จากรูปที่ 9 พบว่าที่ค่าความต้านทานอิมพัลส์ที่ 5, 10 และ 25 โอห์ม เมื่อทำการปรับปรุงสายตัวนำลงดินนอกเสาส่งคอนกรีตสามารถลดค่าแรงดันหัวเสาได้ แต่กรณีที่ค่าความต้านทานอิมพัลส์ที่ 50, 75 และ 100 โอห์ม จะทำให้ค่าแรงดันหัวเสาเพิ่มขึ้น



รูปที่ 10 เปรียบเทียบอัตราการเกิด BFO

จากรูปที่ 10 พบว่าที่ค่าความต้านทานอิมพัลส์ที่ 5, 10 และ 25 โอห์ม เมื่อทำการปรับปรุงสายตัวนำลงดินนอกเสาส่งคอนกรีต สามารถลดค่าการเกิดการวาวไฟตามผิวฉนวนลูกถ้วยย้อนกลับ ได้แต่กรณีที่ค่าความต้านทานอิมพัลส์ที่ 50, 75 และ 100 โอห์ม จะทำให้ค่าการเกิดการวาวไฟตามผิวฉนวนลูกถ้วยย้อนกลับเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดคลื่นสะท้อนที่รบกวนกันของคลื่นที่ทำให้โครงสร้างเสาคอนกรีตมีแรงดันสูงเกิดการวาวไฟตามผิวอิมพัลส์วิกฤตของพวกลูกถ้วยก็จะทำให้เกิดการวาวไฟตามผิวฉนวนลูกถ้วยย้อนกลับเข้าสู่ระบบ

6. สรุปผล

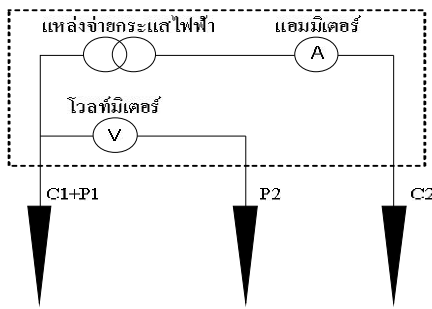
บทความนี้นำเสนอการศึกษาการลดผลกระทบจากฟ้าผ่าโดยการปรับปรุงสายตัวนำลงดินในระบบจำหน่ายด้วยการติดตั้งสายตัวนำลงดินเพิ่มนอกเสาส่งซึ่งเชื่อมต่อเพิ่มเติมระหว่างสายล่อฟ้าไปยังแท่งหลักดินที่โคนเสา วัตถุประสงค์เพื่อลดค่าของอัตราการวาวไฟตามผิวย้อนกลับ โดยใช้โปรแกรมจำลอง ATP-EMTP ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงดัน 69 กิโลโวลต์ และทำการเปลี่ยนค่าความต้านทาน อิมพัลส์ระหว่าง 5, 10, 25, 50, 75 และ 100 โอห์ม พบว่าที่ค่าความต้านทานอิมพัลส์ 5, 10 และ 25 โอห์ม เมื่อทำการปรับปรุงสายตัวนำลงดิน ดังกล่าว จะสามารถลดค่าแรงดันหัวเสา และสามารถลดอัตราการเกิดการวาวไฟตามผิวฉนวนลูกถ้วยย้อนกลับ แต่เมื่อความต้านทานอิมพัลส์ 50, 75 และ 100 โอห์ม จะไม่สามารถลดการวาวไฟตามผิวย้อนกลับลงได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ชูวงศ์ วัฒนศักดิ์ภูบาล ที่สามารถลดแรงดันเกินฟ้าผ่าที่ตกคร่อมลูกถ้วย ส่งผลให้การเกิดวาวไฟตามผิวย้อนกลับลดลงด้วย ดังนั้นในทางปฏิบัติต้องหาแนวทางเพื่อลดค่าความต้านทานดินที่โคนเสาให้มีค่าไม่เกิน 25 โอห์ม ซึ่งกรณีศึกษาสามารถนำไปเป็นแนวทางการปรับปรุงมาตรฐานการต่อลงดินในระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวงได้

7. ข้อเสนอแนะเพื่อลดความต้านทานดิน

7.1 วิธีการปักแท่งหลักดินเพิ่ม

ตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556 กำหนดให้ค่าความต้านทานระหว่างหลักดินกับดิน (Resistance to Ground) เพื่อจำกัดแรงดันเกินจากฟ้าผ่า โดยค่าความต้านทานของหลักดินกับดิน

