

## 봉상접지극과 Mesh접지극의 매설깊이 변화에 따른 위험전압 분석에 관한 연구

(Analysis of the Dangerous Voltage of Grounding Electrode According to the Burial Depth Levels)

심용식\* · 최홍규\*\*

(Yong-Sik Shim · Hong-Kyoo Choi)

### Abstract

Grounding electrodes with higher burial depths are evaluated to have better performance, due to the domestic practice that puts the grounding resistance as the standard of performance evaluation, while grounding resistance decreases as the burial depth increases. However, The dangerous voltage is necessary for the analysis. Because the performance evaluation of grounding electrodes should include not only grounding resistance but also the dangerous voltage(mesh voltage and step voltage). So in this paper, The dangerous voltages of mesh grounding and rod grounding were analyzed for using computer simulation and miniature grounding model.

Key Words : Dangerous Voltage, Mesh Grounding, Rod Grounding, Touch Voltage, Step Voltage

### 1. 서 론

현대산업에서 전기에너지는 일상생활에 편리함을 제공하고 있으며 인간에게는 매우 중요한 에너지 요소로 전기에너지의 사용이 증가되고 있다. 하지만 최근 전기사용의 안전성 조사자료 및 보도자료에 의하면 전기설비에 의한 감전재해가 증가하고 있어 감전방지에 대한 사회적 관심이 높아졌다. 특히 전기로 인

한 감전재해는 일반재해 건수에 비하여 재해비율은 낮으나 감전으로 인한 사망률은 다른 재해보다 높게 나타나고 있어 감전재해가 그만큼 위험한 재해라고 할 수 있다. 낙뢰서지 또는 개폐서지에 의한 전력기기의 고장이나 절연파괴 등에 의해 지락사고가 발생하면 접지전극으로 고장전류가 유입하게 되어 접지전극은 물론이고 접지전극 주변의 대지표면전위가 상승하게 된다. 이 때 형성되는 대지표면전위는 다른 설비에 의 영향과 인체의 감전사고 등을 고려하여 일반적으로 대지표면에서의 값으로 나타내며 접지전극의 형상, 대지구조나 토양의 성분 및 균질성, 접지전류의 크기와 지속시간 등에 의해 영향을 받게 된다[1-2].

IEEE std.80-2000에 제시된 Mesh접지극의 설계순서를 보면 두 가지 목표를 가지고 있다. 기기가 요구

\* 주저자 : 홍익대학교 대학원 전기공학과 박사과정

\*\* 교신저자 : 홍익대학교 전기설비연구센터 소장

Tel : 041-860-2610, Fax : 041-863-7605

E-mail : yong@taeyoung.com

접수일자 : 2010년 8월 13일

1차심사 : 2010년 8월 18일

심사완료 : 2011년 2월 23일

하는 전류치를 초과하는 전류를 대지로 방류하고, 접지되어 있는 시설 주변의 사람을 전기적 충격으로부터 보호하는 것이다. 이를 위해 접지극은 낮은 접지저항을 가져야 하고, 지락사고시 대지로 유입되는 전류와 접지저항에 의해 발생하는 접촉전압과 보폭전압을 허용치 내로 유지해야 한다. 이와 같이 접촉전압과 보폭전압이 인간의 생명에 끼치는 영향을 기준으로 접지의 적합성을 판정하는 IEEE std. 80-2000과는 다르게 접지공사를 종별로 구분할 경우 접지저항[Rg]이 규정된 접지저항 이하로 유지되었는가를 기준으로 접

지의 적합성을 판정하고 있다.

접지공사 종류별 접지저항을 제한하는 국내 접지규정에 비추어 보면 접지극의 매설깊이가 깊어질수록 접지저항이 낮아지는 특성으로 인해 접지극을 깊게 매설할수록 우수한 성능을 나타낸다고 판단하기 쉽다. 본 논문에서는 메시접지극과 봉상접지극 그리고 메시접지극과 봉상접지극이 조합된 형태의 접지전극에 대해 매설깊이를 증가시키고, 그에 따라 발생하는 위험전압의 변화에 대해 분석하였다.

