

# 765kV 송전선 電氣環境障害 대책설계

김 정 부

한국전력공사 기술연구원 765kV 송전기술연구팀장

## 1. 서 언

送電線路의 전기적 영향은 2가지 범주로서 코로나 발생으로 인한 영향과 電·磁界로 인한 영향으로 나눌 수 있다. 도체의 표면과 지지하는 금속에서 발생하는 Corona는 可聽騒音, TV 및 Radio 장애를 일으키고, 電·磁界는 誘導電流, 불꽃 放電과 직접 接觸電流를 일으킨다.

Corona영향은 선로설계에 의해서 감소시킬 수 있다. 코로나 발생영향과 가청소음은 도체의 간격, 상간격, 전선 배치를 적절히 하여 導體表面에 Corona 발생을 최소로 할 수 있다. Radio 및 TV 障害는 受信 Antenna를 다시 놓거나 受信器를 개량함으로써 개선할 수 있다. 이와 같이 Corona발생에 의한 영향이 우리 문화생활에 지장을 초래하는 일이 있다.

345kV 송전선에서 강우시 평균 可聽騒音은 30 dB(A)이기 때문에 전혀 문제가 되지 않는다. 765kV를 운전하고 있는 미국의 AEP(American Electric Power Company) 전력회사나 캐나다의 Hydro Quebec 전력회사의 設計 騒音基準은 55 dB(A)임을 고려하면 30dB(A)는 문제가 되지 않는다. 그러나 최근에 건설되고 있는 일본의 東京電力(株)의 1,000kV 送電線의 가청소음에 대한

설계기준은 50dB(A)로 강화되었다. 이 基準을 만족하게 되면 Radio 및 TV 障害는 자연 해결되므로 可聽騒音에 대한 설계에 주안점을 두고 연구를 진행하게 되었다. 또한, 해외연수시 외국의 문헌에 의한 연구는 한계를 느껴 試驗에 의한 연구를 기술연구원에서 1984년부터 진행하게 되었다.

제1 단계로 單相模擬 設備인 Corona Cage를 건설, 候補導體를 시험하여 最適電線 크기와 條數 및 素導體 간격을 정하였으며 이의 결과를 바탕으로 實現模 試驗線路를 설계, 건설하였다. 이에 대한 연구내용을 다음에 소개하고자 한다.

한편 磁界는 도체를 흐르는 전류에 의해서 발생하나 평상시에는 대체로 平均電流가 흐르므로 그 크기가 아주 적어서 별 문제가 발생되지 않는다. 그러나 電界에 의하여는 불꽃 放電, 接觸電流 등 우리 일상생활에 충격을 주는 일이 가끔 있다. 이를 靜電誘導(Electrostatic Induction)라 한다. 우리나라에서는 초기 345kV 송전선의 地上高는 電氣設備技術基準에 의거 電線높이를 결정하였으나 가압, 운전하여 본 결과, 地上高가 부족하여 靜電誘導가 발생하는 것을 알게 되어 여기에 대한 대책을 세우게 되었다. 우선 해외

여러 전력회사에서 시행하고 있는 관례를 조사하였다.

電線의 높이는 지표면에서 1m 높이에 있는 電界(Electric Field)의 크기로 정하고 있다는 것을 알게 되었다. 이러한 電界의 크기를 줄이기 위하여 電線의 地上高를 높이는 대신에 땅이 넓은 나라에서는 폭 넓은 地上權을 확보하고 인구밀도가 높은 나라에서는 地上高를 높이는 것이 일반적인 사항이다.

한전에서는 이러한 외국의 사례를 조사하여 평지에서 사람이 자주 다니는 도로상 電界의 크기는 3.5kV/m 이하, 사람이 거의 다니지 않는 산지에서는 7kV/m 이하로 정하도록 電線의 地上高의 설계기준을 정하였다.

여기서 送電線下의 電界計算方法과 345kV, 765kV 송전선로하에서 설계기준을 만족시키기 위하여 電線 地上高를 얼마로 하여야 될 것인가에 대하여 기술하고자 한다.

## 2. 地表面에서 電界 計算방법

### 가. 서 언

송전선의 도체에 인가한 電壓은 도체와 지면 사이에 電界를 만들고 도체를 흐르는 전류는 같은 부분에서 磁界를 만든다. DC 送電線路의 경우에 電界 및 磁界는 완전히 정지상태이다. AC 송전선의 경우에 電界와 磁界는 常用周波數에서 시간에 따라 변하지만 준정지 상태로 간주된다. 다시 말하면 電界와 磁界는 완전히 독립해서 靜電界의 개념에 근거하여 계산할 수 있다. 송전선로에 의해서 만들어지는 電界·磁界의 계산은 도체의 弛度, 鐵塔의 접근, 평평하지 못한 지표면, 한정되어 있는 大地 導電率 등의 실제적인 문제 때문에 원래 복잡하다. 문제의 복잡성을 줄이기 위하여는 다음과 같은 간단한 가정이 필요하다.

