

대지저항률에 따른 최적화 접지 해석

(The Optimization Grounding Analysis for Soil Resistivity)

정연하*, 장태준, 곽희로, 노영수, 송길목
(Yeon-Ha Jung*, Tae-Jun Jang*, Hee-Ro Kwak*, Young-Su Roh*, Kil-Mok Shong*)

* 송실대학교
(* Soongsil Univ.)

Abstract

The electric safety tends to be more important according to electric facilities's increase and its use in these days. This paper analyzes soil resistivity of two areas in the country using CDEGS(Current Distribution, Electromagnetic Interference, Grounding and Soil Structure, Canada). We designed rod and mesh grounding system and made a comparative study of ground resistance, GPR(Main Electrode Potential Rise), step voltage and touch voltage. Then we could analyze not only the safety but also economical efficiency in execution of grounding. As a result of simulation, ground resistance, GPR(Main Electrode Potential Rise), step voltage and touch voltage became higher in proportion to soil resistivity. Therefore we expect to estimate the propriety of grounding system design through accumulation and analysis of data in consideration of characteristics of soil.

1. 서론

전기는 우리들이 생활하는 모든 곳에서 혜택을 주고 있으며, 세계 각국에서 다양하게 이용되고 있다. 대전력 설비, 전자·통신설비 등 전기가 이용되는 설비에서는 안전하면서 동시에 안정된 가동이 요구되고 있는 추세이다. 전기설비의 증가와 이용이 많아짐에 따라 전기안전을 위한 안전장치의 개발이 가속화 되고 있으며 설비의 구성 또한, 안전설계를 중심으로 이루어지고 있다. 이 중 접지설비는 전기설비의 안전과 인체의 감전에 의한 사고를 방지하기 위해 시설되는 설비로서 현대에 와서 통신시스템, 인텔리전트 빌딩 등 다양한 전자시스템 보호와 더불어 전기안전 설비 구축을 위한 중요한 설비이다.

선진외국의 경우 접지에 대한 연구가 활성화 되어 이미 토양, 기후 및 임피던스를 고려한 접지 방식이 연구되어 적용하고 있다. 그러나 국내에서는 설비나 인체의 안전을 고려한 접지 연구 등이 활성화되지 못하여 이에 대한 인식이 요구되며, 접지 임피던스에 대한 이해와 지식이 부족할 뿐 아니라, 과학적인 접지설계 및 분석에 의한 시공이 필요한 실정이다.

따라서, 본 논문에서는 국내 실정에 적합한 접지 설계와 현장 측정을 통한 전기안전 설계 및 경제

성을 고려한 연구를 수행하게 되었다. 대지저항률 현장측정과 시뮬레이션 해석프로그램을 이용하여 분석하고자 수원과 경주에서 대지저항률 측정기(AEMC 4500)로 측정한 대지저항률을 바탕으로 일반봉 접지와 메쉬 접지를 모델링하고, 그 특성을 비교 분석하여 접지설계에 필요한 고려사항을 제안하였다.

2. 본론

2.1 접지시스템 설계 구성

접지시스템의 설계 및 구성에 있어서 그림 1에서와 같이 접지설계는 병원, 주택, 사무실 등 건물의 특성을 분석하고 이를 고려한 접지방법을 채택하여야 한다. 건물위치의 선정에 따라 대지저항률 측정과 토질을 분석하고, 대지저항률 측정에 의한 분석이 필수적이다. 현장에서 측정한 자료는 접지 해석이 가능한 프로그램을 이용하여 다양한 접지 시스템을 모의하고 이에 대한 평가가 이루어져야 한다. 마지막 단계에서 건물 내부에 설치된 전기설비의 전기적 안전성과 감전 위험성을 최소화하고, 접지시공에 있어서 경제적으로 유리한 시공방법을 선택하여 시공하는 것이 바람직하다고 판단된다.

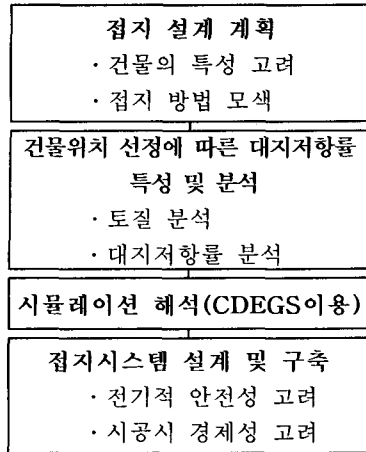


그림 1. 접지설계 및 구축 과정

2.2. 접지 관련 규정

국내의 접지 규정은 전기설비 기술 기준에 의한 시공을 원칙으로 하고 있으나, 산업이 발달함에 따라 대부분 감전 예방과 설비의 외부 요인으로부터 안전한 미국전기규정(NEC)의 $5[\Omega]$ 이하의 접지저항치를 권고받아 시공되고 있다. 표 1은 국내 전기설비기술기준에 기술된 내용으로 접지공사의 종류에 따른 접지저항치를 나타낸 것이다.

