

ผลของความต้านทานรากสายดินต่อการเกิดวابلไฟตามผิวย้อนกลับบนลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าในระบบ ส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแรงดันสูงขนาด 115 kV

The effect of tower footing resistance on back flashover across insulator in 115 kV transmission system

พงศกรณ์ ชูตระกูล¹⁾ และ ณัฐพงษ์ ตันthanuch¹⁾

Phongsakon Chootragoon¹⁾ and Nutthaphong Tanthanuch¹⁾

¹⁾กลุ่มวิจัยระบบไฟฟ้ากำลังและเครื่องจักรกลไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ จังหวัดปทุมธานี 12120

บทคัดย่อ

บทความนี้ศึกษาผลของความต้านทานรากสายดินต่อการเกิดวابلไฟตามผิวย้อนกลับบนลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแรงดันสูงขนาด 115 kV โดยใช้แบบจำลองรากสายดิน 3 แบบ ได้แก่ รากสายดินแบบความต้านทาน รากสายดินแบบความเหนียวนำ ต่ออนุกรมกับความต้านทาน และรากสายดินแบบความต้านทานต่อขนานกับตัวเก็บประจุและต่ออนุกรมกับตัวเหนียวนำ ตามลำดับ จากนั้นนำแบบจำลองรากสายดินทั้งสามแบบมาใส่ในแบบจำลองของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า 115 kV และทำการป้อนกระแสฟ้าผ่าขนาด 25 kA เข้าไปที่ตำแหน่งของสายกราวด์เหนือดิน การจำลองแบ่งออกเป็นสองกรณีศึกษา โดยกรณีแรกทำการจำลองที่ค่าความต้านทานสถานะปกติซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานดิน $34 \Omega\cdot\text{m}$ และกรณีที่สองทำการจำลองที่ค่าความต้านทานสูงเป็นการจำลองในกรณีที่ดินอยู่ในสภาวะแห้งแล้งซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานดินสูงถึง $3000 \Omega\cdot\text{m}$ จากผลการคำนวณพบว่าเกิดการวابلไฟตามผิวย้อนกลับบนลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าขึ้นที่ตำแหน่งเฟสบนสุดทุกกรณี เนื่องจากระยะของฟางลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าที่เฟสบนสุดอยู่ไกลจากจุดต่อของรากสายดินมากที่สุดทำให้อัตราการเพิ่มขึ้นของแรงดันสะสมตามระยะที่กระแสฟ้าผ่าเคลื่อนที่สะท้อนจากจุดต่อรากสายดินไหลผ่านส่วนต่าง ๆ ของเสาไฟฟ้ามีค่าสูงมากกว่าค่าแรงดันวابلไฟตามผิวที่ลูกถ้วยไฟฟ้าจะทนได้จึงทำให้เกิดวابلไฟตามผิวบนลูกถ้วย โดยแบบจำลองรากสายดินแบบความเหนียวนำต่ออนุกรมกับความต้านทาน เกิดวابلไฟตามผิวย้อนกลับเร็วที่สุดและแบบจำลองรากสายดินแบบความต้านทานต่อขนานกับตัวเก็บประจุและต่ออนุกรมกับตัวเหนียวนำ เกิดวابلไฟตามผิวย้อนกลับช้าที่สุด

คำสำคัญ: ความต้านทานรากสายดิน วابلไฟตามผิวย้อนกลับ สัมประสิทธิ์ความต้านทานดิน

Abstract

This paper proposes an analysis of the tower footing resistance on back flashover across an insulator in 115 kV transmission system. There are three models of the tower footing resistance which are used in this simulation as follows; a pure resistance, an inductance series with a resistance and a resistance parallel with a capacitance and series with an inductance, respectively. Then, all three footing resistance models were applied to the 115 kV power transmission model and the 25 kA lightning current was injected to the overhead ground wire (OHGW) position. The simulations are divided into two case studies. The first case was simulated a typical soil with a resistivity of $34 \Omega\cdot\text{m}$ and the second case was simulated at highly resistivity soil. The latter case is a simulation of soil in dry conditions with a resistivity of soil up to $3000 \Omega\cdot\text{m}$. The result of the calculation shown that the back flashover always occurs on the top phase insulator string. Due to the longest distance between the insulator string at the top phase and the grounding point at the bottom of the tower, the potential rise of the insulators is the highest and the insulators are unable to withstand the surge voltage, then flashover. Additionally, the second model of inductance series with resistance has taken the fastest time to cause back flashover and the third model of resistance parallels with capacitance and series with inductance has taken the slowest time to cause back flashover respectively.

Keywords: Footing resistance, Back flashover, Resistivity of soil.

