

노이즈 간섭의 효율적 제거를 위한 접지시스템 구축 방안 연구

박우현\*, 이기식\*\*, 조대훈\*\*\*,  
 단국대학교 전기공학과\*, 한국XIT(주)\*\*\*

A Research about Installation of Grounding System for Effective Rejection of Surge Noise Interference.

W.H. Park\*, K.S. Lee\*\*, D.H. Cho\*\*\*  
 DanKook University\*, XIT Korea. Co. Ltd\*\*

Abstract -

시스템의 통합 운용 및 네트워크화로 장비간의 간섭과 노이즈에 대한 완화 및 효율적인 제거는 매우 중요한 문제로 대두되고 있다. 본 논문에서는 서지 및 노이즈의 간섭을 최소화하는 접지시스템의 구축 방안을 연구하였으며, 이를 위해 현장의 대지저항률을 실측하여 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 정량적으로 분석하고, 현장에 최적의 접지시스템을 구축하기 위해 주파수에 따른 접지 임피던스 특성을 시뮬레이션하였으며, 접지계통으로 유입되는 서지의 경로 및 주파수 특성을 분석하였다.

1. 서 론

현대의 반도체 기술 및 IT 산업분야 급속한 발전은 장비의 소형화와 대용량화를 이룩하였고, 빌딩 내에 다양한 정보통신시스템 및 빌딩자동화 시스템의 설치로 인해 서지 및 노이즈 그리고 고주파 신호 간섭에 대한 운용자의 관심이 크게 증대되고 있다. 시스템 운용시 서지 및 노이즈로 인한 오동작으로 인해 인명이나 장비의 손상을 가져오게 되므로 서지나 노이즈에 대한 보호대책은 절대적인 중요성을 갖는다. 신호 간섭의 원인인 노이즈의 전달은 신호선, 전력선, 철골 도체 및 대기 매체 등의 유무선 경로를 통해 유입되며, 60Hz의 상용 주파수로부터 수KHz ~ 수MHz의 고주파 대역까지 다양한 주파수 대역을 지니는 특징이 있다. 본 연구에서는 접지시스템으로 유입되는 서지 및 경로에 대한 주파수 특성을 분석함으로써 접지계통을 이용하여 노이즈를 효율적으로 제거하는 방안을 연구하였다. 접지계통으로 유입되는 다양한 주파수 대역의 노이즈 신호에 대한 접지임피던스 응답 특성을 분석하기 위해 여러 가지 접지전극과 형상을 시뮬레이션하여 비교하였고, 이를 위해 현장에서 4-점 웨너법(Wenner)으로 실측된 데이터를 접지 프로그램인 SES사의 CDEGS를 이용하여 다층의 토양 구조로 분석하여 정량적인 대지저항률을 얻었다.<sup>[1]-[3]</sup> 또한 현장 운용에 적합한 접지시스템을 설계 시뮬레이션함으로써 신뢰성 있는 접지시스템 구축을 통해 시스템에 유입된 노이즈 신호를 효율적으로 제거하는 방안을 연구하였고, 현장에 적합한 접지시스템을 구성하는 방안을 모델링하였다.

2. 본 론

2.1 지질 특성의 분석 모델링

접지시스템의 설계 시뮬레이션 및 현장 분석을 위해 4-점 웨너법으로 실측된 현장의 대지저항률을 접지프로그램 RESAP을 이용하여 정량적인 값을 갖는 토양 구조로 분석하여 모델링을 하였다.<sup>[1]-[2]</sup>

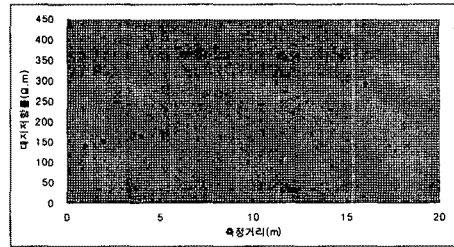


그림 2.1 대지저항률 측정 데이터  
 Fig.2.1.1 Measurd Data of Soil Resistivity

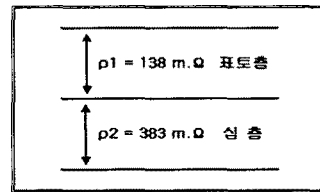


그림 2.2 수평2-지층 모델링  
 Fig 2.1.2 Horizontal-2 Layer Model

그림 2.1.1은 현장 측정의 대지저항률 데이터를 나타낸다. 대지저항률 $\rho_{1,2}$ 는 토양 성분, 함수율, 온도 등에 의해 결정되는 대단히 복잡한 함수이며, 현장에서 실측 분석된 토양은 2층 구조를 지닌 대지구조로 분석되며 모델링 구조는 그림 2.1.2 와 같다.

2.2 접지시스템 설계

현장에서 실측되어 모델링된 대지저항률을 적용하여 현장 여건에 맞춰 Mesh 접지, 일반접지동봉, XIT 접지를 접지저항 5ohm 으로 설계하여 시뮬레이션하였고, 접지계통으로 유입되는 서지 경로에 따른 주파수 특성을 분석하였다. 주파수 특성에 대한 분석은 CDEGS의 HIFREQ 모듈을 이용하였다.<sup>[2]-[6]</sup>

2.2.1 일반접지동봉 설계

일반 동봉접지의 설계[4]-[8]는 여러 형상으로 설계가 가능하며, 접지저항 계산식은 식(1)과 같다.

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

여기서,  $\rho$ 은 평균대지저항률,  $L$ 은 접지봉의 길이,  $r$ 은 봉의 반경이다.  $N$ -개의 봉을 병렬로 접지한 경우의 합성저항은  $R_0$ 는 다음과 같다.

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

여기서,  $\eta$ 는 접지동봉간의 병렬효과를 나타내는 집합계수이다. 일반동봉접지의 설계는 측정된 대지저항률을 이용하여 다수의 접지동봉을 병렬로 연결하여 설계 시뮬레이션하였다. 그림2.2.1은 설계된 일반동봉접지의 설계 구조를 나타낸다.

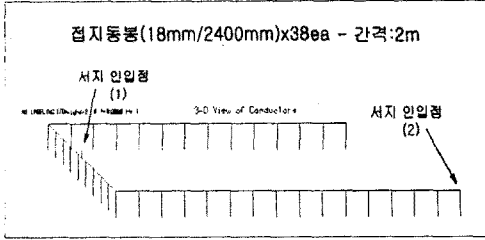


그림2.2.1 일반동봉접지의 설계 구조  
Fig. 4 Structure of Ground Rod

### 2.2.2 Mesh 접지 설계

Mesh 접지[9]는 Schwarz 계산식을 적용하여 설계하였고 아래 식은 Schwarz 계산식을 나타낸다.

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

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

설계된 Mesh 접지의 구조는 그림2.2.2와 같다.

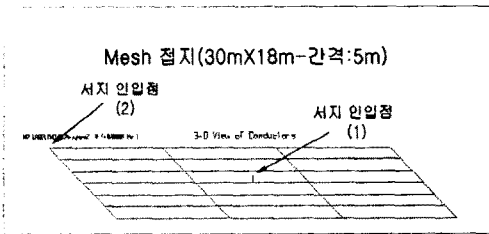


그림2.2.1 Mesh 접지의 설계 구조  
Fig. 4 Structure of Mesh Grounding

### 2.2.3 XIT 접지시스템의 설계

XIT 접지시스템<sup>[9]</sup>은 보링접지 방식으로 지반을 천공하여 XIT전해질 붕과 Lynconite를 채워 접지하는 방식이다. XIT붕 내부에는 Calsolyte라는 전해질로 채워지고, 붕 주위에는 Lynconite 충전제가 채워지는 새로운 접지방식의 접지이다.<sup>[3]-[4],[9]</sup>

XIT 접지시스템의 설계 및 계산은 천공지름과 사용된 Lynconite와 Calsolyte 저장제의 저장 특성에 의해 산출되며, XIT 접지의 설계구조는 그림2.2.3과 같다.

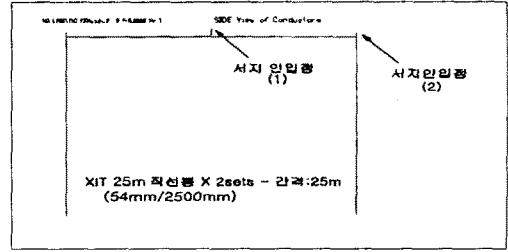


그림2.2.3 XIT 접지의 설계 구조  
Fig. 4 Structure of XIT Grounding System

### 3. 고주파 서지에 따른 접지 임피던스 특성

접지계통에 유입되는 서지나 노이즈의 신호는 주파수 성분에 따라 매우 다른 응답 특성을 나타낸다. 저 주파 성분의 서지가 유입될 때는 접지 임피던스는 리액턴스 성분이 거의 무시되고 저항 성분만을 지니게 되므로 접지망 전체가 거의 동일한 전위 분포 특성을 지니게 된다. 하지만 주파수가 높아질 수록 리액턴스 성분이 점차 증가하게 되므로 접지 임피던스 크게 증가하게 된다. 본 연구에서는 CDGES의 HIFREQ 모듈을 이용하여 여러 접지방식에 대해 서지 경로를 달리하여 주파수에 따른 접지 임피던스 특성을 시뮬레이션하였다.<sup>[2],[17]</sup>

#### 3.1 접지 임피던스 특성

접지 임피던스 계산을 위해 임펄스 전류를 FFT 변환하여 주파수 영역으로 바꾸어 단위전류(1+j0.0)A에 대한 0Hz ~ 6.2MHz 까지의 접지 임피던스 특성을 비교하였다. 접지 임피던스는 각각의 접지시스템에 서지 인입 경로를 달리하여 시뮬레이션하였고 주파수 응답에 따른 접지 임피던스의 변환 특성을 샘플링하여 접지 임피던스 응답 결과를 도표화하였다.

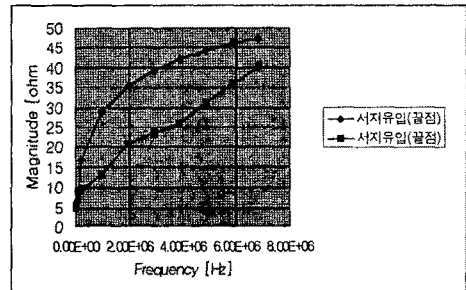


그림3.1 일반동봉 접지 임피던스 특성  
Fig. 3.1 Driven Rod Grounding Impedance

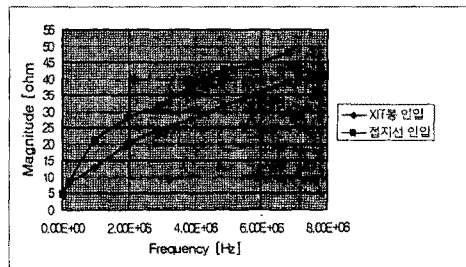


그림3.2 XIT 접지 임피던스 특성 - 인입 위치  
Fig. 3.2 XIT Grounding Impedance

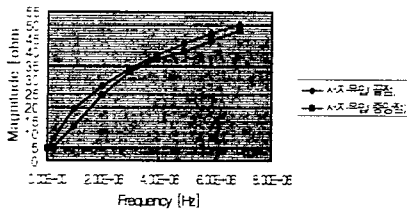


그림3.3 Mesh 접지 임피던스 특성  
Fig. 3.3 Mesh Grounding Impedance

접지시스템이 저주파 서지에 대해 낮은 접지저항을 갖는 다해도 고주파 서지가 유입될 때는 매우 높은 임피던스 특성을 나타낸다. 또한 접지계통으로 서지가 유입될 때 유입 경로에 따라 접지임피던스가 변화한다. 그림3.1, 그림3.2, 그림3.3은 접지시스템에 유입되는 서지 경로에 따라 접지임피던스가 변화함을 나타낸다. 접지시스템으로 유입되는 노이즈나 서지의 빠른 제거를 위해 접지선의 인출 위치 및 접속 위치는 매우 중요한 요소가 된다.

### 3.2 접지 계통의 전자계 전위 분포 특성

고주파의 서지가 접지시스템에 유입될 때 유입 점에서의 접지 전위와 전자계 전위 특성은 주파수에 따라 큰 차이를 나타낸다. 저주파의 경우에는 접지시스템의 전위 특성은 접지 전체에 고르게 분포하며, 전체와 자체 분포 특성은 거의 무시할 수 있다. 하지만 고주파의 경우에는 전위 분포는 인입 지점에 집중하는 것을 알 수 있다.

이는 접지계통에 유입되는 서지의 주파수로 인해 접지시스템 전체의 접지임피던스가 크게 증가함을 의미하며, 또한 유입점에서 매우 높은 전위상승이 발생함을 의미한다.

#### 3.2.1. 접지 전위 분포

서지 전류가 접지시스템에 유입될 때 지표면의 접지전위 분포는 주파수 특성에 따라 변화된다.

0Hz의 전위상승분포와 6.82MHz에서의 전위상승 분포를 살펴보면, 저주파 서지의 경우 접지전위는 전체적으로 상승하지만 고주파의 경우는 서지 유입지점의 접지전극 주위에서 크게 상승한다.

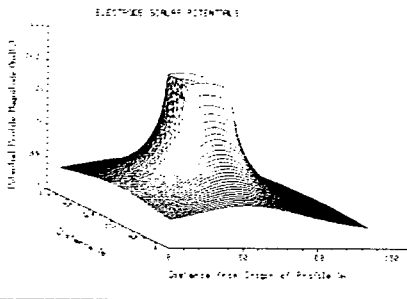


그림3.2.1(a) 지표면 전위 상승- 60Hz(일반동봉접지)

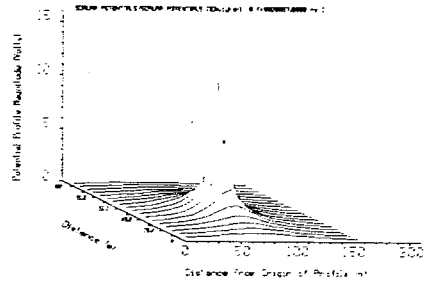


그림3.2.1(b) 지표면 전위 상승- 6.8MHz(일반동봉접지)

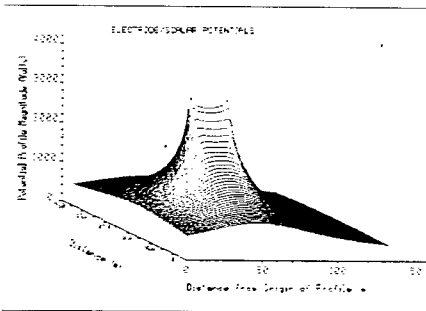


그림3.2.2(a) 지표면 전위 상승- 60Hz(XIT 접지)

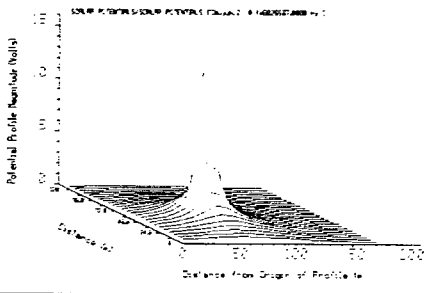


그림3.2.2(b) 지표면 전위 상승- 6.8MHz(XIT 접지)

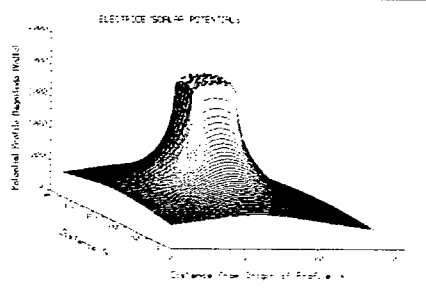


그림3.2.3(a) 지표면 전위 상승- 60Hz(Mesh 접지)

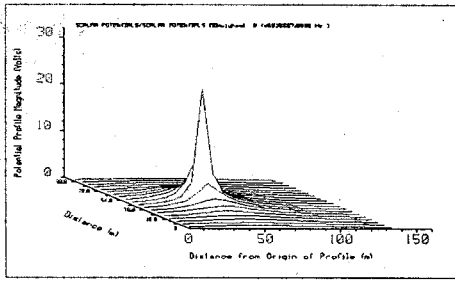


그림3.2.3(b) 지표면 전위 상승-6.8MHz(Mesh 접지)

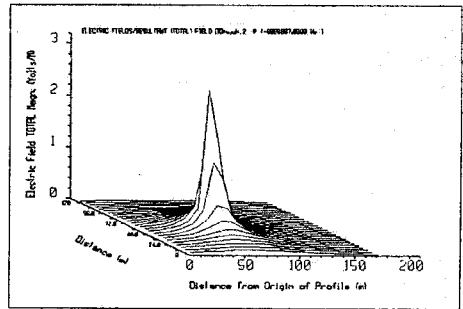


그림3.4.2(b) 전계분포특성- 6.8MHz(XIT 접지)

### 3.2.2. 접지시스템의 전계 분포

고주파 서지가 접지시스템에 유입될 때 전자계에 유도된다. 접지시스템의 주파수에 따른 전계 분포 특성은 노이즈 유도 및 간섭에 매우 중요한 요소이다. 노이즈 신호나 서지를 효율적으로 제거하기 위해 접지 임피던스의 감소는 물론 전자계 유도 특성을 최소화하는 접지설계가 필요하다. 그림3.4.1, 그림3.4.2, 그림3.4.3은 주파수에 따른 전계분포 특성을 나타낸다.

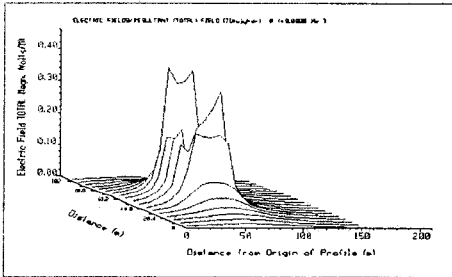


그림3.4.1(a) 전계분포특성- 60Hz(일반동봉접지)

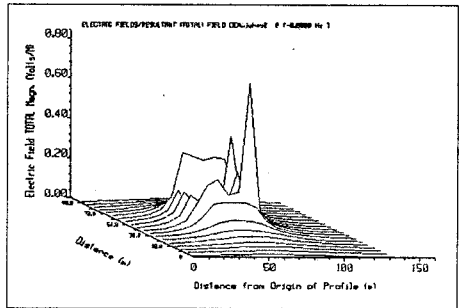


그림3.4.3(a) 전계분포특성- 60Hz(Mesh 접지)

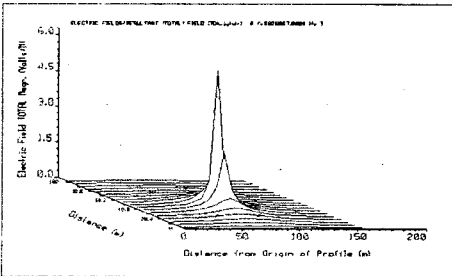


그림3.4.1(b) 전계분포특성- 6.8MHz(일반동봉접지)

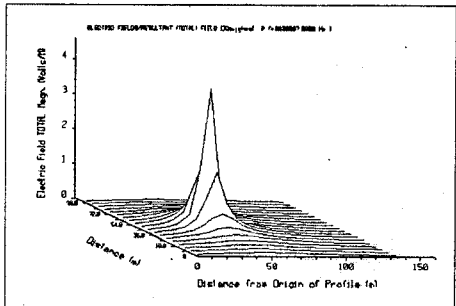


그림3.4.3(b) 전계분포특성- 6.8MHz(Mesh 접지)

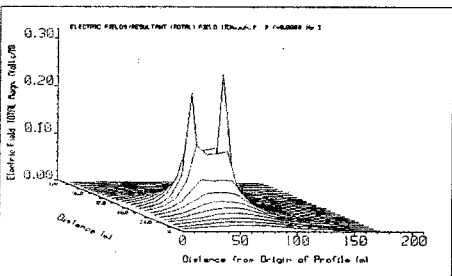


그림3.4.2(a) 전계분포특성- 60Hz(XIT 접지)

그림에서 알 수 있듯이 지표면 전위 상승 분포나 전계 분포 모두 주파수가 증가하면 서지 유입점에 집중되는 현상을 나타낸다.

낙뢰 혹은 임펄스 전류와 같은 대용량의 서지를 효율적으로 대지에 방전시키고, 서지 및 노이즈를 효율적으로 제거하기 위해서는 전위분포 및 전자계 분포의 영향을 분석하여 접지시스템 설계에 반영하여야 한다.

## 4. 접지시스템의 최적화

접지시스템의 설계시 전계나 노이즈 간섭을 최소화하고 서지를 효율적으로 방전시키기 위해서는 접지면적, 포설 형태, 그리고 접지봉의 성능이 절대적인 역할을 한다. 접지시스템을 통한 서지나 노이즈의 효율적인 제거를 위해서 접지방식들이 갖는 장점들을 잘 활용한다면 안정된 접지시스템을 설계할 수 있다.

본 연구에서는 접지면적은 줄이고 개선된 접지성능을 얻을 수 있는 방안으로 XIT 접지봉을 Mesh 구조에 활용한 접지방식을 설계 시뮬레이션하였다.

#### 4.1 접지 설계 구조

접지성능을 개선하는 방안으로 Mesh 구조에 XIT 접지봉을 활용하여 설계된 접지구조는 그림4.1.1과 같다.

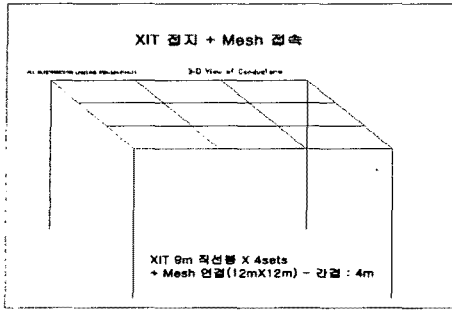


그림4.1.1 XIT +Mesh 접지 설계 구조  
Fig 4.1.1 Mesh Grounding by using XIT Rod

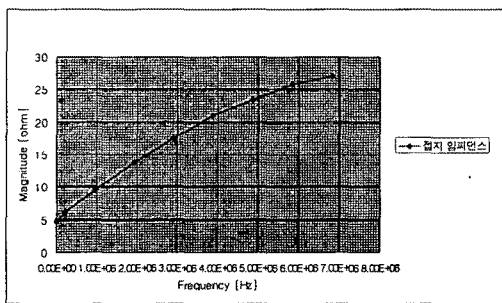


그림4.1.2 XIT + Mesh 접지 임피던스 특성  
Fig 4.1.2 Grounding Impedance of XIT Rod & Mesh

접지성능은 접지봉의 형상 및 접지 도체의 포설 면적에 매우 큰 영향을 받게 되므로 접지방식이 가진 장점을 잘 활용한다면 개선된 성능의 접지 설계가 가능하다. 접지시스템은 정상 상태는 물론 고주파 서지에 대해서도 안정한 성능을 지녀야 한다. XIT 접지봉을 활용한 Mesh 접지 설계로 설계된 접지시스템 중에서 가장 낮은 접지임피던스 특성을 얻었다. 그림4.1.3은 설계된 접지방식의 접지임피던스 비교치를 나타낸다.

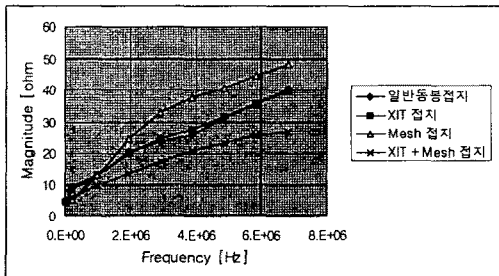


그림4.1.3 접지 임피던스 특성 비교  
Fig 4.1.3 Impedance of Grounding System

#### 5. 결 론

본 연구에서는 컴퓨터 프로그램을 통해 최적의 접지시스템 모델링 및 고주파 노이즈 및 서지를 효율적으로 제거하기 위한 접지시스템의 구축 방안을 연구하였다.

노이즈 혹은 서지 제거에 가장 효율적인 접지시스템을 구축하기 위해 현장의 대지저항률을 실측하여 지층 구조를 분석하였고, 다양한 형상의 접지시스템에 대하여 고주파 및 서지 전류에 대한 접지임피던스와 지표면 전위상승 그리고 접지전극의 전위상승을 분석하여 보았다. 또한 노이즈 및 서지에 대한 접지임피던스 특성을 분석하여 최적 성능의 접지시스템을 설계하기 위한 접지설계 방법을 제안하였다.

본 연구를 통해 다음과 같은 사항을 확인할 수 있었다.

- (1) 접지시스템에 유입되는 서지 경로에 따라 접지임피던스가 변화함을 확인하였다.
- (2) 접지시스템의 인출 및 배선을 활용하여 서지 임피던스를 감소시킬 수 있음을 확인하였다.
- (3) 고주파 서지 유입시 주파수에 따른 지표면 전위상승 특성과 전계분포특성을 확인하였다.
- (4) 접지시스템의 장점을 활용한 개선된 성능의 접지시스템 설계를 제안하였다.

고주파 서지 유입시 여러 접지방식에 대한 임피던스 특성, 전위분포, 전계분포 특성을 시뮬레이션하므로써 고주파 서지에 대한 보호 대책과 최적의 접지시스템을 구축에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

차후에는 장비의 배치 및 내부 구조물 그리고 신호선과 접지 배선간의 노이즈 간섭을 고려한 접지시스템 설계에 관한 연구와 고주파 서지의 접지 임피던스를 감소시키는 방안에 관한 연구가 지속적으로 수행되어야 하겠으며, 또한 현장의 전자계 노이즈 및 고주파 서지를 실측 분석하여 현장 시스템에 적합한 접지시스템을 설치하는 방안에 대한 연구가 이루어져야 하겠다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] IEEE Std. 81, "Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Groud System", 1983
- [2] SES (Safe Engineering Services & technologies ltd.), CDEGS (Current and Soil structure analysis ) 사용자지침서. Version 2000 for Windows.
- [3] 신동호, 김 용, 이은영, 김필수, 조대훈, "3-가지 접지방식에 대한 접지특성 비교", 전기학회논문지 49권 6호, 2000. 06.
- [4] 신동호, 김 용, 정철희, 조대훈, "지질분석에 따른 접지 방식별 특성연구", 대한전기학회논문집 PP1293~1296, 1999
- [5] 최세하, "알기쉬운 접지기술 실무", 진한도서. 1998
- [6] 高橋建彦, 이형수역. 接地設計入門, オ-ム社, 동일출판사, 1993
- [7] 高橋建彦, 이형수역. 接地技術入門, オ-ム社, 동일출판사, 19957
- [8] David M, Volz "Morden Land Mobile Communications site Grounding" Telecomputer Energy World Proceeding, 1995
- [9] XIT 접지 시스템, 한국xit(주), 2000