

철도신호설비용 낙뢰방호장치의 건설 Construction of Lightning Protection System for Railway Signaling Equipments

최규형¹⁾ 서석철²⁾ 최세완³⁾
Kyu-Hyoung Choi Seog-Chul Seo Se-Wan Choi

ABSTRACT

This paper describes the lightning protection system for railway signaling equipments installed at subway car depots in Seoul metropolitan Rapid Transit Cooperation. Several measures for improving lightning protection performance are adopted; newly organized grounding system for neutral line of power system, rolling method to minimize damages induced by direct lightning strike, new measures to reduce voltage differences between the signaling equipments and the ground, and improvement of grounding system. The proposed system has greatly reduced the grounding resistance and also the voltage difference between the signaling equipments and the ground, and has prevented the accident related with lightning surges since it was installed. The proposed approach can be viewed as a useful alternative of dealing with lightning protection for railway signaling equipments.

Keyword: Railway, Signaling, Lightning, Surge, Grounding

1. 개요

철도 신호시스템의 역할은 운행 중인 철도차량의 간격과 진로를 제어하여 안전하고 적절하게 운영하는 것이 중요한 열쇠이다. 신호시스템의 신뢰성 있고, 안전성 있는 운영을 보장하기 위하여, Fail-Safe 와 Fault-Tolerant 구조 같은 많은 학문이 연구되었다.

신호시스템의 성능이 비약적인 발전과 중요한 개선이 이루어지는 동안, 불가항력적인 낙뢰는 철도 신호시스템을 파괴하였다. 이러한 문제에 대한 대책으로 서술이하철의 차당기자에, 개선된 낙뢰 방호 시스템을 도입하였다.

이 보고서에서는 제시한 낙뢰 방호 시스템에 대하여 설명하고, 실제로 운용한 결과를 토대로 작성되었다. 낙뢰 방호 성능을 향상·개선하기 위한 중요한 측정은 다음과 같다.

- 1) 새로운 낙뢰 방호 시스템은 고전압 전원시스템으로부터 서지를 억제하기 위하여 전원 시스템의 중심선 접지방식을 적용하였다,
- 2) 직접적인 낙뢰에 의해 유도되는 손상을 극소화하는 회진구체 구제 방법의 피뢰침을 적용하였다.
- 3) 신호설비와 접지의 전압 차이를 최소화하는 방법을 모색하였다.
- 4) 접지시스템의 개선하였다. 공동접지시스템을 도입하였고, 낮은 접지저항과 낮은 임피던스 저항을 갖도록 설계·시공하였다.

시스템을 건설한 후에, 낙뢰 서지의 접지선과 낙뢰유입 경로에 고전압을 인가하는 시험을 포함하는 낙뢰 서지 시험을 시행하였다.

낙뢰 서지에 대하여 신호시스템의 전자기 감수성 시험이 또한 시행되었다.

1 한국철도기술연구원 박사 경희원
2 서울산업대학교 철도전문대학원 석사과정 학생회원
3 서울산업대학교 교수, 공학박사

2. 철도신호시스템

2.1 철도신호시스템

지하철 차량기지에 설치되는 신호설비는 종합연차제어장치(TTC)와의 정보교환을 위한 정보전송장치(DTS), 열차방호장치(ATP), 전자연동장치(ED), 자동열차운행장치(ATO)와 같은 각종 장치로 구성되어, 복합 시스템으로 동작하고 있다. 모든 장치들은 마이크로 전자공학기술이 채택되어 성능이 크게 개선되어 있으며, 이러한 결과로 인하여 특별히 낙뢰가 치면 전기적 서지에 민감하게 반응하게 된다.

신호시스템이 점점 마이크로 전자공학기술과 Software 기술을 함께 채택하여 사용하고 있는 실정으므로 보다 정교한 낙뢰방호 시스템이 필요하게 되었다.

2.2 낙뢰 서지

신호시스템은 전원공급장치, 신호제어설비, 통신설비로 구성되어 있다.

신호제어설비의 임·출력설비 부분은 현장의 궤도에 부실된 궤도회로장치, 선로전환기, 신호기 등과 케이블로 연결되어 있는 관계로 낙뢰가 발생하였을 때 서지에 노출되기 쉬운 구조로 되어 있다. 이러한 낙뢰서지를 방지하기 위한 서지 방호장치와 접지시스템은 신호시스템이 정상 동작을 할 수 있도록 서지 유입을 억제하기 위해 중요한 역할을 한다. 또한 AC 전원선과 접지, 신호장비 사이에 전위가 동일하지 않고 전위차가 존재하는 관계로, 큰 서지가 도래하였을 때 서지전류가 흐르는 통로로 제공되어 마이크로 전자장치로 이루어진 신호시스템이 서지에 의해 쉽게 손상될 수 있다. 따라서 전원 시스템과 신호시스템, 신호시스템과 연결된 통신시스템, 전력시스템을 공동접지시스템으로 구성하여, 등전위 상태로 만들어 줌으로서 큰 서지가 도래하였을 때 서지전류가 흐르는 통로로 제공되지 않도록 함으로서 서지가 방호될 수 있을 것으로 기대된다.

3. 낙뢰 서지 보호 방법

새로운 낙뢰 방호시스템을 서울 지하철 차량기지에 건설하였다.

시스템을 설치한 중요한 목적은 우기동안 낙뢰에 의해 발생하는 신호설비의 고장을 방지하여 정해진 시간에 열차를 안전하게 운행하는 것이며, 신호설비의 손상을 방지하여 유지비를 절감하고 안정적으로 신호시스템이 운영될 수 있도록 하는 것이다.

3.1 서지 루트 분석

낙뢰로 인한 서지전류의 유입은 반도체와 소형 부품으로 구성된 PCB와 컴퓨터 시스템, 마이크로프로세서 등 신호설비의 약한 부분을 파괴할 가능성이 많으므로 이에 대한 대비책을 강구하지 않으면 안 된다. 낙뢰 서지에 대한 대책의 첫 걸음은 가정을 통해 서지 루트를 분석하고, 검토하며, 최종적인 결론에 도달하면 그 루트에 대해 서지가 유입된 것을 가해해 낙뢰와 유사한 전압을 가하여 모의시험을 하는 것이다. 낙뢰로 인한 서지전류의 루트는 다음과 같이 열거 할 수 있다.

- 1) 전원장치, 통신장치, 신호제어장치의 임·출력 부분
- 2) 기계설의 지붕이나 바닥 구조물
- 3) 전기와 정보통신 장비 사이
- 4) 철도 선로, 분선반, 건물 및 시설.

직접적인 낙뢰의 서지전류 루트는 다음과 같다.

- 1) 피뢰침의 직접적인 타격의 원인으로 발생하는 낙뢰 서지 전류
- 2) 고전압 배전반이나 전자선에 직접적인 낙뢰가 가해지는 경우

3.2 직격뢰에 대한 대책

피뢰침에 낙뢰가 치면 흡수되어 전위가 급속히 상승되고, 강한 서지전류가 흐르게 되어 약

진폭에 의해 동작되고 있는 신호장비에 피해를 줄 수 있다. 직접적인 낙뢰에 의해 초래하는 신호 시스템의 손상을 극소화하기 위하여, 급격히 상승한 전하를 효과적으로 방전시키고, 보호 지역을 기존의 피뢰침보다 확장할 수 있는 회진구체 방법이 채택되었다.

3.3 서지 방호기 설치

서지를 차단하기 위하여, 서지 방호장치를 각 서지 루트에 설치하였다.

- 1) 서지 방호장치는 신호기개실내의 전원장치 입력 앞단에 설치하였다
- 2) 신호시스템의 전자장치를 보호하기 위하여 시스템의 입·출력단에 서지 방호장치를 설치하였다.
- 3) 서시 유입을 방지하기 위하여 장비사이의 선압 차이가 최소가 되도록 접지선을 상호 연결하였다.
- 4) 신호기개실의 주변 구조물과 금속관은 서지 유입을 방지하기 위하여 전기적으로 접속 되도록 하였다.

3.4 접지시스템의 개선

접지시스템은 전원시스템과 신호시스템, 통신시스템을 동시에 접지하는 공동접지시스템으로 개선되었다. 모든 설비는 접지 전극을 통하여 직접 접지되도록 설계하고 시공하였다. 또한 낙뢰는 일정한 임펄스 주기를 가지고 있다고 가정하여 접지임피던스는 5Ω 이하, 접지저항은 20 이하로 설계 시공하여 그 값을 얻을 수 있었다.

4. 낙뢰 서지 방호시스템의 건설

안전하고 신뢰성 있는 낙뢰방호시스템을 건설하기 위하여, 다음과 같이 2 단계의 일을 실행하였다. 먼저 현재 설치되어 있는 접지의 접지저항값 측정과 낙뢰방호시스템에 어떠한 문제점이 있는지를 조사하여 분석하는 일이다.

다음으로 위 내용을 기본으로 하여 현장 대지의 접지저항을 측정과 이에 맞는 접지봉의 설계, 낙뢰 도래시의 전압의 상승과 전압의 분산을 측정하는 것을 포함하는 완벽한 낙뢰방호시스템의 디자인 그리고 건설이다

4.1 대지저항율의 측정

대지저항은 접지시스템의 디자인에 직접적으로 관련되는 물리적인 값이다.