1. บทนำ

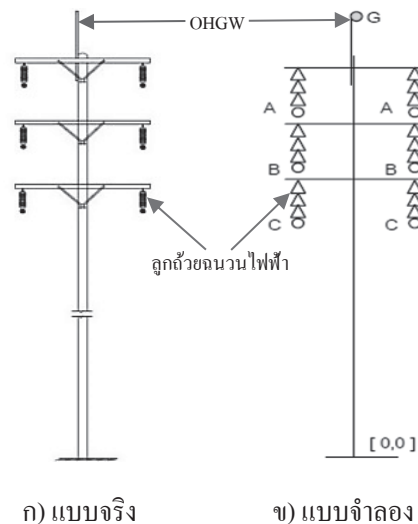
ปัจจุบันการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแรงสูงมีบทบาทสำคัญอย่างมากต่อการกระจายพลังงานไฟฟ้าไปทั่วทุกภูมิภาค พลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานตัวกลางที่สำคัญที่สามารถเปลี่ยนแปลงไปเป็นพลังงานอื่นได้หลายรูปแบบ อาทิเช่น พลังงานกล พลังงานความร้อนและพลังงานแสงสว่าง เป็นต้น จึงทำให้พลังงานไฟฟ้ามีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาระบบสาธารณูปโภคขั้นพื้นฐานตั้งแต่ระดับครัวเรือน ระดับชุมชนเมือง ไปจนถึงระดับประเทศ พลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานที่มนุษย์มีความต้องการสูงและมีความสำคัญต่อการขับเคลื่อนและพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจและสังคม ดังจะเห็นได้จากโรงงานอุตสาหกรรมต้องซื้อพลังงานไฟฟ้าไว้ใช้ในการเดินเครื่องจักรกลไฟฟ้าและควบคุมระบบการทำงานทั้งหมดภายในโรงงานอุตสาหกรรม อีกทั้งยังมีหน่วยงานทั้งทางภาครัฐ ภาคเอกชน และทุกภาคส่วนล้วนมีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแรงสูงทั้งสิ้น

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นว่าการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ามีความสำคัญอย่างมาก การไฟฟ้าทั้งสามส่วน ได้แก่ การไฟฟ้าฝ่ายผลิต การไฟฟ้านครหลวง และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จึงจำเป็นต้องมีคู่มือระบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ตลอดเวลา คือ ไม่มีเหตุไฟดับนั่นเอง โดยสาเหตุที่ทำให้เกิดไฟดับนั้นเกิดได้จากหลายสาเหตุ เช่น การเกิดการลัดวงจรของสายส่งไฟฟ้า เฟสใดเฟสหนึ่งเนื่องจากมีกิ่งไม้พาดอยู่ระหว่างสายส่งสองเส้น การเกิดการวาบไฟตามผิวบนลูกถ้วยฉนวน การเกิดแรงดันเกินสวิตช์ซึ่งจากการปลดสับโหลดแบบทันทีทันใด และการเกิดแรงดันเกิน เป็นต้น [1]

สาเหตุสำคัญที่ทำให้ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าขัดข้องเกิดจากฟ้าผ่าลงในระบบไฟฟ้าทำให้เกิดแรงดันเกิน ก่อให้เกิดความเสียหายซึ่งจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของแรงดันเกินและระยะเวลาในการเกิด อาทิเช่น ทำให้ฉนวนไฟฟ้าได้รับความเสียหายเกิดการลัดวงจรบนสายส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าและมีไฟฟ้าดับเป็นวงกว้างจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องศึกษาถึงที่มาและปัจจัยของปัญหาดังกล่าว งานวิจัยนี้นำเสนอผลของความต้านทานรากสายดินต่อการเกิดการวาบไฟตามผิวย้อนกลับบนลูกถ้วยฉนวนเนื่องจากแรงดันฟ้าผ่าในระบบส่งจ่ายไฟฟ้าขนาด 115 kV

2. ระบบไฟฟ้าที่ใช้ในการศึกษา

ระบบไฟฟ้าที่ใช้ในการวิเคราะห์เป็นระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าขนาด 115 kV ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่มีโครงสร้างของเสาไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งประกอบด้วย สายกราวด์เหนือดิน (OHGW) อยู่ส่วนบนสุดของเสาไฟฟ้า มีลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าเป็นลูกถ้วยแขวนพอร์ซเลน (suspension type porcelain insulator) หรือลูกถ้วยฉนวนกระเบื้องเคลือบจำนวน 7 ลูก เพื่อทำการยึดโยงกับสายตัวนำไฟฟ้าหรือสายเฟสต่อหนึ่งเฟส ซึ่งเป็นเสาแบบสองวงจร วงจรละสามเฟส และมีความต้านทานรากสายดินของฐานเสาไฟฟ้า จากนั้นทำการจำลองระบบสายส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าและศึกษาผลของแรงดันเกินเนื่องจากฟ้าผ่าโดยใช้เสาไฟฟ้าจำนวน 7 ถึง 9 ต้นบนโปรแกรม PSCAD/EMTDC [2] แต่เนื่องจากการสร้างแบบจำลองของเสาแต่ละต้นมีรายละเอียดค่อนข้างมาก ในงานวิจัยนี้จึงพิจารณาเฉพาะผลกระทบของความต้านทานรากสายดินต่อแรงดันเกินฟ้าผ่าในระบบไฟฟ้า 115 kV ที่เสาต้นใดต้นหนึ่งเท่านั้น



รูปที่ 1 โครงสร้างของเสาแบบคอนกรีตในระบบสายส่ง 115 kV ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค [1]

3. แบบจำลองระบบไฟฟ้า

แบบจำลองระบบไฟฟ้า 115 kV ประกอบไปด้วยแบบจำลองของเสาส่ง แบบจำลองของสายส่ง แบบจำลองของความต้านทานรากสายดิน แบบจำลองของสายกราวด์เหนือดิน (OHGW) และแบบจำลองการป้อนกระแสฟ้าผ่าลงไปในระบบไฟฟ้าดังรูปที่ 2

