

雷 害 の 防 護 對 策 (上)

金 俊 鉉*

目 次

- 1. 序 論
- 2. 雷 現 象
- 2.1 雷 雲
- 2.2 雷放電
- 3. 防 護 對 策
- 3.1 對 症 的 方 法

1. 序 論

雷現象은 大氣圈에서 발생하는 自然現象으로서, 예로부터 雷에 대한 神話가 많으나^{(1), (2)}, 1753年 6月 Franklin의 연실험으로 電氣의이라는 것이 명백해져, 이에 대한 防護對策으로 그가 처음으로 避雷針을 세우게 되었으며, 1778年 최초로 避雷針이 公認되었다.

雷現象에 대한 研究進展은 비교적 느려 定量的 研究가 시작된 것은 Boys카메라^{(3), (4)}, 磁鋼片, Klydonograph^{(5), (6)}, 陰極線으로서 그래프 등의 측정장치가 실용화된 1920年代 이후부터라고 볼 수 있고, 雷害에 대한 防護對策에 대해서는 아직 만족할만한 결정적인 결론은 얻지 못하고 있으나 최근까지 제시된 것으로는 표 1.1과 같이 對症的 方法과 豫防的 方法으로 대별할 수 있다.

표 1.1. 雷害의 防護對策

方 法	分 類	內 容
對 症 的 方 法	避雷針(突針式) 架空地線 용마루 위의 導 體方式 케이지方式	落雷時 피해를 최소화 하기 위하여 對象物에 避雷設備을 하는 方法
	誘雷方式 ^{(7), (8)} 雷雲內에서의 中 和方式 雷의 豫報 ^{(9), (10)} LEA消電 시스 템 ⁽¹¹⁾	
豫 防 的 方 法		落雷를 人爲的으로 사 전에 豫防하는 方法

建築物, 電力設備에 대한 雷害를 최소화 하기 위한

적절하고 經濟的인 防護對策으로 避雷設備을 하기 위해서는 雷放電現象을 충분히 이해한 후 被保護物의 중요성, 人蓄에 대한 안전성, 雷의 局地的 特性 등을 고려하여야 하므로, 지금까지 알려져 있는 雷現象의 개요를 기술하고 上記한 防護對策에 대하여 기술하기로 한다.

2. 雷 現 象

2.1 雷雲^{(12)~(15)}

2.1.1 雷雲의 발생

雷放電 발생의 근원이 되는 가장 보통의 것은 雷雲이며, 이는 雷雲中 상층의 大氣와 하층의 大氣가 불안정한 成層을 구성하는 경우에 발생하는 積亂雲이다. 즉 하층의 空氣가 너무 가볍거나 고층의 空氣가 너무 무거운 경우, 그 垂直不安定度를 해소하기 위해서 강한 上昇氣流가 발생한다. 상승에 수반하여 斷熱膨脹한 空氣는 온도가 저하하고, 포함되어 있는 수증기의 凝結氷結이 생기므로 다량의 潛熱이 방출되어 상승에 의한 온도의 低下率이 작고, 對流圈의 상층가까이 까지 달하게 된다.

雷雲에서의 發雷을 분류하면 표 2.1과 같다.

표 2.1. 雷의 種類

種 類	內 容
界 雷 (前線雷)	寒暖 兩氣流가 서로 접하는 곳에서 발생하는 上昇氣流에 의해서 發雷하는 것
熱 雷	夏季의 강한 日射에 의해서 지표부근의 空氣가 加熱되어 발생하는 上昇氣流에 의해서 發雷하는 것.
低氣壓性雷	颱風, 低氣壓의 收束性氣流 때문에 생기는 上昇氣流에 의해서 發雷하는 것

* 正會員: 漢陽大 工大 電氣工學科 教授

이들의 雷雲發生은 단독이 아니고 복합된 조건으로 생기는 경우가 대부분이다.

2.2 雷雲의 구조

雷雲의 크기에는 여러가지가 있으나 대표적인 것을 그림 2.1에 표시하였다.

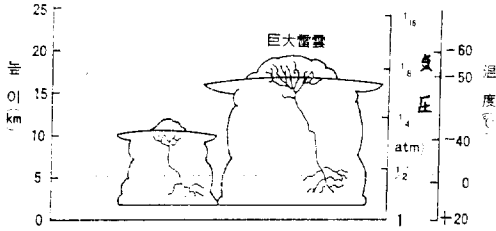


그림 2.1. 代表的인 雷雲

雷雲은 몇개의 雷雨細胞로 구성되어 있는데, 전체로서는 그림 2.2와 같이 상부는 正, 하부는 負로 帶電하고, 雲底의 일부에 正으로 帶電된 소구역이 있다. 따라서 雷雲中의 主電荷는 電氣雙極子를 형성하고 있으며, 그 雙極子를 형성하는 電荷領域은 지름이 數 km에 이른다.

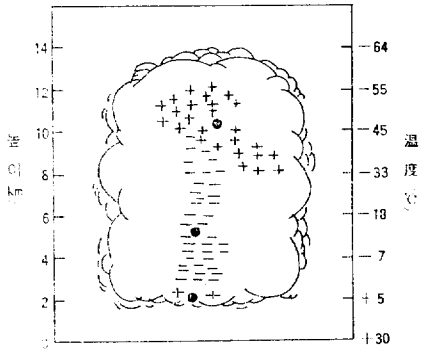
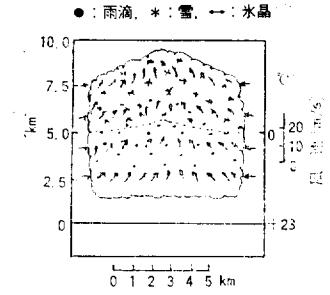


그림 2.2. 雷雲內의 電荷分布

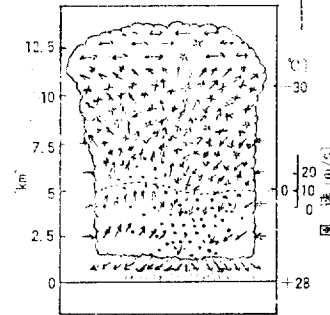
單獨雷雨細胞는 上昇氣流과 下降氣流를 갖인 對流系이며, 그 수명은 0.5~1시간인데 雷雲內에서는 細胞가 順次發生·消滅을 되풀이하 ㅍ 있으며, 전체로서는 雷雨活動을 유지하며 이동한다. 이 雷雨細胞는 그림 2.3과 같이 幼年期, 成年期, 老年期로 분류된다. 成年期에 上昇氣流가 가장 심하고 電荷分離도 왕성하며 雷放電도 이 시기에 가장 많다.

2.1.3 電荷分離의 기구

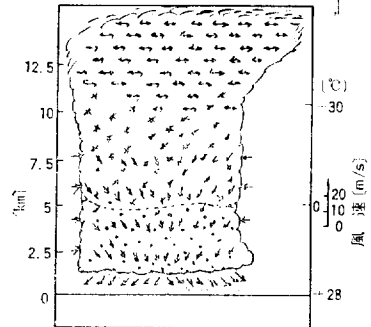
종래 여러가지 설이 제안되어 왔으나 雷雲에 대한 氣象學的·電氣的인 관측 결과를 定性的, 定量的으로 설명할 수 있는 것으로는, 過冷却水滴과 氷晶이 공존하고 있는 空間에서 싸라기 눈, 또는 우박이 生成되는 과정에서 생기는 電荷分離가 주요한 구실을 하고 있다



a 幼年期



b 成年期



c 老年期

그림 2.3. 雷雨細胞

고 생각하고 있다. 주된 分離說에는 Simpson의 水滴分離說, Lathan-Mason說, 修正된 Mason說 등이 있다.

2.2 雷放電^{(12)~(17)}

2.2.1 雷雲下의 電界

雷雲의 電荷에 의하여 지표에는 강한 電界가 생기며 이 電界에 의하여 지표의 突起物에서 코로나放電이 발생케 되고 大氣中에 空間電荷를 형성한다. 이는 雷雲下部의 負電荷와 지표와의 사이에는 正의 空間電荷가 존재하여 구름의 負電荷에 의한 電界를 약화시키는 작용을 하고 있다.

지표의 電界는 雷雲의 중심부의 直下에서 10~20 [kV/m] 정도이다. 雷放電에 따른 地表電界의 급변하는 雷放電과 觀測點과의 相對位置·放電電荷量·放電形式 등에 따라 다르나 1~2[km]의 거리에 있어서의 放電은 20[kV/m] 정도이다.

2.2.2 雷放電의 양상

(1) 雷放電의 種類

雷放電의 발생을 對象別로 분류하면 표 2.2와 같다.

표 2.2. 雷放電의 種類

種 類	內 容
雲內放電	同一 雷雲內의 正負 電荷사이에서 발생하는 放電
雲間放電	다른 雷雲간의 正負 電荷사이에서 발생하는 放電
大地放電	雷雲의 電荷와 大地에 유도된 電荷사이에서 발생하는 放電
大氣放電	雷雲의 電荷와 근방 大氣사이에서 발생하는 放電

이것 외에 放電路의 형태나 특수한 형태로 분류하는 경우도 있다.

(2) 雷放電의 과정

雷放電中 大地放電 이외의 放電은 관측이 곤란하여 불명확한 점이 많으므로 비교적 그 과정이 분명한 大地放電에 대해서 기술한다.

(a) 大地放電의 분류

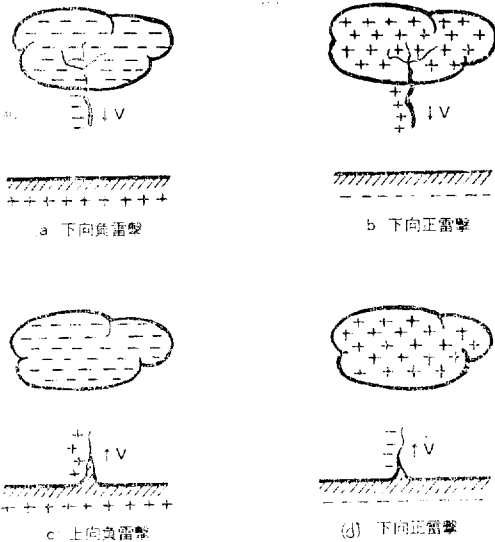


그림 2. 大地放電의 분류

大地放電에는 極性, 先驅放電의 進展方向에 따라서 그림 2.4와 같이 下向負雷擊, 下向正雷擊, 上向負雷擊, 上向正雷擊의 4가지 형식이 있다.

(b) 大地放電의 과정

1930年代에 南아프리카에서 英國人 Schonland, Marlan, Collens氏가 Boys카메라로 對地雷擊의 과정을 관측한 결과 그림 2.5와 같은 과정으로 되어있다는 것이 명백해 졌다.

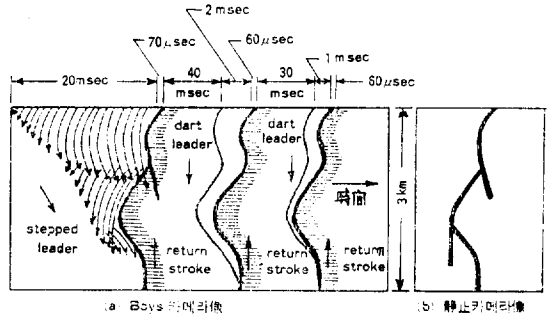


그림 2.5. 對地雷擊의 進展過程

최초에 雲底에서 출발한 先驅放電(先行放電(steppered leader))이 間缺의으로 계단상으로 진전하며, 일반적으로 이 先驅放電는 그림 2.2의 N와 P와의 사이의 영역내의 不투적인 絕緣破壞로 시작된다고 생각하고 있다. 각 스텝의 先端部에 있어서 發光이 강해지며, 각 先驅放電이 지표 가까이 도착하면 지표층에서 正의 스트리머放電이 上昇하고 兩者가 결합하여 구름과 大地間에 放電路가 형성된다. 이 放電路를 통해서 大地층에서 大電流와 강한 發光을 수반한 主雷擊(歸還雷擊(return stroke))이 上昇하고, 先驅放電에 의해서 放電路에 분포된 負電荷 및 雷雲의 負電荷의 일부를 中和한다.

보통의 雷擊에서는 이 歸還雷擊이 끝난 후 약간의 시간을 두고, 그리고 거의 같은 放電路를 통해서 계단이 없고 矢形先驅(dart leader)가 구름에서 大地로 오게되며 大地에 도착하면 歸還雷擊이 반복케 된다.

이와같이 같은 放電路를 통해서 반복되는 雷擊을 多重雷擊, 多重雷擊이 아닌것을 單一雷擊이라 한다.

歸還雷擊이 끝난 후 다음의 矢形先驅가 생길때까지 電流도 發光도 거의 인정되지 않는 경우가 있는데, 이 기간중 약한 電流와 發光이 계속하는 連續放電이라는 경과로 되는 경우가 있다. 표 2.3은 그림 2.5의 雷放電特性을 나타낸 것이다.

표 2.3. 雷放電特性

區 分	最 低	代 表	最 高
스택리이더			
스택의 길이[m]	3	50	200
스택의 시간간격[μs]	30	50	125
스택리이더의平均速度(m/s)	1.0×10^5	1.5×10^5	2.6×10^5
스택리이더上的電荷[C]	3	5	20
矢形리이더			
傳播速度[m/s]	1.0×10^6	2.0×10^6	2.1×10^7
矢形리이더上的電荷[C]	0.2	1	6
歸還雷擊			
傳播速度[m/s]	2.0×10^7	5.0×10^7	1.4×10^8
電流峻度[kA/μs]	1이하	10	80이상
波頭長[μs]	1이하	2	30
波高値[kA]		10~20	110**
波尾長[μs]	10	40	250
放電電荷[C]	0.2	2.5	20
(連續電流는제외) 放電路의 길이[km]	2	5	4
雷放電			
스토로크의 수	1	3~4	26
스토로크의 時間間隔[ms]*	3	40	100
放電의 계속時間[s]	10^{-2}	0.2	2
放電電荷[C] (連續放電을 포함)	3	25	90

*連續放電이 없는 경우.

**다른 實測例에서는 300[kV]를 넘는것도 있다.

2.2.3 雷鳴

雷鳴에 대한 연구는 거의 하고있지 않으며, Schmidt氏가 雷鳴에 의한 空氣振動을 램프의 불꽃의 흔들림으로 측정하였는데, 振動의 周期은 0.01~0.04초 정도가 대부분이었으며, 長周期의 것은 0.14~0.28초 정도로 밝혀졌다. 또한 雷鳴의 初期 音波는 不規則의이고, 音의 倏에너지를 계산해본 결과 빛이나 熱에비해서 무시될 정도였으며, 雷鳴이 들리는 거리는 15[km] 정도로 밝혀졌다.

최근 미국 A.A.회씨의 연구에 의하면 음향파 에너지는 총격파부의 1[%]에 불과하며, 雷鳴이 들리는 거리는 보통 15[km]이나 때로는 25~30[km]일 경우도 있으며 Schmidt의 결과와 거의 일치한다고 볼 수 있다.

3. 防護對策

3.1 對症의 方法

對症의 方法은 일반적인 避雷方法으로서 避雷針(突

針式), 架空地線·용마루 위의 導體(水平導體方式) 및 케이지方式 등이 있다.

3.1.1 避雷針(突針式)⁽¹⁷⁾⁻⁽²⁰⁾

Franklin이 처음으로 避雷針을 세운곳은 지기집 지붕위였으며, 이것은 유명한 연실험의 다음 해인 1753年 여름이었다. 그 당시 避雷針을 建築物에 설치하는 것에 대해서 반대가 많았으나, Franklin은 실험으로도 실체를 입증하여 그 보급에 전력을 다하므로써 그 효과가 인정되어 世界各國에 보급되었고, 1778年 베니스의 市政府에서 共建築物에 避雷針을 설치할 것을 命함으로서 처음으로 公認되었다.

避雷針은 突針, 接地電極, 避雷導線으로 되어 있으나 반드시 突針으로 할 필요는 없다. 그 이유는 避雷針의 雷擊吸引效力은, 突針先端의 形狀이 문제로 되지 않을 정도의 넓은 領域의 平均電界強度로 정해지기 때문에, 突針先端의 尖銳度의 영향은 거의 없다고 볼 수 있기 때문이다. 또한 先端을 3개의 가지로 한것, 金鍍金을 한것 등도 電界吸引能力에 특별한 효과는 없다. 그러나 突針先端은 電界가 강하도록 날카롭게 할 필요는 있으나 바늘 끝과같이 尖銳하게 할 필요는 없다. 그림 3.1은 避雷突針의 보기이다.

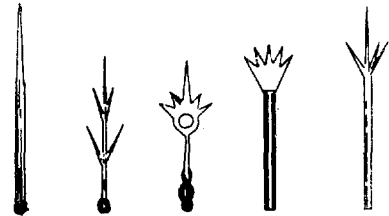
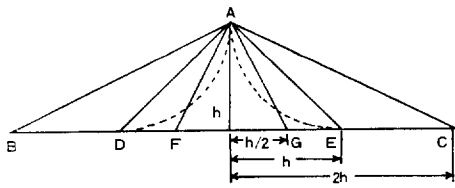


그림 3.1. 避雷突針의 보기

避雷針의 雷擊保護範圍에 대해서는 Gay Dassac가 처음으로 연구하였으며, 그 후 이에 대하여 理論的, 實驗的 또는 統計的으로 연구되어 왔다. 요약해서 나타내면 그림 3.2와 같다. 그림 3.2는 높이 h의 避雷針에 의한 遮蔽範圍를 나타낸 것이며, 避雷針의 先端에서 地面에 향해서 그은 2개의 대칭인 直(또는 曲)線內가 避雷針의 遮蔽範圍이다. 그림으로부터 알 수 있는 바와같이 명확한 遮蔽範圍를 정하기는 곤란하나, 지금까지의 研究結果와 實績등으로 보아 대략 45°~60°의 遮蔽角을 잡으면, 그 空間에 포함되는 被保護物은 충분히 雷擊에서 遮蔽된다고 보고 있다. 이를 기본으로 해서 우리나라에서는 遮蔽角은 一般建築物은 60°이하 危險建築物은 45°이하로 하게 되어 있다.



n : 避雷針 높이

BAC	圓錐	De Fonville	1874
DAE	圓錐	Adams	1881
FAG	圓錐	Melsene	—
DAE	特殊圓錐	Preece	1881

그림 3.2. 避雷針의 遮蔽範圍

建築法 第21條(避雷設備)에 의하면 높이 20[m] 이상인 建築物에는 避雷裝置를 해야한다고 되어 있으나, 이것은 일반적으로 규정한 것이므로 높이에 관계없이 避雷針을 설치할 수 있다. 그림 3.3은 建築物에 대한 避雷設備의 보기이다.

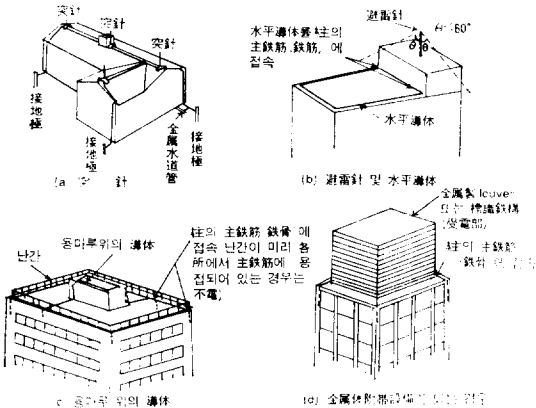


그림 3.3. 避雷設備의 보기

3.1.2 용마루 위의 導體方式^{(17), (20)}

避雷針은 上部의 면적이 좁고 照쪽한 建築物의 보호에 적합하다. 그러나 高層빌딩과 같은 建築物에 대해서는 KS規格에 적합하게 避雷針을 세우기 위해서는 避雷針의 높이, 빌딩의 미관, 保護效果, 경제적문제등으로 곤란하다. 따라서 高層빌딩에는 용마루 위의 導體方式이 적합하다.

용마루 위의 導體는 용마루, Parapet, 지붕, 그밖에 雷擊을 받기 쉬운 부분의 위에 설치하고, 슬라브 지붕

위에 설치하는 경우는 바깥 둘레를 따라서 환상으로 하고, 용마루 위의 導體는 接地한다.

용마루 위의 導體로서 特設受電部를 설치한 경우는 建築物의 固有受電部 즉 슬라브에 시설된 난간, fence 등의 金屬體(탱크, louver, 標識鐵構, 受電用큐비클의 외함, 극기대, cooling tower, ventilator, 裝飾材, 굴뚝, 사닥다리등) 등의 相互間은 電氣的으로 완전히 접속해야 한다.

避雷設備의 간략화가 인정된 것은, 鐵筋콘크리트빌딩 등의 옥상에는 보통 둘레에 fence등이 설비되며, 또 冷却塔등 金屬體의 부대설비가 설치되는데, 이것들은 受電部로서 사용할 수 있는 電流容量을 갖으므로 接地만 완전하면 일부러 이것들을 용마루 위의 導體로 보호할 필요가 없으며, 오히려 적극적으로 避雷設備로서 사용하는 것이 경제적이기 때문이다.

3.1.3 케이지方式⁽¹⁹⁾

케이지方式은 被保護物의 주위를 적당한 網狀導體로 싸는 방식이며, 완전한 避雷方法이다. 이와같은 방식에서는 Faraday-cage를 형성하며, 그 크기에 비하여 雷擊電流의 波頭가 急峻하지 않으면 케이지 전체가 항상 同電位로 되어 內部電界는 零으로 되므로, 內部의 人體나 物體에는 절대로 雷擊電流가 흐르지 않아 雷擊으로부터 100[%] 보호된다.

케이지 內部의 人體나 物體만을 보호하는 경우에는 케이지를 接地할 필요가 없다. 그것은 케이지의 對地電位가 여하히 上昇할지라도 內部에는 하등의 영향도 없기 때문이다. 그러나 電燈, 電話線 등이 引入되어 있는 경우에는 케이지의 電位가 그들의 導體를 통해서 傳播하고, 그것들에 접속되어 있는 機器에 傷害가 미치게 될 우려가 있으므로, 될수 있는대로 抵抗値가 낮은 接地極에 接地하지 않으면 안된다.

鐵骨造, 鐵筋콘크리트 빌딩에서는 鐵骨, 鐵筋이 建物 전체를 둘러싸고 있으므로 대체로 Faraday-cage를 형성하고 있다고 생각해도 좋으며, 內部는 雷擊에 대하여 충분히 안전하다고 말할 수 있다. 그러나 引入되어 있는 電燈, 電話線등에 대해서는 별도로 고려할 필요가 있다.

3.1.4 架空地線

(1) 吸引空間理論^{(21), (22)}

그림 3.4와 같이 架空地線 G가 地上 H의 높이로 가설된 경우, G를 중심으로 반지름 H의 半圓筒의 空間內에 進展해 오는 雷擊의 先端은 모두 G에 吸引된다면, 架空地線 G는 AA₁A₂인 雷擊吸引空間을 갖는다고 생각할 수 있다.

그림 3.5에서 C를 送電線이라 하면(建築物에 적용하는 경우에는 建築物의 옥상이라 생각하면 된다), 이

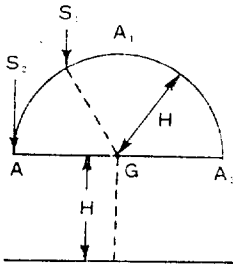


그림 3.4. 雷擊吸引空間

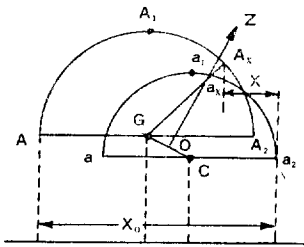


그림 3.5. 遮蔽作用 不完全한 경우

것도 aa_1a_2 (반지름은 送電線의 地上 높이와 같다)인 雷擊吸引空間을 갖고, G 의 것과 일부는 중복된다. 이 상태에서 雷擊의 先端이 왼쪽에서 수직으로 侵入해 왔을 때 어느쪽에 吸引되는 가는 양쪽의 吸引空間의 境界線을 幾何學的으로 구하므로써 결정할 수 있다.

즉, 그림 3.5에 있어서 GC 의 수직 2등분선이 Z 의 aa_1a_2 와의 교점을 a_x 라 하고, G a_x 와 AA_1A_2 와의 교점 A_x 를 구하면, A_xa_x0 가 兩吸引空間의 境界線으로 된다. 이때 雷擊의 先端이 X 의 범위에 侵入하면 C , ($X_0 - X$)의 범위에 들면 G 에 落雷하게 된다.

그림 3.6은 G 가 100%遮蔽效果를 나타낼 수 있는 극한의 경우를 나타낸 것이다. 이 경우는 OZ 가 AGA_2 와 aa_1a_2 와의 교점을 지나므로, A_2 에서 侵入해 온 雷

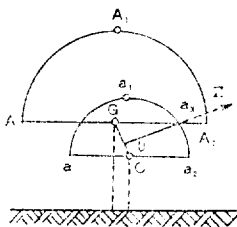


그림 3.6. 遮蔽作用이 安全한 경우

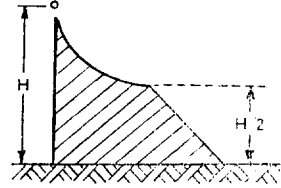


그림 3.7. 完全遮蔽範圍

擊의 先端이 Aa_x 의 방향으로 吸引되면 境界線 OZ 에 와서 G 또는 C 의 어느 한쪽에 吸引되는데, C 가 이것보다 조금이라도 낮으면 모두 G 에 吸引된다. 이와같이 하여 구한 完全遮蔽範圍는 그림 3.7과 같으며, 斜線部分에 送電線(建築物)이 포함되면 雷擊을 받을 우려가 없다.

그림 3.8은 架空地線 1條인 경우 遮蔽角 α 를 파라미터로 하여 兩導體 地上 높이의 비 H_1/H (%)를 횡축으로 하여 遮蔽效率 η (%)을 나타낸 것이다. $H_1/H=90$ (%), $\alpha=10^\circ$ 에서는 η 는 100(%)에 가까우며, 30° 에서 약 95(%), 40° 에서 90(%)임을 알 수 있다.

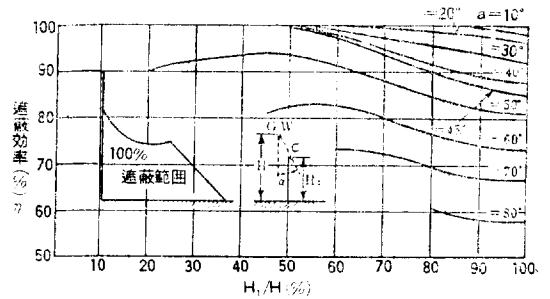


그림 3.8. 架空地 1條의 遮蔽效果

그림 3.9는 架空地線 2條의 100% 遮蔽效果를 나타낸 것이다. 2條의 架空地線의 각 외부는 1條의 경우와 똑같은 遮蔽範圍인데, 이들 중간 지대에 있어서는 遮蔽效果는 매우 높음을 알 수 있다. 즉, 架空地線의 線間隔 D/H 가 100(%)일 때, H_1/H 를 약 88(%) 이하로 해도 兩地線의 中央部에 있어서는 100(%)의 遮蔽效果를 갖어온다. 이것으로부터 架空地線 2條의 中間地帶에 導體가 포함되게 설계하면 $D \leq H$ 의 범위에서는 실용상 그 遮蔽效率를 100(%)로 할 수 있다는 것이다. 따라서 主要送電線에서는 2條의 架空地線을 架設하여 完全遮蔽效果를 얻고있다.

吸引空間論에 의하면 鐵塔 높이에 관계없이 같은 遮

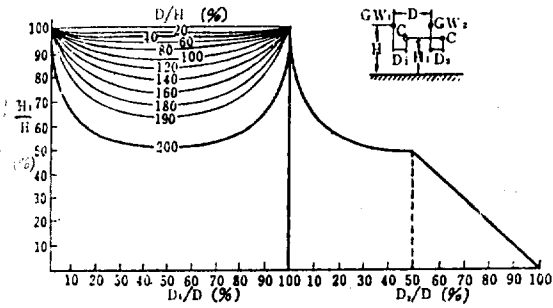


그림 3.9. 架空地線 2條의 100(%)遮蔽範圍

蔽角은 同等의 遮蔽效果를 나타내는데, 이 점은 최근의 雷害事故 實績으로 보아 문제가 있는 것으로 생각되고 있다.

參 考 文 獻

[1] H. Prinz; “雷의 神話와 科學”, 日本電氣學會雜誌, Vol. 83-3, pp. 371~382, 1968.
 [2] 中谷守吉郎; “雷”, 岩波書店, 1939.
 [3] C.V. Boys; “Progressive lightning”, Nature, Vol. 118, November 20, pp. 749~750, 1926.
 [4] C.V. Boys; “Progressive lightning”, Nature, Vol. 122, September 1, pp. 310~311, 1928.
 [5] J.F. Peters; “The Klydonograph”, Electrical World, Vol. 83, April 19, pp. 763~773, 1924.
 [6] J.H. Cox & J.W. Legg; “The Klydonograph and its application to surge investigation”, AIEE

Transactions, Vol. 44, pp. 859~870, 1925.
 [7] M.M. Newman, et al.; J. Geophysical Research, 72, 18, 4761, 1967.
 [8] C. Gary, et al.; Rev Gen Elect., 84, 1, 44, 1975.
 [9] 野瀬正純; “襲雷豫知와 雷警報의 實際”, 日本電氣學會雜誌, Vol. 98, No. 12, pp. 1, 168~1, 171, 1978.
 [10] 西本一成, 伊藤幹修; “雷의 豫測”, 電氣評論, pp. 1, 327~1, 330, 1970.
 [11] Report No. LEA-79-1.
 [12] 孫野長治; “雲와 雷의 科學”, 日本放送出版協會, 1969.
 [13] M.A. Uman. “Lightning”, McGraw-Hill Book Co., 1969.
 [14] “電氣工學 핸드북”, 日本電氣學會, pp. 563~566, 1978.
 [15] W.W. Lewis, “The Protection of transmission systems against lightning”, Jon Wiley & Sons, Inc., 1950.
 [16] K. Berger.; Journal of Franklin Institute, 283, No. 6, 1967.
 [17] “建築物의 避雷設備에 關する 研究報告”, 日本電設工業會, 1972.
 [18] 宮本慶己; “雷及び 避雷”, 修敎社, 1942.
 [19] 李斗燦譯編, “電氣工事設計 實際 데이터북”, 大光書林, 1977.
 [20] KS C 9609, 1977. 12. 28.
 [21] 三田, “電試 研究報告”, 510, 1950.
 [22] “送電線耐雷設計 基集要綱”, 日本電力中研究報告, 71037, 1971.