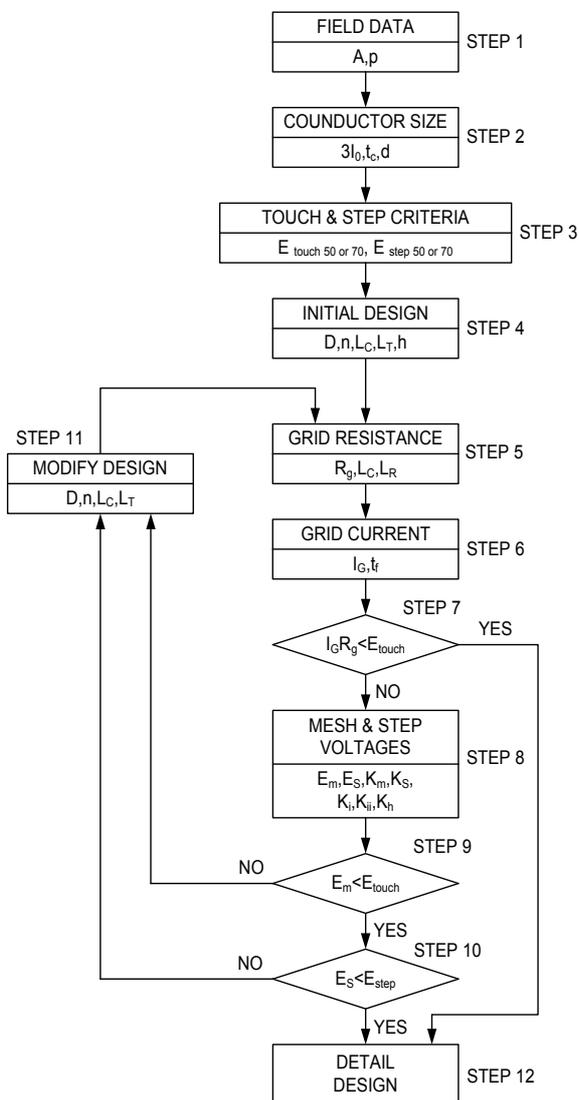


그림 1. 설계 절차 블록 다이어그램[3]  
Fig. 1. Design procedure of grounding[3]

표 1. 위험전압의 정의

Table 1. Definition of hazardous voltage

접촉전압	접지된 구조물에 손이 닿아있는 사람이 서있는 위치의 전위와 대지전위상승(GPR)의 전위차
보폭전압	접지된 물체에 닿지 않은 사람의 양다리가 1[m] 떨어져 있을 때, 양다리가 닿아있는 지표면의 전위차

## 2. 본 론

### 2.1 봉상접지극의 위험전압

봉상접지극의 매설깊이 변화에 따라 위험전압의 변화를 알아보기 위해 표 2의 조건을 컴퓨터 프로그램(CDEGS)에 적용하여 접지봉에서 1[m] 떨어진 지점의 접촉전압을 분석하였다.

표 2. 봉상접지전극 시뮬레이션 조건

Table 2. Simulation conditions of ground rod

접지봉의 지름[d]	0.012[m]
접지봉의 길이[L]	0.50[m]
매설 깊이[h]	0.1~4.0[m]
대지저항률[ρ]	500[Ω · m]
지층구조	단일지층
고장전류[IG]	1000[A]
접촉전압 측정위치	접지봉으로부터 1[m] 떨어진 지점

접촉전압은 0.1[m]에서 0.6[m]까지 감소하였고, 0.6[m]에서 접촉전압이 가장 낮게 나타난 후, 0.6[m] 이후부터 증가하였다. 보폭전압의 경우 접지저항과 비슷하게 봉상접지전극의 매설깊이를 증가시킬수록 낮은값을 나타냈다.

표 3. 봉상접지극의 매설깊이 변화에 따른 접촉전압  
Table 3. Touch voltage of ground rod according to the burial depth

매설 깊이 [m]	접촉 전압 [kV]	매설 깊이 [m]	접촉 전압 [kV]	매설 깊이 [m]	접촉 전압 [kV]
0.1	688	1.5	675	2.9	686
0.2	677	1.6	676	3.0	686
0.3	671	1.7	677	3.1	687
0.4	668	1.8	678	3.2	687
0.5	667	1.9	679	3.3	687
0.6	666	2.0	680	3.4	688
0.7	667	2.1	681	3.5	688
0.8	667	2.2	682	3.6	689
0.9	668	2.3	682	3.7	689
1.0	670	2.4	683	3.8	689
1.1	671	2.5	684	3.9	690
1.2	672	2.6	685	4.0	690
1.3	673	2.7	685		
1.4	674	2.8	686		

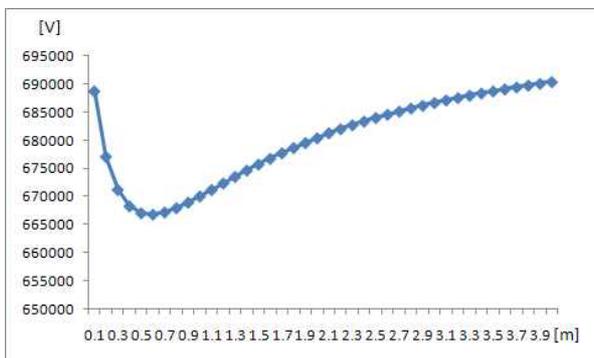


그림 2. 봉상접지극의 매설깊이 변화에 따른 접촉전압  
Fig. 2. Touch voltage of ground rod according to the burial depth

표 4. 봉상접지극의 매설깊이 변화에 따른 보폭전압  
Table 4. Step voltage of ground rod according to the burial depth

매설 깊이 [m]	보폭 전압 [kV]	매설 깊이 [m]	보폭 전압 [kV]	매설 깊이 [m]	보폭 전압 [kV]
0.1	210	1.5	6.1	2.9	1.197
0.2	127	1.6	5.3	3.0	1.094
0.3	86	1.7	4.6	3.1	1.003
0.4	62	1.8	4.0	3.2	0.922
0.5	46	1.9	3.5	3.3	0.849
0.6	35	2.0	3.1	3.4	0.783
0.7	27	2.1	2.8	3.5	0.724
0.8	22	2.2	2.5	3.6	0.671
0.9	17	2.3	2.1	3.7	0.623
1.0	14	2.4	1.9	3.8	0.579
1.1	12	2.5	1.7	3.9	0.539
1.2	10	2.6	1.5	4.0	0.503
1.3	8.5	2.7	1.4		
1.4	7.2	2.8	1.3		

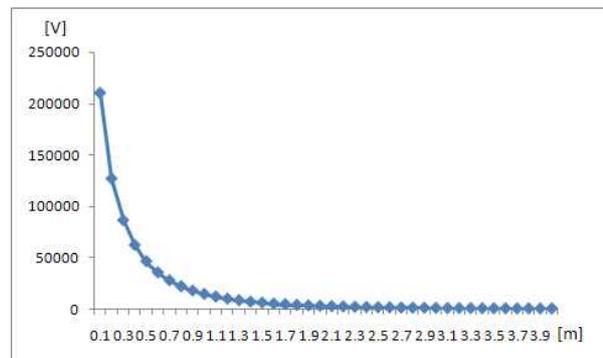


그림 3. 봉상접지극의 매설깊이 변화에 따른 보폭전압  
Fig. 3. Step voltage of ground rod according to the burial depth

## 2.2 메시접지극의 위험전압

메시접지극에서 가장 높은 접촉전압을 메시전압이라 하는데 메시전압과 보폭전압을 구하는 방법에는 IEEE std.80-2000에 제안된 수식을 통해 구하는 방법과 두 번째로 봉상접지극과 같이 컴퓨터 프로그램

(CDEGS)을 이용해 구하는 방법이 있다.

