

3가지 접지방식에 대한 접지특성비교

The Comparison on Grounding Characteristics for 3 Grounding Systems

申 東 鎬* · 金 龍** · 白 壽 鉉** · 李 殷 榮*** · 金 必 洙§ · 趙 大 勳§§

(Dong-Ho Shin · Yong Kim · Soo-Hyun Baek · Eun-Young Lee · Pill-Soo Kim · Dae-Hoon Cho)

Abstract - This paper presents a comparison on the resistance and characteristics of transient response of grounding systems under surge currents using frequency domain electromagnetic field analysis software package and field test. Analysis is done by computer model, based on electromagnetic field theory approach, that accurately takes into account frequency dependent characteristics of the system. The transient performance of three grounding systems is analyzed by comparison of frequency dependent impedance and the maximal transient GPR. A double exponential lighting surge current is injected at one corner of the grounding systems. The transient GPRs of rod grounding systems are higher than mesh or electrolytic grounding systems. At field test, the result of resistance measurement and time-variant of ground resistance slightly reduce electrolytic grounding systems less than rod and mesh grounding systems.

Key Words : rod grounding systems, mesh grounding systems, electrolytic grounding systems, Transient GPR

1. 서 론

최근 디지털 통신장비와 전자기기의 사용이 급증하면서 접지계에 대한 관심이 증대되었다. 특히 산업설비의 자동화, 네트워크화, 건축물의 IBS(Intelligent building system)화 등 여러 설비가 밀집되어 복합적으로 구성됨에 따라 고주파 노이즈 및 각종 서지전류는 장비의 보호 및 시스템의 유지에 큰 지장을 초래하게 되었다. 따라서 접지시스템은 종래의 접지저항, 접촉 및 보폭전압과 더불어 고주파 및 뇌서지가 유입될 때의 과도응답특성 즉, 접지임피던스까지도 고려하여 설계되어야 한다.[1-4]

전력선, 신호·제어선 및 접지선 등 다양한 경로를 통해 침입하는 서지전류에 대하여 컴퓨터, 통신설비들을 보호하기 위해서는 뇌서지 차단장치가 효과적이지만, 뇌서지 차단장치도 기본적으로는 접지되어야 하므로 서지전류에 대하여 우수한 접지성능을 갖도록 접지시스템을 설계 및 시공하는 것이 장비보호에 필수적이다. 선진국에서는 이미 토양, 기후 및 임피던스를 고려한 접지방식이 연구되어 적용하고 있으나, 국내의 경우 아직까지 접지임피던스에 대한 이해와 지식이 부족할 뿐 아니라, 과학적인 접지설계 및 분석에 의한 시공보다는 단순히 접지저항값을 만족하도록 시공하는 실정에 있다. 따라서, 디지털·전자기기의 보호와 시스템의 안전한 운용을 위해서는 접지방식에 대한 정상 및 과도응답특성의 분석이 필요로 되며, 접지설계에 따른 정확한 시공과 접지성능의 유지도 필수적으로 요구된다.[4-8]

이러한 동향에 따라 본 연구에서는 동일 대지저항률(표토층:215.2[Ω.m], 심층:99.8[Ω.m])을 갖는 대지에 대해 현장에서 주로 사용되는 일반동봉전극, 메쉬접지와 더불어 전해질 접지극(Electrolytic Rod)을 선정하여 접지시스템을 설계하고 각 접지방식별 과도응답특성을 연구하였다. 비교의 정확성을 위해 시공직후 및 단기간에 따른 접지저항변화를 시뮬레이션과 더불어 현장실측하고 이를 분석하여 접지방식별 성능을 고찰하였다.

2. 대지저항률 및 접지시스템 설계

2.1 대지저항률 측정

접지설계 및 성능에 가장 큰 영향을 미치는 지질의 구조와 대지파라미터에 대한 분석은 대지저항률의 측정이 선행되어야 한다. 대지저항률의 측정은 지중의 온도와 습도등과 같은 대지 파라미터를 고려한 IEEE 규정의 4점 웨너 전극법을 사용하며 부지내에서 "+" 자 형태로 측정방향을 다르게 하여, 그림 1과 같이 2번 측정하였으며, 표 1은 대지저항률의 측정 간격과 측정 데이터를 나타낸다.[9-11]

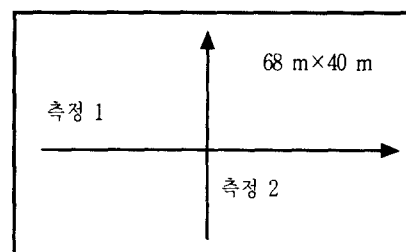


그림 1 측정선 배열 수평탐사

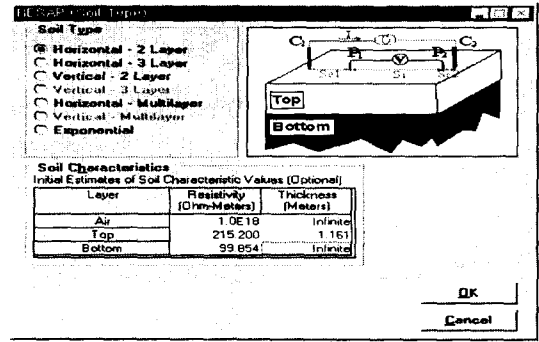
Fig. 1 Measurement traverses-horizontal sounding

* 准 會 員 : 東國大 工大 電氣工學科 碩士卒業
 ** 正 會 員 : 東國大 工大 電氣工學科 副教授 · 工博
 *** 正 會 員 : 東國大 工大 電氣工學科 博士課程
 § 正 會 員 : 大林大學 自動車科 助教授 · 工博
 §§ 正 會 員 : 한국 XIT(주) 研究開發部 次長
 接受日子 : 2000年 3月 16日
 最終完了 : 2000年 5月 18日