3.1 วาบไฟตามผิวย้อนกลับ

การเกิดฟ้าผ่าลงบนเสาไฟฟ้าหรือสายล่อฟ้าที่ตั้งอยู่บนเสาไฟฟ้าและอยู่เหนือสายตัวนำจะทำให้มีกระแสฟ้าผ่าเคลื่อนที่ไหลลงสู่รากสายดินที่ฐานเสาไฟฟ้าผ่านโครงสร้างเสาไฟฟ้า กระแสฟ้าผ่าที่ไหลผ่านอิมพีแดนซ์เสิร์จในส่วนต่างๆ จะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมที่ส่วนต่างๆ ของเสา (จากสภาวะปกติที่มีศักย์ไฟฟ้าเท่ากับศักย์ของพื้นดิน) นอกจากนี้ยังทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าที่ยึดระหว่างสายตัวนำกับเสาไฟฟ้าอีกด้วย

ในสภาวะปกติลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าซึ่งยึดอยู่ระหว่างสายตัวนำกับเสาไฟฟ้าจะมีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าและสามารถทนต่อแรงดันไฟฟ้าใช้งานปกติของระบบได้ ซึ่งคุณสมบัติความเป็นฉนวนของลูกถ้วยไฟฟ้าถูกกำหนดด้วยลักษณะสมบัติแรงดัน-เวลา (Volt-Time Characteristic) ดังรูปที่ 3

โดยขนาดของแรงดันวาบไฟตามผิวจะขึ้นอยู่กับระยะอาร์กแห้ง (dry arcing distance) ของพวงลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้า ดังแสดงในสมการที่ (1)

$$V_{v-t} = K_1 + \frac{K_2}{L^{0.75}} \quad (1)$$

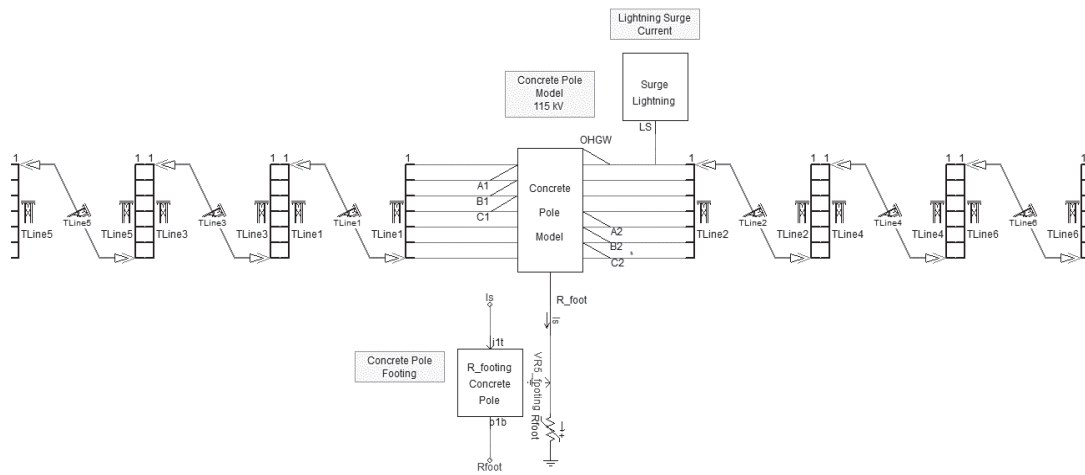
โดย V_{v-t} คือ แรงดันวาบไฟตามผิว (kV)

K_1 คือ ค่าคงที่มีค่าเท่ากับ 400L

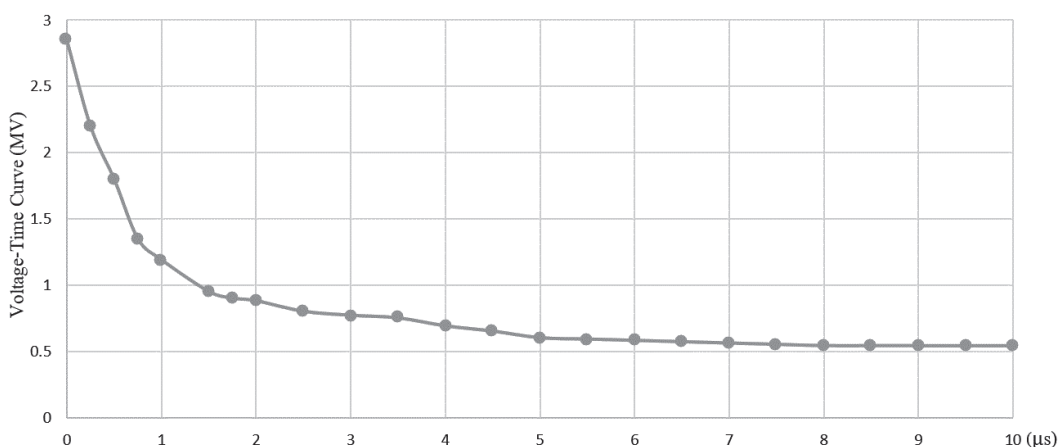
K_2 คือ ค่าคงที่มีค่าเท่ากับ 700L

t คือ เวลาที่เกิดวาบไฟตามผิว (μ s)

L คือ ความยาวของลูกถ้วยหรือระยะอาร์กแห้ง (m)



รูปที่ 2 ภาพรวมของระบบสายส่ง 115 kV ที่ใช้ในการคำนวณและวิเคราะห์



รูปที่ 3 ลักษณะสมบัติแรงดัน-เวลา ของพวงลูกถ้วยแขนแบบ 52-3 ในระบบไฟฟ้า 115 kV [1]

