

อิทธิพลของฟ้าผ่าต่อการออกแบบระบบจำหน่ายไฟฟ้าด้วยสายอะลูมิเนียมหุ้มฉนวนแบบไม่เต็มพิกัด

Influence of Lightning on Distribution System Design by Partially Insulated Aluminium Conductor

ชัชณพพงศ์ สัจจะวัฒนวิมล** สมชาย ฉัตรรัตน* และ ผาสุก หลงสมบูรณ์**

* ศูนย์วิจัยและพัฒนาระบบอัจฉริยะ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ถนนพิบูลสงคราม บางซื่อ กรุงเทพฯ 10800 โทร (02) 5874351 โทรสาร (02) 5856149 E-mail : scn@kmitnb.ac.th

** ฝ่ายวางแผนระบบไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ถนนงามวงศ์วาน ลาดยาว จตุจักร กรุงเทพฯ 10900

โทร (02) 5905389, 5905701 โทรสาร (02) 5905299 E-mail : chitsanuphong@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์ทรานเซียนต์จากเสิร์จฟ้าผ่าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า 3 เฟส 22 กิโลโวลต์ ด้วยโปรแกรม EMTP [1] เพื่อศึกษาและหาหลักเกณฑ์ในการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันฟ้าผ่าในระบบจำหน่ายให้เหมาะสมกับความหนาแน่นของฟ้าผ่าในแต่ละพื้นที่ แรงดันเกินฟ้าผ่าที่จุดต่าง ๆ ในระบบจำหน่ายและอัตราการเกิดควาไฟฟ้าตามผิวจะถูกคำนวณจากข้อมูลตำแหน่งฟ้าผ่าและวันเกิดฝนตกฟ้าคะนองที่ได้จากการวัดจริง กรณีศึกษาเป็นระบบจำหน่ายไฟฟ้าในเขตจังหวัดฉะเชิงเทรา ซึ่งมีสถิติสายอะลูมิเนียมหุ้มฉนวนแบบไม่เต็มพิกัดเกิดการอาร์คขาดสูงเนื่องจากฟ้าผ่า ผลการศึกษาพบว่าการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าที่ทุก ๆ ระยะ 240 เมตร เหมาะสมกับการป้องกันแรงดันเกินฟ้าผ่าในระบบจำหน่ายที่มีค่าความต้านทานรากสายดินไม่เกิน 60 โอห์ม โดยมีผลป้องกันการเกิดควาไฟฟ้าตามผิวได้ 73%

Abstract

The paper presents the analysis of lightning surge transient in 3 phase 22 kV distribution system with the EMTP. The results can be used as criteria for the installation of surge arrester according to the ground flash density in each area. Overvoltages at various points and backflashover rate are calculated from the measured lightning location data and thunderstorm days. The study was made on the distribution system in Chachoengsao province, which has frequent record of arc fusion of partially insulated aluminium conductor caused by lightning strokes. The results shows that adequate protection can be achieved by installing the current limiting arcing horns at the interval of 240 m. with grounding resistance of not more than 60 ohms, and will be obtained the protective effect of 73%

1. คำนำ

ในปัจจุบันผู้ใช้ไฟฟ้าโดยทั่วไปในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) จะรับพลังงานไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายไฟฟ้าเหนือพื้นดิน (Overhead Distribution System) ซึ่งเป็นระบบจำหน่ายไฟฟ้า

แรงดัน 22 กิโลโวลต์ ที่จ่ายพลังงานไฟฟ้าผ่านสายอะลูมิเนียมชนิดเปลือยพาดไปตามเสาไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟ ธุรกิจ และอุตสาหกรรมต่าง ๆ สำหรับในพื้นที่ที่มีความสำคัญก็จะออกแบบเป็นสายเคเบิลอากาศหรือสายเคเบิลใต้ดิน ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างค่อนข้างสูง จึงได้มีการนำสายอะลูมิเนียมหุ้มฉนวนแบบไม่เต็มพิกัด (Partially Insulated Aluminium Conductor) หรือเรียกว่าสาย PIC มาใช้งานแทนสายตัวนำชนิดเปลือยในพื้นที่ที่มีปัญหากระแสไฟฟ้าขัดข้องชั่วคราวเนื่องจากต้นไม้หรือในบริเวณที่มีต้นไม้หนาแน่น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า แต่การออกแบบระบบจำหน่ายไฟฟ้าด้วยสายอะลูมิเนียมหุ้มฉนวนแบบไม่เต็มพิกัด ก่อให้เกิดผลกระทบต่าง ๆ จากปรากฏการณ์ฟ้าผ่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งทำให้เกิดปัญหาสายหุ้มฉนวนอาร์คขาดตกลงมาบนพื้น ซึ่งส่วนใหญ่มักจะเกิดขึ้นบริเวณที่โล่ง ๆ ในขณะที่ฝนตกหรือฝนฟ้าคะนอง จากสถิติการสำรวจข้อมูลระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคทั่วประเทศในปี 2537 ถึง 2539 ปรากฏว่าสายหุ้มฉนวนแบบไม่เต็มพิกัดขาดเนื่องจากฟ้าผ่าแล้วไม่ต่ำกว่า 32 ครั้ง

2. ข้อมูลการเกิดฟ้าผ่าภายในประเทศไทย

การศึกษาข้อมูลฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นภายในประเทศนั้น [2] ได้เริ่มต้นขึ้นในปี 2535 โดยการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ได้ติดตั้งระบบตรวจวัดขนาดและตำแหน่งฟ้าผ่า (Lightning Location System) ขึ้นเพื่อหาความหนาแน่นของฟ้าผ่าในบริเวณที่มีปัญหาฟ้าผ่ารุนแรง โดยจะเก็บข้อมูลเฉพาะในช่วงฤดูฝนเนื่องจากเป็นช่วงที่มีวันฝนตกฟ้าคะนองและมีโอกาสเกิดฟ้าผ่ามากที่สุดในรอบปี ข้อมูลฟ้าผ่าที่ใช้สำหรับวิเคราะห์เป็นข้อมูลในปี 2539 และ 2540 เมื่อนำข้อมูลมาแจกแจงทางสถิติ จะได้ลักษณะข้อมูลฟ้าผ่าที่สำคัญที่เกิดขึ้นในประเทศเฉลี่ยทั้ง 2 ช่วงปี ดังนี้

2.1 จำนวนครั้งและประเภทของฟ้าผ่า

จำนวนครั้งของฟ้าผ่าลงสู่พื้นโลกที่เกิดขึ้นในปี 2539 และ 2540 แสดงได้ดังตารางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ จะเห็นว่าประมาณร้อยละ 2 เป็นฟ้าผ่าบวก (Positive Flashes) ที่เหลือร้อยละ 98 จะเป็นฟ้าผ่าลบ (Negative Flashes) และในช่วงเดือนสิงหาคม 2539 และกันยายน 2540 จะเกิดฟ้าผ่ามากกว่าช่วงเดือนอื่น ๆ

ตารางที่ 1 จำนวนครั้งของฟ้าผ่าในช่วงเดือนมิถุนายน-กันยายน 2539

ระยะเวลา	จำนวนครั้ง	ฟ้าผ่าบวก	เปอร์เซ็นต์
3-30 มิ.ย. 2539	32,391	494	1.53%
1-31 ก.ค. 2539	41,619	1,363	3.27%
11-31 ส.ค. 2539	74,827	1,858	2.48%
1-8,16-30 ก.ย. 2539	23,891	430	1.80%
รวม	172,728	4,145	2.4%