표 1 대지저항률 측정 데이터

Table 1 Measured data of resistivity

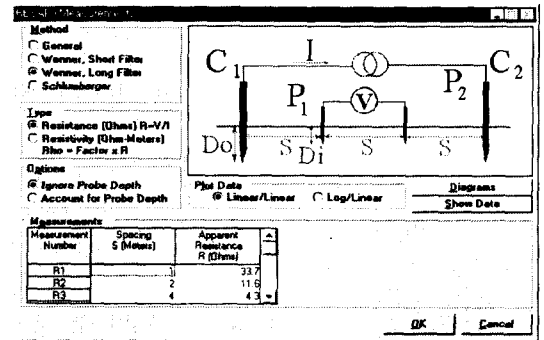
전극간격 a [m]	측정 1		측정 2	
	저항 [Ω]	ρ [$\Omega \cdot m$]	저항 [Ω]	ρ [$\Omega \cdot m$]
1	33.7	211.6	32.1	201.6
2	11.6	145.7	12.2	153.2
4	4.3	108.0	3.7	92.9
8	2.4	120.6	2.0	100.5
12	1.5	113.0	1.6	120.6
16	1.3	130.6	1.4	140.7
확인사항	측정일자 : 1999. 3.		측정장비 : AEMC 4500	



(a) 토양구조의 결정

2.2 대지저항률 분석

본 논문에서는 접지 전용프로그램인 CDEGS(Current Distribution, Electromagnetic and soil structure analysis)중 RESAP(Resistivity Measurement analysis)모듈을 이용하여 토양을 모델링하였다. 그림 2는 표 1을 ρ -a 곡선으로 나타낸 것으로 그림으로부터 대략 2층 구조의 토양임을 알 수 있다. 따라서 토양모델을 수평 2층 구조로 선택하여 시뮬레이션하였다. 그림 3은 시뮬레이션과정, 표 2는 분석된 토양 모델의 파라미터를 나타낸다.



(b) 측정 데이터 입력

그림 3 대지저항률 분석

Fig. 3 Analysis of resistivity

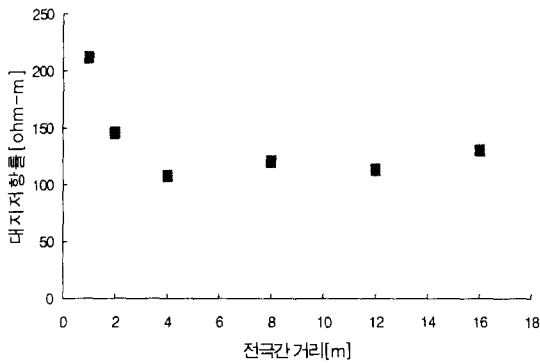


그림 2 대지저항률 측정 곡선

Fig. 2 Measured resistivity curve

표 2 대지저항률 분석결과

Table 2 Analysis result of resistivity

Layer Number	Resistivity ($\Omega \cdot m$)	Thickness (meters)
1 (표토층)	215.20	1.162
2 (심층)	99.854	∞

2.3 접지시스템 설계

CDEGS프로그램을 사용하여 수평 2 층으로 모델링된 토양에 대해 일반봉, 매쉬, 전해질 접지극을 선정하여 접지 시스템을 설계하였다. 비교를 위해 세 가지 접지방식의 요구접지저항을 5[Ω]이하가 되도록 설정하였으며 오른쪽 가장 자리에 1 [kA]의 고장전류를 인가하여 반복 설계하였다.

2.3.1 일반봉 접지방식(Driven rod)의 설계

일반봉 접지방식은 여러 형상으로 설계가 가능하며 접지 저항 계산식은 식(1)과 같다.

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{4L}{r} - 1 \quad (1)$$

여기서 ρ 는 대지저항률, L 은 접지봉의 길이, r 은 봉의 반경이다. N 개의 봉을 병렬 접지한 경우의 합성저항 R_0 는 식(2)와 같다.

$$R_0 = \eta \frac{R}{N} \quad (2)$$

여기서, η 는 집합계수로 대지저항률과 무관한 특성을 지니며, 봉간의 간격이 커지면 병렬효과가 나타나 η 가 작아진다. 이 방식은 주로 시공면적이 넓고 대지저항률이 낮은 지

역에서 좋은 성능을 발휘하며, 타 접지방식과의 연계성이 좋은 장점이 있다. 상층의 대지저항률이 낮고 하층의 대지저항률이 높은 경우에는 일반봉 전극의 타설깊이를 알게 하여 여러 개를 병렬로 하는 것이 효과적이다. 그러나 접지설계에서 일반봉 전극은 다 지층 구조의 특성을 충분히 활용할 수 없으므로 동봉만으로는 요구접지저항을 만족하는 설계가 거의 불가능한 경우가 빈번하다. 특히 산악이나 암반에서는 시공 자체가 불가능하고 마사토같이 대지저항률이 높은 토양에서는 전극의 수를 증가시켜도 요구접지저항치를 얻을 수 없는 단점을 지니고 있다. 또한 도심 밀집지같은 곳에서는 접지공사 면적의 한계로 인해 원하는 접지저항치를 얻기가 어려운 단점도 있다.

일반봉의 재질로 동 도급 및 동 피복된 전극을 사용하기 때문에 지층의 토양과 접하면서 온도, 습도 및 전식의 영향을 받아 부식에 따른 접지저항치의 상승을 초래할 수 있고, 봉의 수명이 짧아 시간경과후 보수나 재시공이 필요하다. 따라서 일반봉 접지방식은 타 접지방식과 연계해서 시공하거나 혹은 저감제와 병행하여 접지저항을 낮추어야 하며 부식방지에 대한 조치가 필요로 된다. 이러한 특성상 정밀하고 안정을 요하는 장비보다는 범용장비에 적합하며 또한 병렬접지 시공에서는 전위가 중첩되어 간섭하는 문제가 있으므로 이를 고려해서 시공해야 한다. 일반봉의 병렬접지 저항계산은 식(2)를 이용하였으며, 동봉이 늘어나면 수작업에 의한 계산이 곤란하므로 접지전용프로그램인 CDEGS 프로그램을 이용하여 설계하였다. 표 3은 설계 파라미터를 나타내며 그림 4는 일반봉 접지방식의 설계구조를 나타낸다. 이 방식에 대한 시뮬레이션 결과 접지저항은 4.35[Ω]이며 지표면의 전위상승 분포는 그림 5와 같다. 또한 그림 6은 지표면에 대한 전위경도를 나타낸다.

표 3 설계 조건

Table 3 Stipulation for design

접지봉 모델	2.4 m / 18 mm
접지 방식	15개 병렬접지
이격 거리	2.5 m
접지리드선	1 m
연결접지선	100 mm 나동선

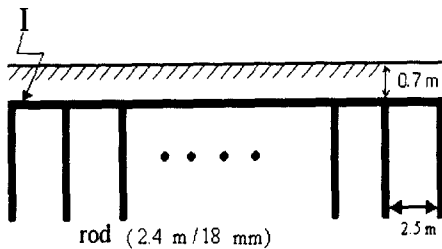


그림 4 일반봉 접지방식의 구조
Fig. 4 Structure of rod grounding system

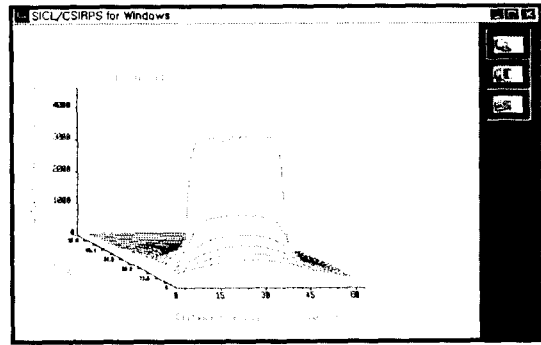


그림 5 지표면 전위상승
Fig. 5 Earth Surface potential rise

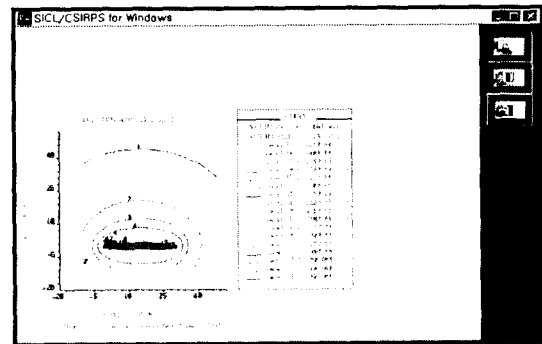


그림 6 지표면 전위분포
Fig. 6 Earth Surface Potential magnitude

2.3.2 메쉬 접지방식(Mesh Grounding)의 설계

메쉬접지는 주로 건물의 바닥 접지, 등전위 및 기준전위를 필요로 하는 컴퓨터 관련설비 및 병원에 널리 사용되며 포설 특성상 낮은 접촉전압이나 보폭전압을 얻기가 용이하므로 인명의 안전이 우선시되는 대형 플랜트나 발전소, 변전소 등의 접지에 필수적이다. 접지저항의 계산에는 식(3)의 Schwarz식이 널리 이용된다.

$$R = \frac{\rho}{\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a'} + K_1 \frac{L}{\sqrt{A}} - K_2 \right) \quad (3)$$

- 여기서, L : 접지선의 전체길이, $a' = \sqrt{2rt}$
- r : 접지선의 반지름, t : 매설 깊이
- A : 그물모양 전극의 면적
- K_1, K_2 : 전장, 가로폭, 매설깊이에 따른 상수

메쉬접지의 특성상 넓은 면적에 시공해야 하므로 접지방포설에 따른 면적의 확보가 필요로 되지만 온도, 습도의 영향이 비교적 적고 낮은 접지저항값을 얻기가 용이한 장점을 지닌다. 그러나 넓은 면적에 포설함으로써 인해 매설깊이가 증가할 경우 시공상의 어려움이 따르고 사후에 접지시스템 위에 건물이 시공되기 때문에 최초 작업시 정확한 시공이 필요하다. 또한 지표면에 가까운 지층의 대지저항률이 높을

때 아무리 조밀하게 포설하여도 원하는 접지저항값을 얻기 곤란하므로 다지층 구조의 특성을 활용할 수 있도록 일반 동봉과 연계하거나 나동선 주위에 저감제를 포설하여 메쉬 접지로 보폭 및 접촉전압을 확보하는 동시에 낮은 접지저항치를 얻도록 시공되고 있다. 특히 산악지역에 시공할 경우 암반지역이 많으므로 메쉬접지와 심타접지를 연계하여 하부 지층을 활용하는 방법이 많이 이용되고 있다. 또한 접지망과 접지 리이드선의 연결위치 즉 서지전류의 유입점의 위치에 따라 전위상승 및 과도임피던스 특성이 다르므로 이를 고려하여 설계 시공하여야 한다.

CDEGS프로그램중 Ground grid analysis 모듈을 사용하여 접지시스템에 고장전류 1[kA]가 주입될 때 접지저항값이 5[Ω]이하가 되도록 반복 설계하여 표 4와 같은 설계조건을 구하였다. 그림 7은 접지시스템의 구조, 그림 8과 9는 지표면 전위분포특성과 전위경도를 나타내며, 접지저항은 4.241[Ω]이다.

표 4 설계 조건

Table 4 Stipulation for design

접지망 면적	24 m × 24 m
접지 도체 간격	3.5 m
매설 깊이	0.7 m
접지선	100 mm ² 나동선

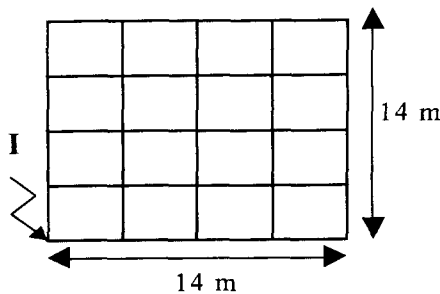


그림 7 메쉬 접지방식의 구조

Fig. 7 Structure of mesh grounding system

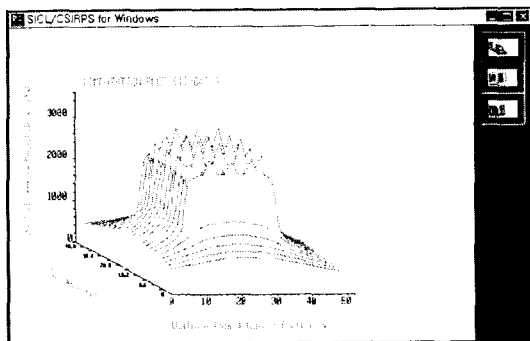


그림 8 지표면 전위상승

Fig. 8 Earth Surface potential rise

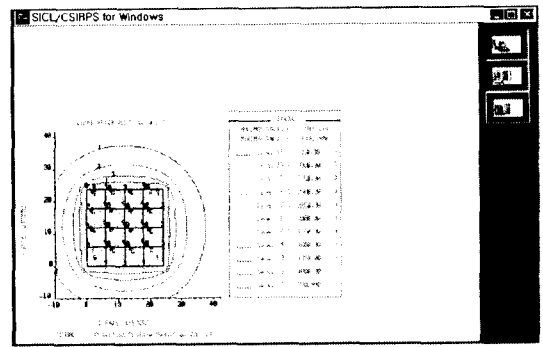


그림 9 지표면 전위상승

Fig. 9 Earth Surface potential rise

2.3.3 전해질 접지방식(Electrolytic Grounding)의 설계

일종의 심타접지방식으로 지반을 천공하여 파이프 형태의 동봉(직경 54mm, 두께 2.11T)을 매입하고, 동봉 주위에 저감제(Lynconite)를 채워 접지하는 방식이다.[14]

길이별로 3, 6, 9, 12m가 있으며 형태별로 직선봉과 L형봉이 있다. 파이프형 봉 내부는 전해질로 채워지고, 외부에는 저감제를 붓에 완전 밀착시켜 부식을 방지하며 성능을 더욱 안정하게 유지하도록 한다. 기존의 봉 접지극과는 달리 전해질 접지극은 봉 상부 및 하부의 순환구멍(Breather hole)을 통하여 대기압의 변화와 공기의 순환에 따라 공기로부터 수분을 공급받게 되므로 일정한 수분을 유지한다. 공기중에 포함된 습기가 접지봉 내부의 전해질과 반응하여 도전성 용액을 생성하게 되고 삼투압작용으로 인하여 주위 토양에 방출하게 된다. 이로 인해 전해질 뿌리가 생성되어 접지전극과 토양 사이의 전기저항을 감소시켜 주는 역할을 한다. 그 결과 시간이 경과됨에 따라 주위는 전해질 수분이 지속적으로 공급되어 더 낮은 접지저항을 유지한다. 이러한 파이프형 전해질 봉의 특성상 암반이나 마사토와 같이 낮은 접지저항치를 얻기 어려운 곳에서 탁월한 성능을 발휘하며, 낮은 접지저항이 요구되는 통신 접지에 매우 유리하다.

접지시스템 설계시 저감제의 영향을 고려하기 위해 저감제의 저항률을 $\rho = 0.025[\Omega \cdot m]$, 두께(t) = 0.048[m]로 설정하여 접지저항을 계산하였다. 고장전류를 1[kA]로 가정하여 반복 설계한 결과 표 5와 같은 설계조건을 구하였으며, 그 구조는 그림 10과 같다. 접지저항은 4.242[Ω]이며, 지표면 전위분포 및 전위경도는 그림 11, 12와 같다.

표 5 설계 조건

Table 5 Stipulation for design

접지봉 모델	12 m / 54 mm
접지 방식	2 개 병렬접지
이격 거리	15 m
접지선	100 mm ² 나동선

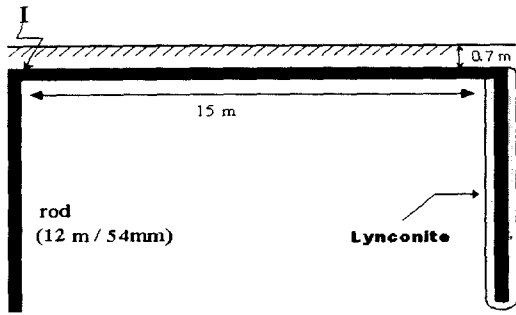


그림 10 전해질 접지방식의 구조
Fig. 10 Structure of electrolytic grounding system

체 또는 용량성 리액턴스의 성질을 나타내기 시작하므로 접지시스템의 응답특성은 저주파일 때와는 매우 다른 양상을 보이게 된다. 그 외에도 접지도체를 통하여 누설되는 전류가 한계치보다 큰 경우 토양내 방전현상이 발생하여 또 다른 양상으로 진행되기도 한다. 본 시뮬레이션에서는 이러한 접지시스템의 과도특성분석을 위하여 CDEGS프로그램중 HIFREQ모듈을 활용하여 접지방식별 주파수에 따른 임피던스 특성을 분석하였다.[4-7]

3.1 접지 임피던스 특성

수평 2 지층구조로 분석된 토양모델을 적용하여 단위전류 (1+j0.0)A를 FFT연산에 의해 0[Hz]로부터 1.7[MHz]까지의 주파수영역으로 변환하여 주파수에 따른 접지임피던스 특성을 비교하였다.