IEEE std.80-2000에 제안된 수식을 이용하는 방법은 가장 공인된 방법이지만, 매설깊이가 0.25[m]에서 2.5[m]까지만 수식이 적용된다는 제한요소가 있다는 단점이 있다. 그러므로 제한요소가 없는 컴퓨터 프로그램(CDEGS)을 이용해 위험전압을 구하였다.

표 5. 메시접지극의 설계재원  
Table 5. Simulation conditions of Mesh grounding

접지설계의 재원	내 용
접지공사 구역(S)	70×70[m <sup>2</sup> ]
대지 저항률(ρ)	500[Ω · m]
매설깊이(h)	0.1[m]~4.0[m]
대지전류(I <sub>G</sub> )	1,000[A]
접지도체의 지름(d)	0.012[m]
한변의 도체 수	11[개]

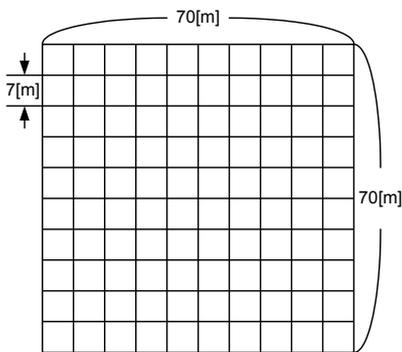


그림 4. 메시접지극의 설계도  
Fig. 4. Design of grounding mesh

표 6. 메시접지극의 매설깊이 변화에 따른 메시전압  
Table 6. Mesh voltage of Mesh grounding according to the burial depth

매설 깊이 [m]	메시 전압 [V]	매설 깊이 [m]	메시 전압 [V]	매설 깊이 [m]	메시 전압 [V]
0.1	724.24	1.5	663.16	2.9	750.33
0.2	671.62	1.6	672.73	3.0	754.06
0.3	640.36	1.7	681.57	3.1	757.59
0.4	618.41	1.8	689.75	3.2	760.94
0.5	601.78	1.9	697.33	3.3	764.12

0.6	588.70	2.0	704.37	3.4	767.14
0.7	578.23	2.1	710.92	3.5	770.02
0.8	569.77	2.2	717.03	3.6	772.77
0.9	585.92	2.3	722.74	3.7	775.39
1.0	601.48	2.4	728.08	3.8	777.90
1.1	615.91	2.5	733.09	3.9	780.30
1.2	629.23	2.6	737.79	4.0	782.60
1.3	641.49	2.7	742.22		
1.4	652.77	2.8	746.39		

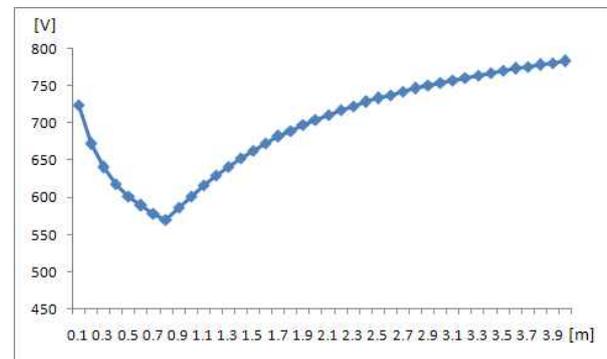


그림 5. 메시접지극의 매설깊이 변화에 따른 메시전압  
Fig. 5. Mesh voltage of mesh grounding according to the burial depth