ตารางที่ 2 จำนวนครั้งของฟ้าผ่าในช่วงเดือนสิงหาคม-ธันวาคม 2540

ระยะเวลา	จำนวนครั้ง	ฟ้าผ่าบวก	เปอร์เซ็นต์
15-31 ส.ค. 2540	10,447	512	4.90%
1-30 ก.ย. 2540	81,731	1,326	1.62%
1-31 ต.ค. 2540	74,474	1,177	1.58%
1-30 พ.ย. 2540	10,348	167	1.61%
1-31 ธ.ค. 2540	1,724	24	1.39%
รวม	178,724	3,206	1.79%

ตารางที่ 3 ขนาดกระแสฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นในประเทศไทย

พารามิเตอร์	ขนาดกระแสฟ้าผ่า (กิโลแอมป์)		
	ปี 2539	ปี 2540	ค่าเฉลี่ย
กระแสฟ้าผ่าสูงสุด	3,200	3,200	3,200
กระแสฟ้าผ่าลบต่ำสุด	3.70	4.00	3.85
กระแสฟ้าผ่าบวกต่ำสุด	6.20	7.90	7.05
กระแสฟ้าผ่าลบค่าเฉลี่ย	38.33	50.19	44.26
ค่ามัธยฐาน (Median)	31.10	36.30	33.70
ค่าฐานนิยม (Mode)	24.50	21.90	23.20
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	35.60	47.30	41.45

2.2 ขนาดกระแสฟ้าผ่าสูงสุด (Peak Current)

ขนาดกระแสฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นภายในประเทศ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3 โดยกระแสฟ้าผ่าขนาดมากกว่า 34 กิโลแอมป์ มีโอกาสเกิดขึ้น 50% ส่วนกระแสฟ้าผ่าที่สูงกว่า 200 กิโลแอมป์ มีโอกาสเกิดขึ้นเพียง 0.95% เท่านั้น

2.3 ช่วงเวลาการเกิดฟ้าผ่า

พฤติกรรมของฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นภายในประเทศในแต่ละวัน ปรากฏว่าเกิดฟ้าผ่าสูงสุดในช่วงเวลา 15.00 น. และต่ำสุดในช่วงเวลา 9.00 น. โดยในช่วงบ่ายหรือเย็นจะมีโอกาสเกิดฟ้าผ่ามากกว่าในช่วงเช้า

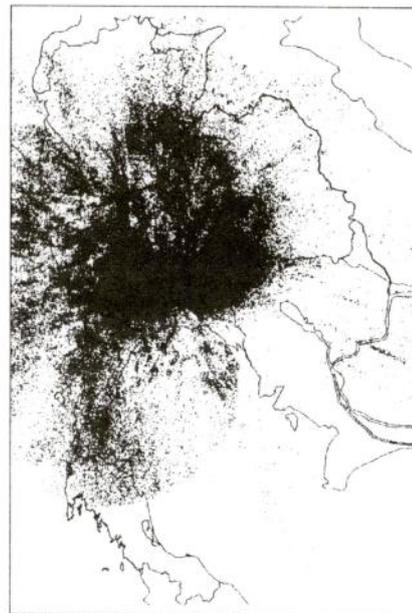
2.4 จำนวนครั้งฟ้าผ่าซ้ำ (Multiplicity Strokes)

ฟ้าผ่าลงสู่พื้นโลกส่วนมากมักจะเกิดการซ้ำซ้อนหลายครั้ง โดย

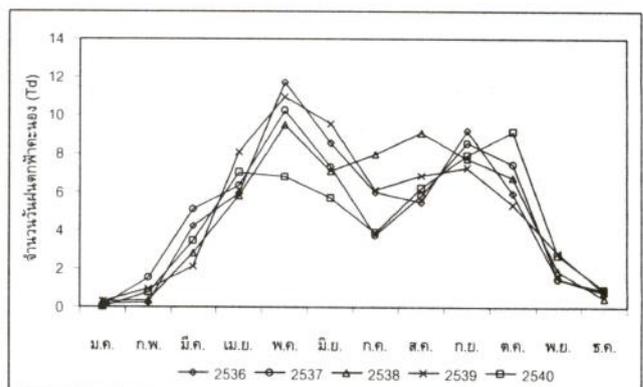
เฉพาะฟ้าผ่าลบ จากข้อมูลเฉลี่ยร้อยละ 44 จะเป็นฟ้าผ่าเดี่ยว (Single Stroke) ร้อยละ 57 เกิดฟ้าผ่าซ้ำมากกว่า 2 ครั้ง ร้อยละ 5 ฟ้าผ่าซ้ำจำนวน 5 ครั้ง และจะเกิดฟ้าผ่าซ้ำสูงสุดถึง 15 ครั้ง ส่วนฟ้าผ่าบวกนั้น มากกว่าร้อยละ 90 จะเป็นฟ้าผ่าเดี่ยว

2.5 ตำแหน่งของฟ้าผ่า

การเกิดฟ้าผ่าบนพื้นโลกแต่ละครั้ง สามารถแสดงตำแหน่งและความรุนแรงของกระแสฟ้าผ่าลงบนแผนที่ ดังแสดงในรูปที่ 1 เป็นตำแหน่งฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นภายในประเทศไทย ตามพิกัดเส้นละติจูดและเส้นลองจิจูด ระหว่างวันที่ 15 สิงหาคมถึงวันที่ 31 ธันวาคม 2540 มีจำนวนทั้งสิ้น 178,724 ครั้ง สำหรับในบางพื้นที่ โดยเฉพาะทางตอนใต้ของประเทศ จะเห็นว่าไม่พบตำแหน่งฟ้าผ่า เนื่องจากตำแหน่งฟ้าผ่าลงสู่พื้นดินอยู่ห่างไกลจากกรังการตรวจวัด



รูปที่ 1 ตำแหน่งของฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นในประเทศไทย



รูปที่ 2 กราฟแสดงจำนวนวันเกิดฝนตกฟ้าคะนองในประเทศไทย

2.6 ความหนาแน่นของฟ้าผ่า (Ground flash Density)

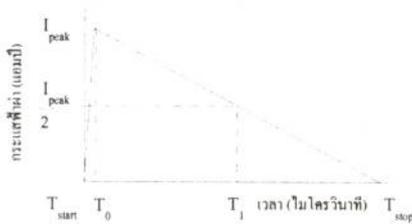
ความหนาแน่นของฟ้าผ่า (Ng) สามารถหาได้จากการวัดจำนวนครั้งของฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นเฉลี่ยต่อพื้นที่ 1 ตร.กม./ปี หรือประมาณได้จากจำนวนวันเกิดฝนตกฟ้าคะนอง (Thunderstorm Days) ดังกราฟในรูปที่ 2 ซึ่งตามมาตรฐานของ IEEE [3] สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 1 แต่ผลลัพธ์ที่ได้อาจไม่สามารถนำมาใช้ได้กับประเทศของเรา เนื่องจากใช้กับข้อมูลวันเกิดฝนตกฟ้าคะนองในประเทศสหรัฐอเมริกาเท่านั้น

$$N_g = 0.04T_d^{1.25} \quad (1)$$

3. การจำลองระบบจำหน่ายในการวิเคราะห์แรงดันเกินฟ้าผ่า

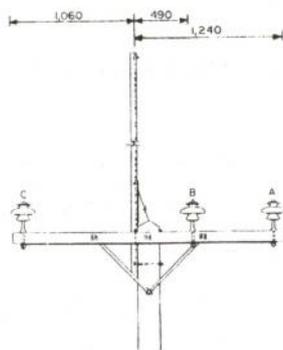
3.1 แบบจำลองของคลื่นฟ้าผ่า

ลักษณะของรูปคลื่นกระแสฟ้าผ่า แทนได้ด้วยรูปคลื่นลาดแบบสามเหลี่ยม (Triangular Ramp Wave) $1.5/30 \mu s$ ดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งมีเวลาช่วงหน้าคลื่น $1.5 \mu s$ (T_0) และเวลาช่วงหางคลื่น $30 \mu s$ (T_1)



รูปที่ 3 รูปคลื่นกระแสฟ้าผ่าในการวิเคราะห์

3.2 แบบจำลองของเสาไฟฟ้า



รูปที่ 4 ลักษณะองค์ประกอบของเสาไฟฟ้า

เสาไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า เป็นเสาคอนกรีตอัดแรง ขนาด 12 เมตร มีลักษณะโครงสร้างดังรูปที่ 4 ภายในมีสายดินหรือลวดเหล็กตีเกลียวขนาด 25 ตร.มม. วางฝังอยู่ในเสา ดังนั้นสามารถแทนเสาไฟฟ้าที่มีความสูง 12 เมตร และมีรัศมีของลวดเหล็กตีเกลียว 2.82 มม. ด้วยเสิร์จอิมพีแดนซ์ประมาณ 440 โอห์ม ตามสูตรการคำนวณหาเสิร์จอิมพีแดนซ์สำหรับเสาคอนกรีตของ Sargent และ Darveniza [4]

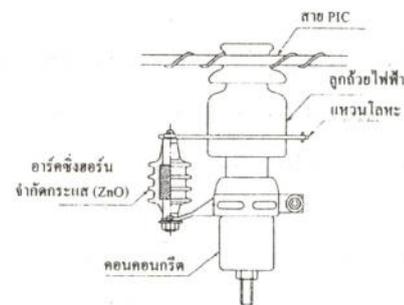
3.3 แบบจำลองของความต้านทานรากสายดิน

กระแสฟ้าผ่าที่มีขนาดสูงเมื่อไหลผ่านความต้านทานรากสายดิน

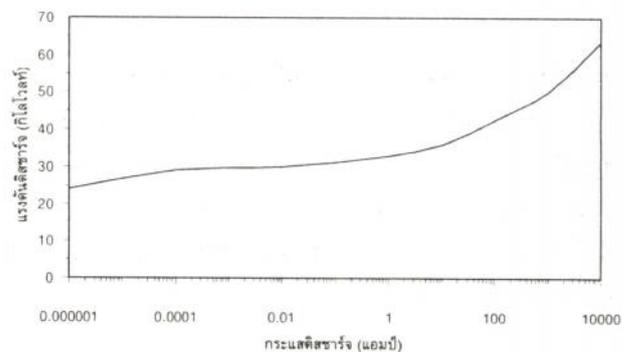
จะมีผลทำให้ความต้านทานรากสายดินมีค่าต่ำกว่าความต้านทานที่วัดได้ในสภาพปกติ ซึ่งสามารถคำนวณหาค่าความต้านทานอิมพัลส์ของแท่งสายดิน (Ground Rod) ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่มีลักษณะเป็นเหล็กออบสังกะสี 4 แฉก ขนาด $60 \times 60 \times 5$ มม. ยาว 2 ม. ได้ตามวิธีของ GIGRE [5]

3.4 แบบจำลองของกับดีกฟ้าผ่า

กับดีกฟ้าผ่าที่ใช้สำหรับป้องกันฟ้าผ่าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ใช้สาย PIC คืออาร์คชิ่งฮอรั่นจำกัดกระแส (Current Limiting Arcing Horn) หรือ CLAH ดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งมีขนาดพิกัด 24 kV กระแสดิสชาร์จ 2,500 A และแรงดันดิสชาร์จสูงสุดไม่เกิน 65 kV ประกอบด้วยแหวนโลหะต่ออนุกรมกับตัวต้านทานไม่เป็นเชิงเส้นแบบซิงค์ออกไซด์ (ZnO) การจำลองกับดีกฟ้าผ่าจะแทนได้ด้วยค่าแรงดันและกระแสของซิงค์ออกไซด์ ดังกราฟในรูปที่ 6 โดยมีแรงดันสปาร์ก (Spark Voltage) ระหว่างสาย PIC กับแหวนโลหะประมาณ 100 kV



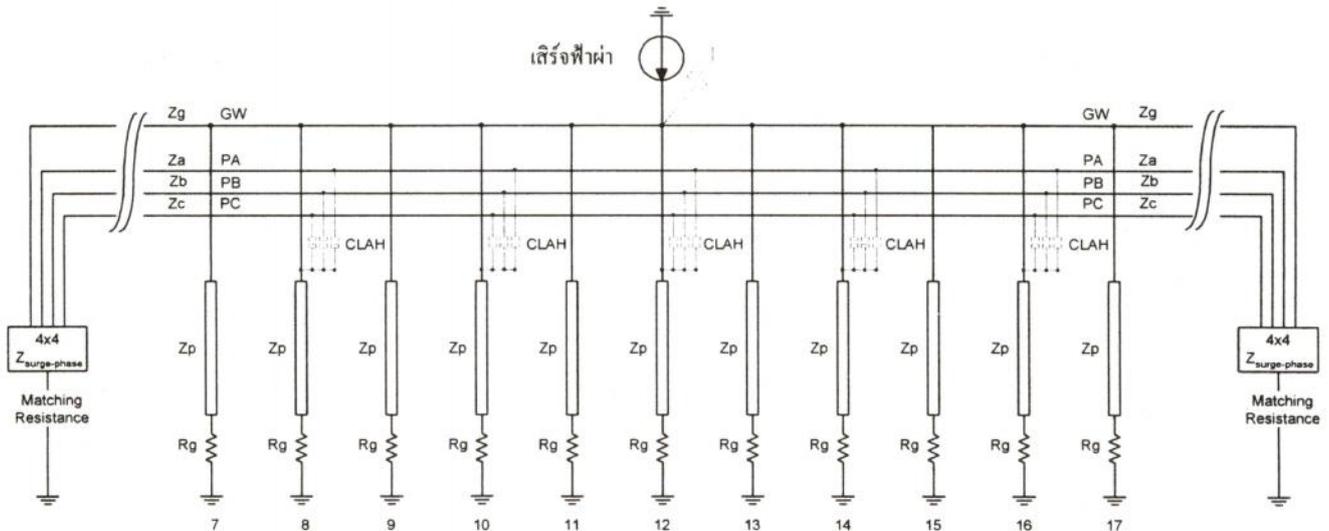
รูปที่ 5 ลักษณะของอาร์คชิ่งฮอรั่นจำกัดกระแส



