

# 대지 저항률이 접지 특성에 미치는 영향

(Effects of Soil Resistivity on the Grounding Characteristics)

정연하\* · 장태준 · 곽희로 · 노영수 · 최충석

(Yeon-Ha Jung · Tae-Jun Jang · Hee-Ro Kwak · Young-Su Roh · Chung-Seog Choi)

## 요 약

본 논문에서는 전국 4개 도시에서 측정된 대지 저항률을 바탕으로 지층구조를 분석하고 접지시스템의 특성을 조사하였다. 그 결과 대지 저항률은 접지 저항 뿐만 아니라 안전과 직접 관련되는 지표면 전위, 접촉전압, 보폭전압에 영향을 미치는 것으로 밝혀졌다.

## Abstract

In this paper the earth structures of four cities are analysed on the basis of the measured soil resistivity and the characteristics of a grounding system is examined. As a result, it is revealed that the soil resistivity has an effect on touch voltage and step voltage, which are directly related to safety, as well as ground resistance.

Key Words : soil resistivity, grounding resistance, touch voltage, step voltage

## 1. 서 론

접지는 전기 설비를 대지에 전기적으로 접속하여 그 전위를 대지와 같게 하거나 또는 전위차를 최소화 시키는 것을 의미한다. 접지의 주 목적은 인체에 대한 감전으로부터 안전성의 확립과 기기 및 설비의 기능 향상이다. 그 외에도 사람이나 가축에 대한 감전의 방지와 전력 시설이나 정보·통신 설비, 건축물의 재해 방지, 전기 설비 회로의 특성 및 기능의 향상, 이상전압의 발생의 억제, 보호계전기의 동작확

보, 전로의 대지전압의 감소와 같은 접지효과에 의한 전기적 특성의 향상이나 대지 귀로로 이용하는 것 등이 있다[1][2].

전기 설비의 접지를 시공하는 경우 지표면 전위의 상승에 의한 인체의 감전위험성을 고려할 필요가 있다. 사실 지표면 전위와 관련된 안전에 대하여 국제 전기기술자 공학회(IEEE)는 기준 전위를 설정하고 있다. 한편 우리나라는 안전을 고려한 시공보다는 전기설비기준 제21조에 설정된 접지저항만 충족시키는 접지 시공을 하고 있다[3].

본 논문에서는 4 개의 도시에서 측정된 대지 저항률을 이용하여 접지와 관련된 감전위험성을 평가하였다. 우선 실측된 대지 저항률을 바탕으로 현장의 지층구조를 분석하였다. 그리고 봉 접지와 메쉬(mesh) 접지를 이용하여 접지 시스템을 모의하고 대

\* 주저자 : 숭실대학교 전기공학과 석사과정  
Tel : 02-826-5313, Fax : 02-817-7961  
E-mail : mywendy@ssu.ac.kr  
접수일자 : 2005년 4월 19일  
1차심사 : 2005년 4월 25일  
심사완료 : 2005년 5월 9일

지 저항률이 접지의 특성에 미치는 영향을 조사하였다.

## 2. 접지 시스템 모의 및 접지 특성 분석

접지 시스템의 모의 및 분석은 그림 1과 같이 수행되었다. 우선 현장의 대지 저항률 측정과 그 결과의 분석이 선행되어야 한다. 측정된 대지 저항률을 바탕으로 CDEGS(Current Distribution, Electromagnetic Interference, Grounding and Soil Structure, Canada)[4] 프로그램을 이용하여 지층구조를 분석하였다. 그리고 CDEGS를 이용하여 봉 접지와 메쉬 접지를 모의한 후 마지막 단계로 모의된 접지 시스템의 접지저항, 지표면 전위, 접촉전압, 보폭전압 등과 같은 특성과 대지 저항률의 상관관계를 조사하였다.

