



ระบบป้องกันฟ้าผ่า ตอนที่ 1

บทความฉบับนี้จะกล่าวถึงระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอกสิ่งปลูกสร้าง และระบบป้องกันฟ้าผ่าภายในสำหรับระบบไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์ที่ติดตั้งภายในสิ่งปลูกสร้าง ซึ่งได้เรียบเรียงขึ้นตามมาตรฐานป้องกันฟ้าผ่า โดยวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.) ซึ่งมีวัตถุประสงค์ในการจัดทำขึ้นเพื่อให้ผู้ออกแบบ ผู้ควบคุมงาน ผู้จัดหา ผู้เรียน ผู้สอน ตลอดจนผู้สนใจงานวิศวกรรมป้องกันฟ้าผ่าสามารถนำมาตรฐานไปใช้งานได้อย่างถูกต้อง และมีความปลอดภัยสูงต่อไป

โดยเนื้อหาดังกล่าวได้มีการจัดทำ และอ้างอิงตามมาตรฐาน IEC 62305 -1, 2, 3, 4 ซึ่งสามารถแบ่งออกได้ทั้งหมด 4 ภาค ได้แก่

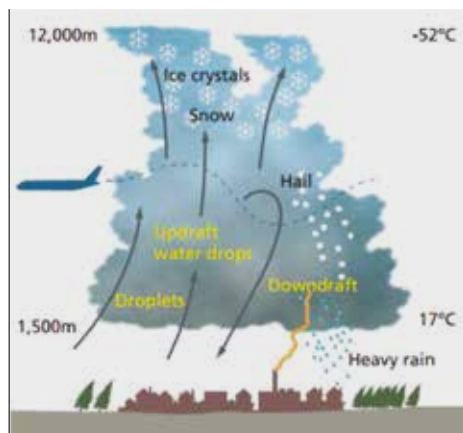
1. ภาคที่ 1 ข้อกำหนดทั่วไป
2. ภาคที่ 2 การบริหารความเสี่ยง
3. ภาคที่ 3 ความเสียหายทางกายภาพต่อสิ่งปลูกสร้าง และอันตรายต่อชีวิตจากฟ้าผ่า
4. ภาคที่ 4 ระบบไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ภายในสิ่งปลูกสร้าง

มาตรฐานนี้เป็นข้อบังคับทั่วไปในการป้องกันฟ้าผ่าสำหรับสิ่งปลูกสร้าง รวมทั้งการติดตั้งและสิ่งที่อยู่ภายใน รวมถึงบุคคลและระบบสาธารณูปโภคที่ต่อเข้ากับสิ่งปลูกสร้าง แต่ไม่ครอบคลุมถึงระบบแรงดันไฟฟ้า การติดตั้งในรถ เรือ อากาศยาน และการติดตั้งนอกฝั่ง ระบบท่อ

ความดันสูงที่ฝังดิน ระบบท่อ ไฟฟ้า และสายสื่อสารที่ไม่ได้ต่อเข้ากับสิ่งปลูกสร้าง ซึ่งจะมีข้อกำหนดพิเศษจากหน่วยงานที่มีหน้าที่เกี่ยวข้องโดยเฉพาะ

ความรู้พื้นฐานของการป้องกันฟ้าผ่า การเกิดขึ้นของฟ้าผ่า

ฟ้าผ่าเป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นในเวลาที่มีพายุ ฟ้าคะนอง ฝนตก และลมแรง ฟ้าผ่าก่อให้เกิดเสียงดังกึกก้อง และบางครั้งจะเห็นฟ้าแลบเกิดขึ้นก่อนฟ้าผ่า เมื่อก่อนเมฆเคลื่อนที่ก็จะมีความเร็วและเกิดการเสียดสีกับโมเลกุลของหยดน้ำและน้ำแข็งภายในก้อนเมฆ -> **รูปที่ 1** ทำให้เกิดการแตกตัวของประจุไฟฟ้า โดยประจุลบส่วนใหญ่จะอยู่ทางด้านล่างของก้อนเมฆ ขณะที่ประจุบวกจะอยู่ทางด้านบนของ



รูปที่ 1 แสดงการเคลื่อนที่ของก้อนเมฆทำให้เกิดลมและเกิดการเสียดสีของโมเลกุลระหว่างหยดน้ำและน้ำแข็งภายในก้อนเมฆ

ก้อนเมฆ ประจุลบด้านล่างก้อนเมฆมีความสามารถในการเหนี่ยวนำให้อัตถุทุกสิ่งที่อยู่ภายใต้ก้อนเมฆเป็นประจุบวกได้ทั้งหมด พร้อมทั้งดึงดูดให้ประจุบวกวิ่งขึ้นมาหาประจุลบได้ ทั้งนี้หากประจุลบได้ก้อนเมฆมีปริมาณมากพอ จะทำให้อากาศด้านล่างก้อนเมฆค่อยๆ แตกตัว ประจุลบสามารถวิ่งลงมาด้านล่าง และบรรจบกับประจุบวกที่วิ่งขึ้นมา เนื่องจากความต่างศักย์ระหว่างก้อนเมฆและพื้นดินที่มีมากพอ ทำให้เกิดเป็นฟ้าผ่าได้ในที่สุด การเกิดฟ้าผ่ามี 4 แบบ ได้แก่

1. เกิดภายในก้อนเมฆ
2. เกิดระหว่างก้อนเมฆ
3. เกิดระหว่างก้อนเมฆและอากาศ
4. เกิดระหว่างก้อนเมฆและพื้นดิน

การเกิดฟ้าผ่าภายในก้อนเมฆ เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นมากที่สุด เป็นสัดส่วนมากกว่า 50% ของการเกิดทั้งหมด เรียกว่า **ฟ้าแลบ** แต่ฟ้าผ่าแบบที่ทำให้เกิดความเสียหายต่อทรัพย์สินและชีวิตมนุษย์ เป็นการเกิดระหว่างก้อนเมฆและพื้นดิน มีสัดส่วนการเกิดขึ้นประมาณ 45% โดยก้อนเมฆที่ทำให้เกิดฟ้าผ่าได้จะต้องมีขนาดความลึก 3-4 กิโลเมตร ยิ่งมีขนาดใหญ่มากก็จะสามารถเกิดฟ้าผ่าได้บ่อยมากขึ้น ฟ้าผ่าเกิดขึ้นเมื่อมีความต่างศักย์ ระหว่างจุดเริ่มกับพื้นโลกมากกว่า 10 เมกะโวลต์ ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าได้ระหว่าง 20-400 กิโลแอมแปร์ อุณหภูมิมากถึง 30,000 เคลวิน (ประมาณ 29,727 องศาเซลเซียส) ลักษณะการเกิดลำประจุเริ่มของการเกิดฟ้าผ่าในแบบที่เกิดขึ้นบ่อยที่สุดคือ ลำประจุลบที่ก้อนเมฆเคลื่อนที่ลงสู่พื้นดิน ซึ่งมีประจุลบ → **รูปที่ 2-4** เมื่อประจุลบนั่นอยู่เหนือพื้นดินประมาณ 45.7 เมตร หรือ 150 ฟุต จึงจะทำให้เกิดฟ้าผ่าลงที่วัตถุ