3.2 กระแสฟ้าผ่า

กระแสฟ้าผ่าที่ใช้ในการจำลองเป็นรูปคลื่นตามมาตรฐาน (IEC 60060 – 1) [3] ขนาดกระแสของรูปคลื่นฟ้าผ่า 1.2/50 μ s ได้มาจากสถิติการเกิดฟ้าผ่าในประเทศไทยซึ่งอยู่ในเขตร้อนชื้นที่มีอัตราการเกิดฟ้าผ่าสูงและค่ากระแสฟ้าผ่าโดยเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 25 kA [4] เป็นฟ้าผ่าชั่วพลบ ซึ่งสมการที่ใช้ในการอธิบายรูปคลื่นฟ้าผ่าแสดงดังสมการที่ (2)

$$I_{(1.2/50\mu s)} = 1.08696 I_1 (e^{-at} - e^{-bt}) \quad (2)$$

โดย $I_{(1.2/50\mu s)}$ คือ กระแสของรูปคลื่นฟ้าผ่า

1.2/50 μ s (kA)

I_1 คือ ขนาดของกระแสฟ้าผ่าเป็นชั่วพลบ

หรือชั่วบวก ถ้าหากเป็นชั่วพลบ

ค่า I_1 จะมีค่าเท่ากับ -1 และ +1

สำหรับชั่วบวก

a คือ สัมประสิทธิ์ของรูปคลื่นฟ้าผ่ามีค่า

เท่ากับ -16666.67 ที่เวลาหน้าคลื่น

1.2 μ s

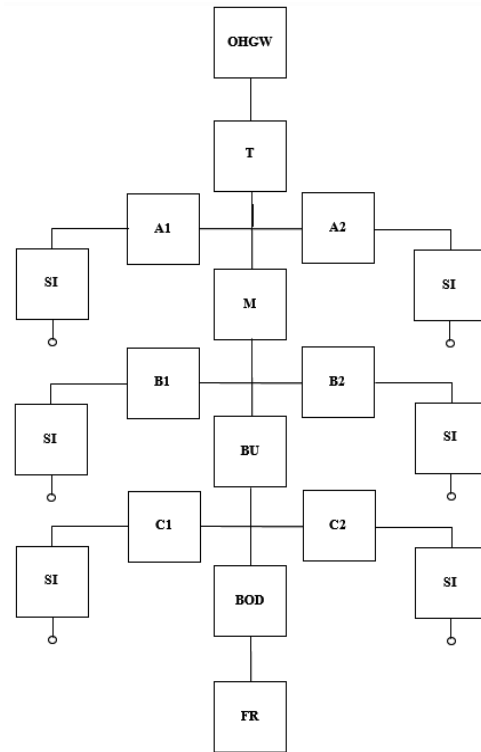
b คือ สัมประสิทธิ์ของรูปคลื่นฟ้าผ่ามีค่า

เท่ากับ 5833334.5 ที่เวลาหลัง

คลื่น 50 μ s

3.3 เสาคอนกรีตในระบบ 115 kV

เสาคอนกรีตในระบบ 115 kV ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคถูกแบ่งเป็นส่วนต่างๆ เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณดังแสดงในรูปที่ 4

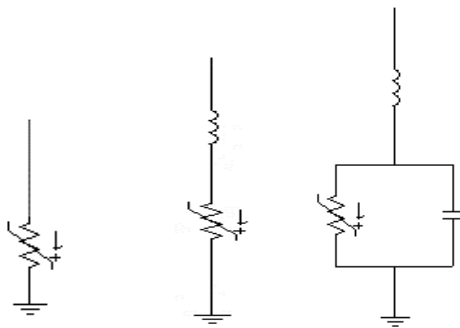


รูปที่ 4 ส่วนประกอบเสาไฟฟ้าสำหรับการศึกษาแรงดันเกินเนื่องจากฟ้าผ่า [5]

OHWG	คือ	ส่วนของเหล็กฉากรับสายล่อฟ้า
T	คือ	ส่วนบนสุดของเสาที่อยู่ระหว่างเหล็กฉากรับสายล่อฟ้า (OHGW) กับคอนรับสายตัวนำเฟสบนสุด
M	คือ	เสาส่วนที่อยู่ระหว่างคอนรับสายตัวนำเฟสบนสุดกับคอนรับสายตัวนำเฟสกลาง
BU	คือ	เสาส่วนที่อยู่ระหว่างคอนรับสายตัวนำเฟสกลางกับคอนรับสายตัวนำเฟสล่างสุด
BOD	คือ	เสาส่วนที่อยู่ระหว่างคอนรับสายตัวนำเฟสล่างสุดลงไปจนถึงจุดต่อรากสายดิน
FR	คือ	ส่วนของรากสายดิน
A1 และ A2	คือ	ส่วนของคอนรับสายตัวนำของเฟสบน
B1 และ B2	คือ	ส่วนของคอนรับสายตัวนำของเฟสกลาง
C1 และ C2	คือ	ส่วนของคอนรับสายตัวนำของเฟสล่าง
SI	คือ	ส่วนของลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าแบบ ค. (แบบ 52-3) จำนวน 7 ลูกต่อ 1 พวง
o	คือ	สายเฟส

3.4 รากสายดิน

แบบจำลองรากสายดินที่ใช้ในการศึกษาผลของความต้านทานรากสายดินต่อการเกิดวาทไฟตามผิวย้อนกลับบนลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า 115 kV แบ่งออกเป็น 3 แบบ โดยแบบที่ 1 เป็นแบบจำลองรากสายดินแบบความต้านทาน แบบจำลองนี้เกิดขึ้นเมื่อกระแสฟ้าผ่าไหลผ่านอิเล็กโทรดหรือรากสายดินที่พิจารณาสูงสูดั้น เสมือนว่าดินบริเวณโดยรอบอิเล็กโทรดนั้นมีความต้านทานอยู่ที่เรียกว่าความต้านทานรากสายดิน ส่วนแบบที่ 2 เป็นแบบจำลองรากสายดินแบบความเหนียวนำต่ออนุกรมกับความต้านทาน [6] โดยแบบจำลองนี้จะมีค่าเหนียวนำที่เกิดจากการที่มีกระแสฟ้าผ่าไหลผ่านรากสายดินทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นโดยรอบแท่งอิเล็กโทรดที่พิจารณาและมีแรงดันตกคร่อมตลอดความยาวของแท่งรากสายดิน และแบบที่ 3 แบบจำลองรากสายดินแบบความต้านทานต่อขนานกับตัวเก็บประจุและอนุกรมกับตัวเหนียวนำ [7] การต่อขนานกันระหว่างตัวเก็บประจุกับความต้านทานนั้นเกิดจากประจุไฟฟ้าที่เกิดขึ้นบริเวณระหว่างผิวของแท่งรากสายดินกับชั้นของผิวดินที่ปกคลุมแท่งรากสายดิน และความเหนียวนำที่เกิดขึ้นจากอิทธิพลของกระแสฟ้าผ่าเช่นเดียวกับแบบจำลองที่ 2 โดยแบบจำลองรากสายดินทั้ง 3 แบบ แสดงดังรูปที่ 5



ก) แบบที่ 1 ข) แบบที่ 2 ค) แบบที่ 3

รูปที่ 5 แบบจำลองรากสายดิน

จากรูปที่ 5 ความต้านทานรากสายดินของแบบจำลองทั้ง 3 แบบมีลักษณะเป็นความต้านทานแบบไม่เชิงเส้น เนื่องจากการเกิดดีสชาร์จบางส่วนหรือการเกิดไอออนในเซชันในดิน ซึ่งเป็นผลมาจากกระแสฟ้าผ่าทำให้ค่าความต้านทานรากสายดินมีค่าลดลง ตามที่แสดงในสมการที่ (3) และ (4) ตามลำดับ [8]

$$R_i = \frac{R_g}{\sqrt{1 + (I_R / I_g)}} \quad (3)$$

$$I_g = \frac{1}{2\pi} \frac{\rho E_0}{R_g^2} \quad (4)$$

โดย R_i คือ ความต้านทานดินที่ฐานเสาไฟฟ้า ณ เวลาที่มีกระแสฟ้าผ่าไหลผ่าน (Ω)

R_g คือ ความต้านทานดินของฐานเสาที่ความถี่ต่ำ 50 Hz (Ω)

I_R คือ กระแสฟ้าผ่าที่ไหลผ่านฐานเสา (kA)

I_g คือ กระแสเริ่มเกิดการแตกตัวของประจุในดิน (kA)

ρ คือ ความต้านทานจำเพาะของดิน ($\Omega \cdot m$)

E_0 คือ แรงดันเกรเดียนท์วิกฤตมีค่าเท่ากับ 400 kV/m

4. ผลการจำลอง

การศึกษาผลของความต้านทานรากสายดินต่อการเกิดวาทไฟตามผิวย้อนกลับบนลูกถ้วยฉนวนแบ่งออกเป็น 2 กรณีศึกษาคือ

1. การเกิดวาทไฟตามผิวย้อนกลับที่ค่าความต้านทานต่ำ สภาวะปกติซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานดิน 34 $\Omega \cdot m$
2. การเกิดวาทไฟตามผิวย้อนกลับที่ค่าความต้านทานสูง สภาวะแห้งแล้งซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานดินสูง 3000 $\Omega \cdot m$

4.1 การเกิดวาทไฟตามผิวย้อนกลับที่ค่าความต้านทาน สภาวะปกติที่มีสัมประสิทธิ์ความต้านทานดินต่ำ

ผลการคำนวณค่าแรงดันและเวลาในการเกิดวาทไฟตามผิวย้อนกลับในกรณีความต้านทานต่ำ แสดงดังตารางที่ 1

