

철도차량기지내에서의 경제성을 고려한 접지설계에 관한 연구

장진영*, 김재문**, 김양수**
*중앙대, **한국철도대학

A study of grounding system design with economical efficiency in electric rolling stocks facilities

Chin-young Chang*, Jae-Moon Kim**, Yang-Soo Kim**
*Chungang University, **Korea national railroad college

Abstract - Recently, there have been studied the importance of the grounding system, as electrical equipments installed in the building, such as intelligent building. The object of grounding of electrical facilities is to protect human and machine damage from the power supply interruption high voltage by use of the accident current dissipating into the ground. In this paper, we is proposed to design of grounding system with economical efficiency in electric rolling stocks facilities. To make efficient ground, ground potential rise must be controlled in the way of overall lowering and evenness instead of independent grounding method with respect to electrical facilities.

이터를 이용하여 CDEGS 접지 분석 프로그램에 의한 분석 적용을 통해 접지 저항값을 결정하여 접지설계에 이용하였다.

2. 본 론

2.1 접지설계 절차

건물의 접지는 건물 바닥에 기준 접지 전극을 설치하여, 접지선을 상층부로 뽑아 올린 후 각 층에 설치된 접지함에 연결하여 사용하는 방법과 건물의 각 층에 필요한 접지 전극을 대지에 별도로 시공하여 전용 접지선을 끌어올려 사용하는 방법이 있다.

이러한 건물의 각종 전기, 전자, 통신 설비를 대지와 전기적으로 접속하여 접지를 구성하기 위한 단자가 접지 전극이고 전극과 대지 사이에 발생하는 저항이 접지저항이다. 따라서 지락 전류 발생시 접지 전극의 접지 저항으로 인해 전위가 상승하여 시스템에 여러 가지 장애를 일으키게 되는데, 접지에 접속된 장비나 설비에 장애가 없도록 접지시스템을 구성하는 것이 필요하다.

접지 설계 방법은 국내에서는 소요 접지 저항을 얻기 위해 접지 전극 설계에 주안점을 두고 설계하며, 건물의 접지 설계를 위한 흐름도는 그림 1과 같다.

1. 서 론

최근 들어 전기전자 및 통신기기 사용이 급증하는 함에 따라 접지계통이 다양하고 복잡해지고 있으며, 접지의 중요성이 그 어느 때보다도 강조되고 있다. 이와 관련된 다수의 연구가 이루어지고 있는데, 참고문헌[1]에서는 범의 접지효과 증대를 위해 발전소 부지주변 대지 비저항을 다층적으로 정확히 측정, 해석하여 최적 접지 시공 방법을 제시하고 있고 [2]에서는 ANSI/IEEE Std.80-2000을 적용한 새로운 접지시스템 설계 방법을 제시하고 있다, 또한 [3]에서는 일종의 공통접지 방식인 건물 구조체를 접지전극으로 대용할 수 있는 구조체 접지방식을 제안하고 있는데 실용화를 위해서는 전식문제 등 해결해야 할 문제점들이 존재한다.

접지는 낙뢰와 정전기 등으로부터 대지와 설비 간의 전기적 접속을 통해 인명과 장치를 보호하는 방법으로 건물의 시스템은 전력을 공급하는 전력설비, 통신 시스템 및 OA 기기 그리고 보안 및 건물 관리 시스템 등 다양한 설비가 혼합되어 설치 운용되고 된다. 따라서 이들 시스템으로부터 전력선, 통신선 및 데이터선과 같은 각종 케이블이 설치되어 있으며, 건물 내의 설비와 장비의 노이즈나 서지는 대부분 케이블을 통해 유입되어, 유입된 서지나 뇌전류는 설비에 손상을 주고 있다[4][5].

본 논문에서는 철도차량기지를 구축하는데 있어 중수선 내의 경제성을 고려한 접지설계를 제안하였다. 기지 내에서는 종합 관리동, 중수선, 숙소 등 다양한 건물들이 존재하게 되는데 각 건물마다 각 시스템에 대해 접지를 별도로 설계하기 보다는 각 건물에 설치되는 시스템 등을 고려하여 전체적으로 효과적으로 보호할 수 접지설계를 하였다. 이를 위해 현장에서 측정된 대지저항을 대

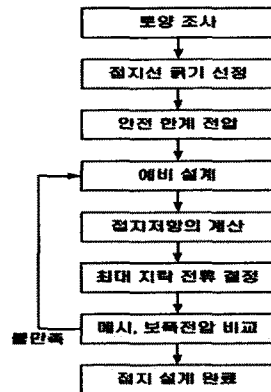


그림 1. 접지설계 흐름도

그림 1과 같이 수작업에 의한 대지 고유 저항 해석 방법은 해석자의 기술 능력과 경험에 따라 오차의 발생이 달라질 수 있으며 동일한 기술자가 똑같은 내용을 다시 해석한다 하더라도 상당한 차이를 나타낼 수 있다.

최근에는 컴퓨터 프로그램의 발달로 대지 고유저항 측정 및 지층 구조 해석이 가능해지고 있다. 본 논문에서

는 CDEGS 프로그램을 사용하여 대지 저항률을 분석하여 접지설계를 구현했다.

2.2 접지선 선정 및 대지저항률 측정

2.2.1 접지선 굵기 선정

접지선에 전류가 흐르면 주열이 발생하고 최악의 경우 용단될 수도 있다. 따라서 충분한 전류 용량의 도체 굵기는 전류, 통전시간, 온도, 재료의 특성값 등을 이용하여 IEEE 표준식을 이용하여 구할 수 있다.

$$A = I \sqrt{\frac{t_c a_r \rho_r \times 10^4}{TCAP} \ln \left(1 + \frac{T_m - T_a}{K_0 + T_a} \right)} \quad (1)$$

여기서, I: 접지선에 흐르는 전류[kA], A: 도체단면적 [mm²], T_m: 최대허용온도(℃), T_r: 기준온도(℃), a₀: 0(℃)일 때 도체의 열저항률, a_r: T_r일 때 도체의 열저항률, ρ_r: T_r일 때 도체의 저항률[μΩ/cm²], K₀: 1/a₀, t_c: 통전시간(sec), TCAP: 열용량계수[J/cm³ · °C]

표 1. 접지도체 상수

| 종류 | 온도계수 | K ₀ | 고유저항 | 열용량 계수 |
|-----|---------|----------------|--------|--------|
| 연동선 | 0.00393 | 234 | 1.7241 | 3.422 |
| 경동선 | 0.00381 | 242 | 1.7774 | 3.422 |

식 (1)과 표 1을 참조하여 접지선의 종류와 굵기는 나연동선 150㎜로 선정하였다.

2.2.2 대지저항률 측정 및 분석

전류가 흐르는 금속 접지 전극 주위의 대지 저항은 접지봉으로부터 점차 바깥쪽으로 위치하는 일련의 가상 대지 전계구들의 합계가 된다. 접지 저항은 가장 가까이 있는 전계 구가 가장 크고, 점차 외부 방향으로 이동 시킬 때 이 저항은 낮아진다. 따라서 높은 대지 저항률을 갖는 지역에서 접지봉 주위에 중간 지역의 대지 저항률은 매우 중요하며, 이 지역의 대지저항률을 낮추는 것이 접지 시스템에 필수적인 요소이다. 대지저항률은 표면층으로부터 대지 깊이에 따라 다르며, 대지 표면에 물의 존재가 반드시 접지 저항을 낮추는 것은 아니다. 따라서 대지 저항률은 토양의 종류, 토양 내에 화학적 이온 상태, 대지의 온도 그리고 대지의 수분 함유 상태 등에 따라 달라진다.

표 2. 대지저항률 측정값

| 측정거리(m) | 대지저항률(Ωm) |
|---------|-----------|
| 1 | 85.6 |
| 2 | 109.3 |
| 4 | 127.9 |
| 8 | 137.8 |
| 12 | 150.0 |
| 16 | 215.0 |

본 논문에서는 대지저항률을 측정하는 방법으로 최근 많

이 사용되고 있는 4-point Wenner 측정법을 사용하였으며, 측정장비는 METREL MI-2080이다. 이 측정법은 4개의 측정 탐침(4-Test Probe)을 일직선상에 일정한 간격으로 박아서 측정 장비 내에서 저주파 전류를 탐침을 통해 대지에 흘려보내어 측정하는 방법이며, 정확한 측정을 위해 등거리로 이격된 탐침의 측정 간격을 다르게 하여 반복적으로 측정하는 한다. 탐침들 중에 측정 회로의 내부에 있는 두 개의 탐침 거리가 토양 내의 깊이까지의 대지저항률을 측정하는 것이 된다.

표 3. 지층구조

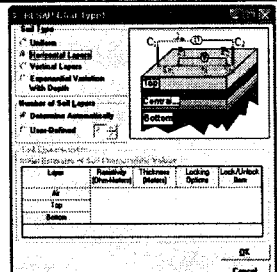
| 대지 분석 지층수 | 대지 분석 지층 구조 |
|-----------|--|
| 수평 2지층 |  |

표 4. 접지설계 적용치

| 지층별 대지저항(Ωm) | 지층별 두께(m) | 반사계수(p.u) | 지층별 비 |
|--------------|-----------|-----------|--------|
| 상지층 73.75 | 1.1226 | -1.0000 | 0.0000 |
| 하지층 168.84 | infinite | 0.3919 | 2.2894 |

표 2는 현장에서 측정된 저항값에 따른 대지저항률을 나타내며 표 3은 대지저항률 지층 분석 프로그램인 CD EGS RESAP을 이용한 지층구조 결과이고, 표 4는 접지설계에 적용되는 수치를 보여준다.

2.3 단락전류 선정 및 대지저항률 시뮬레이션

차량기지내의 중수선 공간에는 전동전열 부하 및 검수동력 부하 등이 존재한다. 접지설계에 있어 단락전류를 구해야 하므로 아래와 같이 구하였다. 전동전열 부하에 사용되는 변압기 용량은 Δ-Y결선 변압기로 400(kVA)급 22.9kV/380V-220V이고 부하는 저항 R이다. 따라서 단락전류 I_s = (1/%Z)PU이고 일반적으로 %Z의 5%로 계산하므로 식 (2)와 같이 되고 부하단에 흐르는 정격전류 I_m를 통해 구한 단락전류 I_s ≃ 12(KA)가 된다.

$$I_s = \frac{1}{0.05} PU \quad \therefore I_s = 20 PU [A] \quad (2)$$

한편 검수동력 부하에 사용되는 변압기는 3(MVA)급 Δ-Y결선 변압기로 22.9kV/380V-220V이고 부하는 RL이 주종을 이룬다. 따라서 회전기 등 RL 부하인 경우 단락전류는 기동전류이므로 정격전류의 5~6배가 된다. 부하단에 흐르는 정격전류 I_m를 통해 구한 단락전류 I_s ≃ 23(KA)가 된다.

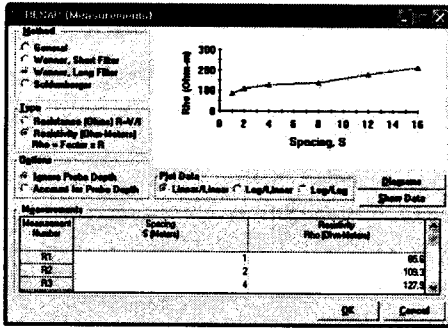


그림 2. 측정 대지저항률 데이터에 따른 곡선

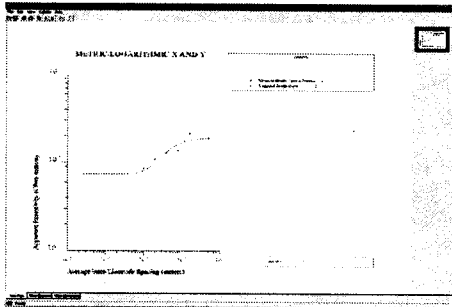


그림 3. 대지저항률 추이곡선

대지 내의 토양은 다양한 지질과 구조를 지니고 있으므로 현장에서 측정된 대지저항률은 접지 설계에 있어 매우 중요하다. 우선 4-Point Wenner 방법에 의해 측정된 대지저항률 측정값을 CDEGS RESAP 프로그램에 입력하여 정확한 토양의 지질 구조를 분석하게 되는데, 그림 2는 측정 대지저항률 데이터에 따른 곡선이 고 그림 3은 대지 저항률 추이곡선을 보여준다.

2.4 접지설계 시뮬레이션 결과

다층 지질 구조와 엄격한 접지망 모델링이 가능한 접지설계 프로그램인 CDEGS MALT를 이용하여 보다 정확하고 정밀한 설계를 하였다. IEEE Std. 80-86의 설계기준과 절차를 따르되 중요한 요소인 토양의 대지저항을 측정하여 이를 해석 토양 특성을 정확하게 반영하였기 때문에 최적설계가 가능하였다.

접지설계를 위한 면적은 전기실 기준으로 60x25m으로 지표면에서 2m 깊이에서 접지망을 설치하는 것으로 하였으며, 접지저항은 각 중수선 공장내의 부하 및 통신 설비 등 모든 시스템에 대해 접지를 공용으로 사용할 수 있도록 함으로써 각 시스템마다 접지를 하는 독립접지에 비해 비용적인 절감효과를 얻도록 구현하였다.

시뮬레이션 접지설계를 위해 접지도체의 굵기는 상지에서 언급한 나연동선으로 철도전기시설 관리규정에 따르고 기계적 강도 등을 고려하여 150 mm²로 하였으며, 단락전류 한계값은 이론적인 계산으로 구한 전류값보다 여유분을 고려하여 25(kA)로 설정하여 설계를 하였다. 접지망 설계에 따른 데이터값은 표 5와 같이 설정하였다.

표 5. 접지망 설계에 따른 데이터

| 구분 | 파라미터 값 |
|----------|-----------------|
| 가로방향 도체수 | 5 |
| 세로방향 도체수 | 5 |
| 접지봉 | 9EA, 6m, Ø 20mm |

그림 4는 접지설계에 따른 3차원 모델링을 보여준다. 접지 전극이 균일하게 분포하여 균일한 접지효과를 얻을 수 있도록 배치하였다. 그림 5는 전도접지 전류분포도 전류분포에 따른 전도접지 3차원 형태의 전위분포를 그림 6을 통해 볼 수 있다. 그림 7은 전도접지 보폭전압에 따른 3차원 형태의 모형을 나타낸다.

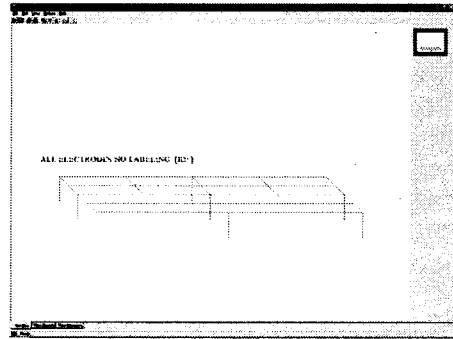


그림 4. 접지설계에 따른 3차원 모델링

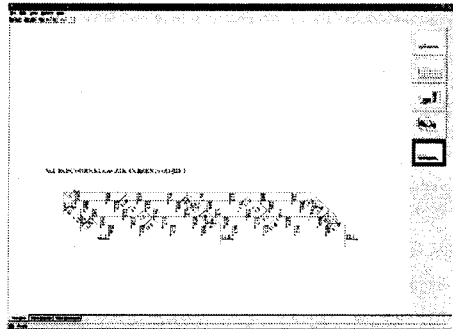


그림 5. 전도접지 전류분포

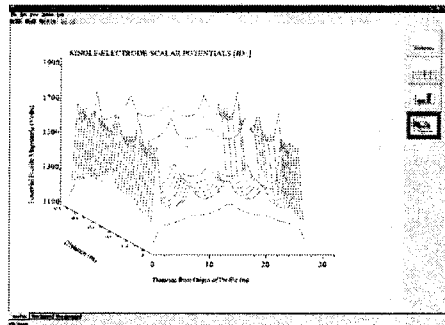


그림 6. 전도접지 3차원 전위 분포

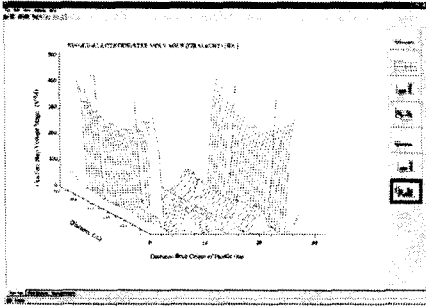


그림 7. 전도접지 보폭전압 3차원 전위분포

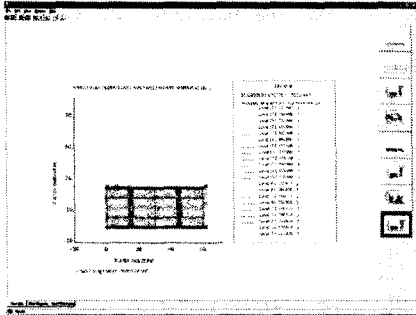


그림 8. 전도접지 접촉전압 전위경도

그림 8은 전도접지 접촉전압 전위경도를 보여주며, 그림 4~그림 8까지의 결과를 통해 얻은 접지전극의 전체 저항값은 1.7[Ω]이었다. 중수선 공장내에 설치되는 각 설비는 전기설비 기술기준에 따라 특성에 맞게 종별에 따른 접지를 설치해야 한다. 본 논문에서는 접지 저항값을 최소로 하는 설비기준에 맞추어 설계함으로써 같은 공간상에 접지망 설치에 따른 비용절감을 얻을 수 있었다.

3. 결 론

현재 적용하고 있는 시스템별 독립접지 방식은 많은 장점이 있지만 접지극간의 이격거리 확보 및 접지 면적의 확보에 많은 어려움이 존재한다. 본 논문에서 사례연구를 검토한 차량기지 내에서의 중수선 공장인 경우 전기실을 비롯한 다양한 시설물이 존재하게 되는데, 이에 따른 전기기기들도 다양하게 설치하게 된다. 그러나 전기실을 기준으로 지표면 하부에 설치되는 접지망인 경우 공간이 협소하게 된다. 따라서 시스템별 독립접지를 하 기에는 많은 무리가 뒤따른다.

본 논문에서는 시스템별 기종에 관계없이 전체적인 접지가 가능하도록 공용접지를 적용하였다. 이 때 접지전극의 저항값은 2[Ω]이하로 설정하여 모든 경우의 종별 접지가 가능하도록 하였다. 또한 경제적인 접지망 설계가 가능하도록 수작업에 의한 설계방법을 탈피하여 접지 전용 해석 프로그램인 CDEGS를 사용하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김형수, "다층 대지비저항 해석에 의한 최적 접지설계", 지구물리 논문지, 6권 3호, pp179~188, 2003
- [2] 송영주, "접지설비 절차에 따른 개선된 접지설비 모델", 조명전기설비학회 논문지, 22권 6호, pp50~60, 2008

- [3] 정현수 외 4인, "고밀도 건축물에 적용할 건물 구조체 접지 방식에 관한 연구", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 2001년 7월
- [4] 한국 XIT(주), XIT 접지시스템, 2001
- [5] 최홍규 외 2인, 접지설비 및 설계, 2005