รูปที่ 6 คุณลักษณะแรงดันและกระแสดิสชาร์จของ CLAH

3.5 แบบจำลองของระบบจำหน่ายไฟฟ้า 3 เฟส ที่ใช้สาย PIC

เป็นแบบจำลองที่ไม่คิดการสูญเสีย พารามิเตอร์ของสายมีค่าคงที่ไม่ขึ้นอยู่กับความถี่ (Frequency Independent) ระบบจำหน่ายไฟฟ้าในแต่ละช่วงสั้น ๆ ที่มีระยะช่วงเสา 40 เมตร จะถูกแทนด้วยเสิร์จอิมพีแดนซ์สำหรับระบบจำหน่ายส่วนที่อยู่ห่างไกลจากตำแหน่งฟ้าผ่าจะแทนด้วยคัปเปิลความต้านทาน (Matching Resistance) ที่มีค่าเท่ากับเสิร์จอิมพีแดนซ์ของระบบจำหน่าย ดังในรูปที่ 7 โดยสาย PIC และลูกถ้วยไฟฟ้าแบบพินท์โพสท์ (Class S7-2) จะทนต่อแรงดันอิมพัลส์ได้ประมาณ 305 kV และลูกถ้วยไฟฟ้าจะถูกแทนด้วยสวิตช์ (Time-Controlled Switch)



รูปที่ 7 แบบจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้าสำหรับการวิเคราะห์

4. การวิเคราะห์แรงดันเกินฟ้าผ่าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

กรณีศึกษาระบบจำหน่ายในเขตจังหวัดฉะเชิงเทรา

ระบบจำหน่ายไฟฟ้า 3 เฟส 22 กิโลโวลต์ ที่พาดด้วยสายอะลูมิเนียมหุ้มฉนวนแบบไม่เต็มพิกัด ขนาด 185 ตร.มม. และมีความต้านทานสายดินเป็น 60 โอห์ม เท่ากันทุกต้น เมื่อเกิดเสิร์จฟ้าผ่าโดยตรง (Direct Stroke) ที่มีขนาดของกระแสฟ้าผ่าเฉลี่ยในเขตจังหวัดฉะเชิงเทราเท่ากับ 24 กิโลแอมป์ ลงที่ยอดเสาตั้งในรูปที่ 7 จะทำให้เกิดผลกระทบต่าง ๆ ต่อระบบจำหน่าย ซึ่งจากผลการวิเคราะห์สรุปได้ดังนี้

4.1 ผลของความชันหน้าคลื่นกระแสฟ้าผ่าต่อแรงดันเกินฟ้าผ่า

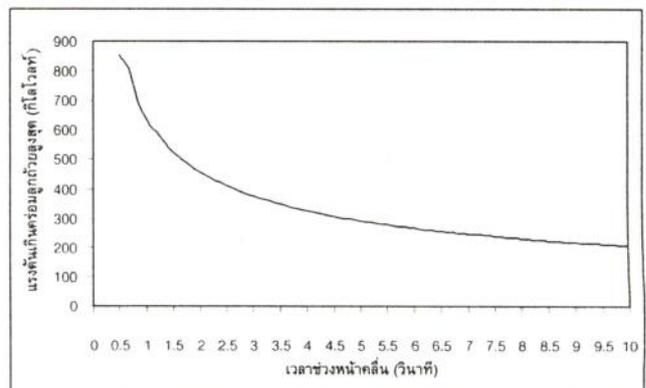
พารามิเตอร์ของฟ้าผ่าที่สำคัญที่มีผลต่อแรงดันเกินฟ้าผ่าคือ ความชันหน้าคลื่นกระแสฟ้าผ่า ซึ่งขึ้นอยู่กับลักษณะรูปคลื่นกระแสฟ้าผ่า ประกอบด้วยขนาดกระแสฟ้าผ่าและเวลาช่วงหน้าคลื่น โดยแรงดันเกินฟ้าผ่าจะแปรผันตามขนาดกระแสฟ้าผ่าในลักษณะเชิงเส้น แต่จะแปรผกผันกับเวลาช่วงหน้าคลื่น ดังแสดงในรูปที่ 8

4.2 ผลของแรงดันเกินฟ้าผ่าจากเสาไฟฟ้าต้นข้างเคียง

จำนวนของเสาไฟฟ้าที่อยู่ข้างเคียงกับตำแหน่งที่เกิดเสิร์จฟ้าผ่าจะมีผลต่อการลดแรงดันเกินฟ้าผ่า ดังแสดงในตารางที่ 4 จะเห็นว่าเมื่อจำนวนเสาไฟฟ้าเป็น 11 ต้น แรงดันเกินฟ้าผ่าจะเริ่มคงที่และจะไม่เปลี่ยนแปลงตามจำนวนเสาไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นการสร้างแบบจำลองระบบจำหน่ายไฟฟ้าสามารถแทนได้ด้วยเสาไฟฟ้าจำนวน 11 ต้น

4.3 ผลของแรงดันเกินฟ้าผ่าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

เมื่อเกิดเสิร์จฟ้าผ่าที่ตำแหน่งเสาไฟฟ้าที่ 12 บนสายเฟส C จะทำให้เกิดแรงดันเกินฟ้าผ่าสูงสุด ดังแสดงในตารางที่ 5 ซึ่งแรงดันเกินฟ้าผ่าที่ตำแหน่งเสาไฟฟ้าต่าง ๆ มีค่าสูงมาก และมีลักษณะรูปคลื่นดังรูปที่ 9



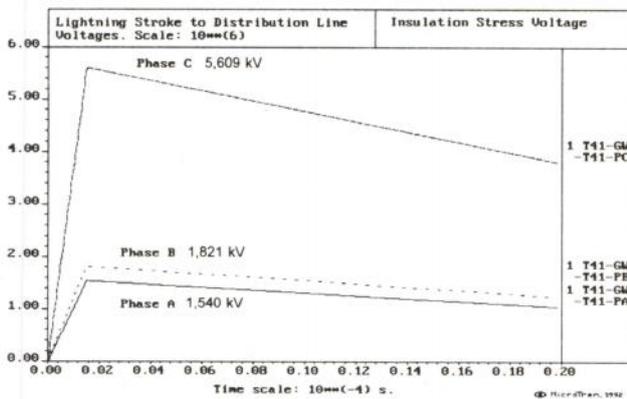
รูปที่ 8 ผลของแรงดันเกินฟ้าผ่าต่อเวลาช่วงหน้าคลื่นฟ้าผ่า

ตารางที่ 4 ขนาดแรงดันเกินฟ้าผ่าจากผลกระทบของเสาไฟฟ้าต้นข้างเคียง

จำนวนเสา (ต้น)	แรงดันเกินคร่อมลูกถ้วย (kV)	แรงดันเกินที่สายหุ้มฉนวน (kV)		
		เฟส A	เฟส B	เฟส C
1	1,359.75	342.64	364.61	348.99
3	578.82	194.99	207.50	198.60
5	531.88	179.18	190.67	182.50
7	524.35	176.64	187.97	179.91
9	526.13	177.24	188.61	180.52
11	526.45	177.35	188.72	180.63
13	526.43	177.35	188.72	180.63
15	526.43	177.35	188.72	180.63
17	526.43	177.35	188.72	180.63
19	526.43	177.35	188.72	180.63
21	526.43	177.35	188.72	180.63
23	526.43	177.35	188.72	180.63