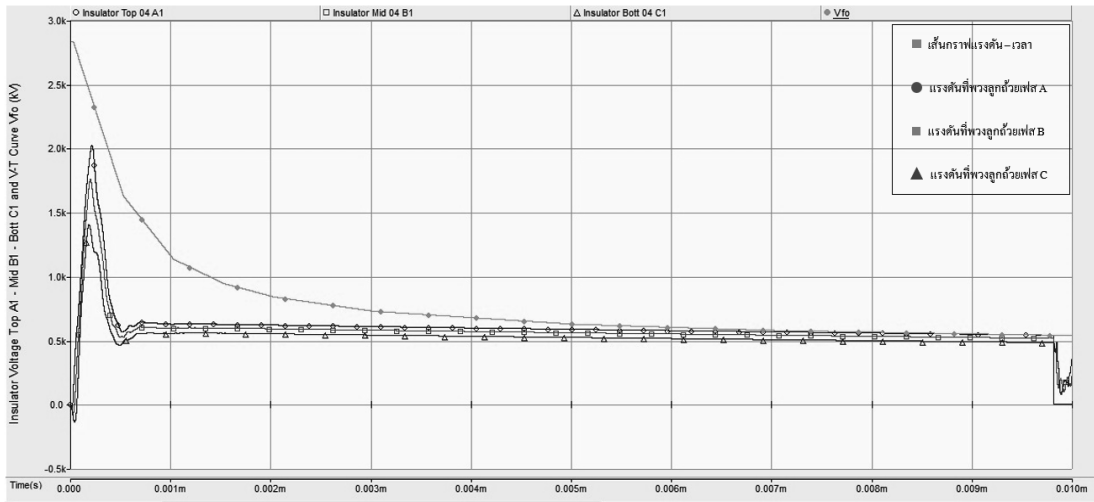
ตารางที่ 1 ค่าแรงดันและเวลาเกิดการวาทไฟตามผิวบนลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าที่ได้จากแบบจำลองรากสายดินแบบต่างๆ ที่ค่าความต้านทานต่ำ

แบบจำลองรากสายดิน	ความต้านทานที่ทำให้เกิดวาทไฟ (Ω)	แรงดันวาทไฟตามผิวย้อนกลับ (kV)	เวลาที่เกิด (μs)
แบบที่ 1	34.547	538.3515	9.9976
แบบที่ 2	34.600	538.8009	9.9632
แบบที่ 3	34.540	540.7221	9.8161

จากผลการคำนวณ พบว่าเกิดการวาบไฟตามผิวที่เฟสบนสุด ในทุกแบบจำลองรากสายดินและระยะเวลาในการเกิดวาบไฟตามผิวย้อนกลับมีค่าใกล้เคียงกันและมีค่าเวลาเฉลี่ยของการเกิดวาบไฟของแบบจำลองรากสายดินทั้งสามแบบเท่ากับ 9.9256 μ s

รูปที่ 6 แสดงตัวอย่างการเกิดวาบไฟตามผิวของแบบจำลองรากสายดินแบบความต้านทานต่อขนานกับตัวเก็บประจุแล้วต่ออนุกรมกับความเหนี่ยวนำ เมื่อมีกระแสฟ้าผ่าลงที่สายกราวด์เหนือดิน กระแสฟ้าผ่าจะไหลผ่านส่วนต่างๆ ของเสาไฟฟ้าและ

ทำให้เกิดแรงดันสะสมที่พวงลูกถ้วยฉนวนเฟส A B และ C ขณะเดียวกันนั้นกระแสฟ้าผ่าจะไหลผ่านส่วนต่างๆ ของเสาไฟฟ้าไปยังจุดต่อของรากสายดินและเกิดการสะท้อนของกระแสที่จุดต่อรากสายดิน กระแสฟ้าผ่าที่สะท้อนจากจุดต่อรากสายดินนี้จะไหลย้อนกลับผ่านส่วนต่างๆ ของเสาไฟฟ้าทำให้เกิดแรงดันสะสมและที่ขั้วของพวงลูกถ้วยฉนวนเฟส A B และ C แรงดันที่สะท้อนจะมีการกลับขั้วเนื่องมาจากคุณสมบัติของลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าซึ่งมีคุณสมบัติ



รูปที่ 6 การเกิดวาบไฟตามผิวย้อนกลับของแบบจำลองรากสายดินแบบที่ 3 ที่ค่าความต้านทานรากสายดินเท่ากับ 34.540 Ω

เป็นความจุไฟฟ้า แรงดันสะสมเฟส A B และ C ของรากสายดินทั้ง 3 แบบมีขนาดเพิ่มขึ้น ตั้งแต่เวลา 0 μ s ไปจนถึงเวลาที่เส้นกราฟแรงดันสะสมบนลูกถ้วยฉนวนเฟส A สัมผัสกับเส้นกราฟแรงดัน-เวลาเกิดการวาบไฟตามผิวย้อนกลับและทำให้แรงดันสะสมของพวงลูกถ้วยฉนวน เฟส B และ เฟส C ลดลงอย่างรวดเร็วและมีค่าความต้านทานที่น้อยที่สุดที่ทำให้เกิดการวาบไฟตามผิวมีค่าเท่ากับ 34.540 Ω โดยรากสายดินแบบที่ 3 ใช้เวลาในการเกิดวาบไฟตามผิวเร็วที่สุด และแบบจำลองรากสายดินแบบที่ 1 ใช้เวลาในการเกิดวาบไฟตามผิวช้าที่สุด

4.2 การเกิดวาบไฟตามผิวย้อนกลับที่ค่าความต้านทานสูงที่สถานะแห้งแล้ง

ผลการคำนวณค่าแรงดันและเวลาในการเกิดวาบไฟตามผิวย้อนกลับในกรณีความต้านทานสูงที่สถานะแห้งแล้ง แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าแรงดันและเวลาเกิดการวาบไฟตามผิวในรูปแบบวงจรรากสายดินแบบต่างๆ ที่ค่าความต้านทานสูงที่สถานะแห้งแล้ง