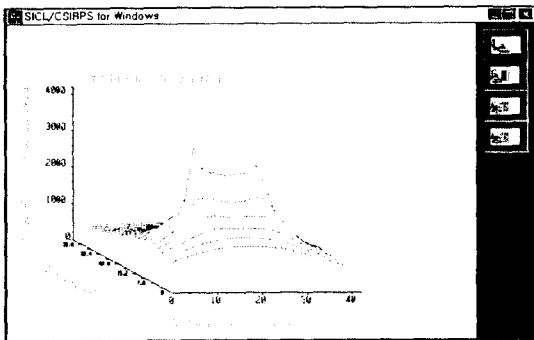
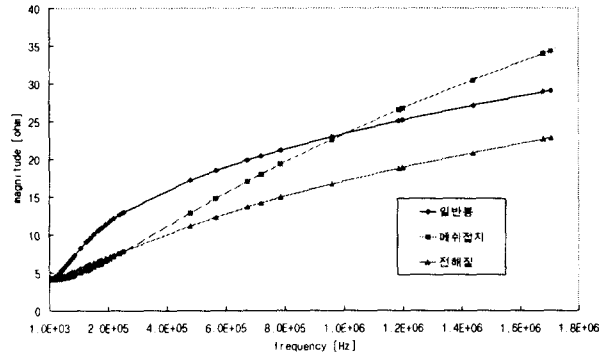


그림 11 지표면 전위상승
Fig. 11 Earth Surface potential rise



(a) 접지 임피던스 크기

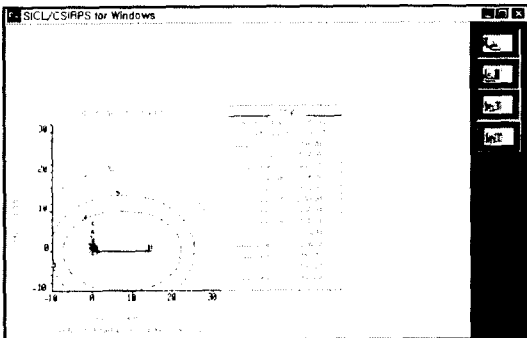
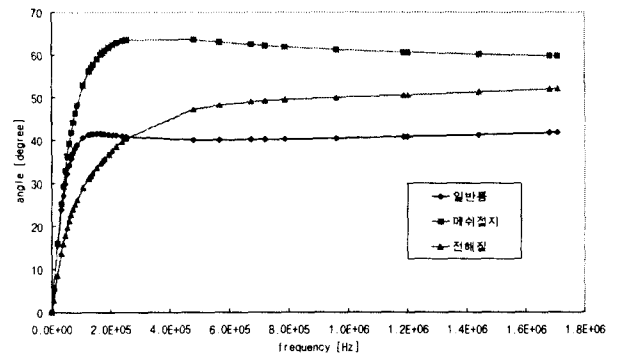


그림 12 지표면 전위상승
Fig. 12 Earth Surface potential rise



(b) 접지 임피던스 위상

그림 13 접지방식의 주파수 응답 특성
Fig. 13 Frequency response of grounding system

3. 주파수에 따른 접지 특성

상용주파수의 접지전류, 즉 접지도체를 통하여 대지로 누설되는 저 주파수의 전류는 전도전류 성분이 지배적이며 토양은 일정한 도전율을 갖는 저항체로 간주될 수 있다. 또한 접지도체의 임피던스에 의한 전압강하는 접지전위상승에 비하여 매우 작으므로 접지망 전체는 동일한 전위를 갖는다고 가정할 수 있다. 그러나 주파수가 상승하면 접지도체의 유도성 리액턴스성분의 영향이 증가하게 되고, 토양은 유사도

그림 13은 주파수별 접지 임피던스의 특성을 나타내며, 계산시간의 단축을 위해 전체 주파수 응답중 21개 대역의 주파수를 샘플링하여 분석하였다. 그림 14~19로부터 kHz와 MHz의 주파수 성분을 가진 서지전류가 흐를 때, 지표면의 전위상승(surfaces potential rise)이 주파수 특성에 크게 의존하며 전류 유입점에서의 전위상승이 급격하게 발생함을 확인하였다. 특히 고주파를 갖는 서지전류일수록 접지시스템 유입점에서의 전위상승에 미치는 영향이 크지만 유입점

을 제외한 접지시스템 전체에는 영향이 비교적 적으며, 세 가지방식중 전해질 접지시스템이 고주파 전류에 대해 지표면 전위상승이 가장 낮음을 확인하였다.

3.2 상용주파수와 고주파에서의 접지전위분포

접지시스템의 한 지점에 서지전류가 유입될 때, 유입전류의 주파수에 따라 지표면의 접지전위 상승치는 크게 변화된다. 그림 14, 16, 18은 60[Hz]에서의 접지전위상승을 나타내며 그림 15, 17, 19는 0.96[MHz]에서의 전위상승을 나타낸다. 상용주파수인 경우 전류가 유입되는 지점에서 전위상승이 높고 전체적인 범위에서 전위가 비교적 낮게 상승함을 알 수 있다. 그러나 고주파의 경우는 전류 유입점 근처에서 매우 높은 전위상승을 나타내고 반면에 다른 부분에서는 평탄하고 비교적 높은 전위분포를 나타낸다. 결과적으로 접지시스템에 고주파 전류가 유입될 때는 접지전극 전체의 접지 임피던스는 상승하고 접지전류는 유입되는 접지전극 주위에 순간적으로 집중됨을 알 수 있다.

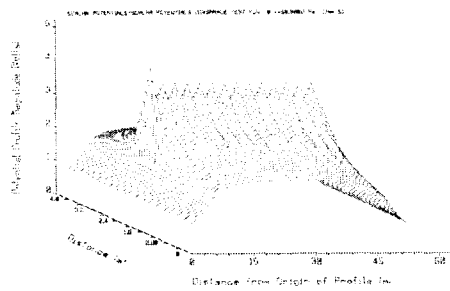


그림 14 지표면 전위상승, 60Hz(일반봉)
Fig. 14 Earth Surface potential rise at 60Hz(Rod)

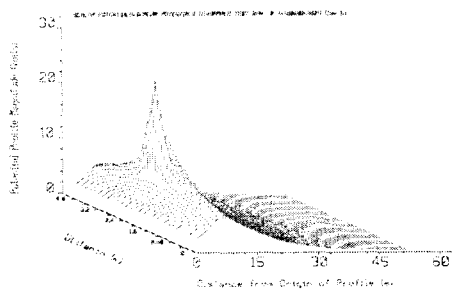


그림 15 지표면 전위상승, 0.96 MHz (일반봉)
Fig. 15 Earth Surface potential rise at 0.96 MHz (Rod)

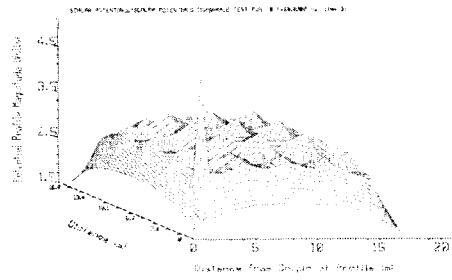


그림 16 지표면 전위상승, 60Hz (메쉬접지)
Fig. 16 Earth Surface potential rise at 60Hz(Mesh)

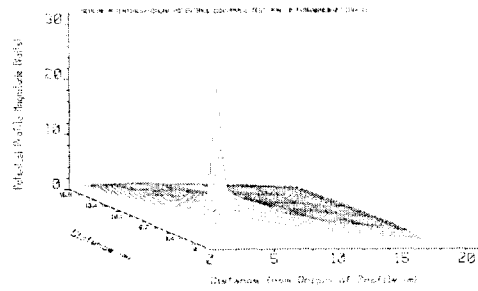


그림 17 지표면 전위상승, 0.96 MHz (메쉬접지)
Fig. 17 Earth Surface potential rise at 0.96 MHz (Mesh)

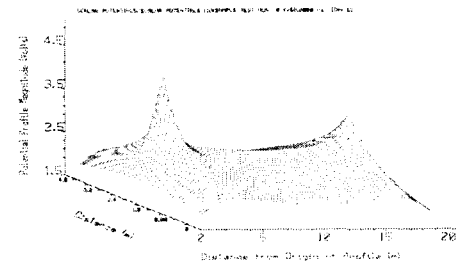


그림 18 지표면 전위상승, 60Hz (전해질)
Fig. 18 Earth Surface potential rise at 60Hz(Electrolytic)

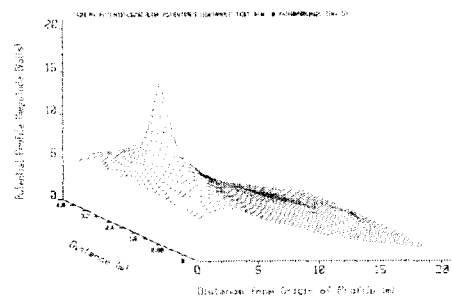


그림 19 지표면 전위상승, 0.96 MHz (전해질)
Fig. 19 Earth Surface potential rise at 0.96MHz (Electrolytic)

3.3 임펄스 전류에 대한 전위상승 특성

상층 215.2 [$\Omega \cdot m$], 하층 99.854 [$\Omega \cdot m$], 두께 1.161[m]의 수평 2층 구조로 모델링된 토양에 대해 오른쪽 가장자리에 임펄스 전류를 인가하는 경우 유입점에서의 접지방식별 전위상승정도를 분석하였다. 임펄스 전류파형으로는 뇌서지가 급준한 대전류, 진행파이므로 극한조건을 갖도록 이중 지수함수파형 즉, 식(4)와 같은 이중 지수함수를 사용하였다. 인가 전류파형은 그림 20과 같다.^{[11][14]}

$$I(t) = 9000 (e^{-4 \cdot 10^4 t} - e^{-3 \cdot 10^4 t}) + 115 (e^{-1 \cdot 10^4 t} - e^{-2.2 \cdot 10^4 t}) \quad (4)$$

뇌 임펄스 서지파형은 최대전류 8.4 [kA], 이 때의 시간 1.4 [μs], 최대 전류값의 1/2로 될 때의 시간 17 [μs], 펄스지속시간(T_d)은 0.47 [ms]이다. 세 가지 접지시스템의 각 유입점마다 동일하게 서지전류를 인가하여 순간 전위상승특성을 비교하였다. 그림 21은 CDEGS프로그램을 이용하여 서지전류에 포함된 대표적인 36개의 주파수를 선정하고 각 주파수별 임피던스 $Z(\omega)$ 를 계산한 뒤 이들을 푸리에 역변환을 통해 합성한 시간영역에서의 접지전위상승(Ground Potential Rise : GPR)을 나타낸다.

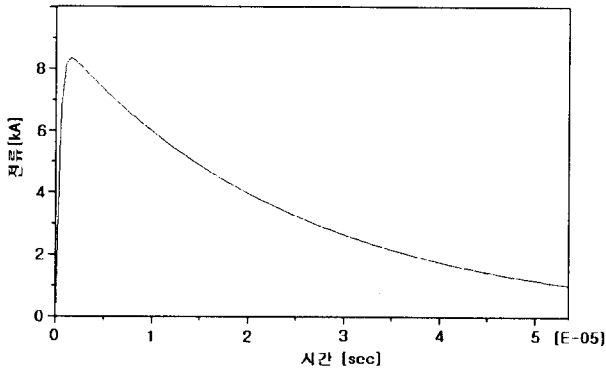


그림 20 임펄스 전류 파형
Fig. 20 Impulse current waveform

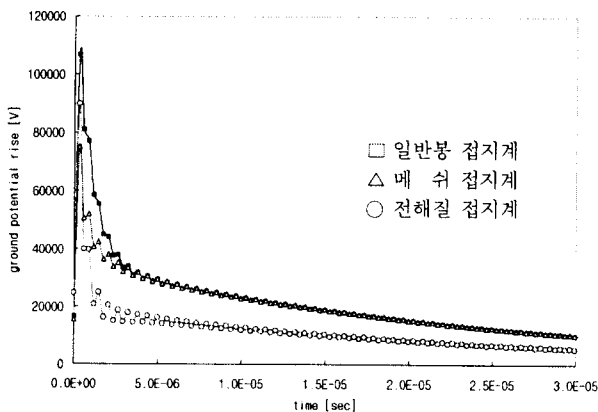


그림 21 접지극 전위상승
Fig. 21 Ground potential rise

서지임피던스는 급준파인 서지전류와 접지극에서 발생하는 순간 전위상승의 비를 나타내는데 이는 접지방식의 과도성능을 나타내는 파라미터가 된다. 표 6은 세 가지 접지방식에 대한 서지임피던스와 접지저항값을 비교한 것이다. 접지방식별 전위상승특성과 임펄스 임피던스특성을 비교한 결과 접지극에서의 순간전위상승 및 서지임피던스 값은 일반봉 접지방식이 가장 높으며 전해질 접지시스템이 가장 낮음을 확인하였다. 또한 분석결과로부터 접지방식의 접지저항이 낮다 하더라도 GPR 및 서지임피던스를 저감하기 위해서는 주 접지방과 별도로 전류 유입점에 보조 접지방을 부가해야 함을 확인할 수 있었다.

표 6 서지 임피던스
Table 6 Surge impedance

저항치 / 구분	V_{max}	서지 임피던스	접지저항
일반봉접지계	106825.1 V	12.77 Ω	4.26 Ω
매쉬접지계	89467.9 V	10.70 Ω	4.08 Ω
전해질접지계	75170.2 V	8.99 Ω	4.11 Ω

4. 실측결과 및 고찰

4.1 시험시공에 의한 접지저항의 측정 및 분석

각각의 접지방식을 시험시공한후 접지저항값을 측정하였다.(3/20시공 6/20측정 9/20측정) 일반봉 접지방식은 0.7[m] 깊이의 터를 파고 2.4[m]/18[mm]의 동봉 15개를 2.5[m] 거리로 이격하여 병렬로 타설하고, 100[mm] 나동선을 발열용접하여 시공하였다. 매쉬 접지방식의 시공은 100[mm] 나동선을 면적(14m×14m), 등간격 3.5[m]로 사각형으로 포설하여 발열용접으로 접속하여 시공하였다.

전해질 접지시스템은 천공장비를 이용하여 지반을 천공한 후 12[m]/54[mm]전해질 봉 2개를 15[m]로 이격하여 매입하였으며 100[mm] 나동선으로 발열용접하여 시공하였다. 접지저항의 측정은 3점 전위차 측정법을 이용하여 디지털측정기(128Hz)로 측정하였다. 시공직후 측정한 접지방식 각각에 대한 접지저항치를 표 7에 나타내었다.

표 7 접지저항 측정값
Table 7 Measured value of resistance

구분 / 일자	일반봉	매쉬접지	전해질접지
시공 직후 (3월20일)	4.8 Ω	4.7 Ω	4.7 Ω

4.2 시간경과에 따른 접지저항 측정비교

시간경과에 따른 접지저항의 변화를 분석하기 위하여 시험 시공한 접지방식 각각에 대하여 3개월 주기로 접지저항을 측정하였다. 연구기간의 제한으로 인해 비교적 단기간이

라 할 수 있는 약 6개월간 접지저항의 변동특성만을 측정할 수 있었다. 그림 22는 일반봉, 메쉬, 전해질 접지시스템에 대해 시험시공부터 6개월 경과 후까지를 측정하여 나타낸 것으로 전해질 접지방식의 경우 시간경과에 따른 접지저항성능이 가장 우수함을 확인하였으며 일반봉 접지방식의 경우 접지저항의 변동이 가장 큼을 확인할 수 있었다.^{[14]-[16]}

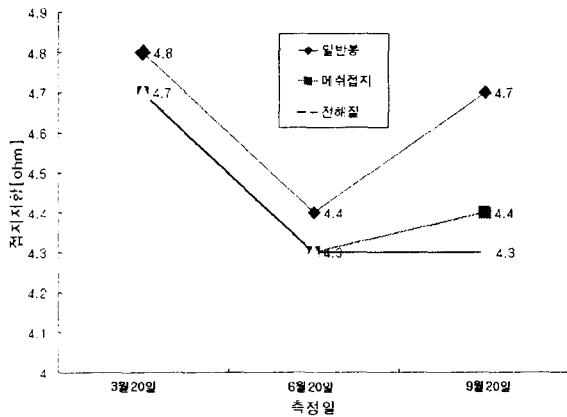


그림 22 시간경과에 따른 접지저항
Fig. 22 Ground resistance for time variations

5. 결 론

본 연구에서는 동일 대지저항률을 갖는 대지에 대해 CDEGS 프로그램을 이용하여 $5[\Omega]$ 이하의 요구 접지저항을 만족하도록 일반봉, 메쉬, 전해질 접지방식을 설계하였으며 주파수별 접지임피던스특성과 임펄스응답특성을 비교하였다. 시뮬레이션에 의한 결과를 확인하기 위하여 접지방식을 현장에 시공하여 접지저항을 측정하였고, 시간경과에 따른 접지저항치를 측정·분석하였다. 동일 대지저항률을 갖는다는 제한과 측정기간과 측정회수의 빈도가 높지 않은 이유로 다소의 오차를 포함하고는 있으나 다음과 같은 사항을 알 수 있었다.

- 1) 시험시공후 측정 및 시간경과에 따른 접지저항을 분석한 결과 접지저항의 변화는 세 가지 중 일반봉 접지방식이 가장 크며 전해질 접지방식이 가장 안정적임을 확인하였다.
 - 2) 주파수별 접지임피던스의 특성을 분석한 결과, 고주파에서 도체 인덕턴스의 영향으로 접지임피던스가 4~5배 이상 상승함을 확인하였고, 특히 전류 유입지점에서의 접지전위상승은 주파수 특성에 크게 의존함을 확인하였다.
 - 3) 서지전류 유입시 접지극에서의 순간전위상승(GPR)을 저감하기 위해 주 접지망에 보조 접지망을 부가해야 함을 알 수 있었다. 3가지 접지방식의 비교 결과 전해질 접지방식의 임펄스응답특성이 가장 우수함을 확인하였다.
 - 4) 토양측정을 통한 접지방식별 설계와 시뮬레이션과정은 현장에서 접지방식의 선택 및 시공시 활용될 수 있으며 고주파 노이즈 및 각종 서지에 대한 보호대책을 세우는 데 활용될 수 있을 것으로 기대된다.
- 차후에는 지상구조물과 경로를 고려한 서지 임피던스특성에 대한 연구가 수행되어야 하며 장기간에 걸친 접지저항의 경년 변화 및 부식 특성도 지속적으로 연구되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] IEEE Std. 80, IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding, 1986.
- [2] IEEE Std. 81, IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance and Earth Surface Potentials of a Ground System, 1983.
- [3] EPRI, Transmission Line Grounding, Vol. 1, Research Project 1494-1, Report EL 2695, Principal Author F. Dawalibi, 1982.
- [4] F. Dawalibi, W. Xiong, "Transient Performance of Substation Structure and Associated Grounding Systems" IEEE Transactions on Industry Application, Vol. 31, No. 3, May/June 1995.
- [5] F. Dawalibi, W. Xiong, "Transient Performance of Substation Grounding Systems Subjected to Lightning and Similar Surge Currents", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 9, No. 3, July 1994.
- [6] L. Grcev, M. Heimbach, "Frequency Dependent and Transient Characteristics of Substation Grounding Systems", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 12, No. 1, January 1997.
- [7] 박종순, "서지전류에 대한 접지극의 과도임피던스특성" 인하대학교 학위논문. 1998.2
- [8] 심판석, "수변전설비에서 접지시스템의 공결점 위치에 따른 임펄스응답특성" 인하대학교 학위논문, 1999.8
- [9] 최종기, 주병수, 김문덕, 김정부, "변전소 옥내화에 따른 접지설계", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 905-907, 1996.
- [10] 한풍, 김정부, 정길조, 최종기, 김재이, "변전소 접지설계를 위한 대지고유저항의 측정과 해석", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 1067-1077, 1997
- [11] Meliopoulos, A. P. S., "Power System Grounding and Transients", Marcel Dekker, Inc., 1988.
- [12] Warren R. Jone, "Bentonite Rods Assure Ground Rod Installation In Problem Soils", IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-99, No. 4 July / Aug pp. 1343-1345, 1980.
- [13] 최세하, 알기 쉬운 접지실무. 진한도서, pp. 181-191, 1998
- [14] 신동호, 김 용, 정철희, 조대훈 "지질분석에 따른 접지방식별 특성연구" 대한전기학회 논문집 pp. 1293-1296 1999
- [15] 양정재, "접지저항의 계절적 변동 및 지락에 의한 전위분포" 인하대학교 학위논문 1998.
- [16] SES (Safe Engineering Services & technologies ltd.), CDEGS (Current and Soil structure analysis) 사용자지침서. Version 97 for Windows.

저 자 소 개



신 동 호 (申 東 鎬)
1972년 10월 23일 생. 1998년 2월 동국대 전기공학과 졸업. 2000년 2월 동 대학원 전기공학과 석사졸업



이 은 영 (李 殷 榮)
1958년 5월 7일 생. 1995년 한국통신대 전자계산학과 졸업. 1998년 동국대 산업대학원 졸업 현재 동국대 대학원 전기공학과 박사과정 재학



김 용 (金 龍)
1957년 3월 20일 생. 1981년 동국대 전기공학과 졸업. 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1988년~1995년 대림 대학 제어계측과 부교수. 1995년~현재 동국대학교 전기공학과 부교수



백 수 현 (白 壽 鉉)
1947년 5월 2일생. 1972년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1974년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1981년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1977~현재 동국대 전기공학과 교수, 전기학회 평의원. 1999~현재 동국대 산업기술원 원장



조 대 훈 (趙 大 勳)
1963년 7월 19일 생. 1986년 동국대 전자공학과 졸업. 1988년 동 대학원 전자공학과 졸업 1992년 6월~1999년 10월 (주) 맥암 1999년 10월~ 현재 한국 XIT(주) 연구개발부 차장



김 필 수 (金 必 洙)
1961년 5월 5일 생. 1984년 동국대 전기공학과 졸업. 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1992년~1995년 충청대학 전기과 조교수 1996년~현재 대림대학 자동차과 조교수