- ① 導體는 지표면과 상호무한으로 平行하고 매끄럽고 무한히 긴 圓柱기둥으로 가정한다.
- ② 導體의 지지물과 부근의 물체에 대한 영향을 무시한다.
- ③ 各 導體의 地上 높이의 평균값은  $H \frac{2}{3} S$ 로 한다.

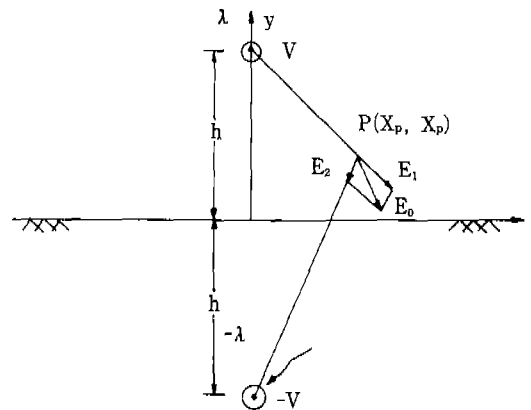
H는 導體의 지지점에서부터의 지상높이이고 S는 연간 平均溫度에 해당하는 導體弛度이다.

### 나. 電界強度

電界強度 計算을 위하여 아래 가정이 이루어졌다.

- ① 地面은 무한한 水平面 도체 표면이고 電位는 零電位를 나타낸다.
- ② 導體는 기지의 전압을 가진 等電位 表面으로 가정한다.
- ③ 地表面·電界強度 計算을 위하여 도체 주위에 電荷分布는 균일하다고 가정하고 각 도체의 중심에 線電荷가 표면에 분포된 電荷를 유사시키기 위하여 사용되었다.

單導體를 가정하고 그림 1과 같이 地面위 h 높에서 지면에 평행한 반경 r을 가진 무한히 긴



<그림 1>

圓柱導體로 송전선을 나타낼 수 있다. 도체의 전위를  $V$ 라 가정하면 도체 한가운데 線電荷  $\lambda$ 로 나타낼 수 있다. 影像理論에 의해서 地面은 지면 아래  $h$ 만큼 떨어진 點에서  $r$ 의 반경을 가진 影像導體로 나타낼 수 있다. 영상도체의 전위는  $-V$ 이고 중심에 線電荷  $-\lambda$ 로 나타낼 수 있다.

도체의 전위는 線電荷로 표현될 수 있다.

$$V = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{2h}{r} \dots\dots\dots (1)$$

電位  $V$ 가 주어지면 도체를 나타내는 線電荷  $\lambda$ 는 (1)식에서 구할 수 있다.

地面에 가까운 어느 點  $P$ 의 電界는 線電荷  $\lambda$ 와 그의 영상  $-\lambda$ 에 의해서 결정된다.  $\lambda$ 에 의해서 만들어지는 電界成分  $E_1$ 은 도체의 중심과 임의의 點  $P$ 를 연결하는 線方向이고 다음과 같은 크기를 가진다.

$$|E_1| = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \cdot \frac{1}{R_1} \dots\dots\dots (2)$$

여기서  $R_1 = \sqrt{X_p^2 + (h - Y_p)^2}$ ,  $\vec{E}_1$ 의  $X$ ,  $Y$ 成分은 다음과 같다.

$$E_{1x} = |E_1| \cdot \frac{X_p}{R_1}, \quad E_{1y} = -|E_1| \cdot \frac{h - Y_p}{R_1} \dots\dots\dots (3)$$

같은 방법으로  $-\lambda$ 에 의해서  $P$ 점에 電界成分  $\vec{E}_2$ 는 그림 1에 나타낸 방향이고 크기는 아래와 같다.

$$|E_2| = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \cdot \frac{1}{R_2} \dots\dots\dots (4)$$

여기서  $R_2 = \sqrt{X_p^2 + (h + Y_p)^2}$ ,  $\vec{E}_2$ 의  $X$ ,  $Y$ 成分은 아래와 같다.

$$E_{2x} = -|E_2| \cdot \frac{X_p}{R_2}, \quad E_{2y} = -|E_2| \cdot \frac{h - Y_p}{R_2} \dots\dots\dots (5)$$

電界強度  $\vec{E}_p$ 는  $X$ ,  $Y$ 成分을 각각 더하면 얻을 수 있다.

$$E_{px} = E_{1x} - E_{2x} = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \left[ \frac{X_p}{R_1^2} - \frac{X_p}{R_2^2} \right] \dots\dots\dots (6)$$

$$E_{py} = E_{1y} + E_{2y} = \frac{-\lambda}{2\pi\epsilon_0} \left[ \frac{h - Y_p}{R_1^2} + \frac{h + Y_p}{R_2^2} \right] \dots\dots\dots (7)$$