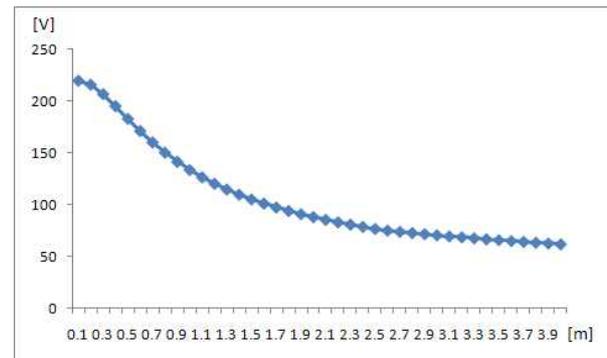


그림 6. 메시접지극의 매설깊이 변화에 따른 보폭전압  
Fig. 6. Step voltage of mesh grounding according to the burial depth

컴퓨터 프로그램(CDEGS)을 이용해 구한 메시전압은 메시접지극의 매설깊이가 0.1[m]에서 0.8[m]까지 감소하다가 0.8[m]에서 최소값을 나타내고 다시 증가하였다. 보폭전압은 봉상접지극과 유사하게 매설깊이

가 깊어질수록 낮아졌다.

표 7. 메시접지극의 매설깊이 변화에 따른 보폭전압  
Table 7. Step voltage of Mesh grounding according to the burial depth

매설 깊이 [m]	보폭 전압 [kV]	매설 깊이 [m]	보폭 전압 [kV]	매설 깊이 [m]	보폭 전압 [kV]
0.1	219.20	1.5	104.96	2.9	71.46
0.2	215.42	1.6	100.89	3.0	70.41
0.3	206.28	1.7	97.20	3.1	69.40
0.4	194.72	1.8	93.83	3.2	68.43
0.5	182.53	1.9	90.75	3.3	67.49
0.6	170.73	2.0	87.91	3.4	66.58
0.7	159.81	2.1	85.30	3.5	65.70
0.8	149.94	2.2	82.88	3.6	64.85
0.9	141.10	2.3	80.63	3.7	64.03
1.0	133.24	2.4	78.54	3.8	63.23
1.1	126.25	2.5	76.58	3.9	62.45
1.2	120.02	2.6	74.92	4.0	61.69
1.3	114.45	2.7	73.71		
1.4	109.46	2.8	72.56		

### 2.3 축소형 모델을 이용한 봉상접지극의 위험전압 측정

접지전극의 매설깊이 변화에 따른 위험전압을 실제로 측정해 보기 위해 대지를 모의하는 축소형 모델을 이용하였다. 축소형 모델은 직경 1,000[mm] 동으로 제작된 반구형 용기와, 동일한 대지저항률의 흙으로 구성하였다.

#### 2.3.1 대지저항률의 측정

대지저항률이라 함은 대지·토양의 일정 체적당 전기 저항이며, 다른 명칭으로는 대지 고유 저항이라고도 한다[4]. 본 실험에서 사용한 흙의 대지저항률을 측정하기 위해 한번의 길이가 20[cm]인 정육면체 용기에 흙을 채우고, 60[Hz] 교류 전압을 10[V]에서 100[V]까지 인가하여 측정하였다.

식 1을 통해 구한 대지저항률은 인가전압에 따라 차이가 있어 그 값을 평균값으로 표현하면 341[Ωm]이고, 리액턴스 성분에 비해 저항 성분이 상대적으로 매우 크므로 리액턴스 성분도 저항성분으로 포함시켜 계산하였다.

$$V = I \cdot R = I \cdot \left( \rho \cdot \frac{l}{S} \right) \tag{1}$$

$$\rho = \frac{V \cdot S}{I \cdot l} = \frac{V \cdot 0.2^2}{I \cdot 0.2} [\Omega m]$$

