

지질분석에 따른 접지방식별 특성에 관한 연구

신동호*, 김 용*, 정철희**, 조대훈**
 동국대학교 전기공학과*, 한국XIT(주)**

A Study for the characteristics of ground Methods with soil Analysis

D.H.Shin*, Y. Kim*, Chul-Hee Jung**, Dae-Hoon Cho**
 Dongguk University**, MacAM Co. Ltd**

Abstract - 접지는 최근까지 대형 변전소를 제외한 대부분의 분야에서 정확한 현장 분석 없이 단순히 접지 저항만을 계산하여 시공하고 있다. 본 논문에서는 접지 설계에 필수적인 시공 현장의 대지저항률을 실측하여 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 지질특성을 분석한 후, 3가지 방식의 접지시스템을 현장에 맞게 설계 시공하였다. 각각의 접지 시스템의 시공은 동일한 장소에서 이루어 졌으며, 시공된 각각의 접지시스템들의 결과를 실측하여 접지 설계에 따른 시공 성능을 확인하였으며, 접지시스템들의 성능과 특성을 상호 비교 분석함으로써 현장에 가장 적합한 접지시스템을 제안하였다.

1. 서 론

접지는 낙뢰나 과도한 서지로 부터 인명과 설비를 보호한다는 측면에서 매우 중요하며, 오늘날의 전기, 전자, 반도체, 그리고 컴퓨터 통신 기술의 비약적인 발전은 거의 모든 분야에서 접지의 중요성을 새롭게 일깨워 주고 있다. 최근 정보통신의 발달과 집적화는 건물내의 모든 시스템들의 통합 운용을 가능케 하고 있으며, 이로 인한 장비간의 간섭과 Noise로 시스템의 오동작 발생 가능성이 더욱 높아지고 있다.

따라서 접지시스템의 역할은 단순히 접지봉의 설치를 통해 접지저항 만을 낮추는 것이 아니라 장비 특성과 운용 환경을 종합적으로 검토하여 유사시 인명이나 설비를 최대한 보호하고, 유지하는데 있다. 이를 위해서는 접지 성능 및 시공에 영향을 미치는 현장의 여러 요소들을 설계 단계에서 분석하여 현장 여건에 맞는 정확하고 신뢰성 있는 접지 설계가 필수적이며, 또한 성능 면에서나 경제성 면에서 가장 효율적이고 안전한 접지시스템을 선택 시공하여야 한다.

본 논문에서는 단순히 접지저항만을 계산하여 시공하는 일반적인 접지 설계가 아닌 접지성능 및 동작특성에 영향을 미치는 전반적인 설계 요소들을 분석하여 설계에 반영하였다. 이를 위해 현장에서 대지저항률을 실측하였으며, 실측된 대지저항률을 접지 전용 컴퓨터 프로그램의 시뮬레이션을 통해 분석하여, 접지 설계에 가장 큰 요소인 지질 구조와 특성을 파악하였다.

또한 동일한 장소의 지질 분석을 기초로 현장에서 가장 널리 사용되고 있는 일반접지봉, 메쉬접지, XIT 전해질 접지시스템을 적용하여 각각 접지저항 5 ohm을 얻기 위한 접지를 설계 시공하였고, 접지저항을 측정하여, 각각의 접지시스템의 성능을 비교 분석하였다. 이를 통해 접지 분야에 가장 적합할 수 있는 접지 모델을 제시하였다. 본 연구에서 대지저항률 측정[1]은 4-점 Wenner 전극법을 이용하였으며, 접지시스템의 시뮬레이션 및 분석을 위해 CDEGS 프로그램[2]을 이용하였다. 그리고 접지저항은 3-점 전위차 측정법을 이용하여 측정하였다. 차후의 지속적인 연구와 실측을 통해 접지시스템의 성능에 큰 영향을 미치는 계절, 기후, 온도 및 경년 변화 특성을 분석할 것이다.

2. 본 론

2.1 대지저항률 측정 및 분석

2.1.1 대지저항률 측정

접지의 설계 및 시공 성능에 가장 큰 영향을 미치는 지질 구조 및 대지파라미터를 파악하기 위해서는 대지저항률 측정에 의한 분석이 필수적이다. 대지저항률의 측정에는 IEEE 규정의 4-점 Wenner 전극법을 사용하여 부지 내에서 “+” 자 형태로 측정 방향을 다르게 하여, 그림2-1과 같이 2-번 측정하였으며, 표 2-1은 대지저항률 측정 간격과 측정 데이터를 나타낸다.

현장부지면적 : 68m×40m

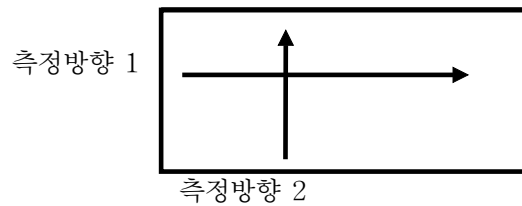


그림2-1 측정선 배열 - 4-점 Wenner 전극법

표 2-1. 대지 저항률 측정표

| 전극간격(m) | 1차 측정 | | 2차 측정 | |
|---------|----------------------------------|--------|--------|--------|
| | 저항 (Ω) | ρ(Ω.m) | 저항 (Ω) | ρ(Ω.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 | | | |

2.1.2 대지저항률 분석

측정된 대지저항률의 정확한 분석을 위해 본 논문에서는 CDEGS 프로그램[2]을 활용하였으며, 시뮬레이션에 의한 분석 과정은 그림 2-2와 같다.

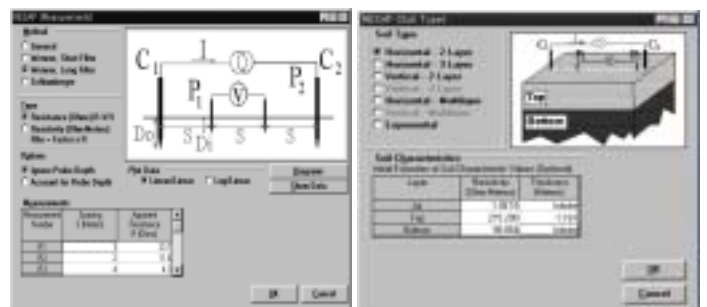


그림 2-2 측정 대지저항률의 분석

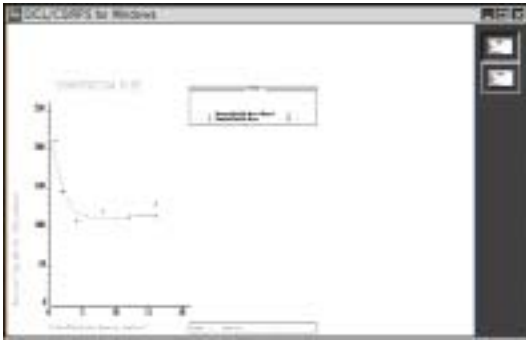
대지저항률은 다 지층의 구조 모델로 해석이 가능하며, 본 논문에서는 수평의 2-지층 구조[3]로 분석하였다. 2지층 구조의 대지저항률 해석 결과는 표 2-2와 같으며, 각각의 측정 데이터에 의한 대지저항률 분석과 합성 분석 결과를 나타낸다.

표 2-2 대지저항률 분석 결과

| 구 분 | 수평 2층 구조 | | |
|-------|------------|-------------|-----------|
| | 상층저항률[Ω·m] | 하층저항률 [Ω·m] | 지층 두께 [m] |
| 1차 측정 | 215.200 | 99.854 | 1.161 |
| 2차 측정 | 197.007 | 91.408 | 1.276 |
| 합성 분석 | 205.046 | 95.145 | 1.234 |

CDEGS 프로그램에 의한 대지저항률의 수직 해석 결과는 그림 2-3과 같다.

그림 2-3 대지저항률의 측정 및 분석 곡선



접지설계는 수평 2층 구조로 분석된 대지저항률을 적용하였으며, 접지 구조 및 계산은 CDEGS 프로그램[2]을 사용하여 시뮬레이션하였다.

2.2 접지 시스템별 설계 [4-8]

2.2.1 일반봉(Driven rod) 접지 설계

일반봉 접지는 접지분야에서 가장 일반적으로 사용되는 접지방식이며, 강철에 동 피막이 입혀진 동봉 혹은 동이 도금된 동봉을 말한다. 일반봉 접지의 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, ρ 은 대지저항률, L 은 접지봉의 길이, r 은 봉의 반경이다. N -개의 봉을 병렬 접지한 경우의 합성저항은 R_0 는 다음과 같다.

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

여기서, η 는 집합계수이다. η 는 대지저항률과 무관한 특성을 지니며, 봉간의 간격이 커지면 병렬효과가 나타나 η 가 작아진다. 설치 방법은 지표면에서 75cm굴착하고 금속 봉을 타입한 후 뒤 메우는 방식이다. 주로 시공면적이 넓고, 대지저항률이 낮은 지역에 좋은 성능을 발휘하며, 타 접지시스템과 연계성이 좋은 장점이 있다. 그러나, 대지저항률이 높은 지역이나 암반 지역에서는 시공이 어렵고, 시공면적도 매우 넓어진다.

접지 설계에서 일반봉은 다 지층 구조의 특성을 충분히 활용할 수 없으므로 설계가 매우 어려워질 때도 있다. 특히, 작업공간이 좁은 도심지나, 암반 지질에서 요구접

지 저항값을 얻기가 불가능한 경우가 많다. 또한 뇌서지와 같은 강한 전류의 유입시 쉽게 접지봉이 파괴되며, 부식 및 전식에 의해 접지봉이 쉽게 파손된다. 그리고 계절 및 기후, 경년 변화에 따라 접지저항이 크게 변화한다.

본 연구에서는 수평 2지층으로 분석된 대지저항률을 적용하여 지름-16mm, 길이-2.4m의 일반봉으로 접지저항 5 ohm을 얻도록 설계하였다. 설계된 일반봉의 사양은 동봉(16mm/2.4m) 15개를 2.5m 간격으로 병렬로 타입하여 100mm² 나동선으로 발열용접(Exothermic Welding)하도록 설계하였다. 일반봉의 병렬접지 저항 계산은 식(2)를 이용하며, 동봉이 늘어나면, 수 작업에 의한 수식계산이 어렵기 때문에 접지전용프로그램인 CDEGS 프로그램에서 이용하여 설계하였다.

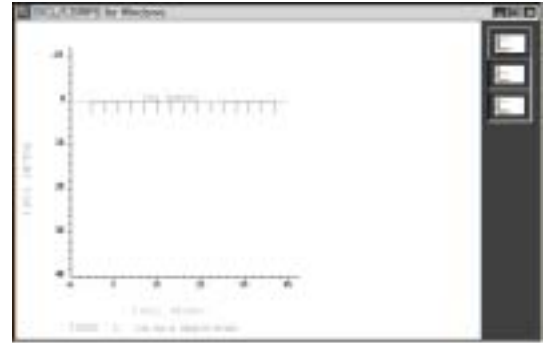


그림 2-4. 일반봉 접지 설계 구조

2.2.2 메쉬(Mesh) 접지 설계

메시 접지[9]는 넓은 면적에 75cm 깊이로 터를 파고, 100 mm² 혹은 200 mm²의 나동선을 그물 형태로 포설하여 뒤 메우는 방식이다.

메쉬 접지는 포설 특성상 낮은 접촉전압이나 보폭전압[9],[10]을 얻기가 용이하므로 인명의 안전이 우선시 되는 대형 플랜트나 발전소, 변전소등의 접지에 많이 적용된다. 메쉬 접지는 포설되는 접지선 간의 간격과 전체 포설 면적이 매우 중요하다.

접지저항의 계산에는 Schwarz 계산식과 McCrocklin 계산식이 가장 널리 쓰이며, 식(3)은 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

메쉬 접지는 매우 넓은 면적에 시공을 해야하므로, 건물의 바닥 면이나 높은 대지저항률을 갖는 넓은 대지에 유리하다. 메쉬 접지는 시공 특성상 온도, 습도등 외부 환경의 영향이 비교적 적고, 낮은 접지저항 값을 얻기가 용이하지만 시공 후 유지보수가 불가능하므로 처음 시공시 확실한 공사가 필수적이다. 메쉬접지의 설계는 매설 동선간의 간격과 설치 면적, 그리고 매설 깊이가 매우 중요하며, 지표면에 설치될 때 다 지층 구조의 특성을 활용할 수 없으므로 일반적으로 일반봉과 연계하여 설계한다. 본 연구에서 접지저항 5 ohm을 얻기 위한 설계로 2지층 대지저항률의 특성을 적용하여 100mm² 나동선을 설치면적 24m×24m, 간격 6 m로 설계하였으며, 접지저항 계산은 CDEGS 프로그램을 이용하여 시뮬레이션 하였다.

그림2-5 는 메쉬 접지의 설계 구조를 나타낸다.

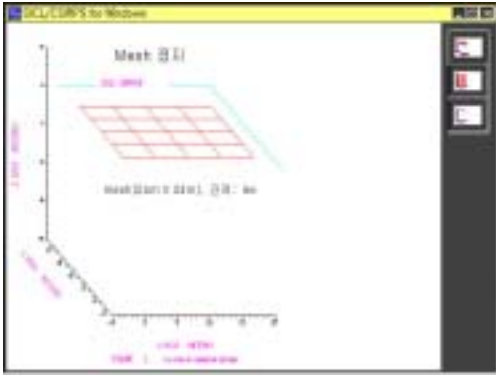


그림. 2-5 메시접지 설계 구조

2.2.3 XIT 전해질 접지 설계

XIT 접지시스템[8]은 일종의 보링접지 방식으로 지반을 15cm로 천공하여 XIT 전해질 붕과 Lynconite를 채워 접지하는 방식이다. XIT 붕 내부에는 Calsolyte라는 전해질로 채워지고, 붕 주위에는 Lynconite 충전재가 채워진다. 충전재 Calsolyte는 Ph8 이상의 강알칼리성 수분을 생성하여, 높은 전도성을 유지하며 XIT 붕을 보호하게 된다. Lynconite는 천연점토 성분으로 항상 일정한 수분을 유지하여 접지저항을 낮추게 된다. 또한 천연점토 성분인 Lynconite는 XIT 붕에 완전 밀착되어 전식 및 붕의 부식을 막고 성능을 더욱 안정하게 유지한다.[11]

XIT 전해질 접지는 설치 면적이 아주 좁으며, 붕의 구조상 계절, 기후 변동에 영향을 거의 받지 않고, 시간이 경과함에 따라 접지 성능이 더 향상된다. 이러한 XIT 전해질 붕의 특성상 암반이나 마사토와 같이 낮은 저항치를 얻기 어려운 곳에 탁월한 성능을 발휘하며, 안정되고 낮은 접지저항이 요구되는 통신접지와 장비접지에 매우 유리하다. 본 연구에서 접지저항 5 ohm을 얻기 위해 12m XIT 전해질 접지붕 2set를 간격 15m로 이격하여 나동선으로 발열용접(Exothermic Welding)하여 설계하였다. 그림 2-6은 XIT 전해질 붕의 설계 구조를 나타낸다. XIT 전해질 붕의 접지저항 계산은 일반접지붕과 유사하며, 다만, Calsolyte 와 Lynconite 충전제의 전해질 저감특성과 흡습 저감 특성 계수를 반영하여 CDEGS 프로그램으로 접지저항을 계산하였다.

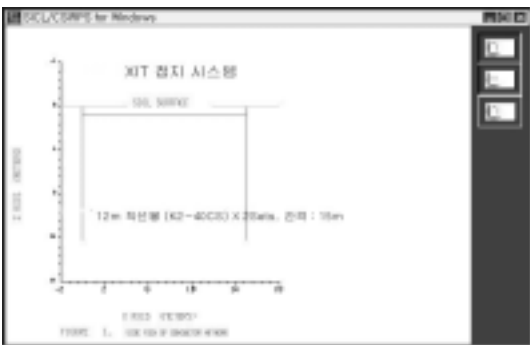


그림. 2-6 XIT 전해질 접지 구조

2.3 현장 시험 및 성능 비교

2.3.1 일반접지붕 시공 및 성능 시험

일반접지붕의 현장시공 작업은 그림2-6과 같다. 접지붕 시공 위치에 터를 파고 16mm/2.4m 일반붕을 설계와 동일한 형태로 타입하며, 접지붕과 붕사이를 발열용접으로 병렬접속하여 시공하였다.



그림. 2-7 일반접지붕 시공사진

2.3.2 메쉬접지 시공 및 성능 시험

메쉬접지 시공은 그림 2-8과 같다. 100mm² 나동선을 접지설치 면적 24m×24m 내에 간격 6m로 포설하여 발열용접(Exothermic Welding)으로 접속 시공하였다.



그림. 2-8 메시 접지 시공 사진

2.3.3 XIT 전해질 접지 시공 및 성능 시험

XIT 전해질 접지붕 시공은 천공 장비를 이용하여 지반을 천공한 후 XIT 붕을 매입한다. XIT 붕의 매입 및 Lynconite 충전제의 타설은 그림 2-9와 같다.



그림. 2-9 XIT 전해질 접지붕 시공사진

2.3.4 성능 비교

각각의 접지시스템의 접지저항 및 접지 설계는 동일한 CDEGS 프로그램을 이용하여 시뮬레이션 하였으며, 각 접지 시스템을 설계 시방대로 현장에 시공하여 접지저항을 측정된 결과를 비교 연구하였다. 접지저항은 IEEE에 규정된 3-점 전위차 측정법[1]으로 측정하였으며, 측정 장비는 IEEE, NEC 규정을 만족하는 접지저항 측정기 AEMC4500을 이용하였다. 각 접지시스템의 측정결과를 표 2-3에 나타냈다.

동일한 대지에 대해 대지저항률을 측정하여 컴퓨터 시뮬레이션으로 대지파라미터를 분석하였으며, 이 데이터를 이용하여 접지시스템별로 동일 조건의 접지 설계 및 시공을 하였으며 각각의 접지시스템별 특성 결과를 비교하였다. 표 2-4는 접지시스템별 비교특성을 나타낸다.

표. 2-3 3-점 전위차 측정법에 의한 측정결과 비교표

| 저항치\구분 | 일반접지봉 | 메쉬접지 | XIT 접지 |
|--------|-------|------|--------|
| 설계치 | 4.8Ω | 4.7Ω | 4.7Ω |
| 측정 결과치 | 4.9Ω | 4.5Ω | 4.4Ω |

표. 2-4 접지종류별 특성비교표

| 접지 특성 | 일반접지봉 (Driven Rod) | 망상접지 (Mesh) | XIT접지 | 비교 사항 |
|-------|--|-------------|-------|--------------------|
| 대지저항률 | 저 | 중, 고 | 저,중,고 | 적용 범위 |
| 접지극 수 | 매우 많음 | 많음 | 적음 | 동일 현장 |
| 시공면적 | 매우 넓음 | 넓음 | 좁음 | 동일 접지저항 |
| 경제성 | 보통 | 보통 | 좋음 | 시공비, 수명, 성능, 유지보수. |
| 신뢰성 | 나쁨 | 좋음 | 매우좋음 | 외부환경, 부식성 |
| 시공성 | 간편함 | 어려움 | 간편함 | 동일 조건 |
| 성능 변화 | 매우 큼 | 적음 | 거의 없음 | 계절, 기후, 온도, 경년 |
| 확인사항 | 접지시스템의 선택은 시공면적, 시공지역의 온도, 습도 등의 기후특성, 장비의 요구사항, 접지신뢰성 그리고 경제성 등을 고려하여 선택해야 함. | | | |

3. 결 론

본 논문에서는 접지시스템의 정확한 성능 분석을 위해 설계 단계에서부터 현장의 지질 조건을 실측 분석하였고, CDEGS 프로그램을 통해 일반봉, 메쉬접지, XIT 전해질 접지에 대한 최적의 접지구조를 시뮬레이션으로 구현 설계한 후 현장 시공을 통해 접지성능을 확인 비교하였다. 현장 시공을 통해 확인된 XIT 전해질 접지봉은 시공 면적이거나 성능 면에서 비교된 접지시스템 중에서 가장 우수한 특성을 가짐을 확인하였다.

본 논문을 통해 최적의 접지 설계와 시공을 위해서는 현장 대지저항률의 실측 및 지질 분석이 필수적이며, 지질 특성에 맞게 선택된 접지시스템과 신뢰성 있는 설계는 시공 시 오류와 경제적 낭비를 예방할 수 있음을 확인하였다.

추후 연구로는 각각의 접지 시스템에 대한 계절, 기후 및 온도 변화와 경년 변화에 대한 접지 성능과 부식 특성에 대한 연구가 이루어져야 할 것이다.

[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 97 for Windows.

[3] Dawalibi, 이형수,김정훈 "균질 및 2 층 구조 토양에서 효과적인 접지 그리드설계", 대한전기학회 논문지 제 46권 1998

[4] 최세하, "알기쉬운 접지기술 실무", 진한도서. 1998

[5] 高橋建彦,이형수역. 接地設計入門, オ-ム 社, 동일출판사,1993

[6] 高橋建彦,이형수역. 接地技術入門, オ-ム 社, 동일출판사,1995

[7] David M, Volz "Morden Land Mobile Communications site Grounding" Telecomputer Energy World Proceeding, 1995

[8] XIT 접지 시스템, (주) 맥암, 1998

[9] 한풍, "효율적인 765kv 변전소 접지 설계", 대한전기학회 추계 학술대회 논문집, 1998 .11

[10]IEEE Std. 80, "IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding", 1986

[11]Warren R. Jone, "Bentonite Rods Assure Ground Rod Installation In Problem Soils", IEEE Transacatins on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-99, No.4 July/Aug 1980 pp. 1343-1345