

雷害의 防護對策(下)

金 俊 鉉*

※ 차

레 ※

(2) 最近의 雷遮蔽理論

2.2 豫防의 方法

3.2.1 襲雷豫知와 雷警報

3.2.2 로켓트에 의한 誘雷

3.2.3 LEA 消電시스템

4. 結 論

⇒ 會誌 Vol. 30 No. 10 (1981. 10) p.19에서 계속

(2) 最近의 雷遮蔽理論^{(23)~(29)}

(a) 新雷遮蔽理論

Armstrong, Whitehead氏 등은 Pathfinder에 의한 실험결과를 고려해서 종래의 遮蔽理論을 수정한 新遮蔽理論을 제안했는데, 그 기본적인 方法을 吸引空間理論과 비교하면 표 3.1과 같다. 이와같은 新理論을 사용하여 算定된 結果를 특히 高鐵塔에 대하여 종래의 理論에 의한 결과와 비교하면 현저한 차이가 있으며, 이것에 의해서 高鐵塔의 送電線에 있어서의 雷遮蔽失敗에 관한 실험결과를 설명하고 있다.

표 3.1. 吸引空間理論과 新理論과의 比較

區分 內容	吸引空間理論	新 理 論
雷擊距離	吸引距離가 雷電 流에 無關係	放電路 先端의 電界 의 세기 또는 先驅 放電의 電流密度와 관련
雷擊의 侵 入	수직	侵入角이 確率函數 로 표현
雷擊吸引 의 範圍	送電線의 地上 높 이를 반지름으로 하는 圓弧	雷擊距離를 반지름 으로 하는 圓弧

(b) Armstrong-Whitehead 理論

그림 3.10은 送電線이 雷에 대한 有效遮蔽가 실현되지 않는 경우이다. 그림에서 s, w는 각각 架空地線, 導體, θ_s 는 遮蔽角이다. 일반적인 경우로서 大地가 水平面에서 θ_g 의 경사를 하고 있는 경우를 생각한다.

雷擊距離로는 架空地線, 導體 및 大地에 대한 값을 각각 \bar{r}_{ss} [m], \bar{r}_{sr} [m]라 하면, 이들과 雷擊電流 I_0 [A]와의 사이에는 다음 관계가 있다.

$$\bar{r}_{ss} = 6.72 I_0^{0.8} \quad (1)$$

$$\bar{r}_{sr} = K_{sr} \bar{r}_{ss} \quad (2)$$

지금, 雷擊電流 I_0 에 대한 식 (1)의 雷擊距離를 基準雷擊距離라 하고, 이 값을 기준으로하여 有效遮蔽의 조건을 구한다. 여기서 I_0 는 다음과 같다.

$$I_0 = 1.1 I_c \quad (3)$$

$$I_c = 2E/Z \quad (4)$$

여기서

E : BIL 또는 負極性 임펄스電壓에 의한 內絡電壓
Z : 導體의 surge impedance

따라서

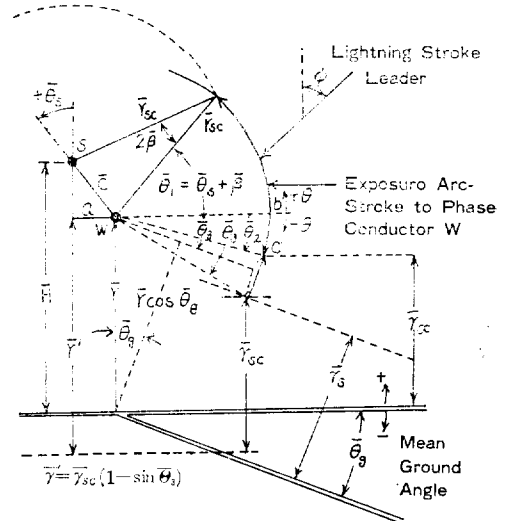


그림 3.10. 非有效遮蔽 모델

* 正會員 : 漢陽大 工大 電氣工學科 教授

$$\bar{r}_{sc} = 6.72 I_{0.8}^{0.8} \quad (5)$$

$K_{sc}=1$ 로 하고, 架空地線 및 導體를 중심으로 하여 받지름의 r_{sc} . 圓弧를 그리면 그림 3.10의 경우는 大地가 수평 또는 $\bar{\theta}_g$ 의 경사에 의해서 각각 $\bar{\theta}_1 + \bar{\theta}_2$, $\bar{\theta}_1 + \bar{\theta}_2$ 의 범위의 雷에 의해서 導體에의 雷擊이 생긴다. 따라서 導體에의 雷擊을 없애기 위해서는 遮蔽角을 줄이면 되며, 이것을 실현하여 有效遮蔽를 실현하기 위한 조건을 그림 3.11에 표시하였다.

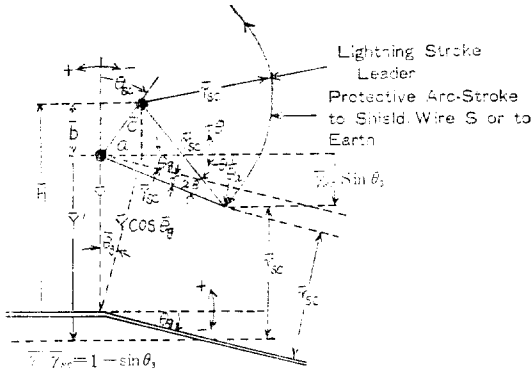


그림 3.11. 有效遮蔽의 모델

그림 3.11과 같이 導體를 중심으로 하여 架空地線을 $\bar{\theta}_{sc}$ 만큼 ($\bar{\theta}$ 방향으로) 회전시키면, 이 경우의 遮蔽角 $\bar{\theta}_3$ 는 다음과 같이 구해진다.

$$\bar{r}_{sc} \sin \bar{\theta} = Y' \cos \bar{\theta}_g - \bar{r}_{sc}$$

$$\sin \bar{\theta} = (Y'/\bar{r}_{sc}) \cos \bar{\theta}_g - 1$$

$$\therefore \bar{\theta} = \sin^{-1}[(Y'/\bar{r}_{sc}) \cos \bar{\theta}_g - 1]$$

이므로

$$\bar{\theta}_{sc} = \bar{\theta}_g - \beta - \bar{\theta}$$

$$= \bar{\theta}_g - \beta - \sin^{-1}[(Y'/\bar{r}_{sc}) \cos \bar{\theta}_g - 1] \quad (6)$$

$$\beta = \sin^{-1}[c/2\bar{r}_{sc}] \quad (7)$$

여기서 β 와 $\bar{\theta}$ 는 $\bar{\theta}$ 방향이므로 負 부호이다.

또 $\bar{\theta}_3$ 는 다음 관계가 성립한다.

$$\bar{\theta}_3 = \bar{\theta}_g - \bar{\theta}$$

$$= \bar{\theta}_g - \sin^{-1}[(Y'/\bar{r}_{sc}) \cos \bar{\theta}_g - 1] \quad (8)$$

$$Y' = \bar{r}_{sc} - \bar{r}_{sc} \sin \bar{\theta}_3$$

가 되므로

$$Y'/\bar{r}_{sc} = 1 - \sin \bar{\theta}_3 \quad (9)$$

여기서

Y, Y' : 각 導體 및 架空地線의 地上 높이

c : 架空地線과 導體사이의 거리

이들의 관계식을 사용하면 有效遮蔽를 달성할 수 있는 送電線의 導體, 架空地線의 배치와 遮蔽角의 관계를 계산할 수 있다. 그 계산결과를 그림 3.12에 표시하였다.

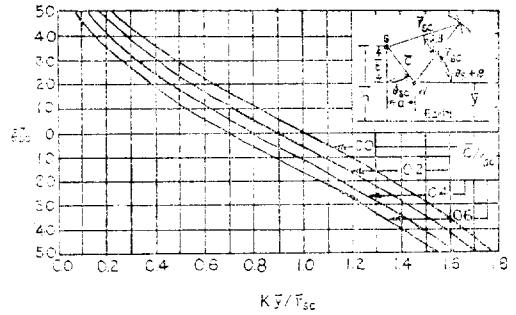


그림 3.12. 遮蔽角의 계산

送電線이 架空地線에 의하여 완전히 遮蔽되어 있지 않는 경우, 즉 그림 3.8과 같은 경우의 遮蔽失敗에 의한 事故率은 다음과 같이 구할 수 있다. 가령 그림 3.8의 水平配置 1回線 送電線에 있어서, 導體, 架空地線 및 大地에 대한 雷擊距離를 각각 \bar{r}_{sc} , \bar{r}_{sc} 라 하면, 遮蔽失敗는 雷擊의 先端이 호 abc에 달했을 때 발생한다. 지금 雷擊距離의 頻度分布 $f(\bar{r}_{sc})$ 가 구해졌다면, 單位길이, 時間에 있어서의 遮蔽失敗率 n 는 다음 식으로 구해진다.

$$n = N_0 \int_{\bar{r}_{sc, \min}}^{\bar{r}_{sc, \max}} X f(\bar{r}_{sc}) d\bar{r}_{sc} \quad (10)$$

여기서

N_0 : 雷擊密度

$\bar{r}_{sc, \min}$: 閃絡을 발생시키는 최소의 雷擊距離

$\bar{r}_{sc, \max}$: 導體에서의 最大雷擊距離

X 의 값은 雷擊의 侵入角 ψ 의 確率分布를 $g(\psi)$ 라 하면 다음 식으로 표시된다.

$$X = \bar{r}_{sc} \int_{\theta_2}^{\theta_1} \int_{\psi_2(\theta)}^{\psi_1(\theta)} \frac{\sin(\theta - \psi)}{\cos \psi} g(\psi) d\psi d\theta \quad (11)$$

따라서, 遮蔽失敗에 의한 事故件數는 다음 식으로 계산된다.

$$n = \int_{\bar{r}_{sc, \min}}^{\bar{r}_{sc, \max}} \int_{\theta_2}^{\theta_1} \int_{\psi_2(\theta)}^{\psi_1(\theta)} \frac{N_0 \bar{r}_{sc} f(\bar{r}_{sc}) \sin(\theta - \psi) g(\psi)}{\cos \psi} d\bar{r}_{sc} d\theta d\psi \quad (12)$$

雷擊의 侵入角의 분포에 대해서는 현재 정확한 측정치를 얻지 못하고 있으나, 推定值로서 다음 식이 제안되고 있다.

$$g(\psi) = \begin{cases} 0 & \psi < -\frac{\pi}{2} \\ K_n \cos^n \psi & -\frac{\pi}{2} \leq \psi \leq \frac{\pi}{2} \\ 0 & \frac{\pi}{2} < \psi \end{cases} \quad (13)$$

또, \bar{r}_{sc} 와 雷擊電流의 관계로는 식 (1)의 관계가 있으므로 식 (12)의 \bar{r}_{sc} 를 I_0 로 변환할 수 있다. 이 경우

에는 $\bar{r}_{ss, min}$ 에 대응하는 電流値로서는 식 (4)를 사용 하면 된다.

(c) 統計的手法

電力系統의 耐雷設計에 있어서 종래에서는 確定論的手法이 이용되어 왔으나 최근에는 雷擊電流의 統計手法을 고려하여 Monte Carlo法을 이용하여 電子計算機로 送電線의 雷特性解析을 하는 統計的手法이 주목을 끌고 있으며, 國際電氣標準會議의 絕緣協調에 관한 장려규정도 이 방법이 채용되고 있다.

雷遮蔽의 理論的解析은 그림 3.13의 解析모델에 다음의 ①~⑦의 조건을 고려하여 解析한다.

① 落雷의 대상물까지의 거리가 雷擊距離 이상으로 떨어져 있는 경우에는, 리더의 위치를 대상물에 무관계로 한다.

② 對地雷擊電流의 波高值의 統計分布는 아는 것으로 한다.

③ 雷擊距離와 雷擊電流사이에는 식 (1)의 관계가 성립한다.

④ 리더의 接近角의 分布는 식 (13)에 따른다.

⑤ 雷擊의 先端이 架空地線, 送電線 및 大地에서 각각의 雷擊距離 \bar{r}_{ss} , \bar{r}_{ss} , \bar{r}_{ss} 의 어느 것에 제일먼저 도달하는가를 판단하여 雷擊의 대상물을 결정한다. 단, 이 계산에서는 같은 雷電流에 대한 \bar{r}_{ss} , \bar{r}_{ss} , \bar{r}_{ss} 는 모두 같다고 한다.

⑥ 對地雷擊密度와 IKL와의 관계는 기지라 한다.

⑦ 導體에서 雷擊이 생겼을 때에는 雷擊電流가 식 (4)의 값을 넘을 경우에는 遮蔽失敗로 閃絡이 발생한다.

解析에 있어서는 Monte Carlo法을 이용하여 亂數에 의해서 각각의 雷電流의 파라미터를 결정하고, 그 각

각에 대하여 遮蔽失敗 및 이것에 의한 閃絡의 유무를 판정하여 事故率을 산정한다. 그림 3.14는 220(KV) 送電線의 雷擊電流와 遮蔽失敗가 생긴 경우의 電流分布를 계산한 결과이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 실패가 생기는 雷擊電流는 비교적 작은 값인데, 이 점은 Pathfinder에 의한 실험과 送電線의 실험에 의해서도 인정되고 있다. 또 斜面에 있어서의 送電線의 遮

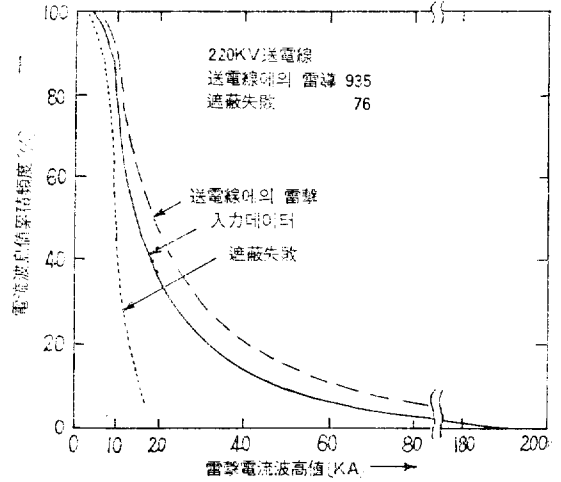


그림 3.14. 雷擊電流의 분포

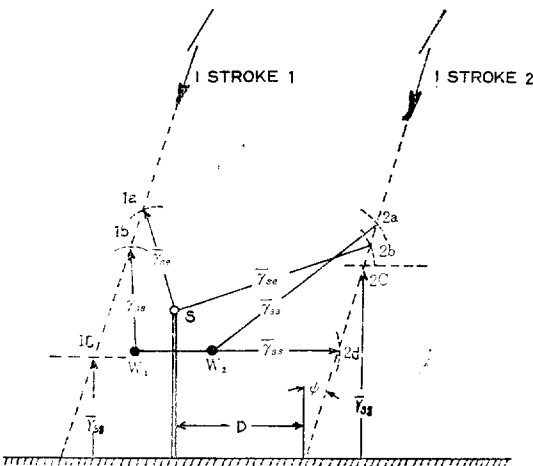


그림 3.13. 解析모델

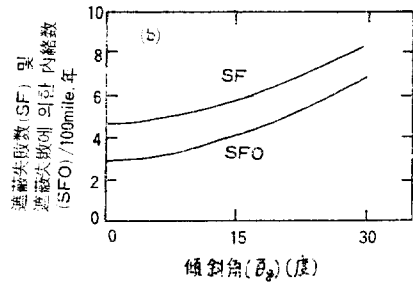
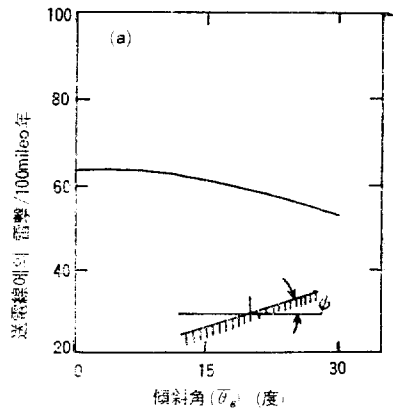


그림 3.15. 遮蔽失敗에 미치는 地形의 영향

被災敗率 및 失敗에 의한 閃絡率을 계산한 결과를 그림 3.15에 표시하였다,

統計的手法은 電力系統에 있어서 絶緣協調의 新手法으로서, 雷遮蔽解析을 할 경우에는, 충분히 타당하다고 생각되는 雷遮蔽의 모델을 구하는 동시에 신뢰할 수 있는 自然雷의 파라미터의 集積이 요망된다.

3.2 豫防的方法

3.2.1 襲雷豫知와 雷警報

(1) 레이더에 의한 發雷豫知와 雷警報^{(10),(11),(12)}

레이더로 雷雲을 檢知하여 간접적으로 雷의 발생을 미리 알아낼 수 있다.

雷雲은 雷雲 이외의 구름이나 降雨등에 비해서 밀도가 크므로, 레이더에서 발생한 電波가 이것에 충돌한 후 반사해오는 세기가 크다. 따라서 구름의 高度, 受信波의 세기 및 구름의 크기의 3조건을 포함해서 雷雲의 유무를 판정한다.

레이더로 관측된 雷情報은 雷觀盤, 發雷表示器, 음성여 의한 정보등의 방법으로 그 지역의 電力設備의 運用者, 保守者에 알려 만일 落雷로 設備이 피해를 받아도 그 영향이 최소로 되게끔 諸對策을 강구해한다.

이 시스템의 性能評價는 실제로 발생한 雷中, 레이더로 도착할 수 있는 비율인 捕捉率과 레이더가 雷雲이라 판정한 구름이 雷雲인 비율인 適中率로 판정한다. 실적을 고려해서 捕捉率 95(%) 전후, 適中率 40~80(%)로 운용하고 있다.

(2) 發雷警報裝置에 의한 雷警報^{(13),(14),(15)}

雷放電의 電流는 數百~數萬 amper로 많은 폭을 가지고 발생하기 때문에 雷放電 counter는 먼곳의 發雷는 counter數가 적으나 大電流의 雷放電에 의해서 약간의 동작은 피할 수 없다. 따라서 雷放電 counter의 관측 결과로부터 動作信號의 時間密度와 發雷地點까지의 거리와의 관계를 이용하면 發雷地域을 알 수 있다.

發雷警報裝置는 雷放電 counter의 動作信號의 上記 특성을 이용해서, 관측지점에서 가까운 거리의 범위의 發雷를 먼곳의 發雷와 구별해서 신속하고 거의 정확하게 알리는 장치이다. 따라서 雷放電 counter를 發雷警報裝置에 결합시키면 發雷警報裝置는 各地의 發雷狀況을 정확히 알리게 된다.

3.2.2 로켓트에 의한 誘雷^{(17),(18),(19),(20)}

로켓트에 와이어를 잡아매서 雷雲에 쓰아올리면 接地된 와이어에 雷放電이 誘發된다.

1966年 美國의 Newman교수는 후로리다의 海上 船上에서 약 100(m)의 높이에 로켓트로 와이어를 쓰아

올려 雷放電을 船上에 유도하는데 성공하였다. 23달중 17회의 誘雷에 성공하였는데 같은 실험을 陸上에서 했을 때는 실패하였다.

1973年 불란서 EDF(佛電力會社)와 CEN(原子力研究所)가 협력하여 山 언덕에서 약 600(m)의 높이까지 로켓트로 와이어를 쓰아올려 雷의 trigger실험을 하였다. 1973년부터 1976年사이 93달중 61회의 trigger에 성공하였다. 이와같은 실험은 다음과 같은 것을 생각할 수 있다.

① 雷放電現象의 연구

임의의 시각에 예정된 지점에 雷放電을 誘發시킬 수 있으므로 雷放電의 物理的現象을 보다 상세하게 관찰할 수 있다.

② 電氣設備등의 雷擊防止技術의 연구

예를 들면 試驗送電 또는 鐵塔에 雷放電을 誘導해서 線路의 閃絡, 鐵塔의 電位上昇을 실험한다. 아직까지는 鐵塔의 落雷時 鐵塔 電位上昇으로 인하여 鐵塔에서 線路에의 逆閃絡現象을 직접 관찰한 기록은 없다.

③ 避雷, 消電技術의 開發研究

電氣設備, 建築物등의 避雷器로서 이용할 수 있다. 數100(m)의 높이에 쓰아올린 와이어에의 誘雷에 의해서 電氣設備, 建築物에의 雷擊을 피할 수 있다. 또한 雷雲中에 와이어를 쓰아올리므로써 雷雲內 放電을 誘發해서 雷雲內의 電荷를 中和시켜 地上에의 雷擊을 방지할 수 있다.

④ 雷에너지의 利用研究

로켓트로 特定點에 높은 빈도로 誘雷할 수 있다면, 이 에너지를 이용해 불만한 가치가 있게 된다.

雷放電의 관측은 3지점에서 하게되며, 로켓트발사지점에서는 放電의 사진촬영, 放電電流, 放電時의 電界, 磁場, 빛 등의 측정, 鐵塔에서의 誘雷時의 鐵塔電位 및 鐵塔脚部の 接地電位の 상승등이 측정되며, 또 다른 지점에서는 사진촬영과 電磁界測定을 한다. 또한 雷放電流의 크기 波形등도 기록할 수 있다. 표 3.2은 1973年 여름 불란서에서 실험한 결과이다.

鐵塔, 塔脚의 電位上昇의 측정은 아직 만족할만한 결과는 얻지 못하고 있는 실정이며, 雷擊時의 誘導雜音對策 등이 곤란한 문제로 제기되고 있다. 放電電流의 측정에 레이저光의 燻라디效果를 이용하는 레이저 CT의 방법이 시도되고 있으며, 또한 오프토펬리트로닉스를 이용하여 이를 측정하는 방법은 誘導雜音對策으로도 유효하다.

3.2.3 LEA消電시스템⁽²¹⁾

(1) 原理

本시스템의 原理는 高電壓技術分野에서 잘 알려진

표 3.2. 로켓트 誘雷記錄

雷 擊 點	地上電界 [KV/m]	와 이 어 到達高度	雷 擊 의 입	放 電 回 數	피이크電 流 [KA]	極 性	繼續時間 [ms]
大 地	16	210	單 一	1	~0.8	負	200
大 鐵 塔	11	190	"	1	<1	"	330
大 地	7	530	"		~1	"	—
大 鐵 塔	>20	70	多 重	6	11, 9, 6.5, 4.2, 4.2, 4	全 部 負	940
大 地	>20	400	單 一	1	~0.2	—	260
"	16	275	"	1	0.5	負	230
"	18	250	"	1	1	"	400
鐵 塔	13	320	"	1	2	正	125
"	17	410	"	1	2	"	65
"	18	150	多 重	3	4, 2, 1.5	全 部 正	290
"	18	210	"	2	2, 1	"	565
"	20	220	"	2	19, 4	負와 正	340

尖端放電現象의 응용에 그 기초를 둔 것으로, 美國의 LEA社(Lightning Elimination Association Inc.)가 開發한 것으로서 그림 3.16과 같이 平板電極과 그것에 對向하는 尖銳한 針狀電極間에 電壓을 인가하면, 그 尖銳한 電極 근방의 電位傾度는 크게되어 空氣分子는 이온化되게 된다. 이 이온化作用에 의해서 生成된 陽이온은 電極間의 靜電力에 의해서 平板電極方向으로

運動에너지를 얻어 가속되어 도중의 空氣分子의 電離, 結合을 반복하면서 이온流를 형성케 된다.

일반적으로 雷雲의 雲底는 負로 帶電된 하나의 電極으로 볼 수 있으므로 大地面은 이것에 對向하는 다른 電極으로 볼 수 있다. 따라서 그림 3.17과 같이 地表에 높게 설치한 支持物의 꼭대기에 尖銳한 電極(이온化裝置)을 설치한 경우를 생각하면, 이것은 等價的으로 그림 3.16의 回路로 표시된다,

즉, 兩圖 사이에서는

直流電源—雷의 電荷(雷セル)

平板電極—雷雲의 雲底

針端電極—이온化裝置

에 각각 대응한다. 따라서 이온化裝置의 이온生成能力 극도로 증가하면, 生成된 陽이온은 雷雲에 吸引되어 윗쪽으로 진행함과 동시에 被保護物의 上空을 넘어, 雷雲電荷에 영향을 준다. 그 결과 雷雲에서의 先驅放電, 被保護物에서의 스트리머의 進展을 억제하고, 그 空間의 電界의 세기를 충분히 낮은 값으로 유지하게 하므로써 大地放電 즉 落雷를 방지하게 된다.

(2) 構 成

本 시스템은 上記와 같은 原理를 기본으로 한 落雷의 豫防시스템으로 표 3.3과 같이 3부분으로 구성되어 있다(그림 3.17 參照).

(3) Array形狀

Array의 形狀은 保護對象物의 크기, 形狀, 立地條件등에 따라 設計해야 되나, 大별하면 그림 3.18과 같으며, 경우에 따라서 單獨 또는 組合한 것을 사용한다.

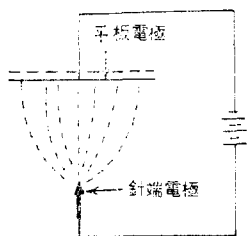


그림 3.16. 尖端放電

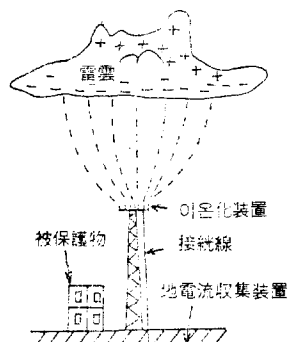
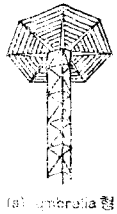


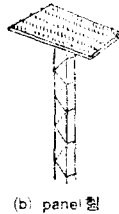
그림 3.17. 本 시스템의 原理

표 3.3. LEA消電시스템의 構成

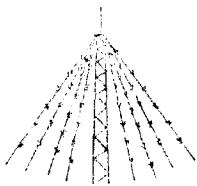
種 類	內 容	備 考
이온화裝 置(array)	尖端放電에 의한 大氣의 이온化作 用을 적극적으로 촉진시키는 裝置	原則적으로 被保護 物보다 높게 설치하 는대, 경우에 따라 서는 낮게 설치하는 경우도 있다.
地 電 流 收 集 裝 置	大地에서 電荷를 收集하기 위한 裝 置	大地電流 收集機能 에 주력을 두고 있 기 때문에 被保護面 에 넓고 얇게 시설 한다.
接 地 線	위 兩者를 電氣的 으로 접속하기 위 한 導線	接地線의 굵기는 이 온화되어 大氣中으 로 流出하는 이온電 流를 흐르게 하는데 충분한 것이면 되므 로 그 굵기는 機械的 強度로 정해진다.



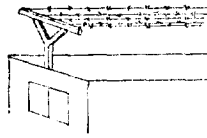
(a) umbrella형



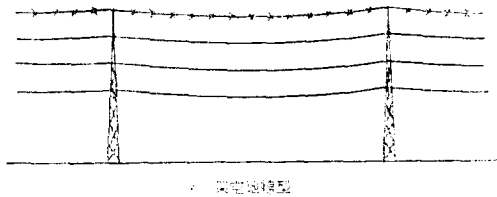
(b) panel형



(c) cone형



(d) loop형



· 架空線型

그림 3.18. Array 종류

④ 適用範圍

適用範圍는 매우 넓으며, 만약 실제의 가설상의 문
제점을 고려하지 않는다면 거의 모든것이 보호된다.

즉,

點保護 : 中繼塔, 放送塔, 建物等

面保護 : 石油프래트, 化學프래트, 폴프場等

線保護 : 送配電線, 通信線, 鐵道線路等

LEA社는 1971年~1979年 사이에 430시스템을 설치
했으며, 이 사이의 LEA消電시스템의 信賴度는 99.6
(%)에 이르는 좋은 결과를 얻고 있다.

4. 結 論

雷害에 대한 防護對策으로 아직까지 100(%)의 만족
할 수 있는 방법은 없으나, 지금까지 제시된 것을 총
합해 보면 다음과 같다.

1) 建築物에 대해서는 屋上의 구조에 따라서 避雷針,
용마루 위의 導體方式 또는 이 兩者를 조합해서 적용
하는 것이 유효하며,

2) 送電線의 雷遮蔽에 대한 新理論에 있어서 몇가지
가정에 대한 타당성에 대해서는 超高壓送電線을 중심
으로 한 實測에 의한 검증이 필요하다고 생각되며,

3) 統計的手法으로 雷遮蔽의 解析을 할 경우에는 총
분하며 타당하다고 생각되는 雷遮蔽모형을 구함과 동
시에 自然雷의 파라미터에 관한 신뢰할 수 있는 電子
計算機의 入力데이터의 集積이 요망되며,

4) 襲雷豫知와 雷警報方法은 地域에 대한 發雷情報
의 完全自動化가 이루어진다 하더라도 有効범위가 반
지름이 20[km]경도이므로 시설비가 많이 든다고 보며,

5) 로켓트誘雷方法은 鐵塔의 頂部에 誘雷時의 逆閃
絡現象의 관측이 가능하게 될 것이며, 避雷針送電線의
架空地線의 雷擊에 대한 保護範圍를 실험적으로 확인
하는데 이용될 수 있다고 보며,

6) LEA消電시스템은 종래의 避雷裝置와는 달리 二
次的인 損傷이 없어 火災나 暴發의 위험을 생각할 필
요가 없으므로 앞으로 더욱 有望시 되리라 생각된다

參 考 文 獻

[23] 河村達雄; "最近の雷そへい理論", 日本電氣學會
雜誌, Vol. 95, No. 8, pp.703~710, 1975.
[24] H.R. Armstrong & E.R. Whitehead; "Field and
Analytical Studies of Transmission Lines Shield-
ing", IEEE Trans. Power Apparatus Syst.
PAS-87, pp.270~279, 1968.
[25] D.W. Gilman & E.R. Whitehead; "The Mech-
anism of Lighting Flashover on High-voltage
and Extra-high-voltage Transmission Lines",
CIGRE Electra No. 27, pp.65~96, 1973.

- [26] G.W. Brown & E.R. Whitehead; "Field and Analytical Studies Transmission Line Shielding Part II", IEEE Trans. Power Apparatus Syst. PAS-88, No.5, pp.618~626, 1969.
- [27] M.A. Sargent; "The Frequency Distribution of Current Magnitudes of Lightning Strokes to Tall Structures", IEEE Trans. Power Apparatus Syst. PAS-91, pp.2224~2229, 1972.
- [28] J.R. Currie, L.A. Choy & M. Darveniza; "Monte Carlo Determination of the Frequency of Lightning Strokes and Shielding Failures on Transmission Lines", IEEE Trans. Power Apparatus Syst. PAS-90, pp.2305~2310, 1971.
- [29] M.A. Sargent; "Monte Carlo Simulation of the Lightning Performance of Overhead Shielding Networks of High Voltage Stations", IEEE Trans. Power Apparatus Syst. PAS-91, pp. 1651~1656, 1972.
- [30] 野瀬正純; "レーダによる発雷豫知と雷警報", 日本電気學會雜誌, Vol. 98, No. 12, pp.1168~1169, 1978.
- [31] 福森誠一; "發雷警報装置による雷警報", 日本電気學會雜誌, Vol. 98, No. 12, pp.1170~1171, 1978.
- [32] 河村達雄; "雷放電力ウインタによる大地放電数の比較測定", 日本電気學會雜誌, Vol. 84~9, pp.1309~1310, 1964.
- [33] 宮地 巖, 堀井憲爾; "ロケットによる雷放電のトリガとその應用", 日本電気學會雜誌, Vol. 97, No. 4, pp.274~277, 1977.
- [34] 堀井憲爾, 宮地 巖; "ロケットによる雷放電トリガの實驗", 日本電気學會雜誌, Vol. 98, No. 12, pp.1160~1162, 1978.