ฟ้าผ่ามีหลายประเภท ทั้ง **ฟ้าผ่าลบ** (Negative Lightning) จะเป็นการถ่ายเทประจุไฟฟ้าลบจากก้อนเมฆสู่พื้นดิน ประกอบไปด้วยหลายสาย มีกระแสไฟฟ้าโดยเฉลี่ย 30kA ซึ่งคิดเป็นสัดส่วนในการเกิดขึ้นมากกว่า 95% ในขณะที่ **ฟ้าผ่าบวก** (Positive Lightning) จะเป็นการถ่ายเทประจุไฟฟ้าบวกจากด้านบนของก้อนเมฆสู่พื้นดิน ประกอบไปด้วยเส้นสายเดียว มีกระแสไฟฟ้าโดยเฉลี่ย 300kA หรือประมาณ 10 เท่าของฟ้าผ่าลบ มีโอกาสเกิดขึ้นน้อยกว่า 5%

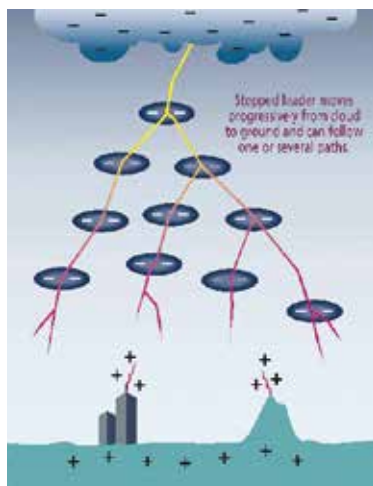


รูปที่ 5 แสดงลำประจุการเริ่มของการเกิดฟ้าผ่าทั้ง 4 แบบ ตาม Karl Berger (1978)

ลำประจุเริ่มของการเกิดฟ้าผ่า อาจเกิดขึ้นได้ในลักษณะอื่นอีก ได้แก่ การเคลื่อนที่ของลำประจุบวกจากเมฆลงมา การเคลื่อนที่ของลำประจุลบขึ้นจากพื้นโลก และการเคลื่อนที่ของลำประจุบวกขึ้นจากพื้นโลก ซึ่งการเคลื่อนที่ขึ้นของลำประจุเป็นกรณีที่เกิดขึ้นน้อยมาก → **รูปที่ 5**

จะเห็นว่าทุกบริเวณได้เงาเมฆฝนฟ้าคะนองมีโอกาสเสี่ยงต่อการเกิดฟ้าผ่าได้หมด ไม่ว่าที่สูง ที่ต่ำ กลางแจ้ง เพียงแต่จุดเสี่ยงที่มีโอกาสเกิดฟ้าผ่าได้มากที่สุด คือที่โล่งแจ้ง เช่น สระน้ำ ชายหาด สนามกอล์ฟ ฯลฯ และจุดที่สูงในบริเวณนั้นๆ เช่น ต้นไม้ อาคารสูง เนื่องจากประจุไฟฟ้ามีโอกาสวิ่งมาเจอกันได้เร็วที่สุด ส่วนวัตถุที่เป็นตัวทำให้ฟ้าผ่าใส่มนุษย์ได้มากที่สุด คือวัตถุที่อยู่สูงเหนือจากศีรษะมนุษย์ขึ้นไป โดยเฉพาะสิ่งของที่มีปลายแหลม

ฟ้าผ่าเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างไม่แน่นอน มีความซับซ้อนและทำนายไม่ได้ จึงเป็นการยากที่จะป้องกันไม่ให้เกิดขึ้น อีกทั้งในปัจจุบันตึกสูงมีจำนวนเพิ่มขึ้น อุปกรณ์และเครื่องใช้ไฟฟ้าในตึกหรือที่อยู่อาศัยมีมูลค่าเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นระบบป้องกันอันตรายจากฟ้าผ่าจึงมีความสำคัญมากขึ้นด้วย



รูปที่ 2-4 แสดงการเคลื่อนที่ของประจุลบที่วิ่งมากับประจุบวกที่วิ่งขึ้นมาบรรจบกัน

ความเสี่ยงต่อการถูกฟ้าผ่า หมายถึง ความเสี่ยงต่อการสูญเสียชีวิตและทรัพย์สิน ทั้งนี้อันตรายจากฟ้าผ่าเกิดจาก 3 สาเหตุ ได้แก่ **ความร้อน** เป็นเหตุให้เกิดเพลิงไหม้ **แรงกล** เป็นเหตุให้เกิดระเบิดได้ และ**กระแสไฟฟ้า** เป็นอันตรายต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าและชีวิต

ดังนั้น **ระบบป้องกันฟ้าผ่า** หมายถึงระบบที่ทำหน้าที่ลดอันตรายจากปรากฏการณ์ฟ้าผ่าที่เกิดขึ้นอาคาร ทรัพย์สินในอาคาร และคนในอาคาร รวมทั้งสัตว์เลี้ยงในบริเวณอาคารด้วย โดยไม่จำกัดว่าต้องใช้กับอาคารขนาดใหญ่เท่านั้น แต่ครอบคลุมถึงบ้านพักอาศัยขนาดเล็ก คอกปศุสัตว์ ฟังพักใช้งานชั่วคราว เช่น เกียงนา ที่พักผู้โดยสารริมทางสัญจรต่างๆ ซึ่งมีความเสี่ยงที่อาจเกิดฟ้าผ่า ดังนั้นจึงต้องตระหนักถึงความสำคัญในการทำความเข้าใจ และติดตั้งให้ระบบป้องกันฟ้าผ่าสามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพตามที่ได้ออกแบบไว้

มาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่า โดยวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์

ภาคที่ 1 ข้อกำหนดทั่วไป (General Principles)

