ฟ้าผ่าและการป้องกัน (ตอนที่ ๑)

น.อ.เทอดศักดิ์ แท้เที่ยง
กองวิชาวิศวกรรมศาสตร์

การเกิดฟ้าผ่า

มนุษย์คุ้นเคยกับไฟฟ้าแรงสูงในชีวิตประจำวันโดยไม่รู้ตัวมานานแล้วตั้งแต่สมัยดึกดำบรรพ์ นั่นก็คือไฟฟ้าแรงสูงที่เป็นปรากฏการณ์ฟ้าผ่าตามธรรมชาติ อันเป็นผลจากการเกิดดีสชาร์จหรือการคายประจุไฟฟ้าที่สะสมอยู่ในก้อนเมฆ ซึ่งมีศักย์ไฟฟ้าสูงตั้งแต่ ๑๐ ถึง ๑๐๐ เมกกะโวลท์ โดยเป็นไปตามหลักการเกิดดีสชาร์จเบรคดาวน์ในก๊าซ เพียงแต่ดีสชาร์จของฟ้าผ่าเกิดขึ้นได้โดยไม่ต้องมีอีเล็คโตรดการสะสมของประจุที่มีขั้วต่างกันเป็นผลให้เกิดสนามไฟฟ้าระหว่างกลุ่มประจุเหล่านั้น ถ้าประจุสะสมรวมกันมีปริมาณมากขึ้น จะทำให้ความเข้มของสนามไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นเกินค่าวิกฤติความคงทนของอากาศต่อแรงดันไฟฟ้า และจะส่งผลให้เกิดการดีสชาร์จของประจุขึ้น อันเป็นจุดเริ่มต้นของการนำไปสู่การเกิดดีสชาร์จเบรคดาวน์ขึ้น การเกิดดีสชาร์จเบรคดาวน์นี้อาจเกิดระหว่างก้อนเมฆซึ่งเรียกว่า **ฟ้าแลบ** หรือระหว่างก้อนเมฆกับพื้นโลก ซึ่งเรียกว่า **ฟ้าผ่า**

ฟ้าผ่าขึ้นและฟ้าผ่าลง

ฟ้าผ่าพื้นโลก อาจจะเริ่มต้นจากก้อนเมฆในบริเวณที่มีความเข้มสนามไฟฟ้าสูงถึงค่าวิกฤติ เกิดการแตกตัวของอนุภาคโมเลกุลในอากาศ แล้วขยายตัวออกไปเป็นลีดเดอร์วิ่งลงสู่พื้นโลก ทำให้เกิดการดีสชาร์จประจุลงสู่พื้นโลกเป็นลำฟ้าผ่าเรียกว่า **ฟ้าผ่าลง**

ฟ้าผ่าอาจจะเริ่มต้นจากพื้นโลกไปสู่ก้อนเมฆ เรียกว่า **ฟ้าผ่าขึ้น** โดยมากลีดเดอร์จะเริ่มต้นก่อตัวจากวัตถุหรือสิ่งก่อสร้างสูง ๆ ในพื้นที่ราบจะเริ่มจากยอดที่สูงจากพื้นตั้งแต่ ๑๐๐ เมตรขึ้นไป เช่น ยอดเสาหรือหอคอยสูง ๆ หรือสิ่งก่อสร้างที่อยู่บนยอดเขาสูง แต่กระแสฟ้าผ่าขึ้นจะมีค่าต่ำเป็นร้อย ๆ แอมแปร์เท่านั้น ส่วนมากที่สังเกตุจะพบว่าฟ้าผ่าขึ้นมักจะเป็นผลสืบเนื่องมาจากฟ้าผ่าลง โดยที่ลำฟ้าผ่านำประจุจากก้อนเมฆลงสู่พื้นโลกมากเกินไป จึงเกิดการย้อนกลับสู่ก้อนเมฆเป็นฟ้าผ่าขึ้น

