

대지구조에 따른 접지봉 주변의 대지표면전위분포

(Ground Surface Potential Distribution near Ground Rod Associated with Soil Structures)

이복희* · 정현욱 · 백영환

(Bok-Hee Lee · Hyun-Uk Jung · Young-Hwan Baek)

요 약

본 논문은 대지구조와 접지봉의 매설깊이에 따른 대지표면의 전위상승에 대해서 기술하였다. 대지표면의 전위상승에 따른 인체의 감전사고의 저감에 관한 기초적 자료를 제안하기 위해서 접지봉 부근에서의 대지표면전위를 계산하고 측정하였다. 접지봉 부근의 대지표면전위상승은 대지구조에 크게 의존하며, 매설깊이가 깊어질수록 낮아졌다. 대지표면전위상승은 접지봉의 직상부에서 최대이었으며, 측정결과는 접지해석프로그램으로 계산한 결과와 잘 일치하였다.

Abstract

This paper presents the distributions of ground surface potential rises as functions of soil structure and buried depth of ground rod. To propose fundamental data relevant to the reduction of electric shock of human beings due to ground surface rise, the ground surface potential rises near the ground rod were computed and measured. Ground surface potential rises near ground rod strongly depend on the soil structure, and an increase of the buried depth of ground rod results in a decrease of the ground surface potentials. The maximum ground surface potential appeared at the just above point of ground rod. Also, the measured results were in reasonably agreement with the data computered by grounding analysis program.

Key Words : Ground surface potential rise, Soil structure, Buried depth, Ground rod, Electric shock

1. 서 론

전력계통이나 기기의 지락사고와 뇌격의 침입 등에 의해서 접지전극에 고장전류가 유입되면 접지전극이 매설된 주변에 전위경도가 형성되며, 대지표면

전위분포에 따른 접촉전압과 보폭전압이 나타나게 된다. 송·배전선로 또는 전력기에서 지락고장 등이 발생한 때 고장전류가 접지도선을 경유하여 접지극을 통해 대지로 유입되었을 경우, 접지극 주변의 대지표면에 전위경도가 형성되므로 감전사고의 위험이 있으며, 최근 배전계통 및 가로등 주변에서 감전사고의 발생으로 인해 접촉전압 및 보폭전압 등 접지극 주변의 위험전압에 대한 관심이 증가하고 있다. 또한 피뢰설비에 관한 IEC 62305규격에서도 피

* 주저자 : 인하대학교 전자전기공학부 교수
Tel : 032-860-7398, Fax : 032-863-5822
E-mail : bhlee@inha.ac.kr
접수일자 : 2006년 9월 12일
1차심사 : 2006년 9월 20일
심사완료 : 2006년 10월 13일

뢰용 접지극에 뇌격전류가 흐르게 되면 대지표면전위가 형성되어 감전의 위험이 생기므로 접지극 주변에서의 접촉전압과 보폭전압에 관한 규정을 강화하고 있다[1-2].

접촉전압은 접지를 한 시설물 또는 구조물이 고장 전류가 흘렀을 때, 접촉한 구조물의 전위와 사람이 서 있는 대지표면의 전위차로 정의되며, 보폭전압은 사람 양발사이에 인가되는 전압으로 정의된다. 따라서 접지극으로 고장전류나 뇌격전류가 유입하였을 때 접지극 주변의 대지표면전위분포를 평가하는 것은 대단히 중요하다. 이 때 접지극으로 유입된 접지전류의 경로 및 전류선의 밀도는 대지저항률과 대지의 구조에 의해 변하기 때문에 대지표면의 전위분포의 산출이 간단하지는 않다.

그러나 합리적인 접지설계를 위해서는 접지극에 접지전류가 유입할 때 대지저항률과 대지구조가 대지표면전위분포에 미치는 영향을 측정하고 분석하는 것은 접촉전압이나 보폭전압과 같은 위험전압의 평가에 기본이 된다. 지락사고지점에 전자기기, 전기설비나 사람, 가축 등이 있게 되면 대지전위상승에 따라 감전 사고 또는 기기의 파괴나 오동작 등의 장애를 일으키게 된다. 이러한 상황에서 고장계통이나 사고점을 대지와 전기적 접속단자 역할을 하는 접지전극이 있으면 전위상승, 전류분포, 전위분포의 양상은 달라진다[3-4]. 즉 접지를 통해 전위상승을 억제하여 기기의 안전성을 확보할 수 있다.

본 논문에서는 대지구조가 봉상 접지극 주변의 전위상승에 미치는 영향을 분석할 목적으로 접지해석 프로그램을 이용하여 대지저항률, 대지구조, 접지전극의 매설 깊이가 대지표면전위분포에 미치는 영향을 평가하였다. 대지구조와 대지저항률이 다른 위치에서 봉상 접지극 주변에서 대지표면전위분포를 측정하고, 이를 바탕으로 접지해석프로그램을 해석한 결과를 비교·검토하였다.

2. 본 론

2.1 대지구조에 따른 대지표면전위분포

접지시스템의 설계에 주로 적용되는 2층 구조의

대지를 모델로 하여 접지해석프로그램을 이용하여 대지표면전위분포를 분석하였다. 그림 1에 접지해석 프로그램을 이용하는 시뮬레이션을 위한 2층 구조의 대지를 나타내었다.

IEC 62395표준규격에서 접지극의 매설깊이를 0.5 [m] 이하로 하도록 규정되어 있으며, 더불어 한국전력공사 배전설계기준에서 접지극의 최소 매설깊이에 대한 규정에 따르면 지표면으로부터 0.75 [m]의 깊이에 접지봉의 상단부가 놓이도록 시설해야 한다. 또한 실험에 의하면 우리나라의 대지는 최상층부가 비교적 낮은 구조이므로 예시로서 상부 지층의 두께는 1.25 [m], 하부 지층은 무한대로 설정하여 해석하였다.

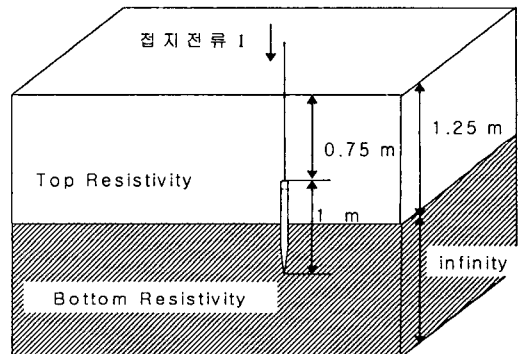


그림 1. 접지해석프로그램을 이용하여 대지표면전위를 모의하기 위한 2층 구조의 대지

Fig. 1. 2 layers soil structure for simulation of ground surface potential using grounding analysis program

시험용 접지봉에 1 [A]의 전류를 유입시켰을 때 나타나는 대지표면의 전위분포를 그림 2에 나타내었다. 각 그래프의 우측에 상부-하부 지층의 대지저항률을 표시하였다. 상부 지층의 대지저항률이 하부 지층보다 낮을수록 대지전위분포가 전체적으로 상승하는 것을 알 수 있다. 또한 하부 지층의 대지저항률이 낮을수록 대지표면전위는 낮아졌으며, 접지봉으로부터 거리가 멀어짐에 따라 전위는 낮아진다.

대지구조에 따른 전류분포는 그림 3 (a)와 같이 대지저항률이 균일한 대지구조의 경우, 유입된 접지전류는 방사상으로 균일하게 퍼져 나가는 반면에 그림 3 (b)와 같이 상층부의 대지저항률이 낮게 되면 대지

대지구조에 따른 접지봉 주변의 대지표면전위분포

저항률이 낮은 층에 많은 접지전류가 흐르게 되어 높은 전위상승을 일으키게 되는 것이다[5].

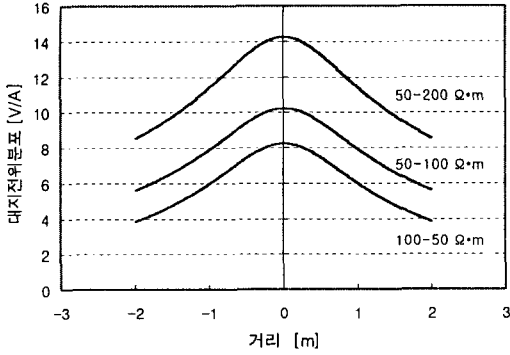
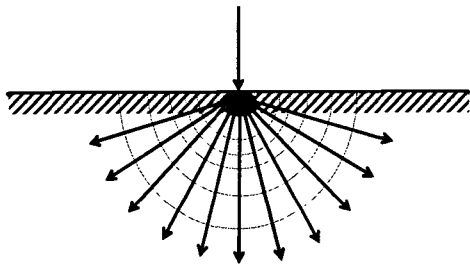
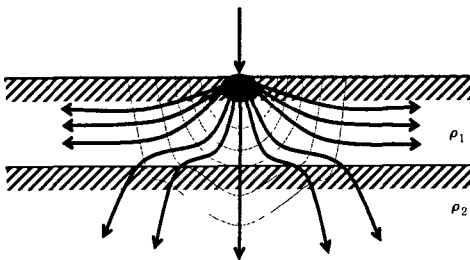


그림 2. 대지구조에 따른 대지표면전위분포
Fig. 2. Ground surface potential profiles for different soil structures



(a) 단층 대지구조에서의 전류경로



(b) $\rho_1 < \rho_2$ 인 2층 대지구조에서의 전류경로

그림 3. 대지구조에 따른 전류경로
Fig. 3. Current path according to soil structure

2.2 접지전극의 매설깊이에 따른 대지표면전위분포

그림 4와 같이 상부 지층의 대지저항률이 $50 [\Omega \cdot \text{m}]$ 이고, 하부 지층의 대지저항률이 $100 [\Omega \cdot \text{m}]$ 인 2

층 구조의 대지에서 1 [m] 접지봉을 대지표면으로부터 각각 0.25, 0.75, 1.25, 1.75 [m]의 깊이에 매설한 경우, 대지표면에 나타나는 전위분포를 접지해석프로그램으로 분석하였다.

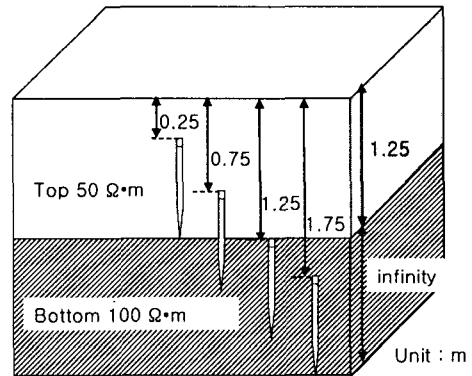


그림 4. 시험용 접지극의 설치
Fig. 4. Arrangements of the test ground rod

그림 5에 나타난 결과처럼 접지전극의 매설깊이가 깊어질수록 대지표면전위는 현저하게 낮아지는 것을 볼 수 있다. 특히 접지봉이 매설되어 있는 직상부 (0 [m]) 부근의 전위가 크게 변하는 것을 알 수 있다.

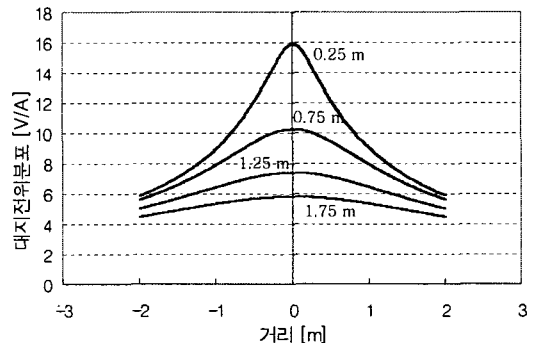


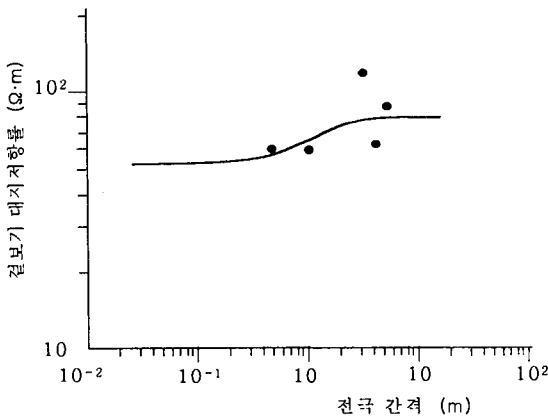
그림 5. 접지극의 매설깊이에 따른 대지표면전위분포
Fig. 5. Ground surface potential profiles according to the buried depth of ground rod

2.3 이론적 해석과 측정결과의 비교

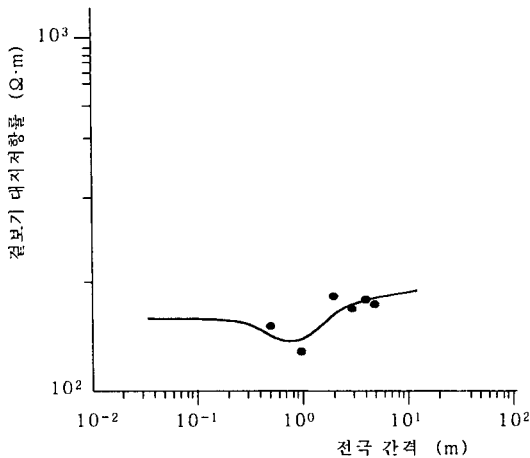
2.3.1 측정장소의 $\rho-a$ 곡선

Wenner의 4전극법으로 측정된 실험장소 2곳의

대지저항률을 기초로 하여 분석한 $\rho-a$ 곡선을 그림 6에 나타내었다. 이 대지저항률과 전극간격의 관계를 나타내는 그래프를 통하여 접지해석프로그램으로 대지구조를 해석해 보면 그림 7과 같이 각 실험장소의 대지구조를 얻었다.



(a) 실험장 1



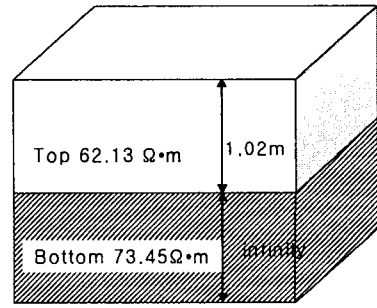
(b) 실험장 2

그림 6. 실험장소의 $\rho-a$ 곡선
Fig. 6. $\rho-a$ curves at the test site

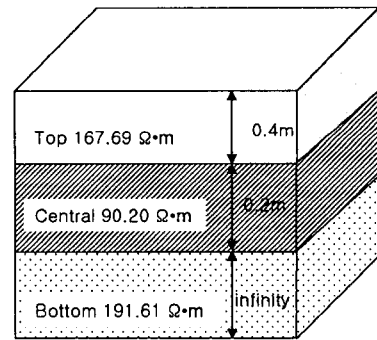
2.3.2 측정장소의 대지구조

측정 장소의 $\rho-a$ 곡선을 기초로 하여 분석된 대지구조를 그림 7에 나타내었다. 그 결과 실험장 1은 2층 대지구조, 실험장 2는 3층 대지구조인 것으로 근사화시킬 수 있다. 두 실험장의 대지구조에서 지표

면으로부터 0.75 [m]의 깊이에 접지봉의 상단이 위치하도록 설치하고, 1 [A]의 전류를 유입시켰을 때 대지표면에 나타나는 전위분포를 측정하고 분석하였다.



(a) 실험장 1



(b) 실험장 2

그림 7. 실험장소의 대지구조
Fig. 7. Soil structures of the test sites

2.3.3 실험장소의 대지표면전위분포

접지해석프로그램을 이용하여 분석한 각 실험장소의 대지표면전위분포를 그림 8에 나타내었다. 3층 대지구조인 실험장 2의 대지표면전위가 2층 대지구조의 실험장 1보다 높게 나타난 것을 알 수 있다. 이것은 각 실험장의 대지구조를 통해 알 수 있는데 그림 7에서 실험장 1의 대지구조를 보면 상부 지층의 대지저항률은 62.13 [$\Omega \cdot m$] 이고, 하부 지층은 73.45 [$\Omega \cdot m$]으로 크게 차이가 나지 않아 접지전류가 고르게 분산되는 조건을 가진 반면 실험장 2는 상부 지층과 중간층의 두께가 얇고 하부 지층보다 대지저항률이 낮아 상부 지층보다 많은 접지전류가 흐르게 된다.

대지구조에 따른 접지봉 주변의 대지표면전위분포

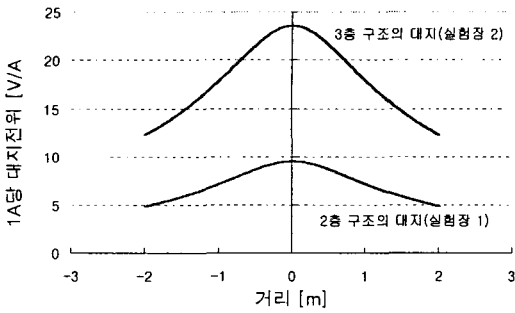


그림 8. 접지해석프로그램으로 분석한 실험장의 대지표면전위분포
 Fig. 8. Ground surface potential profiles computed by grounding analysis program at the test site

3층 구조의 실험장 2에는 금속 지지물이 설치되어 있는데 2.5 [m] 깊이에 금속 지지물이 접지극 근처에 위치한 경우, 대지표면전위의 변화를 그림 9에 나타내었다. 금속 지지물이 접지극 근처에 위치한 경우 지지물이 있는 0 [m] 부근의 전위가 급격하게 상승하는 반면 전반적으로는 지지물이 없는 경우보다 낮게 나타났다. 이것은 금속 지지물 주변으로 접지전류가 밀집되어 급격한 전위상승이 일어나기 때문이다[6].

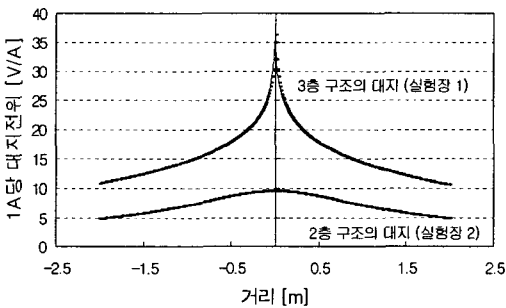


그림 9. 금속 지지물 주변의 대지표면전위분포
 Fig. 9. Ground surface potential profiles near metallic pole

실측된 각 실험장의 대지표면전위분포를 그림 10에 나타내었다. 접지해석프로그램을 이용하여 시뮬레이션 결과와 측정한 결과는 대체로 일치하는 비슷한 양상을 보이고 있다.

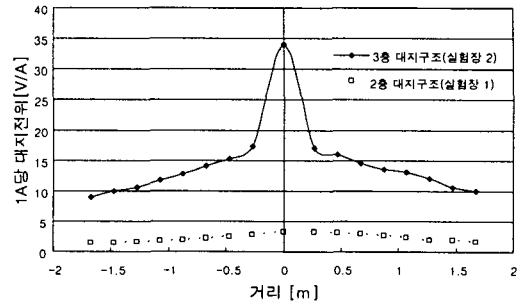


그림 10. 각 실험장의 대지전위분포
 Fig. 10. Ground surface potential profiles measured at each test sites

측정값과 이론적 해석결과사이의 약간의 편차는 접지해석프로그램이 각 층별로 대지저항률을 일정한 것으로 가정하여 분석하는 반면에 실제 대지표면의 전위분포는 대지구조나 토양의 성분과 성질 및 균질성과 같은 환경의 영향을 받기 때문이다. 하지만 접지해석프로그램은 현장의 여러 가지 상황을 가정하여 시뮬레이션을 수행함으로써 실제 실험보다 경제적이고 시간의 절약할 수 있으며, 실측결과를 추정하는 데에 유용하게 활용된다. 3층 대지구조의 실험장 2에 금속 지지물이 설치되어 있는 경우, 그렇지 않은 대지표면전위분포보다 높은 첨두치를 갖고 콘크리트 전주가 매설되어 있는 2층 대지구조의 실험장 1보다 전체적으로 높은 전위분포를 갖는 것을 확인 할 수 있다. 또한 대지구조해석을 위해 측정할 겉보기 대지저항률의 데이터가 6개이지만 2층 대지구조의 경우 대지전위분포는 측정결과와 이론적 해석결과가 거의 일치함을 알 수 있다. 이는 2층 대지구조의 경우는 비교적 적은 대지저항률의 측정으로부터 정확도가 우수한 대지전위분포를 해석할 수 있는 효과적인 방법으로 볼 수 있다.

3. 결 론

붕상 접지극이 설치된 실험장 2곳의 대지구조와 대지표면전위분포를 접지해석프로그램을 이용하여 해석과 실측실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 대지저항률과 대지구조는 접지전류의 전류경로와 밀도를 변화시키고 접지극이 매설된 대지표면의 전위상승에 영향을 미친다.
- (2) 대지표면전위는 접지전극의 매설깊이에 따라 접지극이 매설되어 있는 근방에서 크게 변화였다.
- (3) 철근콘크리트주 주변보다 금속 지지물 주변에서 대지표면전위가 높게 나타났다.

결론적으로 접지시스템을 설계할 때에는 접지저항뿐만 아니라 대지표면전위상승과 접촉전압에 영향을 미치는 대지구조와 접지전극의 매설깊이 등을 고려하여 평가해야 정확한 성능을 알 수 있다.

이 논문은 산업자원부에서 시행하는 대학전력 연구센터 육성 및 지원사업에 의해 작성되었습니다.

References

- [1] IEC 62305-1, Protection against lightning-, Part 3: Physical damage to structures and life hazard, p. 67, 2006.1.
- [2] 高橋建彦, “접지·등전위 본딩 설계의 실무지식”, pp18-32, 2003.
- [3] B. H. Lee, J. S. Park and S. C. Lee, “Experimental Investigations of Transient Impedances of Some Grounding Systems”, 1997 Japan-Korea Joint Syms.ED & HVE, pp.237~240, 1997.
- [4] B. H. Lee, Su-bong. Lee, “Transient impedance of the Ground Grid and Deeply-driven Ground Rod”, KIEE Annual Spring Conference pp240~243, 2005.
- [5] 이복희, “접지의 핵심 기초기술”, pp.52-55, 1999.
- [6] 이복희 · 정현욱, “접지봉 설치에 따른 전주 주변의 전위 분포”, pp 342-346, 2006 춘계학술대회 논문집.

◆ 저자소개 ◆

이복희 (李福熙)

1954년 6월 29일생. 1980년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1988~1989년 동경대학 생산기술연구소 객원연구원. 1995년 호주 Queensland대학 방문교수. 현재 인하대 공대 전자전기공학부 교수. 인하대학교 차세대고전압전력기술 연구센터 소장. 본 학회 부회장.

Tel : (032) 860-7398

Fax : (032) 875-1276

E-mail : bhlee@inha.ac.kr

정현욱 (鄭鉉郁)

1978년 5월 26일생. 2004년 8월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 2006년 8월 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 삼성엔지니어링 근무.

Tel : (032) 860-7398

Fax : (032) 863-5822

E-mail : uka55577@hotmail.com

백영환 (白英煥)

1959년 12월 8일생. 2002년 2월 서울산업대학교 공대 전기공학과 졸업. 2004년 2월 인하대 산업대학원 전기공학과 졸업. 2005년 현재 인하대 대학원 전기공학과 박사과정.

Tel : (032) 860-7398

Fax : (032) 875-1276

E-mail : sky4u6006@hanmail.net