ตารางที่ 5 แรงดันเกินฟ้าผ่าสูงสุดเมื่อเกิดเสิร์จฟ้าผ่าลงที่สายเฟส C

ตำแหน่ง เสาไฟฟ้าที่	แรงดันเกินคร่อมลูกถ้วย (kV)		
	เฟส A	เฟส B	เฟส C
12	1,540.08	1,821.24	5,609.08
11, 13	2,232.00	2,153.20	5,580.09
10, 14	2,923.91	2,485.17	5,551.10
9, 15	3,269.27	2,651.86	5,522.11
8, 16	3,268.07	2,653.27	5,493.11
7, 17	3,266.87	2,654.69	5,464.12
6, 18	3,265.68	2,656.11	5,435.13



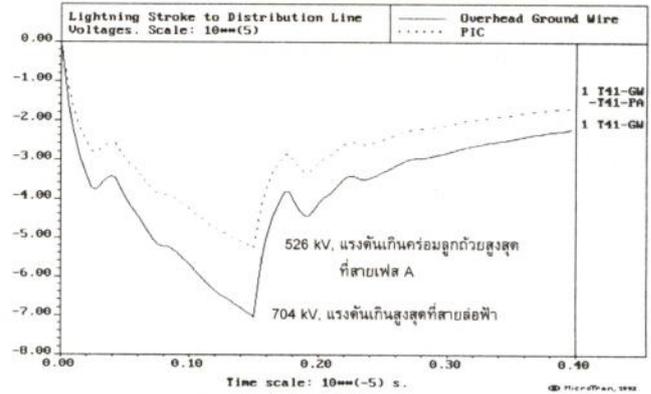
รูปที่ 9 รูปคลื่นแรงดันเกินฟ้าผ่าในระบบจำหน่ายไฟฟ้า 3 เฟส

4.4 ผลของแรงดันเกินฟ้าผ่าต่อการติดตั้งสายล่อฟ้า

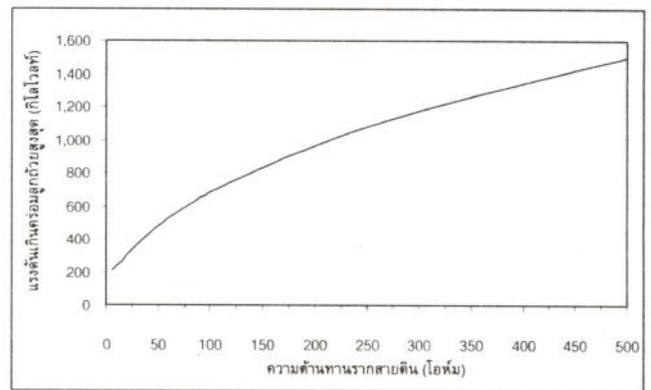
การติดตั้งสายล่อฟ้า ขนาด 25 ตร.มม. ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า สามารถลดขนาดแรงดันเกินลงได้ ดังแสดงในตารางที่ 6 แต่ในตำแหน่งเสาไฟฟ้าที่ 12 แรงดันเกินบนสายเฟสยังคงมีค่าเกินกว่าแรงดันวาบไฟตามผิววิกฤติ (Critical Flashover Voltage) ของระบบอยู่ ซึ่งมีค่าประมาณ 305 กิโลโวลต์ และมีลักษณะรูปคลื่นแรงดันเกินดังรูปที่ 10

ตารางที่ 6 แรงดันเกินฟ้าผ่าสูงสุดเมื่อติดตั้งสายล่อฟ้า

ตำแหน่ง เสาไฟฟ้าที่	แรงดันเกิน ที่สายล่อฟ้า (kV)	แรงดันเกินคร่อมลูกถ้วย (kV)		
		เฟส A	เฟส B	เฟส C
12	703.78	526.43	515.06	523.15
11, 13	330.68	247.35	242.01	245.81
10, 14	165.54	123.82	121.15	123.05
9, 15	100.28	75.00	73.39	74.54
8, 16	57.75	43.20	42.26	42.93
7, 17	30.54	22.85	22.35	22.70
6, 18	15.99	11.96	11.70	11.89



รูปที่ 10 รูปคลื่นแรงดันเกินฟ้าผ่าที่สายล่อฟ้าและคร่อมลูกถ้วยเฟส A



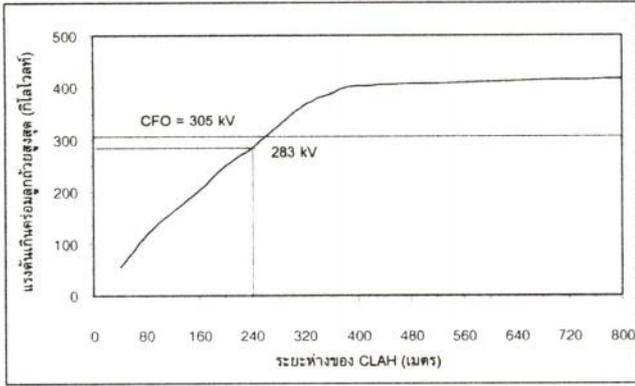
รูปที่ 11 ผลของแรงดันเกินฟ้าผ่าต่อความต้านทานรากสายดิน

4.5 ผลของแรงดันเกินฟ้าผ่าต่อความต้านทานรากสายดิน

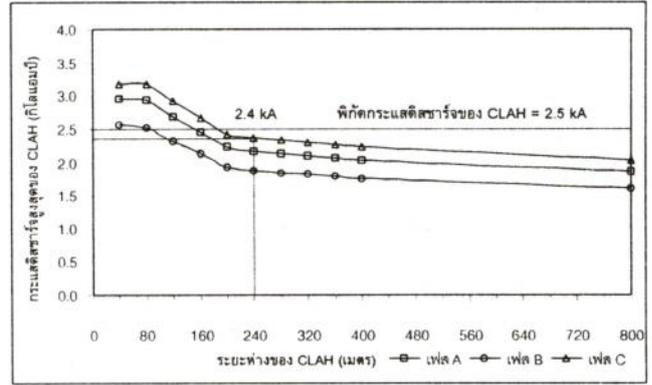
เมื่อลดค่าความต้านทานรากสายดินของเสาจาก 60 โอห์ม เป็น 30 โอห์ม หรือลดลงครึ่งหนึ่ง ขนาดแรงดันเกินคร่อมลูกถ้วยจะลดลง ดังแสดงในตารางที่ 7 ซึ่งสามารถลดขนาดแรงดันเกินสูงสุดได้คิดเป็นประมาณ 30% และเมื่อความต้านทานรากสายดินมีค่าเพิ่มขึ้น ขนาดแรงดันเกินก็จะยิ่งสูงขึ้น ดังในรูปที่ 11

ตารางที่ 7 แรงดันเกินฟ้าผ่าสูงสุดเมื่อลดค่าความต้านทานรากสายดิน

ตำแหน่ง เสาไฟฟ้าที่	แรงดันเกิน ที่สายล่อฟ้า (kV)	แรงดันเกินคร่อมลูกถ้วย (kV)		
		เฟส A	เฟส B	เฟส C
12	492.96	368.74	360.78	366.44
11, 13	186.88	139.79	136.77	138.92
10, 14	86.95	65.04	63.63	64.63
9, 15	44.61	33.37	32.65	33.16
8, 16	31.81	22.80	23.28	23.65
7, 17	22.65	16.94	16.58	16.84
6, 18	16.26	12.16	11.90	12.09



รูปที่ 12 ผลของแรงดันเกินฟ้าผ่าต่อการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าที่ระยะต่าง ๆ

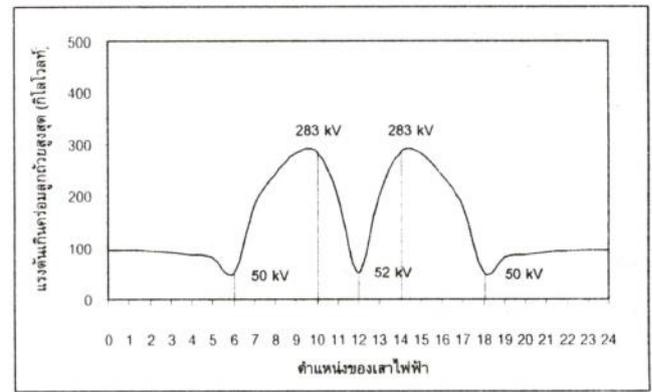


รูปที่ 13 กระแสดีสชาร์จของกับดักฟ้าผ่าที่ระยะต่าง ๆ

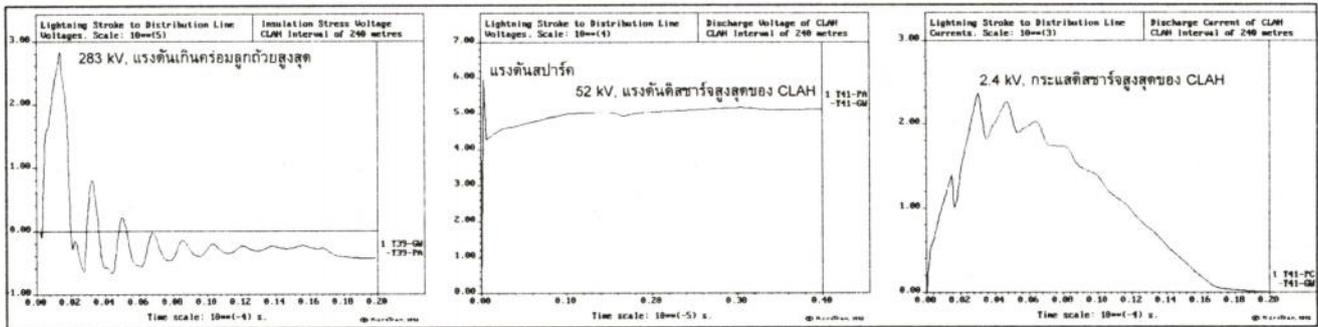
เสิร์จพิทม่า

ตำแหน่งเสาไฟ	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		
แรงดันคร่อม ลูกถ้วยสูงสุด (kV)	86	50	241	283	52	283	241	50	86	93	95	เฟส A											
กระแสดีสชาร์จสูงสุด ของ CLAH (kA)	0.97	0.84	1.9	0.84	2.2	0.84	1.9	0.97	N.S.	เฟส A													
N.S. - Not Sparkover	1.05		2.4	1.05																			

รูปที่ 14 แรงดันเกินและกระแสดีสชาร์จของกับดักฟ้าผ่าที่ระยะ 240 ม.



รูปที่ 15 ผลของแรงดันเกินฟ้าผ่าต่อการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าที่ระยะ 240 ม.



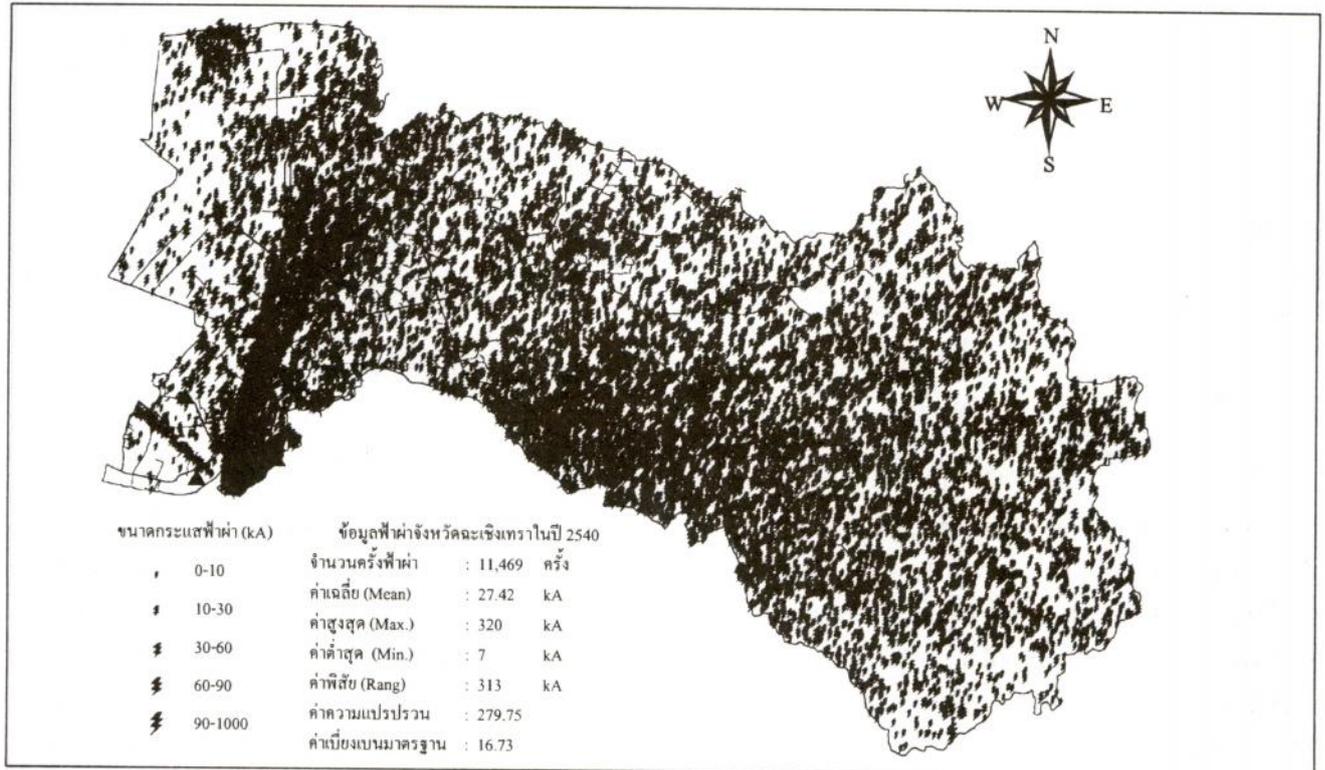
รูปที่ 16 รูปคลื่นแรงดันเกินฟ้าผ่าสูงสุด แรงดันดีสชาร์จและกระแสดีสชาร์จของกับดักฟ้าผ่าเมื่อติดตั้งทุก ๆ ระยะ 240 เมตร