เรื่องนิยาม คำจำกัดความ และคำพารามิเตอร์ของกระแสฟ้าผ่า ซึ่งในบทความนี้จะขอไม่กล่าวถึงในรายละเอียด แต่ผู้สนใจสามารถอ่านเพิ่มเติมได้จากหนังสือมาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าของ วสท. ได้

1. ความเสียหายจากฟ้าผ่า สามารถแยกความเสียหายออกได้เป็น

1.1 ความเสียหายต่อสิ่งปลูกสร้าง

ฟ้าผ่าลงสิ่งปลูกสร้าง สามารถทำให้เกิดความเสียหายต่อสิ่งปลูกสร้าง ผู้อยู่อาศัย และสิ่งของที่อยู่ภายใน รวมทั้งระบบภายในทำงานล้มเหลวได้ ความเสียหายและความล้มเหลวอาจขยายไปยังบริเวณโดยรอบสิ่งปลูกสร้างและยังอาจส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมบริเวณนั้น ซึ่งขอบเขตการขยายความเสียหายจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของสิ่งปลูกสร้างและคุณลักษณะของวาวฟ้าผ่า

1.1.1 ผลกระทบของฟ้าผ่าที่มีต่อสิ่งปลูกสร้าง ได้แก่

- โครงสร้าง (ไม้ อิฐ คอนกรีต คอนกรีตเสริมเหล็ก โครงสร้างเหล็ก)
- ลักษณะการใช้งาน (บ้านที่อยู่อาศัย สำนักงาน ฟาร์ม โรงมหรสพ โรงแรม โรงเรียน โรงพยาบาล พิพิธภัณฑ์ โบสถ์ เรือนจำ ห้างสรรพสินค้า ธนาคาร โรงงานอุตสาหกรรม และสนามกีฬา)
- ผู้อยู่อาศัยและสิ่งของที่อยู่ภายใน (บุคคลและสัตว์ มีวัสดุติดไฟหรือไม่ติดไฟ มีวัสดุระเบิดหรือไม่ระเบิด ระบบไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ที่มีแรงดันทนต่ำหรือสูง)
- ระบบสาธารณูปโภคที่ต่ออยู่ (สายไฟฟ้า สายโทรคมนาคม ระบบท่อต่างๆ)

- มาตรการป้องกันที่มีอยู่เดิม หรือที่ได้จัดหาไว้แล้ว (การป้องกันเพื่อลดความเสียหายทางกายภาพและอันตรายต่อชีวิต มาตรการป้องกันความล้มเหลวของระบบภายใน)
- ขอบเขตการขยายความเสียหาย (สิ่งปลูกสร้างที่อพยพผู้คนได้ลำบาก หรือสิ่งปลูกสร้างที่อาจก่อให้เกิดความแตกตื่น สิ่งปลูกสร้างที่ทำให้เกิดอันตรายต่อบริเวณโดยรอบ สิ่งปลูกสร้างที่ทำให้เกิดอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม) -> ตารางที่ 1.1

1.1.2 แหล่งกำเนิดและชนิดของความเสียหายของสิ่งปลูกสร้าง

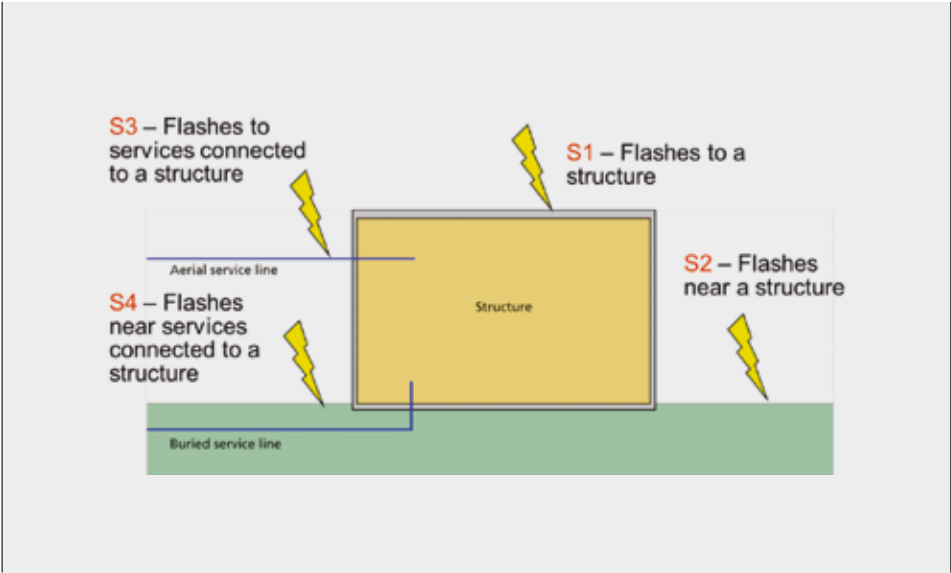
กระแสฟ้าผ่าเป็นแหล่งกำเนิดของความเสียหายซึ่งต้องคำนึงถึงสถานการณ์ต่างๆ ที่ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของฟ้าผ่าสัมพันธ์กับสิ่งปลูกสร้างที่กำลังพิจารณา ดังนี้ -> รูปที่ 6

S1 วาวฟ้าผ่าลงสิ่งปลูกสร้าง สามารถทำให้เกิด

- ความเสียหายทางกลทันที ไฟไหม้ และ/หรือการระเบิด เนื่องจากความร้อนจากอาร์กพลาสมาฟ้าผ่าเอง เนื่องจากกระแสไหลผ่านความต้านทานของตัวนำ (ตัวนำเกิดความร้อนเกิน) หรือเนื่องจากประกายทำให้เกิดการลัดวงจรทางอาร์ก (โลหะหลอมละลาย)

