

및 經濟的 比較 (完)

趙 健 續\* · 權 寧 惠\*\*

5. 多電極接地時的 合成抵抗值(集合係數)

1個의 電極으로 所期의 接地抵抗值를 얻지 못할 경우 두개 이상의 電極을 連接接地한다. 이와 같이 하였을 경우 合成抵抗值가 銅板電極을 合成하였을 때의 接地抵抗值를 比較하여 본다. 卽 같은 條件下에서 銅板電極과 線電極의 集合係數나 比較하여 본다.

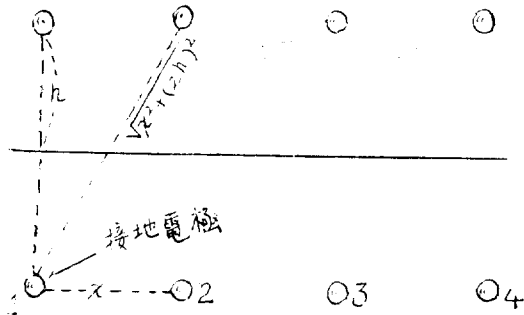


그림 16

그림 16과 같이 球電極들이 地面下 h 되는 곳에 一直線으로 x씩 떨어져 있을 때의 合成抵抗值를 計算하여 본다.

지금 電極 1만이 있다고 하고 그 接地抵抗을 R, 球의 半徑을 r라고 하고 影像을 고려하면

$$R = \frac{\rho}{4\pi} \left( \frac{1}{r} - \frac{1}{2h} \right)$$

지금 그림 16의 各電極에 I라는 電流가 흐른다고 가정하면 各電極의 電位는 自己自身에 의한 電位와 이웃 電極들에 의한 電位上昇과 影像들에 의한 電位上昇의 합이 된다 따라서 各極의 電位는

$$V_1 = \frac{\rho I}{4\pi} \left( \frac{1}{r} + \frac{1}{x} + \frac{1}{2x} + \frac{1}{3x} + \dots + \frac{1}{(m-1)x} + \frac{1}{2h} + \frac{1}{\sqrt{(2h)^2 + x^2}} + \frac{1}{\sqrt{(2h)^2 + (2x)^2}} + \dots \right)$$

$$V_2 = \frac{\rho I}{4\pi} \left( \frac{1}{r} + \frac{2}{x} + \frac{1}{2x} + \dots + \frac{1}{(m-2)x} + \frac{1}{2h} + \frac{1}{\sqrt{(2h)^2 + x^2}} + \frac{1}{\sqrt{(2h)^2 + (2x)^2}} + \dots \right)$$

各電極의 平均電位는

$$V_{av} = \frac{2(V_1 + V_2 + \dots + V_m)}{m} = \frac{\rho I}{4\pi} \left( \frac{1}{r} + \frac{2(m-1)}{mx} + \frac{2(m-2)}{2mx} + \dots + \frac{2}{(m-1)mx} + \frac{1}{2h} + \frac{2(m-1)}{mH_1} + \frac{2(m-2)}{mH_2} + \dots + \frac{2(m-2)}{mH_{m-2}} \right)$$

(但  $H_m = \sqrt{(2h)^2 + (mx)^2}$ )

$$R = \frac{V_{av}}{mI}$$

$$R = \frac{\rho}{4\pi m} \left( \frac{1}{r} + \sum_{n=1}^{m-1} \frac{(m-n)}{m n x} + \sum_{n=1}^{m-1} \frac{2(m-n)}{m H n} + \frac{1}{2h} \right) = \frac{\rho}{4\pi m} \left( \frac{1}{r} + \frac{1}{2h} + \sum_{n=1}^{m-1} \frac{2(m-n)}{m} \left( \frac{1}{n x} + \frac{1}{1+n} \right) \right) \quad (7)$$

(7)式에서 제 1항은 電極自身에 의한 抵抗成分이며 제2항은 自身の 影象에 의한 成分이다. 제3항의 괄호속 첫항은 이웃 電極들에 의한 電位上昇이며 끝項은 이웃 電極들의 影象에 의한 電位上昇때문에 증가된 抵抗成分이다.

集合係數는 (7)式에 의하여

$$\eta = \frac{R}{R_1/m} = 1 + \frac{2hr}{2h+r} \sum_{n=1}^{m-1} \frac{2(m-n)}{m} \left( \frac{1}{n x} + \frac{1}{H n} \right) \quad (8)$$

즉  $\eta$ 는 항상 1보다 크다.

電極의 크기와 埋設깊이 등이 주어지면

$$\eta = 1 + K \sum_{n=1}^{m-1} \left( 1 - \frac{n}{m} \right) \left( \frac{1}{n x} + \frac{1}{H n} \right) \quad (9)$$

但  $K = \frac{4rh}{2h+r}$ ,  $x > 2r$  이다.

(8)式을 圖示하면 그림 17과 같다.

그림 17에 있어서  $\eta$ 는 電極間隔이 커질수록 1에 收斂함을 알 수 있다.

合成抵抗值  $R_m$ 을 (7)式에 의하여 計算한 값은 표 4와 같다. 여기서 계산기준은 0.12m 半徑球로 하였으며 이것은 30×30×0.1cm의 銅板電極과 等價이다. 또  $\rho = 157 \Omega m$ ,  $\frac{\rho}{4\pi} \left( \frac{1}{r} + \frac{1}{2h} \right) = 120$  (實測值)로 하였으며 銅板電極의 等價球電極의 半徑은

$$R_1 = \frac{\rho}{4\pi} \left( \frac{1}{r_e} + \frac{1}{2h} \right) = 120 \Omega$$

\*\*\* 韓電電氣試驗所

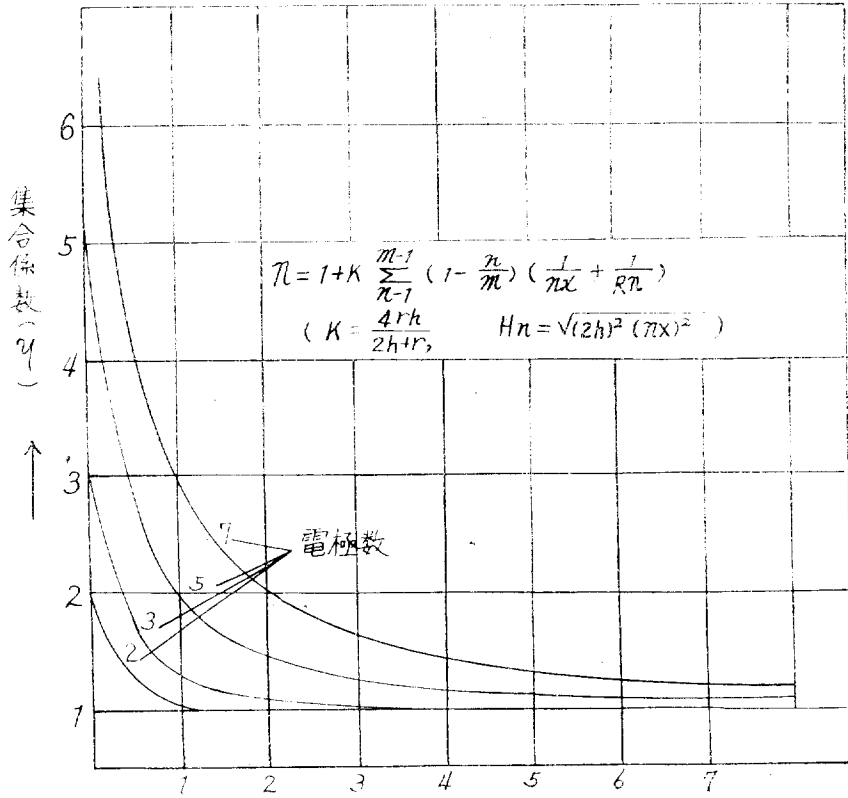


그림 17. 兩端電極間 距離(m)

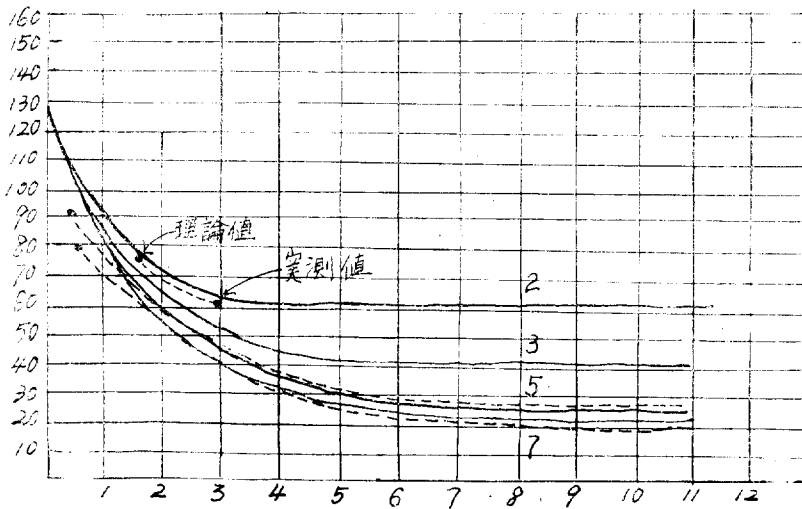


그림 18

에 시

$r_c = 0.12m$

를 얻었다.

[표-4]

電極數 m	電極關係 (cm)	電極間距 (m)					
		0.1 m	0.3 m	0.5 m	0.8 m	1.0 m	1.5 m
2	個	130.2	88.7	79.5	73.6	71.35	68
3	個	119.7	72.4	61.95	53.3	52.5	48.8
5	個	100.3	55.4	44.8	39.7	35.8	32.2
7	個	87.9	46.5	36.6	30.2	27.9	24.55

계산치와 실측치를 비교하면 그림 18과 같다.

實測値를 얻기 위하여 다음과 같은 實驗을 하였다.

[實驗 6]

電極形 A : 30×30×0.1 cm 의 銅板電極

“ B : (0.8×0.18)×104 cm 의 角銅線

“ C : (0.8×0.18)×208 cm 의 “

이와 같은 電極 A, B, C 에 대하여 埋設 깊이 40 cm, 電極數 2, 3, 5, 7, 9 를 相互間距를 變化시키며 合成抵抗 値를 測定하였다.

A, B, C 電極 1個의 抵抗値를  $R_A, R_B, R_C$  라고 하면

$R_A = 120 \Omega, R_B = 118 \Omega, R_C = 70 \Omega$

2個 以上을 묻을 경우의 數値는 표-5와 같다.

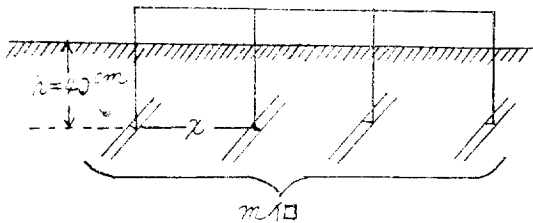


그림 19

[표 5-a] M=2 (電極數)

兩端電極距離(m)	0 m	0.3	0.5	1.0	2.0	3.0	5.0	6.0
抵抗 値(Ω)	111	90	76	70	65	64	62	61

M=3 (電極數)

兩端電極距離(m)	0.2	0.6	1.2	2.0	4.0	6.0	10.0
抵抗 値(Ω)	100	68	56	52	47	43	41

M=5 (電極數)

兩端電極距離(m)	0.3	1.2	1.5	3.0	6.0	10.0
抵抗 値(Ω)	90	54	46	39	31	28.9

M=7 (電極數)

兩端電極距離(m)	0.4	1.8	3.0	6.0	12.0
抵抗 値(Ω)	77	46	39	29.2	24

M=9 (電極數)

兩端電極距離(m)	0.4	2.4	8.0	12.0
抵抗 値(Ω)	74	45	26.5	21.6

[표 5-b] M=2 (電極數)

m	0	0.4	1.0	2.0	3.0	6.0
Ω	106	78	75	70	61	59

M=3 (電極數)

m	0.1	1.0	2.0	6.0	10.0
Ω	103	62	56	45	44

M=5 (電極數)

m	0.2	1.0	2.0	4.0	8.0
Ω	95	55	49	38	30

M=7 (電極數)

m	0.2	3.0	6.0	12
Ω	95	37	30	23

M=9 (電極數)

m	0.2	1.0	4.0	8.0
Ω	87	52	32	25

[표 5-c] M=2 (電極數)

m	0.05	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0
Ω	60	50	47	45	42	40

M=3 (電極數)

m	0.1	1.0	2.0	4.0	6.6	8.0	10.0
Ω	53	41	35	32	32	30	27

M=5 (電極數)

m	0.15	1.0	2.0	4.0	8.0	10.0
Ω	56	37	34	30	27	25

M=7 (電極數)

m	0.15	1.0	2.0	3.0	6.0	10.0
Ω	51	35	32	28	21	18

표 5를 圖示한 것이 그림 18의 點線들이다. 그림 18에서 보는 바와 같이 電極間隔이 클수록 두 曲線은 잘 일치한다. 이것은 電極이 球가 아니기 때문에 그 形狀에 대한 영향에 의하여 間격이 좁을 때는 差가 생긴다.

그림 20은 표 5-a와 표 5-b의 測定値에 의하여 그런 것인데 實線은 A 電極, 點線은 B 電極의 合成抵

抗值이다. 표 5 또는 그림 20에 의하여 板電極과 線電極의 集合係數도 大差없음을 證明한다.

그림 21은 표 5-c를 圖示한 것이다. 電極 C를 使用했으며 電極 C는 B와 같은 角銅線으로 거리만 2倍로 한 것이다.

그림 20, 21에서 電極埋設區域이 制限되어 있을 경우는 電極數를 5個 이상으로 하여도 電極間隔에 제한

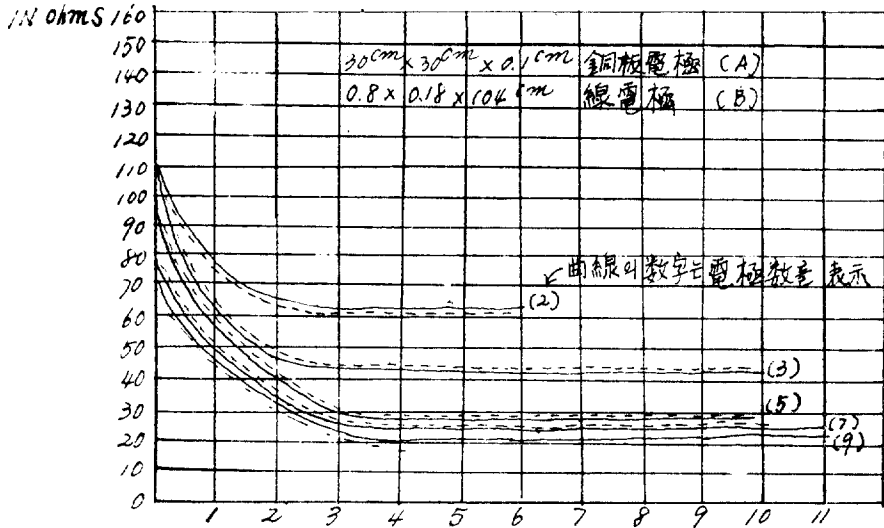


그림 20

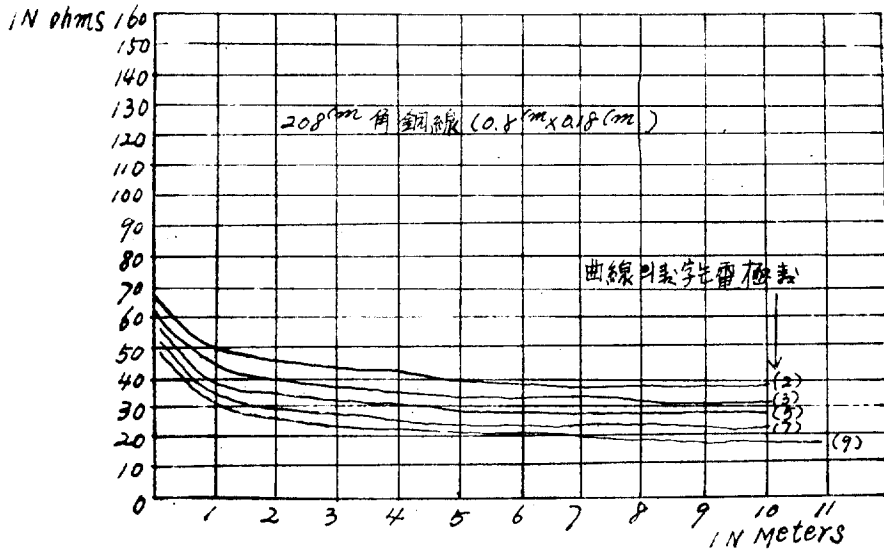
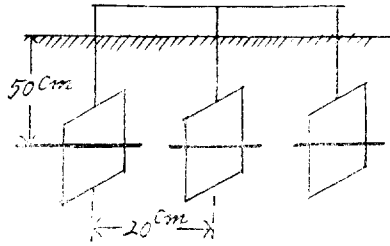


그림 21

을 받으므로 合成抵抗値를 감소시키는데 효과가 없으며 接地極을 2個 이상 埋設할 경우는 그 間隔을 뒀 수 있는 대로 멀게 하는 것이 효과적이고 적어도 50 cm 이상으로 하는 것이 좋을 것이다. 따라서 電極數를 4~5 個로 하여도 얻을 수 없는 낮은 抵抗値를 얻으려면 土壤處理 等으로 大地比抵抗을 낮추는 수 밖에 없다.



〔實驗 7〕  
實驗 6에서는 直線形電極과 板電極의 比較를 하였는데 線電極의 모양을 바꾸었을 경우 그 合成抵抗値가 어떻게 變化하는가를 實驗하여 본다. 이 實驗에서는 電極 C를 S形으로 하여 板電極과 比較한다.  
그림 18과 같이 極間隔을 20 cm 씩으로 하고 電極數

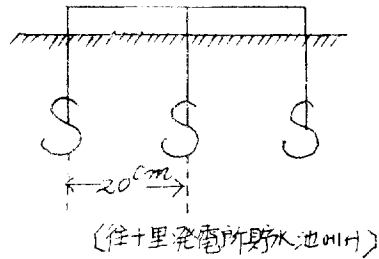


그림 22

를 바꾼 合成抵抗値는 표 6과 같다.

〔表 6〕

電極數	1	2	3	4	5
板形電極(Ω)	58	40	30	26	24
S形電極(Ω)	45	29	22	18	16

이것을 圖示하면 그림 23과 같으며 板과 線의 合成抵抗値가 極의 平行으로 變化하며 集合係數가 같음을 안다.

以上の 實驗 6,7의 結果로 보아 銅板 接地電極을 이와 等價인 線電極으로 바꾼다 하더라도 合成抵抗値(集合係數)가 같다.

## 6. 結 論

球狀電極보다는 平板電極이 有利하고 平板電極보다는 線狀(直線環 grid 等)電極이 有利하다. 또 하나의 直線電極보다는 그 直線電極을 여러 개의 토막으로 잘라 相互間의 距離를 充分히 크게 하여 分散 接地하는 것이 더욱 有利한은 勿論이다. 이것은 實驗 6에서 사용한 電極 B와 C의 接地抵抗値를 比較하면 곧 알 수 있다. 13 가리 104 cm의 線電極은 118 Ω임에 比하여 203 cm의 線電極은 70 Ω였다. 만일 이 電極을 半으로 짜르면 104 cm의 B電極이 될 생기는데 이것을 充分한 距離로 띄어(5 cm 정도) 連接으로 接地하면 118 Ω의 半인 59 Ω를 얻는다. 따라서 하나의 電極보다는 둘로 나누어서 接地한 多電極方式이 銅의 利用面에서 보면 有利한 것을 곧 알 수 있다. 그러나 같은 銅量을 여러개의 接地極으로 나눈다면 거기에 따라 工事費도 增加되고 또 接地電極을 어느 程度 以下로 작게 할 수는 없

으므로 現在 使用되고 있는 1×300×300 m/m 銅板電極을 最少單位로 하여 이와 實效等價인 線狀電極을 使用토록 하는 것이 經濟的으로 크게 이익이 된다. 이와같이 板電極을 線狀電極으로 바꿀 경우 考慮되어야 할 여러 가지 問題點은 本論에서 檢討된 바와 같이 큰 難點이 되는 것은 없다. 即 接地抵抗値의 電流特性 多電極 接地時의 合成抵抗値 電位傾度 等은 板電極의 경우와 마찬가지로 壽命도 線狀電極의 線材를 擇하는데 따라 더 길게 할 수 있다. 線材를 너무 가늘게 하지 않는 限 接觸抵抗이 全體 接地抵抗에 미치는 影響은 板電極에 比하여 大差가 없다.

實際로 線狀電極의 線材는 接地線의 斷面積(2.6 mm 以上: 電氣工作物規定 40條)보다는 커야 한다. 工事費도 板電極으로 接地할 경우와 같게 할 수 있다.

線狀電極의 線材로는 그 斷面이 圓形인 것보다 扁이 넓은 帶(strip)狀인 것이 有利하므로 平角鋼線을 使用하는 것이 좋다. 實用上 1.8×7.6 m/m, 1.6×8 m/m의 平角鋼線이 適當하다. 線狀電極의 모양으로는 直線狀의 것과 grid狀의 것 두가지가 推獎된다. 1.6×8 m/m의 平角鋼線으로(그림 20)의 (a) (b)와 같은 두가지 線狀電極을 만들면 實用上 便利하다.

直線狀의 것은 地形에 따라 그 모양을 環形, I字形, S字形 等으로 만들어 埋設할 수 있다. 勿論 直線狀 그대로 埋設하는 것이 가장 有利하고 그 모양을 바꾸더라도 可能한 限 그 抱括面積이 가장 크도록 해야 한다. 特別히 機械의 強度가 커야 하거나 또 工事上 不得已 小型 簡便한 것이 要求될 때는 (b)와 같은 grid電極을 使用하면 된다. 따라서 이 grid電極은 硬銅을 使用해서 만들어야 한다. 參考로 다음에 各電極의 銅量

및 그 資材費 比較表를 만들었다.

[표 7]

電 極 種 類	銅量	比較值	單價	資材費
1×300×300 m/m 銅板	800 gr	1		250 원
0.7×300×300m/m 銅板	560 gr	0.7		180 원
1.6×8 m/m Grid 電極	180 gr	0.225		57 원
1.6×8m/m 直線電極	119 gr	0.149		37원50

配電系統 接地極으로 線狀電極을 採擇하는데 考慮되어야 할 重要한 點들은 大體로 本論文에서 論議된 것으로 본다. 한편 送電系統의 鐵塔接地로는 이미 埋設地線이 使用되고 있다는 事實로 미루어보아 그것도 一種의 線狀電極인 以上 配電系統에 小規模의 線狀電極을 實用化해도 技術上 아무 支障이 없음을 確信하며 年間 銅板電極 使用量이 數萬枚에 達하고 있는 實情에 비추어 一切의 板狀電極 使用을 線狀電極으로 바꾸면 莫大한 經濟的 利益이 있음을 말하여 둔다.

(1963年 11月 15日 接受)

### 參 考 文 獻

1) Voltage Gradients Through the Ground Under Fault Condition—AIEE Committee Repo-

rt. p. 669, AIEE Trans 1958.

2) Some Chemical Treatments to Reduce the Resistance of Ground connections—R.J. Clark., Bruce O. Watrins p. 1016, AIEE Trans 1960.

3) Grounding Electrode Potential Gradients from Model Tests—H.R. Armstrong L.J. Simpkin p. 618, AIEE Trans 1960.

4) System Grounding p. 145, AIEE Trans Vol. 64, 1945.

5) Transient Performance of Electric power system. Reinhold Rüdenberg.

6) 接地抵抗——p. 77, 電力誌 38卷 10號.

7) 接地抵抗に就いて p. 19, 電力誌 36卷 3號.

8) 變壓器의 接地工事について p. 12, 電力誌 38卷 5號.

9) 接地抵抗に 關する 二三の考察

10) 計算と 實測による 網狀 接地電極의 接地抵抗 p. 571, 日本電學誌 74卷.

11) 地下腐蝕의 電氣化學的見解 p. 360, 電學誌 77卷.

12) 多電極接地의 接地抵抗 p. 15, 電學誌 74卷.

13) 電氣化學便覽——龜山直人——

## 原 稿 募 集

第 13 輯의 原稿를 아래와 같이 募集하오니 會員께서는 많이 投稿하여 주시기 바랍니다.

記

(1) 內 容: 論文, 特輯解說, 報告.

(2) 200 字: 原稿紙 50 面 内外의 本會 投稿規程에 따를것.

(3) 期 日: 1964年 2月 15日

(4) 送付處: 서울特別市 中區 小公洞 72의 2

大韓電氣學會 ②5813