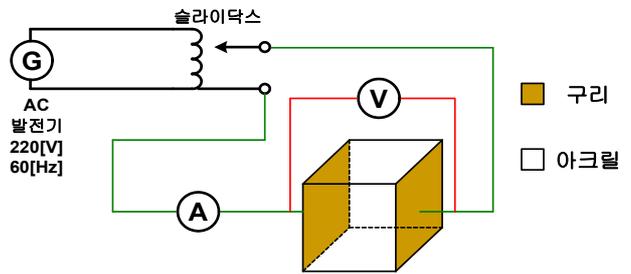


그림 7. 대지저항률 측정 구성도  
Fig. 7. Measurement model of soil resistivity

표 8. 대지저항률 측정표  
Table 8. Measuring result of soil resistivity

인가 전압 [V]	측정 전류 [mA]	대지 저항률 [Ωm]	인가 전압 [V]	측정 전류 [mA]	대지 저항률 [Ωm]
10	5.6	357.14	60	34.6	346.82
20	11.4	350.88	70	40.6	344.83
30	17.1	350.88	80	46.7	342.61
40	22.9	349.34	90	52.8	340.91
50	28.8	347.22	100	59	338.98

#### 2.3.2 위험전압의 측정

축소형 모델에 지름 12[mm], 길이 40[mm]의 접지봉을 사용해 매설깊이를 1[cm]부터 20[cm]까지 증가시켜 접촉전압과 보폭전압을 측정하였다. 이때 접지전극을 통해 흘린 전류는 0.11[A]이고, 접촉전압은 접지봉으로부터 40[cm] 떨어진 지점에서, 보폭전압은 접지극으로부터 20[cm] 떨어진 지점에서 측정하였다. 보폭전압 측정시의 보폭은 10[cm]로 하였다.

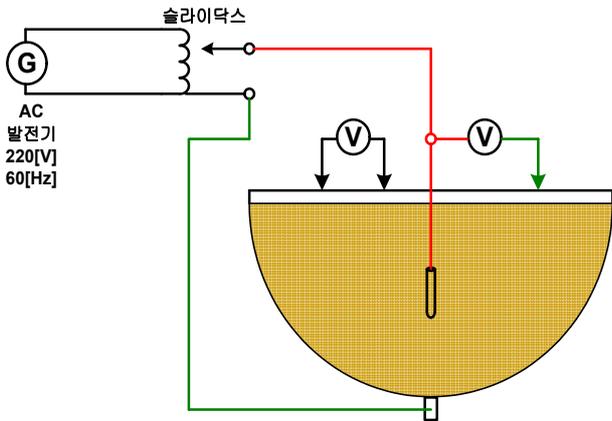


그림 8. 위험전압 측정을 위한 축소형 접지 모델  
Fig. 8. Small-sized Grounding Model for measuring the hazardous voltage

표 9. 봉상접지극의 매설깊이 변화에 따른 접촉전압  
Table 9. Touch voltage of ground rod according to the burial depth

매설 깊이 [cm]	접촉 전압 [V]	매설 깊이 [cm]	접촉 전압 [V]	매설 깊이 [cm]	접촉 전압 [V]
1	131	8	85	15	51
2	123	9	72	16	50
3	120	10	66	17	50
4	116	11	63	18	53
5	109	12	59	19	56
6	101	13	56	20	65
7	92	14	53	21	73

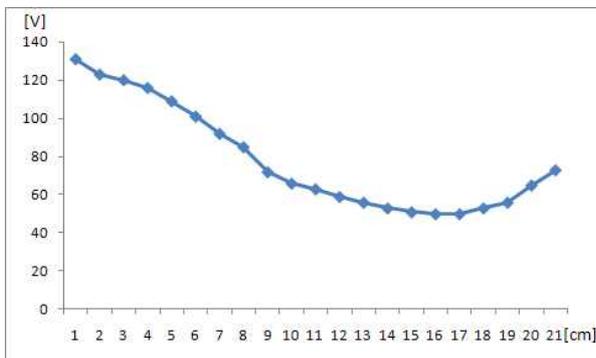


그림 9. 봉상접지전극의 매설깊이 변화에 따른 접촉전압  
Fig. 9. Touch voltage of ground rod according to the burial depth

표 10. 봉상접지극의 매설깊이 변화에 따른 보폭전압  
Table 10. Step voltage of ground rod according to the burial depth