ตารางที่ 1.1 ผลกระทบของฟ้าผ่าที่มีต่อสิ่งปลูกสร้าง

ชนิดของสิ่งปลูกสร้างแบ่งตามลักษณะการใช้งาน และ/หรือ สิ่งที่อยู่ภายใน	ผลกระทบของฟ้าผ่า
บ้านที่อยู่อาศัย	• การติดตั้งทางไฟฟ้าเกิดการเจาะทะลุ เกิดไฟไหม้และวัสดุเสียหาย • ความเสียหายปกติกจะเกิดกับวัตถุเปิดโล่งต่อจุดฟ้าผ่าหรือทางผ่านของกระแสฟ้าผ่า • ความล้มเหลวของบริเวณที่ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ และระบบที่ติดตั้ง (เครื่องรับโทรทัศน์ คอมพิวเตอร์ ไมเค็ม โทรศัพท์)
อาคารที่เป็นฟาร์ม	• ความเสี่ยงที่จะเกิดไฟไหม้ และอันตรายจากแรงดันช่วงกว้างรวมทั้งความเสียหายของวัสดุ • ความเสี่ยงรองที่จะเกิดการสูญเสียเนื่องจากการเกิดไฟดับ และอันตรายต่อชีวิตของสัตว์เลี้ยง เนื่องจากความล้มเหลวของระบบควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ที่ควบคุมระบบระบายอากาศและระบบป้อนอาหาร เป็นต้น
โรงมหรสพ โรงแรม โรงเรียน ห้างสรรพสินค้า สนามกีฬา	• ความเสียหายของการติดตั้งทางไฟฟ้า (ระบบแสงสว่าง) มักทำให้เกิดการแตกตื่น • ความล้มเหลวของระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ ทำให้การผจญเพลิงล่าช้า
ธนาคาร บริษัทประกันภัย บริษัทธุรกิจ เป็นต้น	เช่นเดียวกับสิ่งปลูกสร้างข้างต้น โดยเพิ่มปัญหาเนื่องจากสูญเสียการติดต่อสื่อสาร ระบบคอมพิวเตอร์ล้มเหลว และการสูญเสียข้อมูล
โรงพยาบาล สถานพยาบาล เรือนจำ	เช่นเดียวกับสิ่งปลูกสร้างข้างต้น โดยเพิ่มปัญหาที่จะเกิดกับผู้ป่วยที่อยู่ในห้องไอซียู และความลำบากในการเคลื่อนย้ายผู้ป่วยที่ไม่สามารถเคลื่อนไหวได้
โรงงานอุตสาหกรรม	เช่นเดียวกับสิ่งปลูกสร้างข้างต้น ผลกระทบเพิ่มเติมขึ้นอยู่กับวัสดุที่อยู่ในโรงงาน โดยอาจเสียหายเล็กน้อยจนถึงขั้นยอมรับไม่ได้และการผลิตต้องหยุดชะงัก
พิพิธภัณฑ์ แหล่งโบราณสถาน และโบสถ์	เช่นเดียวกับสิ่งปลูกสร้างข้างต้น โดยเพิ่มปัญหาความสูญเสียมรดกทางวัฒนธรรมซึ่งไม่อาจทดแทนได้
ศูนย์โทรคมนาคม โรงไฟฟ้า	เช่นเดียวกับสิ่งปลูกสร้างข้างต้น โดยเพิ่มปัญหาการบริการสาธารณูปโภคขัดข้องที่ยอมรับไม่ได้
โรงงานดอกไม้ไฟ โรงงานเครื่องกระสุน	เช่นเดียวกับสิ่งปลูกสร้างข้างต้น โดยเพิ่มปัญหาการเกิดไฟไหม้ การระเบิดต่อเนื่องต่อโรงงาน และบริเวณรอบข้าง
โรงงานเคมี โรงกลั่นน้ำมัน โรงงานนิวเคลียร์ ห้องปฏิบัติการและโรงงานชีวเคมี	เช่นเดียวกับสิ่งปลูกสร้างข้างต้น โดยเพิ่มปัญหาการเกิดไฟไหม้ และโรงงานอาจทำงานผิดพลาด เกิดความเสียหายต่อเนื่องต่อท้องถิ่น และสิ่งแวดล้อมในวงกว้าง



รูปที่ 6 แสดงแหล่งกำเนิดของความเสียหายจากฟ้าผ่าทั้ง 4 แหล่ง

- เกิดไฟไหม้ และ/หรือ เกิดการจู่ระเบิด โดยประกายซึ่งเกิดจากแรงดันที่เกิดจากการคาบเกี่ยวทางความต้านทานและความเหนี่ยวนำ
- การบาดเจ็บของบุคคลเนื่องจากแรงดันสัมผัสและแรงดันช่วงก้าว
- ความล้มเหลวหรือการทำงานผิดพลาดของระบบภายใน เนื่องจากอิมพัลส์แม่เหล็กไฟฟ้าจากฟ้าผ่า

S2 วาบฟ้าผ่าใกล้สิ่งปลูกสร้าง สามารถทำให้เกิด

- ความล้มเหลวหรือการทำงานผิดพลาดของระบบภายใน เนื่องจากอิมพัลส์แม่เหล็กไฟฟ้าจากฟ้าผ่า

S3 วาบฟ้าผ่าลงระบบสาธารณูปโภคที่ต่อกับสิ่งปลูกสร้าง สามารถทำให้เกิด

- ไฟไหม้ และ/หรือ เกิดการจู่ระเบิด โดยประกายซึ่งเกิดจากแรงดันเกินและกระแสฟ้าผ่าที่ส่งผ่านระบบสาธารณูปโภคที่ต่ออยู่
- การบาดเจ็บของบุคคลเนื่องจากแรงดันสัมผัสภายในสิ่งปลูกสร้าง ซึ่งมีผลมาจากกระแสฟ้าผ่าที่ส่งผ่านระบบสาธารณูปโภคที่ต่ออยู่
- ความล้มเหลวหรือการทำงานผิดพลาดของระบบภายใน เนื่องจากแรงดันเกินที่ปรากฏบนสายที่ต่ออยู่และส่งผ่านเข้าสู่สิ่งปลูกสร้าง

S4 วาบฟ้าผ่าใกล้ระบบสาธารณูปโภคที่ต่อกับสิ่งปลูกสร้าง สามารถทำให้เกิด

- ความล้มเหลวหรือการทำงานผิดพลาดของระบบภายใน เนื่องจากแรงดันเกินที่ปรากฏบนสายที่ต่ออยู่และส่งผ่านเข้าสู่สิ่งปลูกสร้าง

ดังนั้น ฟ้าผ่าสามารถทำให้เกิดความเสียหายพื้นฐานต่อสิ่งปลูกสร้างได้ 3 ชนิด ได้แก่

- D1 ทำให้สิ่งมีชีวิตบาดเจ็บและเสียชีวิต เนื่องจากแรงดันสัมผัสและแรงดันก้าว

- D2 ความเสียหายทางกายภาพ เช่น ไฟไหม้ ระเบิด ความเสียหายทางกล การปลดปล่อยสารเคมี เนื่องจากผลของกระแสฟ้าผ่า รวมทั้งการเกิดประกาย
- D3 ความล้มเหลวของระบบภายใน เนื่องจากอิมพัลส์แม่เหล็กไฟฟ้าจากฟ้าผ่า

2. ความเสียหายต่อระบบสาธารณูปโภค

ผลของฟ้าผ่าอาจทำให้เกิดความเสียหายทางกายภาพของระบบสาธารณูปโภค (สายหรือท่อ) รวมทั้งบริเวณที่ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ที่ต่ออยู่ ขอบเขตของการขยายความเสียหายมากขึ้นขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของระบบสาธารณูปโภค แบบและการต่อขยายของระบบไฟฟ้า ระบบอิเล็กทรอนิกส์ และคุณลักษณะของวาบฟ้าผ่า -> ตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 ผลกระทบของฟ้าผ่าที่มีต่อระบบสาธารณูปโภค

ชนิดของสาธารณูปโภค	ผลกระทบของฟ้าผ่า
สายโทรคมนาคม	ความเสียหายทางกลต่อสาย การหลอมละลายของซีลด์ และตัวนำ การเบรกดาว์นของฉนวนของเคเบิลและบริเวณที่ ทำให้เกิดความล้มเหลวหลัก มีผลให้การให้บริการถูกตัดขาดทันที ความล้มเหลวของสายเคเบิลใยแก้ว ทำให้สายเคเบิลเกิดความเสียหาย แต่ระบบยังให้บริการต่อไปได้
สายไฟฟ้า	ความเสียหายต่อฉนวนของระบบสายเหนือดินแรงต่ำ ฉนวนของสายเคเบิลเกิดการเจาะทะลุ ฉนวนของบริเวณที่และหม้อแปลงเกิดการเบรกดาว์น ส่งผลให้ระบบไม่สามารถให้บริการต่อไปได้
ท่อน้ำ	ความเสียหายต่อบริเวณที่ควบคุมทางอิเล็กทรอนิกส์และไฟฟ้า มักทำให้ระบบไม่สามารถให้บริการต่อไปได้
ท่อก๊าซ ท่อน้ำมัน	การเจาะทะลุของปะเก็นโลหะที่หน้าแปลนของท่อ มักทำให้เกิดไฟไหม้ และ/หรือ เกิดการระเบิด ความเสียหายต่อบริเวณที่ควบคุมทางอิเล็กทรอนิกส์และไฟฟ้า มักทำให้ระบบไม่สามารถให้บริการต่อไปได้

2.1 ผลกระทบของฟ้าผ่าที่มีต่อระบบสาธารณูปโภค
ได้แก่

- รูปแบบการก่อสร้าง (สายเหนือดิน สายใต้ดิน สายมีชีลด์ สายไม่มีชีลด์ สายใยแก้ว ท่อเหนือดิน ท่อฝังดิน ท่อโลหะ ท่อพลาสติก)
- การใช้งาน (สายโทรคมนาคม สายไฟฟ้า ระบบท่อต่างๆ)
- สิ่งปลูกสร้างที่ต่อกับระบบสาธารณูปโภค (โครงสร้าง สิ่งที่อยู่ภายใน ขนาด ที่ตั้ง)
- การป้องกันที่มีอยู่เดิมหรือที่ติดตั้งเพิ่มเติม (เช่น สายชีลด์หรือสายล่อฟ้า อุปกรณ์ป้องกันลัดวงจร เส้นทางสำรอง ระบบเก็บของไหล ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ระบบจ่ายไฟฟ้าต่อเนื่อง)

2.2 แหล่งกำเนิดและชนิดของความเสียหายของระบบ
สาธารณูปโภค
ซึ่งต้องคำนึงถึงสถานการณ์ต่างๆ ที่ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของจุดฟ้าผ่าสัมพันธ์กับระบบสาธารณูปโภคที่กำลังพิจารณา ดังนี้

S1 วาบฟ้าผ่าลงสิ่งปลูกสร้างที่ต่อกับระบบ
สาธารณูปโภค สามารถทำให้เกิด

- การหลอมละลายของสายโลหะและชีลด์ของสายเคเบิล
- การเบรกดาวนของฉนวนของสายและบริเวณที่ที่ต่ออยู่
- การเจาะทะลุของปะเก็นโลหะที่หน้าแปลนของท่อ รวมทั้งปะเก็นที่ข้อต่อที่เป็นฉนวน

S3 วาบฟ้าผ่าลงระบบสาธารณูปโภคที่ต่อกับ
สิ่งปลูกสร้าง สามารถทำให้เกิด

- ความเสียหายทางกลอย่างฉับพลันของสายโลหะหรือท่อโลหะ
- ความเสียหายทางไฟฟ้าอย่างฉับพลันของสาย (การเบรกดาวนของฉนวน) และบริเวณที่ที่ต่ออยู่
- การเจาะทะลุผ่านของท่อโลหะบางเหนือดินและปะเก็นโลหะที่หน้าแปลน อาจทำให้เกิดความเสียหายต่อเนื่อง เช่น ไฟไหม้และการระเบิดขึ้นอยู่กับของไหลที่ขนถ่าย

S4 วาบฟ้าผ่าใกล้กับระบบสาธารณูปโภคที่ต่อกับ
สิ่งปลูกสร้าง สามารถทำให้เกิด

- การเบรกดาวนของฉนวนของสายและบริเวณที่ที่ต่ออยู่

ดังนั้น ฟ้าผ่าสามารถทำให้เกิดความเสียหายพื้นฐานต่อระบบสาธารณูปโภคได้ 2 ชนิด ได้แก่

- D2 ความเสียหายทางกายภาพ เช่น ไฟไหม้ การระเบิด ความเสียหายทางกล การปลดปล่อยสารเคมี เนื่องจากผลของความร้อนที่เกิดจากกระแสฟ้าผ่า
- D3 ความล้มเหลวของระบบไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากแรงดันเกิน

2.3 ชนิดของความสูญเสีย

สามารถจำแนกชนิดได้เป็น 4 ประเภท ได้แก่

- L1 ความสูญเสียต่อชีวิต และร่างกาย

- L2 ความสูญเสียการบริการต่อสาธารณะ
- L3 ความสูญเสียต่อมรดกทางวัฒนธรรม
- L4 ความสูญเสียมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ (สิ่งปลูกสร้างและสิ่งของที่อยูภายใน การบริการและความสูญเสียต่อกิจกรรมต่างๆ)

ดังนั้น ทั้งหมดจึงเป็นความสูญเสียที่อาจเกิดขึ้นในสิ่งปลูกสร้าง ได้แก่ L1-L4 (สิ่งปลูกสร้างและสิ่งของที่อยู่) และความสูญเสียที่อาจเกิดขึ้นในระบบสาธารณูปโภค จะได้แก่ L2 และ L4 (การบริการและความสูญเสียต่อกิจกรรมต่างๆ)

โดยสรุป ความสัมพันธ์ระหว่างแหล่งกำเนิดความเสียหาย ชนิดความเสียหาย กับชนิดของความสูญเสียสำหรับสิ่งปลูกสร้างและสำหรับระบบสาธารณูปโภค ได้ดัง -> ตารางที่ 1.3 และ -> ตารางที่ 1.4 ตามลำดับ

ตารางที่ 1.3 ความเสียหายและความสูญเสียในสิ่งปลูกสร้างแยกตามจุดที่เกิดฟ้าผ่า

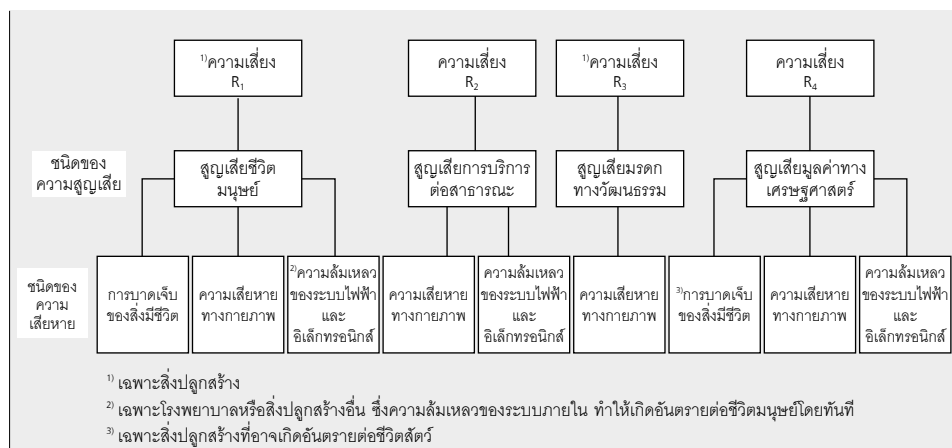
จุดที่เกิดฟ้าผ่า	ภาพแสดงจุดที่เกิดฟ้าผ่า	แหล่งกำเนิดความเสียหาย	ชนิดของความเสียหาย	ชนิดของความสูญเสีย
ลงสิ่งปลูกสร้าง		S1	D1 D2 D3	L1, L4** L1, L2, L3, L4 L1*, L2, L4
ใกล้สิ่งปลูกสร้าง		S2	D3	L1*, L2, L4
ลงระบบสาธารณูปโภคที่ต่อกับสิ่งปลูกสร้าง		S3	D1 D2 D3	L1, L4** L1, L2, L3, L4 L1*, L2, L4
ใกล้กับระบบสาธารณูปโภค		S4	D3	L1*, L2, L4

* เฉพาะสิ่งปลูกสร้างที่มีความเสี่ยงต่อการระเบิด และโรงพยาบาลหรือสิ่งปลูกสร้างอื่นๆ ซึ่งความล้มเหลวของระบบภายในทำให้เกิดอันตรายต่อชีวิตมนุษย์โดยทันที

** เฉพาะสิ่งปลูกสร้างที่อาจเกิดอันตรายต่อชีวิตสัตว์

ตารางที่ 1.4 ความเสียหายและความสูญเสียในระบบสาธารณูปโภคแยกตามจุดที่เกิดฟ้าผ่า

จุดที่เกิดฟ้าผ่า	แหล่งกำเนิดความเสียหาย	ชนิดของความเสียหาย	ชนิดของความสูญเสีย
ลงระบบสาธารณูปโภค	S3	D2 D3	L2, L4
ใกล้ระบบสาธารณูปโภค	S4	D3	L2, L4
ลงสิ่งปลูกสร้างที่ต่อกับระบบสาธารณูปโภค	S1	D2 D3	L2, L4



รูปที่ 7 แสดงชนิดของความสูญเสียและความเสี่ยงที่เกิดจากความเสียหายชนิดต่างๆ

และสามารถสรุปถึงความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของความสูญเสีย ซึ่งมีผลจากชนิดของความเสียหายและความเสี่ยงที่สอดคล้องกันแสดงได้ใน -> รูปที่ 7

3. ความจำเป็นของระบบป้องกันฟ้าผ่า

ต้องมีการประเมินความจำเป็นของระบบป้องกันฟ้าผ่าของสิ่งที่จะป้องกันเพื่อลดความสูญเสียมูลค่าทางสังคม L1, L2 และ L3 การประเมินว่าจำเป็นต้องมีระบบป้องกันฟ้าผ่าหรือไม่ ต้องทำการประเมินความเสี่ยงตามขั้นตอนที่กำหนดไว้ในมาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าภาค 2 ซึ่งความเสี่ยงที่จะนำมาพิจารณาให้สอดคล้องกับชนิดของความสูญเสีย คือ

- R_1 ความเสี่ยงต่อการสูญเสียชีวิตมนุษย์
- R_2 ความเสี่ยงต่อการสูญเสียบริการต่อสาธารณะ
- R_3 ความเสี่ยงต่อการสูญเสียมรดกทางวัฒนธรรม

หากความเสี่ยง R (R_1 ถึง R_3) มีค่าสูงกว่าระดับที่ยอมรับได้ R_r ($R > R_r$) ต้องจัดให้มีการป้องกันฟ้าผ่า ในกรณีนี้ต้องมีการนำมาตรการต่างๆ ในการป้องกันฟ้าผ่ามาใช้เพื่อลดความเสี่ยง R (R_1 ถึง R_3) ให้ลดลงมาต่ำกว่าหรือเท่ากับระดับที่ยอมรับได้ R_r ($R \leq R_r$)

กรณีสิ่งที่จะป้องกันอาจเกิดความสูญเสียมากกว่าหนึ่งชนิด ต้องลดความเสี่ยงของความสูญเสียแต่ละชนิด (L1, L2 และ L3) ให้ได้ตามเงื่อนไข $R \leq R_r$

4. ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของระบบป้องกันฟ้าผ่า

นอกจากการพิจารณาความจำเป็นในการติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าแล้ว ยังอาจต้องประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของมาตรการป้องกันฟ้าผ่า เพื่อลดการสูญเสียทางเศรษฐศาสตร์ L4 ด้วย ในกรณีนี้ต้องมีการประเมินความเสี่ยง R_4 ของความสูญเสียทางเศรษฐศาสตร์ การประเมินความเสี่ยง R_4 ทำให้ทราบมูลค่าความสูญเสียทางเศรษฐศาสตร์ทั้งกรณีติดตั้งมาตรการป้องกัน และไม่ติดตั้งมาตรการป้องกัน

5. มาตรการป้องกัน

อาจนำมาใช้เพื่อลดความเสี่ยงในการสูญเสียตามชนิดของการสูญเสีย ต้องทำโดยผู้ออกแบบและเจ้าของ

โครงการตามชนิดและปริมาณความเสียหายแต่ละชนิด และตามข้อพิจารณาทางเทคนิค และทางเศรษฐศาสตร์ของมาตรการป้องกันต่างๆ

5.1 มาตรการป้องกันเพื่อลดการบาดเจ็บของสิ่งมีชีวิตเนื่องจากแรงดันสัมผัสและแรงดันช่วงกาว ได้แก่

- การฉนวนอย่างเพียงพอสำหรับส่วนตัวนำกระแสที่เปิดเผย
- การประสานศักยภาพให้เท่ากันด้วยระบบสายดินแบบตายาย
- การป้องกันการเข้าถึงทางกายภาพ และทำป้ายเตือน

5.2 มาตรการป้องกันเพื่อลดความสูญเสียทางกายภาพ ได้แก่

- มาตรการป้องกันสำหรับสิ่งปลูกสร้าง เช่น ระบบป้องกันฟ้าผ่า (LPS)
- มาตรการป้องกันสำหรับระบบสาธารณูปโภคสายล่อฟ้า

5.3 มาตรการป้องกันเพื่อลดความล้มเหลวของระบบไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ได้แก่

- มาตรการป้องกันสำหรับสิ่งปลูกสร้าง เช่น มาตรการป้องกันอิมพัลส์แม่เหล็กไฟฟ้าจากฟ้าผ่า ประกอบด้วยวิธีใดวิธีหนึ่ง หรือหลายวิธีร่วมกันดังต่อไปนี้
 - การต่อลงดินและการต่อประสาน
 - การกำบังสนามแม่เหล็ก
 - การจัดวางแนวสายที่เหมาะสม
 - การใช้อุปกรณ์ป้องกันเสิร์จที่ประสานสัมพันธ์กัน
- มาตรการป้องกันสำหรับระบบสาธารณูปโภค เช่น
 - การติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จ ณ ตำแหน่งต่างๆ ตลอดความยาวของสายและที่ปลายสาย
 - การใช้กำบังสนามแม่เหล็กของเคเบิล

5.4 การเลือกมาตรการป้องกัน

การเลือกมาตรการป้องกันที่เหมาะสมต้องทำโดยผู้ออกแบบและเจ้าของโครงการ ตามชนิดและปริมาณความเสียหายแต่ละชนิด และตามข้อพิจารณาทางเทคนิค และทางเศรษฐศาสตร์ของมาตรการป้องกันต่างๆ ซึ่งเกณฑ์ในการประเมินความเสี่ยง และการเลือกมาตรการป้องกันที่เหมาะสมได้กำหนดไว้ในมาตรการป้องกันฟ้าผ่าภาค 2 และมาตรการป้องกันจะมีประสิทธิภาพก็ต่อเมื่อมาตรการนั้นเป็นไปตามข้อกำหนดในมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง และสามารถทนต่อความเครียดที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในสถานที่ติดตั้ง

6. เกณฑ์พื้นฐานสำหรับการป้องกันสิ่งปลูกสร้างและสาธารณูปโภค

6.1 ระดับป้องกันฟ้าผ่า (LPL)

ในมาตรฐานนี้ได้มีการกำหนดระดับป้องกันฟ้าผ่าเป็น 4 ระดับ (1 ถึง 4) โดยในแต่ละระดับจะมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ทั้งค่าสูงสุดและต่ำสุดของกระแสฟ้าผ่าในแต่ละระดับป้องกันฟ้าผ่า รัศมีทรงกลมกลิ้งและความกว้างของตายาย ซึ่งได้มีการกำหนดไว้แน่นอนแล้ว -> ตารางที่ 1.5

ตารางที่ 1.5 แสดงระดับป้องกันฟ้าผ่าที่รองรับค่ากระแสฟ้าผ่าค่าสูงสุดและต่ำสุด พร้อมความสัมพันธ์ในการกำหนดรัศมีทรงกลมกลิ้งและความกว้างตาข่ายที่ใช้ในการป้องกัน

	ระดับป้องกันฟ้าผ่า (LPL)							
	LPL I		LPL II		LPL III		LPL IV	
	กระแสฟ้าผ่า (kA)	ความน่าจะเป็น	กระแสฟ้าผ่า (kA)	ความน่าจะเป็น	กระแสฟ้าผ่า (kA)	ความน่าจะเป็น	กระแสฟ้าผ่า (kA)	ความน่าจะเป็น
	> 3	99%	> 5	97%	> 10	91%	> 16	84%
	< 200	99%	< 150	98%	< 100	97%	< 100	97%
รัศมีทรงกลมกลิ้ง (ม.)	20		30		45		60	
ความกว้างตาข่าย (ม.)	5 x 5		10 x 10		15 x 15		20 x 20	

6.2 ย่านป้องกันฟ้าผ่า (LPZ)

มาตรการป้องกันฟ้าผ่าต่างๆ เช่น ระบบป้องกันฟ้าผ่า สายกำบัง ตัวกำบังสนามแม่เหล็ก และอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จ เป็นตัวกำหนดย่านป้องกันฟ้าผ่า ลักษณะสมบัติของย่านป้องกันฟ้าผ่าที่อยู่ถัดไป จะเป็นการลดทอนอิมพัลส์แม่เหล็กไฟฟ้าจากฟ้าผ่า ในระดับที่มีนัยสำคัญจากย่านป้องกันที่อยู่ก่อนหน้า ซึ่งสามารถแบ่งย่านป้องกันฟ้าผ่าได้ ดังต่อไปนี้ -> รูปที่ 8

- ย่านป้องกัน 0_A เป็นย่านที่ได้รับความรุนแรงอันเนื่องมาจากฟ้าผ่าโดยตรง และได้รับสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากฟ้าผ่าเต็มขนาด ระบบที่อยู่ภายในอาจได้รับกระแสเสิร์จฟ้าผ่าทั้งหมดหรือบางส่วน
- ย่านป้องกัน 0_B เป็นย่านที่ได้รับการป้องกันจากฟ้าผ่าโดยตรง แต่ยังคงได้รับผลกระทบสนามแม่เหล็กไฟฟ้าจากฟ้าผ่าเต็มขนาด ระบบที่อยู่ภายในอาจได้รับกระแสเสิร์จฟ้าผ่าบางส่วน
- ย่านป้องกัน 1 เป็นย่านซึ่งกระแสเสิร์จถูกจำกัดโดยการแยกไหลของกระแสและโดยอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จที่บริเวณรอยต่อระหว่างย่านป้องกัน
- ย่านป้องกัน 2, ..., n เป็นย่านซึ่งกระแสเสิร์จอาจถูกจำกัดมากขึ้นไปอีก โดยการแยกไหลของกระแส และโดยอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จที่บริเวณรอยต่อระหว่างย่านป้องกัน

6.3 การป้องกันสิ่งปลูกสร้าง

6.3.1 การป้องกันเพื่อลดความเสียหายทางกายภาพและอันตรายต่อชีวิต สิ่งปลูกสร้างที่จะป้องกันต้องอยู่ภายในย่านป้องกัน 0_B หรือสูงกว่า ซึ่งสามารถทำได้โดยการติดตั้งระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอกและภายใน

6.3.2 การป้องกันเพื่อลดความล้มเหลวของระบบภายใน ระบบป้องกันต้องอยู่ภายในย่านป้องกันฟ้าผ่า 1 หรือสูงกว่า เช่น การใช้กำบังสนามแม่เหล็กเพื่อช่วยลดทอนสนามแม่เหล็กที่เหนี่ยวนำขึ้น เป็นต้น

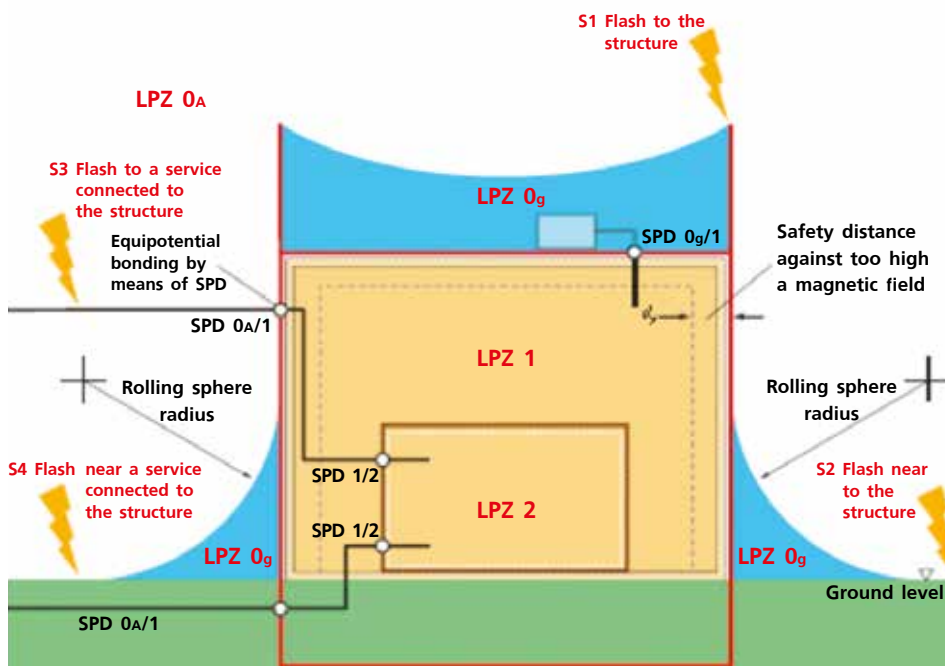
6.4 การป้องกันระบบสาธารณูปโภค จะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดต่อไปนี้

6.4.1 ต้องอยู่ภายในย่านป้องกันฟ้าผ่า 0_B หรือสูงกว่า เพื่อลดความเสียหายทางกายภาพ ซึ่งสามารถทำได้โดยการเลือกใช้ระบบได้ดินแทนระบบเหนือนดิน เป็นต้น

6.4.2 ต้องอยู่ภายในย่านป้องกันฟ้าผ่า 1 หรือสูงกว่า เพื่อป้องกันแรงดันเกินที่อาจทำให้ระบบล้มเหลว ซึ่งสามารถทำได้โดยการจำกัดแรงดันเกินโดยการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันเสิร์จที่เพียงพอ เป็นต้น

สรุป ฟ้าผ่า เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นทางธรรมชาติ ซึ่งเราไม่สามารถห้ามไม่ให้เกิดขึ้นได้ แต่เราสามารถมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับความถี่พื้นฐานของการเกิดฟ้าผ่า ลักษณะการเกิดขึ้น ผลกระทบ ความเสียหายและความสูญเสียที่จะเกิดขึ้น ตลอดจนถึงหลักเกณฑ์และวิธีการป้องกัน เพื่อป้องกันและบรรเทาความเสียหายที่จะเกิดขึ้นจากปรากฏการณ์ดังกล่าว ซึ่งทาง วสท. ได้เรียบเรียงขึ้นตามมาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่าตามมาตรฐาน IEC 62305-1, 2, 3, 4 ขึ้น

เนื้อหาที่ได้กล่าวถึงในตอนต้น 1 นี้ได้ครอบคลุมเนื้อหาที่เกี่ยวข้องข้อกำหนดทั่วไป สำหรับในตอนต้น 2 ผู้เขียนขอกล่าวถึงเรื่องการบริหารความเสี่ยง โดยจะขอยกตัวอย่างประกอบความเข้าใจและแนะนำโปรแกรมเพื่อช่วยประเมินความเสี่ยงและอำนวยความสะดวกในการใช้งานต่อไป



รูปที่ 8 แสดงย่านป้องกันฟ้าผ่าที่ได้รับความรุนแรงจากฟ้าผ่าโดยตรงและสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

เอกสารอ้างอิง

- [1] วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ พ.ศ. 2553 มาตรฐานการป้องกันฟ้าผ่า ภาคที่ 1 ข้อกำหนดทั่วไป (Thai Standard : Protection against lightning Part 1 General Principles).
- [2] มงคล ปุษยตานนท์ และบงกช สุขอนันต์ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี พ.ศ. 2556 บทความวิชาการ วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อ. ปีที่ 6 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2556, ระบบป้องกันฟ้าผ่าภายนอกสิ่งปลูกสร้าง (External Lightning Protection Systems)
- [3] Thomas & Betts Limited (Furse), 2014. A Guide to BS EN 62305 Protection Against Lightning, 3rd edition.
- [4] ABB Group. 06/2015. ABB Furse Product Catalogue 2015 (Earthing & lightning protection - Total solution catalogue)