표 1. 전기설비기술기준

접지공사의 종류	접 지 저 항 값
제1종 접지공사	$10[\Omega]$ 이하
제2종 접지공사	현장 사정에 따라 계산된 접지 저항값
제3종 접지공사	$100[\Omega]$ 이하
특별 제3종 접지공사	$10[\Omega]$ 이하

* NEC 규정 적용시 권고 : $5[\Omega]$ 이하

2.3. 접지시스템 설계

접지 설계는 접지저항을 낮게 하여 전기설비와 대지 사이에 확실한 전기적 접촉을 실현하는 것으로 극단적인 경우 봉접지와 메쉬(mesh) 접지로 구분하여 생각할 수 있다.

접지해석 프로그램(CDEGS; Current Distribution, Electromagnetic Interference, Grounding and Soil Structure, Canada)을 이용한 설계에 있어서 봉접지와 메쉬접지 방식을 통하여 접지저항값과 접촉전압, 보폭전압, 지표면 전위분포(GPR)를 분석할 수 있다.

그림 2의 (a)는 일반봉 접지방식의 예로서 15개 병렬접지, 매설깊이 $0.75[m]$, 길이 $1[m]$, 반경 $0.007[m]$, 연결접지선 $100[mm^2]$ 나동선에 대한 모의를 실시한 것이고, (b)는 메쉬 접지방식을 모의한 것으로 면적 $12[m] \times 12[m]$, 간격 $3[m]$, 매설깊이 $0.75[m]$, 접지선 $100[mm^2]$ 나동선을 구성하여 나타낸 것이다.

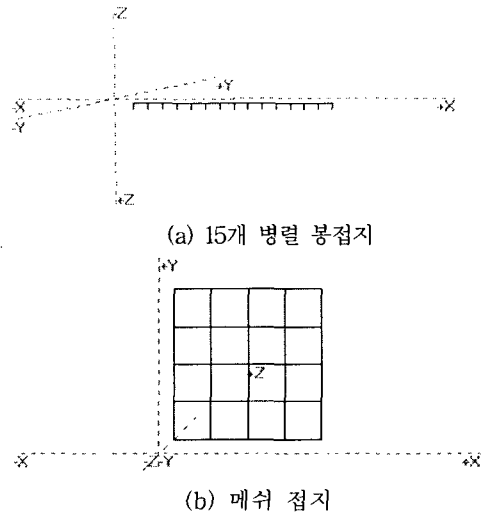


그림 2. 봉 및 메쉬 접지방식의 구성 예

3. 결과 및 고찰

3.1 대지저항률 측정

앞서 언급한 것과 같이 접지 설계 및 성능에 가장 큰 영향을 미치는 지질의 구조와 대지파라미터에 대한 분석은 대지저항률의 측정이 선행되어야 한다. 대지저항률 측정은 IEEE 규정에서도 나와 있는 것과 같이 4점 웨너(Wenner) 전극법을 사용하여 일정 범위내에 있는 대지의 가로방향과 세로방향으로 측정하는 것으로 현장 측정을 위해 그림 3과 같은 크기의 대지에서 가로 및 세로의 측정을 실시하였다.

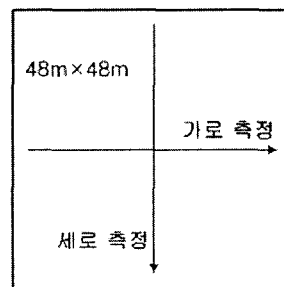


그림 3. 측정방향

그림 4는 국내의 도시 2개 지역을 선택하여 측정 한 것으로 경주의 대지저항은 수원에 비해 전극 간격을 1[m]로 하였을 때, 약 10[Ω] 정도 높았으며 전극의 간격을 16[m]로 하였을 때에는 약 1 [Ω]안팎의 저항차가 있는 것으로 나타났다. 따라서 각 지역의 환경 조건에 따라 대지저항이 다르게 나오는 것을 확인할 수 있었다.

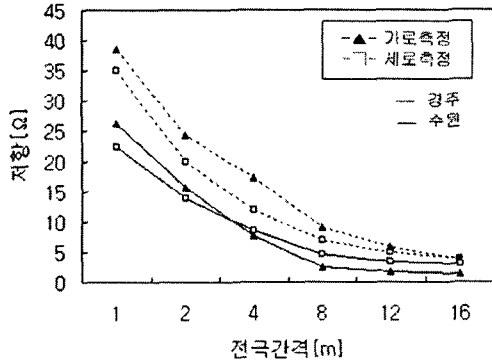


그림 4. 현장측정 저항치 비교

3.2. 대지저항률 분석

점지 해석 프로그램(CDEGS; Current Distribution, Electromagnetic Interference, Grounding and Soil Structure)의 저항률 측정 분석(RESAP; Resistivity Measurement analysis)모듈을 이용하여 대지저항률을 계산하였다.

경주와 수원의 토양에 대하여 모의한 결과는 측정저항치를 토대로 하여 그림5의 대지 저항률 분포를 구할 수 있었다. 그림 5에서와 같이 경주는 대략적으로 2층 구조임을 확인할 수 있었고, 수원의 경우 대지저항률의 오차범위가 큰 것으로 나타났다. 이는 가로측정치와 세로측정치 외에 대각선 방향 등 다양한 측정이 요구됨을 알 수 있다. 그러나 저항률 측정 분석 모듈을 통해 2층 구조 보다는 3층구조가 오차율이 더 적은 것을 알 수 있었으며, 본 논문에서는 3층 구조로 해석하였다. 수원은 중간층의 높은 대지저항률로 인해 경주보다 대지저항률 변동폭이 크나 지층의 두께가 얇아 크게 영향을 미치지 않은 것으로 나타났다. 따라서 이를 통해 대지저항률은 경주가 수원보다 높은 것을 알 수 있었다.

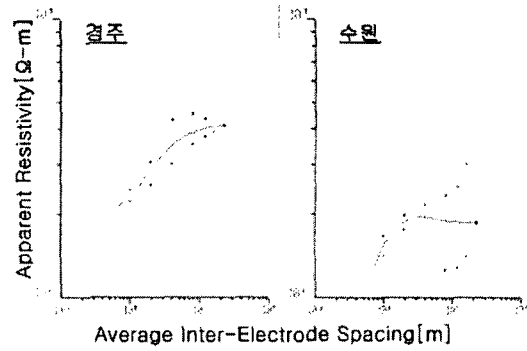


그림 5. 측정 거리에 따른 대지 저항률

표 2는 각 지역의 대지저항률에 따른 지층을 분석한 것으로 상층의 대지면은 경주가 200.43[Ω-m]이고 지층의 두께는 0.9818[m]로 나타났다. 반면, 수원은 대지저항률이 78.66[Ω-m], 지층의 두께는 0.4356[m]로서 대지저항률은 경주가 수원보다 약 120[Ω-m] 정도 높고 두께는 약 0.55[m] 정도 차이가 나는 것으로 나타났다. 이를 통해 일반적인 상황에서는 경주의 지층구조는 2층 구조로 되어 있고 수원은 3층 구조로 되어 있는 것을 알 수 있으며 경주의 대지저항률과 지층의 두께가 수원보다 큰 것으로 해석할 수 있었다.

표 2. 각 지역의 대지저항률에 따른 지층분석

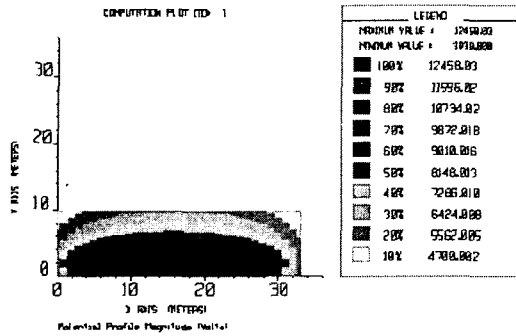
지역 Layer	경주(2층구조)		수원(3층구조)	
	대지저항률 [Ω-m]	지층두께 [m]	대지저항률 [Ω-m]	지층두께 [m]
Top	200.43	0.9818	78.66	0.4356
Middle	-	-	584.13	0.29
Bottom	416.19	infinite	184.54	infinite

3.3. 봉 및 메쉬접지 시공시 특성 비교

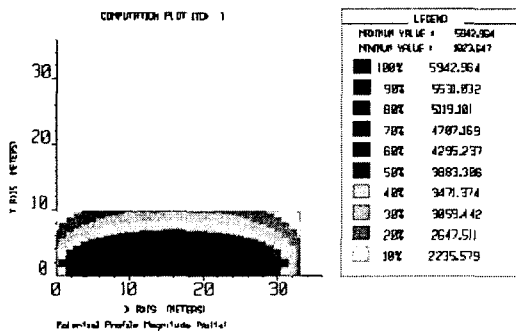
3.3.1 지표면 전위 상승분포 분석

경주와 수원에 각각 봉 및 메쉬접지를 시공했을때 특성을 비교분석하고자 점지 해석 프로그램(CDEGS; Current Distribution, Electromagnetic Interference, Grounding and Soil Structure)의 접지설계(MALT; Low Frequency Grounding) 모듈을 사용하였다. 봉접지를 설계한후 1000[A]를 흘려주었을때 지표면 전위 상승분포는 그림6과 같았다. 경주에서는 봉이 박혀있는 위치에서의 전위가 약 12[kV]로 높았고 수원의 경우는 약 6[kV] 정도로 경주보다는 낮았다. 메쉬로 설계했을 때도 그림

9와 같이 봉첩지시스템과 비슷한 전압 분포를 나타내었다. 설계는 동일하게 하고 경주와 수원의 대지저항률만 각각 설정해주었으므로 대지저항률이 지표면 전위상승 분포에 영향을 미침을 알 수 있었다.

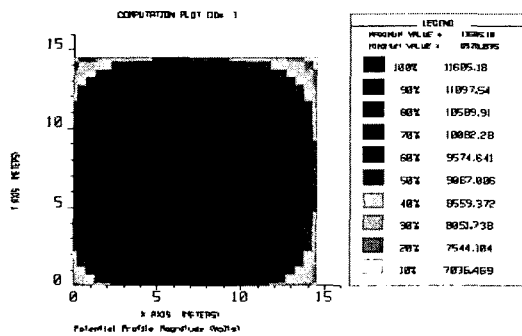


(a) 경주

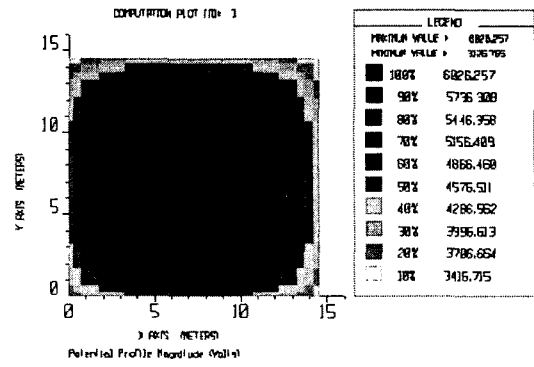


(b) 수원

그림 6. 일반봉 병렬접지시 지표면 전위분포



(a) 경주

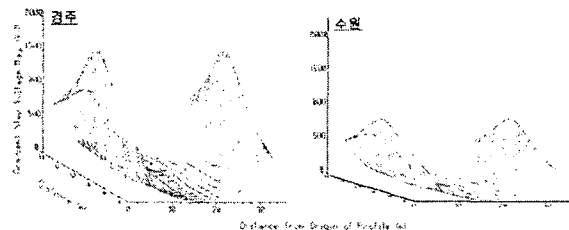


(b) 수원

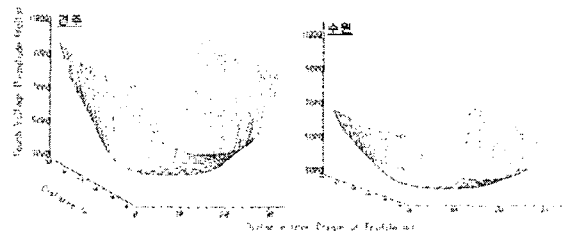
그림 7. 메쉬접지시 지표면 전위분포-수원

3.3.2 보폭전압과 접촉전압 분석

그림 8의 (a)와 (b)는 각 지역에서의 봉 병렬접지시 보폭전압과 접촉전압 나타낸 것이다. 보폭전압에 의한 영향은 경주가 수원에 비해 약 2~3배 정도 큼을 보여준다. 이는 대지저항률의 크기에 비례하는 것으로, 일반봉 병렬 접지에서 가장 끝에 있는 봉전극에서의 보폭전압과 접촉전압이 가장 높아 감전사고의 위험이 커질 우려가 있는 것으로 나타났다. 그러나 수원지역의 경우 경주지역보다 보폭전압에 의한 감전 위험성이 상대적으로 적은 것으로 나타났다.



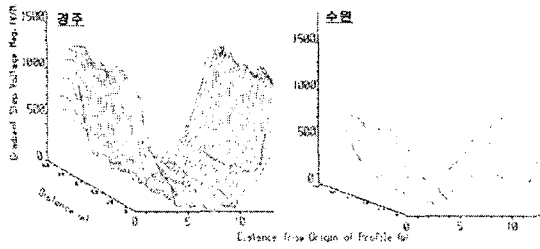
(a) 보폭전압



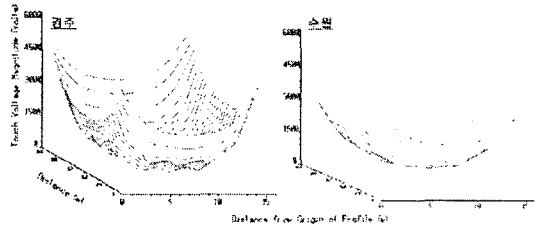
(b) 접촉전압

그림 8. 봉 병렬접지에서의 감전 위험성

그림 9는 메쉬접지에 의한 보폭전압과 접촉전압을 나타낸 것으로 메쉬 면적만큼의 전압 분포가 넓어진 것 외에는 일반봉 병렬접지시와 같은 양상을 나타내었다.



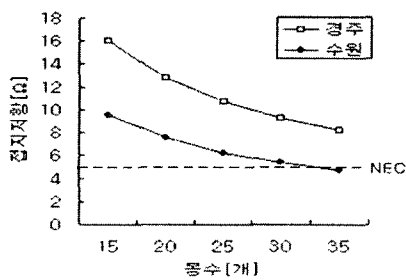
(a) 보폭전압



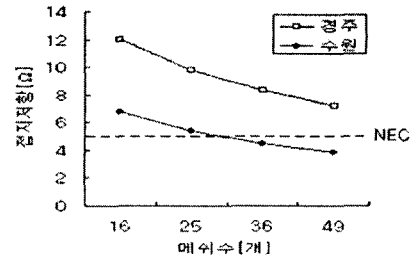
(b) 접촉전압

그림 9. 메쉬접지에서의 감전 위험성

접지저항값은 그림 10과 같다. 봉과 메쉬수를 증가시켰을 경우 접지저항값은 낮아지는 것을 보여준다. 15개 병렬 봉접지시 경주와 수원은 각각 16[Ω], 9.5[Ω]이고 메쉬접지시 각각 12[Ω], 6.8[Ω]을 나타내었다. 그러나 봉이나 메쉬수가 증가 할수록 대지저항률이 낮은 수원의 경우는 미국전기규정(NEC)가 권고하고 있는 5[Ω]에 빨리 도달함으로써 높은 접지설계 효과를 볼 수 있었다. 접지저항값은 대지저항률과 밀접한 관계를 가지고 있으며 일반적으로 봉 병렬접지 방식보다 메쉬접지 방식이 낮은 접지 저항치를 나타낸다. 그러나 접지 설계시 비용이나 시간, 노동력등을 감안한 경제적 설계에 있어서 메쉬 접지보다는 일반봉 병렬접지방식이 많이 사용되어지고 있다. 특히, 대지저항률이 낮게 측정되는 지역에서의 경제적 접지방식과 전기안전을 고려한 설계가 요구된다.



(a) 봉 증가시



(b) 메쉬 증가시

그림 10. 봉과 메쉬의 증가에 따른 접지저항

3. 결론

경주와 수원의 실측 데이터를 바탕으로 접지 해석 프로그램(CDEGS; Current Distribution, Electromagnetic Interference, Grounding and Soil Structure, Canada)에 의한 대지저항률과 대지의 지층구조를 분석하고, 각 모델에 따른 봉 병렬접지와 메쉬접지 방식을 비교함으로써 접지저항, 보폭전압, 접촉전압, 지표면 상승전위 등 설비 및 감전 위험성을 평가하였다.

본 논문을 통해 접지시공에 있어서의 경제적 절감효과와 설비 및 감전 위험성 평가를 통한 전기안전 설계의 중요성이 큼을 확인할 수 있었다. 따라서, 향후 많은 지역의 지질 특성을 고려한 자료의 축적과 해석을 통해 접지설계의 적정성을 평가할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구는 산업자원부(MOCIE) 전력산업기반기금의 지원으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- (1) IEEE Std. 80, IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding, 1986
- (2) 신동호, 김용, 백수현, 이은영, 김필수, 조대훈, "3가지 접지방식에 대한 접지특성비교", 대한전기학회논문지, 49A, 6호, pp.289-297, 2000.6
- (3) 이재화, 장덕근, 전재근, 노영수, 광희로, "CDECS를 이용한 가로등의 접지특성에 관한 연구", 대한전기학회 추계학술대회, pp214-216, 2003.10
- (4) 高橋健彦, 접지설계입문, 동원출판사, 1993.5