ทั้งฟ้าผ่าขึ้นและฟ้าผ่าลงจะเกิดขึ้นในช่วงระยะเวลาอันสั้นและรวดเร็ว ไม่สามารถจะแยกได้ว่าเป็นฟ้าผ่าขึ้นหรือฟ้าผ่าลง แต่อาจสังเกตดูจากลำแสงฟ้าผ่าซึ่งมีลักษณะของฟ้าผ่าขึ้นและฟ้าผ่าลงต่างกัน กล่าวคือ ถ้าเป็นฟ้าผ่าลงจะมีแขนงแตกจากลำฟ้าผ่ากระจายลงสู่พื้นโลก มีลักษณะคล้าย รากต้นไม้ ทั้งนี้เนื่องจากลีดเดอร์ที่กรุยทางลงมาจะขยายตัวลงมาหลาย ๆ ทางแล้วแต่ว่าทางใดจะเกิดการแตกตัวของอนุภาคโมเลกุลในอากาศได้ง่ายกว่ากัน ในทางตรงกันข้ามฟ้าผ่าขึ้นจะสังเกตเห็นการขยายตัวของแขนงขึ้นไปสู่เบื้องบน

ขั้วของกระแสฟ้าผ่า

กระแสฟ้าผ่าเป็นกระแสที่ไหลทางเดียวอาจเป็นบวกหรือลบก็ได้ ฉะนั้นขั้วบวกหรือลบจึงเป็นคุณสมบัติอย่างหนึ่งของฟ้าผ่า กระแสฟ้าผ่าบวกหมายถึง ลำฟ้าผ่านำเอาประจุบวกจากก้อนเมฆดีสชาร์จลงสู่พื้นโลก กระแสฟ้าผ่าลบหมายถึง ลำฟ้าผ่านำเอาประจุลบจากก้อนเมฆดีสชาร์จลงสู่พื้นโลก จากการบันทึกรวบรวมข้อมูลฟ้าผ่าพบว่าประมาณร้อยละ ๘๐ ของฟ้าผ่าสู่พื้นโลกเป็นฟ้าผ่าลบ ส่วนที่เหลือร้อยละ ๒๐ เป็นฟ้าผ่าบวก

ขนาดกระแสฟ้าผ่า

ขนาดกระแสฟ้าผ่า หมายถึง ค่ายอดของรูปคลื่นฟ้าผ่า จะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับว่าเป็นฟ้าผ่าขึ้นหรือฟ้าผ่าลงและเป็นกระแสฟ้าผ่าบวกหรือกระแสฟ้าผ่าลบ จากการบันทึกข้อมูลฟ้าผ่าที่วัดได้จากสถานีวิจัยฟ้าผ่าบนยอดเขา SAN SALVATORE ที่อยู่ทางภาคใต้ของประเทศสวิตเซอร์แลนด์ พบว่ากระแสฟ้าผ่ามีค่าเฉลี่ยประมาณ ๓๐ กิโลแอมป์ โดยที่กระแสฟ้าผ่าลบมีค่าสูงสุดถึง ๙๐ กิโลแอมป์ และกระแสฟ้าผ่าบวกมีค่าสูงสุดถึง ๒๗๐ กิโลแอมป์ แต่โอกาสที่กระแสฟ้าผ่าขนาดมากกว่า ๑๐๐ กิโลแอมป์ มีโอกาสเกิดขึ้นประมาณ ๖%และที่มากกว่า ๒๐๐ กิโลแอมป์มีโอกาสเกิดขึ้นเพียง ๐.๗% เท่านั้น