결국  $\vec{E}_p$ 의 크기와 方向은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$|E_p| = \sqrt{E_{px}^2 + E_{py}^2}$$

$$\angle E_p = \tan^{-1} \frac{E_{py}}{E_{px}} \dots\dots\dots (8)$$

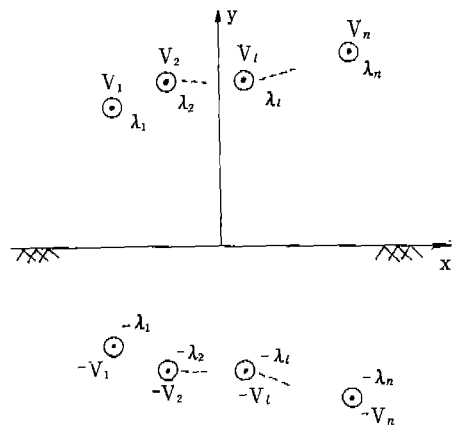
(1)식~(8)식은 單導體 DC와 AC 송전선 아래에서 電界를 계산하는데 사용된다. DC 線路에서는  $V$ 는 일정하고 어느 點에서 電界는 (8)식에서 주어지는 일정한 크기와 方向을 가지는 空間 Vector에 의해서 정의된다. AC 선로의 경우 電壓  $V$ 는 時間에 따라 sine함수로 변하고 일반적으로 Phasor로 나타내어진다.

$$V = \bar{V} \sin \omega t$$

여기서  $\bar{V}$ 는 電壓의 實效值이고  $\omega$ 는 角速度이다. 결과적으로 線電荷  $\lambda$ 와 (2)식에서 (8)식의 電界成分은 역시 Phasor이다. 이와 같이 어느 點에서 電界強度  $P$ 는 그 크기와 시간에 따라서 sine함수로 변하나 항상 같은 방향으로 향하는 空間 Vector에 의해서 정의된다.

(8)식의  $|E_p|$ 는 크기가 sine함수로 변하고 일정한 방향  $E_p$ 를 가지는 實效值이다.

$n$ 導體의 送電線을 고려하면 그림 2에서와 같이 지면 위  $h_1, h_2, \dots, h_n$ 의 반경을 가진 무한히



<그림 2>

긴 圓柱導體로 나타낼 수 있다. 임의의 座標系에서  $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_n, Y_n)$ 이 n導體의 중심좌표의 중심에 놓여진 線電荷라 하자. 여기에 다시 影像理論에 따라서 지면은  $(X_1, -Y_1), (X_2, -Y_2), \dots, (X_n, -Y_n)$ 의 위치에 있으며 각각  $-V_1, -V_2, \dots, -V_n$ 의 電位를 가진 影像導體로 대치할 수 있다.

線電荷는 既知의 電位로부터 行렬방정식을 풀어 구할 수 있다.

$$[P] \cdot [\lambda] = [V] \dots\dots\dots (10)$$

여기서  $[V]$ 와  $[\lambda]$ 는 n개 도체의 電位와 線電荷를 나타내는 Column Vector이다.  $[P]$ 는 각 要素가 다음과 같이 표현되는  $n \times n$ 개의 正方電位係數 行列이다.

$$P_{li} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \cdot \ln \frac{2h_l}{r_l}, l=1,2 \dots\dots\dots (11)$$

$$P_{lm} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \cdot \ln \frac{D_{lm}}{d_{lm}}, l, m=1,2, \dots, n; l \neq m \dots (12)$$

$$\text{여기서 } D_{lm} = \sqrt{(X_l - X_m)^2 + (Y_l + Y_m)^2}$$

$$d_{lm} = \sqrt{(X_l - X_m)^2 + (Y_l - Y_m)^2}$$

위 식에서  $P_{li}$ 과  $P_{lm}$ 은 Square Matrix  $[P]$ 의 對角線 및 非對角線의 要素들을 각각 나타낸다.

$[\lambda]$ 를 얻기 위하여 (10)식을 풀 후  $(X_p, Y_p)$ 의 座標로 나타내어지는 P點의 電界는 다음과 같이 구하여진다. 線電荷  $\lambda_l$ 과 그 影像電荷에 의해서 P點의 電界의 X, Y 成分은 (6)식 및 (7)식을 따라서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$E_{lx} = \frac{\lambda_l}{2\pi\epsilon_0} \left[ \frac{X_p - X_l}{R_{li}^2} - \frac{X_p - X_l}{R_{li}^2} \right] \dots\dots\dots (13)$$

$$E_{ly} = \frac{-\lambda_l}{2\pi\epsilon_0} \left[ \frac{Y_l - Y_p}{R_{li}^2} - \frac{Y_l - Y_p}{R_{li}^2} \right] \dots\dots\dots (14)$$

$$\text{여기서 } R_{li} = \sqrt{(X_p - X_l)^2 + (Y_p - Y_l)^2}$$

$$R_{li} = \sqrt{(X_p - X_l)^2 + (Y_p + Y_l)^2}$$

P點에서 電界의 X, Y 最終成分은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$E_{px} = \sum_{i=1}^n E_{lix}, E_{py} = \sum_{i=1}^n E_{liy} \dots\dots\dots (15)$$

결국 P點의 合成電界  $E_p$ 의 크기와 방향은 (8) 식으로부터 구해진다.