대지 저항을 측정하기 위하여 Wenner's방법이 이용된다. 4개의 접지봉은 지상에서부터 동일한 깊이로 흠겨져 동일한 간격으로 설치된 상태로 대지저항율을 측정했다.

대지 저항률은 다음의 방정식으로 나타낼 수 있다.

$$\rho_E = 2\pi \cdot a \cdot RE \dots\dots\dots(1)$$

a : 접지봉 간의 간격거리[m]

ρ_E : 대지 저항 비율의 평균값

RE : 측정된 대지 저항

측정 장비의 사양은 다음과 같이 하였다.

- 1) 측정 장비 : SATURN GEO X
- 2) 측정 장비 제조사 : LEM NORMA GmbH
- 3) 측정 방법 : * 표준 3극/4극 * 보조 전극 없이 측정 * 측정주파수 : 94/105/111/128Hz
- 4) 측정범위 : 0.020 ohm - 3,000 ohm

4.2 현장에서의 지형특성 및 대지저항의 분석

더 깊게 그것이 지하의 밑으로 들어가면, 더 적은 대지 저항들이 된다.

낙뢰로 인한 서지 전류를 빠르게 방전시키기 위해 전압 상승을 억제하기 위해서는, 지하의 깊은 곳에 흐르는 대지 전류 측정이 필요하다. 몇 개의 차량기지의 대지저항을 측정한 결과는 표 1과 같다.

표 1. 대지 저항률 측정

측정점	대지저항률[ohm-m]			비고
	Depot 1	Depot 2	Depot 3	
대지(1-2m)	405	403	406	

4.3 낙뢰방호시스템의 건설

낙뢰방호시스템은 다음과 같이 건설되었다.



그림1 접지봉용 구멍파기.



그림2 접지봉 박기

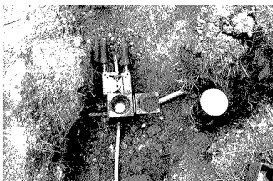


그림3. 접지선 용접 연결

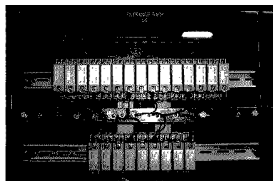


그림4. 신호설비에 서지방호기 설치

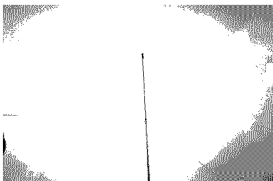


그림5. 회선구체법의 피뢰침

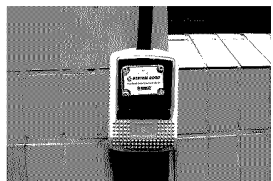


그림6. 낙뢰계수기 설치

- 1) 대지 저항 비율은 지하로 들어갈수록 더 작게 되기 때문에 19m유형의 접지봉을 채택하였다. 이는 우리나라와 같이 사계절이 뚜렷하여 여름에는 대지가 축축하고 지하에 지하수가 다량 흐르는 등 대지저항이 적게 나타나고, 반대로 겨울철에는 대지의 일부분이 얼고 갈수가 되는 등 지하수가 흐르지 않아 대지저항값이 높게 나타날 수 있는 조건과 온도 변화에 따른 대지저항의 변동이 감안되었다.

- 2) 접지봉은 전체 건물의 등전위전압을 유지시키기 위하여 설치위치를 적절하게 선정하였다.
- 3) 향후 접지 저항값의 변화가 발생하였을 때 재시공을 하지 않고 간단히 전해물질을 충전 하는 작업으로 접지 저항값을 확보 할 수 있도록 접지봉의 충전부가 노출되도록 하였으며, 접지봉의 충전부와 공기 순환구가 막히지 않도록 접지봉을 보호하고 관리할 수 있도록 하였다.

4.4 낙뢰방호시스템 성능 개선

새롭게 건설한 낙뢰방호시스템은 표2에 보이는 것과 같이 낙뢰방호성능이 개선되었다. 낙뢰가 컸을 경우 가능한 빨리 접지를 통하여 전압과 전류를 방전시키기 위하여 접지저항은 38Ω 이상에서 0.266Ω으로 감소하였으며, 등전위를 만들기 위하여 신호시스템과 관련된 모든 장비에 대하여 접지선을 연결함으로써 타 장비와 신호장비와의 전압차가 5V 이상이던 것이 0.03V로 감소되었다. 따라서 이상전압이 들어오더라도 일부기기에 전압이 상승하는 사례가 발생하지 않았다. 그림6은 접지저항 측정치를 보여준다.