จำนวนฟ้าผ่าต่อเนื่อง

ลักษณะที่สำคัญอีกประการหนึ่งของฟ้าผ่าก็คือจำนวนฟ้าผ่าซ้ำซ้อนในแต่ละครั้ง เมื่อลำฟ้าผ่าวิ่งไปตามแนวที่เกิดการแตกตัวของอากาศระหว่างก้อนเมฆกับพื้นดิน เนื่องจากกระแสมีค่าสูงมาก และไหลอยู่เป็นเวลานาน เช่น เมื่อผ่าลงมาแล้ว ๑๐ มิลลิวินาที แต่ยังคงมีกระแสไหลอยู่ ๒๐๐ - ๓๐๐ แอมป์ หรือแม้ว่ากระแสจะหยุดไหลไปแล้ว ๑๐ - ๑๐๐ มิลลิวินาทีก็ตาม แต่อากาศในแนวที่ลำฟ้าผ่า วิ่งผ่านลงมานั้นยังไม่คืนตัวเป็นฉนวนได้ทันที จึงเป็นเหตุให้ประจุในก้อนเมฆที่เกิดขึ้นใหม่สามารถคายประจุติดต่อกันได้อีกเรียกว่า ฟ้าผ่าตาม ซึ่งอาจเกิดซ้ำซ้อนได้หลายครั้ง ฟ้าผ่าตามนี้จะสังเกตเห็นได้ว่าไม่มีแขนง จากการบันทึกข้อมูลฟ้าผ่าของการผ่าซ้ำซ้อนหลาย ๆ ครั้งพบว่าประมาณร้อยละ ๓๐ - ๖๐ เป็นการผ่าซ้ำซ้อน ๒ ครั้งร้อยละ ๒๐ เป็นการผ่าซ้ำซ้อน ๕ ครั้งและการผ่าซ้ำซ้อนอาจผ่าซ้ำได้ถึง ๔๐ ครั้ง

ผลของฟ้าผ่า

ผลของฟ้าผ่า ก่อให้เกิดความเสียหายและเกิดอันตราย แยกออกเป็น ๓ ประเภทคือ

๑. ผลทางความร้อน
๒. แรงบิดและแรงระเบิด
๓. ผลทางไฟฟ้า

๑. ผลทางความร้อน ในขณะเกิดฟ้าผ่า จะสังเกตเห็นลำแสงที่เรียกว่า ลำฟ้าผ่า ซึ่งจะเกิดประจุจากการไอออนไนเซชั่นในอากาศโดยมีเส้นผ่าศูนย์กลางเป็นสิบ ๆ เมตร ที่ใจกลางของลำฟ้าผ่ามีลำแคบ ๆ แสงจ้า เส้นผ่าศูนย์กลางเป็นเซ็นติเมตรและมีอุณหภูมิสูงถึง 30,000° K อุณหภูมิสูงมากเช่นนี้ย่อมทำให้เกิดเพลิงไหม้หรือเกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตได้ จากผลการวิเคราะห์ความร้อนเนื่องจากกระแสฟ้าผ่าแสดงให้เห็นว่า เมื่อฟ้าผ่าลงสิ่งที่มีความต้านทานสูง ๆ เช่น ต้นไม้หรือกำแพงปูนความร้อนซึ่ง เกิดจากกระแสมากเช่นนี้ทำให้ต้นไม้หรือกำแพงปูนเหล่านั้นแตกหักหรือระเบิดได้ ในกรณีที่ฟ้าผ่าลงบนวัสดุฉนวน กระแสฟ้าผ่าจะวิ่งไปตามแนวที่มีความต้านทานน้อยที่สุด ความชื้นที่มีอยู่ภายในจะเปลี่ยนเป็นไอที่มีความดันทำให้เกิดการระเบิดได้ เช่นกัน

๒. แรงบิดและแรงระเบิด ผลของฟ้าผ่า นอกจากจะเกิดความร้อนแล้ว ยังทำให้เกิดแรงบิดได้อีก เช่นเมื่อกระแสฟ้าผ่าไหลผ่านตัวนำในระบบส่งจ่ายโดยกระแสไหลในทิศทางเดียวกันจะทำให้เกิดแรงดูดกันระหว่างตัวนำทั้งสอง และจะเกิดแรงผลักกันเมื่อกระแสไหลสวนทางกันทำให้สายส่งแกว่งได้ แรงบิดที่เกิดขึ้นนี้เป็นปฏิภาคโดยตรงกับกระแสยกกำลังสอง แต่เป็นปฏิภาคกลับกับระยะห่างระหว่างสายนำทั้งสอง ส่วนแรงระเบิดสามารถเกิดได้เช่น ลำฟ้าผ่าที่มีอุณหภูมิสูงมากถึง 30,000° K หรือมากกว่า ทำให้อากาศรอบ ๆ ลำฟ้าผ่านั้นเกิดการขยายตัวออกอย่างรวดเร็ว เป็นผลทำให้เกิดคลื่นความดันในย่านความเร็วเหนือเสียงแผ่กระจายออกไปรอบลำฟ้าผ่า เกิดเสียงดังสนั่นหวั่นไหวที่เราเรียกว่า **เสียงฟ้าผ่า** หรือได้ยินเสียงมาแต่ไกล เรียกว่า **ฟ้าร้อง** นั่นเอง

๓. ผลทางไฟฟ้า ผลจากฟ้าผ่าซึ่งมีผลทางไฟฟ้านั้น นอกจากก่อให้เกิดคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากระจายออกไปรบกวนระบบสื่อสาร หรือเกิดความเสียหายแก่เครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ที่มีความไวสูงต่อสนามแม่เหล็กไฟฟ้าแล้ว ยังจะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะอันเนื่องมาจากค่าความเหนี่ยวนำของสายตัวนำ และจากค่าความต้านทานของดินที่กระแสฟ้าผ่าวิ่งผ่าน

ค่าแรงดันไฟฟ้าชั่วขณะนี้อาจสูงมากพอที่จะทำให้เกิดการสปาร์คด้านข้างได้ ถ้าค่าความต้านทานของดินหรือค่าความเหนี่ยวนำของสายตัวนำมีค่าสูง และมีสิ่งที่เป็นโลหะหรือสิ่งมีชีวิตอยู่ใกล้บริเวณนั้น เช่น ระบบป้องกันฟ้าผ่าแบบฟาราเดย์ ประกอบด้วย สายอากาศล่อฟ้า สายนำ ลงดิน และรากสายดิน ถ้าหากรากสายดินในระบบป้องกันฟ้าผ่าผุกร่อนหรือขาดออกจากกัน และถ้าเราไปยืนในบริเวณนั้น ขณะเกิดฟ้าผ่าจะเกิดการสปาร์คด้านข้างเข้าหาตัวเราก่อให้เกิดอันตรายถึงชีวิต ทางกลับกันถ้าระบบป้องกันฟ้าผ่าดังกล่าวนี้สมบูรณ์ไม่ผุกร่อนหรือขาดออกจากกัน จะเป็นที่ที่ปลอดภัยแห่งหนึ่ง

ถ้าหากฟ้าผ่าลงบนสายดินซึ่งอยู่เหนือสายไฟในระบบส่งจ่ายและที่ฐานเสาโครงเหล็กมีค่าความต้านทานสูง จะทำให้เสาโครงเหล็กมีแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าแรงดันไฟฟ้าในสายไฟในระบบส่งจ่าย จึงเป็นเหตุให้เกิดการวาบไฟตามผิวของพวงลูกถ้วยที่ยึดสายไฟนั้นได้ ทำให้กระทบกระเทือนต่อเสถียรภาพของระบบส่งจ่ายไฟฟ้ากำลัง

ถ้าหากฟ้าผ่าลงบนสายส่งไฟฟ้ากำลัง จะเป็นผลทำให้เกิดแรงดันสูงเป็นคลื่นจรวิ่งไปตามสายส่ง และค่าแรงดันสูงนี้เมื่อวิ่งมาถึงจุดที่มีอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น หม้อแปลง อาจทำให้เกิดความเสียหายต่อการ