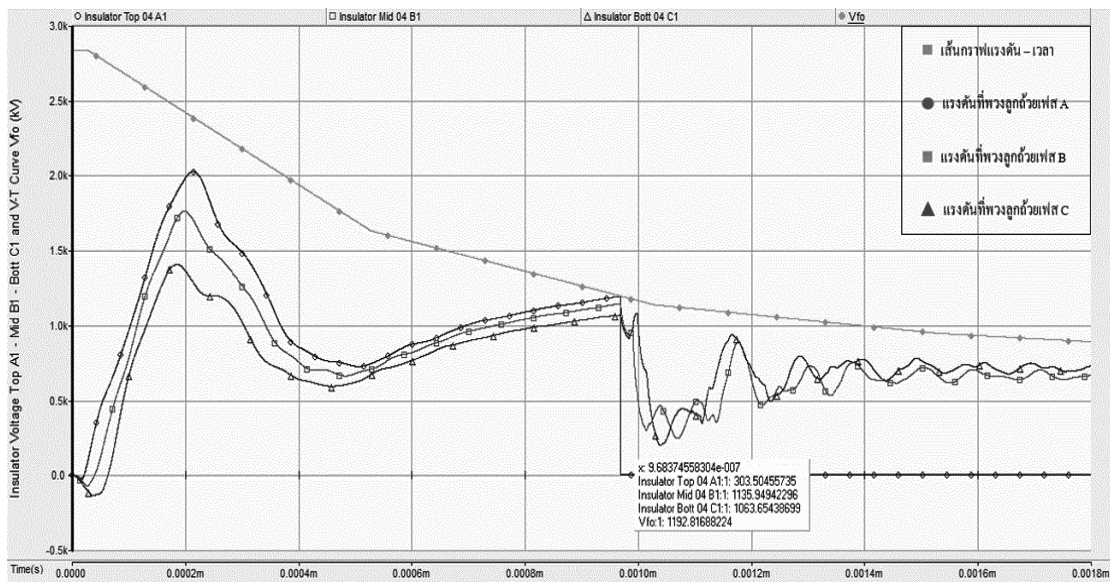
แบบจำลองรากสายดิน	ความต้านทานที่ทำให้เกิดวาบไฟ (Ω)	แรงดันวาบไฟตามผิวย้อนกลับ (MV)	เวลาที่เกิด (μ s)
แบบที่ 1	1094.827	1.497	0.6595
แบบที่ 2	1094.827	2.182	0.2972
แบบที่ 3	1094.827	1.193	0.9683

จากผลการคำนวณ พบว่าเกิดการวาบไฟตามผิวย้อนกลับที่เฟสบนสุดในทุกแบบจำลองรากสายดิน และความต้านทานที่ทำให้เกิดวาบไฟที่สถานะแห้งแล้งของแบบจำลองรากสายดินทั้งสามแบบมีค่าเท่ากันซึ่งมีค่าเท่ากับ 1094.827 Ω โดยรากสายดินแบบที่สองมีเวลาในการเกิดวาบไฟตามผิวน้อยที่สุด ที่เวลาเท่ากับ 0.2972 μ s และแรงดันที่ตกคร่อมบนลูกถ้วยที่ทำให้เกิดวาบไฟตามผิวย้อนกลับมีค่าเท่ากับ 2.182MV ซึ่งมีค่าสูงที่สุด ส่วนรากสายดินแบบที่สามเกิด

วาทตามผิวย้อนกลับช้าที่สุด ที่เวลาเท่ากับ 0.9683 μ s และแรงดันที่ตกคร่อมบนลูกถ้วยที่ทำให้เกิดวาทตามผิวย้อนกลับมีค่าเท่ากับ 1.193 MV ซึ่งมีค่าน้อยที่สุด และเมื่อพิจารณาผลการคำนวณของกรณีศึกษาที่สอง เทียบกับผลการคำนวณจากกรณีศึกษาที่หนึ่ง พบว่าค่าเฉลี่ยแรงดันที่ทำให้เกิดวาทตามผิว (แรงดันเบรกดาวน์เฉลี่ยบนลูกถ้วย) ของกรณีศึกษาที่สองมีค่ามากกว่าเป็น 3 เท่าของค่าเฉลี่ยแรงดันที่ทำให้เกิดวาทตามผิวของกรณีศึกษาที่หนึ่ง และค่าเฉลี่ยเวลาเกิดการวาทตามผิว (เวลาที่เกิดเบรกดาวน์เฉลี่ยบนลูกถ้วย) ของกรณีศึกษาที่สองมีค่าน้อยกว่าเป็น 0.06 เท่าของกรณีศึกษาที่หนึ่งทำให้ทราบว่าจะระยะเวลาในการเกิดวาทตามผิวในสภาวะแห้งแล้งเกิดขึ้นได้เร็วกว่าในสภาวะปกติ เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานดินในกรณีศึกษาที่สอง (สภาวะแห้งแล้ง) มีค่ามากกว่าเป็น 88 เท่าของกรณีศึกษาที่หนึ่ง (สภาวะปกติ) ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความต้านทานรากสายดินของกรณีศึกษาที่สองมีค่าสูงมากกว่ากรณีศึกษาที่หนึ่งอยู่ที่ค่าประมาณ 32 เท่า

จากผลการคำนวณของทั้งสองกรณีศึกษาทำให้ทราบว่าถ้ามีฟ้าผ่าลงบนระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าและหากระบบป้องกันทำงานผิดพลาดจะทำให้มีแรงดันเกินในระบบสูงมาก และเกิดวาทตามผิวย้อนกลับที่แรงดันเบรกดาวน์ที่ค่าสูง ส่งผลให้อุปกรณ์ในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าเกิดความเสียหายได้ เพื่อลดโอกาสในการเกิดเหตุการณ์ดังกล่าวจึงควรตรวจวัดค่าความต้านทานรากสายดินของฐานเสาไฟฟ้า หากพบว่าค่าความต้านทานรากสายดินมีค่าสูงให้ทำการแก้ไขโดยรดน้ำลงบริเวณดินที่ฐานเสาไฟฟ้ารวมทั้งเดิมสารอิเล็กโทรไลต์เพื่อให้ดินมีความชื้นสูงทำให้เกิดการแตกตัวและนำพาประจุไฟฟ้าได้ดี

โดยรูปที่ 7 แสดงตัวอย่างการเกิดวาทตามผิวย้อนกลับที่ค่าความต้านทานรากสายดินเท่ากับ 1094.827 Ω ที่สภาวะแห้งแล้ง



รูปที่ 7 การเกิดวาทตามผิวย้อนกลับที่ค่าความต้านทานรากสายดินเท่ากับ 1094.827 Ω

5. สรุป

การศึกษาผลของความต้านทานรากสายดินต่อการเกิดวาทตามผิวย้อนกลับบนลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าในระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแรงดันสูงขนาด 115 kV พบว่าเมื่อเกิดกระแสฟ้าผ่าขนาด 25 kA ซึ่งเป็นรูปคลื่นฟ้าผ่าหน้าคลื่นชัน 1.2/50 μ s ขึ้นบนสายกราวด์เหนือดิน (OHGW) ของเสาส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าขนาดแรงดัน 115 kV ซึ่งเป็นเสาแบบคอนกรีต ผลจากกระแสฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นจากจุดที่ผ่าจะไหลผ่านเสาส่งไปจนถึงความต้านทานรากสายดินเกิดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนของกระแสทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของแรงดันตามระยะจากจุดต่อของรากสายดินไปยังจุดที่พวง

ลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้า ถ้าแรงดันเพิ่มขึ้นสูงกว่าค่าแรงดันเบรกดาวน์ของพวงลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าก็จะเกิดการวาทตามผิวย้อนกลับ โดยขนาดแรงดันและเวลาของการเกิดวาทตามผิวย้อนกลับจะขึ้นอยู่กับแบบจำลองของรากสายดินที่พิจารณา และยังคงพบวาทตามผิวย้อนกลับบนพวงลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าที่เฟสบนสุดทุกกรณี เพราะพวงลูกถ้วยฉนวนไฟฟ้าที่เฟสบนสุดอยู่ไกลจากรากสายดินมากที่สุดจึงทำให้อัตราการเพิ่มขึ้นของแรงดันมากที่สุด แบบจำลองรากสายดินแบบที่ 2 เกิดวาทตามผิวย้อนกลับเร็วที่สุดและแบบจำลองรากสายดินแบบที่ 3 เกิดวาทตามผิวย้อนกลับช้าที่สุดโดยระยะเวลาในการเกิดวาทตามผิวมีค่าน้อยลง

เมื่อความต้านดินมีค่าสูงขึ้นและยังพบว่าหากระบบป้องกันทำงานผิดพลาดจะส่งผลให้แรงดันเกินในระบบสูงมาก ทำให้อุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าเกิดความเสียหาย เพื่อลดผลกระทบเหตุการณ์ดังกล่าว ควรลดน้ำลงบริเวณดินที่ฐานเสาไฟฟ้าและเติมสารอิเล็กโทรไลต์เพื่อให้ดินนำพาประจุไฟฟ้าได้ดี ลดระดับของการเกิดควาปไฟตามผิวที่มีความรุนแรงลงได้อีกทั้งยังสามารถนำผลการจำลองที่ได้ไปใช้ในการทำการประสานความสัมพันธ์การฉนวน (coordination system) ของอุปกรณ์ป้องกันในระบบไฟฟ้ากำลังซึ่งจะนำเสนอในครั้งถัดไป

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและห้องปฏิบัติการทดสอบวิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้การสนับสนุนด้านข้อมูลในการทำวิจัยนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] พีรพล จิราพงษ์, กรณีศึกษาที่ 7 “แรงดันเกินเนื่องจากฟ้าผ่าและวาบไฟตามผิวย้อนกลับ”, การฝึกอบรมการใช้โปรแกรม PSCAD/EMTDC
- [2] PSCAD X4 manual, 2012.
- [3] IEC 60060-1 High-voltage test techniques – Part 1: General definitions and requirements.
- [4] S. Hintamai, J. Hokierit, “Lightning Surge Response Analysis of Concrete Pole Using the Electromagnetic Field Method”, Sripatum University, and Kasetsart University, Bangkok, Thailand.
- [5] กองมาตรฐานระบบไฟฟ้าฝ่ายมาตรฐานและความปลอดภัย การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, “หนังสือคำแนะนำมาตรฐานการก่อสร้างสายส่ง 115 kV ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค”, ธันวาคม 2550
- [6] Earthing Technique, Lightning & Surge Technologies.
- [7] Leonid Grcv, Senior Member, “Modeling of Grounding Electrodes under Lightning Currents”, Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies, Ss. Cyril and Methodius University, Skopje 1000, Macedonia.
- [8] I.F. Gonos, I.A. Stathopulo, “Soil ionization under lightning impulse voltage”, Nation Technical University of Athens, Greece, April.