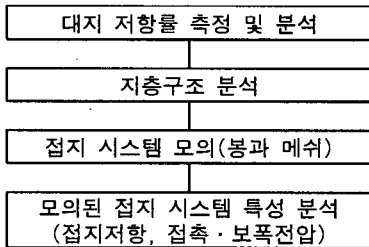


그림 1. 접지시스템 모의 및 특성분석 과정  
Fig. 1. Process for the simulation of a grounding system and the analysis of its characteristics

### 2.1 대지 저항률 측정 및 지층구조 분석

접지의 특성을 결정하는데 중요한 인자 중의 하나인 대지 저항률을 2003년 2~3월 사이에 3일 동안 비가 내리지 않는 경우에 a(수원), b(안산), c(대전), d(경주) 도시에서 IEEE 규정에 제시된 4점 웨너(Wenner) 전극법을 사용하여 측정하였다. 이 때 측정 면적은 48×48[m<sup>2</sup>]이고 가로와 세로 방향에서 측정되었다.

각 지역의 대지 저항률을 분석하기 위하여 CDEGS의 대지 저항률 측정 분석(RESAP; Resistivity Measurement analysis)모듈을 이용하였다.

이 프로그램은 토양 구조 각 층의 대지 저항률과 두께를 약간씩 바꾸어 실측값과 계산값이 가장 잘 일치하도록 반복하여 계산함으로써 식 (1)의 오차를 최소화하여 토양모델(각 층의 저항률과 두께)을 찾을 수 있다.

$$\min \sum_{i=1}^N \left( \frac{\rho_m(i) - \rho_c(i)}{\rho_m(i)} \right)^2 \quad (1)$$

여기서,  $\rho_m$ : 측정값,  $\rho_c$ : 계산값,  $N$ : 측정점 개수

표 1은 RESAP를 이용한 대지 저항률 분석 결과를 나타낸다. 표에서 볼 수 있듯이 지역 (a)와 (d)는 2층 구조, (b)와 (c)는 3층 구조임을 알 수 있다. 지역 (a)는 상부층이 매우 얇아 거의 단일 지층으로 볼 수 있고 지역 (b)와 (d)는 깊이가 깊어질수록 대지저항률이 높아지는 반면에 지역 (c)는 깊이가 깊어질수록 대지저항률에 낮아진다.

표 1. 각 지역의 대지 저항률 분석 결과  
Table 1. Analysis results of the soil resistivity of four cities

지역 \ Layer	Top		Middle		Bottom	
	[Ω · m]	두께[m]	[Ω · m]	두께[m]	[Ω · m]	두께[m]
a	53.42	0.16	-	-	200.30	infinite
b	152.36	3.31	10.65	1.15	836.40	infinite
c	203.64	1.20	1517.8	0.58	167.35	infinite
d	213.38	1.15	-	-	443.14	infinite

### 2.2 접지 시스템의 모의 및 특성

본 절에서는 국내 가장 일반적으로 시공되고 있는 봉접지와 메쉬 접지를 표 2와 같이 모의하였다.

표 2. 봉접지와 메쉬접지의 모의 조건  
Table 2. Simulation parameters for rod and mesh grounding

	봉접지	메쉬접지
접지봉	반경 0.007[m], 길이 1[m]	-
연결접지선	100[mm <sup>2</sup> ] 나동선	100[mm <sup>2</sup> ] 나동선
조건	1, 10, 20개 병렬	36, 144, 576메쉬
기타	봉간격 2[m]	면적 12×12[m <sup>2</sup> ]

## 대지 저항률이 접지 특성에 미치는 영향

### 2.2.1 접지저항

언급한 4개 도시에서 봉 및 메쉬 접지를 시공했을 때 접지 저항값을 비교분석하고자 CDEGS의 접지설계(MALT; Low Frequency Grounding) 모델을 사용하였다. 봉 접지를 모의한 후 1000[A]의 전류가 흐를 때 접지저항은 그림 2와 같다.

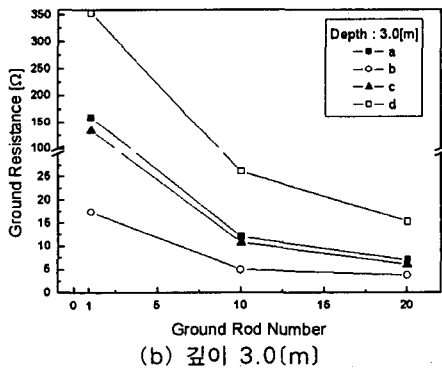
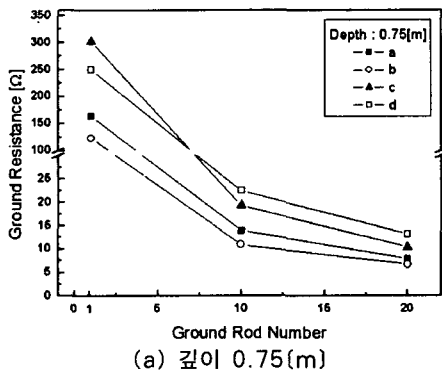


그림 2. 봉 개수에 따른 접지저항  
Fig. 2. Ground resistance as rod number changes

그림 2에서 볼 수 있듯이 지역 (a)는 매설 깊이 0.75[m]일 때, (b)는 3.0[m]일 때의 접지저항을 나타내고 1개 봉접지시보다 10개 이상 병렬로 접지를 모의했을 때 접지저항은 90[%]이상 작아졌다. 이것은 전기설비기준의 제3종 접지저항값인 100[Ω] 이하의 접지저항값을 만족하나 봉수가 10개 이상이면 접지저항의 변화는 크지 않아 경제성을 고려하는 것이 효율적이다.

각 도시별 깊이에 따른 접지저항은 지역 (a)는 상부층이 대지 저항률이 작아도 그 두께가 얇아 거의

하부층의 영향을 받기 때문에 변화가 없고 지역 (b)는 깊이 3.0[m] 위치가 중간층에 해당하며 대지 저항률이 상부층보다 작아서 접지저항이 현저히 감소한다. (c) 지역의 깊이 3.0[m] 위치는 하부층이고 대지 저항률이 상부층보다 작은 167.35[Ω · m]이기 때문에 접지저항이 깊이 0.75[m]일 때와 비교해 감소한다. (d)는 대지 저항률이 작은 상부층에 접지를 설계할 때 3.0[m]의 경우보다 접지저항이 작으나 봉이 10개 이상이 되면 깊이의 영향도 받아 접지저항이 크게 감소하지는 않는다.

메쉬수를 다르게 하여 접지시스템을 설계한 후 1000[A]를 흘려주었을 때 접지저항은 그림 3과 같았다.

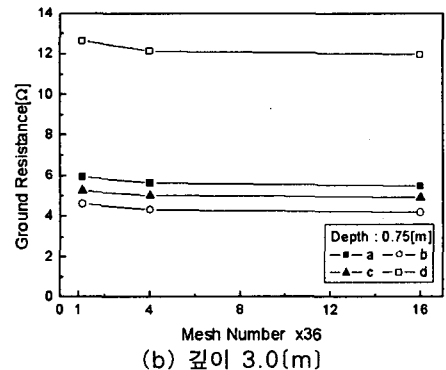
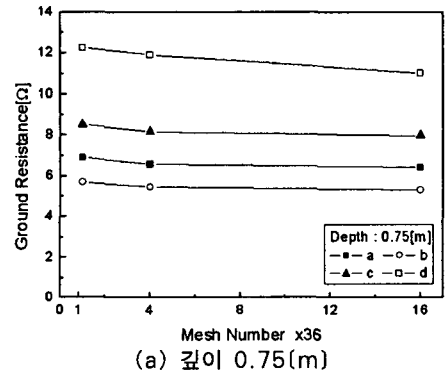
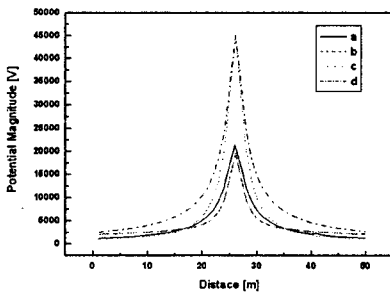


그림 3. 메쉬수에 따른 접지저항  
Fig. 3. Ground resistance as mesh number changes

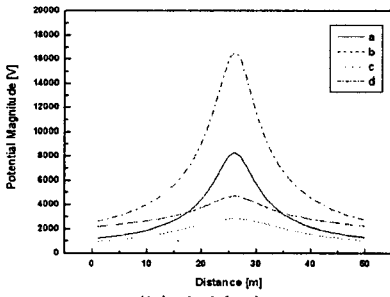
그림 3에서 볼 수 있듯이 전체적으로 봉접지보다는 메쉬 접지가 접지저항면에서 유리하다는 것을 알 수 있다. (d)를 제외하고는 매설 깊이가 깊을수록 접

지저항이 작게 나타났다. (c)의 경우는 깊이에 따라 3-4[Ω]정도의 차이를 보이지만 그 외 지역은 메쉬 수나 깊이에 관계하여 1[Ω] 내외의 근소한 차이만을 나타낸다. 경제적인 측면을 고려할 때 접지저항이 차가 거의 없다면 36메쉬가 경제적이라는 것을 알 수 있다.

### 2.2.2 지표면 전위



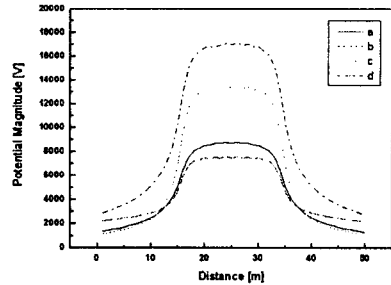
(a) 0.75(m)



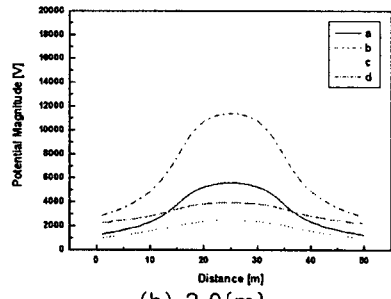
(b) 3.0(m)

그림 4. 봉 1개 접지 시 지표면 전위 분포  
Fig. 4. Ground potential distribution when a single rod is grounded

CDEGS를 이용한 모의에서 1000[A] 인가시 봉접지와 메쉬 접지 방식에 따른 지표면 전위는 그림 4, 그림 5, 그림 6과 같다. 지표면 전위는 1개 봉접지시 매설된 봉에서 직선으로 25[m]까지, 10개 봉접지시 병렬 봉 양끝에서 직선으로 15[m]까지, 메쉬 접지시 메쉬 양 모서리에서 12[m]까지를 나타낸다. 그림 4와 그림 5를 보면 봉접지시 대체적으로 0.75[m]일 때보다 3.0[m]일 때가 지표면 전위가 작게 나타나고 전

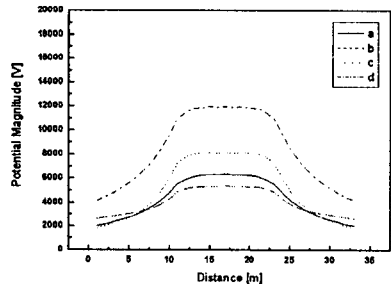


(a) 0.75(m)

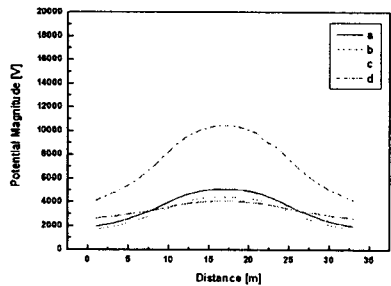


(b) 3.0(m)

그림 5. 봉 10개 병렬접지 시  
Fig. 5. Ground potential distribution when ten rods are grounded



(a) 0.75(m)



(b) 3.0(m)

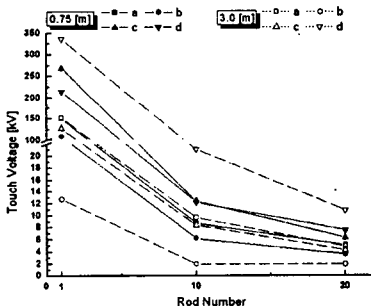
그림 6. 36 메쉬 접지 시  
Fig. 6. Ground potential distribution at 36 mesh

## 대지 저항률이 접지 특성에 미치는 영향

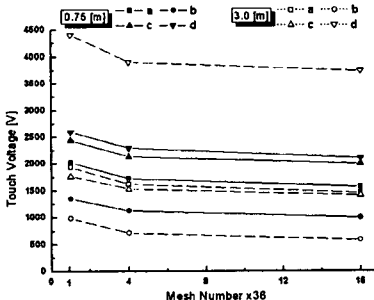
위 형태 또한 완만해지는 것을 볼 수 있다. 20개 병렬접지시는 그 크기가 차이가 날 뿐 그림 5(a)와 비슷한 경향을 나타낸다. 반면 그림 6에서 36 메쉬 접지시 지표면 전위 형태는 매설 깊이에 관계없이 완만하다. 144 메쉬와 576 메쉬는 36 메쉬시 지표면 전위와 비교해 거의 변화가 없다. 접지저항의 분석 때와 마찬가지로 매설 깊이의 영향도 받지만 전극이 매설된 지층의 대지 저항률이 작은 지역이 지표면 전위도 더 낮아지는 것을 확인할 수 있었다.

### 2.2.3 접촉전압

접촉전압은 그림 7과 같다. 본 논문에서는 IEEE Std. 80을 인용하여 1[m] 접촉전압을 충전부에서 1[m] 떨어진 점의 전압으로 정의하였다. 즉 봉에서 1[m] 떨어진 부분과 메쉬 접지시는 모서리에서 1[m] 떨어진 부분의 지표면 전위를 접지 도체의 전위에서 뺀 값이다[5].



(a) 봉접지시



(b) 메쉬 접지시

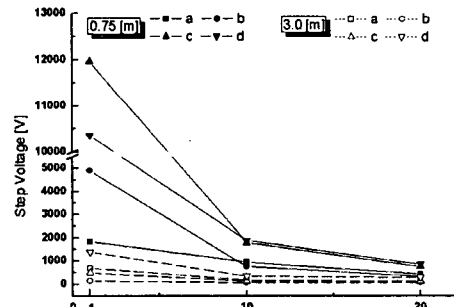
그림 7. 접지방식별 1[m] 접촉전압  
Fig. 7. 1[m] touch voltage by grounding method

그림 7에서 볼 수 있듯이 1[m] 접촉전압은 봉접지

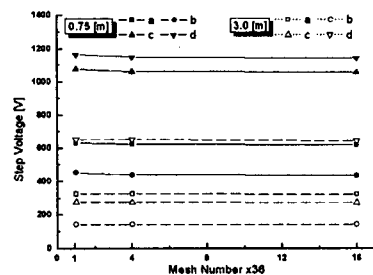
시 지역 (a)는 매설 깊이에 따라 변화가 없고 (b)와 (c)는 낮아진다. 이것은 봉이 매설된 3.0[m] 부분의 대지 저항률이 작기 때문이라 사료된다. 3.0[m] 부분 대지 저항률이 큰 지역 (d)는 접촉전압이 높다. 접촉전압은 매설 깊이보다는 접지극이 매설된 지층의 대지 저항률의 영향을 많이 받을 수 있다. 메쉬 접지시도 접촉전압의 크기만 봉접지시에 비해 1/15에서 1/80까지 낮아졌고 양상은 비슷하였다.

### 2.2.4 보폭전압

1[m] 보폭전압은 그림 8과 같이 나타난다. 조건은 앞 절의 접촉전압과 같고 여기서 1[m] 보폭전압이란 IEEE Std. 80를 인용하여 충전부에서 발이 1[m] 떨어지고 1[m]의 보폭을 두었을 때 나타나는 전압으로 정의하였다. 즉 충전부에서 1[m] 떨어진 부분의 지표면 전위에서 1[m] 보폭을 둔 부분의 지표면 전위를 뺀 값이다[5].



(a) 봉접지시



(b) 메쉬 접지시

그림 8. 접지방식별 1[m] 보폭전압  
Fig. 8. 1[m] step voltage by grounding method

그림 8에 나타난 1[m] 보폭전압을 보면 접지전극

이 매설된 지층의 대지 저항률의 영향을 받지만 크기만 볼 때 접촉전압보다 1개 봉 접지시를 제외하고 약 1/8배, 메쉬 접지시 약 1/3배로 작다. 이것은 감전 위험성을 판단할 때 접촉전압의 영향이 더 크다는 것을 나타낸다. 메쉬 접지시 보폭전압은 메쉬수의 증가에 따라 변화가 없다. 이로써 매설 깊이가 깊어질수록 보폭전압의 영향은 작아져 위험성도 낮아지는 것을 알 수 있었다.

### 3. 결 론

본 논문에서 실측된 대지 저항률로 지층구조를 분석하였다. 그리고 봉 접지와 메쉬 접지를 모의하여 그 특성을 CDEGS 프로그램을 이용하여 분석한 결과는 다음과 같이 요약된다.

첫째, 접지전극의 위치에서 대지 저항률이 작거나 봉 또는 메쉬 수가 증가하면 접지저항은 감소한다. 그러나 접지저항은 봉 20개 이상 또는 36메쉬 이상 증가한 후에는 변화가 거의 없다는 점에 주의해야 한다. 그리고 대지저항률이나 접지전극의 수에 의해 결정된 접지저항, 지표면 전위, 접촉전압, 보폭전압은 서로 비례적인 상관관계가 있다.

둘째, 지표면 전위, 접촉전압 그리고 보폭전압은 접지극의 매설 깊이와 대지 저항률의 영향을 크게 받는다. 그러나 접촉전압이 보폭전압 보다 3~8배 이상 크기 때문에 감전 위험성을 평가할 때 접촉전압을 더 고려해야 한다.

마지막으로 접지를 설계할 때 대지 저항률을 충분히 고려하고 접지저항, 지표면 전위, 접촉전압, 보폭전압 등 안전에 관련된 요소들을 평가한 후 최적의 접지방식을 채택하여 시공한다면 안전성면이나 경제성면에서 최대의 접지 효과를 볼 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 산업자원부(MOCIE) 전력산업기반기금의 지원으로 수행되었습니다.

### References

- (1) 이복희 외, 접지의 핵심 기초 기술, 의제, 1999.
- (2) 高橋健彦, 접지설계입문, 동원출판사, 1993.5.
- (3) 대한전기협회, 내선규정 제140절, 2004.
- (4) 신동호 외, "3가지 접지방식에 대한 접지특성비교", KIEE, Vol.49A, 2000.
- (5) IEEE Std. 80, IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding, pp43-48, 1986.

### ◇ 저자소개 ◇

#### 정연하(鄭蓮賀)

1980년 3월 6일생. 숭실대학교 전기제어시스템공학부 졸업. 현재 숭실대학교 석사 재학중.

#### 장태준(張太俊)

1976년 8월 8일생. 숭실대학교 전기제어시스템공학부 졸업. 현재 숭실대학교 석사 재학중.

#### 곽희로(槲熙魯)

1942년 3월 1일생. 1967년 서울대 전기공학과 졸업. 1978년 호주 New South Wales 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1986년 중앙대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1986년 MIT Visiting Scientist. 현재 숭실대 전기제어시스템공학부 교수 및 부총장.

#### 노영수(盧永洙)

1961년 4월 1일생. 1984년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1986년 서울대학교 전기공학과 졸업(석사). 미국 University of California, Davis 졸업(박사). 현재 숭실대학교 전기제어시스템 공학부 조교수.

#### 최충석(崔忠錫)

1961년 9월 19일생. 1991년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1993년 나고야대학 초청연구원. 1994~1995년 구마모토대학 객원연구원. 현재 전기안전연구원 팀장.