

การปรับปรุงสมรรถนะระบบป้องกันฟ้าผ่าในระบบจำหน่าย 22 kV

Lightning Performance Improvement of 22 kV Distribution Lines

นัตทยา คล้ายเรือง¹ วิชชุดา โสโพธิ์¹ และพิศาล เด่นสูงเนิน¹

Nattaya Klairuang¹, Witchuda Sopho¹, and Pisarn Densungnern¹

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการวิเคราะห์หาสมรรถนะระบบป้องกันฟ้าผ่าในระบบจำหน่าย 22 kV ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยศึกษาจากรูปแบบการจัดวางสาย 4 รูปแบบ เพื่อนำมาคำนวณหาดัชนีแสดงสมรรถนะระบบป้องกันฟ้าผ่า การวิเคราะห์ทำได้โดยการจำลองระบบด้วยโปรแกรม ATPDraw เพื่อหาค่ายอดกระแสฟ้าผ่าวิกฤตแล้วนำค่ากระแสที่ได้มาใช้ในการคำนวณหาโอกาสในการเกิดฟ้าผ่า ค่าดัชนีแสดงสมรรถนะระบบป้องกันฟ้าผ่าหาได้จากโอกาสในการเกิดฟ้าผ่าและความหนาแน่นในการเกิดฟ้าผ่าลงสายจำหน่าย จากนั้นทำการปรับปรุงสมรรถนะระบบป้องกันฟ้าผ่า โดยเลือกระบบจำหน่ายที่ใช้สายหุ้มฉนวนไม่เต็มพิกัด(PIC) ขนาดสาย 185 ตารางมิลลิเมตร วางบน Allay arm วิธีการปรับปรุงประกอบด้วย การเพิ่มระดับการฉนวน การลดความต้านทานการต่อลงดินที่ฐานเสา การเพิ่มจำนวนสายดินเพื่อลดมุมป้องกัน การติดตั้งกับดักฟ้าผ่าที่เฟสบนสุด และการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าที่เฟสนอกสุด จากผลการวิเคราะห์ พบว่าการปรับปรุงโดยการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าที่เฟสนอกสุดช่วยลดอัตราการเกิดวาทไฟตามผิวได้มากกว่าการปรับปรุงวิธีอื่น

ABSTRACT

This paper was an analysis of a lightning performance of Provincial Electricity Authority (PEA) 22 kV distribution system. Considered on four types of line configuration for calculate the lightning performance indices of protection system. Simulations on ATPDraw program were applied to assessment critical lightning peak current, this peak current was used to calculate the probability of strike. Lightning performance indices of lightning protection system were determined from probability of lightning current and density of lightning strike on distribution line. Improvement on lightning protection system could apply on 185 mm² partial insulated cable (PIC) line on allay arm. Improved method include with increasing insulation level, decreasing grounding system resistance, additional number of ground wire installation and surge arrester installation on top phase and outer phase. As the result, surge arrester installation on outer phase was the best pattern to reduce flashover rate of the system.

คำสำคัญ : สมรรถนะระบบป้องกันฟ้าผ่า, อัตราการเกิดวาทไฟเมื่อมุมป้องกันล้มเหลว, อัตราการเกิดวาทไฟย้อนกลับ

Key words: lightning performance, shielding failure flashover rate, back flashover rate.

N. Klairuang: ESRCNYK@ku.ac.th

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University Sriracha Campus

คำนำ

ในปัจจุบันการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้ให้บริการผู้ใช้ไฟในภาคธุรกิจและอุตสาหกรรมด้วยระบบจำหน่าย 22 kV จำนวนมากขึ้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องออกแบบระบบจำหน่ายให้มีความน่าเชื่อถือหรือทำให้เกิดไฟดับน้อยที่สุด เพื่อให้ผู้ใช้ไฟฟ้าพอใจกับประสิทธิภาพของระบบจำหน่ายว่าจะไม่ทำให้เกิดความเสียหายกับภาคธุรกิจและอุตสาหกรรมหรือเกิดความเสียหายน้อยที่สุด สาเหตุการเกิดไฟดับมีได้หลายสาเหตุ ซึ่งการเกิดฟ้าผ่าเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดไฟดับได้บ่อยครั้ง บทความนี้จึงเป็นการศึกษาสมรรถนะระบบป้องกันฟ้าผ่าและวิเคราะห์หาอัตราการเกิดไฟดับเนื่องจากฟ้าผ่า เพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิงในการเลือกวิธีการปรับปรุงระบบป้องกันฟ้าผ่าที่เหมาะสมสำหรับระบบจำหน่าย 22 kV

การเกิดแรงดันเกินเนื่องจากฟ้าผ่าสามารถแยกได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้ (IEEE Standard 1410, 2004)

- การเกิดฟ้าผ่าโดยตรงที่สายจำหน่าย ทำให้เกิดแรงดันเกินฟ้าผ่าสูงเกินกว่าความคงทนต่อแรงดันของฉนวน มีผลทำให้เกิดวาบไฟที่ฉนวน เรียกว่าการเกิดวาบไฟในลักษณะนี้ว่า "shielding failure flashover" ซึ่งการเกิดฟ้าผ่าในลักษณะนี้มักส่งผลให้เกิดความเสียหายแก่สายจำหน่าย

- การเกิดฟ้าผ่าโดยตรงที่สายดิน (Overhead ground wire) โดยปกติสายดินมีหน้าที่ป้องกันไม่ให้เกิดฟ้าผ่าลงสายตัวนำโดยตรง ดังนั้นหากเกิดฟ้าผ่าลงสายดินแล้วฐานเสาไม้ค่าความต้านทานดินสูงจะทำให้แรงดันเกินฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นที่สายดินมีค่าสูง ความแตกต่างของแรงดันระหว่างสายเฟสและสายดินจึงมีค่าสูงด้วย ถ้าความแตกต่างของแรงดันนี้สูงกว่าความคงทนต่อแรงดันที่ฉนวนสามารถทนได้ จะเกิดวาบไฟที่ฉนวน ซึ่งการเกิดวาบไฟในลักษณะนี้เรียกว่า "back flashover"

- การเกิดฟ้าผ่าบริเวณใกล้เคียงกับระบบจำหน่าย จะเกิดการเหนี่ยวนำทำให้เกิดแรงดันเกินเหนี่ยวนำที่สายดินและสายเฟส ถ้าความแตกต่างของแรงดันเหนี่ยวนำในสายทั้งสองนี้สูงกว่าความคงทนต่อแรงดันที่ฉนวนทนได้ ก็เกิดวาบไฟที่ฉนวน แต่การเกิดแรงดันเกินในกรณีนี้ 3 นี้มักต่ำกว่า 2 กรณีแรก ดังนั้นการวิเคราะห์การเกิดวาบไฟซึ่งทำให้เกิดไฟดับจึงพิจารณาการเกิดฟ้าผ่าเฉพาะ 2 กรณีแรกเท่านั้น

วิธีการ

1. สถิติการเกิดฟ้าผ่า

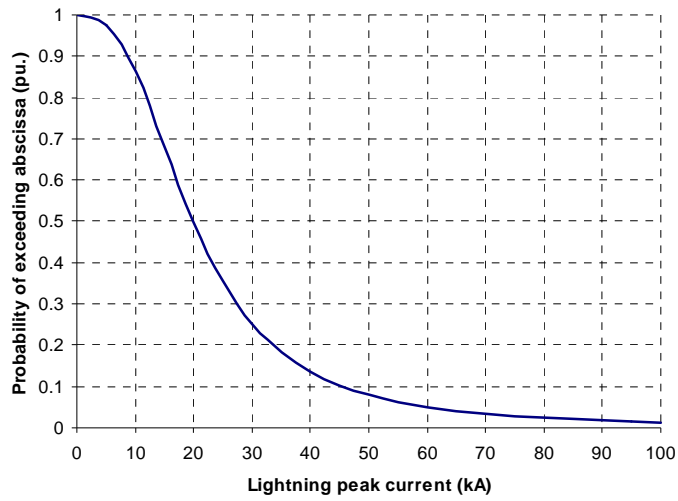
ประเทศไทยเป็นประเทศในเขตร้อนชื้น ที่มีอัตราการเกิดฟ้าผ่าสูง ค่ากระแสฟ้าผ่าเฉลี่ยในประเทศไทยมีค่าประมาณ 20 กิโลแอมป์ สำหรับฟ้าผ่าลบ ซึ่งข้อมูลสถิติการเกิดฟ้าผ่าในประเทศไทยได้มาจากระบบ LLS (Lightning Location System) ปี พ.ศ. 2550 รวบรวมข้อมูลโดยการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย จากข้อมูลสถิติการเกิดฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นในประเทศไทยสามารถเขียนเป็นสมการและรูปกราฟการกระจายสะสมของกระแสฟ้าผ่าค่ายอดต่างๆ ได้ดังสมการที่ (1) และรูปที่ 1

$$P(I > I_p) = \frac{1}{1 + \left(\frac{I_p}{I_{50}}\right)^{2.68}} \quad (1)$$

I_p คือ ค่ายอดกระแสฟ้าผ่า (กิโลแอมป์)

I_{50} คือ ค่ากระแสฟ้าผ่าเฉลี่ยในประเทศไทยมีค่าเท่ากับ 20 กิโลแอมป์

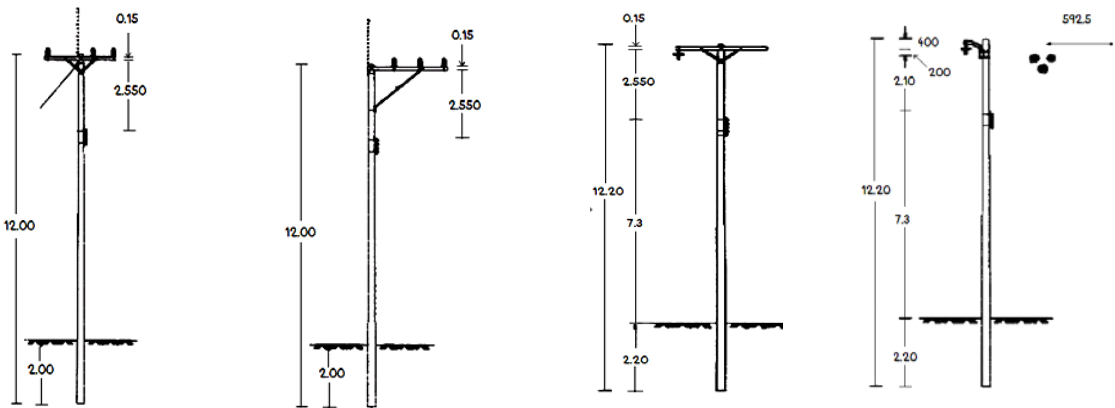
$P(I > I_p)$ คือ โอกาสที่จะเกิดฟ้าผ่าที่มีค่ายอดกระแสฟ้าผ่าสูงกว่า I_p



รูปที่ 1 การกระจายแบบสะสมของค่ายอดกระแสฟ้าผ่าในประเทศไทย ข้อมูลจากระบบ LLS ในปี พ.ศ.2550

2. รูปแบบการจัดวางสาย

รูปแบบการจัดวางสายจำหน่ายในระบบ 22 kV มีหลายรูปแบบ โดยบทความนี้ได้เลือกรูปแบบที่พบได้บ่อยจำนวน 4 รูปแบบ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ แสดงในรูปที่ 2



สาย PIC วางบน cross arm

สาย PIC วางบน alloy arm

สาย SAC วางบน ไม้คอน

สาย SAC วางบน เหล็กฉาก

อ้างอิงจากคู่มือมาตรฐานการก่อสร้างระบบจำหน่าย 22 kV การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

รูปที่ 2 รูปแบบการจัดวางสายในระบบจำหน่าย 22 KV ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

3. อัตราการเกิดวบไฟเนื่องจากแรงดันเกินฟ้าผ่า

เมื่อเกิดฟ้าผ่าลงสายส่งเหนือดินหากแรงดันเกินเนื่องจากฟ้าผ่า ทำให้แรงดันคร่อมฉนวนลูกถ้วยมีค่าสูงกว่าค่าแรงดันที่ฉนวนลูกถ้วยสามารถทนได้ก็จะเกิดวบไฟตามฉนวน ดังนั้นการวิเคราะห์หาแรงดันเกินฟ้าผ่า

กรณีฟ้าผ่าที่ตำแหน่งต่างๆ เป็นตัวแปรสำคัญที่จะนำไปหาอัตราการเกิดไฟดับเนื่องจากฟ้าผ่าได้ ซึ่งการเกิดไฟดับเนื่องจากฟ้าผ่าเกิดได้ในลักษณะต่างๆ ดังนี้

3.1 ฟ้าผ่าลงสายดินป้องกัน

การออกแบบขบวนในระบบสายส่งเหนือดินนั้นออกแบบสำหรับรับแรงดันที่เกิดขึ้นกรณีฟ้าผ่าลงสายดินป้องกัน ดังนั้นหากกระแสฟ้าผ่าสูงมากจนทำให้แรงดันเกินคร่อมขบวนลูกถ้วยสูงกว่าระดับการขบวนตามมาตรฐานกำหนด ก็จะทำให้เกิดวาบไฟตามผิวย้อนกลับ ซึ่งการวิเคราะห์หาค่ากระแสฟ้าผ่าสูงสุดที่ขบวนลูกถ้วยทนได้หรือทำให้แรงดันเกินคร่อมขบวนมีค่าเท่ากับค่าวาบไฟตามผิว (Critical flashover rate) ในการหาค่ากระแสวิกฤตนี้จะใช้โปรแกรม ATPDraw ช่วยในการวิเคราะห์ อัตราการเกิดวาบไฟย้อนกลับ (Back flashover rate BFR) หาได้จากใช้ค่ากระแสฟ้าผ่าวิกฤตนี้ร่วมกับโอกาสที่จะเกิดฟ้าผ่า คือ

$$BFR = N_l(P(I > I_p)) \quad (2)$$

$$N_l = N_g \frac{28h^{0.6}}{10} \quad (3)$$

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

เมื่อ

N_l คือ จำนวนครั้งที่ฟ้าผ่าลงสาย (ครั้ง/100 กิโลเมตร/ปี) (IEEE Standard 1243, 1997)

h คือ ความสูงเสา (เมตร)

N_g คือ จำนวนครั้งที่ฟ้าผ่าลงพื้นดิน (ครั้ง/ตารางกิโลเมตร/ปี)(IEEE Standard 1243, 1997)

Td คือ จำนวนวันที่เกิดฝนฟ้าคะนอง (วัน/ปี)

3.2 ฟ้าผ่าลงสายตัวนำ

ระบบสายส่งเหนือดินจะมีการป้องกันฟ้าผ่าโดยตรงลงสายตัวนำด้วยสายดิน แต่เมื่อกระแสฟ้าผ่ามีค่าสูงกว่าค่ากระแสฟ้าผ่าสูงสุดที่สายดินป้องกันได้ ก็จะทำให้ฟ้าผ่าลงสายตัวนำ การหาอัตราการเกิดวาบไฟตามผิวเมื่อมุมป้องกันล้มเหลว หาได้จากกระแสฟ้าผ่าสูงสุดที่สายดินสามารถป้องกันได้ และกระแสฟ้าผ่าวิกฤตที่ทำให้เกิดวาบไฟซึ่งหาได้โดยใช้โปรแกรม ATPDraw

$$SFRR = N_l(P(I < I_c))(P(I > I_p)) \quad (5)$$

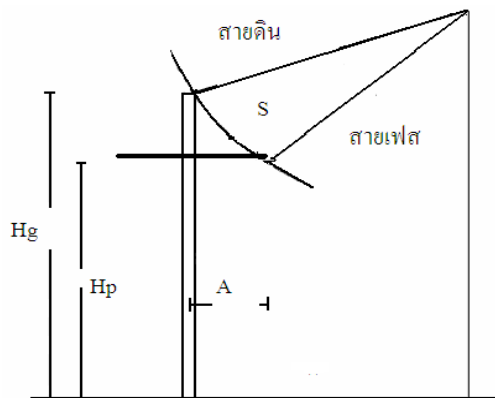
ค่ากระแสฟ้าผ่าสูงสุดที่สายดินป้องกันได้ (I_c) หาได้โดยพิจารณาจากโครงสร้างเสาและการจัดวางสาย ดังรูปที่ 3 โดยที่ระยะฟ้าผ่าหาได้จาก

$$S = \frac{1}{2} \left[H_G + H_P + \frac{A(2W - A)}{H_G - H_P} \right] \quad (6)$$

โดยที่

$$W = \frac{H_G A + \sqrt{H_G H_P (A^2 + (H_G - H_P)^2)}}{H_G - H_P} \quad (7)$$

- เมื่อ S คือ ระยะฟ้าผ่าวิกฤต (เมตร)
 H_G คือ ความสูงสายดิน (เมตร)
 H_P คือ ความสูงสายเฟส (เมตร)
 A คือ ระยะห่างแนวราบระหว่างสายดินและสายเฟส (เมตร)



รูปที่ 3 ระยะฟ้าผ่าวิกฤตที่สายดินป้องกันสายตัวนำได้ (Klairuang, N., 2003)

จากระยะฟ้าผ่าวิกฤตที่คำนวณได้จากโครงสร้างการจัดวางสาย นำไปคำนวณหากระแสฟ้าผ่าต่ำสุดที่สายดินสามารถป้องกันสายตัวนำจากฟ้าผ่าโดยตรงได้จากสมการต่างๆที่มีผู้นำเสนอไว้ แสดงในตารางที่ 1 โดยใช้ค่าจากสูตรที่ให้ค่ากระแสสูงสุดเพื่อหาโอกาสสูงสุดที่จะเกิดวาบไฟ โอกาสที่จะเกิดฟ้าผ่าที่มีค่ายอดกระแสฟ้าผ่าต่ำกว่าค่ากระแสที่คำนวณได้นี้คำนวณจากสมการที่ (8) โดยตัวแปรต่างๆเหมือนกับสมการที่ (1)

$$P(I < I_p) = 1 - \frac{1}{1 + \left(\frac{I_p}{I_{50}}\right)^{2.68}} \quad (8)$$

ตารางที่ 1 สมการความสัมพันธ์ระหว่างระยะฟ้าผ่าและกระแสฟ้าผ่า (R.Hileman, 1999)

ผู้นำเสนอ	สูตร
Whitehead	$S = 6.7I^{0.8}$
Brown-Whitehead	$S = 7.1I^{0.75}$
IEEE-1992	$S = 10I^{0.65}$
Wagner	$S = 14.2I^{0.424}$

เมื่อคำนวณหาค่า BFR และค่า SFFR แล้วนำมาหาผลรวมหรือค่าอัตราการเกิดวาทไฟเนื่องจากแรงดันเกินฟ้าผ่ารวม (Total flashover rate, TFR) นั้นเอง

4. การปรับปรุงสมรรถนะระบบป้องกันฟ้าผ่า

วิธีการปรับปรุงสมรรถนะระบบป้องกันฟ้าผ่าที่นำเสนอในบทความนี้มีทั้งหมด 5 วิธี คือ

1. การเพิ่มระดับการฉนวน ทำได้โดยเปลี่ยนไปใช้ลูกถ้วยชนิดที่มีค่าความคงทนสูงขึ้น ในบทความนี้เปลี่ยนจากลูกถ้วยก้านตรง แบบ 56-2 เป็นแบบ 57-2
2. การลดความต้านทานการต่อลงดินที่ฐานเสา ทำได้โดยการเพิ่มจำนวนแท่งหลักดิน หรือปรับปรุงให้ดินมีค่าความต้านทานจำเพาะต่ำลง จาก 5 โอห์ม เหลือ 2.5 โอห์ม
3. การติดตั้งสายดินเพิ่มเป็น 2 เส้น โดยเพิ่มเส้นที่ 2 ที่ด้านข้างของกลุ่มตัวนำ เพื่อเพิ่มการค้ำปลิงระหว่างสาย มีผลให้แรงดันคร่อมฉนวนลดลงได้
4. การติดตั้งกับดักฟ้าผ่าที่เฟสบนสุดหรือเฟสที่อยู่ใกล้สายดินมากที่สุด เป็นการช่วยลดแรงดันเกินฟ้าผ่าที่ติดตั้งที่เฟสบนสุดเพราะสามารถติดตั้งได้ง่ายกว่าการติดตั้งที่เฟสอื่นๆ โดยติดตั้งเหมือนกับใช้กับดักฟ้าผ่าเป็นลูกถ้วยสำหรับเฟสบนสุด (J.A. Martinez, 2007)
5. การติดตั้งกับดักฟ้าผ่าที่เฟสบนสุดหรือเฟสที่อยู่ห่างสายดินมากที่สุด เป็นการช่วยลดแรงดันเกินฟ้าผ่าสาเหตุที่ติดตั้งที่เฟสบนสุดเนื่องจากฉนวนที่รองรับสายตัวนำเฟสที่ไกลสายดินมากที่สุดจะได้รับแรงดันเกินฟ้าผ่าตกคร่อมสูงสุด และมีโอกาสถูกฟ้าผ่าได้มากกว่าเฟสอื่นๆ

ผลการทดลองและวิจารณ์

จากการโมเดลอุปกรณ์ต่างๆในระบบจำหน่าย 22 kV ด้วยโปรแกรม ATPDraw สามารถวิเคราะห์หาค่ากระแสฟ้าผ่าวิกฤตการณ์ที่เกิดฟ้าผ่าในตำแหน่งต่างๆกันได้ดังนี้

- ฟ้าผ่าลงสายดินป้องกัน(Overhead ground wire)

ค่ากระแสฟ้าผ่าวิกฤตที่พอดีทำให้เกิดวาทไฟที่ฉนวนมีค่าดังแสดงในตารางที่ 2 นำค่ากระแสนี้ไปหาโอกาสที่จะเกิดฟ้าผ่าที่มีค่ายอดกระแสสูงกว่าค่านี้โดยใช้สมการที่ (1) และคำนวณหาอัตราการเกิดวาทไฟย้อนกลับ (BFR) โดยสมการที่ (2) ได้ค่า ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 2 ค่ากระแสฟ้าผ่าวิกฤตที่ผ่าลงสายดินป้องกัน

รูปแบบการวางสาย	กระแสฟ้าผ่าวิกฤต(kA)
PIC วางบน allay arm	16.7
PIC วางบน cross arm	17.8
SAC วางบนไม้คอน	11.9
SAC วางบนเหล็กฉาก	12.0

- ฟ้าผ่าลงสายตัวนำ (Phase conductor)

ในส่วนนี้จะประกอบด้วยกระแสฟ้าผ่า 2 ส่วน คือค่ากระแสฟ้าผ่าวิกฤตที่สายดินพอดีป้องกันสายเฟสได้

ซึ่งวิเคราะห์จากโครงสร้างการจัดวางสาย ได้เป็นค่ากระแส I_C อีกส่วนคือกรณีที่สายดินไม่สามารถป้องกันสายเฟสได้ทำให้เกิดฟ้าผ่าลงสายเฟสตัวนำ ค่ากระแสที่พอดีทำให้เกิดวابلไฟตามผิวฉนวนกรณีฟ้าผ่าลงสายเฟสคือ I_P กระแส 2 ส่วนนี้มีค่าดังแสดงในตารางที่ 3 นำค่ากระแส I_C นี้ไปหาโอกาสที่จะเกิดฟ้าผ่าที่มีค่ายอดกระแสต่ำกว่าค่านี้โดยใช้สมการที่ (8) และคำนวณหาอัตราการเกิดวابلไฟเนื่องจากมุมป้องกันลัมเบลว (SFFR) โดยสมการที่ (5) ได้ค่า ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 3 กระแสฟ้าผ่าวิกฤตเพื่อหาอัตราการเกิดวابلไฟตามผิวเมื่อมุมป้องกันลัมเบลว

รูปแบบการวางสาย	สายดินพอดีป้องกันได้ (I_C)	เกิดวابلไฟที่ผิวฉนวนเมื่อฟ้าผ่าลงสายเฟส (I_P)
PIC วางบน allay arm	53.11 kA	0.73 kA
PIC วางบน cross arm	7.24 kA	0.72 kA
SAC วางบนไม้คอน	4.00 kA	1.10 kA
SAC วางบนเหล็กฉาก	4.00 kA	2.00 kA

ตารางที่ 4 ค่าดัชนีแสดงสมรรถนะระบบป้องกันฟ้าผ่า (ครั้ง/100 กิโลเมตร/ ปี)

รูปแบบการวางสาย	SFFR	BFR	TFR
PIC วางบน allay arm	7.26	3.90	11.16
PIC วางบน cross arm	0.70	3.58	4.28
SAC วางบนไม้คอน	0.15	5.56	5.72
SAC วางบนเหล็กฉาก	0.14	4.89	5.03

