

제주지역에서의 효율적인 코어링 접지 시공 방법

김 세 호*

Efficient Coring Grounding Construction Method in Jeju Area

Se-Ho Kim*

ABSTRACT

The ground is composed of various soils and the resistivity of the soil depends on many parameters. It depends on the type of soil and varies with distance as well as with depth. Especially, soil resistivity of volcanic area such as Jeju is very high and it is difficult to acquire necessary grounding resistivity. This paper introduces the efficient grounding construction using coring technique for proper grounding resistance in high resistivity area. Because it is difficult to measure the accurate resistivity of soils, their resistivities are estimated. Parallel grounding electrodes and estimated resistivities are used for necessary grounding resistance in scheduled construction region.

key word : Coring grounding construction, Parallel grounding Electrode, Grounding resistance, Resistivity

1. 서 론

접지전극의 접지저항은 공사가 시행되는 지점의 대지 저항률에 비례한다. 대지 저항률이 낮은 지점일수록 낮은 접지저항을 얻기 쉬우므로 접지전극의 설계와 시공에 있어서 공사지점의 대지 저항률을 안다는 것은 매우 중요하다.

화산섬으로 이루어진 제주도는 대부분의 토질이 현무암 및 사력층으로 구성되어 있어 대지의 함수량이 적고 건조하며, 하천은 대부분 물이 흐르지 않는 준

용하천으로 이루어져 있고 지하수의 용출수도 대부분이 해안가에 위치하고 있어 대지 저항률은 항상 높은 값을 유지하고 있으며, 특히 200[m] 이상의 중산간 지역에서는 더 높게 나타나고 있다.[1]

현장에서는 제주지역이 전기적으로 매우 불량한 지질임에도 불구하고 다른 지역과 차이가 없이 대부분 동봉을 타설 하거나 동관을 매설하는 방법으로 접지공사를 시행하고 있어 충분한 저항 값을 얻지 못하고 있다.

본 논문에서는 지표면에서 수십 미터 굴착하여 동관형태의 접지전극을 매설하고 서감체를 살포하여 접지저항을 얻는 코어링 접지를 효율적으로 시공하기 위하여 대지 저항률을 추정하고 병렬접지의 집합계수를 구하여 고저항 지대의 계획적인 접지공사에 활용하고자 한다.

* 제주대학교 전기전자공학부, 첨단기술 연구소
Faculty of Electrical & Electronic Eng., Cheju Nat'l Univ., Res. Inst. of Adv. Tech.

II. 접지저항

2.1. 제주지역 토양의 특징

제주지역의 토양은 화산암, 현무암 등의 암반지역과, 송이(사력), 일부의 점토를 포함한 흙으로 이루어져 있다. 송이는 약 140억 톤 정도의 많은 양이 매장되어 있는 것으로 추정되고 있고, 다공성으로 수분의 이동이 곤란하고 확산이 늦으며 수분의 완충 능력도 적은 단점이 있어서 대지 저항률이 매우 크다. 동부지역은 암반과 자갈이 많아 대지 저항률이 높고 변화가 심하며, 1,400~3,000[Ω·m]이나 낮은 지역은 120[Ω·m]을 나타내는 지역도 있다. 서부지역의 대지 저항률은 표고가 낮은 평야부의 200~300[Ω·m], 암반지역, 충사간 지역은 1,000~2000[Ω·m]이다. 남부지역은 점토 또는 자갈 섞인 점토가 발달하고, 일부지역은 과수원 및 방풍림 등 나무가 많은 지역으로서 함수량이 높아 대지 저항률이 비교적 낮다. 북부지역은 바다와 접한 좁은 평야, 점토 및 자갈밭이 발달되어 있고, 보편적으로 100~300[Ω·m], 자갈밭인 경우 200 ~ 700[Ω·m]의 대지저항 값을 보이고 있다.[1]

2.2. 접지저항의 계산

접지저항이 형성되는 구역의 대지구조는 매우 복잡하고 다양하며, 여러 개의 지층구조로 되어 있어 각각의 대지에 대한 저항률을 계산하기에는 매우 어려우므로 이들 모두를 등가화 한 등가대지 저항률을 이용하게 된다.[2]

지표면으로부터의 전체 깊이 l 인 다층구조에 대한 등가 대지 저항률은 식 (1)과 같다.

$$\rho_e = \frac{l}{\sum_{i=1}^{n-1} \frac{h_i}{\rho_i} + \frac{1-h_{n-1}}{\rho_n}} \quad (1)$$