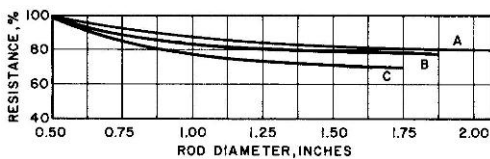
ต้องไม่เกิน 5 โอห์ม ยกเว้น พื้นที่ที่ยากในการปฏิบัติ และได้รับการเห็นชอบจากการไฟฟ้าซึ่งกำหนดค่าความต้านทานของหลักดินมีค่าไม่เกิน 25 โอห์ม หากทำการวัดแล้วยังมีค่าเกินให้ปักหลักดินเพิ่มอีก 1 แท่ง [13] แสดงหลักการวัด ในรูปที่ 11



รูปที่ 11 เครื่องมือวัดค่าความต้านทานดิน [14]

7.2 วิธีการเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแท่งหลักดิน

เป็นวิธีการเพิ่มพื้นที่สัมผัสดิน เพื่อลดความต้านทานดิน ซึ่งวิธีนี้จะทำให้ความต้านทานดินลดลงเล็กน้อย ในทางปฏิบัติจึงไม่นิยมลดความต้านทานด้วยวิธีการเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแท่งหลักดิน ซึ่งความสัมพันธ์ของความต้านทานดินที่ลดลงเมื่อเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางหลักดิน แสดงในรูป 12 [15]

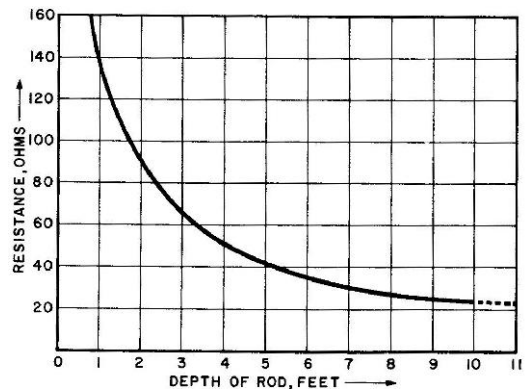


รูปที่ 12 ผลการเพิ่มขึ้นของเส้นผ่านศูนย์กลางแท่งหลักดิน

7.3 วิธีการเพิ่มความยาวของแท่งหลักดิน

เป็นวิธีที่ใช้ในทางปฏิบัติอย่างทั่วไป โดยปกติจะมีความยาวไม่เกิน 3 เมตร ในกรณีที่แท่งหลักดิน

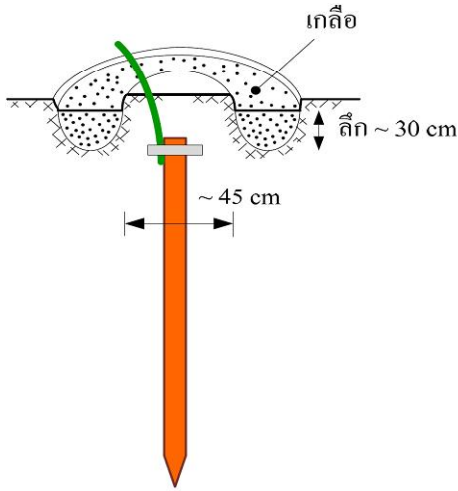
มีความยาวมาก ในการติดตั้งอาจทำได้ยากหรือต้องใช้เครื่องจักรเจาะดินช่วยในการฝังแท่งหลักดิน ในการเพิ่มความยาวหลักดินสามารถทำให้ความต้านทานลดลงเมื่อความยาวของหลักดินเพิ่มขึ้น แสดงความสัมพันธ์ในรูปที่ 13



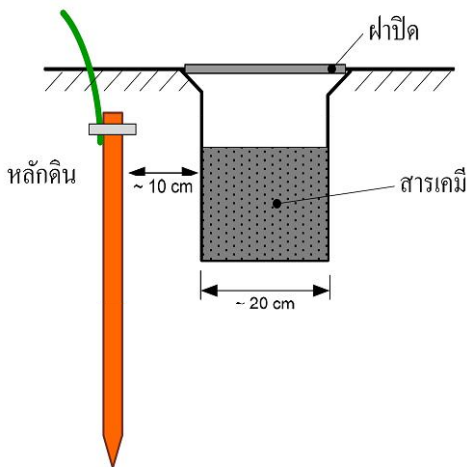
รูปที่ 13 ความยาวแท่งหลักดินต่อค่าความต้านทานดิน

7.4 วิธีการใช้สารเคมีปรับปรุงความต้านทานดิน

ในพื้นที่ที่มีความต้านทานจำเพาะของดินสูงสามารถลดความต้านทานดินโดยการเติมสารเคมีลงในดิน ซึ่งเป็นสารเคมีประเภทเกลือ ที่นิยมใช้คือ โซเดียมคลอไรด์ (เกลือ), คอปเปอร์ซัลเฟต และแมกนีเซียม ซัลเฟต ในที่นี้สาร แมกนีเซียม ซัลเฟต จะเป็นสารเคมีที่ทำให้เกิดการกัดกร่อนน้อยที่สุด โดยวิธีการเติมสารเคมีลงในดิน เช่น วิธีขุดวาง วิธีกลบทับ และวิธีการใช้กระบอกบรรจุสารเคมี แต่วิธีขุดวางและวิธีกลบทับ หากมีฝนตกลงมา จะทำให้เกลือละลายในดินอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ความต้านทานลดลงรวดเร็วไปด้วย แต่ถ้าฝนตกลงมามากเกลือจะละลายหายไปจึงต้องคอยตรวจสอบความต้านทานดิน และเติมสารเคมีเป็นประจำ แสดงในรูปที่ 14 [16]



ก) แสดงการขุดรางแล้วเติมเกลือ



ข) แสดงการใช้สารเคมีฝังกระบอก

รูปที่ 14 การใช้สารเคมีปรับปรุงความต้านทานดิน

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร และการไฟฟ้านครหลวง ที่ให้การสนับสนุนความช่วยเหลือในการจัดทำบทความนี้ ซึ่งทำให้เกิดความสำเร็จดังต่อไปนี้

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] W. Shuntranurak, “The Impact of Lightning on Power Quality”, Oppo Company Limited. October 2005. (in Thai)
- [2] K. Supanus, “External Grounding Design to Reduce Effects of Lightning Damage in Distribution System”, IEEE Conference April 2014.
- [3] MEA Overhead Subtransmission construction standard, power system planning department, Metropolitan Electricity Authority, DWG. No. 10A4-0524. 2000.
- [4] C. Wattanasakpubal, “Improve Lightning Performance 115 kV Transmission Line’s PEA by External Ground”, Master Thesis, King Mongkut’s Institute of Technology North Bangkok, 2003. (in Thai)
- [5] IEEE Standard 1410-2004. “Guide for Improving the Lightning Performance of Electric Power Overhead Distribution Lines”.
- [6] P. Sirajansawang, “Assessment of Lightning Performance on Distribution System 24kV”, Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2013. (in Thai)
- [7] Z. Zhang, W. Sima, Y. Zhang, and L. Shu, “The simulation model for calculating the surge impedance of a tower”, in Proc. IEEE Conf. Electrical Insulation, 2004, pp. 331 – 334.
- [8] TIS.354-1985. Suspension insulator type 52-3. Bangkok: Thai Industrial Standards Institute, 1985.

- [9] TIS.1251-1994. Pin post insulator type 56/57-2. Bangkok: Thai Industrial Standards Institute, 1994.
- [10] IEEE Std. 1243-1997. “Guide for improving the lightning performance of transmission lines”.
- [11] IEEE Working Group Report. “Estimation lightning performance of transmission lines II – updates to analytical models” IEEE Transactions on Power Delivery 8(3), 1993, pp. 1254-1267.
- [12] Data Base of Thai Meteorological Department (TMD), 2003-2012.
- [13] EIT Standard 2001-56. The Engineering Institute of Thailand under H.M.The King’s Patronage, 2001. (in Thai)
- [14] W. Shuntranurak, “Measuring ground resistance by Fall of Potential method”, Oppo Company Limited. January 2005. (in Thai)
- [15] Megger.com A practical guide to earth resistance testing, “Getting Down to Earth”, Internet website at http://www.weschler.com/_upload/sitepdfs/techref/gettingdowntoearth.pdf (accessed on 20 May 2015)
- [16] Council of engineers Thailand, “Code of practice for design, installation, inspection and testing of grounding system”, April 2011.