표 2. 낙뢰방호성능의 개선

건설 전	건설 후
오도, 습도 등 계절적 변화 요소에 따라 변화	계절적 변화요소와 관계없음
수명 3 - 7 년	수명 30년 이상
접지저항 : 38 ohm	접지저항 : 0.266 ohm 접지 임피던스 : 0.268 ohm
전위차 : 5 volt 이상	전위차 : 0.03 volt 이하
접지봉: 붕도류봉(0.2mm) 18mm x1m, 1.8m	접지봉: 구리 파이프 54mm x13m-24m
접지 판: 250mmx250mmx0.7t	없음
접지선 14sq, 22sq, 38sq	접지선 38sq, 60sq, 80sq, 100sq

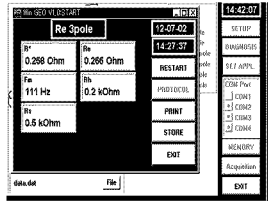


그림 7. 접지저항 측정치

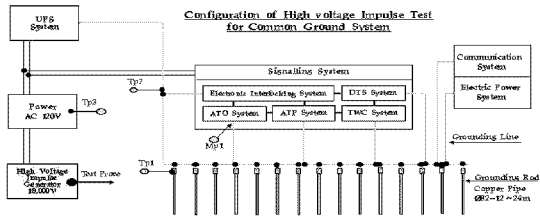


그림 8. 고압임펄스 시험구성도

5. 고압 임펄스 시험

낙뢰방호시스템의 건설 후에 접지시스템의 성능 평가를 위하여 고전압 임펄스를 인가하는 시험을 시행하였다.

5.1 시험방법

낙뢰방호시스템의 성능 평가 시험은 모든 신호시스템이 전지선과 연결되어있으므로 고압 임펄

스 전압을 접지선에 가하고 신호선비의 손상 여부 및 대지로의 방전 능력을 시험하는 것이다. 그림8은 서울지하철 차량기지에 설치된 새로운 접지시스템의 개략도이다.

고전압 임펄스 발생기에 의해 만들어진 고전압 임펄스는 접지봉(그림8의 T_{p1})에 인가되며, 신호선비의 입력단자에서 결과를 측정한다.

5.2 시험결과

18,000V(8×20μs) 임펄스를 접지봉에 인가하였을 때 신호기계실 입력단자에서 측정된 전압은 그림8-10과 같다. 이 접지시스템이 설치된 신호시스템에서 최대로 측정된 전압은 8V이하로 나뉘에 의한 서지와 기타의 서지를 즉시 방전하고 억제하였다. 신호시스템은 손상을 입지 않았다.

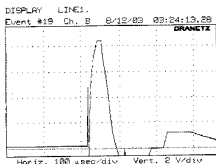


그림9. 차량기지 #1에서 전압측정

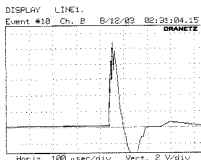


그림10. 차량기지 #2에서 전압측정

6. 결 론

제안된 낙뢰방호장치의 실전적인 결과는 다음과 같이 나타났다.

첫째 : 그 동안 사용되던 접지저항을 38Ω에서 0.266Ω으로 최소화 시켰다.

둘째 : 신호선비와 접지간의 전위차가 5V에서 0.03V로 감소되었다.

더욱이 접지봉의 수명을 30년으로 연장하였으며, 제안된 접지시스템은 온도, 습도, 계절의 변화에도 안정적으로 동작할 수 있게 되었다. 고전압 임펄스 인가 시뮬레이션 시험에서는 접지시스템은 서지 전류를 즉시 방전시키고, 신호시스템에 서지 전압의 유입을 성공적으로 억제하였다.

시스템이 2002.7월에 건설된 이후, 현재까지 낙뢰로 인한 사고는 발생하지 않았고 신호시스템은 정상적으로 동작되고 있다. 제안된 접지시스템은 철도신호시스템의 안전성과 신뢰성을 확보하는데 좋은 개선 방안이라고 생각된다.

참고문헌

- [1] T. Wakabayashi, "Lightning Surge Route and Countermeasure for Electronic Signaling System, RTRI Report, vol. 13, no. 8, pp.27-32, 1999.
- [2] R. J. Hill, Modeling and Simulation of Electric Railway Traction, Track Signaling and Power Systems, Fourth International Conference on Computer Aided Design, Manufacture and Operation in the Railway and Other Mass Transit Systems, pp. 383-390, 1994.
- [3] J. H. Song and H. Hwang, Safety Evaluation on Common Grounding System for Electric Railway, Trans. KIEE, vol. 51B, no. 6, pp.298-306, 2002.
- [4] Y. C. Jung, et al, "Improvement Plans of Railway Standards for Surge Protective Devices Used in Low-voltage Power Circuits," J. of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineering vol. 16, no. 2, pp.90-97, 2002.