여기서 $h_{n-1} = \sum_{i=1}^{n-1} h_i$

접지저항을 이론적으로 엄밀하게 구할 수 있는 접지전극으로서 회전타원체 접지전극이 있다. 타원으로 회전 타원체를 만드는 데에는 긴지름을 축으로 하여

회전하는가(편장회전 타원체), 짧은지름을 축으로 하여 회전하는가(편평회전 타원체)에 따라 형상이 달라지며 Fig. 1에 회전 타원체의 모형을, 접지저항 산출식을 Table 1에 표시하였다.[3]

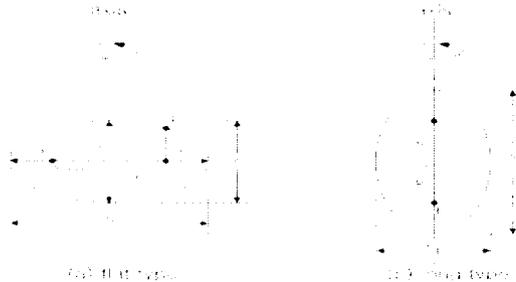


Fig. 1. Ellipsoid electrode

Table 1. Ground resistance formula of electrode

electrode shape	ground resistance formula
flat ellipsoid $a=b>c$	$R = \frac{\rho}{2\pi r} \sin^{-1} K$ $K = \sqrt{1 - (\frac{l}{r})^2}$ radius $a = r$ length $c = l$
long ellipsoid $a=b<c$	$R = \frac{\rho}{4\pi l T} \ln \frac{1+T}{1-T}$ $T = \sqrt{1 - (\frac{r}{l})^2}$ radius $a = r$ length $c = l$
hemisphere $a=b=c$	$R = \frac{\rho}{2\pi r}$ radius $a = r$
circular plate $a=b>>c$	$R = \frac{\rho}{4r}$ radius $a = r$
elliptic plate $a \neq b >> c$	$R = \frac{\rho}{2\pi a} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{d\phi}{\sqrt{1 - k^2 \sin^2 \phi}}$ $k = \sqrt{1 - (\frac{b}{a})^2}$ long axis = a short axis = b
rod $a=b<<c$	$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{2l}{r}$ radius $a = r$ length $c = l$

2.3. 코어링 접지

접지전극을 시설한 장소에서 필요로 하는 접지저항을 얻기가 어려운 경우 토양의 화학적 변화를 통한 대지 저항율을 변화시키기 위해 접지 저감제를 사용하고 있다.[3,4]

저감제를 사용하여 접지전극 주변의 대지 저항율을 주위에 비하여 매우 낮게 하면 접지저감 효과가 나타나게 되며, 이는 접지전극의 반경이 팽창된다는 것을 의미한다.

접지 저감제는 도포 방법에 따라 저감효과가 다르게 나타나며 접지저항은 반구상이 가장 크고, 편평, 편장이 됨에 따라 작아지므로 저감제의 시공은 편평보다는 편장형으로 하는 것이 보다 유리한 시공법이라고 할 수 있다.

코어링 접지는 동관을 접지 전극으로 하여 동관의 높이까지 저감제를 살포하고 나머지 부분은 흙으로 되메우는 방법으로서 접지시설 면적이 비교적 좁은 도심가나 빌딩가 등에서 좁은 면적을 이용하여 낮은 저항값을 얻을 수 있고, 또한 대지 고유 저항이 높은 지역에서는 접지전극을 지하 깊숙이 시설함으로써 낮은 저항을 얻을 수 있기 때문에 사용 빈도가 높아지고 있다.

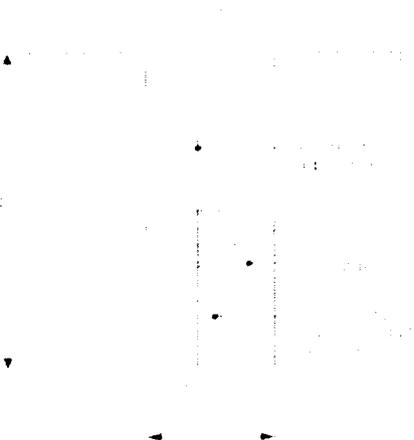


Fig. 2. Electrode of coring grounding construction

코어링 접지방식은 굴착기를 이용하여 직경 130 [mm]의 구멍을 지표면으로부터 대략 30[m]의 깊이까지 굴착한 후 접지선과 직경 50[mm]의 동관을 접

지전극으로 하여 시설한 후 산어스, 밴토나이트 등의 저감제 10[kg]을 평균 30포대 겹쳐하여 살포시켜 접지저항을 얻는 것으로써 접지전극을 Fig. 2에 표시하였다.

코어링 접지는 깊은 깊이까지 굴착되므로 편장상 전극으로 볼 수 있으며 구의 형태를 가진 전극으로 등가화 할 수 있다.

편장 회전 타원체와 구의 접지 저항 계산식으로부터 등가반경을 구하면 식 (2)와 같다.

$$R = \frac{\rho}{4\pi k} \ln \frac{1+k}{1-k} = \frac{\rho}{4\pi r_e} \quad (2)$$

$$k = \sqrt{1 - \left(\frac{r}{l}\right)^2}$$

$$r_e = \frac{lk}{\ln \frac{1+k}{1-k}}$$

코어링 접지시 사용하는 저감제는 여러 방향의 빈 공간으로 번져나가거나 사력층으로 흡수되므로 실제 살포된 저감제의 양에 따른 등가반경의 변화를 고려하여야 한다.

접지 저감제의 부피는 126포대가 투입되는 경우 1 [m]에 해당하므로 코어링 1공에 30포대가 포설되는 경우

$$30:126 = x:1$$

에서 30포대에 해당하는 부피 x 는

$$x = 0.238 [m^3]$$

임을 알 수 있다.

사용된 저감제의 양과 동관까지의 높이 6[m]에 해당하는 부피를 비교하여 보면

$$\pi \times \left(\frac{130}{2} \times 10^{-3}\right)^2 \times 6 \times \alpha = 0.238 [m^3]$$

$$\alpha = 2.9988472 \approx 3$$

여기서, α 는 저감제에 의한 변환계수이다.

즉 전극의 높이는 6[m]이지만 저감제의 효과로 인하여 코어링 내부에서 전극의 유효깊이는 6[m] × 3 = 18[m]가 되고 이것은 등가의 구의 반경에 영향을 미치게 된다.

저감제에 의한 코어링 접지의 확장된 등가 반경 r_e' 은

$$k = \sqrt{1 - \left(\frac{0.065}{3 \times 6}\right)^2} = 0.9999$$

$$r_e' = 3 \times \frac{6 \times 0.9999}{\ln \frac{1 - 0.9999}{1 - 0.9999}} = 1.81174 [m]$$

2.4. 병렬접지

병렬 접지란 동일한 형상과 치수의 전극을 여러 개 집합시켜 시공하는 것으로 각각의 전극을 선으로 연결하여 병렬 접지전극을 구성한다.[5]

접지전극을 Z개 병렬 접지 한 경우 1개의 전극 접지저항을 R이라 할 때 합성저항 R0 는 다음과 같다.

$$R_0 = \eta \frac{R}{Z} \tag{3}$$

여기서 η는 집합계수로 병렬접지의 효과를 나타내는 계수이다.

일정길이의 전극을 무한원방으로 병렬 접지 한 경우 전극의 상호 간섭은 무시되므로 집합계수는 거의 1에 가까우나 현실적으로는 전극에서 나오는 접지전류의 통로가 좁게 되고 전극의 상호간섭에 의해 1보다 큰 값이 된다.

임의 형상의 접지전극에 전류 I가 유입될 때 발생하는 전위 V는 접지 전류값, 대지 저항률, 전극치수 및 전극사이의 거리등의 함수로 식 (4)와 같이 나타내어진다.

$$\vec{v} = \rho \vec{f} i \tag{4}$$

$$\text{단, } \vec{v} = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_Z \end{bmatrix} \quad \vec{i} = \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_Z \end{bmatrix}$$

$$\vec{f} = \begin{bmatrix} R_F & F(S_{12}) & \dots & F(S_{1Z}) \\ F(S_{21}) & R_F & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ F(S_{Z1}) & \dots & \dots & R_F \end{bmatrix}$$

$$R_F = R / \rho$$

병렬접지에서는 모든 전극의 전위가 등전위라고 가정하므로

$$V_1 = V_2 = V_3 = \dots = V_z = 1 \tag{5}$$

가 된다. 따라서

$$\vec{v} = V \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix}, \quad \vec{i} = \frac{1}{\rho} \vec{f}^{-1} \vec{v} \tag{6}$$

각 전극에 유입하는 접지전류 I는

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_Z \\ = [1, 1, \dots, 1] \vec{i} \tag{7}$$

가 된다.

병렬접지 저항 R0는 전극전위 V와 접지전류 I와의 비이므로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_0 = \frac{V}{I} = \frac{\rho}{[1, 1, \dots, 1] \vec{f}^{-1} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix}} \tag{8}$$

Fig. 3과 같이 접지전극에 접지전류 I가 유입하고 있을 때 전극에서 x만큼 떨어진 지표면의 전위분포는 다음과 같다.

$$V(x) = \frac{\rho I}{4\pi k l} \ln \frac{1+e}{1-e} \tag{9}$$

여기서,

$$k = \sqrt{1 - \frac{r^2}{l^2}}, \quad e = \sqrt{1 - \frac{r^2 + \lambda}{l^2 + \lambda}}$$

$$\lambda = x^2 - r^2$$



Fig. 3. Voltage distribution of grounding electrode

2.4.1. 2극 병렬접지

접지전극(반지름 r , 길이 l)이 간격 S 로 2극 병렬 배치 되었을 때 각 극의 전위는 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \frac{\rho}{4\pi kl} \begin{bmatrix} f(x) & f(s) \\ f(s) & f(x) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} \quad (10)$$

여기서 $f(x)$ 는 다음 식으로 표현된다.

$$f(x) = \ln \frac{1+e}{1-e} \quad (11)$$

단, $e = \sqrt{1 - \frac{r^2 + \lambda}{l^2}}$

($f(s)$ 에서 간격이 s 일 때 $x = s$ 가 된다)

각 전극의 전위는 등전위이고 전극에 유입되는 접지 전류는 각 전극전류의 합이므로 병렬접지저항 R_0 은 다음 식으로 표현된다.

$$R_0 = \frac{V}{I} = \frac{\rho(f(r) + f(s))}{8\pi kl} \quad (12)$$

1극의 접지저항 R 은 다음 식으로 계산된다.

$$R = \frac{\rho}{4\pi kl} \ln \frac{1+k}{1-k} \quad (13)$$

여기서,

$$k = \sqrt{1 - \frac{r^2}{l^2}}$$

집합계수는 전극이 2개이므로 다음과 같이 표현된다.

$$\eta = 2 \cdot \frac{R_0}{R} \quad (14)$$

2.4.2. 4극 직사각형 배치의 병렬접지

4개의 접지전극이 간격 S_1, S_2 의 직사각형으로 배치되어 있는 경우 전극 4개의 전위는 다음 식으로 표현된다.

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{bmatrix} = \frac{\rho}{4\pi kl} \begin{bmatrix} f(r) & f(s_1) & f(\sqrt{s_1^2 + s_2^2}) & f(s_2) \\ f(s_1) & f(r) & f(s_2) & f(\sqrt{s_1^2 + s_2^2}) \\ f(\sqrt{s_1^2 + s_2^2}) & f(s_2) & f(r) & f(s_1) \\ f(s_2) & f(\sqrt{s_1^2 + s_2^2}) & f(s_1) & f(r) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \end{bmatrix} \quad (15)$$

2극 병렬접지와 마찬가지로 각 전극의 전위는 등전위이고 전극에 유입되는 접지전류는 각 전극전류의 합이므로 병렬접지저항을 구할 수 있으며 집합계수는 전극이 4개이므로 다음과 같이 표현된다.

$$\eta = 4 \cdot \frac{R_0}{R} \quad (16)$$

전극의 수와 매설형태에 따른 집합계수가 결정되면 실제의 접지공사에서 필요로 하는 접지저항에 따른 전극 수 및 매설방식을 결정하여 시공하게 되며 병렬 접지전극의 설계 흐름도를 Fig. 4에 표시하였다.

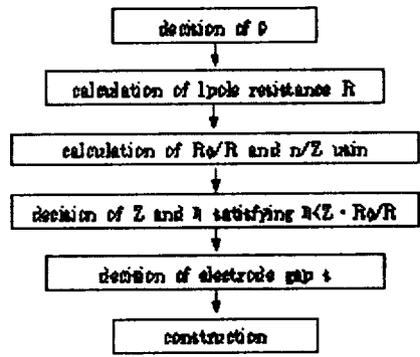


Fig. 4. Design flowchart of parallel grounding electrode

III. 사례연구

Table 2는 제주지역에서 지역별로 코어링 접지를 이용하여 측정한 접지저항을 표시한 것으로서 지질구조가 대부분 암반과 사력층으로 구성되며 높은 일부

분만 지표층에 존재한다. 일반적으로 흙의 저항률은 암반과 사력층의 저항률에 비해 적으므로 흙의 존재 여부가 접지저항에 큰 영향을 미치지만 흙이 있는 지역은 극히 일부분에 지나지 않아 제주지역은 접지 저항면에서 열악한 지역임을 알 수 있다.

Table 2의 측정저항과 구 전극에 의한 접지저항 식으로부터 각 코어의 등가 대지 저항률을 계산할 수 있으며 또한 다층구조의 등가 대지 저항률을 이용하여 토양의 종류별 대지 저항률을 추정할 수 있다.

대지 저항률의 추정은 우선 각 토양의 종류에 대해 적당한 범위의 대지 저항률을 가정하고 일정 간격으로 저항률을 변화시켜 가면서 각 코어의 등가 대지 저항률과 비교하여 오차가 적은 토양종류별 저항률을 구함으로써 가능하다. 등가 대지 저항률과의 오차는 약 15% 내외로서 이 정도의 오차는 현상에서는 용인 될 수 있는 값이다.

토양의 종류를 흙, 암반, 송이 또는 사력층으로 구분하여 토양 종류별로 추정한 대지 저항률의 범위를 Table 3에 수록하였으며 중간정도의 값을 대표적인 저항률로 표시하였다.

제주지역의 추정 대지 저항률의 대표값에 의한 저항과 코어링을 통하여 측정한 측정저항을 비교한 결과 오차는 약 15.6% 정도로서 이는 측정시의 오차와 측정자의 오차들을 감안할 때 현장에서의 오차 범위 내에 포함할 수 있는 수치로서 오차가 크게 나타난 것은 저항계의 양에 따른 오차라고 생각되어지며, 어느 정도의 측정오차를 감안하면 추정한 대지 저항률이 적절하다고 할 수 있다.

제주도 광역상수도 개발을 위하여 토양분포가 조사 되어 있는 제주도 지질 주상도 자료집[6]을 인용하여 중산간 지역을 중심으로 코어링 접지방식으로 1극 접지를 시공할 경우의 예상 저항을 Table 4에 표시하였다.

Table 4에 나타난 바와 같이 1개의 접지전극으로는 제 1 종 접지저항인 10[Ω]을 얻을 수 없으므로 병렬접지로 시공하여야 한다. 병렬접지를 시행하기 위하여 전극의 개수 및 매설간격, 전극배치 형태에 따른 집합계수를 Table 5-8에 표시하였다.

집합계수의 표에서 보는 바와 같이 전극의 간격이 크면 클수록 집합계수는 작아지고 전극수가 많을수록

크게 된다. 가장 작은 집합계수의 매설형태는 직선상 일렬배치이며 2열 배치가 크게 나타남을 알 수 있는데 이는 전극의 상호간섭으로 합성 병렬 접지저항의 저항이 좋지 않음을 의미한다. 따라서 접지공사 시 공사구역의 형상이나 면적이 긴 경우에는 직선상 배치, 넓은 경우에는 전극사이의 간격이 퍼지도록 배치하면 원하는 접지저항을 얻을 수 있다.

Table 2. Geological structure and measurement resistance of core

no. of core	depth [M]	geological structure	resistance[Ω]
sungs an-1	30	0 - 6 clay, 6 - 20 scoria, 20 - 21 clay, 21 - 22 rock, 22 - 25 scoria, 25 - 30 rock	26
sungs an-2	30	0 - 6 clay, 6 - 12 scoria, 12 - 30 rock	28
sungs an-3	34	0 - 5 rock, 5 - 15 scoria, 15 - 21 rock, 21 - 24 scoria, 24 - 34 rock	38
sungs an-4	30	0 - 11 rock, 11 - 24 scoria, 24 - 30 rock	45
sungs an-5	40	0 - 2 clay, 2 - 27 rock, 27 - 28 scoria, 28 - 40 rock	40
sungs an-6	30	0 - 6 clay, 6 - 26 rock, 26 - 28 scoria, 28 - 30 rock	32
Book hon-1	30	0 - 15 rock, 15 - 30 scoria	40
Book hon-2	15	0 - 15 rock	52
Kyora e-1	15	0 - 15 scoria	58
Kyora e-2	17	0 - 15 rock, 15 - 17 clay	57
Daehul-1	11	0 - 3 scoria, 3 - 9 rock, 9 - 11 clay	35
Hang won-1	30	0 - 1 clay, 1 - 30 scoria	66
Hang won-2	32	0 - 4 rock, 4 - 28 scoria, 28 - 32 rock	60
Hang won-3	33	0 - 6 rock, 6 - 33 scoria	50
Hang won-4	27	0 - 5 rock, 5 - 20 scoria, 20 - 27 rock	40
Hang won-5	28	0 - 2 rock, 2 - 20 scoria, 20 - 24 rock, 24 - 28 scoria	52
Hang won-6	30	0 - 4 rock, 4 - 30 scoria	63
Hang won-7	33	0 - 1 clay, 1 - 15 scoria, 15 - 33 rock	60
Hang won-8	35	0 - 1 clay, 1 - 20 scoria, 20 - 35 rock	43

Table 3. Estimated ground resistivity in Jeju

classification	resistivity[Ω m]	estimated value[Ω m]
clay	200 - 500	300
rock	800 - 1,300	1,100
scoria	900 - 1,800	1,300

Table 4. Expected ground resistance in Jeju

no	depth [m]	height [m]	geological structure	expected resistance [Ω]
F-109	30	265	0-2 clay, 2-20 scoria, 20-30 rock	40
F-134	35	245	0-2 scoria, 2-27 rock, 27-35 scoria	46
F-268	29	365	0-1 clay, 1-29 rock	41
F-273	30	103	0-12 clay, 12-30 scoria	24
F-223	24	64	0-9 clay, 9-24 rock	23
F-322	44	132	0-1 clay, 1-7 scoria, 7-12 rock, 12-27 scoria, 27-35 rock, 35-44 scoria	47
F-328	38	182	0-1 clay, 1-12 rock, 12-19 scoria, 19-29 rock, 29-38 scoria	44
F-379	32	252	0-4 scoria, 4-11 rock, 11-15 scoria, 15-32 rock	46

Table 5. Aggregation factor of parallel electrode (Z = 2, 3, 4, 5)

a=s/l l=13m	no. of electrode(Z)								
	2		3		4			5	
	①	②	①	②	③	①	②	③	
type	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
a	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
1.0	1.46	1.59	1.61	1.68	1.78	1.71	1.76	1.82	1.80
1.25	1.43	1.53	1.55	1.61	1.68	1.63	1.67	1.73	1.71
1.5	1.41	1.50	1.51	1.56	1.63	1.58	1.61	1.66	1.65
1.75	1.39	1.47	1.48	1.52	1.58	1.54	1.57	1.64	1.60
2.0	1.38	1.45	1.46	1.50	1.55	1.52	1.54	1.57	1.56
2.25	1.37	1.43	1.44	1.47	1.52	1.49	1.51	1.54	1.53
2.5	1.36	1.41	1.43	1.46	1.50	1.47	1.49	1.52	1.51
2.75	1.35	1.40	1.41	1.44	1.48	1.45	1.47	1.50	1.49
3.0	1.35	1.39	1.40	1.43	1.46	1.44	1.45	1.48	1.47

Table 4의 접지공사 예정지역에 대하여 집합계수를 이용한 시공방법을 Table 9에 표시하였으며 이를 이용하면 접지공사 지역의 형상 및 면적에 따라 병렬

접지의 전극간격 및 매설형태를 적절하게 선택하여 공사를 시행할 수 있다.

또한 현재의 코어링 접지는 굴착 깊이의 2배인 60[m]의 전극간격으로 공사를 하고 있어 면적을 크게 차지하지만 집합계수를 이용하면 보다 적은 면적으로 공사를 시행할 수 있을 것이다.

Table 6. Aggregation factor of parallel electrode (Z = 6, 7)

a=s/l l=13m	no. of electrode(Z)								
	6				7				
	①	②	③	④	①	②	③	④	⑤
type	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
a	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
1.0	1.82	2.00	1.86	1.91	1.88	2.02	2.02	2.00	1.92
1.25	1.73	1.88	1.76	1.80	1.77	1.89	1.89	1.87	1.81
1.5	1.66	1.79	1.69	1.72	1.70	1.80	1.79	1.78	1.73
1.75	1.61	1.72	1.63	1.66	1.64	1.73	1.73	1.71	1.67
2.0	1.57	1.67	1.59	1.61	1.60	1.68	1.67	1.66	1.62
2.25	1.54	1.63	1.56	1.58	1.56	1.64	1.63	1.62	1.59
2.5	1.51	1.59	1.53	1.55	1.57	1.60	1.60	1.59	1.56
2.75	1.49	1.57	1.51	1.53	1.51	1.57	1.57	1.56	1.53
3.0	1.48	1.54	1.49	1.51	1.50	1.55	1.55	1.54	1.51

Table 7. Aggregation factor of parallel electrode (Z = 8)

a=s/l l=13m	no. of electrode(Z)				
	8				
	①	②	③	④	⑤
type	.....	.....	.....	.....	.....
a	.....	.....	.....	.....	.....
1.0	1.92	2.18	2.02	2.17	2.13
1.25	1.81	2.02	1.89	2.01	1.98
1.5	1.73	1.91	1.79	1.90	1.87
1.75	1.67	1.82	1.76	1.82	1.79
2.0	1.62	1.76	1.67	1.75	1.73
2.25	1.59	1.71	1.63	1.70	1.68
2.5	1.56	1.67	1.60	1.66	1.65
2.75	1.53	1.63	1.57	1.63	1.61
3.0	1.51	1.61	1.55	1.60	1.59

Table 8. Aggregation factor of parallel electrode (Z = 9, 10)

a=s/l l=18m	no. of electrode(Z)						
	9				10		
	①	②	③	④	①	②	③
type	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
a	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
1.0	1.98	2.25	2.31	2.184	2.01	2.32	2.26
1.25	1.87	2.07	2.13	2.02	1.88	2.14	2.08
1.5	1.79	1.95	2.00	1.91	1.78	2.01	1.96
1.75	1.73	1.86	1.90	1.83	1.72	1.91	1.86
2.0	1.68	1.80	1.83	1.76	1.67	1.83	1.80
2.25	1.64	1.74	1.77	1.71	1.62	1.78	1.74
2.5	1.61	1.70	1.73	1.67	1.59	1.73	1.70
2.75	1.59	1.66	1.69	1.66	1.56	1.69	1.66
3.0	1.57	1.63	1.65	1.61	1.54	1.66	1.63

Table 9. Construction method of expected grounding area

n o	construction method
F-109	$a \geq 2.75$ or $Z \geq 7$ of Z=6 ①
F-134 F-379	$a \geq 2.75$ of Z=7 ① or $a \geq 3.0$ of ⑤ or Z=8
F-268	$a \geq 3.0$ of Z=6 ① or Z=7
F-273 F-223	$Z \geq 4$
F-322	$Z \geq 8$
F-328	$Z \geq 7$

접지전극 1개의 저항이 커서 현재의 코어링 방법으로 충분한 접지저항을 얻기 어려운 경우 저항을 낮추기 위해 굴착 깊이를 깊게 하는 방안이 있으나 비용이 많이 들고 현실적으로 어려움이 많다. 접지저감제는 전극의 반경을 확장하는 효과가 있으므로 저감제의 양을 늘려 저항을 낮추는 방안을 검토할 필요가 있다. 30포대의 저감제를 사용할 경우 전극 길이나 반지름이 3배정도 확장되는 효과가 나타나며 40포대를 살포한다면 계산상으로 저감제에 의한 변환계수가 4 정도로 나타나므로 4배의 확장 효과를 볼 수 있다.

저감제를 40포대 살포한다고 가정하면 Table 4의 접지전극 1개에 대한 접지저항이 더 낮아지게 되므로 표 9에 제시한 전극의 개수보다 1-2개 줄어든 시공

방법이 나타나게 되며 참고로 저감제 40포대에 대한 전극의 개수 및 배치에 따른 집합계수를 Table 10-13에 나타내었다.

저감제 양에 따른 집합계수를 비교하면 Table 10-13의 경우가 약간 큰 것을 알 수 있는데 이는 저감제 양을 증가시킴으로써 전극길이가 확장된 것에 의한 것이며 전극 1개의 저항은 낮아지기 때문에 집합계수가 크다 하더라도 합성 병렬저항은 적어지게 된다.

Table 10. Aggregation factor of parallel electrode (Z = 2, 3, 4, 5)

a=s/l l=18m	no. of electrode(Z)											
	2			3			4			5		
	①	①	②	①	②	③	①	②	③	①	②	③
type
a
1.0	1.52	1.64	1.67	1.74	1.83	1.77	1.82	1.88	1.86			
1.25	1.49	1.59	1.61	1.67	1.75	1.69	1.73	1.79	1.44			
1.5	1.47	1.55	1.57	1.62	1.69	1.64	1.67	1.72	1.71			
1.75	1.45	1.53	1.54	1.58	1.64	1.60	1.63	1.67	1.66			
2.0	1.44	1.50	1.52	1.55	1.61	1.57	1.59	1.63	1.62			
2.25	1.43	1.49	1.50	1.53	1.58	1.55	1.57	1.60	1.59			
2.5	1.42	1.47	1.48	1.51	1.56	1.53	1.55	1.57	1.57			
2.75	1.41	1.46	1.47	1.50	1.54	1.51	1.53	1.55	1.55			
3.0	1.41	1.45	1.46	1.49	1.52	1.50	1.51	1.54	1.53			

Table 11. Aggregation factor of parallel electrode (Z = 6, 7)

a=s/l l=24m	no. of electrode(Z)									
	6					7				
	①	②	③	④	⑤	①	②	③	④	⑤
type
a
1.0	1.88	2.06	1.92	1.97	1.94	2.08	2.08	2.05	1.98	
1.25	1.78	1.93	1.82	1.85	1.83	1.95	1.95	1.93	1.87	
1.5	1.72	1.84	1.75	1.78	1.75	1.86	1.85	1.86	1.79	
1.75	1.67	1.78	1.69	1.72	1.70	1.79	1.78	1.77	1.73	
2.0	1.63	1.73	1.65	1.67	1.57	1.74	1.73	1.72	1.68	
2.25	1.60	1.69	1.62	1.64	1.62	1.69	1.68	1.68	1.65	
2.5	1.57	1.65	1.59	1.61	1.60	1.66	1.66	1.65	1.62	
2.75	1.55	1.63	1.57	1.59	1.57	1.63	1.63	1.62	1.59	
3.0	1.53	1.60	1.55	1.57	1.55	1.61	1.61	1.60	1.57	

Table 12. Aggregation factor of parallel electrode (Z = 8)

a-s/l l=24m	no. of electrode(Z)				
	8				
type	①	②	③	④	⑤
a	.....	.....	.....	.....	.....
1.0	1.98	2.24	2.08	2.23	2.19
1.25	1.87	2.08	1.95	2.07	2.04
1.5	1.79	1.97	1.85	1.96	1.93
1.75	1.73	1.88	1.78	1.88	1.85
2.0	1.68	1.82	1.73	1.81	1.79
2.25	1.64	1.77	1.69	1.76	1.74
2.5	1.61	1.73	1.66	1.72	1.70
2.75	1.59	1.69	1.63	1.69	1.67
3.0	1.57	1.66	1.60	1.66	1.65

Table 13. Aggregation factor of parallel electrode (Z = 9, 10)

a-s/l l=24m	no. of electrode(Z)					
	9			10		
type	①	②	③	④	⑤	⑥
a	.....	.....	.....	.....	.....	.....
1.0	2.03	2.31	2.37	2.24	2.07	2.38
1.25	1.90	2.13	2.19	2.08	1.94	2.19
1.5	1.82	2.01	2.06	1.97	1.84	2.06
1.75	1.75	1.92	1.96	1.88	1.78	1.97
2.0	1.70	1.85	1.90	1.82	1.72	1.89
2.25	1.66	1.80	1.83	1.77	1.68	1.83
2.5	1.66	1.76	1.78	1.73	1.65	1.79
2.75	1.61	1.72	1.74	1.69	1.62	1.75
3.0	1.59	1.69	1.71	1.66	1.60	1.71

IV. 결론

대지 저항률이 높은 암반이나 사력층 지역에서의 접지 저항은 일반적인 봉형 접지 전극으로는 얻기가 거의 불가능하며 원하는 저항값을 얻기 위해서는 깊이 매설한 접지 전극과 접지 저감제를 사용하는 코어

링 접지방식을 채택하여 시설하는 것이 바람직하다.

본 연구에서는 제주지역의 고저항 지대에서 각 토양의 대지 저항률을 추정함으로써 다른 고저항 지대의 개략적인 접지저항을 예측하여 기초 자료로 사용할 수 있도록 하였으며 접지 전극수와 매설형태에 따른 병렬접지의 집합계수를 계산하여 실제 공사 시 활용할 수 있도록 하였다.

코어링의 접지 전극인 봉관에 흙을 파서 저감제 및 대지와 접촉면적을 증가시키고 더 많은 저감제를 사용한다면 접지저항의 저감효과는 더욱 증대될 것으로 사료되며 이를 실제 공사에 적용시켜 오차를 보정하는 등 접지저항 저감에 대한 연구가 계속 진행되어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] 한전제주지사, 1991. 9. 제주지역 22.9kV-y 승압공사 설계 및 시공내역
- [2] 이종선, 1993. 현장의 접지 기술과 접지 시스템, 성안당
- [3] 월간전기, 1994. 3. 접지저항
- [4] 월간전기, 1994. 9. 접지저항 저감법
- [5] 이형수 역, 1993. "접지설계입문" 통일출판사
- [6] 제주도 광역 수자원 관리본부, 2001. 제주도 지질주상도 자료집