多導體 DC線路에서 電位  $V_l$ 은 일정한 값이기 때문에 合成電界는 간단한 空間 Vector로 정의된다. 그러나 多導體 AC線路에서는 電位  $V_l$ 은 상대적인 位相을 가짐은 물론 다른 實效置를 가지는 Phasor이다.  $V_l$ 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_l = V_l \sin(\omega t + \theta_l), l=1,2, \dots, n \dots\dots\dots (16)$$

여기서  $V_l$ 은 實數置이고  $\theta_l$ 은 임의의 기준에 대한 位相角이다. 3相線路에서 예를 들면  $\theta_1=0, \theta_2=-2\pi/3, \theta_3=-4\pi/3$ 이다. Phasor는 일반적으로 複素數로 나타낸다.

예를 들면

$$V_l = V_{lr} + jV_{li} \dots\dots\dots (17)$$

여기서  $V_{lr}$  및  $V_{li}$ 는 Phasor  $V_l$ 의 實數部 및 虛數部를 나타낸다. (16) 및 (17)을 비교해서  $V_l$  및  $\theta_l$ 은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$V_l = \sqrt{V_{lr}^2 + V_{li}^2}, \theta_l = \tan^{-1} \frac{V_{li}}{V_{lr}}$$

線電荷의 實數部와 虛數部를 구하기 위하여 (10)식을 풀어야 한다.

$$[P] \cdot [\lambda_r] = [V_r], [P] \cdot [\lambda_i] = [V_i] \dots\dots\dots (18)$$

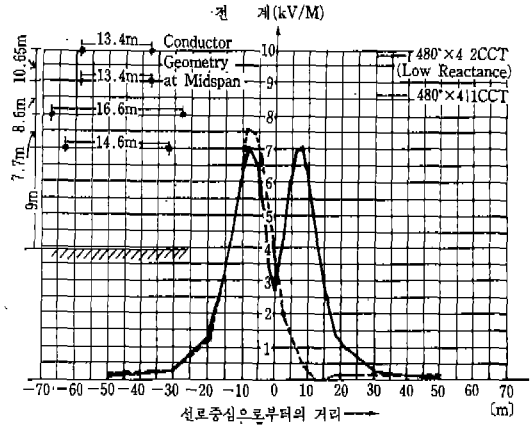
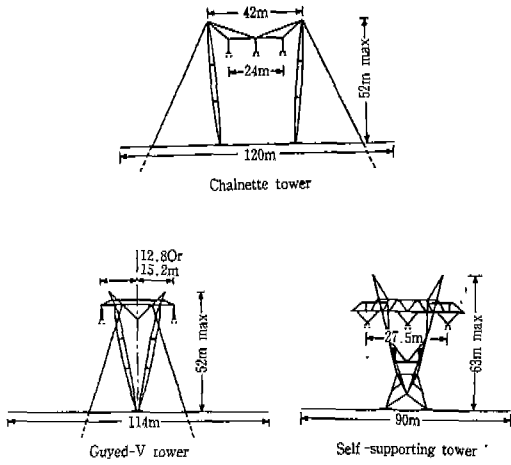
여기서  $[V_r]$  및  $[V_i]$ 는 電壓의 實數部와 虛數部를 나타내는 Column Vector이다.  $[\lambda_r], [\lambda_i]$ 는 線電荷의 實數部와 虛數部를 나타내는 Column Vector이다. (13)식과 (14)식을 사용해서 電界의 X, Y의 實數部와 虛數部 즉  $E_{lxr}, E_{lxi}$ 와  $E_{lyr}, E_{lyi}$ 가 계산되고 P點에서 電界 X, Y 成分은 다음과 같이 주어진다.

$$E_{pxr} + jE_{pxi} = \sum_{i=1}^n E_{lixr} + j \sum_{i=1}^n E_{lixi} \dots\dots\dots (19)$$

$$E_{pyr} + jE_{pyi} = \sum_{i=1}^n E_{liy} + j \sum_{i=1}^n E_{liyi} \dots\dots\dots (20)$$

다른 방법으로는 電界의 X, Y 成分은 아래와 같이 표현된다.

