

공동 접지망에서의 접지 저항값 시뮬레이션 및 측정

김용규, 김종기, 양도철, 박현준
한국철도기술연구원 전기신호연구본부

Simulation and Measurement of Earth resistance Values in Common Earth Network

KIM Yong-Kyu, KIM Jong-Gi, YANG Doh-Chul, PARK Hyun-Joon
Korea Railroad Research Institute Signaling & Electrical Engineering Research

Abstract - In this paper, we perform a simulation to verify the earth resistance values in Common Earth Network. The simulation is performed on the assumption that certain shorts are occurred in common earth network. Furthermore, from the result, we confirmed that very small earth resistance values in common earth network are given, by carrying out practical measurements in railway sections where common earth network is composed. From the effect, we could discover that the construction of common earth network is in a disadvantageous position on the financial aspect, while it is the most desirable way of construction for the purpose of Earth.

1. 철도에서의 접지 효과 시뮬레이션

일반적으로 철도 전기 시스템이 요구하는 접지 저항값은 10Ω 이하로 규정되어 있다. 이를 실현하기 위해 단독 접지를 사용할 경우에는 단일 접지봉 또는 다중 접지봉에 의한 접지 방법을 적용한다. 공동 접지의 경우에는 접지봉 대신 매설 접지선(BEC : Buried Earth Cable)을 사용한다. 단독접지와 공동 접지에 따른 접지 효과를 검증하기 위해 경부고속철도가 연계 운행되는 동대구-부산 기존선 전철화 구간에서 가장 큰 대지 고유 저항값(온도 32℃에서의 측정값 : 290.4Ω)이 측정된 신거역을 대상으로 접지 방법에 따른 대지 저항의 감소를 다음과 같이 시뮬레이션 하였다.

1) 단일 접지봉 사용시 : 깊이 3m로 매설된 3 개의 접지용 철봉을 10m 간격으로 설치한 후, 이들을 상호 연결하였다. 관련 계수는 아래와 같다 :

- 접지봉 길이(l) : 6m×3 = 18m
- 접지봉 직경(d) : 0.03m
- 매설 깊이(h) : 0.6m
- 도체 계수(ρ) : 원형 도체(1.3), 스트립 도체(1.0)

$$R_s = \frac{\rho}{2\pi l} [\ln(8l/d) - 1]$$

2) 다중 접지봉 사용시 : 단일 접지봉에서 사용한 특성과 동일한 16 개의 접지봉을 매설한 후, 이들을 상호 연결하였다. 이러한 방식은 현재 잘 사용하지 않으며, 관련 계수는 다음과 같다 :

- 접지봉 수(N) : 16
- 접지봉 길이(l) : 3m
- 접지봉 직경(d) : 0.0147m
- 매설 깊이(h) : 0.6m
- 도체 계수(ρ) : 원형 도체(1.3), 스트립 도체(1.0)

$$R_m = [\Lambda N(N) + 1] \frac{\rho}{2\pi l} [\ln(8l/d) - 1]$$

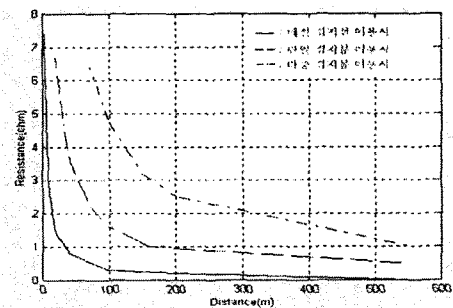
3) 매설 접지선 사용시 : 지상에서 0.6m 깊이로 동선을 매설한 후, 지상의 모든 철구조물을 매설 접지선에 연결하였으며, 관련 계수는 다음과 같다 :

- 매설 길이 : LTI 구간의 경우 : 50m
역 구간의 경우 : 500m
- 접지봉 직경(d) : 0.01m
- 매설 깊이(h) : 0.6m
- 도체 계수(ρ) : 원형 도체(1.3), 스트립 도체(1.0)

$$R_c = \frac{\rho}{2\pi l} [\ln(4 \times l^2/dh) - Q]$$

공동 접지가 전철화 선로 구간에서 적용될 경우, 공동접지의 길이는 전철화 선로의 길이와 동일하게 주어진다. 따라서 전철화 구간의 길이가 길면 길수록 대지 저항은 더욱 더 감소하며, 전철화 구간의 보

