

# 鐵塔接地抵抗 測定에 관한 研究

기술보고  
22~6~2

## A Study on Measurement for Earth Resistance of Steel Structure

박 석 탁\* · 김 시 영\*\*  
(Suk Tak Park, Si Young Kim)

### Abstract

To lower the earth resistance shall be one of the most effective method for the prevention of lightning damage on power transmission line.

In this report, in order to investigate various characteristic necessary to lowering the earth resistance, the following experiments have been made at 154KV U1San-PoHang T/L, 154KV YoSu-SoonChun T/L and so on.

1. Measurement of Earth specific resistance.
2. Efficiency of Earthing of concrete foundation for steel structure.
3. Efficiency of Earthing with counter poise.
4. Compound impulse test with foundation of steel structure and counter poise.

With the above investigate a guidance have been prepared for the effective work-performance of steel structure.

### I. 序 論

送電線의 耐雷設計에 있어 鐵塔接地抵抗을 低下시키기 위하여 많은 努力을 하고 있으며 接地抵抗을 低下시키는 方法으로 塔脚에 接地棒 打込 및 埋設地線施工 등이 採用되고 있다.

送電線의 雷閃絡 防止原則은

- 1) 架空地線으로 電力線의 直擊雷를 避하고,
- 2) 架空地線 또는 鐵塔의 雷擊電流에 依한 雷擊點 電位上昇때문에 絶緣間隔 또는 碍子絶緣이 逆閃絡을 發生치 않도록 充分한 強度를 取하고 있다.

한편 鐵塔의 逆閃絡을 防止하기 위하여는 接地抵抗을 低下하는 것이 가장 有效하기 때문에 鐵塔 接地 抵抗의 諸特性을 調査하기 위하여 建設中인 154KV 울산~포항間 送電線 및 154KV 麗水~順天間 送電線을 利用하여 다음과 같은 試驗을 하였다.

- 1) 大地固有抵抗 測定

- 2) 鐵塔 concrete 基礎의 接地效果
- 3) 埋設地線의 接地效果
- 4) 鐵塔의 塔脚, 埋設地線 및 塔脚과 埋設地線의 合成過度特性을 調査하여 耐雷設計上 鐵塔接地의 有效한 接地工事指針을 提示하였다.

本 研究에 있어 試驗場所와 期間의 限定 및 現場 試驗의 難點等으로 因하여 廣範圍한 地域을 通하여 充分한 資料를 얻지 못하여 다소 不足한 感을 느끼는 바이다.

### II. 接地抵抗의 諸特性

鐵塔接地抵抗을 論함에 있어 關係되는 諸要素를 分解하여 研究할 必要가 있다. 接地抵抗에 關係되는 諸要素는 意外로 많으나 「實際 必要한 事項은 어느 程度의 接地工事を 하면 接地抵抗은 몇 오무(ohm)가 되며, 그것이 實際 雷擊이 있을때 어떠한 過度特性을 나타내는가」를 알면 된다. 前者를 알기 위해서는 大地固有抵抗  $\rho$ 의 特性, 各 接地方法에 對한 接地係數(接地抵抗  $R = \alpha \times \rho$ 로 하고  $\alpha$ 를 接地係數라 한다)에 對해서 研究

\* 전회원 : 한전 배선과주무

\*\* 정회원 : 한전기술개발연구소

할 必要가 있으며 後者를 알기 위해서는 衝擊電流에 依한 過度特性을 求하여야 한다.

大電流에 依한 低減效果는 試驗設備 때문에 實驗을 못했으며 小電流에 對한 過度特性을 實驗을 通하여 求했다. 以下 接地抵抗의 諸要素에 對하여 研究結果를 述하고자 한다.

1. 大地固有抵抗值

塔脚 接地抵抗의 大小는 鐵塔을 建設하는 場所의 大地 固有抵抗에 依해 支配되며 大地 固有抵抗  $\rho(\Omega\text{-}m)$  는 普通  $\rho\text{-}a$  曲線으로 表示한다.

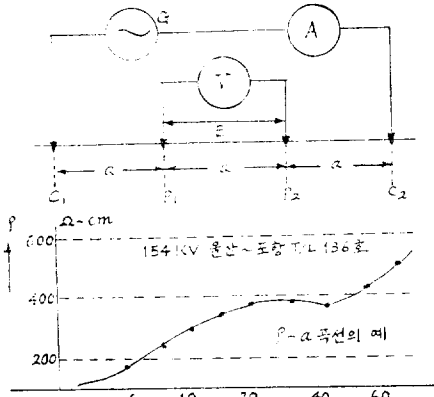


그림 1-1. 大地固有抵抗의 測定方法

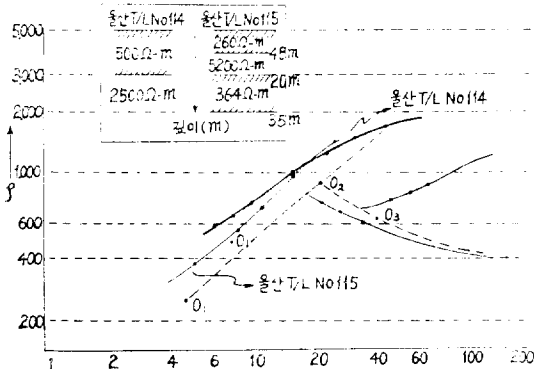
Fig. 1-1. Measuring method of specific earth resistance.

이것은  $\rho$  值가 表面에서 깊이에 따라 어떻게 變化하는 가를 나타내는 것으로 그림 1-1이 그 예이다.

이 曲線은 土壤의 種類에 따라 千差萬別이며  $\rho\text{-}a$  曲線을 分解해서 土壤의 層別 抵抗值를 求할 수 있다.

그림 1-2는 各種의  $\rho\text{-}a$  曲線으로 그것을 分解해서 層別 抵抗值를 例示한 것이다.

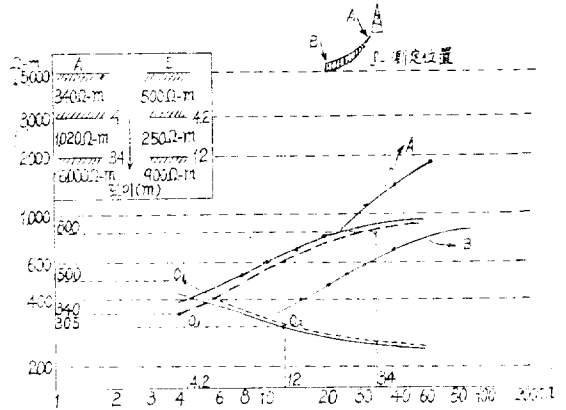
塔脚 接地設計의 경우 어느程度 깊이의  $\rho$  值를 採用할 것인가는 하나의 問題로 되고 있는데 本 報告書는 層別 接地抵抗值中 電極板을 埋設하는 部分 또는 그 近傍의 깊이의 值를 주로 採用하였다.



(a) 154KV 울산-포항 T/L#114, #115

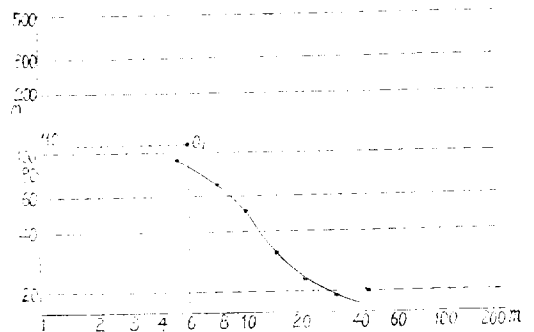
大地 固有抵抗은 場所에 依한 變動이 크며 특히 地表 面에서 10m 以內는 土壤의 構成이 極히 變動이 심하기 때문에 測定場所에 따라 變動이 많다. 實測한  $\rho\text{-}a$  曲線에 依하면 同一鐵塔이라도 測定方向이나 測定場所에 따라 달라짐을 알 수 있다.

[그림 1-2(b) 참조]



(b) 154KV 울산-포항 T/L#135

外國文獻에 依하면 鐵塔 concrete基礎의 4脚을 脚別로 接地抵抗을 測定할 경우 接地抵抗值는 서로 相違하며 심할 경우는 2倍程度까지 될 때도 있다고 한다. 이런 點에서 볼때 埋設地線은 施工場所가 地表面에서 1m 以內이고 施工範圍는 넓기 때문에  $\rho$  值의 變動에 따른 影響을 받기가 쉽다.



(c) 154KV 울산-포항 T/L#196

그림 1-2.  $\rho\text{-}a$  曲線과 層別分解曲線

Fig. 1-2.  $\rho\text{-}a$  Characteristic curve.

結局 大地固有抵抗을 測定하는 것은 送電線路의 經過地에 對한 接地工事의 難易度를 아는것이 目的이지 正確한 鐵塔 接地工事를 한다는 것은 不可能하다.

大地固有抵抗值의 變動은 木質의인 現象으로 技術의 向上에 依해 처리될 수 있는 것은 아니다.

2. 鐵塔接地抵抗의 定常特性

接地抵抗을 測定하는 것은 一般의 鐵塔을 使用하며 그 抵抗値를 過度特性和 比較하는 意味에서 定常値라고 한다.

各種 接地工事法의 比較도 먼저 定常値에 對하여 調査하고자 한다. 接地抵抗値를 低下하는 方法으로 一般的으로 施行하고 있는것은 接地棒, 打込, 埋設地線 施工等이다. 그러나 鐵塔 塔脚의 concrete 基礎自體가 良好한 接地效果를 가지고 있다는 것이 判明되어 有效한 接地抵抗引下法이 되고 있다.

2-1. 塔脚, 接地棒 및 埋設地線의 接地係數

2-1-1. 接地棒의 接地係數

接地棒의 接地抵抗은 一般的으로 다음 式으로 計算한다.

$$R_0 = \frac{S}{2\pi l} (\log \frac{4l}{a} - 1) \quad (1)$$

$R_0$ : 接地棒의 接地抵抗( $\Omega$ )

$S$ : 大地固有抵抗( $\Omega$ -cm)

$l$ : 接地棒의 길이(cm)

$a$ : 接地棒의 半徑(cm)

接地棒의 實測値와 計算値를 比較하기 위하여 154KV 울산, 포항 T/L No.156, No.158 및 韓電社員研修院 教育用 鐵塔에서 接地棒을 正四角型으로 비곳에 打設하고 實測한 結果 다음表 2-1 (a), (b)와 같다.

表 2-1 (a)에서 보던 接地棒에 接地抵抗의 實測値는 計算値의 약 10%程度로 그差가 甚小하므로 接地棒은 大地固有抵抗만 어느程度 正確히 測定한다면 計算式으로도 充分히 抵抗値를 豫測할 수 있다고 생각된다. 그리고 接地棒의 個數를 2個, 3個, 4個로 增加시킴에 따라 抵抗値는 거의 反比例的으로 減少됨을 알 수 있다. (표 2-1 (b) 참조)

表 2-1. 接地棒의 接地抵抗測定結果

Table 2-1. measured values of Earth resistance for ground rod

(a) 接地棒: 한개의 경우

| 接地棒의 種類         | 大地固有抵抗 $\rho(\Omega\text{-m})$ | 接 地 抵 抗 ( $\Omega$ ) |       |       | 接 地 係 數               |                       |
|-----------------|--------------------------------|----------------------|-------|-------|-----------------------|-----------------------|
|                 |                                | 實 測 値                | 計 算 値 | 實測/計算 | 實 測 値                 | 計 算 値                 |
| 銅 棒 18×1,800m/m | 143                            | 72                   | 79.2  | 91    | $5.04 \times 10^{-3}$ | $5.54 \times 10^{-3}$ |
| " 18×1,800m/m   | "                              | 73                   | "     | 92    | 5.10                  | 5.54                  |
| " 18×1,800m/m   | "                              | 83                   | "     | 105   | 5.77                  | 5.54                  |
| " 18×1,800m/m   | "                              | 77                   | "     | 97    | 5.38                  | 5.54                  |
| " 18×1,800m/m   | 950                            | 525                  | 526   | 99.8  | 5.53                  | 5.54                  |
| " 18×1,800m/m   | "                              | 537                  | "     | 102   | 5.55                  | 5.54                  |
| " 18×1,600m/m   | 145                            | 92                   | 90    | 102   | 6.34                  | 6.2                   |
| " 14×1,500m/m   | "                              | 95                   | 100   | 95    | 6.55                  | 6.9                   |
| " 14×1,500m/m   | "                              | 90                   | 100   | 90    | 6.21                  | 6.9                   |

(b) 接地棒: 2개 이상일 경우

| 測 定 場 所               | 大地固有抵抗            | 接 地 棒 數 | 接 地 抵 抗         | 備 考 |
|-----------------------|-------------------|---------|-----------------|-----|
| 154KV 울산~포항 T/L 156호주 | 143( $\Omega$ -m) | 1個      | 77( $\Omega$ )  |     |
|                       |                   | 2       | 40              |     |
|                       |                   | 3       | 27              |     |
|                       |                   | 4       | 21.4            |     |
| 154KV 울산-포항 T/L 158호주 | 950( $\Omega$ -m) | 1個      | 512( $\Omega$ ) |     |
|                       |                   | 2       | 268 "           |     |
|                       |                   | 3       | 182 "           |     |
|                       |                   | 4       | 141 "           |     |

※ 接地抵抗은 實測値의 平均値임.

2-1-2. 鐵塔基礎의 接地係數

塔脚의 接地는 接地 angle外에 基礎鋼材 또는 基礎

concrete 등의 鐵塔基礎材도 接地效果를 가지고 있다.

一般的으로 많이 使用되는 concrete 基礎의 경우는

concrete의 固有抵抗(200~800Ω-m)이 送電線이 經過하는 山岳地帶의 大地 固有抵抗(數 1000~數 10,000Ω-m)에 比해 적으므로 主脚 鐵材外에 基礎의 concrete도 接地效果를 가지고 있음을 實測에 依하여 確認되었다.

그림 2-1과 같이 鐵塔基礎를 簡略化해서 主脚鐵材와 concrete를 同心半球上의 表面에서 電流가 均一하게 流出한다고 보고 塔脚 接地抵抗  $R_T$ 를 다음 式에 依하여 求한다.

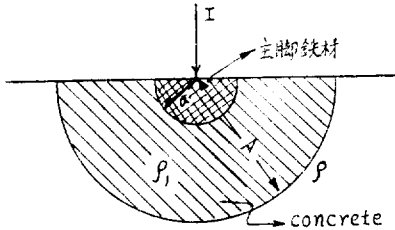


그림 2-1. Concrete 基礎의 接地效果  
Fig. 2-1. Earthing effect of concrete foundation of steel structure

$$R_T = \int_0^A \frac{\rho_1}{2\pi a} da + \int_A^\infty \frac{\rho}{2\pi A^2} dA$$

$$= \frac{\rho}{2\pi A} \left[ 1 + \frac{\rho_1}{\rho} \left( \frac{A}{a} - 1 \right) \right] \quad (2)$$

- $a$  : 主脚鐵材와 等價인 半球電極의 半徑
- $A$  : concrete 와 等價인 半球電極의 半徑
- $\rho_1$  : concrete의 固有抵抗
- $\rho$  : 大地固有抵抗

主脚鐵材 및 concrete와 等價인 半球電極의 半徑으로 各各을 圓柱電極으로 보고 求한 接地抵抗과 同一의 值가 되는 半球電極의 半徑을 取하면 一般的인 鐵塔에서  $A/a=2$ 程度이고 concrete를 導體로 보았을 경우와 比較하면 接地抵抗은  $\rho_1/\rho = \frac{1}{10}$  일때 10%,  $\rho_1/\rho = \frac{1}{100}$  일때 1% 程度크게 計算한다.

따라서 山岳地帶와 같이 大地 固有抵抗이 數 1000Ω-m 以上인 處에서는 基礎의 接地抵抗은 concrete를 導體로 보아도 큰 差가 없다. concrete 基礎의 接地抵抗 計算은 同一表面積의 半球電極으로 보는것 보다는 同一길이, 同一表面積의 圓柱電極으로 보는 見이 正確하므로 接地抵抗은 接地 Angle과 같은 式으로 求한다.

例를 들면 154KV 울산~포항 선로 156號 鐵塔에 對해서 計算은 다음과 같다.

- $(B=1,400\text{mm} \quad H'=3,100\text{mm}$
- $a=450\text{mm} \quad b=720\text{mm}$
- $l=450\text{mm} \quad H'=2,900\text{mm 일때)}$
- $l=310\text{cm} \quad a=56.7\text{cm}$

式 (1)에서  $R_T = \frac{\rho}{2\pi l} \left( \log_e \frac{4l}{a} - 1 \right)$

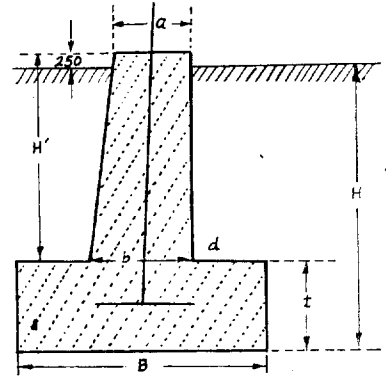


그림 2-2. #156 철탑기초도  
Fig. 2-2. Concrete foundation of steel structure.

- 여기서  $R_T$  : concrete 基礎 1脚의 接地抵抗(Ω)
- $\rho$  : 大地 固有抵抗(Ω-m)
- $a$  : concrete 基礎와 同一表面積, 同一 길이의 圓柱의 半徑(cm)
- $l$  : concrete 基礎의 地下部分의 깊이(cm)

$$R_T = \frac{\rho}{2\pi \times 310} \left( \log_e \frac{4 \times 310}{56.7} - 1 \right)$$

$$R_T = \rho \times 1.068 \times 10^{-3} \text{ (Ω)}$$

鐵塔 concrete 基礎와 接地 Angle의 合成에 對해서는 concrete 基礎의 경우 接地 Angle에 比해서 基礎가 상당히 크기 때문에 基礎와 接地 Angle의 並列係數는 0.91程度이며 接地 Angle에 依한 接地抵抗의 低下는 10%程度로 거의 무시할 수 있다.

以上은 鐵塔 1脚에 對해서 考察한 것이다. 그러나 鐵塔의 塔脚은 正方形狀으로 配置되어 있고 各脚의 離隔은 比較的 적어서 4脚合成의 接地抵抗은 並列係數를 考慮할 必要가 있다. 正方形狀으로 配置된 4本の 棒狀電極의 合成接地抵抗은 Nchwarz氏에 依해 다음 式으로 求한다.

$$R_T = \frac{\rho}{8\pi l} \left[ \log_e \frac{4l}{a} - 1 + \frac{(1+2\sqrt{2})l}{\sqrt{2}D} \right]$$

$$= \frac{\rho}{4 \times 2\pi l} \left( \log_e \frac{4l}{a} - 1 \right) \left[ 1 + \frac{l}{\sqrt{2}D} \frac{1+2\sqrt{2}}{\left( \log_e \frac{4l}{a} - 1 \right)} \right]$$

$$= \frac{R_T}{4\eta} \left( \eta = 1 / \left[ 1 + \frac{l}{\sqrt{2}D} \cdot \frac{1+2\sqrt{2}}{\log_e \frac{4l}{a} - 1} \right] \right)$$

여기서  $R_T$  : 棒狀電極의 4本の 合成接地抵抗

$R_T$  : 棒狀電極의 1本の 接地抵抗

$\eta$  : 並列係數

$l$  : 棒狀電極의 길이

$a$  : 棒狀電極의 半徑

$D$  : 電極이 配置된 1邊의 길이

154KV 울산~포항 線路 156號 鐵塔에 적용하면,  
 $D=6,032\text{m}$ 로

$$\eta = 1/1,667$$

$$R_T = \frac{R_1}{4} \times \frac{1}{\eta} = \frac{\rho \times 1,068 \times 10^{-3}}{4} \times 1,667$$

$$= \rho \times 0.45 \times 10^{-3} (\Omega)$$

154KV concrete 基礎의 鐵塔에 鐵塔의 接地抵抗係數는 表 2-2와 같다.

表 2-2. Concrete 기초 철탑의 접지계수  
Table 2-2. Grounding coefficient of concrete foundation of steel structure

| 鐵塔 No. | 電壓 階級 | 基礎 型                | 基 礎 寸 法(m/m) |       |     |       |     |       | $\alpha_T$<br>( $10^{-3}/$<br>cm) | D(m)  | $(10^{-3}/$<br>cm)<br>$\alpha_{T4}$ |
|--------|-------|---------------------|--------------|-------|-----|-------|-----|-------|-----------------------------------|-------|-------------------------------------|
|        |       |                     | B            | H     | a   | b     | t   | H'    |                                   |       |                                     |
| 110    | 154KV | T <sub>c</sub> -15  | 1.800        | 3.200 | 450 | 1.120 | 450 | 3.000 | 0.89                              | 4.968 | 0.44                                |
| 111    | "     | A <sub>2</sub> -25  | 1.400        | 2.700 | 450 | 790   | 400 | 2.550 | 1.078                             | 5.952 | 0.46                                |
| 112    | "     | A <sub>2</sub> -21  | 1.400        | 2.600 | 450 | 780   | 400 | 2.450 | 1.12                              | 5.24  | 0.48                                |
| 114    | "     | C <sub>2</sub> -14  | 1.800        | 3.200 | 450 | 1.120 | 450 | 3.000 | 0.89                              | 4.802 | 0.44                                |
| 135    | "     | C <sub>2</sub> -11  | 1.600        | 3.300 | 450 | 970   | 500 | 3.050 | 0.96                              | 4.136 | 0.504                               |
| 138    | "     | B <sub>2</sub> -27  | 1.600        | 3.100 | 450 | 920   | 450 | 2.900 | 1                                 | 7.1   | 0.41                                |
| 150    | "     | S <sub>B</sub> -23  | 1.800        | 3.500 | 500 | 1.070 | 500 | 3.250 | 0.86                              | 6.401 | 0.38                                |
| 151    | "     | S <sub>C2</sub> -14 | 1.900        | 3.800 | 500 | 1.040 | 600 | 3.450 | 0.93                              | 5.8   | 0.41                                |
| 152    | "     | SA <sub>2</sub> -21 | 1.400        | 3.100 | 450 | 720   | 450 | 2.900 | 1.06                              | 6.032 | 0.45                                |
| 157    | "     | SD-10               | 2.400        | 4.100 | 500 | 1.400 | 650 | 3.700 | 0.6                               | 5.541 | 0.327                               |

$\alpha_T$ : 塔각단독의 接地抵抗係數  
 $\alpha_{T4}$ : 四塔脚 合成接地抵抗係數

實測值의 경우 大地固有抵抗( $\rho$ )值는 concrete 基礎 底部附近의 值로 地表에서 5~6m의 곳을 取했으며 實測值에 依한 接地抵抗係數  $\alpha_{T4}$ 值는 大部分 計算值에 依한  $\alpha_{T4}$ 와 근소한 차이를 보이고 있으나 어떤 경우는 그림 2-5와 같이 상당히 큰차를 보이는 경우도 있다.

154KV級 鐵塔의 경우  $\alpha_{T4}$ 는 그림 2-3에서와 같이 平均 0.481前後이며 文獻調査에 依하면 250KV級은 0.3程度이고 66KV級은 154KV級과 거의 비슷하다. 實

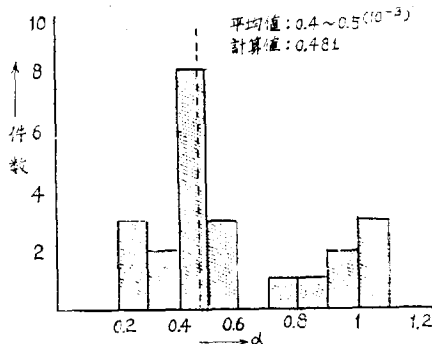
이나 그림 2-3에서 보는바와 같이 平均值는 計算值와 거의 一致함을 알수 있으며 이는 塔脚 concrete 基礎가 接地效果를 가지고 있음을 立證한 것이다.

66KV, 154KV級과 250KV級 鐵塔의 接地係數가 相違한 것은 concrete基礎의 크기에 原因이 있다. 例를 들어 表 2-2에서 보면 鐵塔 concrete基礎가 큰 157호는 SD-10(m)型으로  $\alpha_{T1}$ :  $5,541 \times 10^{-3}$ ,  $\alpha_{T4}$ :  $0.327 \times 10^{-3}$ 이고 鐵塔 concrete 基礎가 작은 112호는 A<sub>2</sub>-21(m)型으로  $\alpha_{T1}$ :  $1.12 \times 10^{-3}$ ,  $\alpha_{T4}$ :  $0.48 \times 10^{-3}$ 인 것을 보아도 곧 알수 있다.

그리고 土壤의 構成上  $\rho$ 值의 變動이 클때는 各脚에 接地 抵抗의 最高值와 最低值의 比가 크게되며 이때는 接地係數의 推定을 正確히 하기는 困難하다.

2-1-3 埋設地線의 接地係數

埋設地線의 接地抵抗은 다음式에 依하여 近似的으로 計算한다.



(154KV 울산~포항 T/L)

그림 2-3. 四塔脚合成接地係數

Fig. 2-3. Compound grounding coefficient diagram of four concrete foundation.

測值는 鐵塔建設時 各 塔脚에 接地棒(18×1800m/m) 1本을 打設했기때문에 concrete基礎와 接地棒을 合成한 接地係數이며 計算值는 接地棒을 無視한 接地係數

1條:  $R = \frac{\rho}{2\pi L} \left( \log_e \frac{2L}{a} + \log_e \frac{2L}{S} - 2 + \frac{S}{L} \right)$  (3)

2條:  $R = \frac{\rho}{4\pi L} \left( \log_e \frac{2L}{a} + \log_e \frac{2L}{S} - 0.2373 + 0.2146 \frac{S}{L} \right)$  (4)

3條: 
$$R = \frac{\rho}{6\pi L} \left( \log_e \frac{2L}{a} + \log_e \frac{2L}{S} + 1.071 - 0.209 \frac{S}{L} \right) \quad (5)$$

4條: 
$$R = \frac{\rho}{8\pi L} \left( \log_e \frac{2L}{a} + \log_e \frac{2L}{S} + 2.912 - 1.071 \frac{S}{L} \right) \quad (6)$$

6條: 
$$R = \frac{\rho}{12\pi L} \left( \log_e \frac{2L}{a} + \log_e \frac{2L}{S} + 6.851 - 3.128 \frac{S}{L} \right) \quad (7)$$

8條: 
$$R = \frac{\rho}{16\pi L} \left( \log_e \frac{2L}{a} + \log_e \frac{2L}{S} + 10.98 - 5.51 \frac{S}{L} \right) \quad (8)$$

表 2-3을 graph로 表示하면 그림 2-4와 같다.

154KV 울산~포항 線路 156號 鐵塔의 韓電 社員 研修院에 그림 2-5와 같이 埋設地線을 埋設하여 실측한 結果를 計算値와 比較하여 보면 그림 2-6과 같다.

그림 2-6에서 보면 接地係數의 實測値와 計算値의 比는 0.8~1.8 사이에서 광범위하게 分布되어 있는데 concrete 基礎의 경우와 같이 平均値를 中心으로 하여 分布되지 않고 比가 1.2되는 點을 中心으로하여 分布되었다. 이는 計算式의 適合이 問題가 아니라 大地

表 2-2. 埋設地線의 接地係數( $\times 10^{-3}/\text{cm}$ )  
Table 2-3. Grounding coefficient of counterpoise

| CP條數 | CP길이 | 20m   | 30m   | 40m   | 50m   | 60m   | 80m   | 100m  | 150m  |
|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1    | 條    | 0.874 | 0.625 | 0.492 | 0.407 | 0.349 | 0.273 | 0.226 | 0.166 |
| 2    | 條    | 0.492 | 0.349 | 0.273 | 0.226 | 0.193 | 0.150 | 0.124 | 0.090 |
| 3    | 條    | 0.371 | 0.262 | 0.204 | 0.168 | 0.143 | 0.111 | 0.091 | 0.066 |
| 4    | 條    | 0.314 | 0.220 | 0.171 | 0.140 | 0.120 | 0.093 | 0.076 | 0.055 |
| 5    | 條    | 0.260 | 0.181 | 0.140 | 0.114 | 0.097 | 0.075 | 0.061 | 0.043 |
| 6    | 條    | 0.236 | 0.163 | 0.125 | 0.102 | 0.086 | 0.066 | 0.054 | 0.038 |

R: 接地抵抗( $\Omega$ )  
 ρ: 大地固有抵抗( $\Omega\text{-cm}$ )  
 L: 埋設地線의 길이(cm)  
 a: 埋設地線의 半徑(cm)  
 S: 埋設地線의 埋設깊이(cm)

表 2-3은 主로 많이 使用하고 있는 7/2.6m/m ( $a=7.9\text{m/m}$ ) 亞鉛鍍 鋼鐵燃線을 地表下 50cm 깊이에 埋設했을때의 埋設地線의 接地抵抗係數이다.

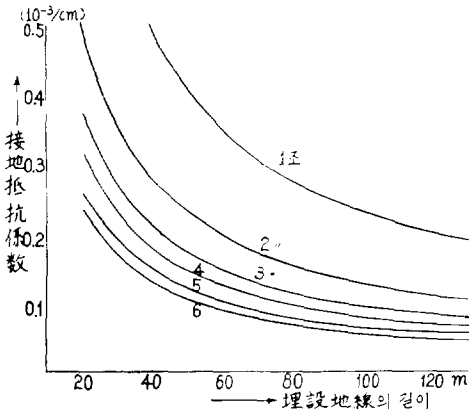


그림 2-4. 埋設地線의 接地係數(1~8條)  
Fig. 2-4. Grounding coefficient curve of counterpoise

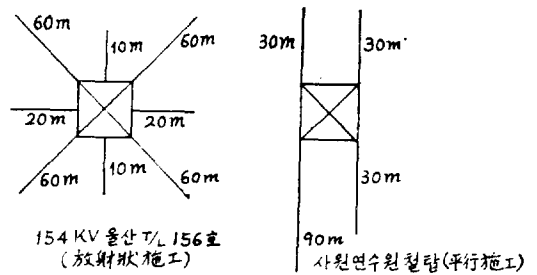


그림 2-5. 埋設地線의 配置圖  
Fig. 2-5. Arrangement of counterpoise

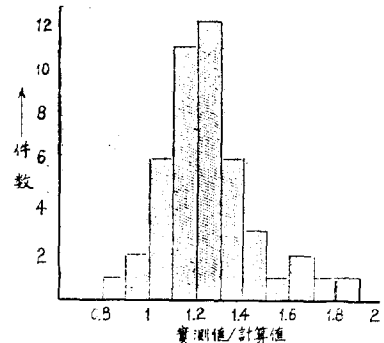


그림 2-6. 埋設地線의 接地係數  
Fig. 2-6. Ratio of measured Value to calculated value of counterpoise grounding coefficient

固有抵抗( $\rho$ )值에 疑問이 있으며 特히 地表에서 50cm  $\rho$ 值를 推定한다는 것이 얼마나 어려운가를 나타내고 있다. 따라서 埋設地線의 경우 計算値는 하나의 參考에 지나지 않는다.

實際施工한 埋設地線은 그림 2-5와 같이 廣範圍한 地面을 차지하게 되기 때문에 方向에 따라 抵抗値가 相違할 경우도 많을 것이다. 따라서 埋設地線을 施工할 경우에는 計算에 依한 地線量보다 많은 地線을 施工할 必要가 있다.

2-2. 多條數의 埋設線 및 塔脚과 埋設地線과의 並列係數

2個이상의 接地電極이 充分한 離隔距離를 가지고 있을 때 그 電極의 合成接地抵抗은 相互作用 때문에 各電極의 接地抵抗의 並列值보다 크다.

$$\text{即 } \frac{1}{R} = \eta \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} \right) \quad (9)$$

表 2-4. 多條埋設地線의 並列係數

Table 2-4. Mutual coefficient of multi-counterpoise

(a) 計 算 值

| CP條數 | CP길이 | 20m   | 30m   | 40m   | 50m   | 60m   | 80m   | 100m  | 150m  |
|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|      |      | 2     | 條     | 0.889 | 0.896 | 0.902 | 0.902 | 0.904 | 0.910 |
| 3    | 條    | 0.784 | 0.795 | 0.804 | 0.808 | 0.814 | 0.820 | 0.828 | 0.840 |
| 4    | 條    | 0.696 | 0.710 | 0.720 | 0.727 | 0.728 | 0.734 | 0.744 | 0.755 |
| 6    | 條    | 0.560 | 0.578 | 0.586 | 0.595 | 0.600 | 0.607 | 0.618 | 0.640 |
| 8    | 條    | 0.463 | 0.480 | 0.492 | 0.495 | 0.507 | 0.517 | 0.523 | 0.546 |

(b) 實 測 值

| 154KV 울산~포항 T/L |   |    |         | 사 원 연 수 원 쉘 탑 |         |    |         |       |
|-----------------|---|----|---------|---------------|---------|----|---------|-------|
| 埋 設 地 線         |   |    | 並 列 係 數 |               | 埋 設 地 線 |    | 並 列 係 數 |       |
| 길               | 이 | 條數 | 計 算 值   | 實 測 值         | 길이      | 條數 | 計 算 值   | 實 測 值 |
| 20m             |   | 2  | 0.889   | 0.88          | 20m     | 2  | 0.889   | 0.815 |
| "               |   | 3  | 0.784   | 0.79          | "       | 3  | 0.734   | 0.712 |
| "               |   | 4  | 0.696   | 0.735         | "       | 4  | 0.696   | 0.631 |
| "               |   | 5  |         | 0.69          | "       | 5  |         |       |
| "               |   | 6  | 0.560   | 0.654         | "       | 6  | 0.560   |       |
| 30m             |   | 2  | 0.896   | 0.903         | 30m     | 2  | 0.896   | 0.83  |
| "               |   | 3  | 0.795   | 0.82          | "       | 3  | 0.795   | 0.72  |
| "               |   | 4  | 0.710   | 0.18          | "       | 4  | 0.710   | 0.641 |

※ 並列係數에 實測值의 數字는 平均值인.

表 2-4(b)는 埋設地線의 길이와 條數에 對하여 接地抵抗을 實測한 結果에서 얻는 並列係數이며 그림 2-7은 실측치와 계산치를 比較한 그림인데 이는 거의 비슷하게 나타나고 있다.

그림 2-7에서 보면 울산~포항 線路의 경우는 條數

$R$  : 合成接地抵抗

$\eta$  : 並列係數 ( $\leq 1$ )

$R_1, R_2, \dots, R_n$  : 電極 1, 2, ..., n의 單獨接地抵抗值式(9)에서 並列係數  $\eta$ 는 相互抵抗과 關係되며 相互抵抗은 電極의 形狀, 寸法, 配置, 離隔距離 및 大地固有抵抗에 따라 다르므로 實驗的으로 求하기가 어렵다.

埋設地線을 多數條 施工할 경우의 並列係數에 對해서는 式 (3)~(8)을 使用하여 求한 表 2-3의 接地抵抗係數를 인용하여 求한것이 表 2-4 (a)와 같다. 表 2-4 (a)에서 보면 埋設地線을 多數條 施工할 경우의 並列效果는 條數가 많을수록 나쁘게 되기 때문에 埋設地線을 9條以上 施工해도 接地抵抗의 低下는 僅小하게 되어 不經濟임을 알수있다. 또한 同一條數일 경우는 埋設地線의 長이가 길수록 並列效果가 좋으나 그 差異는 크지 않다.

가 적은 3條까지는 實測值와 計算値가 一致하며 研究院의 경우는 5條以上의 경우에는 實測值와 計算値가 一致하는 傾向으로 나타나고 있다. 結局 實測値는 計算値보다 약간 좋거나 나쁜 現象을 보이고 있으나 두 경우를 平均한다면 實測値는 거의 計算値와 一致함을

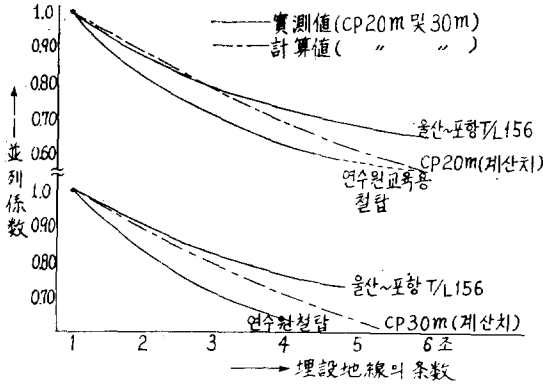


그림 2-7. 多數條埋設地線의 並列係數 (計算値와 實測値의 比較)  
 Fig. 2-7. Mutual coefficient curve of multi-counterpoise.

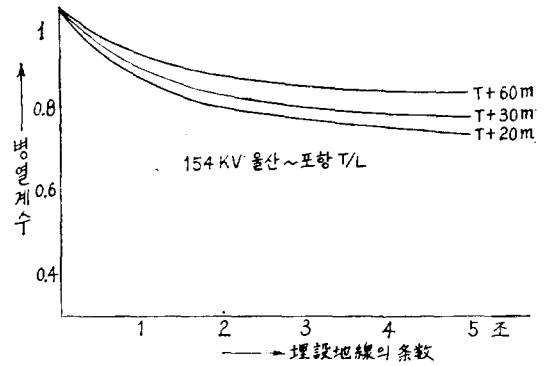


그림 2-8. 塔脚+埋設地線의 並列係數  
 Fig. 2-8. Mutual Coefficient curve of multi-counterpoise (T+CP)

알수 있다.

塔脚과 埋設地線과의 並列係數는 形狀 및 配置가 複雜하므로 計算에 依해 求하기가 困難하다. 그림 2-8은 塔脚과 埋設地線의 길이別로 條數를 增加 했을때의 接地抵抗의 實測値에 依해 求한 並列 係數이다.

塔脚과 埋設地線間의 並列係數는 條數가 增加함에 따라 나쁘고 5條以上에서는 거의 一定하며 0.8内外로됨을 알수 있다.

그림 2-7이나 그림 2-8에서 埋設地線의 配置, 寸法, 形狀等이 같아도 大地固有抵抗의 不均一 및 實測한 接地抵抗의 大小關係가 있기때문에 다소 相違한 點이 있다고 생각된다.

2-3. 鐵塔接地 抵抗과 大地固有 抵抗과의 關係

接地 電極의 形狀, 寸法 및 配置에 依하여 接地 抵抗의 並列 係數가 決定되고 接地 抵抗은 大地固有抵抗에 比例함을 이미 說明한 바와 같이 大地固有抵抗이 주어지면 接地抵抗을 推定할 수 있다.

大地가 均一할 경우는 다소 簡單하나 大地가 垂直方向에 層을 이룰경우 各層의 固有抵抗이 接地와 어떤 關係가 있는가는 接地電極의 形狀, 寸法 및 配置等에 따라 다르며 상당히 複雜하게 된다.

送電線鐵塔의 塔脚 및 埋設 地線의 接地抵抗과 大地固有抵抗과의 關係를 檢討하기 위하여 鐵塔 附近의 大地 固有抵抗을 實測한 結果와 接地抵抗의 實測値에 依해 求한 大地固有抵抗을 比較한 것이 表 2-5이다.

表 2-5. 塔脚 및 埋設지선의 접지저항에 의한 대지고유저항  
 Table. 2-5. Measured value and calculated value of specific earth resistance

| 鐵塔 No. |           | 接地係數×<br>(×10 <sup>-3</sup> /cm) | 接地抵抗<br>R(Ω) | 大地固有抵抗(Ω-m) |     | 비 고                   |
|--------|-----------|----------------------------------|--------------|-------------|-----|-----------------------|
|        |           |                                  |              | 計算值         | 實測值 |                       |
| 135    | 塔 脚       | 0.504                            | 2.6          | 51.5        | 500 | 154KV<br>울산~포항<br>T/L |
| 139    | "         | 0.43                             | 3.9          | 90.7        | 75  |                       |
| 156    | "         | 0.45                             | 5.7          | 127         | 143 |                       |
|        | CP 25m×1조 | 0.874                            | 15.3         | 175         | 143 |                       |
|        | "         | "                                | 17.5         | 200         | "   |                       |
|        | CP 60m×1조 | 0.349                            | 6            | 172         | "   |                       |
|        | CP 20m×2조 | 0.492                            | 4.5          | 91          | "   |                       |
|        | CP 20m×4조 | 0.314                            | 3.7          | 118         | "   |                       |
|        | "         | "                                | 3.9          | 124         | "   |                       |
|        | CP 30m×4조 | 0.220                            | 3.1          | 140         | "   |                       |
|        | CP 60m×2조 | 0.193                            | 2.7          | 137         | "   |                       |
| 연수원철탑  | 塔 脚       | 0.44                             | 9.3          | 210         | 145 | 사원연수원<br>교육용철탑        |
|        | CP 20m×1조 | 0.874                            | 2.56         | 293         | 280 |                       |



|    |           |       |      |     |     |         |
|----|-----------|-------|------|-----|-----|---------|
|    | CP 20m×1조 | 0.874 | 2.62 | 300 | 280 |         |
|    | CP 40m×1조 | 0.492 | 16.3 | 330 | "   |         |
|    | CP 20m×2조 | "     | 15.5 | 316 | "   |         |
|    | "         | "     | 15.2 | 309 | "   |         |
|    | CP 30m×2조 | 0.349 | 11.1 | 318 | "   |         |
|    | CP 30m×4조 | 0.273 | 7.6  | 278 | "   |         |
| 49 | 塔 脚       | 0.536 | 4.7  | 88  | 70  | 154KV여수 |
| 52 | "         | 0.542 | 12   | 222 | 127 | ~순천 T/L |
| 60 | "         | 0.5   | 28.6 | 570 | 460 |         |

大地 固有抵抗의 測定에 있어 山岳地帶에서는 測定場所의 選定이 困難하고 地形의 起伏 또는 電極의 曲線配置 등으로 因한 誤差는 避할수 없으며 特히 地表面附近의 層別解析이 困難할 경우가 많다.

表 2-5에서 보던 大地固有抵抗의 實測値와 接地抵抗實測値에 依해 求한 大地固有抵抗이 明確히 一致하는 것은 거의 없다. 이는 위와 같은 事情으로 因한 것이며 이것으로는 대개의 傾向을 推察함에 불과하다. 一般의 送電線路가 經過하는 山岳地帶에서는 大地가 水平方向이 不均一하기 때문에 四電極法으로 大地固有抵抗을 測定할때 電極間隔(a)의 變化에 따라 測定値가 크게 變動하는 경우가 많다. 만일 水平方向의 變化가 없다면  $\rho-a$  曲線의 層別解析으로 垂直方向의 多層構造를 分析할수 있으나 電極間隔 a를 조금씩 變化시켜 測定하여야 되므로 多大한 努力을 要하게 된다.

#### 2-4. 埋設地線에 依한 定常接地 抵抗의 低下

154KV 울산~포항 T/L 156호주를 選定하여 埋設地線에 對한 試驗을 하였다. 그림 2-11은 이 試驗結果에서 塔脚만의 接地抵抗(5.7Ω)을 100%로 보았을때 埋設地線의 길이와 條數를 增加시키에 따라 接地抵抗이 減少하는 程度를 百分率로 나타낸 그림이다.

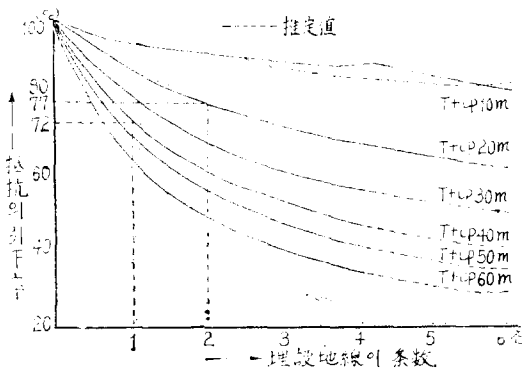


그림 2-9. 埋設地線에 依한 定常接地抵抗의 引下率  
Fig. 2-9. Decreasing ratio of normal earth resistance by counterpoise

그림 2-9에서 보던 塔脚에 埋設地線 20m×2조를 施工하게 되면 接地抵抗은 23%가 減少하고, 40m×2조를

施工하게 되면 28% 減少하게 됨을 알수 있다. 即 定常接地 抵抗의 引下라는 觀點에서만 볼때 埋設地線의 條數를 增加시키는 것보다는 길이를 길게하는 것이 더 効果的이라고 할 수 있다. 그러나 이는 大地固有抵抗(143Ω-m)이 작은 場所에서 試驗한 것이므로 固有抵抗이 큰곳에서는 接地抵抗의 低下率이 달라질 것이나 이것으로 대개의 傾向은 알수 있을 것이다.

#### 3. 鐵塔接地抵抗의 過度特性

以上은 接地抵抗의 定常値에 對하여 記述하였다. 그러나 鐵塔에 雷擊이 있을 경우에는 過度의 定常抵抗値보다 큰 抵抗으로 나타날 우려가 있다. 外國의 例에 依하면 10Ω程度의 塔脚接地抵抗을 가진 鐵塔에서 雷害事故가 發生한 例가 있다고 한다. 따라서 過度特性을 調査하기 위하여 簡易測定器로 鐵塔의 過度接地抵抗을 測定하였다. 그러나 所要 設備關係上 衝擊大電流에 依한 抵減效果를 포함한 過度特性을 調査하지 못하고 우선 低電壓 衝擊波에 對하여 測定을 實施하였다.

##### 3-1. 塔脚接地의 過度特性

鐵塔 塔脚(埋設地線除外)의 過度特性은 實測結果에 依해 誘導性(Inductive-type), 平坦性(Flat-type) 및 容量性(Capactive-type)으로 分類하여 考察하고자 한다.

一般의 塔脚의 경우에 誘導性은 定常接地抵抗値 5Ω內外, 平坦性은 10Ω內外, 容量은 15Ω 以上에서 나타난다. 그림 3-1이 過度特性의 代表的인 例이며 그림에서 보는 바와 같이 誘導性은 1~2 $\mu$ s間은 定常値보다 높은 抵抗値로 나타나고 漸次的으로 低下에서 定常値에 가까와지고 平坦性은 1~2 $\mu$ s間에 定常値보다 低下되었다가 그 以後에는 거의 平坦한 모양으로 나타나며 容量性은 1~2 $\mu$ s間에서 定常値보다 상당히 낮은 値로 되었다가 漸次로 上昇하여 平坦하게 된다. 以上: 3가지의 型은 5~6 $\mu$ s 附近에서 大部分 平坦化되어 定常値에 接近하게 되는데 6 $\mu$ s에서 定常値와 比較하면 그림 3-1에서 過度値/定常値( $R_s/R_0$ )의 比는 平坦性, 容量性인 경우는 0.7~.8이고 誘導性은 0.43~0.7程度이다. 그러나 一般의 0.7~0.9가 많고 1.0을 초과하는 경우는 거의 없다. 이 特性은 塔脚 concrete基礎

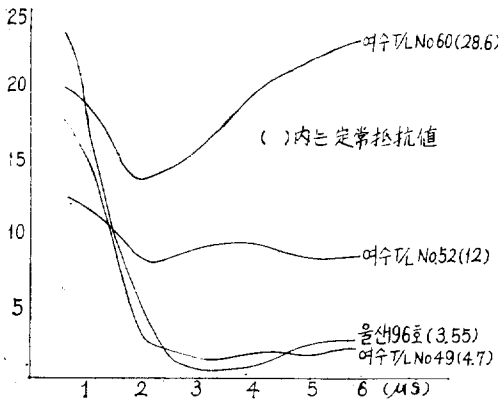


그림 3-1. 鐵塔의 過度特性(塔脚 only)

Fig. 3-1. Earth resistance transient characteristic curve of concrete foundation.

를 主體로한 塔脚단의 埋設地線을 포함할것은 아니다. 結局 耐雷設計上 塔脚의 過度特性이 2 $\mu$ s前後에서 定常值보다 높은 値로 나타나는 5 $\Omega$ 內외의 낮은 抵抗値인 경우에도 定常值만 가지고 좋다고는 할수없다.

3-2. 埋設地線의 過度特性

埋設地線의 過度特性은 塔脚처럼 單純하지 않다. 地線에 따라 進行波가 傳播할때 初期에는 surge impedance를 가진 線으로 作用한다. 大地固有抵抗이 比較的 클때 即 大地漏洩抵抗이 地線의 surge impedance보다 클 경우는 地線 終端에서 正極性的의 反射때문에 地線始端의 電壓은 時間이 經過함에 따라 上昇되므로 接地抵抗로 時間이 經過함에 따라 增加되어 過度特性은 容量性으로 나타나고 大地固有抵抗이 比較的 낮을때 即 大地漏洩抵抗이 埋設地線의 surge impedance보다 적을 경우는 地線 各部에서 負極性的의 反射에 依해 接地抵抗은 時間의 經過에 따라 減小해서 過度特性은 誘導性으로 나타난다. 文獻調査에 依하면 埋設地線의 surge impedance는 主로 大線의 誘電率에 依해 左右되고 誘電率은 土壤內의 含水量에 依해 크게 變化하게 되므로 surge impedance로 50~120 $\Omega$  程度의 範圍에서 變化하고 接地 抵抗의 過度特性은 定常抵抗 50~70 $\Omega$ 을 境界로 定常抵抗이 이보다 클때는 容量性이고, 낮을때는 誘導性으로 나타난다고 한다. 本 實驗을 하기 위하여 大地固有抵抗別로 實驗用 模擬鐵塔이나 埋設地線을 設置하지 못하고 建設中인 鐵塔에서 特定場所를 選定하였기 때문에 實測結果는 大部分 定常抵抗 50 $\Omega$ 以下로써 誘導性으로 나타났다.

大地固有抵抗의 大小에 따라 埋設地線의 過度特性을 觀察하기 위하여 日本電力中央研究所의 實測結果를 인용하면 그림 3-2와 같이 埋設地線 30m 1條의 경우  $\rho=800\Omega\text{-m}$ 以下(定常抵抗値 70 $\Omega$ 程度)에서는 誘導性

이고  $\rho=1,500\Omega\text{-m}$ (定常抵抗値 85 $\Omega$ 程度) 以上에서는 容量性으로 나타났다.

그리고 埋設地線 1條의 長이를 10m의 倍數로 增加시키면서 實測한 結果 그림 3-3에서와 같이 正常接地抵抗의 大小에 關係없이 全部 誘導性으로 나타났다. 이는 測定場所의 大地固有抵抗이(145 $\Omega\text{-m}$ ) 比較的 낮은 爲이다. 그러나 問題는 初期 0.5 $\mu$ s에서 볼때 定常接地抵抗의 大小에 關係없이 45 $\Omega$  程度까지 上昇했다는 點이다. 90m $\times$ 1條의 경우를 보면 定常接地 抵抗이

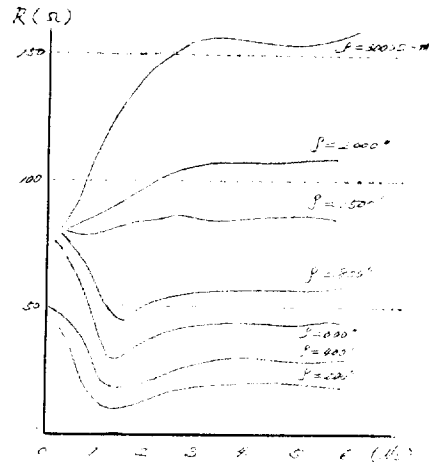


그림 3-2. 埋設地線(30m)의 過度特性(中央研究所 Data)

Fig. 3-2. Earth resistance transient characteristic curve of counterpoise.

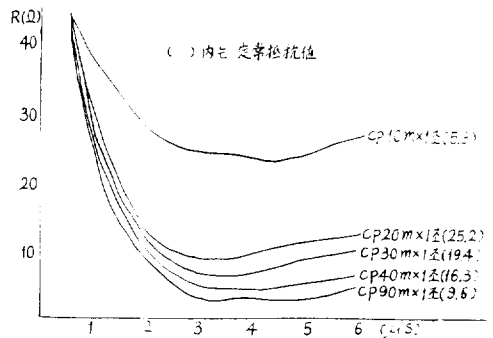


그림 3-3. 埋設地線過度特性的의 長이에 依한 比較 Fig. 3-3. Transient characteristic curve of earth resistance by counterpoise length.

96 $\Omega$ 인데 비해 過度接地抵抗値는 0.5 $\mu$ s에서 45 $\Omega$ , 1 $\mu$ s에서 28 $\Omega$ , 2 $\mu$ s에서 85 $\Omega$ , 6 $\mu$ s에서 4.8 $\Omega$ 로 漸次 低下되었으나 定常值보다 크게 나온 0~2 $\mu$ s間에 對해서는 耐雷設計時 考慮하여야 될것이다. 이를 減小하기 위해서 埋設地線 30m를 多數條 埋設하고 實測한 바 그림 3-4

와 같은 결과를 얻었다. 卽 30m×1條의 경우는 完全한 誘導性으로서 0.5 $\mu$ s에서 45 $\Omega$ 程度이다.

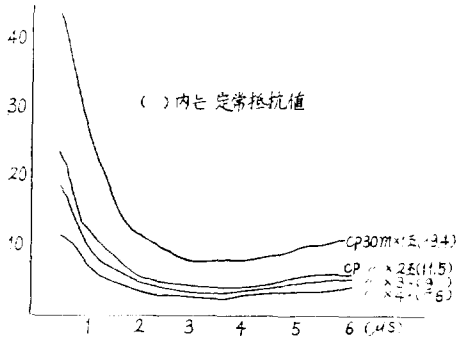


그림 3-4. 埋設地線過度特性的 條數에 依한 비교  
Fig. 3-4. Transient characteristic curve of earth resistance by counterpoise number

90m×1條의 경우와 거의 같은 定常抵抗値를 나타낸 30m×3條(定常抵抗値: 9 $\Omega$ )에는 0.5 $\mu$ s에서 20 $\Omega$ 로 低下되었다. 卽 埋設地線을 多數條로 埋設함으로서 過度特性으로 보아 初期値가 減小되는데 이는 誘導性에서 埋設地線의 條數를 增加시키에 따라 平坦性, 容量性으로 移行함을 알수있다. 위와같은 結果로 보아 大地固有抵抗이 낮은곳에서는 埋設地線의 初期値가 크게 되어 耐雷設計上 困難하게 되는 傾向을 보이므로 긴 埋設地線을 小數 施工하는것 보다는 짧은 地線을 多數 施工

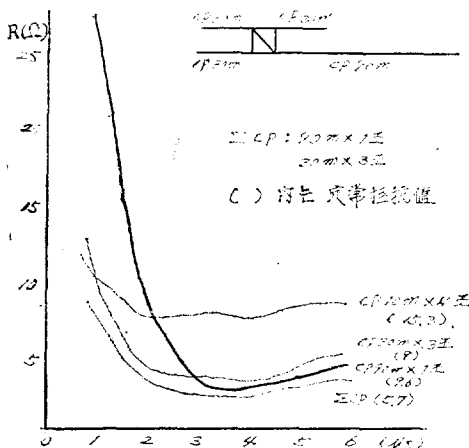


그림 3-5. 各種埋設地線의 過度特性  
Fig. 3-5. Earth resistance transient characteristic curve of various counterpoise

하여 初期値를 低下시키는 것이 좋을 것이다. 그림 3-5는 여러 種類의 埋設地線에 對하여 過度特性을 比較한 것이다. 過度特性이 誘導性인 埋設地線에서 接地抵抗이 最低値에 達하는 時間은 埋設地線의 길이

에 따라서 다르다. 實測 結果에 依하면 그림 3-5에서와 같이 90m×1條의 경우는 3~4 $\mu$ s에서 最低値에 達하고, 30m×1條의 경우는 2~3 $\mu$ s에서 最低値에 達하고 있다.

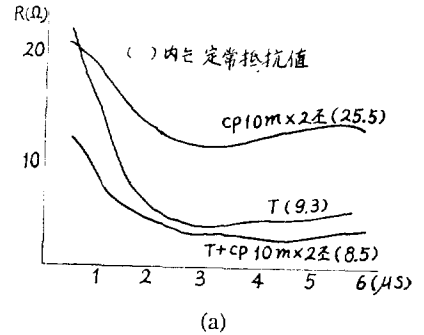
또한 埋設地線의 合成値는 初期値(0.5 $\mu$ s)가 상당히 減小하여 12.5 $\Omega$  程度밖에 되지 않는다. 特히 10m×4條일 경우를 보면 定常接地 抵抗値는 높지만 初期値(0.5 $\mu$ s)는 13.5 $\Omega$ 로 合成値와 거의 같고 平坦性에 가까워지고 있다.

한편 大地固有 抵抗이 比較的 큰곳에서는 埋設地線의 過度特性은 容量性 아니면 平坦性으로 나타나고 4條以上이면 거의 容量性으로 나타난다.

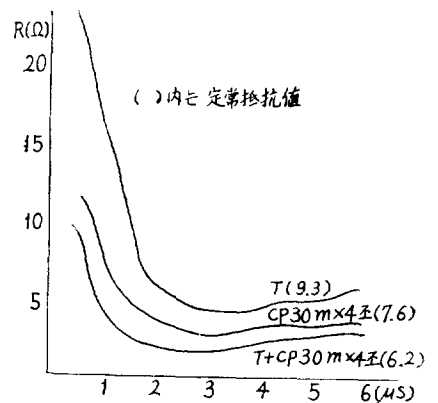
### 3-3. 塔脚과 埋設地線의 合成特性

塔脚과 埋設地線을 合成한 過度接地 抵抗은 塔脚 및 埋設地線에 對한 個個의 過度接地 抵抗이 合成되기 때문에 塔脚과 埋設地線의 合成過度特性은 各各의 過度特性과 接地抵抗의 大小에 影響을 받는다.

한편 塔脚과 地線을 合成한 最終 接地特性은 耐雷設計上 重要視되고 있어 塔脚接地의 補助로 埋設地線을 使用하고 있다. 그림 3-6은 塔脚 및 埋設地線이 모두



(a)



(b)

그림 3-6. 塔脚+埋設地線의 過度接地抵抗  
Fig. 3-6. Compound earth resistance transient characteristic curve of concrete foundation and counterpoise

誘導성이므로 塔脚과 地線의 合成特性도 亦是 誘導性이나 初期值(1 $\mu$ s)가 상당히 減小됨을 알 수 있다.

그러나 大部分이 塔脚만의 경우는 15 $\Omega$ 이상으로 容量性( $\rho : 300\Omega\text{--m}$ 以上)이고 埋設地線은 50 $\Omega$ ( $\rho : 1,000\Omega\text{--m}$ ) 以下에서는 誘導性으로 나타나므로 合成特性은 平坦化되므로 埋設地線의 初期 impedance가 큰것은 問題가 되지 않는다. 그러나 埋設地線이 主體가 되는 경우는 긴 埋設地線을 數本 施工하게 되고 過度特性은 埋設地線을 따르게 되므로 初期의 短時間(0.5~3 $\mu$ s) 동안은 良好하다고 할 수 없다.

一般的으로 埋設地線의 過度特性은 誘導성이므로 그 接地抵抗에 比해서 塔脚의 接地抵抗이 낮고 過度特性이 容量性일 때는 塔脚과 埋設地線의 合成特性은 塔脚의 過度特性에 支配되어 容量性이 된다. 그러나 埋設地線의 接地抵抗值에 比해 塔脚接地抵抗이 상당히 클 때는 合成過度性은 埋設地線의 過度特性에 支配되어 誘導性이 되며 過度接地抵抗은 0~3 $\mu$ s에서 定常值보다 크게 나타나므로 定常接地抵抗值로 耐雷性을 檢討하면 危險하다. 이때는 地線의 長이를 길게하는것 보다는 地線의 條數를 增加시켜서 初期值를 低下시켜야 한다.

그림 3-7은 0.5 $\mu$ s에서 埋設地線1條때의 最高值를 100%로 보았을때 地線條數의 增加에 따라 最高值가 減小하는 程度를 나타낸 것이다.

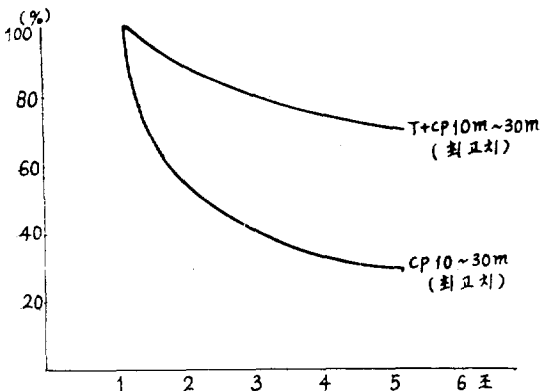


그림 3-7. 埋設地線의 條數에 依한 最高值의 低下率(T+CP)

Fig. 3-7. Decreasing ratio of maximum value by counterpoise number

그러면 지금까지 說明한것 중에서 塔脚과 埋設地線의 合成過度特性에 對하여 綜合해 보면

- 1) 塔脚接地抵抗이 20~30 $\Omega$  程度로 比較的 낮은 때는 2~3條의 少數條의 埋設地線을 施工해도 合成過度特性은 平坦性이나 容量性이 되므로 定常接地抵抗值로 耐雷性 檢討가 可能하다.
- 2) 塔脚接地抵抗(容量性)이 40 $\Omega$ 이상 높을 경우는 合

成過度特性은 埋設地線(誘導性)에 支配되므로 2~3條의 少數條의 긴 埋設地線에 依해 定常接地抵抗이 充分히 低下되어도 合成過度特性은 誘導性으로 되므로 定常接地抵抗值로 耐雷性을 檢討함은 危險하다.

- 3) 長이 40~60m 程度로 6~8條를 施工한 多數條埋設地線의 過度特性은 平坦性이나 容量性이 되므로 定常接地抵抗值로도 耐雷性의 檢討가 可能하다
- 4) 60m以上의 긴 埋設地線은 條數가 많아도 過度特性이 誘導性으로 나타날 경우가 있다. 그림 3-8은 154KV 여수~순천 T/L에서 實測한 塔脚과 매설 지선의 合成過度特性을 나타낸 것이다.

그림 3-8을 보면 埋設地線이 없고 塔脚만의 경우에 大地固有抵抗이 590 $\Omega\text{--m}$ 인 No.60 鐵塔은 定常抵抗은

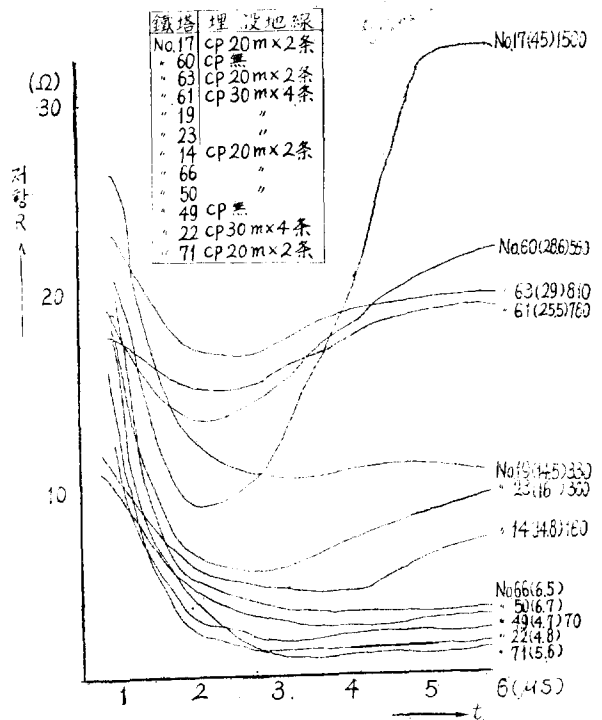


그림 3-8. 塔脚과 埋設地線의 合成過度特性

Fig. 3-8. Earth resistance transient characteristic curve of various steel structure.

28.6 $\Omega$ 이며 過度特性은 容量性이고 大地固有抵抗이 70 $\Omega\text{--m}$ 인 No.49 鐵塔은 過度特性이 誘發性으로 나타났으나 初期值가 15 $\Omega$  以下이므로 定常抵抗으로 耐雷設計가 可能하다. 한편 大地固有抵抗이 比較的 낮은 No.23 No.19 鐵塔은 過度特性이 初期值(1 $\mu$ s)에서 상당히 큰 値를 보이고 있는데 過度特性의 一般의인 傾向으로 平坦性이 해야하나 誘導性으로 나타났다. 이는 埋設地線

의 過度特性이 大地固有抵抗 800Ω—m까지는 誘導性으로 나타나기 때문에 이 影響을 받은 것으로 생각된다. 따라서 이런 경우에는 埋設地線의 길이를 줄이고 條數를 增加하는 편이 過度特性面에서 良好하게 될 것이다.

大地固有抵抗이 800Ω—m 程度인 No.63, No.61 鐵塔과 大地固有抵抗이 比較的 낮은 No.14鐵塔이 平坦性으로 나타났으며 No.63, No.61 鐵塔은 接地工事를 補強해야 될 것이다.

그림 3—8을 綜合的으로 分析해 볼때 埋設地線의 施工을 要하지 않은곳 即 大地固有抵抗이 낮은곳에서도 埋設地線이 施工되었으며 大地固有抵抗이 큰곳에서는 埋設地線의 길이나 條數를 增加시켜야 되는데도 불구하고 一般的으로 埋設地線의 施工을 20m×2條와 30m×4條만으로 區分했기 때문에 同一埋設地線量으로 全鐵塔의 接地抵抗을 低下시킬수 있음에도 實際는 大地固有抵抗의 高低를 豫測하지 못하여 全體的인 接地效果를 갖지 못했다.

接地抵抗의 過度特性은 No.19, No.23 鐵塔을 除外하고는 定常抵抗이 15Ω 以下에서는 平坦性과 誘導性으로 나타났으며 定常抵抗으로 耐雷設計가 可能하다. 한편 定常抵抗值 15Ω 以上 되는 것은 容量性이 지만 過度特性 檢討에 앞서 定常抵抗值가 低下되어야 할것이다.

### 3—4. 過度接地抵抗과 定常接地抵抗과의 關係

送電線의 耐雷設計에 있어 塔脚의 接地抵抗은 過度接地抵抗을 取하는 것이 좋으나 過度接地抵抗의 測定은 多大한 努力을 要하기 때문에 實用的인것이 못되고 一般的으로 L—9型 測定器 等으로 定常 抵抗值를 取하게 된다.

實測 結果에 依하면 過度抵抗은 5~6μs에서 定常抵抗의 80% 前後로 나타나고 있어 定常接地抵抗으로 耐雷性을 檢討할 경우 20%程度의 裕度를 가지게 된다. 建設中인 154KV 여수 T/L에서 實測結果를 1μs, 2μs, 4μs, 6μs에 對한 過度抵抗과 定常抵抗과의 關係를 表示한것이 그림 3—9이다.

그림 3—9에서 보면 1μs에서 過度抵抗值의 定常抵抗值( $R_t/R_0$ )의 比가 0.15~4 程度까지 廣範圍하게 分布되어 있는데 이는 過度特性이 1μs에서는 豫測할수 없을 程度로 變化가 상당히 심하다는 것을 意味하며

- 2μs에서는 0.25~0.45
- 4μs " 0.3~0.55
- 6μs " 0.4~0.7

사이에 主로 많이 分布되어 있다. 即 時間이 經過함에 따라 漸次的으로 接地抵抗의 過度值와 定常值의 比( $R_t/R_0$ )가 큰곳으로 分布되고 있는데 이는 파도치가 定常值에 점차적으로 가까워지고 있다는 것을 말한다. 그러나 우리가 試驗한 154KV 여수~순천 T/L은 比

較的 大地固有抵抗이 낮기 때문에 接地抵抗의 過度特性을 實測한 結果 主로 誘導性이 많아 過度值와 定常值의 比( $R_t/R_0$ )가 比較的 작은 數值를 나타내고 있다고 생각된다.

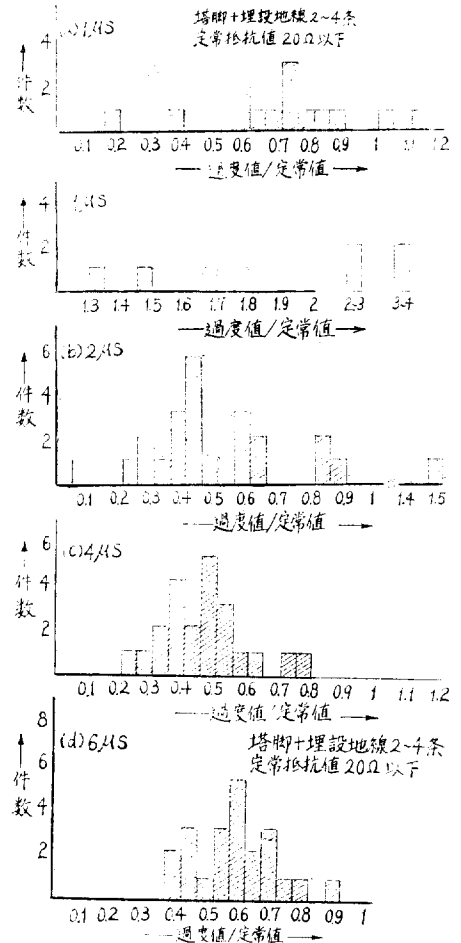


그림 3—9. 接地抵抗의 過度值와 定常值의 關係  
Fig. 3—9. Ratio of earth resistance transient value to normal value

## 4. 鐵塔接地抵抗의 設計指針

### 4—1. 基本的으로 考慮할 事項

鐵塔接地抵抗의 諸特性에 關한 實測結果를 基礎로 하여 具體的인 接地設計指針을 提示하고자 한다. 鐵塔設計에 있어 基本的으로 考慮할 事項은 다음과 같다.

- 1) 鐵塔接地抵抗의 目標值 設定
- 2) 埋設地線의 길이와 條數를 決定하는 方法
- 3) 鐵塔의 電位上昇은 過度現象의으로 考慮한다.
- 4) 大地固有抵抗은 하나의 指標로 보고 接地抵抗의 過度特性을 考慮한 餘裕있는 設計를 한다.
- 5) 大電流 低減效果를 安全率로 본다.

#### 4—1—1 鐵塔接地抵抗의 自標值

鐵塔의 接地抵抗은 送電線 電擊時의 逆閃絡의 成否를 決定하는 가장 重要한 要素中의 하나이다. 따라서 接地抵抗의 目標値는 이 觀點에서 電擊事故에 依한 損失 即 設備의 損傷, 供給支障, 需用家의 被害等과 工事に 要하는 經費를 勘案해서 送電線의 重要度 및 經過地域의 襲雷狀況을 充分히 檢討해서 決定할 必要가 있다.

山岳地帶等의 大地固有抵抗이 큰곳에서 接地抵抗을 10Ω以下로 低下시키려면 多大한 經費를 要하고 事實上 거의 不可能한 경우가 많다. 이와같은 點을 考慮해서 一般의 主要送電線으로서 強襲雷地를 經過하는 送電線에는 接地抵抗의 目標値를 10~15Ω로 하고 其他地域의 送電線에서는 20~25Ω程度로 함이 좋을 것이다. 이와같은 實情을 勘案하여 接地設計方針으로 A級 : 15Ω以下(優良 耐雷設計의 送電線)

B級 : 25Ω程度로 分類했다.

4-1-2. 埋設地線의 길이와 條數

鐵塔基礎만으로 接地抵抗의 目標値를 얻기가 困難한 경우에 埋設地線을 併用하는 것이 가장 效果의이고 大地固有抵抗의 値에 따라 必要한 埋設地線의 길이와 條數

數가 決定된다.

그림 4-1은 大地固有抵抗에 對해서 接地抵抗의 目標値 15Ω, 20Ω, 25Ω를 얻는데 要하는 埋設地線의 길이와 條數를 表 2-3의 接地抵抗係數를 使用하여 求한 것이다.

특히 大地固有抵抗이 상당히 큰 곳에서는 塔脚과 埋設地線의 合成接地抵抗이 埋設地線만의 接地抵抗과 큰 差가 없다.

그림 4-1에서 40m 8條의 埋設地線으로 接地抵抗의 目標値 15Ω에 對해서는 大地固有抵抗 1,200Ω-m, 20Ω에 對해서는 1,600Ω-m, 25Ω에 對해서는 2,000Ω-m 가 된다.

따라서 40m 8條의 限界로는 大地固有抵抗이 2,000Ω-m 以上의 경우는 接地抵抗이 25Ω 以上이 될 것이다. 그러나 重要送電線에서 雷害事故의 發生頻度를 充分히 減小시키기 위해서 40m 以上의 긴 埋設地線을 施工할 必要가 있다. 埋設地線은 그 條數를 增加시키면 相互 離隔距離가 좁아져 並列効力가 나쁘게 되므로 8條를 넘어 條數를 增加시켜도 接地抵抗의 低下는 僅少하게 되어 不經濟이므로 8條程度가 限度라고 생각된다.

4-1-3. 雷擊電流 波頭長과 鐵塔電位 上昇

電擊時 鐵塔電位上昇의 波形은 電擊電流의 波頭長에 影響을 받는다. 그러나 電擊電流의 波形에 關해서는 實測치 못하였으며 外國에서 調査한 바에 依하면 波頭長은 거의 0~20μs의 範圍이고 특히 2~6μs 範圍가 많다.

文獻調査에 依하면 埋設地線의 surge 傳播速度는 大誘地電率에 依해 크게 左右되고 光速(300m/μs)의 0.2 0~.7의 範圍라고 推定하고 있다. 따라서 波頭長이 짧은 電擊電流에 對해서는 긴 埋設地線은 surge가 地線 終端에 到達하기 前에 鐵塔電位는 最大値로 되어 碍子裝置의 逆閃絡을 誘發하게 되므로 地線 終端部의 漏洩 抵抗은 效果를 갖지 못한다.

이와같이 surge 傳播特性 및 鐵塔電位上昇波形을 考慮하면 波頭長 2μs의 電擊電流에 對해서는 60~80m 程度의 埋設地線은 充分한 接地效果를 갖는다.

한편 徑間長이 짧은 隣接 鐵塔에서의 反射效果가 鐵塔電位上昇에 影響을 주고 오히려 긴 埋設地線은 效果가 적다.

4-1-4. 接地抵抗의 過度特性

接地抵抗의 過度特性은 誘導性 平坦性 및 容量性으로 分類되고 過度特性이 誘導性的의 경우에 0~3μs間의 初期 過度抵抗이 定常抵抗보다 크므로 定常抵抗을 갖고 耐雷性的의 檢討를 行함은 危險하다. 한편 過度特性이 平坦性, 容量性인 경우는 過度抵抗은 定常抵抗以下로 되므로 定常抵抗으로 耐雷性을 檢討하여도 安全하다. 따라서 接地抵抗의 目標値에서 平坦性이나 容量性

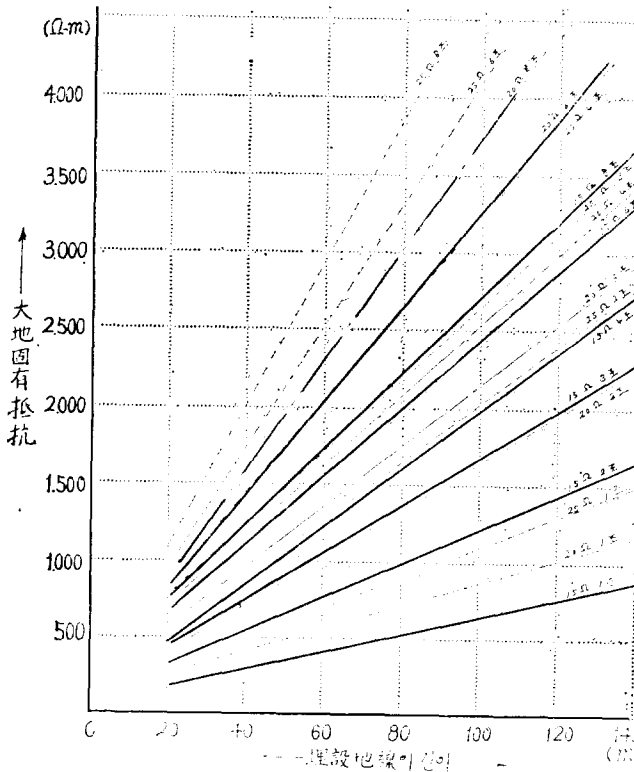


그림 4-1. 接地抵抗目標値를 얻는데 必要한 길이와 條數

Fig. 4-1. Length and number of counterpoise for obtaining adequate earth resistance

의 過度特性을 갖어야 되며 그렇지 않으면 過度特性이 誘導性이라도 過度抵抗이 恒상 目標値 以下라야 한다.

그림 4-2는 大地固有抵抗에 對한 埋設地線接地抵抗의 過度特性을 圖示한 것이다. 大地固有抵抗이 比較的 낮은 곳에서 긴 埋設地線을 施工하면 過度特性은 誘導性이고 大地固有抵抗이 큰 곳에서는 짧은 埋設地線을 施工하여도 過度特性은 容量性이나 特定抵抗을 目標値까지 低下한다는 것은 不可能하다. 따라서 埋設地線의 長이는 大地固有抵抗値에 따라 그림 4-2에서 平坦性範圍의 長이를 取하면 좋을 것이다.

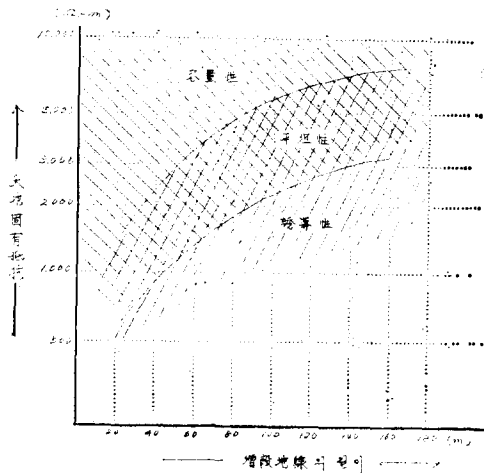


그림 4-2. 埋設地線接地抵抗의 過度特性  
Fig. 4-2. Earth resistance transient characteristic of counterpoise

長이 30~40m以下の 埋設地線의 過度特性이 誘導性이라도 塔脚이 容量性이면 合成接地抵抗의 過度特性은 容量性이나 平坦性이 된다. 埋設地線의 條數는 並列效果를 考慮해서 8條程度가 限界라고 생각되며 合成接地抵抗의 過度特性이 容量性이나 平坦性이 되는 範圍內에서는 地線의 條數가 적을수록 並列效果는 크다.

한편 埋設地線 個個의 過度特性은 誘導性이라도 多數를 合成한 過度特性을 平坦性이나 容量性으로 되는 것도 考慮할 必要가 있다.

4-1-5. 接地抵抗의 低減效果

鐵塔 塔脚에 衝擊大電流가 流入하면 直流나 商用周波 交流로 測定한것 보다 抵抗이 相當히 低下된다고 한다. 그 低下의 程度는 土壤의 固有抵抗이 클수록 그리고 衝擊波의 波高値가 클수록 현저하다.

그 實驗式은 다음과 같다.

$$\text{低減率} = \delta \frac{R_i}{R_0} = \frac{1}{1 + A \left( \frac{\rho l}{2\pi a l} \right) B}$$

또는  $\delta = \frac{14}{(I, R_0 + 80)^{0.6}}$  (美國實測記錄에서 誘導)

단  $R_i$  = 衝擊接地抵抗 (Ω)

$I$  = 衝擊電流波高值 (KA)

$\rho$  = 大地固有抵抗 (KΩ-m)

$l$  = 接地電極의 長이 (cm)

$A$  = 實驗的 定數 (10~30)

$B$  = 實驗的 定數 (0.74~0.86)

$R_0$  = 定常接地抵抗 (Ω)

$2a$  = 接地電極의 直徑 (cm)

그림 4-3은 日本에서 低減效果를 試驗한 結果 얻은 것을 圖示한 것이다.

一般的으로 低減效果는 1KA以上에서는 流入値에 關係없이 一定하며 低減率 50% 程度가 最大이며 抵抗値는 100Ω以上에서 率은 飽和된다.

그러나 接地抵抗의 低減率에 對해서는 아직 明確하지 않는 點이 많아 하나의 安全率로 考慮한다.

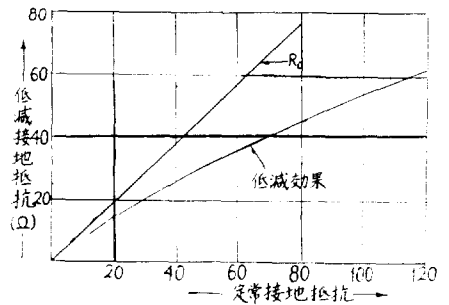


그림 4-3. 鐵塔接地抵抗의 低減效果  
Fig. 4-3. Diminution effect of earth resistance for steel structure

4-2. 鐵塔接地 設計

以上 諸事情을 綜合하면 耐雷設計上 埋設地線의 條數가 加급적 많을것을 바라나 並列效果를 勘案한다면 條數가 적은것이 經濟的이다. 그러나 埋設地線을 施工할 때 現在의 地形이나 用地의 入手制限을 받을 경우가 많기 때문에 埋設地線의 長이와 條數를 결정할 때는 諸條件을 充分히 考慮해서 現地狀況에 適應해야 될 것이

表 4-1. 大地固有抵抗 分布

Table 4-1. Measured values of specific earth resistance

| 大地固有抵抗        | 測定件數 | 百分率    | 備 考    |
|---------------|------|--------|--------|
| 0~ 300Ω-m     | 47   | 57 %   | 大地導電   |
| 300~ 500 "    | 10   | 12.7 " | 率測定研   |
| 500~ 800 "    | 9    | 11 "   | 究報告書   |
| 800~1,000 "   | 5    | 61 "   | Data인용 |
| 1,000~1,500 " | 5    | 61 "   | (1970년 |
| 1,500~2,000 " | 2    | 23 "   | 도分)    |
| 2,000~3,000 " | 3    | 36 "   |        |
| 3,000~5,000 " | 1    | 12 "   |        |
| 計             | 82   | 100 %  |        |

다. 雷擊時 接地抵抗으로 作用할 수 있는 要素를 考慮하여 埋設地線의 長이는 100m程度까지 效果의으로 생각되나 鐵塔附近의 大地固有抵抗이 현재히 크고 100m程度떨어져서 大地固有抵抗이 상당히 낮을 경우는 150m程度로 해도 4 $\mu$ s以上の 緩波頭의 雷電流에 對해서는 效果가 있다.

다음 表 4-1은 우리나라 154KV 系統의 一部地域에 對해서 實測한 大地固有抵抗의 分布를 나타낸 것인데

大地固有抵抗 300 $\Omega$ -m 以下가 57%로 大部分을 차지하고 있다.

大地固有抵抗別로 接地抵抗의 目標値를 A級 : 15 $\Omega$ , B級 : 25 $\Omega$ 로하여 塔脚 및 埋設地線의 接地抵抗과 154KV級 鐵塔의 合成抵抗을 計算한 것이 表 4-2 및 表 4-3과 같다.

計算條件은 다음과 같다.

1) 鐵塔基礎는 concrete 基礎로 보고 塔脚 接地

表 4-2. 매설지선의 길이와 조수 계산표(I)

Table 4-2. Calculation of length and number of counterpoise (I)

接地抵抗目標値 15 $\Omega$

| 大地固有抵抗( $\rho$ ) | 塔 脚                         |               |      | 埋 設 地 線    |    |          |               |      | 合 成 特 性                     |               |      |
|------------------|-----------------------------|---------------|------|------------|----|----------|---------------|------|-----------------------------|---------------|------|
|                  | $\alpha(10^{-3}/\text{cm})$ | R( $\Omega$ ) | 過度值  | 길 이        | 條數 | $\alpha$ | R( $\Omega$ ) | 過度值  | $\alpha(10^{-3}/\text{cm})$ | R( $\Omega$ ) | 過度值  |
| 200 $\Omega$ -m  | 0.45<br>(평균치)               | 9             | 평(유) |            |    |          |               |      | 0.45                        | 9             | 평(유) |
| 300 "            |                             | 13.5          | 평    |            |    |          |               |      | "                           | 13.5          | 평    |
| 500 "            | 0.45                        | 20.5          | 용    | 20m        | 2  | 0.492    | 24.6          | 유    | 0.28                        | 14.0          | 평    |
|                  |                             |               |      | 40m        | 1  | "        | "             | "    | "                           | "             | 평(유) |
| 800 "            | 0.45                        | 36            | 용    | (110m)     | 1  |          |               | "    |                             |               | 유    |
|                  |                             |               |      | 50m        | 2  | 0.226    | 18.1          | "    | 0.188                       | 15.0          | 유(평) |
|                  |                             |               |      | 40m        | 3  | 0.204    | 16.3          | 평    | 0.175                       | 14.0          | 평(용) |
|                  |                             |               |      | 30m        | 4  | 0.220    | 17.6          | "    | 0.185                       | 14.8          | "    |
| 1,000 "          | 0.45                        | 45            |      | 80m(75m)   | 2  | 0.150    | 15.0          | 유    | 0.140                       | 14.1          | 유    |
|                  |                             |               |      | 60m(55m)   | 3  | 0.143    | 14.3          | "    | 0.136                       | 13.6          | 유(평) |
|                  |                             |               |      | 50m(45m)   | 4  | 0.140    | 14.0          | 평    | 0.134                       | 13.4          | 평(용) |
|                  |                             |               |      | 40m(35m)   | 6  | 0.140    | 14.0          | "    | 0.134                       | 13.4          | "    |
|                  |                             |               |      | 30m        | 8  | 0.163    | 16.3          | "    | 0.147                       | 14.7          | "    |
| 1,500 "          | 0.45                        | 67.5          | 용    | 150m(140m) | 2  | 0.090    | 13.5          | 유    | 0.094                       | 14.1          | 유    |
|                  |                             |               |      | 100m(95m)  | 3  | 0.091    | 13.7          | "    | 0.095                       | 14.2          | 유(평) |
|                  |                             |               |      | 80m        | 4  | 0.093    | 14.0          | 평(유) | 0.096                       | 14.5          | "    |
|                  |                             |               |      | 60m        | 6  | 0.097    | 14.6          | "    | 0.099                       | 15.0          | 평(용) |
|                  |                             |               |      | (55m)      | 8  |          |               | "    |                             |               | 용    |
| 2,000 "          | 0.45                        | 90            | 용    | 150m(140m) | 3  | 0.066    | 13.2          | 유    | 0.072                       | 14.4          | 평(유) |
|                  |                             |               |      | *120m      | 3  |          |               | "    |                             |               | "    |
|                  |                             |               |      | *100m(95m) | 4  | 0.076    | 15.2          | 평(유) | 0.081                       | 16.25         | "    |
|                  |                             |               |      | (120m)     | 4  |          |               | "    |                             |               | "    |
|                  |                             |               |      | 100m(90m)  | 6  | 0.061    | 12.2          | "    | 0.067                       | 13.5          | "    |
|                  |                             |               |      | *80m(75m)  | 6  | 0.075    | 15            | "    | 0.0803                      | 16.1          | 용    |
|                  |                             |               |      | 80m(75)    | 8  | 0.066    | 13.2          | "    | 0.072                       | 14.4          | "    |
|                  |                             |               |      | * (65m)    | 8  |          |               | "    |                             |               | "    |
| 3,000 "          | 0.45                        | 135           | 용    | 150m(130m) | 6  | 0.043    | 12.9          | "    | 0.049                       | 14.7          | 용    |
|                  |                             |               |      | * (125m)   | 6  |          |               | "    |                             |               | "    |
|                  |                             |               |      | (120m)     | 8  |          |               | "    |                             |               | "    |
|                  |                             |               |      | * (110m)   | 8  |          |               | "    |                             |               | "    |

\* 表示는 低減率을 考慮했을때 유 : 유도성(誘導性) 평 : 평탄성(平坦性) 용 : 용량성(容量性)  
( ) 表示는 그림 (2-6)에서 求한 值임



表 4-3. 매설지선의 길이와 조수계산표 (II)  
 Table 4-3. Calculation of length and number of counterpoise (II)  
 接地抵抗目標值 25Ω

| 大地固有<br>抵抗(ρ) | 塔 脚                                  |      |     | 埋 設 地 線       |    |                             |       |      | 合 成 特 性                     |      |      |      |
|---------------|--------------------------------------|------|-----|---------------|----|-----------------------------|-------|------|-----------------------------|------|------|------|
|               | $\alpha(10^{-3}/\text{cm})$<br>(평균치) | R(Ω) | 過度值 | 길 이           | 條數 | $\alpha(10^{-3}/\text{cm})$ | R(Ω)  | 過度值  | $\alpha(10^{-3}/\text{cm})$ | R(Ω) | 過度值  |      |
| 500Ω-m        | 0.45                                 | 20.5 | 용   |               |    |                             |       |      | 0.45                        | 20.5 | 용    |      |
| 800 "         |                                      | 36   | "   | 40m           | 1  | 0.492                       | 39.4  | 유    | 0.0294                      | 23.6 | 평    |      |
| 1000 "        | 0.45                                 | 45   | 용   | 20m           | 2  | "                           | "     | 평    | "                           | "    | 평(용) |      |
|               |                                      |      |     | 60m           | 1  | 0.349                       | 34.9  | 유    | 0.246                       | 24.6 | 평(유) |      |
|               |                                      |      |     | 30m           | 2  | "                           | "     | 평    | "                           | "    | "    | 평(용) |
|               |                                      |      |     | (25m)         | 3  | "                           | "     | "    | "                           | "    | "    | "    |
| 1,500 "       | 0.45                                 | 67.5 | 용   | 20m           | 4  | 0.314                       | 31.4  | "    | 0.231                       | 23.1 | "    |      |
|               |                                      |      |     | (70m)         | 2  | "                           | "     | 유(평) | "                           | "    | 평(유) |      |
|               |                                      |      |     | 50m           | 3  | 0.163                       | 25.2  | "    | 0.153                       | 23   | 평(용) |      |
|               |                                      |      |     | 40m           | 4  | 0.171                       | 25.65 | "    | 0.155                       | 23.3 | "    |      |
| 2,000 "       | 0.45                                 | 90   | 용   | 30m           | 6  | 0.181                       | 27.2  | "    | 0.161                       | 24.2 | "    |      |
|               |                                      |      |     | ※80m          | 2  | 0.150                       | 30    | 평(유) | 0.146                       | 28.1 | 평(용) |      |
|               |                                      |      |     | ※50m          | 3  | 0.168                       | 33.8  | 평    | 0.154                       | 30.7 | "    |      |
|               |                                      |      |     | 80m(70m)      | 3  | 0.111                       | 22.2  | "    | 0.111                       | 22.2 | "    |      |
|               |                                      |      |     | ※40m          | 4  | 0.171                       | 34.2  | "    | 0.155                       | 31   | "    |      |
|               |                                      |      |     | 60m           | 4  | 0.120                       | 24    | "    | 0.118                       | 23.7 | "    |      |
|               |                                      |      |     | ※(35m)        | 6  | "                           | "     | "    | "                           | "    | "    |      |
|               |                                      |      |     | 50m(45m)      | 6  | 0.114                       | 22.8  | "    | 0.114                       | 22.8 | "    |      |
|               |                                      |      |     | ※30m          | 8  | 0.163                       | 32.6  | "    | 0.150                       | 29.9 | "    |      |
| 3,000 "       | 0.45                                 | 135  | 용   | 40m           | 8  | 0.125                       | 25.0  | "    | 0.122                       | 24.4 | "    |      |
|               |                                      |      |     | ※100m(95m)    | 3  | 0.091                       | 27.3  | 평    | 0.946                       | 28.6 | 평(용) |      |
|               |                                      |      |     | 150m(125m)    | 3  | 0.066                       | 19.8  | 평(유) | 0.072                       | 21.6 | 평(유) |      |
|               |                                      |      |     | ※80m(75m)     | 4  | 0.093                       | 27.9  | "    | 0.096                       | 28.9 | 평(용) |      |
|               |                                      |      |     | 100m          | 4  | 0.076                       | 22.8  | "    | 0.0813                      | 24.4 | "    |      |
|               |                                      |      |     | ※60m          | 6  | 0.097                       | 29.1  | "    | 0.0997                      | 29.9 | "    |      |
|               |                                      |      |     | 80m           | 6  | 0.075                       | 22.5  | "    | 0.0804                      | 24.1 | "    |      |
|               |                                      |      |     | ※50m<br>(70m) | 8  | 0.102                       | 30.6  | "    | 0.104                       | 31.2 | "    |      |
| 5,000 "       | 0.45                                 | 225  | 용   | 150m          | 4  | 0.550                       | 27.5  | "    | 0.0612                      | 30.6 | 평(용) |      |
|               |                                      |      |     | ※150m(130m)   | 6  | 0.043                       | 21.5  | "    | 0.049                       | 24.5 | "    |      |
|               |                                      |      |     | ※(120m)       | 6  | "                           | "     | "    | "                           | "    | "    |      |
|               |                                      |      |     | (120m)        | 8  | "                           | "     | "    | "                           | "    | "    |      |
|               |                                      |      |     | ※100m         | 8  | 0.054                       | 27    | "    | 0.0603                      | 30.1 | "    |      |

※ 表示는 低減率을 考慮했을때      유 : 유도성(誘導性)      평 : 평탄성(平坦性)      용 : 용량성(容量性)  
 ( ) 表示는 그림 2~6에서 求한 值임

係數는  $0.45 \times 10^{-3}/\text{cm}$ 를 取하였다. (表 2-2에서 보  
 면 各種 concrete 基礎의 接地係數는 0.327~0.668의  
 範圍이나 平均值 0.45를 取했으며 一般的으로 66KV  
 級은 0.5~0.55, 154KV級은 0.4~0.5, 275KV級은  
 0.3을 取하면 된다.)

- 2) 埋設地線의 길이와 條數는 地線의 接地係數와 並  
 列效果를 考慮했다.
- 3) 塔脚과 埋設地線間의 合成係數는 實測結果에 의  
 해 0.8을 取했다. (그림 2-10참조)
- 4) 簡易計算法

表 4-4. 매설지선의 길이와 조수의 적용

Table 4-4. Determination of length and number of counterpoise according to specific earth resistance

| 電壓階級                | 接地抵抗目標值             | 大地固有抵抗  | 埋 設 地 線    |        |        |            |        |        |        |       |
|---------------------|---------------------|---------|------------|--------|--------|------------|--------|--------|--------|-------|
|                     |                     |         | 無          | 1 條    | 2 條    | 3 條        | 4 條    | 6 條    | 8 條    |       |
| 1<br>5<br>4<br>(KV) | 15Ω                 | 300Ω—m  | 無          |        |        | 過度特性 : 容量性 |        |        |        |       |
|                     |                     | 500 "   |            | 40m×1  | 20m×2  |            |        |        |        |       |
|                     |                     | 800 "   |            | 110m×1 | 50m×2  | 40m×3      | 30m×4  |        |        |       |
|                     |                     | 1,000 " |            |        | 75m×2  | 55m×3      | 45m×4  | 35m×6  | 30m×8  |       |
|                     |                     | 1,500 " |            |        | 140m×2 | 95m×3      | 80m×4  | 60m×6  | 55m×8  |       |
|                     |                     | 2,000 " | 過度特性 : 誘導性 |        |        | 140m×3     | 120m×4 | 90m×6  | 75m×8  |       |
|                     |                     | 3,000 " |            |        |        |            |        | 130m×6 | 120m×8 |       |
|                     | 17.5Ω 저감율을 고려하면 15Ω | 2,000 " |            |        |        | 120m×3     | 95m×4  | 75m×6  | 65m×8  |       |
|                     |                     | 3,000 " |            |        |        |            |        | 175m×6 | 110m×8 |       |
|                     | 25Ω                 | 25Ω     | 500 "      | 無      |        |            |        | 容 量 性  |        |       |
| 800 "               |                     |         |            | 40m×1  | 20m×2  |            |        |        |        |       |
| 1,000 "             |                     |         |            | 60m×1  | 30m×2  | 25m×3      | 20m×4  |        |        |       |
| 1,500 "             |                     |         |            |        | 70m×2  | 50m×3      | 40m×4  | 30m×6  |        |       |
| 2,000 "             |                     |         |            |        |        | 70m×3      | 60m×4  | 45m×6  | 40m×8  |       |
| 3,000 "             |                     |         | 誘 導 性      |        |        |            | 125m×3 | 100m×4 | 80m×6  | 70m×8 |
| 5,000 "             |                     |         |            |        |        |            |        |        | 120m×8 |       |
| 31Ω 저감율을 고려하면 25Ω   |                     | 2,000 " |            |        | 80m×2  | 50m×3      | 40m×4  | 35m×6  | 30m×8  |       |
|                     |                     | 3,000 " |            |        |        | 95m×3      | 75m×4  | 60m×6  | 50m×8  |       |
|                     |                     | 5,000 " |            |        |        |            | 150m×4 | 120m×6 | 100m×8 |       |

- (註 1) 埋設地線은 7/2.6m/m 亞鉛鍍 鋼鐵線을 使用할때 適用되며
- 2) 埋設地線의 條數는 並列係數를 考慮해서 8條를 限界로 한다.
- 3) 埋設地線의 長이는 電擊電流의 波頭長, 埋設地線에 있어서 surge 傳播速度等을 考慮해서 100m 程度를 限度로 한다.

大地固有抵抗이 1,000Ω—m 以下の 경우에 埋設地線의 條數가 4條以下일때는 埋設地線의 合成係數를 0.8 로 보고 計算하여도 무방하다. (단 약간 적은值(1~2Ω 程度) 計算된다.)

即 塔脚 接地係數 0.45

埋設地線의 合成接地係數 0.8

塔脚과 埋設地線 合成係數 0.8로 해서 簡易計算을 할 수 있다.

表 4-2와 表 4-3에서 接地抵抗 目標值 15Ω 25Ω에 의 接地 抵抗의 過度特性을 考慮하여 埋設地線의 長이와 條數를 결정(決定)한 것이 表 4-4와 같다.

表 4-4에서 鐵塔接地抵抗의 過度特性이 平坦性이나

容量性으로 推定되는 것이 四角剎호안의 長이와 條數가 된다. 特히 大地固有抵抗 2,000Ω—m 以上の 경우는 接地抵抗의 低減效果를 考慮해서 埋設地線의 長이와 條數를 決定하여 別度로 表示했다. 또한 埋設地線의 並列效果를 考慮해서 地線의 條數는 8條를 限界로 했고 地線의 長이는 雷電流의 波頭長 및 地線의 surge 傳播速度等을 考慮해서 100m程度로 했다. 그러나 大地固有抵抗은 同一鐵塔이라도 測定場所 方向에 따라 다르며 또 季節的인 誤差 및 測定 誤差(심한 경우는 실측치와 計算值間에 2~3倍의 差異가 날때도 있음) 등의 問題가 있으므로 實際 設計를 할때는 表 4-4에서 充分한 裕度를 주어서 設計를 할 必要가 있다.

### Ⅲ. 結 論

1. 大地固有抵抗은 同一鐵塔이라도 ①測定場所나 方向에 따라 다르며 特히 地表面 附近은 上層의 構成이 極히 變動이 심하다. 또한 地表面에 많은 溫濕氣를 含有하는 夏季에는 地表面이 凍結되는 冬節보다 良好하며 이는 2倍 程度의 큰差를 나타낼 때도 있다. 即 ②氣條狀態에도 많은 影響을 받는다. 그리고 ③測定誤差도 無視할 수 없다. 實測結果에 依하면 計算値보다 實測値가 적게 測定되는 경우가 比較的 많으며 勘한 경우에는 實測値가 計算値의  $\frac{1}{2}$ 程度로 적게 측정될 경우도 있다. 따라서 大地固有抵抗 測定은 鐵塔接地工事的 難易性을 알 수 있으며 正確한 接地工事を 한다는 것은 不可能하다.
2. 鐵塔 concrete 基礎가 接地效果를 가지고 있음을 實測 結果 立證되었으며 154KV 鐵塔의 경우 接地係數는  $0.45 \times 10^{-9}/\text{cm}$  程度된다.
3. 鐵塔接地 抵抗의 低下方法으로 埋設地線을 採用하고 있는데 埋設地線의 接地效果는 길이와 條數에 따라 다르며 地線의 條數가 적을수록 並列 效果는 크다.
4. 耐電性을 檢討하기 위하여 鐵塔接地 抵抗特性을 調査한 바 抵抗의 過度特性은 誘導性, 平坦性, 容量性으로 分類되고 耐雷設計上 問題가 되는 것은 過度特

性이 定常抵抗値보다 큰 誘導性일 경우이다.

5. 埋設地線은 接地效果面에서 볼때 地線의 길이를 길게하고 並列 條數를 적게하여야 되나 過度特性上으로 볼때는 짧은 地線을 多條數로 埋設해야 한다. 이는 經濟의 面에 於서 接地目的上 耐雷設計에 치중해야 할 것이다.
6. 實測 結果를 綜合하여 鐵塔 接地抵抗의 設計指針을 提示하였으며 이는 耐雷設計를 考慮한 것으로 鐵塔 極地抵抗의 過度特性이 平坦性이나 容量性이 되도록 했다.
7. 耐雷設計에 있어서 鐵塔接地抵抗은 過度接地 抵抗의 測定이 좋으나 이는 多大한 努力을 要하기 때문에 實用的인 것이 못되므로 L-9型, L-10型 등으로 定常 接地抵抗을 測定할 때 測定方法에 따라 誤差가 생기므로 이를 留意하여야 할 것이다.

### 參 考 文 獻

1. 鐵塔接地抵抗의 諸特性に於て, 四國電力 Co. 技術研究所 研究報告 6402 昭和 39. pp.4~61.
2. 川合幹雄, 鐵塔脚接地設計に關する研究, 日本電力中央研究所, 技術研究所報告 No.64061, 1965. pp.3~15.
3. 川合幹雄, 送電線 雷閃絡に關する研究, 日本電力中央研究所 技術研究所報告 No.65008, 1965. p.9.