매설 깊이 [cm]	보폭 전압 [V]	매설 깊이 [cm]	보폭 전압 [V]	매설 깊이 [cm]	보폭 전압 [V]
1	2.61	8	1.74	15	1.13
2	2.61	9	1.59	16	1.03
3	2.58	10	1.56	17	0.93
4	2.4	11	1.49	18	0.83
5	2.27	12	1.39	19	0.73
6	2.05	13	1.27	20	0.68
7	1.81	14	1.16		

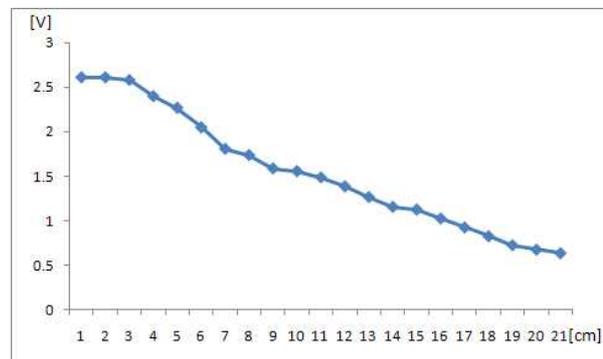


그림 10. 봉상접지전극의 매설깊이 변화에 따른 보폭전압  
Fig. 10. Step voltage of ground rod according to the burial depth

축소형 모델을 이용해 측정한 결과 접촉전압은 16[cm]까지 감소하다가 다시 증가하였고 보폭전압은 지속적으로 감소하였다. 이는 시뮬레이션을 통해 분석한 봉상접지전극과 메시접지극의 위험전압 분석 형태와 유사한 형태이다.

### 3. 결 론

접지의 평가는 접촉전압(메쉬전압), 보폭전압, 접지저항을 기준으로 해야한다. 그러나 매설깊이가 깊을수록 낮은 접지저항을 나타내는 접지극의 특성과 접지공사 종류별로 접지저항 제한하는 규정으로 인해 접지극은 깊게 매설하는 것이 좋다고 판단하기 쉽다.

본 논문에서는 봉상접지극과 메시접지극의 매설깊이가 깊어짐에 따라 위험전압의 변화를 컴퓨터 프로그램(CDEGS)을 이용한 시뮬레이션과 축소형 접지 모델을 이용해 실험하였다.

보폭전압의 경우 접지저항과 유사하게 접지극의 매설깊이가 증가할수록 감소하는 현상을 보였으나 접촉전압의 경우 일정 깊이까지 감소하다가 다시 증가하는 현상을 나타내었다. 이러한 현상이 시뮬레이션과 축소형 모델을 이용한 실험에서 모두 나타났다.

따라서 접지극의 매설깊이를 결정할 때 단순히 깊게 매설하는 것이 아니라, 접촉전압과 보폭전압이 안전한 계 위험전압 이하로 유지될 수 있게 하고, 그 상태가 유지되는 조건에서 최저 접지저항이 나타나는 매설깊이를 선정하는 것이 올바른 방법이라고 판단된다.

본 연구는 2010학년도 홍익대학교 교내 연구비로 수행되었음.

◇ 저자소개 ◇



**심용식**(沈龍植)

1962년 6월 26일생. 2006년 고려대학교 공학대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 홍익대학교 대학원 전기공학과 박사과정.



**최홍규**(崔洪圭)

1950년 1월 7일생. 현재 홍익대학교 전자·전기공학과 교수. 홍익대학교 전기설비연구센터 소장.

**References**

- [1] 이복희, 이승철, “접지의 핵심 기초기술”, 의제.
- [2] 이복희, 백영환, 정현욱, “대지구조에 따른 대지표면전위의 분석”, 전기학회논문지, 제51권, 10호, pp. 1796-32, 2003, pp.1796-1800, 2007.
- [3] IEEE. Standard Board, “IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding”, IEEE Std 80-2000.
- [4] 최홍규, 최병숙, 송영주, “접지설비 및 설계”, 성안당.
- [5] 지식경제부 공고, 전기설비기술기준의 판단기준”, 제18조~제32조.