4.6 ผลของแรงดันเกินฟ้าผ่าต่อการติดตั้งกับดักฟ้าผ่า

การติดตั้งกับดักฟ้าผ่าที่ระยะต่าง ๆ กันจะมีผลต่อแรงดันเกินที่เกิดขึ้นและกระแสดีสชาร์จ ดังกราฟในรูปที่ 12 และ 13 สำหรับระยะที่เหมาะสมนั้น จะขึ้นอยู่กับความคงทนต่อแรงดัน (Insulation Stress) ของฉนวนลูกถ้วยกับสายหุ้มฉนวนแบบไม่เต็มพิกัด จากผลการวิเคราะห์พบว่า การติดตั้งกับดักฟ้าผ่าทุก ๆ ระยะ 240 เมตร เหมาะสมต่อการป้องกันแรงดันเกินฟ้าผ่าในระบบจำหน่ายที่มีค่าความต้านทานรากลสายดินไม่เกิน 60 โอห์ม ซึ่งสามารถแสดงแรงดันเกินที่จุดต่าง ๆ และรูปคลื่นได้ดังรูปที่ 14-16 โดยจะช่วยลดการเกิดวาทไฟตามผิวลูกถ้วยได้ 73% ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ระยะห่างในการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าและเปอร์เซ็นต์การป้องกัน

ช่วงของการติดตั้ง CLAH	ระยะห่างของ CLAH	วาทไฟตามผิว (ครั้ง/100กม./ปี)	ผลการป้องกัน (%)
ทุก ๆ เสา	40	0	100
ทุก ๆ 2 เสา	80	0.19	99
ทุก ๆ 4 เสา	160	1.45	91
ทุก ๆ 6 เสา	240	4.06	73
ทุก ๆ 8 เสา	320	7.80	49
ไม่ติดตั้ง	-	15.27	0



รูปที่ 17 ข้อมูลตำแหน่งฟ้าผ่าในเขตจังหวัดฉะเชิงเทรา

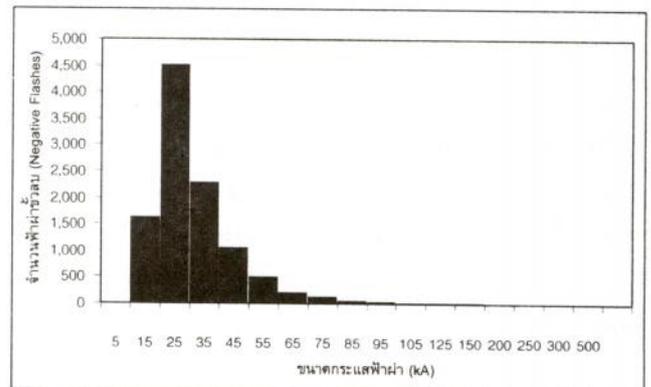
5. การคำนวณหาอัตราการเกิดวาบไฟตามผิว (Backflashover)

เมื่อเกิดฟ้าผ่าลงบนสายล่อฟ้า หากความต้านทานรากสายดินมีค่าสูงจะทำให้แรงดันเกินคกรวมถูกด้วยสูงกว่าแรงดันวาบไฟตามผิววิกฤติ (CFO) ทำให้เกิดการวาบไฟตามผิวล่อฟ้าจากกราวด์หรือสายล่อฟ้าไปยังสายเฟส ซึ่งเรียกว่า การวาบไฟตามผิวย้อนกลับ (Back flashover) และอาจเป็นผลทำให้สายหุ้มฉนวนแบบไม่เต็มพิกัดชำรุดหรือกระแสไฟฟ้าขัดข้องได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับความรุนแรงของกระแสฟ้าผ่าและสามารถคำนวณหาจำนวนครั้งที่ฟ้าผ่าลงบนระบบจำหน่ายได้ดังนี้ [3]

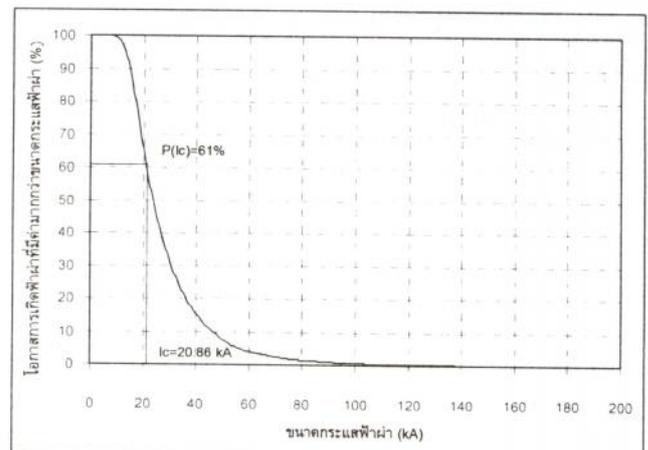
$$N_L = N_g(28h^{0.6} + b) / 10 \quad (2)$$

- โดยที่
- N_g = ความหนาแน่นของฟ้าผ่า (จำนวนครั้ง/ตร.กม./ปี)
 - h = ความสูงของสายล่อฟ้า (เมตร)
 - b = ระยะห่างระหว่างสายล่อฟ้าหรือสายเฟส (เมตร)

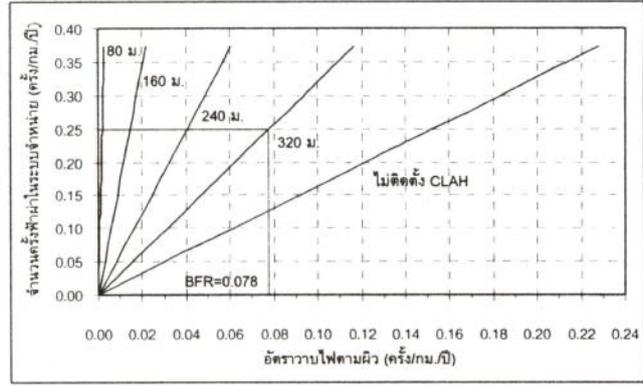
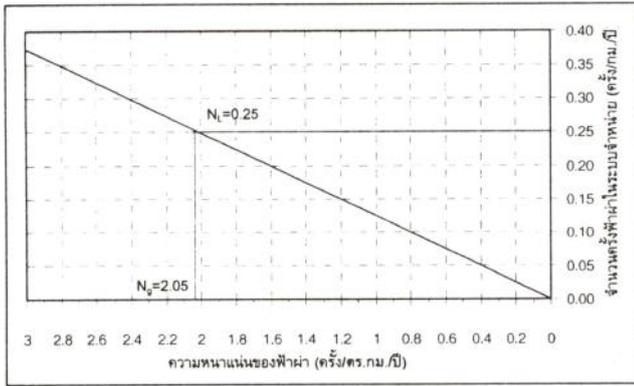
การหาความหนาแน่นของฟ้าผ่า (N_g) ในเขตจังหวัดฉะเชิงเทรา ซึ่งมีพื้นที่ 5,388.16 ตร.กม. สามารถหาได้จากรูปที่ 17 ซึ่งเป็นข้อมูลตำแหน่งการเกิดฟ้าผ่าในปี 2540 โดยมีจำนวนครั้งฟ้าผ่า 11,469 ครั้ง และมีความรุนแรงของกระแสฟ้าผ่าดังแสดงในรูปที่ 18 เมื่อคิดจำนวนครั้งฟ้าผ่าเฉลี่ยทั้ง 2 ช่วงปี เท่ากับ 11,053 ครั้ง จะได้ความหนาแน่นของฟ้าผ่าในเขตจังหวัดฉะเชิงเทราเท่ากับ 2.05 ครั้ง/ตร.กม./ปี แทนค่าในสมการที่ 2 จะได้จำนวนครั้งฟ้าผ่าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าเป็น 25 ครั้ง/100กม./ปี หรือ 0.25 ครั้ง/กม./ปี