$$E_{px} = \widehat{E}_{px} \sin(\omega t + \theta_x) \dots\dots\dots (21)$$



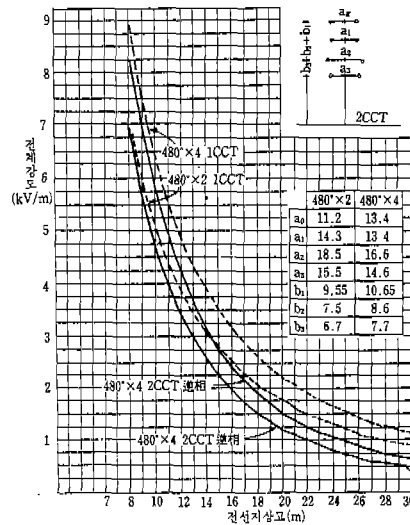
<그림 3> 線路中心으로부터 345kV 4導體 2回線 電界의 크기

$E_{py} = \widehat{E}_{py} \sin(\omega t + \theta_y)$  ..... (22)  
 일반적으로  $\theta_y$ 는  $\theta_x$ 와 같지 않으므로 최종  $\widehat{E}_p$ 는 橢圓을 그리면서 크기와 방향이 모두 변한다. 그러나 지표면에서는  $E_{px} = 0$ 이고 最終電界는 지면에 垂直이다.

### 3. 실제 送電線下 電界의 크기와 電線 높이

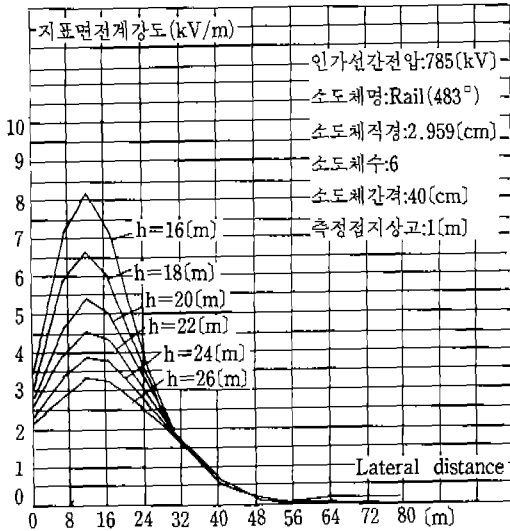
그림 3은 현재 많이 운용되고 있는 345kV 4導體 2回線 送電線路가 逆相配列(Low Reactance) 되고 지상고 9m일 때 지표면 1m 점의 電界가 線路中心線에서 直각방향으로 떨어져 감에 따라 어떻게 변화하고 있는가를 나타내고 있다. 이 그림에서 보면 電界 크기는 線路中心보다 電線直下가 최대(7kV/m)로 크게 나타나고 前線으로부터 거리가 멀어짐에 따라 크기가 점점 줄어드는 것을 알 수 있다.

그림 4는 이와 같이 電線 최저높이와 최대 電界 크기와의 관계를 線路運轉條件 및 設計條件의 여러 경우를 비교하여 나타내는 것이다. 이 그림



<그림 4> 地上 1m의 電界强度 計算值(345kV)

에서 보면 平地에서 基準電界 이하로 설계하기 위하여 4導體의 경우 1回線 운전시까지 고려하면 15m 이상으로 電線의 높이를 정해야 됨을 알 수 있다. 기술기준에 의하면 9m 이상으로 하면 되



<그림 5> 6×483mm<sup>2</sup>의 地表面 電界 強度

나 그 차이는 6m나 된다.

그림 5는 765kV 2회선 送電線일 경우 地表面 電界를 3.5kV/m 이하로 하기 위한 電線의 最小 地상고는 26m임을 보여주고 있다.

北美大陸과 같이 땅이 넓은 나라에서는 地上權 확보가 용이하기 때문에 地上高를 높이는 것보다 地상權의 幅을 넓게 하여 電線의 地상고를 最小로 하는 것이 설계의 기본방침이다.

다음 그림은 캐나다 Hydro Quebec 전력회사의 735kV 1회선 送電線의 地上權 幅을 철탑형상에 따라 다르게 정하고 있음을 보여주고 있다. 支持物의 重量을 줄이기 위하여 철탑에 支線을 매고 있으나 자립형 철탑보다 더 넓은 地상權을 확보해야 한다.

#### 4. 可聽騒音에 대한 設計

電壓이 높은 送電線로의 설계에 있어서 제일 먼저 고려하여야 할 사항은 電氣環境障害 대책이다.

電界에 의해서 나타나는 靜電誘導 現象을 없애기 위하여 電線의 地上高를 높여야 하고 Corona 現象에 의한 TV 및 Radio 雜音과 可聽騒音을 발생시키지 않도록 電線의 크기를 굵게 하거나 條數를 늘려야 한다.

일반적으로 Corona대책에 대한 설계는 可聽騒音 基準을 만족하는 전선을 선정하면 TV 및 Radio 雜音은 자연히 기준치 이하로 낮추어지게 되므로 可聽騒音에 대한 설계가 매우 중요하다.

미국 BPA(Bonneville Power Administration) 전력회사에서 개발한 豫測 프로그램으로 765 kV 2회선 送電線의 候補導體를 선정하였다. 4導體로는 아무리 큰 電線을 사용하여도 55dB(A)를 만족시키지 못하였고 소음기준을 50dB(A)로 잡으면 6導體로 설계하지 않으면 안되었다.

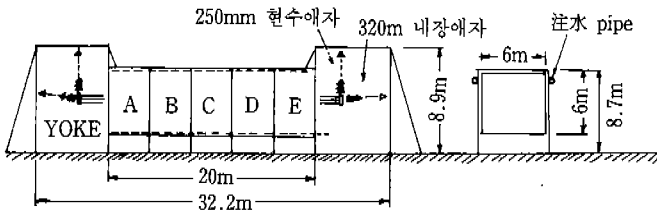
이 候補導體에 대한 可聽騒音 발생량을 측정하기 위하여 제 1 단계로 單相模擬設備인 Corona Cage를 한국전기연구소 구내에 건설하고 實線路의 電線表面電界와 같은 電界가 되도록 Corona Cage안에 架線되어 있는 전선에 商用 周波試驗變壓器로 전압을 인가 注水狀態에서 可聽騒音을 측정하여 實際線路에서 발생하는 可聽騒音量으로 환산하였다.

여러 候補導體를 가선하여 시험한 후 최적 導體選定을 하여 제 2 단계의 연구를 하기 위하여 實規模 試驗線路를 건설하였다.

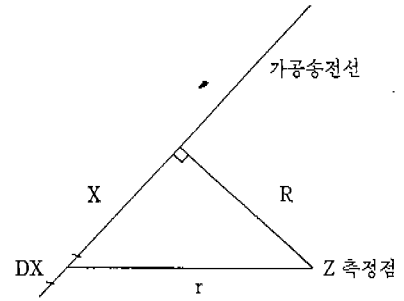
#### 가. 코로나 케이지 設計

코로나 케이지의 構造는 圓形이 이상적이지만 제작 등의 이유로 전기적으로 큰 차이가 없는 正方形으로 건설하였다.

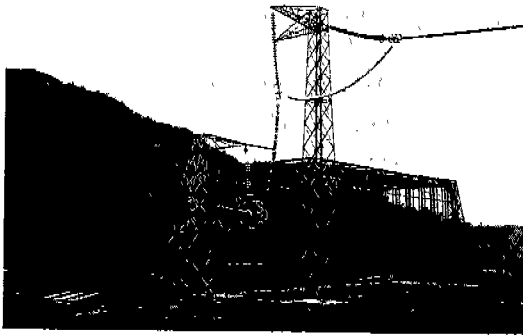
케이지의 크기는 内部의 靜電界 緋布 및 이온의 移動 距離 등을 고려하여 6m×6m의 斷面積을 가진 最小 크기로 정하였다. 導體表面 電界 계산 방법은 電荷 重疊法에 의해서 계산하였다. 케이



A.E:1중 전극구조 전체접지  
 B.D:2중 전극구조 내부일체로 대지절연  
 C :2중 전극구조 내부 4 번 독립으로 대지절연  
 <그림 6> 코로나 케이지 構造



<그림 8> 단도체 음원과 측정점



<사진 1> 韓國 電氣研究所에 設置되어 있는  
 코로나 케이지

지의 전체 길이는 20m로 4m씩 5등분하였으며 중앙부(B.C.D) 3개부분은 라디오 雜音 測定을 위하여 大地로부터 절연시킬 수 있도록 内部케이지와 外部케이지間 支持碍子(SP-6)를 사용하였고 内部 케이지는 課雷時 誘導에 의한 火花放電의 영향을 줄이기 위하여 溶接鐵鋼을 사용하였으며 外部 케이지는 外來電波의 영향을 줄이기 위하여 Mesh로 씌웠다.

그리고 특수설계한 Yoke에서 導體를 6導體까지 변경, 코로나 實驗을 행할 수 있도록 하였고 人工降雨 設備을 설치하여 注水時 導體 코로나 特性도 실험할 수 있도록 하였다(그림 6, 사진 1 참조).

## 나. 코로나 케이지 측정치에 의한 豫測 計算法

### (1) 送電線 코로나 騒音의 電波과정

코로나에 의한 可聽騒音의 電波는 소리의 법칙에 적용된다. 騒音 발생은 導體를 따라 일정하고 가정하고 도체 단위 길이당 발생하는 騒音 Power는 導體表面, 電界強度, 電界크기, 소도체수에 따라 변하는 것으로 이것은 코로나 케이지 또는 試驗送電線을 이용하여 실측하여야 한다.