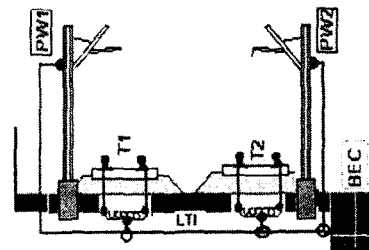
든 설비 및 인명에 대한 보호를 최적으로 실행할 수 있는 장점을 갖는다. 그러나 단독 접지는 접지 설비의 시공 한계로 인해 단지 사용자가 요구하는 대지 저항값만을 만족하도록 설계되며, 이는 전 구간에 대한 보호보다는 사용자가 필요로 하는 장소 및 설비에 국한되어 보호 작용을 실행하게 된다. 각각의 접지방식에 따라 앞에서 주어진 계수에 의해 실행된 접지 효과 시뮬레이션 결과는 <그림 1>과 같이 주어진다. <그림 1>에서 접지 저항을 1Ω 이하를 구성하기 위해 단일 접지봉을 사용한 경우에는 최소한 550m의 길이로, 다중 접지봉을 사용한 경우에는 160m의 길이로 접지봉을 부설해야 한다. 그러나 매설 접지선을 이용할 경우에는 단지 길이 30m만으로도 전기철도 규정에서 요구하는 접지 저항을 충족한다. 또한 시뮬레이션에 따라 공동 접지는 대지 저항을 1Ω보다 더욱 작게 형성함으로써 대지 저항은 단독 접지보다 공동 접지일 때 더욱 작아짐을 알 수 있다.



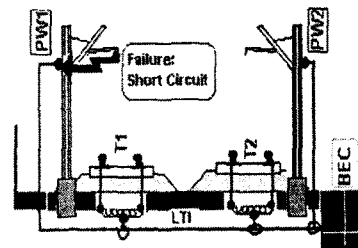
<그림 1> 접지 방식에 따른 접지 효과

2. 단락 회로 발생시의 접지 저항

공동접지를 사용하는 구간에서 단락회로 발생시의 접지 저항값을 예측하기 위하여 고속선의 임의의 구간에 대한 접지 저항값 시뮬레이션 및 측정을 실시하였다.



a) 정상적인 경우



b) 단락회로가 발생한 경우

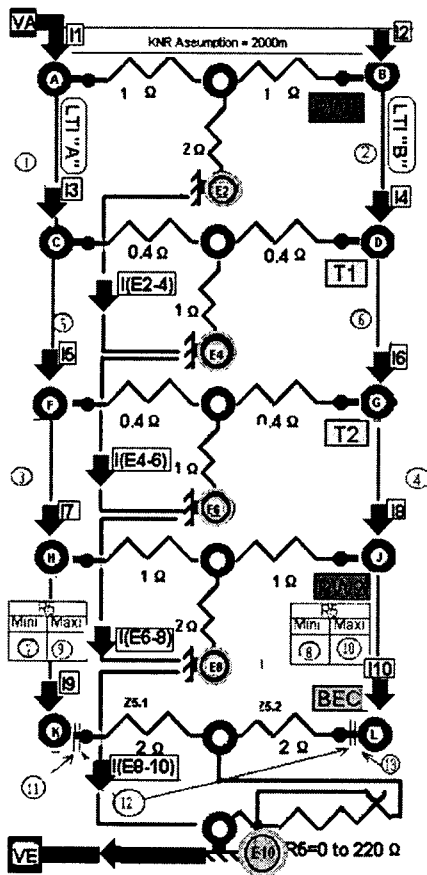
<그림 2> 선로 단면도

시물레이션에 사용된 변수는 전차선 보호선, 선로 및 매설 접지선에 연관된 사항으로 다음과 같다 :

- 1) 전차선 보호선(CPW : Catenary Protective Wire) :
 - 케이블 종류 : 95mm² ACSR
 - 가로 방향 임피던스 : 1 Ω/km
 - 접지 저항 : 4 Ω/km
 - 각각의 전차선 지지대 저항값 : 100 Ω/25개/km
- 2) 선로
 - 가로 방향 임피던스 : 0.8 Ω/km
 - 접지 저항 : 2 Ω/km
- 3) 매설 접지선(BEC : Buried Earth Cable) :
 - 케이블 종류 : 38mm² 동선
 - 가로 방향 임피던스 : 2 Ω/km
 - 접지 저항 : 1-440 Ω/km

접지 저항의 시물레이션은 LTI를 포함하여 약 2km 구간의 복선 선로에 대해 단락회로가 발생한 경우에 대하여 실행하였다. 그 결과, 전차선 보호선, 선로와 매설 접지선에 의해 주어진 변수에 따라 접지 관련 등가 회로를 구성한 후, 임의의 길이 "X"에 대한 임피던스값이 $Z_x = 0.099 + j0.467 \Omega/km$ 로 주어짐에 따라 대지 저항이 200 Ω/m인 경우의 Z_0 에 연관된 R_5 의 값은 대략적으로 $R_5 = 0.20 \Omega$ 로 예측되었다. 따라서 이러한 시물레이션의 결과는 비록 단락 회로가 발생한 경우에도 접지 저항은 1Ω 이하의 값을 항상 유지하였다.

3. 공동 접지망의 접지 저항값 측정

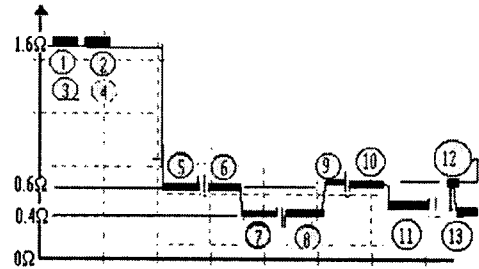


〈그림 3〉은 각각의 연결부에서의 실제적인 저항값을 확인하기 위해 측정을 실시하였다. 총 13개소에서 측정을 실시한 결과, <표 1>과 같은 측정값을 얻을 수 있었다. 여기서 ㉠과 ㉡로 표시되는 왼쪽의 LTI에 관련된 궤도 1 + 궤도 2 + 매설 접지선의 저항값은 0.4-0.6 Ω으로, ㉢과 ㉣으로 표시되는 오른쪽의 LTI에 관련된 궤도 1 + 궤도 2 + 매설 접지선의 저항값은 0.4-0.6 Ω으로 검증되었으며, 매설 접지선의 단락시에 측정된 ㉤, ㉥의 경우에는 각각 0.4 Ω, 0.6 Ω, 0.4 Ω으로 접지저항값이 주어졌다. 따라서 비록 공동 접지망에서 단락 회로가 발생할 지라도 접지 저항은 항상 신호시스템이 요구하는 1Ω 이하의 값을 유지함을 확인할 수 있었다.

〈표 1〉 접지 저항 측정값

측정방향	연결 상태	측정 위치	측정값(Ω)
왼쪽	궤도 1 + 전차선 보호선 1	㉠	1.2
오른쪽	궤도 1 + 전차선 보호선 1	㉡	1.2
왼쪽	궤도 2 + 전차선 보호선 2	㉢	1.2
오른쪽	궤도 2 + 전차선 보호선 2	㉣	1.2
왼쪽	궤도 1 + 전차선 보호선 1+궤도 2 + 전차선 보호선 2	㉤	0.6
오른쪽	궤도 1 + 전차선 보호선 1+궤도 2 + 전차선 보호선 2	㉥	0.6
왼쪽	LTI : 궤도 1 + 궤도 2 + 매설 접지선	㉦과 ㉧	0.4-0.6
오른쪽	LTI : 궤도 1 + 궤도 2 + 매설 접지선	㉨과 ㉩	0.4-0.6
-	왼쪽 회로 단락시	㉪	0.4
-	왼쪽+ 오른쪽 회로 단락시	㉫	0.6
-	오른쪽 회로 단락시	㉬	0.4

결론적으로 접지 저항의 측정값은 <그림 4>와 같이 전차선 보호선과 궤도만을 연결한 경우에 측정된 값이 1.2Ω으로 가장 큰 값을 가지며, LTI를 통한 전체 회로망 구성시에는 0.4Ω-0.6Ω으로 주어진다. 특히 이러한 공동 접지 시스템은 단락이 발생한 경우에도 이 값을 그대로 유지함을 확인할 수 있다.



〈그림 4〉 측정 위치에 따른 접지 저항값 분포

4. 결 론

전기철도시스템에서 선로변 설비 및 유지보수 요원의 안전 보장을 위한 접지 시스템은 단독 접지보다는 공동 접지 방식이 매우 우수한 접지 효과를 제공함을 확인할 수 있었다. 특히 철도의 신호 시스템에서 요구하는 접지 저항값을 기존의 단독접지에 비해 쉽게 얻을 수 있으며, 선로 전반을 통해 접지망이 하나로 연결됨에 따라 철도 시스템 전체에 대한 보호를 실현함을 알 수 있으며, 단락 현상이 발생하는 경우에도 관련 접지 저항값은 매우 작게 주어짐으로서 기기 보호에 매우 효과적임을 확인할 수 있었다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김용규 외 2인 "경부선 전철화 구간에서의 귀선 전류 및 임피던스 예측", 2001년 대한전자공학회 하계학술대회 논문집 (V), pp 123-126, 2001. 7.
- [2] 김용규 외 2인, "공동 접지망 구성 요소 LEAE와 LTI 분석", 대한전기학회 하계학술대회 논문집 (B), pp 1242-1244, 2001. 7.
- [3] 2x25kV 급전 방식에서의 공동 접지망 적용에 따른 귀선 전류의 영향, 2002년09월, 대한전기학회 논문집. vol. 51B, No 9, pp 509-514, 2002.9
- [4] Y.K.KIM and al, "Estimation and Measurement of traction return current on Gyeongbu electrification line", 2001 ICCAS, pp 1458-1461, 2001. 10.
- [5] 이길노 외 3명, "전기철도시스템의 접지 유형에 따른 귀선 전류 비교", 정보 및 제어학술대회 논문집, pp 53-55, 2005.
- [6] 이길노 외 3명, "궤도회로에서의 공동접지와 단독접지 인터페이스", 한국철도학회 추계학술대회 논문집, 2005.