- ดัชนีแสดงสมรรถนะระบบป้องกันฟ้าผ่าหลังการปรับปรุง

จากค่าดัชนีแสดงสมรรถนะระบบป้องกันฟ้าผ่าที่วิเคราะห์ได้ตามตารางที่ 4 จะเห็นว่ารูปแบบการวางสายแบบสาย PIC วางบน allay arm มีอัตราการเกิดวابلไฟสูงสุด ดังนั้นหากจะทำการปรับปรุงระบบป้องกันฟ้าผ่าควรปรับปรุงระบบที่มีการวางสายรูปแบบนี้ก่อน หลังจากนั้นทำการปรับปรุงระบบป้องกันฟ้าผ่าทั้ง 5 วิธีแล้วพบว่าค่าดัชนีแสดงสมรรถนะระบบป้องกันฟ้าผ่าหลังการปรับปรุงมีค่าดังแสดงในตารางที่ 5 สาเหตุที่ค่า SFFR มีค่าเท่ากันในทุกๆวิธีการปรับปรุง เนื่องจากรูปแบบการจัดวางสายหรือประสิทธิภาพการป้องกันของสายดินสำหรับระบบจำหน่ายมีค่าค่อนข้างสูง คือสามารถป้องกันกระแสฟ้าผ่าได้ตั้งแต่ค่ากระแสฟ้าผ่าค่าต่ำๆ ขึ้นไปได้ ดังนั้นจึงสามารถป้องกันได้เกือบ 100 % ซึ่งทุกๆวิธีการปรับปรุงก็ให้ค่านี้เกือบจะเท่ากัน เมื่อนำไปคูณกับจำนวนครั้งที่ฟ้าผ่าลงสายจึงได้ค่า SFFR มีค่าเท่ากัน แต่จะแตกต่างกันบ้างที่ค่า BFR เนื่องจากแต่ละวิธีปรับปรุงจะให้กระแสฟ้าผ่าวิกฤตกรณีฟ้าผ่าลงสายดินที่แตกต่างกัน โอกาสเกิดฟ้าผ่าก็ต่างกันทำให้ค่า BFR แตกต่างกัน

ตารางที่ 5 ดัชนีแสดงสมรรถนะระบบป้องกันฟ้าผ่าต่างๆ หลังการปรับปรุง (ครั้ง/ 100 กิโลเมตร/ปี)

วิธีการปรับปรุง	SFFR	BFR	TFR
เพิ่มระดับการฉนวน	7.26	3.83	11.09
ลดความต้านทานการต่อลงดิน	7.26	3.24	10.50
ติดตั้งสายดินเพิ่มเป็น 2 เส้น	7.26	2.73	9.99
ติดตั้งกับดักฟ้าผ่าที่เฟสบนสุด	7.26	2.73	9.99
ติดตั้งกับดักฟ้าผ่าที่เฟสนอกสุด	7.26	2.29	9.55

สรุป

วิธีการปรับปรุงสมรรถนะระบบป้องกันฟ้าผ่าโดยการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าที่เฟสนอกสุดช่วยลดอัตราการเกิดไฟดับเนื่องจากฟ้าผ่าได้มากที่สุด โดยลดลงจาก 11.16 ครั้ง/ 100กิโลเมตร/ปี เหลือเป็น 9.55 ครั้ง/100กิโลเมตร/ปี วิธีการปรับปรุงระบบป้องกันฟ้าผ่าในระบบสายจำหน่าย 22 kV ที่มีสมรรถนะสูงที่สุดคือ การติดตั้งกับดักฟ้าผ่าที่เฟสนอกสุด รองลงมาคือการติดตั้งกับดักฟ้าผ่าที่เฟสบนสุด การติดตั้งสายดินเพิ่มเป็น 2 เส้น การลดความต้านทานการต่อลงดินที่ฐานเสา และการเพิ่มระดับการฉนวน ตามลำดับ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย และกรมอุตุนิยมวิทยา ที่ให้การสนับสนุนด้านข้อมูล มาตรฐานการติดตั้งระบบจำหน่าย 22 kV และสถิติการเกิดฟ้าผ่า เพื่อประกอบการทำวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- Klairuang, N.; Pobborn, W.; Hokierti, 2003. Lifetime analysis of distribution arrester by lightning stroke, AUPEC2003, New Zealand.
- R.Hileman, 1999. Insulation Coordination for PowerSystem, Marcel Dekker Inc.,New York, USA. pp. 497 – 556.
- IEEE Standard 1243, 1997. IEEE Guide for Improving the Lightning Performance of Transmission Lines, 47th The Institute of Electrical and Electronic Engineers, New York, USA.
- IEEE Standard 1410, 2004. IEEE Guide for Improving the Lightning Performance of Electric Power Overhead Distribution Lines, The Institute of Electrical and Electronic Engineers, New York, USA
- J.A. Martinez and F. Castro-Aranda, 2007, Lightning Flashover Rate of an Overhead Transmission Line Protected by Surge Arresters, IEEE.