코로나 발생원이 그림 8에서 선로를 따라 A [w/m]의 Noise Power로 균등하게 분포되어 있다고 가정할 때 ΔX에 의한 Z點에서의 음향 Power 密度는

$$\Delta J = \frac{A \Delta x}{4\pi r^2} [w/m^2] \dots\dots\dots (23)$$

이며, 全 線路에 의한 음압레벨 P는 다음과 같다.

$$P = \sqrt{\int \frac{\delta C A}{4\pi r^2} dx} [dB \text{ re } 20\mu pa] \dots\dots\dots (24)$$

단,  $r^2 = R^2 + X^2$

$\delta$  = 공기밀도, 1,205[kg/m<sup>3</sup>]

C = 음속, 344[m/sce]

l = 선로길이[m]

測定點이 선로 중간인 경우에 음압레벨은 실제

송전선의 경우  $l \gg R$ 인 것을 고려한다면

$$P = \sqrt{\frac{\delta CA}{4R}} [dB \text{ re } 20\mu Pa] \dots\dots\dots (25)$$

가 된다.

그러나 이상의 과정은 電波 과정에서 손실, 지면반사 등이 없는 단일 도체의 이상적인 騒音 電波의 경우이지만 실제로는 적용 마이크의 응답 특성에 따른 측정치, 다도체의 상호 간섭효과, 地表面 반사 및 공기의 소리 에너지 흡수 등으로 인한 차이가 있다.

## (2) 코로나 騒音 예측법

送電線의 코로나 騒音은 이상과 같이 측정지점, 電線길이 등에 따라 달라지므로 이러한 영향을 받지 않고 코로나 케이지에서의 測定 데이터를 예측, 평가하기 위해서는 발생량을 대표하는 기준치로 우선 換算할 필요가 있다. 이 기준치로서는 일반적으로 코로나 騒音 출력음압  $P_1$ 을 적용하는데, 이는 유한장 電線에서의 측정치를 무한장 電線에서 1m 떨어진 지점에서의 코로나 소음량으로 換算한 것이다.

식(25)에서

$R = l/[m]$ 이므로  $P_1$ 은

$$P_1^2 = \frac{\delta CA}{4} [Pa] \dots\dots\dots (26)$$

이 되고 한편 선로 총 음향 Power A는 식(27)과 같으므로  $P_1$ 은 다시 식(28)로 나타낼 수 있다.

$$A = 2\pi R P_1^2 / \left\{ \delta \tan^{-1} \left( \frac{l}{2R} \right) \right\} [w/m] \dots\dots (27)$$

$$P_1 = \sqrt{\frac{\pi R}{2} P_1^2 / \tan^{-1}(l/2R)} [Pa] \dots\dots\dots (28)$$

식(28)을 dB로 단위 환산하면

$$P_1 [dB \text{ re } Pa] = P [dB \text{ re } Pa] + 10 \log R + 10 \log \left\{ \pi / 2 \tan^{-1}(l/2R) \right\} \dots\dots\dots (29)$$

로 된다. 그러므로 본 연구에서 사용한 코로나 케이지의 경우는  $l=20[m]$ ,  $R=4[m]$ 이므로 측

정치 P와 선로 출력음압  $P_1$ 과의 관계는 식(30)으로 요약된다.

$$P_1 = P + 7.2 [dB \text{ re } Pa] \dots\dots\dots (30)$$

식(30)을 이용하여 무한장 送電線路에서 외측 r[m]지점의 코로나 騒音 發生량을 거리 감쇠 및 공기 흡수 효과를 고려하고 나타내면

$$P_r = P_1 - 10 \log r - 0.02r [dB \text{ re } Pa] \dots\dots\dots (31)$$

이 되는데, 실제적인 多相線路의 경우는 각상을 독립적인 Line Source로 보고 각상의 코로나 騒音을 구한 후 식(32)의 출력음압 合成式에 의해 전체 코로나 騒音 발생량을 구하게 된다.

$$P_{Total} = 10 \log \left\{ \sum_{i=1}^N 10^{Pr(i)/10} \right\} [dB \text{ re } Pa] \dots\dots (32)$$

단, Pr(i) : i번째 電線의 코로나 騒音

$P_{Total}$  : 合成 코로나 騒音 발생량

N : 상수

## 다. 코로나 케이지에 의한 試驗結果

### (1) 引加電壓 및 測定 計測器

전기연구소에 있는 商用周波 AC 試驗 變壓器 (6.9/1,100kV, 정격용량 2,200kVA)를 이용하였으며 加壓 電壓은 250kV~350kV 사이이다. 전압측정 계측기 보정을 위하여 球 Gap試驗을 하였다. 보정하기 전에는 電壓測定 계측기가 실제보다 낮은 電壓이 나타나 코로나 케이지에 있는 전선에는 계산 전압보다 높은 電壓이 인가되어 예측계산치와 차이가 많이 발생되어 이를 규명하는데 다소 시간이 소요되었다. 인가전압은 코로나 케이지에 架線된 電線表面 電界의 크기가 實際 送電線의 表面 電界와 같도록 전압을 인가한다. 케이지가 접지되었기 때문에 인가된 전압은 실제 선로보다 낮다. 전선표면의 電界 계산은 電荷 重疊法을 프로그램하여 이용하였고,  $483^\circ \times 6$  導體에서 소도체 간격이 40cm일 때 최대 전계의 평균치가 약 15kV/cm였다. 4개의 마이크(1/2인



〈표 1〉 여러 候補導體의 可聽騒音 측정결과

단위 : dB(A)

候補導體	강우 조건	측정 결과	BPA 예측계산치	GE 예측계산치
6×410mm <sup>2</sup>	강우시 (L <sub>s</sub> )	54.5	52.4	55.0
	등가경우시(L <sub>50</sub> )	49.1	48.9	49.4
6×483mm <sup>2</sup>	강우시 (L <sub>s</sub> )	53.1	51.7	54.6
	등가경우시(L <sub>50</sub> )	45.9	48.2	48.6
6×810mm <sup>2</sup>	강우시 (L <sub>s</sub> )	52.7	47.1	50.5
	등가경우시(L <sub>50</sub> )	44.1	43.6	42.2
4×810mm <sup>2</sup>	강우시 (L <sub>s</sub> )	58.4	56.1	58.8
	등가경우시(L <sub>50</sub> )	57.7	52.6	54.9

주) L<sub>50</sub>:특정한 날씨조건에서 특정시간대에 대한 시간의 50%를 초과하는 치수로서 중간치(Median Level)를 의미한다.

L<sub>s</sub>:특정조건에서 특정시간대에 대한 시간의 5%를 초과하는 값으로, 시간의 95%에 대한 소음치는 L<sub>s</sub>[dB(A)]보다 낮은 것을 뜻한다.

치 直径)중 3개는 可聽騒音 측정용으로 사용하고 1개는 Hum 측정용으로 사용하였다. 1개의 Sound Level Meter와 실시간 Spectrum 분석기를 사용하였다.

### (2) 測定條件

注水量이 28mm/hr일 때 騒音を “强雨時 騒音” 이라 하고 주수 정지후 1,1.5,2분 후 騒音を 측정하여 평균값을 “등가경우 騒音”이라 한다.

### (3) 測定結果

여러 候補導體를 코로나 케이지에서 시험하고 측정한다. 데이터를 實線路로 환산한 결과 6×410mm<sup>2</sup> 전선일 경우에도 L<sub>50</sub>가 可聽騒音 기준 50dB(A)을 만족하나 여유(Margin)가 없으므로 6×483mm<sup>2</sup> 도체를 기준치에 만족하는 전선으로 선정하여 實規模 試驗線路를 건설하였다. 표 1에서 측정된 값은 電線直下에서 측정된 값이다.

### 라. 實規模 試驗線路에 의한 환경장애 시험

코로나 케이지 試驗에서 6×483mm<sup>2</sup> 전선이 可

聽騒音 基準를 만족하고 있으나 어느 나라에서도 765kV 2회선 送電線路를 운전하여본 경험이 없으므로 電氣環境장애 영향을 측정하기 위하여 實規模 試驗線路를 건설하게 되었다.

이 試驗線路는 4기의 철탑과 3경간(200m,300m,200m)으로 구성되어 있고, 單相試驗 變壓器 3대로 2회선 송전선에 전압을 인가하기 위한 가공 모선을 지지하는 철탑 5기가 설치되어 있다.

가운데 경간의 중앙선에서 線路와 직각 방향으로 可聽騒音 측정기 10sets, 라디오 雜音 측정기 3sets, TV 雜音 측정기 3sets, 기상 측정설비 1set, 데이터 取得 設備 1set가 설치되어 있어 1993년 4월에 試驗 變壓器를 가압하였고 계측기 교정을 거쳐, 6월부터 765kV를 인가하여 장기 측정에 들어갔다. Data 취득 시스템이 매 3분마다 통신을 통하여 自動으로 데이터를 取得하여 저장하고 있다. 금년말까지 취득한 데이터를 1994년 초에 分析하여 中間 報告書를 작성할 계획이다.

1994년부터는 最高 電壓으로 운전하여 環境騒音량을 측정하며 1995년~1996년에는 다른 종류의 전선으로 교체하여 試驗할 계획이다. 다음에는 絶緣設計에 대하여 기술하고자 한다.