รูปที่ 18 การกระจายกระแสฟ้าผ่าลงบนเขตจังหวัดฉะเชิงเทรา



รูปที่ 19 เปอร์เซนต์การกระจายขนาดกระแสฟ้าผ่าในเขต จ. ฉะเชิงเทรา



รูปที่ 20 กราฟแสดงอัตราการวางไฟตามผิวต่อระยะห่างระหว่างกับดักฟ้าผ่า

จำนวนครั้งฟ้าผ่าที่คำนวณได้จะมีขนาดความรุนแรงของกระแสฟ้าผ่าไม่เท่ากัน ซึ่งสามารถคำนวณหาค่ากระแสวิกฤติ (Critical Current) ที่ทำให้เกิดการวางไฟตามผิวได้จากค่า CFO_{NS} (Non-Standard CFO) ของลูกถ้วยและสายหุ้มฉนวนแบบไม่เติมพิกัด ซึ่งจะแตกต่างจากค่า CFO ที่ได้จากรูปคลื่นอิมพัลส์มาตรฐาน 1.2/50 μs และตามมาตรฐานของ IEEE [3] จะประมาณค่าเป็น 1.5 เท่าของ CFO จากผลการวิเคราะห์แรงดันเกินฟ้าผ่าในตารางที่ 6 กรณีติดตั้งเฉพาะสายล่อฟ้า จะได้ค่ากระแสวิกฤติ (I_c) ที่ทำให้เกิดการวางไฟตามผิว ($24/526.43 \times 1.5 \times 305$) เท่ากับ 20.86 กิโลแอมป์ จากกราฟในรูปที่ 19 กระแสฟ้าผ่าขนาดเท่ากับและมากกว่า 20.86 กิโลแอมป์ มีโอกาสเกิดขึ้น 61% ดังนั้นอัตราการเกิดวางไฟตามผิวย้อนกลับ (BFR) สามารถประมาณได้จากผลคูณของจำนวนครั้งฟ้าผ่ากับความน่าจะเป็นของกระแสวิกฤติ ซึ่งจะได้เท่ากับ 15.27 ครั้ง/100กม./ปี หรือ 0.15 ครั้ง/กม./ปี และเมื่อลดค่าความต้านทานรากสายดินลงเป็น 30 โอห์ม อัตราการเกิดวางไฟตามผิวจะลดลงเป็น 7.78 ครั้ง/100กม./ปี หรือ 0.078 ครั้ง/กม./ปี ซึ่งลดลงจากเดิมประมาณ 50% และจากกราฟในรูปที่ 20 เมื่อหาอัตราการวางไฟตามผิวจากการติดตั้งกับดักฟ้าผ่า (CLAH) ระยะ 320 เมตร ที่ความหนาแน่นของฟ้าผ่า 2.05 ครั้ง/ตร.กม./ปี จะได้จำนวนครั้งที่ฟ้าผ่าลงในระบบจำหน่ายเป็น 0.25 ครั้ง/กม./ปี อ่านค่าจากจุดตัดของกราฟทางด้านขวาที่ติดตั้งกับดักฟ้าผ่าระยะ 320 เมตร จะได้อัตราการวางไฟตามผิวเป็น 0.078 ครั้ง/กม./ปี เช่นกัน ดังนั้นการลดค่าความต้านทานรากสายดินจากเดิมครั้งหนึ่ง จะมีผลการป้องกัน (Protective effect) เท่ากับการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าที่ระยะห่าง 320 เมตร นั่นคืออินชอมที่จะให้ระบบจำหน่ายที่มีความยาว 10 กม. เกิดการวางไฟตามผิวที่ทำให้สายหุ้มฉนวนแบบไม่เติมพิกัดชำรุดทุก ๆ 1 ปี 3 เดือน

6. สรุป

การศึกษาผลกระทบของฟ้าผ่าต่อการป้องกันแรงดันเกินฟ้าผ่าในระบบจำหน่ายไฟฟ้าจากการศึกษา ได้แสดงการวิเคราะห์เพื่อให้เห็นถึงความรุนแรงของแรงดันเกินฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นในระบบจำหน่าย และผลของแรงดันเกินฟ้าผ่าต่อพารามิเตอร์ต่าง ๆ โดยเฉพาะค่าความต้านทาน

รากสายดิน ซึ่งมีผลต่อแรงดันเกินฟ้าผ่ามากควรจะต้องให้มีค่าต่ำสุด ผลจากการวิเคราะห์พบว่าเมื่อลดความต้านทานรากสายดินลงครั้งหนึ่งจะมีผลการป้องกันเท่ากับการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าที่ทุก ๆ ระยะ 320 เมตร โดยสามารถลดแรงดันเกินสูงสุดคร่อมลูกถ้วยและลดอัตราการเกิดวางไฟตามผิวได้ประมาณ 30% และ 50% ตามลำดับ และเมื่อเกิดเสร็จฟ้าผ่าที่เสาต้นที่ติดตั้งกับดักฟ้าผ่า ระยะห่างในการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าจะมีผลต่อแรงดันเกินสูงสุดที่ตำแหน่งกลางระบบจำหน่ายระหว่างกับดักฟ้าผ่ามากกว่าแรงดันเกินที่จุดอื่นๆ ซึ่งระยะห่างที่เหมาะสมจะเป็น 240 เมตร และยังมีผลกระทบอื่น ๆ ที่เกิดจากฟ้าผ่าบริเวณข้างเคียงระบบจำหน่ายซึ่งจะได้นำเสนอในโอกาสต่อไป

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย กรมอุตุนิยมวิทยา และบริษัท สุมิโตโม คอร์ปอเรชั่น ประเทศไทย จำกัด ที่ได้ให้การสนับสนุนข้อมูล ทำให้บทความนี้สำเร็จลงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] ชัยฉูพงศ์ สัจจะวัฒนวิมล, "โปรแกรม EMTP", วารสารไฟฟ้าและอุตสาหกรรม, สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 5, (กันยายน 2541) : 64-67.
- [2] ชัยฉูพงศ์ สัจจะวัฒนวิมล, "ครั้งแรกกับการใช้ข้อมูลฟ้าผ่าภายในประเทศในกิจการของ กฟภ.", วารสารสายใจไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (ตุลาคม 2541) : 14-21.
- [3] IEEE Std 1410-1997, "IEEE Guide for Improving the Lightning Performance of Electric Power Overhead Distribution Lines.", New York : USA., 1997.
- [4] Diesendorf, W., Insulation Co-ordination in High Voltage Electric Power Systems. Butterworths, London, 1994
- [5] Hileman, A.R., "Insulation Coordination", The Pennsylvania State University, July, 1995