ฉนวนของหม้อแปลงนั้นได้ ถ้าหากระบบป้องกันของหม้อแปลงไม่มีหรือไม่ทำงาน

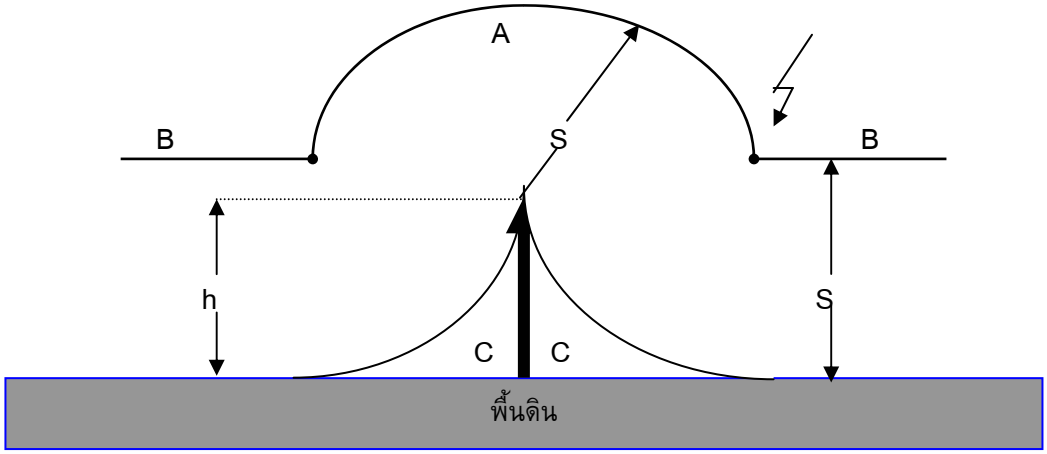
หลักการฟ้าผ่าลงที่ใด

ดังที่ทราบแล้วว่าลำฟ้าผ่าจะวิ่งไปตามแนวที่ลีดเดอร์นำทางด้วยการเกิดการแตกตัวของอากาศ และลีดเดอร์เคลื่อนที่เป็นจังหวะก้าวเข้าใกล้พื้นโลกในทิศทางที่เคลื่อนที่ได้สะดวกที่สุด จนมาถึงระยะหนึ่งใกล้พื้นโลกจะทำให้เกิดสตรีมเมอร์ จากวัตถุหรือสิ่งก่อสร้างบนพื้นโลกมีแนวและทิศทางเข้าหา ลีดเดอร์ที่ วิ่งลงมา เป็นการชักจูงหรือล่อให้ลีดเดอร์วิ่งเข้าหา ระยะช่วงสุดท้ายที่ลีดเดอร์ถูกล่อหรือชักจูงด้วยรูปลักษณะของวัตถุหรือสิ่งก่อสร้างที่อยู่บนพื้นโลก จนทำให้เกิดฟ้าผ่าลง ณ จุดนั้น ระยะ ดังกล่าวเรียกว่า **ระยะฟ้าผ่า**

ระยะฟ้าผ่า เป็นระยะช่วงสุดท้ายของลีดเดอร์ที่จะวิ่งเข้าหาวัตถุที่อยู่ใกล้ที่สุด จากสถิติของการบันทึกภาพ พบว่า ระยะฟ้าผ่าอยู่ในช่วงตั้งแต่ ๑๐ ถึง ๑๕๐ เมตร โดยเฉลี่ยมีค่าประมาณ ๕๐ เมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของประจุหรือขนาดของกระแสฟ้าผ่านั่นเอง ถ้าปริมาณประจุหรือขนาดของกระแสฟ้าผ่ามีค่ามากระยะฟ้าผ่าก็จะไกล ในทำนองเดียวกัน ถ้าปริมาณประจุหรือขนาดของกระแสฟ้าผ่ามีค่าน้อย ระยะฟ้าผ่าก็จะใกล้

ย่านปลอดภัยจากฟ้าผ่า

ย่านปลอดภัยจากฟ้าผ่า หมายถึง บริเวณที่ปลอดภัยจากฟ้าผ่า ย่านดังกล่าวเกิดขึ้นจากการใช้เสาหรือสายล่อฟ้าเป็นตัวรับฟ้าผ่า แล้วให้กระแสฟ้าผ่าวิ่งลงสู่ดินตามสายนำลงดิน แผ่กระจายหายไปในดินโดยผ่านทางรากสายดิน เมื่อพิจารณาถึงกลการเกิดฟ้าผ่าแล้ว จะเห็นว่ารูปร่างของวัตถุที่อยู่ติดดินไม่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของลีดเดอร์ในการล่อให้ผ่า จนกว่าลีดเดอร์จะเคลื่อนที่เข้ามาอยู่ในช่วงระยะฟ้าผ่า เมื่อลีดเดอร์วิ่งมาถึงจุดนี้แล้วฟ้าจะผ่าลงสู่จุดที่อยู่ใกล้ลีดเดอร์ที่สุด

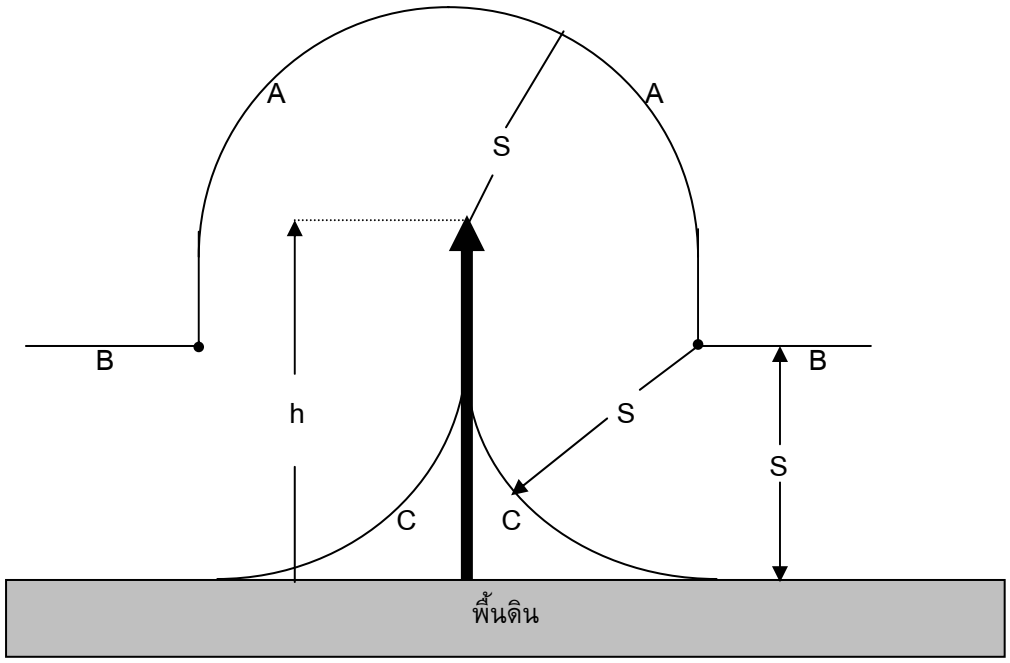


กรณี h < S ลีดเดอร์ของฟ้าผ่าจะเคลื่อนที่ทะลวงลงมาโดยตรงหรือทำมุมกับเสาล่อฟ้าได้ถึงพื้นที่โค้ง A ฟ้าจะผ่าลงยอดเสาล่อฟ้า แต่ถ้าลีดเดอร์เคลื่อนที่เข้ามาทางด้านข้าง คือแนวพื้นที่ B ฟ้าจะผ่าลงพื้นดิน ฉะนั้นย่านปลอดภัยคือบริเวณที่ได้จากการหมุนเส้นโค้งไฮเปอร์โบลารอบแกนเสาล่อฟ้า คือพื้นที่ C นั่นเอง

h = ความสูงของเสาล่อฟ้า

S = ระยะฟ้าผ่า

C = ย่านปลอดภัย



กรณี h > S เช่นเสาอากาศส่งวิทยุ ทีวี ย่านปลอดภัยจะได้จากการหมุนเส้นโค้งไฮเปอร์โบลารอบแกนเสาล่อฟ้าคือพื้นที่ C นั่นเอง จากรูปจะแสดงให้เห็นว่าโอกาสที่ฟ้าจะผ่าเข้าด้านข้างเสาล่อฟ้าจะเป็นไปได้

h = ความสูงของเสาล่อฟ้า

S = ระยะฟ้าผ่า

C = ย่านปลอดภัย

เอกสารอ้างอิง

๑. Naidu, M. & Kamaraju,V, Hjgh Voltage Engineering , Tata Mc Graw Hill

๒. Khalifa, M., Hjgh Voltage Engineering , Mareel Dekker , New York

๓. ดร. สำรวย สังข์สะอาด , วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง