碩士學位論文

高低抗 地帶에서의 코어링 接地工事에 關한 硏究

濟州大學校 産業大學院

電子電氣工學科

電氣工學 專攻

梁 文 佶

JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

2003

碩士學位論文

高低抗 地帶에서의 코어링 接地工事에 關한 硏究

指導敎授 金 世 鎬

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

濟州大學校 産業大學院

電子電氣工學科

梁 文 佶

2003

高低抗 地帶에서의 코어링 接地工事에 關한 硏究

指導敎授 金 世 鎬

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2003年 6月 日

濟州大學校 産業大學院

電子電氣工學科

電氣工學 專攻

梁 文 佶

梁文佶의 工學 碩士學位 論文을 認准함

2003年 6月 日

審査委員長 _____ 印

委 員 _____ 印

委 員 _____ 印

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

목 차

LIST OF FIGURES ····· i

LIST OF TABLES ····· ii

SUMMARY ····· iii

Ⅰ. 서 론 ····· 1

Ⅱ. 대지 저항률 및 접지저항 ····· 2

1. 대지 저항률 ····· 2

1) 토양과 대지 저항률 ····· 2

2) 제주지역 토양의 특징 ····· 3

3) 다층구조의 대지 저항률 ····· 4

2. 접지 저항 ····· 6

1) 접지 저항의 계산 ····· 6

2) 접지 저감제 ····· 11

3. 접지 전극의 등가 반경과 코어링 접지 ····· 14

1) 접지 전극의 등가 반경 ····· 14

2) 코어링 접지 전극 ····· 15

Ⅲ. 사례연구 ····· 17

1. 봉상 전극을 이용한 접지 ····· 17

2. 코어링 접지 ····· 19

Ⅳ. 결 론 ····· 27

참고문헌 ····· 28

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

LIST OF FIGURES

Fig. 1 Multi-layer structure of ground ····· 5
Fig. 2 Ground resistance according to hemisphere size ····· 7
Fig. 3 Model of hemisphere electrode ····· 8
Fig. 4 Lay type of rod electrode ····· 8
Fig. 5 Ellipsoid electrode ····· 9
Fig. 6 Resistance reducer model ····· 11
Fig. 7 Construction of resistance reducer ····· 13
Fig. 8 Electrode shape and ground resistance ····· 13
Fig. 9 Electrode of coring grounding construction ····· 19
Fig. 10 Photography of coring grounding construction ····· 20

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

LIST OF TABLES

Table 1 Classes of ground according to resistivity ····· 2
Table 2 Class of soils and resistivity ····· 3
Table 3 Ground resistance formular of electrode ····· 10
Table 4 Resistance of rod electrode ····· 18
Table 5 Geological structure and measurement resistance of core ····· 22
Table 6 Ground resistivity in Jeju ····· 24
Table 7 Comparison of estimated and measured value ····· 25
Table 8 Expected ground resistance ····· 26

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

A Study on Coring Grounding Construction in High Resistivity Area

Moon-Gil Yang

DEPARTMENT OF ELECTRONIC AND ELECTRICAL ENGINEERING
GRADUATE SCHOOL OF INDUSTRY
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

Supervised by professor Se-Ho Kim

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Summary

The grounding system is necessary to provide means to dissipate electric currents into the earth without exceeding any operating and equipment limits. But 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 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 using measured value of ground resistance and equivalent radius calculation method. Estimated resistivities are used for grounding resistance in scheduled grounding region.

Ⅰ. 서 론

최근 산업발전과 전력기기의 발달로 접지의 중요성이 강조되고 있고, 접지설비는 전력시설물의 각종 사고나 절연불량, 자연적 열화, 또는 전원회로나 전자장치에 뇌서지 및 개폐서지 등과 같은 과도 이상전압의 침입으로부터 취급자를 보호하고, 설비기기의 절연파괴를 방지할 뿐만 아니라, 정보설비, 통신설비의 잡음제거로 정보통신의 양질화를 이루는 중요한 역할을 하게 된다.(이복희, 이승칠,2000)

그러나 화산섬으로 이루어진 제주도는 대부분의 토질이 현무암 및 사력층으로 구성되어 있어 대지의 함수량이 적고 건조하여 전기적으로의 대지 저항률이 대단히 높다. 대지 고유저항은 토질의 형태와 종류, 대지의 함수량, 주위의 온도, 계절 등에 따라 다르게 나타나고 있으며, 해발 200M 이상의 중산간 지역에서는 더더욱 대지 저항률이 높게 나타나고 있다.(한국전력공사 제주지사, 1991)

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

제주도의 하천은 대부분 물이 흐르지 않는 준용하천으로 이루어져 있고, 지하수의 용출수도 대부분이 해안가에 위치하고 있어 대지 고유 저항 값은 항상 높은 값을 유지하고 있고, 제주도 지질 주상도 자료집에 의하면 같은 지역일 지라도 지질이 복잡하게 구성되어 있어 측정위치에 따라 대지 고유저항 값도 다양하게 나타나고 있다.(제주도 광역 수자원 관리본부, 2001)

따라서 본 논문에서는 지표면을 수십 미터 코어링하여 접지전극을 매설하고 저감제를 사용하는 코어링 접지방식의 이론적인 근거를 마련하여 코어링 접지의 우수성을 보이고자 한다.

또한 등가반경 개념의 도입으로 반구형 접지전극과 코어링 접지전극과의 관계를 정립하고 코어링 접지저항값의 계산 방법을 제시하여 제주지역과 같이 고저항 지대에서의 코어링 접지설계에 필요한 대지고유저항을 얻음으로써 접지설계의 기본 자료로 활용하고자 한다.

Ⅱ. 대지 저항률 및 접지저항

대지는 거대한 도전체로 볼 수 있으나 측정 장소, 측정시간 및 온도, 대지에 포함된 함수량 등 여러 가지 여건에 따라 그 전기적인 특성이 다르게 나타나고 있으며, 같은 지역이라도 토양성분에 따라 특성이 다르다. 일반적인 토양의 전기적인 특성은 대지 저항률에 따라 저저항률 지대, 중저항률 지대, 고저항률 지대로 구분하며 이들의 특징은 Table 1과 같다.

Table 1 Classes of ground according to resistivity

분 류	저항률[Ω·m]	특 징
저저항률지대	ρ<100	항상 토양에 수분이 많이 함유되어 있는 하구 또는 해안지역
중저항률지대	100≦ρ<1000	지하수를 쉽게 얻을 수 있는 내륙의 평야지대
고저항률지대	1000≦ρ	배수가 잘되는 구릉지대, 고원, 암반지대

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

1. 대지 저항률

1) 토양과 대지 저항률

대지는 저항률에 따라 전기적인 특성이 매우 상이하게 나타나며, 이러한 저항률에 관계하는 요소로는 먼저 토양의 종류를 들 수 있는데, 토양의 성분, 입자크기, 분포도, 균질성과 조밀성 등에 따라 대지 저항률이 다르게 나타나고 있다. Table 2는 이러한 토양의 종류에 따른 저항률을 나타내고 있다.

대지 저항률은 토양 속에 포함되어 있는 수분의 영향에 따라 다르게 나타나는데, 토양 중에 수분이 증가하면 대지 저항률이 저하된다. 따라서 수분의 함유량이 증가하면 대지 저항률은 급격히 감소하며, 토양의 함수량은 토양 입자의 크기와 다양성, 조밀도에 따라서도 다르게 나타난다.

저항률은 똑같은 토질이라 할지라도 측정 장소 혹은 토양의 온도에 따라 다르게 나타나며, 온도가 상승하면 대지 저항률은 감소하고 반대로 온도가 내려감에 따라 저항값은 상승한다. 똑같은 접지 저항일지라도 측정일시에 따라 여름과 겨울의 측정값이 다른 것은 이 때문이다. 이 이외에도 토양 속에 포함되어 있는 염분, 산, 알칼리 등 화학물질의 양이나 조성에 따라서도 다르며, 토양 속에 염분의 농도에 따라서도 다르게 나타난다.

Table 2 Class of soils and resistivity

토양의 종류	저항률[Ω·m]
점토질의 논 또는 늪지	10~150
점토질의 밭	10~200
점토질의 산지	200~2,000
암반지대의 산지	2,000~5,000
자갈·옥석이 깔린 해안지대	1,000~5,000
해안지대의 모래땅	50~100
양토(loam)	20~100
부식토(humic soil)	10~150
사점토(sandy clay)	50~500
소성점토	50
무수규산점토	200~3,000
편암(schist)	50~300
운모편암	800
바위 및 암반지대	10^4~10^7

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

2) 제주지역 토양의 특징

제주지역의 토양은 화산암, 현무암 등의 암반지역과, 송이(사력)층, 일부의 점토를 포함한 흙으로 이루어져 있으며, 송이 층은 제주지역에 약 140억 톤 정도의 많은 양이 매장되어 있는 것으로 추정되고 있고, 다공성으로 수분의 이동이 곤란

하고 확산이 늦으며 수분의 완충 능력도 적은 단점이 있어서 전기적인 고유 저항값은 매우 크다고 볼 수 있다. 지역별 특징을 보면, 동부지역은 구좌읍, 성산읍, 표선면 지역으로써 암반과 자갈이 많고, 대지 고유 저항값이 높고 변화가 심하며, 대지 저항률이 1,400 ~ 3,000 [Ω·m]이나 낮은 지역은 120 [Ω·m]을 나타내는 지역도 있다. 서부지역은 애월읍, 한림읍, 한경면, 대정읍 지역으로써 표고가 낮은 평야부의 대지 저항률은 200 ~ 300 [Ω·m]을 나타내며, 암반지역, 중산간 지역은 1,000 ~ 2000 [Ω·m]의 대지 저항률을 보이고 있고, 평야부와 중산간 지역간의 대지 저항값의 차가 크다. 남부지역은 서귀포시, 남원읍, 안덕면 지역으로 점토 또는 자갈 섞인 점토가 발달하고, 일부지역은 과수원 및 방풍림 등 나무가 많은 지역으로서 함수량이 높아 대지 저항률이 비교적 낮다. 서귀포 지역의 일부는 200 [Ω·m]의 다양한 대지 저항 값을 나타내기도 한다. 북부지역은 제주시, 조천읍 지역으로 바다와 접한 좁은 평야, 점토 및 자갈밭이 발달되어 있고, 보편적으로 100 ~ 300 [Ω·m], 자갈밭인 경우 200 ~ 700 [Ω·m]의 대지 저항값을 보이며, 전반적으로 대지 고유 저항 값이 낮으나, 지질이 복잡한 구조이다.

제주대학교 중앙도서관

3) 다층구조의 대지 저항률

접지 전극을 설치하였을 때 접지 저항이 형성되는 구역의 대지 구조는 매우 복잡하고 다양하여, 여러 개의 지층구조로 되어있다. 각각의 대지 고유 저항에 대한 접지 저항값을 계산하기에는 매우 어렵고, 이들 모두를 등가화한 접지 저항률인 평균대지 저항률이 필요하다.

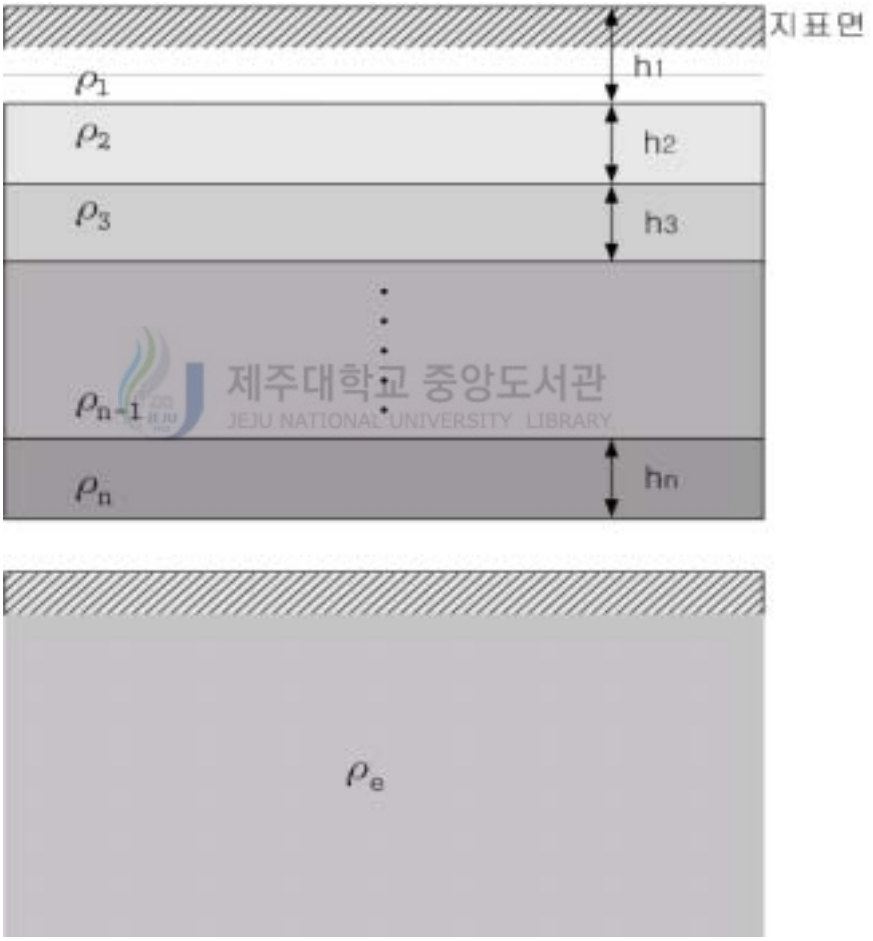
Fig. 1은 다층구조의 대지 모형도이며, ρ는 각 층의 대지 저항률을, h는 각 층의 높이를 나타내고 있다.

Fig. 1의 다층구조에 대한 평균 대지 저항률은 식(1)과 같다.

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

여기서 $h_{n-1} = \sum_{i=1}^{n-1} h_i$

$$\rho_e = \frac{l}{\frac{h_1}{\rho_1} + \frac{l-h_1}{\rho_2}} \quad (2\text{개층 구조인 경우}) \tag{2}$$



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Fig. 1 Multi-layer structure of ground

2. 접지 저항

접지를 하고자 하는 기기 또는 설비로부터 접지도선과 접지 전극을 통해 대지로 흐르는 전류를 접지 전류라고 하며 임의의 저항값을 갖는 접지 전극에 접지 전류가 흐르면 대지 표면의 전위 상승이 일어난다. 일반적으로 임의의 크기와 성질을 가진 접지 전극에 전류 $I[A]$가 유입되어 전위가 $V[V]$만큼 상승하였다고 가정한다면 접지 저항 $R[\Omega]$은 옴의 법칙에 따라 접지 전극의 전위 상승값과 접지 전류의 비로 정의되며

$$R = \frac{V}{I} \ [\Omega] \tag{3}$$

로 표시된다.

식 (3)에서 나타내어지는 접지 저항을 통상적으로 직류 접지 저항 또는 저주파 교류 전류에 대한 접지 저항이라 말하며, 정상 접지 저항이라고도 한다. 이 접지 저항을 얼마만큼 설정하여 유지하느냐에 따라 전력계통의 안정과 각종 보호시스템의 동작확보, 사고 예방 및 양질의 전력 공급이 가능할 것이다.

제주대학교 중앙도서관

1) 접지 저항의 계산

접지 전극의 저항값을 산정하기 위하여 전극의 종류별로 구분하여 살펴보아야 하며 대표적인 경우로서 반구형 접지 전극, 구형 접지 전극, 봉형 접지 전극, 회전 타원체 접지 전극을 들 수 있다. 반구형 접지 전극은 반지름 a인 반구형 접지 전극이 토양의 대지 저항률이 균일한 대지의 지표면에 평행하게 매설되어 접지전류가 방사상의 방향으로 흐르고 있는 경우를 고려하여 접지 전극과 접지 도체의 저항을 무시한 대지 저항률과 접지 전극의 크기에 의해서만 결정되는 접지 전극을 산출하는 것이다. 접지 전극에 유입된 접지 전류가 균등하게 방사상의 방향으로 동심구의 하반구 표면적을 통하여 대지로 흐르는 것으로 생각하면 대지 저항률이 ρ일 때 접지 전극의 중심으로부터 $x[m]$만큼 떨어진 점의 등전위면과 두께

dx 부분의 등전위면 사이의 토양 저항 dR은

$$dR = \rho \frac{dx}{2\pi x^2} \tag{4}$$

가 된다.

접지 전극의 표면 즉, 접지 전극의 반경 a에서부터 무한히 먼 점까지의 거리에 대해서 적분하면,

$$R = \int_a^{\infty} \frac{\rho dx}{2\pi x^2} = \frac{\rho}{2\pi a} \tag{5}$$

이며, Fig. 2은 반구형 접지 전극을 사용할 경우의 접지 전극의 크기가 변화함에 따라 저항값이 변화하는 것을 나타내고 있다.

반구형 접지 전극 모델을 Fig. 3에 표시하였으며, 반지름 a인 구형 접지 전극에 유입된 접지 전류가 균등하게 방사상의 모든 방향으로 동심구의 표면적을 통하여 대지로 흐른다고 보면, 구형 접지 전극의 표면적은 반구형 접지 전극 2개를 겹쳐 놓은 상태가 되어 반구형 접지 전극 표면적의 2배가 된다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

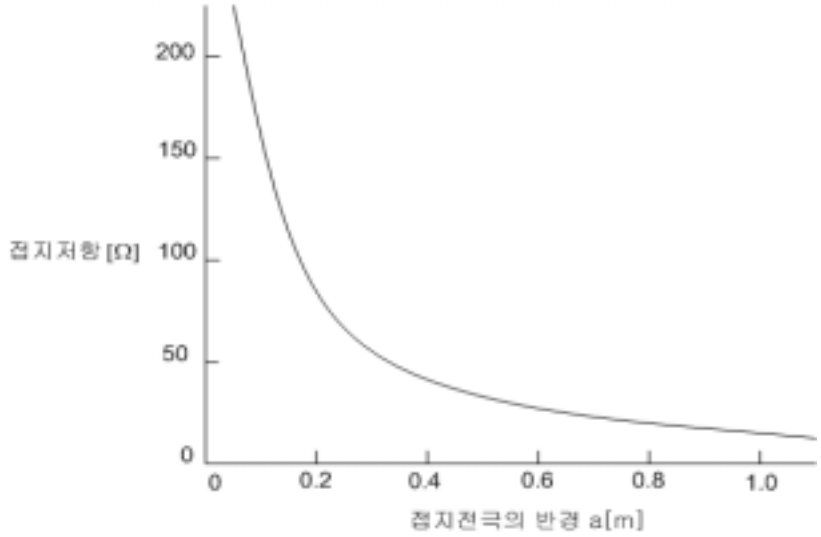
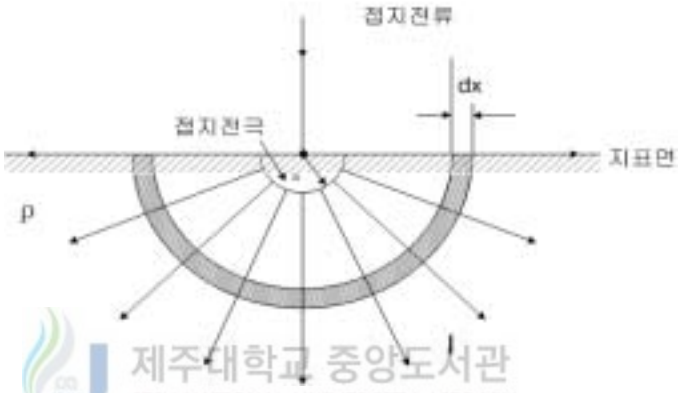


Fig. 2 Ground resistance according to hemisphere size

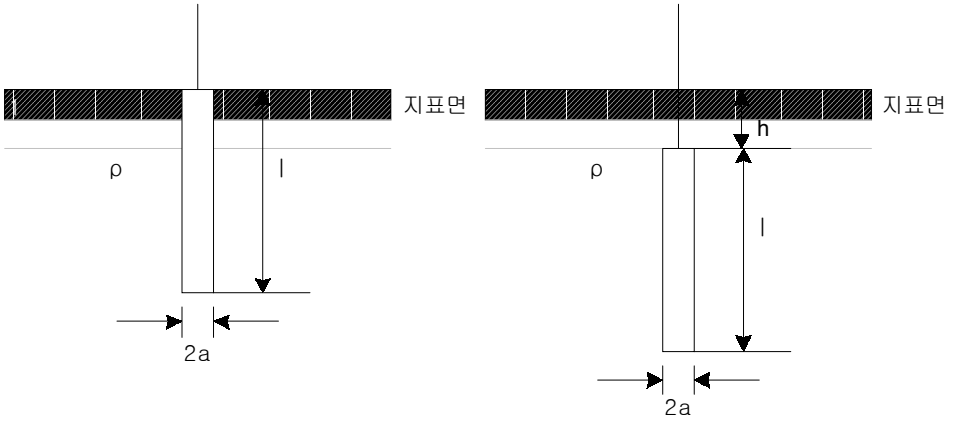
즉, 동일한 대지에 반구형 접지 전극이 지표면에 평행하게 매설되고 구형 접지 전극이 무한 깊이에 매설되었다고 하면 구형 접지 전극의 표면적 즉, 토양과 접촉하고 있는 면적이 2배이므로 접지 저항은 $1/2$ 배가 된다.

봉형 접지 전극의 매설 형태를 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 4(a)의 접지 전극의 상단부가 대지 표면에 평행하게 매설된 경우의 접지 저항은 식 (8)로 구할 수 있다.



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Fig. 3 Model of hemisphere electrode



(a) 접지전극의 상단부가 대지표면에 평행하게 매설된경우

(b) 접지전극이 지표면으로부터 h 만큼의 깊이에 매설된 경우

Fig. 4 Lay type of rod electrode

$$R = \frac{\rho}{2\pi l}\ln\frac{2l}{\mathrm{a}} \tag{8}$$

기술기준이나 내선규정 등에서 보면 접지 전극은 지표면하 75[㎝] 이상의 깊이에 시설토록 하고 있으므로 Fig. 4(b)와 같이 지표면으로부터 어느 정도의 깊이에 매설하는 것이 보통이다. 동봉의 반경을 a, 길이를 l이라 하고 (a<< l) 대지 저항률이 ρ인 토양에 h 길이에 매설되었다고 가정할 때의 접지저항 R은,

$$R = \frac{\rho}{2\pi l}(\ln\frac{4l}{\mathrm{a}} - 1) \tag{9}$$

로 구할 수도 있다.

식 (9)에 나타난 봉형 접지 전극에 대한 접지 저항을 산출하는 계산식이 IEEE std.를 비롯하여 가장 많이 적용되고 있다.

제주대학교 중앙도서관

회전 타원체 접지 전극에서의 접지 저항 산정은 회전 타원체의 전극계를 축대칭과 비대칭의 전극으로 나누면 축대칭의 전극에는 회전 타원체가 있고 이는 편평과 편장으로 나누어진다. 타원의 짧은 지름을 축으로 하여 회전하는 입체를 편평 회전 타원체라 하고, 긴 지름을 축으로 하여 회전하여 얻어지는 입체를 편장 회전 타원체라 한다. Fig. 5에 이들 회전 타원체의 모형을 나타내었고, 접지 저항 산출식을 Table 3에 나타내었다.

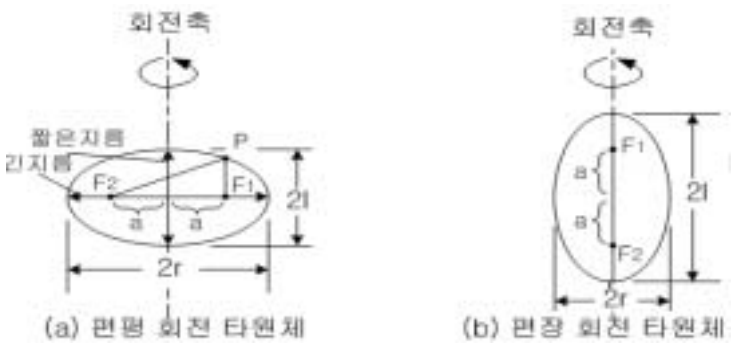
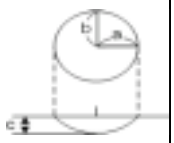
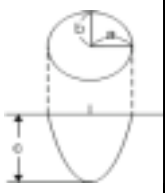
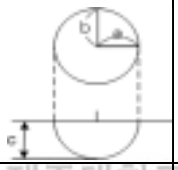
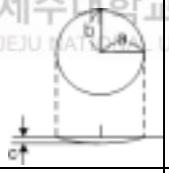
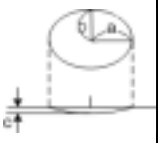
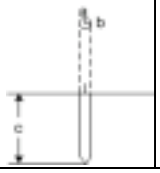


Fig. 5 Ellipsoid electrode

Table 3 Ground resistance formular of electrode

전극형상 (a, b, c의 대소관계)	접지 저항 산정식
편평 회전 타원체 a=b>c 	$R=\frac{\rho}{2\pi r}\sin^{-1}K$ $K=\sqrt{1-(\frac{l}{r})^2}$ 반지름 a =r , 길이 c = ℓ
편평 회전 타원체 a=b<c 	$R=\frac{\rho}{4\pi lT}\ln\frac{1+T}{1-T}$ $T=\sqrt{1-(\frac{r}{l})^2}$ 반지름 a = r , 길이 c = ℓ
반 구 a=b=c 	$R=\frac{\rho}{2\pi r}$ 반지름 a = r
원 판 a=b>>c 	$R=\frac{\rho}{4r}$ 반지름 a = r
타원판 a≠b>>c 	$R=\frac{\rho}{2\pi a}\int_0^{\frac{\pi}{2}}\frac{d\phi}{\sqrt{1-k^2\sin^2\phi}}$ $k=\sqrt{1-(\frac{b}{a})^2}$ 장축 = a, 단축 = b
봉 상 a=b<<c 	$R=\frac{\rho}{2\pi l}\ln\frac{2l}{r}$ 반지름 a = r , 길이 c = ℓ

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

2) 접지 저감제

접지 전극을 시설한 장소에서 필요로 하는 접지 저항을 얻기가 어려운 경우가 많다. 충분한 수량의 전극을 직렬 또는 병렬로 연결하여 시설한다고 하여도 목적하는 저항값을 얻지 못한다고 한다면 대지 저항률을 고려해 보아야 한다. 즉, 대지 저항률을 변화시킬 필요가 있는 것이다. 접지 전극을 시설하는 장소에 토양의 화학적 변화를 일으켜 대지 저항률을 변화시키고, 변화한 대지 저항률에 의하여 목적으로 하는 접지 저항을 얻는 것이다. 이러한 토양의 대지 저항률을 변화시키기 위하여 접지 저감제를 사용하는데 저항률은 일반적으로 0.1에서 0.05[Ω·m]가 널리 사용된다. Fig. 6은 접지 전극에 저감제를 사용할 경우의 접지 전극의 변화하는 모습을 나타내고 있는데, 반구형 접지 전극을 설치하고 경계의 반지름을 r_2, 내부 층의 저항률을 ρ_1으로 하고, 외부 층은 무한 원점까지 계속되고, 그 저항률을 ρ_2라 하자. r_3은 접지 전극의 반경 r_1에서부터 r_2까지는 저감제로 화학 처리한 부분이다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

이때 접지 전극의 접지 저항 R_1은 전극 표면 r_1에서 무한 원점까지의 합성 저항으로써, 식 (10)으로 나타낼 수 있다.

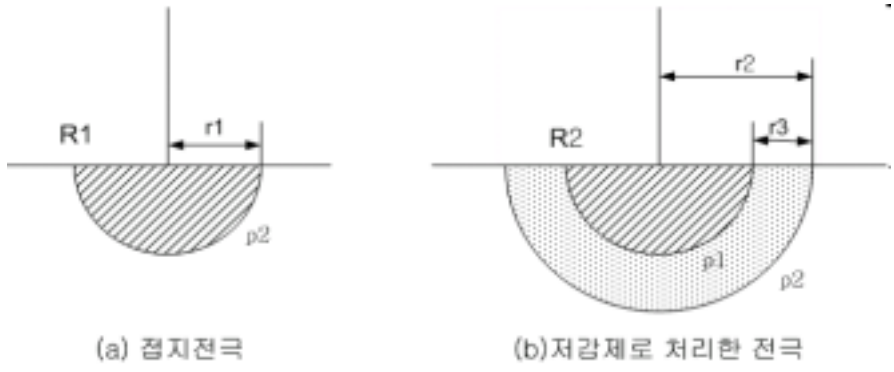


Fig. 6 Resistance reducer model

$$R_1 = \int_{r1}^{\infty} \frac{\rho_2}{2\pi x^2} dx = \frac{\rho_2}{2\pi r_1} \ [\Omega] \tag{10}$$

저감제를 사용한 전극의 접지 저항 R_2는 전극 표면 r_1에서 r_2까지의 저항과 r_2에서 무한 원점까지의 저항의 직렬로 생각되므로,

$$R_2 = \int_{r1}^{r2} \frac{\rho_1}{2\pi x^2} dx + \int_{r2}^{\infty} \frac{\rho_2}{2\pi x^2} dx = \frac{\rho_1}{2\pi}\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) + \frac{\rho_2}{2\pi r_2} \tag{11}$$

$$= \frac{\rho_1 r_2 + (\rho_2 - \rho_1) r_1}{2\pi r_1 r_2} \ [\Omega] \tag{12}$$

여기서 R_1과 R_2의 비를 계산해 보면,

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{r_1}{r_2} + \frac{\rho_1}{\rho_2}\left(1 - \frac{r_2}{r_1}\right) \tag{13}$$

가 되고

$\rho_2 \gg \rho_1$ 이라면

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{r_1}{r_2} \quad \text{즉, } R_2 = \frac{r_1}{r_2} \times R_1 = \frac{\rho_2}{2\pi r_2} \tag{14}$$

이 된다.

따라서 저감제를 사용하면 접지 전극 주변의 대지 저항률 ρ_1을 주위의 대지 저항률 ρ_2에 비하여 매우 낮게 되며 이는 접지 전극의 반경이 팽창된다는 것을 의

미한다.

접지 저감제는 도포 방법에 따라 저감효과가 다르게 나타나며, Fig. 7에 2가지의 저감제 시공 형태를 표시하였다.

Fig. 7에서 전극 반지름 r, 길이 l일 때 접지 전극의 부피(=$4\pi r^2 l/3$)가 일정하다고 가정하는 경우 전극의 반경과 길이를 1[m]로 한다면 부피는 $\nu = \frac{4}{3}\pi$ [㎥]가 되므로 똑같은 부피의 편평상 전극 (r=5, l=0.04[m])과 편장상 전극(r=0.05, l=4[m])의 경우에 대한 r과 l을 접지 저항 계산식에 대입하여 비교한 결과를 Fig. 8에 표시하였다.

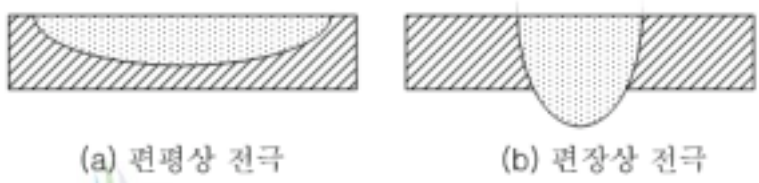


Fig. 7 Construction of resistance reducer

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

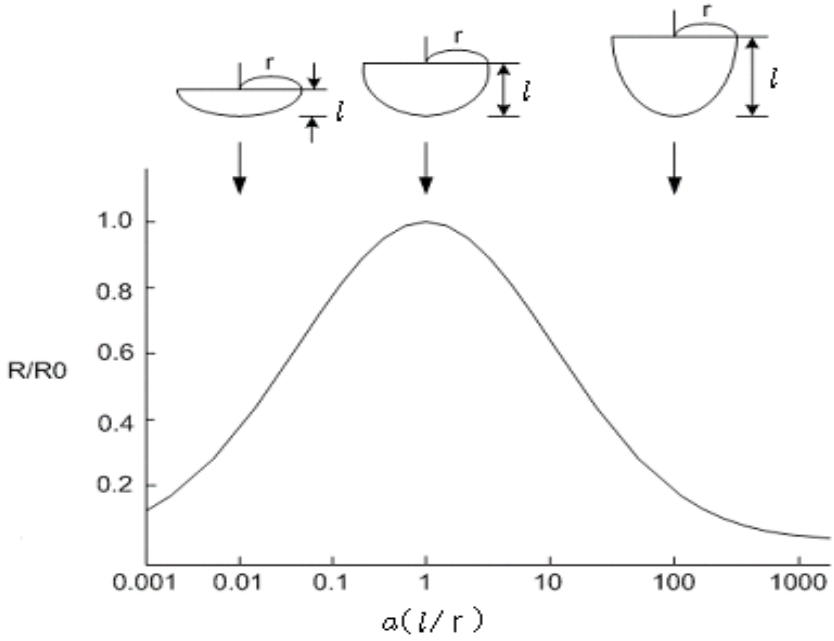


Fig. 8 Electrode shape and ground resistance

Fig. 8의 가로축 ($a = \frac{l}{r}$)은 $a = l$ 이 반구, $a < l$ 이 편평, $a > l$ 이 편장의 전극을 나타내며 세로축은 반구상 접지 저항 R_0와 회전 타원체의 접지 저항 R의 비를 나타내고 있다.

Fig. 8에서 보는 바와 같이 부피가 일정하다면 저감제의 사용량도 같다고 볼 수 있으므로 접지 저항은 반구상이 가장 크고, 편평, 편장이 됨에 따라 작아진다. 또한 편평과 편장의 접지 저항을 비교하여 보면 편장쪽이 더 작아지므로 저감제의 시공은 편평형 보다는 편장형으로 하는 것이 보다 유리한 시공법이라고 할 수 있다.

3. 접지 전극의 등가 반경과 코어링 접지

여러 가지 형태의 접지 전극을 볼 때 동일한 장소, 시간 등과 같은 조건속에서 측정한 저항값이 서로 같다고 한다면 동일한 크기의 접지 전극으로 생각할 수 있고, 반구형 접지 전극과 코어링 접지 전극도 마찬가지로 동일 조건에서 같은 저항값을 나타낸다면 등가화 시킬 수 있을 것이다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

접지 전극의 형상에 따라 접지 저항을 해석적으로 산출하는 계산식은 다르며, 동일한 접지 전극에 대해서도 제안자에 따라서 조금은 다르다. 특히 동일한 형상의 접지 전극을 여러 개 배치한 경우의 합성 접지 저항이나 임의 형상의 접지 전극인 경우 접지 저항의 이론적 산출은 대단히 복잡하고 어렵다. 따라서 접지 전극을 여러 개 배치한 경우 또는 임의 형상의 접지 전극의 경우를 반구형 접지 전극으로 치환하여 근사적으로 접지 저항을 산출하면 편리하게 된다.

1) 접지 전극의 등가 반경

임의의 형상인 접지 전극과 동일한 접지 저항을 나타내는 반구형 접지 전극의 반경을 등가 반경(equivalent radius)이라고 한다. 망상 접지 전극, 봉형 접지 전극, 구조체 접지에 대해 등가 반경의 개념을 적용하여 접지 저항을 산출하는 경우

가 많이 있다.

단일의 지층 구조의 대지에 매설된 봉형 접지 전극의 접지 저항은 대지 저항률 ρ, 봉형 접지 전극의 반경과 길이가 각각 r_1, l인 경우

$$R = \frac{\rho}{2\pi l} \ln \frac{2l}{r_1} \tag{15}$$

이다. 그리고 동일한 위치에 반경 r_2인 반구형 접지 전극을 매설하였다면 접지 저항은

$$R = \frac{\rho}{2\pi r_2} \tag{16}$$

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

이다. 봉형 접지 전극의 접지 저항과 반구형 접지 전극의 접지 저항이 같게 되는 반구형 접지 전극의 반경 즉, 봉형 접지 전극의 등가 반경 r_2는

$$r_2 = \frac{l}{\ln \frac{2l}{r_1}} \tag{17}$$

이다.

2) 코어링 접지 전극

코어링 접지방식은 굴착기를 이용하여 직경 130[㎜]의 구멍을 지표면으로부터 대략 30[m]의 깊이까지 굴착한 후 접지선과 직경 50[㎜]의 동관을 접지 전극으로 하여 시설한 후 산어스, 벤토나이트 등의 저감제를 살포하여 접지 저항을 얻는 것으로써 동봉으로 충분한 접지 저항을 얻기 어려운 지역에 사용하는 방식이다.

코어링 접지는 깊은 깊이까지 굴착되므로 대표적인 접지 전극 중 편장상 전극

으로 볼 수 있으며 또한 등가반경 계산 시 반구가 아닌 완전한 구의 형태를 가진 전극으로 등가화 할 수 있다.

편장 회전 타원체와 완전한 구의 접지 저항 계산식으로부터 등가 반경 r을 구하면 식 (20)과 같다.

$$R = \frac{\rho_1}{2\pi T}\ln\frac{1+T}{1-T} = \frac{\rho}{4\pi r} \tag{18}$$

$$T = \sqrt{1-(\frac{r}{l})^2} \tag{19}$$

$$r = \frac{lt}{\ln\frac{1+T}{1-T}} \tag{20}$$

제주대학교 중앙도서관

코어링 접지는 충분한 저항값을 얻기 위하여 저감제를 사용하므로 저감제의 사용량과 등가 반경과의 관계를 살펴 볼 필요가 있다.

접지 전극으로 사용되는 전극의 높이에 해당되는 깊이의 굴착된 구멍의 체적까지만 저감제가 사용된다면 접지전극의 등가 반경은 식 (20)로 표현되지만 실제로는 굴착된 구멍의 토양이 사력층이거나 심지어 허공인 경우가 종종 나타나 저감제는 여러 방향의 빈 공간으로 번져나가거나 사력층으로 흡수되므로 실제 살포된 저감제의 양에 따른 등가 반경의 변화를 고려하여야 한다.

살포되는 저감제의 양에 따라 변화되는 등가 반경 r'은 식 (21)으로 표현된다.

$$r' = kr \tag{21}$$

k는 저감제의 살포량에 대한 계수로써 저감제의 살포량으로 계산이 가능하다.

Ⅲ. 사례연구

대지 저항률이 높은 고저항 지대에서의 접지공사는 동봉을 아무리 많이 사용하여도 원하는 저항값을 얻지 못하므로 주로 코어링 접지방식을 이용하고 있다. 그러나 현장에서는 어느 정도의 접지 저항이 나오는지에 대한 구체적인 근거나 자료 없이 무조건적으로 굴착하여 접지 저항을 측정하고, 원하는 값을 얻을 때까지 계속 굴착을 하게 된다. 따라서 코어링 접지를 효율적으로 이용하기 위해 이미 시공되어 측정된 접지 저항값을 근거로 각 토양의 저항률을 추정한 후 공사를 시행하려는 지역에 대한 접지 저항치를 예상하여 코어링 접지공사의 가이드라인을 제시하고자 한다.

1. 봉상전극을 이용한 접지

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

전력시설물의 사용전 검사에서 불합격 요인 중에 가장 많은 부분을 차지하는 원인을 살펴보면 접지 저항값이 규정치 이상임을 알 수 있다. 시공자들은 별다른 대책도 강구하지 않은 채 설계 도면만을 믿고 무작정 동봉을 타설하고 있고, 이로 인하여 목적 저항값을 얻지 못하고 있다, 고저항 지대에서 수십 내지 수백 개의 동봉을 타설하고도 원하는 접지 저항값을 얻지 못하는 것은 당연할 것이다.

현장 여건을 파악하기 위하여 봉상 접지 전극을 타설하여 접지 저항을 계산한 결과를 Table 4에 수록하였다. 여기서, 접지용 동봉과 저감제를 이용하여 대지 저항률이 200[Ω·m]과 300[Ω·m]인 지역의 접지 저항값을 계산한 것으로서, 동봉은 직경 0.014[m], 길이 1.0[m] 및 2.0[m]이고, 동봉 1개와 병렬연결, 또는 동봉 2개 직렬과 병렬연결 시에도 일정한 값 이하에서는 더 많은 동봉을 타설하여도 접지 저항값이 변하지 않음을 알 수 있다.

Table 4 Resistance of rod electrode

동봉수량 (φ14, 1000㎜)	대지고유저항[Ω·m]		동봉수량 (φ14, 2000㎜)	대지고유저항[Ω·m]	
	200	300		200	300
1	126	189	1	70	106
2	75	113	2	42	63
3	56	85	3	31	47
4	46	70	4	26	39
5	41	61	5	23	34
6	37	55	6	20	31
7	34	51	7	19	28
8	32	48	8	18	27
9	30	46	9	17	26
10	29	44	10	16	25
15	26	40	15	16	22
20	25	38	20	14	21
25	25	38	25	14	21
30	25	37	30	14	21
40	25	37	40	14	21
50	25	37	50	14	21
90	25	37	90	14	21
100	25	37	100	14	21

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

2. 코어링 접지

봉상 전극을 이용하여 원하는 접지 저항을 얻지 못하는 고저항 지역에서는 코어링 공법을 이용하여 접지공사를 시행하고 있다. Fig. 9에 코어링 접지 방식의 전극 모양을 나타내었다.

코어링 접지는 동관을 접지 전극으로 하여 동관의 높이까지 저감제를 살포하고 나머지 부분은 흙으로 되메우는 방법으로서 저감제로 인해 등가 반경이 확장되는 효과가 나타나게 된다. 고저항 지대나 도심가 등에서 시행하고 있는 코어링 접지 공사는 접지시설 면적이 비교적 좁은 도심가나 빌딩가 등에서 좁은 면적을 이용하여 낮은 저항값을 얻을 수 있고, 또한 대지 고유 저항이 높은 지역에서는 접지 전극을 지하 깊숙이 시설함으로써 낮은 저항 값은 물론 여러 가지 재해의 위험에서 벗어날 수 있으며 접지 시설물을 거의 영구적으로 이용할 수 있는 등의 여러 가지 이득이 있기 때문에 최근 그 사용 빈도가 높아가고 있다. 코어링 접지공사의 시공 상황을 Fig. 10에 나타내었다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

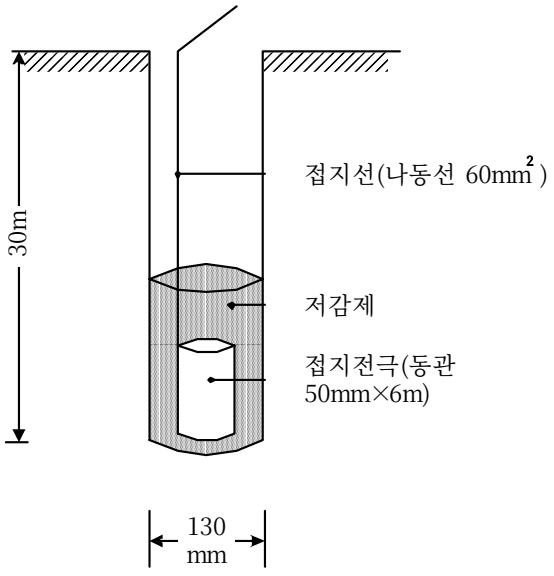


Fig. 9 Electrode of coring grounding construction

Fig. 10 Photography of coring grounding construction

Table 5는 지역별로 코어링 접지를 이용하여 측정한 접지저항을 표시한 것으로서 지질구조가 대부분 암반과 사력층으로 구성되며 흙은 일부분만 지표층에 존재하여 접지저항이 크게 나타나고 있다.

제주 토양의 특징을 흙, 경암·연암·풍화암 종류의 암반, 송이 또는 사력층으로 구분하였는데 측정한 저항값에서 대지 고유 저항값을 추정하여 Table 5에 나타내었다. Table 5는 측정 장소마다의 지질구조에 따른 저항 값을 나타내고 있고, 제주 동부지역에서의 코어링을 이용한 접지저항을 측정한 값으로써 암반, 사력층이 발달한 고저항 지대에서의 접지 저항값은 행원지역이 성산지역에 비하여 높은 값을 나타내고 있다.

코어링 접지를 이용한 접지공사는 코어 관경이 130[㎜], 접지 전극으로는 길이 6[m], 직경 50[㎜]인 동관, 접지 저감제 10[㎏]을 평균 30포대 겔화하여 사용하고 있다. 접지 저감제의 부피는 126포대가 투입되는 경우 1[㎥]에 해당하므로 코어링 1공에 30포대가 포설되는 경우

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

$$30 : 126 = x : 1$$

에서 30포대에 해당하는 부피 x는

$$x = 0.238\ [\text{㎥}]$$

임을 알 수 있다.

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

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

$$\alpha = 2.9988472 \fallingdotseq 3$$

여기서, α는 저감제에 의한 높이 변환계수이다.

Table 5 Geological structure and measurement resistance of core

공 번	심타깊이 [m]	지질구조	측정저항 [Ω]
성산 - 1	30	0-6 흙, 6-20 송이, 20-21 점토, 21-22 암반, 22-25 송이, 25-30 암반	26
성산 - 2	30	0-6 흙, 6-12 송이, 12-30 암반	28
성산 - 3	34	0-5 암반, 5-15 송이, 15-21 암반, 21-24 송이, 24-34 암반	38
성산 - 4	30	0-11 암반, 11-24 송이, 24-30 암반	45
성산 - 5	40	0-2 흙, 2-27 암반, 27-28 송이, 28-40 암반	40
성산 - 6	30	0-6 흙, 6-26 암반, 26-28 송이, 28-30 암반	32
북촌 - 1	30	0-15 암반,15-30 송이	40
북촌 - 2	15	0-15 암반	52
교래 - 1	15	0-15 송이	58
교래 - 2	17	0-15 암반, 15-17 흙	57
대흘 - 1	11	0-3 송이, 3-9 암반, 9-11 흙	35
행원 - 1	30	0-1 흙, 1-30 송이	66
행원 - 2	32	0-4 암반, 4-28 송이, 28-32 암반	60
행원 - 3	33	0-6 암반, 6-33 송이	50
행원 - 4	27	0-5 암반, 5-20 송이, 20-27 암반	40
행원 - 5	28	0-2 암반, 2-20 송이, 20-24 암반, 24-28 송이	52
행원 - 6	30	0-4 암반, 4-30 송이	63
행원 - 7	33	0-1 흙, 1-15 송이, 15-33 암반	60
행원 - 8	35	0-1흙, 1-20 송이, 20-35 암반	43

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

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

코어링 접지방식의 편심률은 Table 3으로 부터

$$T=\sqrt{1-(\frac{0.065}{3\times6})^{2}}=0.9999$$

임을 알 수 있다. 편심률과 코어링 접지의 등가 반경 식 (19)로부터 저감제에 의한 등가 반경 r은

$$r = 3\times\frac{6\times0.9999}{\ln\frac{1+0.9999}{1-0.9999}} = 1.81174\ [m]$$

이다.

제주대학교 중앙도서관

제주도의 지층구조가 여러 형태의 다층구조이므로 다층구조의 평균 대지 고유저항을 이용하고, 또한 반구형 접지전극과 코어링 접지 전극의 접지 저항으로 등가반경 개념을 이용하여 대지 고유 저항값을 계산하여 Table 6에 나타내었다. 여름철 또는 습한 경우에는 비교적 낮은 값을, 겨울철과 같이 건조하고 추운 경우에는 비교적 높은 값을 적용하는 것이 정확한 접지 저항 계산에 적합할 것으로 판단되어 지고, 대지 고유 저항값들의 중간값을 대표값으로 정하여 등가 반경 r과 Table 6의 값을 이용하여 계산한 접지 저항값을 Table 7에 나타내었다. Table 7은 제주지역의 대지 고유 저항에 의한 저항값의 변화와 실제 측정값과의 비교를 나타내고 있다. Table 7에서 보는 바와 같이 어느 정도의 측정오차를 감안하면 대지 고유 저항값이 적절함을 알 수 있다. 다만, 주변 환경과 측정시의 여러 가지 여건을 다소 고려해야할 필요가 있다고 판단되어지며, 또한 코어링 접지 시공시 저감제의 사용량 증가와 접지 전극으로 사용하는 동관에 홈을 이용한다면 저항값은 더욱 저감될 수 있다고 사료된다.

Table 6 Ground resistivity in Jeju

토질의 구분	대지 고유 저항률[Ω·m]	대표값[Ω·m]
흙, 점토	200 - 500	300
암반(풍화암, 연암, 경암)	800 - 1,300	1,100
사력(송이)	900 - 1,800	1,300
흙섞인 송이	300 - 600	400
메운 흙	300 - 600	400

제주지역의 대지 고유 저항 값들의 대표값에 의한 저항과 이때의 평균 대지 저항률을 Table 7에 나타내었다. Table 7에서 대표 값에 의한 저항 값들을 계산하여 이들의 오차를 평균하였더니 약 15.6% 정도이며, 이는 측정시의 오차와 측정자의 오차들로 현장에서의 오차 범위 내에 포함할 수 있는 수치이다. 성산 - 3과 북촌 - 1처럼 계산 값이 측정값 보다 작은 것은 시공당시 저감제를 추가로 포설하였으며, 반대로 교래 - 2와 행원 - 1번, 7번과 같이 계산 값이 측정값 보다 작은 것은 저감제를 적게 포설하였기 때문이다.

제주도 지질 주상도 자료집을 인용하여 제주도의 중산간 지역을 중심으로 코어링 접지방식으로 접지를 시공할 경우의 예상되는 저항값을 Table 8에 표시하였고, 이를 참고로 하면 제주도의 고저항 지대 또는 중산간 지대의 접지 저항값을 얻는데 참고할 수 있으리라 믿는다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Table 7 Comparison of estimated and measured value

공 번	측정저항[Ω]	대표값에 의한 저항[Ω]	평균 대지저항률[Ω.m]
성산 - 1	26	31	594
성산 - 2	28	32	639
성산 - 3	38	51	868
성산 - 4	45	51	1,028
성산 - 5	40	42	914
성산 - 6	32	31	731
북촌 - 1	40	52	914
북촌 - 2	52	48	1,186
교래 - 1	58	56	1,325
교래 - 2	57	36	1,302
대흘 - 1	35	33	799
행원 - 1	66	51	1,507
행원 - 2	60	54	1,370
행원 - 3	50	55	1,142
행원 - 4	40	52	914
행원 - 5	52	54	1,186
행원 - 6	63	55	1,439
행원 - 7	60	47	1,370
행원 - 8	43	48	982

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Table 8 Expected ground resistance

공번	깊이 [m]	표고 [m]	지질구조	위치	예상접지저항 [Ω]
F-109	30	265	0-2흙, 2-20 사력 20-30 암반	제주시 용강동	39.80
F-134	35	245	0-2사력, 2-27암반, 27-35사력	한림읍 금악리	45.98
F-268	29	365	0-1흙, 1-29암반	조천읍 선흘2리	40.50
F-273	30	103	0-12흙, 12-30사력	성산읍 신산리	23.88
F-223	24	64	0-9흙, 9-24암반	서귀포시 도순동	23.35
F-322	44	132	0-1흙, 1-7사력, 7-12암반, 12-27사력, 27-35암반, 25-44사력	애월읍 남읍리	46.99
F-328	38	182	0-1흙, 1-12암반, 12-19사력, 19-29암반, 29-38사력	조천읍 선흘1리	44.25
F-379	32	252	0-4사력, 4-11암반, 11-15사력, 15-32암반	구좌읍 송당리	45.69

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

Ⅳ. 결 론

대지 저항률이 높은 암반, 사력층 지역에서의 접지 저항값은 일반적인 봉형 접지 전극으로는 얻기가 거의 불가능하다, 특히 대지 저항률이 1,000[Ω·m] 이상 되는 고저항 지대에서는 접지 저항을 더욱 얻기 어려우므로 충분한 저항값을 얻기 위해서는 접지 전극과 접지 저항 저감제를 충분하게 사용한 코어링 접지방식을 채택하여 시설하는 것이 적절하다고 판단되어지며, 접지 전극으로 동관을 사용하여 여기에 홈을 파고 저감제와 접촉면적을 증가 시킨다면 저감효과는 더 증가할 것으로 판단되어진다.

이 연구는 접지 저항값 계산에서의 등가 반경 개념을 도입하여 반구형 접지 전극과 코어링 접지 전극과의 관계를 정립하고, 제주지역과 같이 고저항 지대에서의 대지 저항률을 알 수 있음으로써 보편적인 동봉 접지 전극에서 얻기 어려운 저항값을 수십 미터의 코어링을 통하여 얻을 수 있었다. 또 접지 전극과 접지 저감제를 적절하게 사용하여 목적으로 하는 저항값을 얻을 수 있음을 말해주고 있다. 고저항 지대에서는 코어링을 통한 낮은 저항값으로 전력기기의 안전한 사용과 각종 사고의 위험에서부터 벗어나는 계기가 되었으면 하며, 또한 제주지역의 대지 고유 저항값을 참고로 하여 충분한 접지 저항을 얻어 각종 보호시스템의 동작 확보와 전기설비의 설계 및 시공, 유지보수에 기준으로 삼았으면 한다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

참고문헌

김정철, 2001, 현장실무를 위한 전기기술, 기다리

월간전기, 1994, 3, 접지저항

월간전기, 1994, 9, 접지저항 저감법

이복희, 이승칠, 2000, 접지의 핵심 기초기술, 의제

이종선, 1993, 현장의 접지 기술과 접지 시스템, 성안당

제주도 광역 수자원 관리본부, 2001, 제주도 지질 주상도 자료집

제주지역 22.9kV-y 승압공사 설계 및 시공내칙, 1991, 9, 한전제주지사

ANSI, 1986, IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding. IEEE

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

감사의 글

지난 2년 6개월 동안 제 논문이 결실을 맺기까지 물심양면으로 도와주시고 많은 지도편달을 주신 김세호 지도교수님께 진심으로 감사의 말씀을 드립니다. 또한 많은 가르침과 사랑을 주신 좌종근 교수님, 오성보 교수님, 김일환 교수님, 이개명 교수님, 그리고 김호찬 교수님께도 감사의 뜻을 전해 올립니다.

그리고, 본 논문의 연구에 여러 가지 자료와 많은 가르침을 주시고, 사랑과 격려를 보내주신 신원전기 고영수 사장님과 선강엔지니어링 이순형 사장님, 도암엔지니어링 오관준 사장님, 고려전력 김병택 사장님, 대웅전기 김영택 사장님, 한국전력기술인협회 김상종 제주지회장님을 비롯한 여러 임직원님들께도 깊은 감사의 말씀과 아울러 사업의 번창을 기원해 드립니다. 이외에도 여러 회사동료들과 양완국, 고승우, 강택근님을 비롯한 여러 학우 분들께도 깊은 감사를 드립니다.

결실을 맺기까지 많은 뒷바라지와 어려움을 같이 해가며 격려와 용기를 북돋아준 사랑하는 아내 오인실님과, 두 아들에게도 고마운 마음을 전하고 싶습니다. 그리고 작고하신 아버님과 연로하신 어머니께도 고마운 마음과 함께 이 논문을 드리고 싶습니다.

내일은 또다시 새로운 일을 찾아 시작하렵니다.

감사합니다.

제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY