

지하철 차량기지에서의 등전위 본딩에 의한 신호시스템 낙뢰보호대책

論 文

56-1-14

Lightning Protection of Signalling Equipments at Subway Car Depot by Equi-potential Bonding

徐石喆* · 崔圭亨†
(Seog-Chul Seo · Kyu-Hyoung Choi)

Abstract - Signalling equipments at railroad sites are widely exposed to high voltage lightning surges. This paper presents a lightning protection system for the signalling equipments at subway car depots. The main features of the system are as follows : (1)the common grounding system between power system grounds and the signaling system grounds, (2)physical and chemical methods to reduce grounding resistivity, (3)rearrangement of lightning rods based on the rolling ball theory, (4)equi-potential bonding networks to minimize the potential differences between the equipments grounds. The system has been constructed at six subway car depots in Seoul metropolitan area and it is measured that the grounding resistivity are reduced to 0.266 ohms and the potential differences between devices are reduced to a negligible quantity. After the construction of the systems, it has not been reported the break-down of the signalling equipments caused by lighting surges.

Key Words : 지하철, 차량기지, 신호제어장치, 낙뢰, 서지보호

1. 서 론

철도신호시스템은 열차들의 운행간격과 열차진로를 제어하는 기능을 담당함으로써, 열차를 안전하고 효율적으로 운행하는 데 있어 핵심적인 역할을 수행한다. 철도신호시스템의 고장은 열차운행중지를 비롯하여 열차충돌이나 탈선 등과 같은 치명적인 철도사고로 직결될 수 있기 때문에, 그 신뢰성 및 안전성을 확보하는 것이 무엇보다 중요하다. 이를 위해 시스템에 고장이 발생하더라도 안전측으로 동작하여 사고를 방지하는 안전측 동작(Fail-safe) 원리와 시스템에서의 일정 부분 결함을 허용할 수 있는 결함 허용(Fault-tolerant) 구조 등이 적용되어 신뢰성 및 안전성을 향상시키는데 크게 기여하고 있다[1].

최근의 철도신호시스템은 마이크로프로세서 및 전자제어 회로를 비롯한 정보통신장치로 구성되어 전자화가 진척되고 있는데, 이 방식은 고성능화, 다기능화 및 소형화 등이 용이한 장점이 있는 반면 고전압 서지에 대해 취약하다는 단점이 있다. 특히, 철도신호시스템은 철도선로를 따라 광범위한 범위에 걸쳐 설치된 현장장치와 신호기계실에 설치된 각종 제어장치, 그리고 이들을 접속하기 위한 통신 케이블 등으로 구성되어 있기 때문에, 낙뢰 등과 같은 자연환경에 노출되어 뇌서지가 침입하기 쉬운 구조로 되어 있다[2]. 이에 따라, 전자화된 신호시스템이 낙뢰 등 외부 요인으로 인하여 고장이

발생한 사례들이 많이 나타나게 되었고, 이에 대한 보호대책의 중요성이 더욱 높아지게 되었다[3].

지하철 차량기지는 열차의 조성, 정차, 검수 및 정비를 위한 곳으로, 차량 검수 및 정비시설을 포함하여 철도선로가 복잡하게 구성되어 있고, 많은 열차가 밀집되어 운행되고 있다는 특성이 있다, 이에 따라, 이들을 통제하기 위한 신호시스템도 복잡한 구성으로 되어 있으며, 넓은 지역에 걸쳐 각종 구조물 및 신호설비가 설치되어 있기 때문에, 낙뢰의 피해가 많이 발생하고 있는 취약지역이다. 본 논문에서는 차량기지에 설치되어 있는 신호시스템을 대상으로 하여, 기존에 설치되어 있는 낙뢰보호설비를 분석하여 문제점을 도출하고, 이를 개선하기 위한 대책을 제시하였다. 주요 개선 사항으로는, 공통접지방식의 도입, 회전구체 기법을 이용한 피뢰침 설계, 접지저항을 최소화하기 위한 접지극 및 접지시스템, 신호장치 접지 사이의 전위차를 최소화하기 위한 등전위 본딩, 고압배전설비의 중성점 접지 등이다. 또한, 이상과 같은 대책을 종합적으로 구현한 낙뢰보호시스템을 지하철 차량기지 현장에 구축하고, 접지저항 및 전위차 측정, 고전압 인가시험을 통하여 그 유효성을 검증하였다.

2. 철도신호시스템의 주변 전기 환경

2.1 철도신호시스템 구성

철도신호시스템은 그림 1에 보이는 것처럼, 신호기와 선로전환기, 궤도회로(TC : Track Circuit) 등의 선로변 장치들이 현장 철도선로변을 따라 넓게 포설되어 있으며, 이들을 신호케이블로 접속하여 그 동작상태를 감시·제어하는 전자연동장치(Electronic Interlocking Equipment)와 자동열차방

* 正 會 員 : 서울産業大 鐵道電氣 · 信號工學科 博士課程

† 교신저자, 正會員 : 서울産業大 鐵道電氣 · 信號工學科 教授 · 工博

E-mail : khchoi@snut.ac.kr

接受日字 : 2006年 8月 31日

最終完了 : 2006年 11月 30日

호장치(ATP : Automatic Train Protection)를 중심으로 열차진로제어 및 열차간격제어의 핵심 기능을 수행하고 있다.

자동열차운전을 실시하기 위해서 자동열차운행장치(ATO : Automatic Train Operation)가 설치되며, 부속설비로 열차위치검지기(PSM : Position Marker)가 정차역 진입구간에 설치되고, 플랫폼과 열차간의 열차운행관련 데이터 전송을 위한 선로변 통신장치 (TWC : Train Wayside Communication)가 설치된다.

열차운행관리 측면에서는, 최상위계층의 종합사령실에 종합열차제어장치(Total Traffic Control)가 설치되어 전체 선로구간에서의 열차운행 및 신호장치를 집중 감시·제어하고, 이의 하위시스템인 지역제어장치(Local Control)는 각 지역별로 설치되어 한정된 선로구간에서의 열차운행 통제를 담당하는 구성으로 되어 있다.

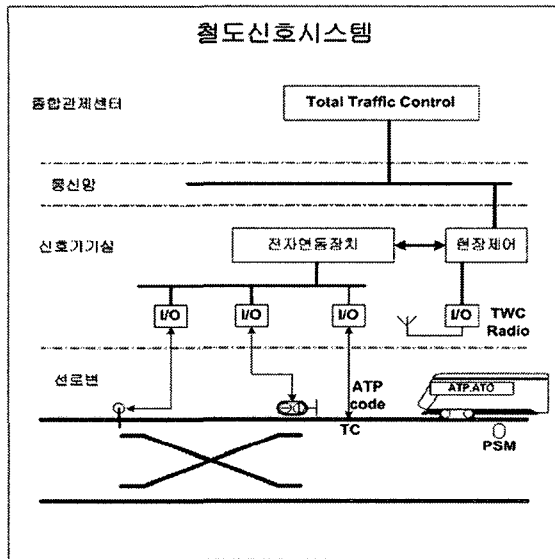


그림 1 철도신호시스템 구성
Fig. 1 Configuration of railway signalling system

2.2 신호기계실 주변 전기환경

도시철도 차량기지의 신호기계실에는 전자연동장치, 자동열차방호장치, 자동열차운전장치의 핵심제어부분이 설치되며, 선로변 장치와의 데이터 통신 및 인터페이스 장치를 포함하여, 종합사령실에 설치되는 열차운행관리장치와의 데이터 통신 및 인터페이스 장치 등 다수의 신호장치 등이 설치된다. 이러한 신호장치 들은 동작전압이 낮고, 응답속도가 빠르며 LSI화 된 정보기술기기(ITE : information technology equipment)로 구성되어 있어, 낙뢰로 인한 고장 및 사고가 발생하고 있다[4]. 대표적인 사례로써, 계전기를 이용한 전기연동장치 대신에 전자연동장치를 도입하면서 낙뢰로 인한 오동작 및 고장이 빈발하였다는 보고가 있었고, 이 외에도 낙뢰로 인한 철도신호시스템 장애에 대한 많은 사례가 보고되어 있다[5-9].

신호기계실 주변의 전기환경은 다음과 같이 열악한 조건에 놓여 있다고 분석된다.

1) 신호시스템은 전자제어장치, 전원장치, 통신장치 등 많은 설비가 종합적으로 구성되어 있는데, 신호기계실의 공간에 병설된다. 일반적으로 신호기계실의 주위 면적이 협소하기 때문에, 단독접지방식을 채택한 경우, 접지 경계가 강전계통의 접지와 중복되어, 상호간에 충분한 이격거리가 확보하기 어렵다.

2) 신호기계실과 선로변 장치들은 철도선로 즉 레일에 근접하고 있는데, 레일은 자연환경에 노출되어 있어 낙뢰 등의 직접적인 영향을 받기 쉽다. 또한, 전기철도의 선로에는 고전압의 전차선이 병설되어 있어, 전동차 구동을 위한 대전류가 흐르고 있는데, 전기철도는 기본적으로 전차선 1선과 레일을 귀선으로 하는 전기회로로 구성되기 때문에 레일에 귀선전류의 일부가 흐르도록 되어있다. 이 귀선전류는 열차의 역행, 제동 등 운전상황에 따라 그 크기 및 주파수 성분이 항상 변동하는데, 레일은 대지와는 불완전 절연상태로써 레일 전위도 항상 변동하며 전자유도장해 및 전기부식을 유발시킨다. 한편, 전차선에의 낙뢰 및 전력계통에서의 스위치 개폐로 발생한 서지 등도 신호시스템에 직접적인 영향을 미친다.

3) 신호시스템에서는 선로상에서의 열차 위치를 검지하기 위하여, 그림 2에 보이는 것처럼, 레일을 일정 구간으로 구분하고 궤도회로를 설치하기 때문에, 레일과 전기적으로 접촉하도록 되어 있다. 그림에서, 임피던스 본드는 궤도회로를 구성하기 위해서 단절된 레일 부위에 설치되어, 전차선 귀선전류는 통과시키고 궤도회로 전류는 차단시켜서 인접 궤도회로와 분리되도록 하는 기능을 수행한다. 이와 같이, 신호기계실로부터 레일에 설치된 궤도회로 및 신호기, 선로전환기까지 신호케이블 및 전원선이 방사상으로 포설되어 있다. 이러한 신호케이블 및 전원선은 신호기계실에서 외부로 인출된 도선들으로써, 선로변에 레일과 병행하여 설치되며 그 연결이 길고 또한 접속되는 선로변 신호장치들도 자연환경에 그대로 노출되어 있어 낙뢰 등 외부 영향을 받기 쉬운 구조로 되어 있다.

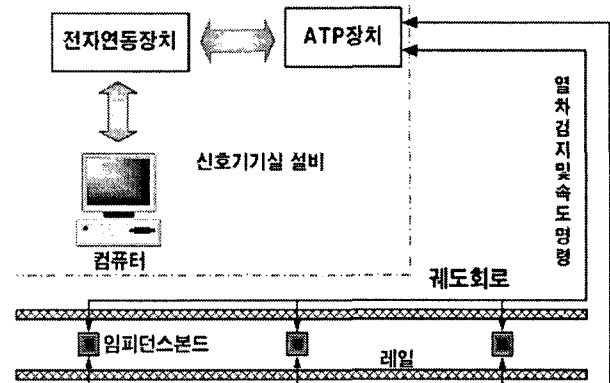


그림 2 신호기계실과 외부 접속 장치
Fig. 2 Wayside equipments connected to signalling equipment room

3. 신호기계실 낙뢰보호 대책

차량기지 신호기계실에 대해, 기존의 낙뢰보호설비에 대한 문제점을 분석하고 개선 방안을 도출하기 위하여 다음과 같은 분석을 수행하였다.

3.1 서지 유입경로 분석

낙뢰 서지의 발생원은 피뢰침에의 직접적인 뇌격에 의한 낙뢰 서지의 발생 외에도, 전차선로나 철도부하용 고전압 전력설비에 직격되 또는 유도되 등에 의해 낙뢰가 가해져서 낙뢰 서지가 발생하는 경우가 있다. 이와 같이 발생한 낙뢰 서지가 신호기계실에 유입되는 경로를 분석하면 다음과 같다.

- 1) 신호기계실의 전력, 통신, 신호, 제어설비 등의 입력 및 출력부분
- 2) 신호기계실의 바닥, 천장의 구조체에 의한 유입
- 3) 전력-통신, 전력-신호, 신호-통신 장비간의 유입
- 4) 철도선로, 접속함, 인접건물 및 설비를 통한 유입

3.2 낙뢰보호설비 분석 및 개선 대책

차량기지에서의 신호시스템에 대한 기존의 낙뢰 보호설비에서의 문제점 분석 및 그에 대한 개선방안을 다음과 같이 도출하였다.

(1) 신호기계실의 낙뢰방호를 위하여 접지와 피뢰기, 서지 보호장치 등이 도입되어 운용 중에 있으나, 기존 설비에서는 종전의 전기기술기준에 따른 단독접지방식을 취하고 있어, 3종 접지와 1종 접지, 신호통신접지와 전력접지간의 전위차가 5[V] 이상까지 발생하고 있다. 이에 따라, 뇌 서지 등이 유입될 경우, 접지간의 전위차가 높게 나타나 전자화된 신호장치 등이 손상되기 쉬우며, 이를 방지하기 위해서는 공통접지방식을 적용할 필요가 있다.

(2) 신호기계실내의 신호장치 들은 다수의 랙 캐비닛(rack cabinet) 들로 구성되는데, 이들을 접지극에 연결하는 접지선이 다단계에 걸쳐 직렬로 길게 접속되어 있는 경우가 많다. 이에 따라 접지임피던스가 높게 나타나고, 각 신호장치들의 접지 사이에서도 전위차가 0.1~0.8[V] 까지 발생한다. 이와 같은 전위차를 줄이고 서지에 의한 피해를 방지하기 위하여 등전위를 유지하도록 대책을 강구할 필요가 있다. 이를 위해, 신호기계실의 모든 장비와 금속구조체 등을 전기적으로 접속한 등전위 본딩(equipotential bonding)을 실시하고, 접지선의 직렬연결을 병렬접속으로 시공하도록 한다. 또한 신호기계실 건물 전체를 등전위로 만들 수 있도록, 건물 주변에서의 전위경도 등을 고려하여 접지극 설치 위치를 선정하도록 한다.

(3) 기존의 접지설비에서 접지극의 매설 깊이가 낮고 접지저항이 38[Ω] 까지 높게 나타났다. IEEE 등 국제규격에서 정보통신설비들의 접지저항을 2[Ω] 이하로 할 것을 권장하고 있는 점을 감안하여, 접지저항을 최소화하기 위한 방안을 강구하도록 한다[10]. 현장 조사 결과, 대지저항률이 높고, 낮은 층으로 갈수록 대지저항률이 저하되는 수평구조형 지질로 되어 있기 때문에, 접지저항을 감소시키기 위하여 접지전극을 가능한 깊게 매설할 필요가 있다. 이는, 계절에 따른

기온변화의 영향으로 접지저항이 변동하는 것을 최소화하기 위해서도 필요하다.

(4) 직격뢰에 대비한 피뢰설비에 있어, 기존 피뢰침 설비는 보호각을 적용한 설계로 되어 있어 보호각내의 공간이 완전히 보호되지 못할 우려가 있으므로, 회전 구체법을 적용하여 완전한 피뢰보호공간 확보가 가능하도록 한다.

(5) 차량기지내 전력공급을 위한 배전설비에서 6600V/220V Δ-Y결선의 2차측 배전선 중성점이 비접지상태로 되어 있는데, 이를 접지시킴으로써 전력계통으로부터의 서지 유입을 최소화한다.

4. 낙뢰보호시스템 구축 및 시험

앞서 도출한 낙뢰보호설비 검토사항을 토대로, 지하철 차량기지에 낙뢰보호시스템을 실제로 구축하여 시험평가를 수행하였다. 시스템 구축에 있어 가장 중점을 둔 부분은 다음과 같다.

4.1 접지극 구성

접지극의 접지저항을 최소화시키기 위하여 다음과 같이 물리적, 화학적 저감방법을 병행하여 같이 적용하였다.

물리적 저감방법으로는, 접지극의 치수를 확대하고 여러 개의 접지극을 병렬 접속하여 접지저항을 감소시켰다. 이를 위해 접지극으로 사용하는 접지봉(순동 파이프 φ54mm)의 길이를 12[m] 이상 24[m] 까지 길게 하여 매설깊이를 깊게 하였고, 보링장비를 이용하여 지반을 수직으로 12[m] 이상 깊게 천공하여 접지봉을 매설하는 보링공법을 적용하였다.

화학적 저감방법으로는, 접지극이 매설되는 토양의 대지저항률을 감소시키기 위한 접지저항 저감제를 봉입하였다. 이 저감제는 수분과 반응하여 알칼리성 전해질을 생성하여 주변 토양에 공급함으로써 토양의 저항률을 낮추어 접지저항을 감소시키는 역할을 한다. 또한 공해를 발생시키지 않고, 접지봉의 부식이 없으며, 접지저항 저감효과가 영속적일 필요가 있다.

또한, 접지봉의 병렬접속을 통하여 접지저항을 감소시키기 위하여, 그림 3에 보이는 것처럼, 신호기계실이 속한 차량기지 관리동 주변에 접지봉을 총 15개 매설하였다. 이들 접지봉을 발열융용접속을 통하여 접지선으로 접속함으로써 접지저항이 낮은 접지극을 구성하였다. 접지봉의 배치는 건물 주변의 전위경도가 최소화되도록 하고 신호기계실의 접지 대상 장치와 최단거리에 위치하도록 하되, 지하 매설물과 이격시켜 시공의 안전성을 확보하도록 한다. 또한 접지극의 종단은 전차선로의 피뢰기 접지극과 접속하였고, 신호기계실 건물 옥상에 설치된 2개의 피뢰침을 피뢰도선을 통하여 접지극에 접속하였다.

이상과 같이 접지시스템을 구축한 후, 접지저항을 측정한다. 결과, 0.266[Ω]까지 저하되는 것을 확인할 수 있었다.

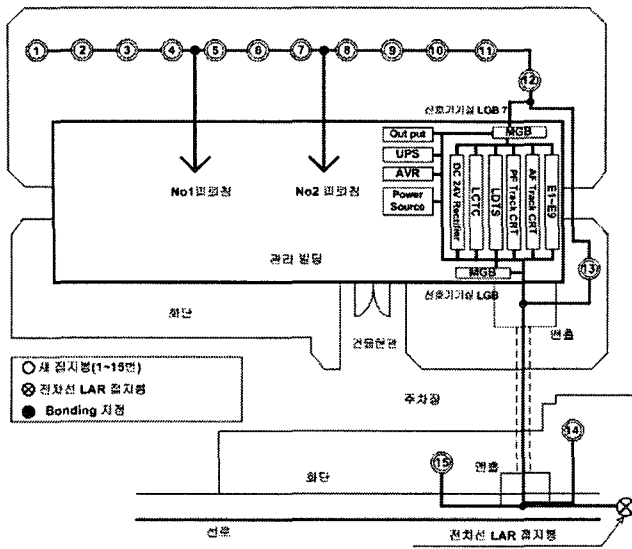


그림 3 접지봉 설치 구성도
Fig. 3 Arrangement of grounding rod

4.2 등전위 분당 네트워크 구성

신호기계실내 각 신호장치 간 및 접지간의 전위차를 최소화하기 위하여, 모든 신호장치 및 전원장치, 건물내 금속구조체 등을 한 곳에 집중시켜 등전위 분당을 적용하였다. 신호기계실에서의 등전위 분당을 위한 주요 대상물을, 국제규격의 정의에 따라 분류하면 다음과 같다[4][11].

- (1) UPS, AVR, 변압기 등의 전기기기의 노출 도전성 부분
- (2) 신호기계실의 천정 구조체, 액세스 플로어, 케이블 트레이 등 계통의 도전성부분
- (3) 신호시스템을 구성하는 각종 정보통신장치 및 직류전원공급장치
 - E1-E9 : 전자연동장치
 - AF Track CKT, PF Track CKT : 궤도회로 장치
 - LDTs(Local Data Transmission System) : 통신장치
 - LCTC(Local Central Traffic Control) : 지역제어기
 - 정류기 및 충전지
- (4) 신호용 케이블
- (5) 신호취급실 등 인접 시설물
- (6) 전력케이블
- (7) 접지극

이상과 같은 등전위 분당 대상물에 대하여, 그림 4에 보이는 것처럼 신호기계실에서 등전위 분당 네트워크를 구성하였다. 네트워크 구성은 기본적으로 스타형으로써, 방사형으로 접속되는 보호도체(protective conductor)를 통해서 모든 기기들을 주접지단자(MGB : main ground block)의 한곳으로 집중시켜 분당함으로써 등전위를 구현함과 동시에, 이를 다시 접지극에 접속하는 일점 접지 방식으로 하였다. 이 방식은 접지와 기기 양단간의 접속길이가 최소화되어 외부 잡음에 대한 영향을 적게 받고 보수점검이 용이하며, 접지임피던스가 최소화될 수 있다는 장점이 있다. 또한, 신호제어장치들과 같이 직류전원으로 가동되는 경우 특히 유효하다고 평가되고 있다[12][13].

그리고, 신호기계실에는 랙 캐비닛 등 각종 장치 및 케이블 등이 대량으로 배치되기 때문에, 이 모두를 1개소에 집중시키기 곤란하다는 문제점이 있다. 이에 따라, 주접지단자를 2개소에 설치하되, 이들을 접지선을 통하여 상호 접속시킴으로써 일점으로 집중시키는 효과를 얻도록 하였다. 또한, 신호시스템을 구성하는 각종 정보통신장치들에 대해서는 그 수가 매우 많기 때문에, 보조접지단자를 추가로 설치하여 장치별/그룹별로 국부적인 집중을 실시한 후에, 이를 다시 주접지단자로 집중시키도록 하였다. 그림 5는 주접지단자에서의 보호도체 접속상태를 나타내고, 그림 6은 신호시스템을 구성하는 전자연동장치, 열차방호장치, 통신장치 등의 각 랙 캐비닛에의 분당 과정을 보인다.

한편, 신호기계실 외부로부터 실내로 인입되는 전력용 및 신호용 케이블의 충전부에 대해서는, 서지 보호장치(SPD : surge protection device)를 통하여 등전위 분당을 실시함으로써, 고압 서지가 유입되는 과도기간 동안 단락되어 등전위가 유지되도록 하였다.

이상과 같이 등전위 분당을 실시하고 전위차를 측정된 결과, 신호장치 접지 간의 전위차가 기존의 0.1~0.8[V]에서 0.03[V]로 크게 감소되는 것을 확인하였다.

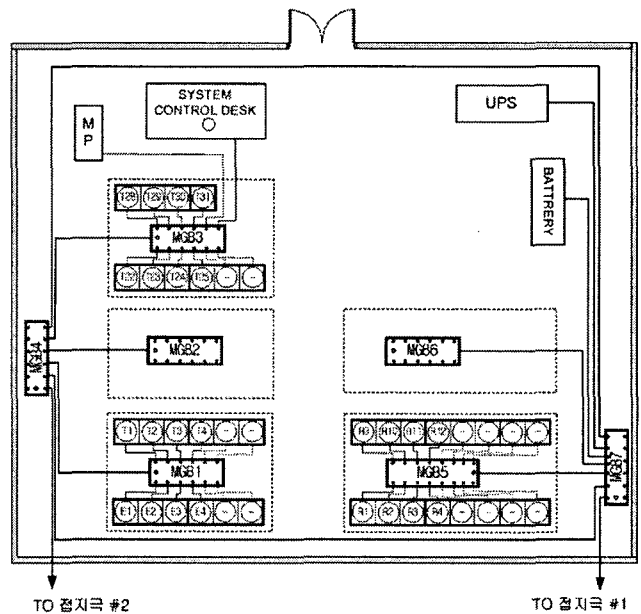


그림 4 신호기계실 분당 네트워크 구성
Fig. 4 Bonding network configuration at signalling equipment room

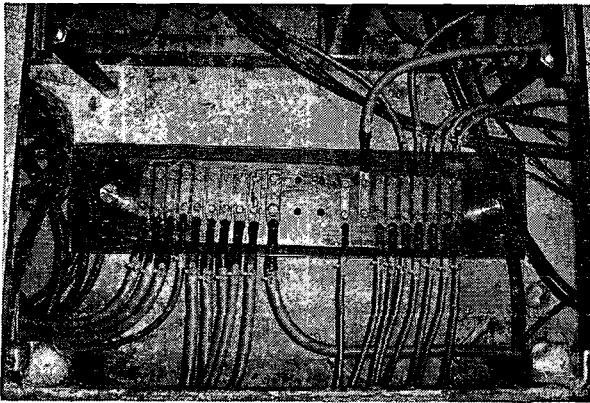


그림 5 주접지단자
Fig. 5 Main grounding block

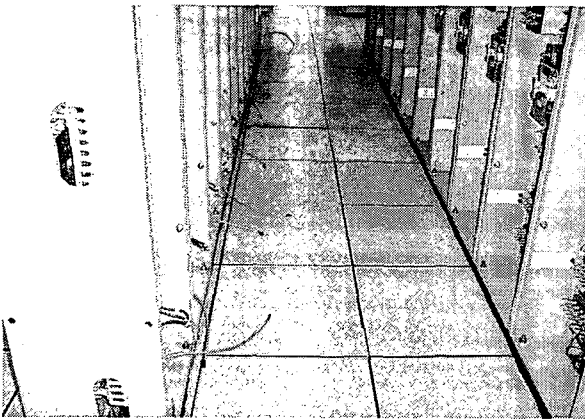


그림 6 본딩 도체 접속
Fig. 6 Bonding conductor connection

4.3 서지 인가 시험

낙뢰보호시스템을 구축한 후, 모의 서지 인가 시험을 수행하였다. 이 시험은 신호기계실에서 낙뢰 서지의 침투 경로에 고전압 서지를 인가하고 신호장치 접지단자에 침투하는 서지의 크기를 측정하여 상관관계를 조사함으로써, 구축된 시스템의 기본적인 서지 억제 성능을 확인하기 위한 것이다.

이를 위하여, 그림 7에 보이는 것처럼, 고전압 서지를 접지봉(TP1)에 인가하고 신호장치 접지단자(MP1)에서 전압을 측정하였다. 고전압 서지의 크기는 가능한 높은 것이 바람직하나, 지하철 차량기지 현장에 반입할 수 있는 서지 발생기에 한계가 있기 때문에, 휴대형 서지 발생기에서 발생시킨 18,000[V](8×20μs)로 시험을 수행하였다. 시험 결과, 신호장치 접지단자(MP1)에서 측정된 전압 파형을 그림 8에 보인다. 또한, 그림 9는 동일한 시험을 다른 차량기지에서 수행하여 측정된 전압 파형을 나타낸다. 그림 8과 그림 9에서 보는 것처럼, 접지봉에 서지를 인가한 후 신호장치 접지단자에서 측정된 전압은 8[V] 미만으로 나타났다.

이상과 같이, 접지봉과 신호장치 접지단자가 근접하여 직결되어 있는 상태에서, 접지봉에 인가한 18,000[V]서지에 대하여 신호장치 접지단자에 8[V] 미만의 낮은 전압이 전도되

어 나타났다는 것을 측정할 수 있었고, 이로부터 외부로부터 신호장치 접지단자에 침입하는 서지가 매우 낮게 억제된다는 것을 확인할 수 있다.

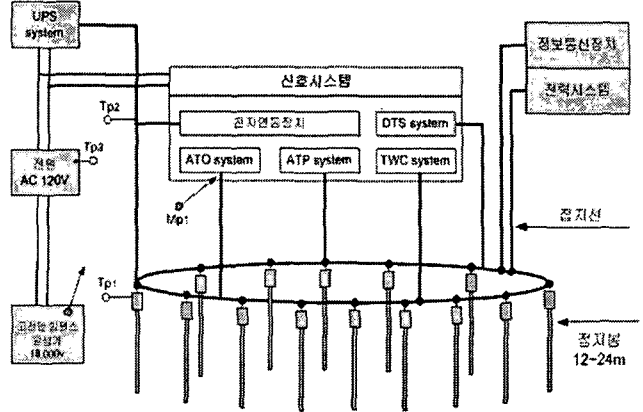


그림 7 서지 시험 구성도
Fig. 7 Test configuration of high voltage test

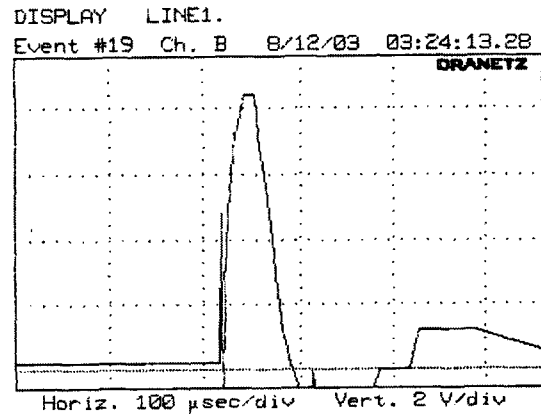


그림 8 전압 측정 파형
Fig. 8 Voltage measurements

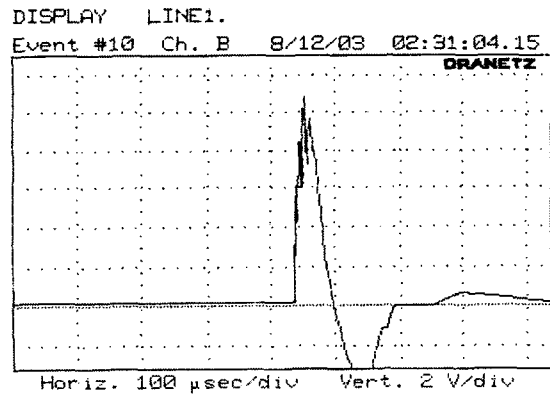


그림 9 전압 측정 파형
Fig. 9 Voltage measurements

5. 결 론

지하철 차량기지에 설치된 신호시스템은 동작전압이 낮고 응답속도가 빠른 IT 장치로 구성되어 서지에 취약한 구조로 되어 있으며, 철도현장의 특성상 낙뢰와 같은 외부장해요인에 노출되어 있어 이에 대한 대책이 중요하다. 그러나, 기존 차량기지에 설치되어 있는 낙뢰보호설비는 단독접지방식 및 접지선 직렬접속에 따른 전위차 발생 등으로 인하여 낙뢰 보호기능을 충분히 다하지 못하고 있다는 문제가 있다. 이에 대한 개선대책으로써, 공동접지 방식의 도입과 물리적/화학적 접지저항 저감대책을 이용한 접지시스템의 개선, 전위차 최소화를 위한 등전위 본딩 등과 같은 대책들이 필요하다.

이상과 같은 대책들을 종합적으로 적용한 낙뢰보호시스템을 지하철 차량기지 현장에 구축하고 그 성능을 시험한 결과, 접지저항이 38[Ω]에서 0.266[Ω]으로 대폭 감소되었고, 5[V]가 넘게 발생하던 전력시스템 접지와 신호시스템 접지 사이의 전위차는 없어졌으며, 신호장치접지 사이의 전위차도 0.03[V]로 감소된 것으로 측정되었다. 또한, 고전압 서지를 인가한 모의시험에서도, 서지 유입에 따른 신호장치에 미치는 영향을 최소화할 수 있다는 것을 확인하였다.

제안한 낙뢰보호시스템을 서울시 소재 5개 지하철 차량기지에 적용하여 구축한 결과, 현재까지 낙뢰로 인한 사고는 발생하지 않고 성공적으로 운영되고 있으며, 철도현장의 열악한 전기환경으로부터 신호시스템을 보호할 수 있는 효과적인 대책이라고 평가되고 있다. 또한, 차량기지 외에도, 역이나 유지보수 사무소와 같이 철도신호시스템이 설치되어 곳에 확대 적용되어 열차운행 안전성 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

[1] 김영태, "신호제어시스템", 테크미디어, 2003.
 [2] Y. Harima, "Lightning protection of railway signal system", Journal of IEIE Japan, Vol. 18, No.7, pp.18-21, 1998.
 [3] Y. Harima, "신호설비에서의 뇌해대책의 특이성", 철도와 전기기술, Vol.8, No.5, 1997.5.
 [4] IEC 60364-1, "Electrical installation of buildings", IEC Technical Committee TC 64, 1992.
 [5] 이재호 외 5인, "중앙선 전자연동장치 낙뢰피해 예방대책 연구", 한국철도기술연구원 연구개발보고서, 2001.12.
 [6] T.Wakabayashi, "Lightning Surge Route and Countermeasure for Electronic Signalling Systems", RTRI Report Vol.13, No.8, 1999.8.
 [7] T.Kawano and T.Wakabayashi, "Study on Lightning Strike of Electronic Crossing", RTRI Report Vol.10, No.11, 1996.11.

[8] H. Arai, "Experimental Study on surge propagation characteristics of rail and lightning overvoltages on level crossing", Trans. on Power and Energy IEEJ, Vol.123, No. 11, pp.1307-1312, 2003.
 [9] D.Haluza, "Lightning, Ground Potential Rise and Electrical Damage - Protecting Wayside Equipment on the MTA Long Island Railroad", IEEE 0-7803-3351-9/96, 1996.
 [10] IEEE Std 142-1991, "IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems", IEEE, 1991.
 [11] K. Takahashi, "접지·등전위 본딩 설계의 실무지식", Ohmsha, 2003.
 [12] P. Hasse, "Overvoltage protection of low voltage systems", Ohmsha, 2002
 [13] Y. Kishimoto, "뇌·서지로부터 어떻게 정보통신 기기를 지킬 것인가", J. IEE Japan, Vol. 120, No.2, pp.104-107, 2000.

저 자 소 개



서 석 철 (徐石喆)

1954년 10월 20일생. 2005년 서울산업대 철도전문대학원 전기·신호공학과 졸업
 2006년~현재 동 대학원 전기·신호공학과 박사과정
 Tel : 02-6311-3911
 Fax : 02-6311-4042
 E-mail : bkbear@hanmail.net



최 규 형 (崔圭亨)

1959년 1월 31일생. 1981년 서울대 전기공학과 졸업. 1992년 홋카이도(北海道)대학 대학원 전기공학과 졸업(공학). 2005년~현재 서울산업대 철도전기·신호공학과 조교수
 Tel : 02-970-6873
 Fax : 02-979-6873
 E-mail : khchoi@snut.ac.kr