

철도신호설비의 접지시스템 개선에 관한 연구

A Study on Improving of Grounding Systems for Railway Signalling Equipment

박기범* 이태훈** 류영태*** 전용주****
Park, Ki-Bum Lee, Tae-Hoon Ryu, Young-Tae Jeon, Yong-Joo

ABSTRACT

Recently, it is caused by environment change that is increased the number of lightning occurrence and the strength of lightning current is coming to be strong little by little. The performance of grounding system depends on how to construct. Specially the common grounding systems which uses the buried earth cable must be constructed by very well qualities because it is difficult to measure earth resistance and to manage the buried earth cable. Common grounding systems and independence grounding systems could be composed different. Against railway signalling equipment which like this is used from the environment lower part which is various it presents a standard grounding systems, and very it is hard job. We will present improvement through this paper that review grounding systems configuration condition of railway signalling equipment.

국문요약

최근 기상환경 변화로 인해 낙뢰의 발생횟수가 증가하고 뇌전류의 세기가 점점 강해지고 있다. 접지시스템은 시공당시에 어떻게 시공하느냐에 따라 그 성능이 좌우된다. 특히 매설접지선을 이용한 공용접지 방식은 시공 이후에 접지저항 측정으로는 관리하기가 곤란하므로 신설 및 보강시 정확한 설계와 철저한 시공이 이루어지도록 해야 한다. 철도신호설비의 접지시스템 배선방식은 독립접지 구간과 공용접지 구간에 따라 다르게 구성될 수 있다. 이렇게 다양한 환경아래에서 운용되는 신호설비에 대해서 표준 접지방식을 제시하기란 매우 어려운 일이다. 각 개소별 정확한 현상 파악 없이 일괄적으로 접지시스템에 대한 표준을 정한다면 해당구간에서의 주위 환경이 철도신호설비에 미치는 영향을 고려할 수 없기 때문이다. 따라서 본 논문에서는 철도신호설비의 접지시스템 구성현황을 검토하여 독립접지와 공용접지 구간별 개선방안을 제시하고자 한다.

1. 서론

접지는 인체의 안전 확보와 각종 기기들의 원활한 동작을 보장하기 위한 가장 기본적이고 핵심적인 설비이다. 특히 철도신호설비에 있어서 접지설비는 열차의 안전운행과 밀접한 관계가 있으며, 각종 제어케이블과 통신케이블을 이용한 열차제어시스템은 완벽한 접지설비와 서지보호설비가 뒷받침 되지 않을 경우 그 피해는 계속적으로 발생될 수밖에 없을 것이다. 이와 같이 접지는 전기설비 계통에서 중요한 장치임에도 불구하고 과거의 단순한 전원계통과 신호설비들을 대상으로 한 접지기술이 현재까지 현장에 계속 적용되어 이어져오고 있다.

* 한국철도공사 철도연구원, 비회원
E-mail : pkb6170@korail.com
TEL : (042)609-3992, FAX : (042)609-3720

** 한국철도공사 철도연구원, 비회원

*** 한국철도공사 철도연구원, 비회원

**** 한국철도공사 철도연구원, 비회원

설상가상으로 접지기술의 발전이 미미한 상황에서도 최근 기술발전 및 정보기술(IT)시대의 도래에 따라 철도신호설비에 다양한 첨단 정보통신기기가 급속히 보급되고 있어, 고품질의 전원 공급과 시스템의 안정적인 운영을 위해서는 고성능의 접지시스템을 구축할 필요가 있다. 기존의 낙뢰보호 시스템은 주로 화재나 인명 피해대책이 중심이었으나, 최근에는 건물 내부에 설치된 전자기기 보호 목적이 추가되어 운용되고 있다. 본 논고에서는 현장 정밀진단을 통해 수집한 자료를 바탕으로 철도신호설비의 접지시스템 개선방안에 대해 언급하고자 한다.

2. 접지 구성방식별 개선 방안

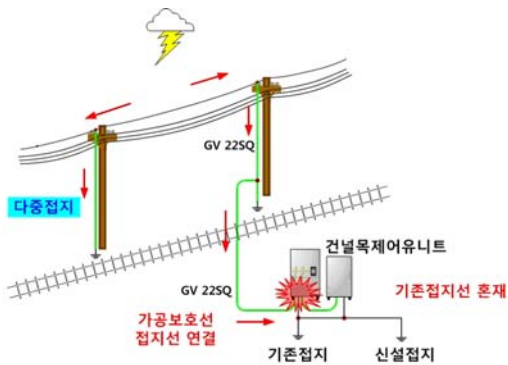
철도신호설비의 접지배선 방식은 독립접지 구간과 공용접지 구간에 따라 다르게 구성될 수 있다. 신호기계실과 같은 경우는 건축물 내에 각종 전자설비들이 운용되고 있고 외부에 있는 현장설비들과 통신 또는 제어케이블을 통해 실시간으로 정보를 주고받고 있다. 이렇게 다양한 환경아래에서 운용되는 신호설비에 대해서 표준접지방식을 제시하기란 매우 어려운 일이 아닐 수 없다. 각 개소별 정확한 현상 파악 없이 일괄적으로 접지시스템에 대한 표준을 정한다면 해당구간에서의 주위 환경이 철도신호설비에 미치는 영향을 고려할 수 없기 때문이다. 따라서 전 구간에 대한 철도신호시스템 접지구성 표준화 방안을 언급하기는 곤란하나, 구간별 접지구성 현황을 검토하여 독립접지와 공용접지 구간별 개선 방안을 제시하고자 한다.

2.1 독립접지 구간

2.1.1 현장설비

최근에는 선로개량시 전철화를 추진함에 따라 공용접지방식으로 대부분 시공되고 있으나, 아직 대부분의 단선구간 및 비전철화 구간에서는 독립접지방식이 사용되고 있다.

경전선 명봉건널목은 보성~이양간에 위치하며, 주요설비는 건널목 제어유니트가 설치되어 있다. 현재 철도 배전선로(6.6kV)에서 전원을 공급받고 있으며, 한전 배전선로(22.9kV)가 교차하는 지역에 위치하고 있다. 주요피해로는 신호정보분석 장치와 일부IC카드 등이 낙뢰 유입에 의해 소손을 입고 있다.

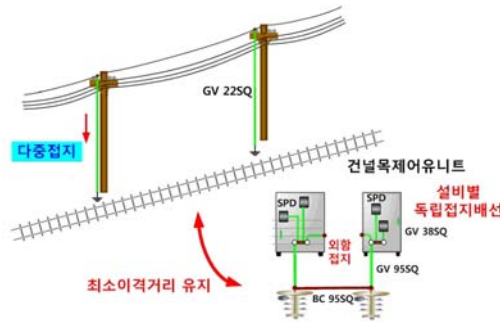


[그림 1] 명봉건널목 접지구성 현황



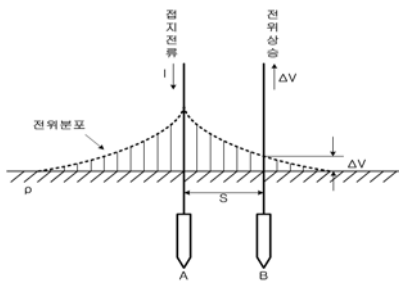
[그림 2] 명봉건널목 현장사진

현장 정밀진단 결과 선로와 평행한 철도배전선로의 가공지선과 건널목 제어유니트의 접지선이 연결되어 있었으며, 새로 보강한 신설접지가 연접되어 시공된 것으로 확인되었다. 또한 선로와 수직방향으로 한전배전선로가 교차되어 전주별로 시공된 다중접지선이 건널목 제어유니트 접지와 가까운 것으로 측정되었다. 이러한 경우 가공지선을 통해 접지선으로 뇌서지 전류가 유입되어 건널목 제어유니트 내부의 전자소자들이 소손될 가능성이 매우 높고, 기존 접지선 또한 혼선 및 연접 배선되어 있어 순환전류가 발생할 수 있는 구조이다.



[그림 3] 명봉건널목 접지개선도

독립접지구간의 대부분 건물목 제어유니트는 이러한 환경을 가지고 있으므로 가공지선을 통해 유입되는 뇌전류의 유입을 막기 위해서 가공지선과 접지선을 분리하여 서지의 유입을 방지하도록 해야 한다. 또한 건물목 제어유니트 주변 기구함 간에도 연접배선하는 것을 지양하고 설비별 독립접지 배선방식으로 시공하여야 순환전류에 의한 피해를 최소화 할 수 있다. [그림 3]에서처럼 배전선로와 신설접지간에는 독립접지로 인한 접지간의 전위차가 발생되므로 접지선을 통한 뇌서지의 유입을 막기 위해서는 최소한의 이격거리를 유지하여야 한다. 예를 들어 봉형접지 전극(지름 7mm, 길이 3m)을 대지저항률 $\rho=100\Omega\cdot\text{m}$ 인 장소에 설치한 경우 접지전류에 의한 전위상승(ΔV)과 이격거리(S)의 관계를 살펴보면, 접지모델은 [그림 4]에서처럼 전극 A에 접지전류가 흐를 때 전극 B에 전위상승의 허용값(ΔV)을 발생하게 하는 이격거리를 계산하면 [표 1]과 같다.



[그림 4] 독립접지의 전위간섭

[표 1] 독립접지의 이격거리 (단위:[m])

접지전류 [A]	전위상승 허용값 ΔV		
	2.5[V]	25[V]	50[V]
10	63	6	3
50	318	32	16
100	637	64	32

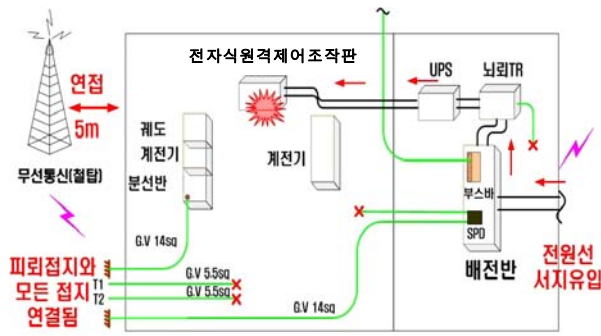
2.1.2 신호기계실 설비

신호기계실 내에는 전자연동장치 및 전자식 원격제어조작판 설비 등 각종 전자설비들이 운용되고 있으며, 이 설비들은 전원의 안정적인 공급을 위해 내리트랜스와 무정전전원장치(UPS)를 사용하고 있고 각종 서지보호기가 단말랙에 설치되어 현장설비와 연결된 모든 제어케이블에 이상전압 유입시 접지로 방전될 수 있도록 설치되어 있다. 그러나 이러한 전자설비들은 접지시스템이 완벽하지 못하면 오히려 연결된 접지설비가 이상전압 유입경로가 될 수 있어 설비의 안정적인 운용을 기대하기 어렵다.

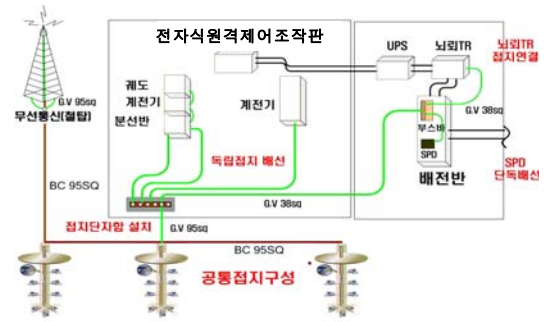
경전선 이양역 신호기계실은 전기계전연동장치가 1994년에 설치되어 현재까지 운용되고 있으며, 전자식원격제어조작판(EIS-P)¹⁾이 설치되어 있다. 이양역 신호기계실의 주요피해로는 EIS-P 1계 Output카드, UPS display 소손 등(2007.8.5)이 있었다. 정밀진단 결과 신호기계실 옆에 인접(5m)한 곳에 무선통신 철탑 및 분선반랙 접지, SPD²⁾접지, 배전반 접지가 각각 독립접지로 시공되어 있으며, 기존접지와 신설접지가 혼재되어 접지단자함 없이 외부에서 직접 접지선이 인입된 상태로 운용되고 있음이 확인되었다.

1) 전자식 원격제어 조작판 : 전기계전연동장치 모자이크형 조작판을 전자식으로 개량하여 인접역 또는 거점역에서 신호설비를 원격 제어토록 하는 장치

2) SPD : Surge Protective Device, 서지보호기



[그림 5] 이양역 접지구성 문제점



[그림 6] 이양역 접지개선도

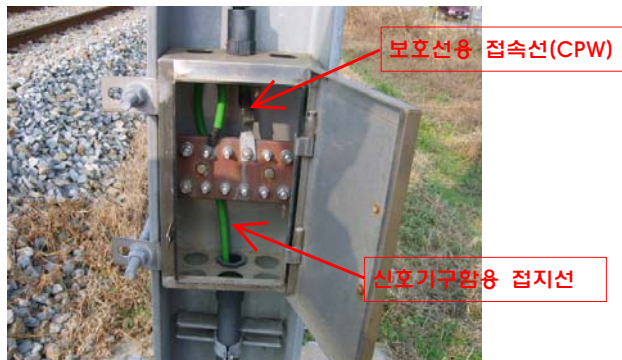
현재 상태는 피뢰접지와 신호기계실 모든 접지가 연결되어 낙뢰로 인한 직격뇌 유입시 대지로의 충분한 방전이 되지 않고 접지선을 통해 내부로 유입될 수 있다. 따라서 이와 같은 환경의 신호기계실 접지개선은 [그림 6]과 같이 피뢰접지, 신호설비 및 통신설비 등 전체 공통접지를 구성하여 설비를 보호하는 방안과 내부설비의 접지간 단일점(기준점) 접지단자를 설치하여 연접배선에 의한 순환전류를 방지하는 방안으로 검토하여야 한다.

2.2 공용접지 구간

최근 전철화 사업과 더불어 시공되고 있는 접지방식은 매설접지선을 이용한 공용접지방식이다. 이러한 공용접지방식은 고속선에 적용된 접지방식을 모태로 시공지침 및 설계편람이 작성되어 활용되고 있으며, 2002년 5월에 방침으로 결정된 철도청 건설본부 ‘매설접지방식 시공지침(안)’에 따르면 토공구간에서 ‘대지고유저항이 1000Ω·m 이상인 경우 2회선’, ‘대지고유저항이 1000Ω·m 미만인 경우 1회선’으로 회선 수를 결정하였다. 지침에 따르면 1회선인 경우는 상선측에 매설접지선(CU38mm²)만 시공하며 2회선인 경우는 상선에 매설접지선과 하선 트러프내 절연접지선(GV80mm²)을 시공하도록 되어있다. 또한 전철구간에서 반대측 선로(하선)에 통신 및 신호설비 등 접지대상물이 있는 경우 별도의 매설접지 접속함을 설치하여 접속하도록 하였는데 이는 신호설비에 연결된 접지단자함은 반드시 매설접지선이 있어야 한다는 조건이다. 매설접지 접속함은 자립형으로도 설치할 수 있도록 하였지만, 현재 자립형 매설접지 접속함은 찾아보기 어렵다. 오히려 [그림 8]과 같이 비절연보호선(FPW)³⁾과 연결된 보호선용 접속선(CPW)⁴⁾을 접지선으로 인식하고 신호기구함용 접지선과 연결시공된 구간이 적지 않다.



[그림 7] 호남선 화산건널목 접지단자함



[그림 8] 백양사~안평간 하12철주

3) FPW : Fault Protective Wire, 비절연 보호선

4) CPW : Connector of Protective Wire, 보호선용 접속선

이러한 인식의 오류는 보호선에 유입된 낙뢰가 신호기구함 및 신호기계실로 유입될 수 있는 경로를 만들고 있으며, 실제로 KTX 열차 운행시 신호기구함용 접지선에서 누설전류를 측정한 결과 열차가 없을 때와 비교하여 92배까지 차이가 있었으며, 대용량의 귀선전류가 접지선을 통해 기구함으로 일부 유입되고 있음이 확인되었다.

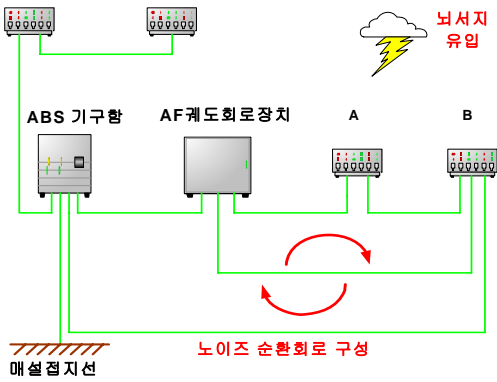
[표 2] 접지저항 및 누설전류 측정

측정구간	측정위치	KTX없을때		KTX운행시	
		접지저항	누설전류	접지저항	누설전류
호남선 김제역	29-1철주	4.3Ω	0.3A	2.2Ω	27.6A

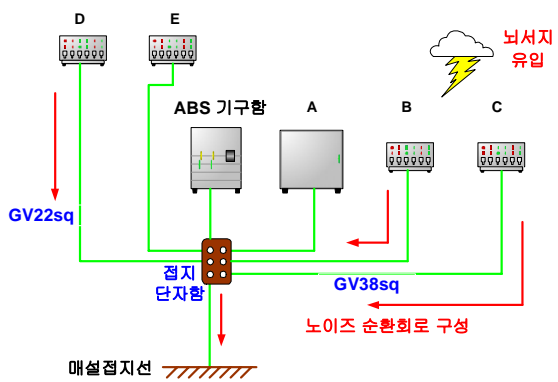
그러므로 평상시와 열차 운행시에 접지선에 상당량의 노이즈가 항상 유도되고 있음을 알 수 있으며, 이 상태에서 보호선에 낙뢰가 유입될 경우 그 피해는 고스란히 신호설비가 받을 수밖에 없다. 또한 접지 단자함 내에 귀선전류의 경로가 되는 임피던스본드 중성점과 CPW, 신호설비 접지선이 공통연결 되어있어 지속적으로 문제가 발생할 수 있는 조건을 갖추고 있는 것이다. 이러한 현상은 호남선과 경부선의 현장 정밀진단을 통해 파악할 수 있었다.

2.2.1 현장설비

호남선 노령~백양사간은 전철구간이며, 신호설비 접지시스템은 공용접지로 구성되어 있다. 상3호 ABS⁵⁾ 폐색기구함 주변은 AF궤도회로장치 및 ATP⁶⁾장치의 LEU⁷⁾등 현장설비가 나란히 설치되어 있다. 그러나 별도의 접지단자함 없이 ABS기구함 내로 매설접지선이 연결되어 연접배선이 이루어져 노이즈 등의 순환회로가 구성된다. 이러한 경우 접지단자함을 기준전위로 하고 각 설비간 독립배선을 하면 전위차가 발생하지 않아 뇌서지 유입시 빠르게 방전경로를 확보할 수 있다.



[그림 9] 노령~백양사간 상3호 접지문제점



[그림 10] 노령~백양사간 상3호 접지개선도

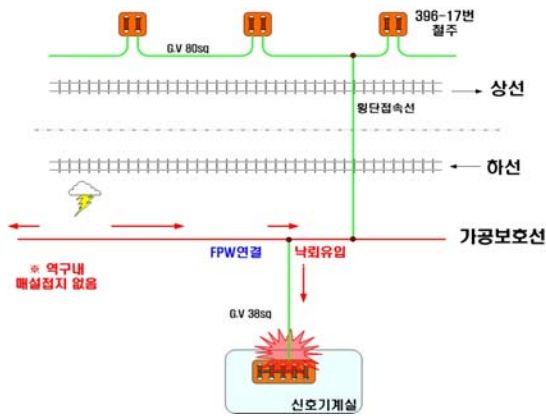
2.2.2 신호기계실 설비

경부선 삼랑진역은 신호기계실의 접지가 보호선용 접속선(CPW)으로 직접 연결되어 있어 보호선에 대용량의 뇌전류 유입시 신호기계실에 피해를 줄 수 있는 구조로 되어있다. 기본적으로 공용접지방식에서는 매설접지선이 연결된 접지단자함에서 신호기계실 또는 현장설비의 접지가 연결되어야 하지만, 보호선이 다른 개소에서 연결되어 있다하여 보호선용 접속선(CPW)만 연결된 접지단자함에서 신호설비 접지선을 연결한 것은 개선되어야 한다.

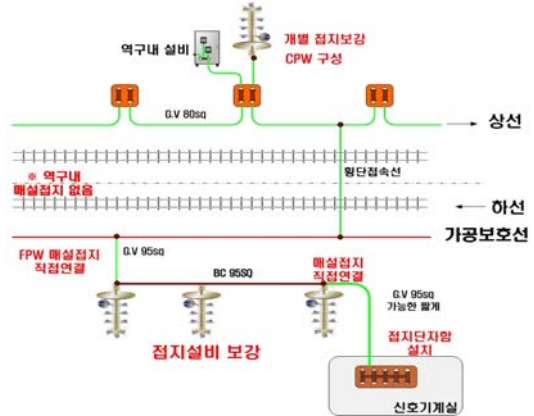
5) ABS : Automatic Block System, 열차자동폐색장치

6) ATP : Automatic Train Protection, 자동열차방호장치

7) LEU : Lineside Electronic Unit, 지상자 제어유니트



[그림 11] 삼랑진역 접지구성 문제점



[그림 12] 삼랑진역 접지개선도

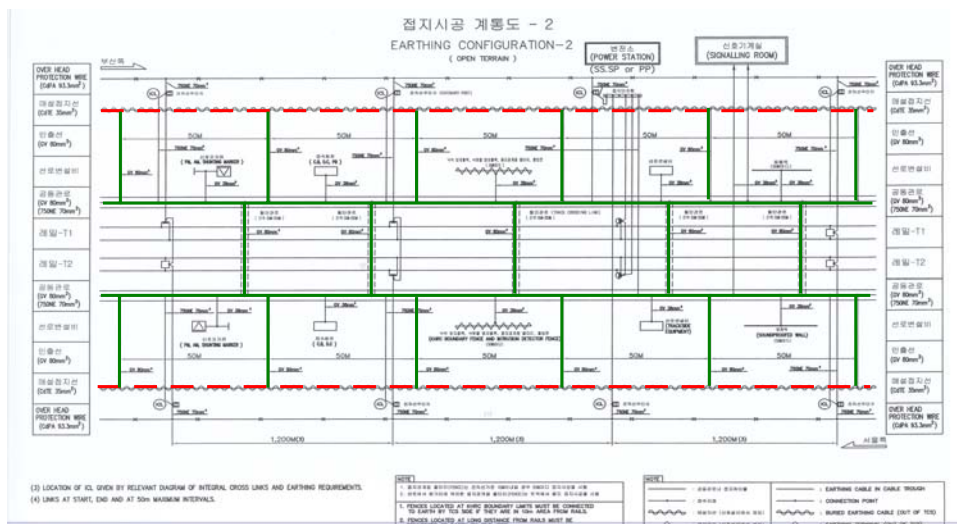
삼랑진역은 신호기계실 인근에 낙뢰가 유입될 경우 신호기계실에 직접 피해를 줄 수 있어 역구내에 접지설비를 보강하여 뇌전류의 빠른 대지방전을 유도하는 것이 필요하며, 신호기계실 내에도 접지단자함을 기준전위로 하고 내부설비들 간에 독립배선을 시공하여 연결배선에 의한 순환전류를 방지하여야 한다.

3. 고속선과 기존선의 공용접지방식 비교

현재 우리나라의 경우 고속선 접지시스템은 프랑스에서 사용 중인 공용접지방식을 그대로 도입하여 운영하고 있다. 이러한 공용접지방식은 개통이후 약 4년이 지났지만 안정적으로 운용되고 있으며, 고속선 개통이전부터 국내 기존선 전철화 사업에도 프랑스 모델을 응용한 공용접지방식을 시공하여 운용 중에 있다. 그러나 국내 기존선 공용접지방식은 고속선 공용접지방식과 차이점이 있다. 먼저 고속선의 접지시스템에 대한 구성을 살펴보고 기존선과 비교하여 기존선 공용접지방식의 개선방안을 제시하고자 한다.

3.1 고속선 공용접지방식

우리나라 고속선의 공용접지방식은 매설접지선(CdTE 35mm²)이 공동관로 하부 60cm이상 깊이에 지중 매설되어 있으며, 약 50m 간격으로 인출선(GV 80mm²)이 공동관로내의 접지선(GV 80mm² 또는 750NE 70mm²)과 연결되어있다. 이 공동관로내의 접지선은 T1선로와 T2선로를 50~250m 사이에서 횡단접속 되어 사실상 mesh망 형태로 시공되어있다. 귀선전류의 흐름을 원활히 하기 위한 보호선의 연결은 1.2km마다 임피던스본드의 중성점과 연결되고 동시에 전철용 H빔에 공동관로내의 접지선과 연결이 되어 있다. 이 경우 보호선으로 뇌서지가 유입되어도 빠르게 방전경로가 확보되어 신호설비에 큰 영향을 주지 않는다.



[그림 13] 고속선 접지시공 계통도(토공구간)
- 593 -

3.2 기존선 공용접지방식

고속선과 달리 기존선 공용접지방식은 매설접지선이 상선에 1가닥 설치되고 트러프내에 별도의 절연접지선 없이 250m 간격으로 접지단자함에 인출되어 있다. 이 접지단자함에서는 신호설비, 임피던스본드 중성선, 보호선용 접속선(CPW) 등 각종 현장설비들이 연결되며 반대편(하선)의 접지단자함에는 1~1.5km 간격으로 횡단접속선이 설치되어 신호설비와 임피던스본드 중성선, 보호선용 접속선 등이 매설접지선 없이 연결되어 있다.

3.3 고속선과 기존선의 차이점

고속선은 보호선에 낙뢰 유입시 매설접지선으로 빠르게 방전경로가 구성되는 mesh형태로 되어 있지만, 기존선은 매설접지선이 없는 하선측 보호선에 낙뢰가 유입될 경우 가장 빠른 방전경로가 접지단자함에 연결된 신호설비가 되므로 가장 약한 전자소자가 영향을 받게 된다. 또한 고속선은 50m간격으로 매설접지선이 인출되어 공동관로내의 절연접지선과 연결되고 50~250m간격으로 횡단 접속되지만, 기존선은 상선측으로만 매설접지선이 250m간격으로 접지단자함으로 인출되고 횡단접속은 1~1.5km간격이므로 고속선과 같은 안정적인 접지효과를 기대하기 어렵다. 따라서 다음과 같은 개선방안을 도출하여 기존선 공용접지방식의 안정화를 기대하고자 한다.

3.4 기존선 공용접지방식의 개선방안

3.4.1 접지계통 배선구조 개선

가) 접지 종류별 접지배선 분리

① 귀선전류 귀환회로와 신호접지 배선 분리

- 귀선전류와 뇌전류가 흐르는 비절연보호선에 연결된 신호접지는 배선을 분리하여 매설접지선에 직접 연결한다.
- 귀선전류의 귀환회로가 되는 임피던스본드의 접지는 신호단자함에서 분리하여 별도의 접지단자함을 설치하여 연결한다.

② 접지 종류별로 별도의 접지단자함 또는 부스바 설치

- 신호기계실 단위 또는 외부 기구함 단위로 접지단자함을 설치하여 각 실이나 함별로 단일점 접지를 구성하여 등전위 연결한다.
- 신호용접속단자의 경우 부스바를 설치하여 각 서지보호기별로 별도 배선(연접배선 금지)한다.

나) 장비별 독립배선 구성

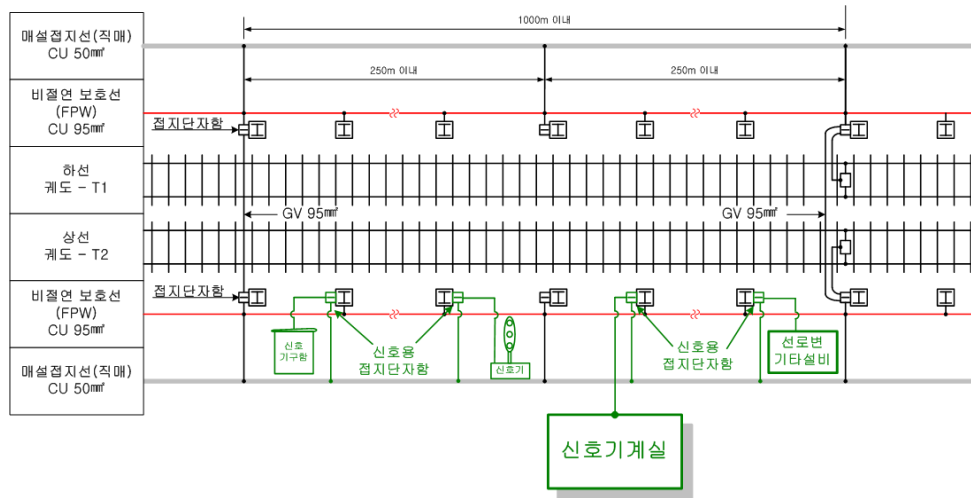
- ① 각 신호기계실 별로 설치된 접지단자함을 기준으로 각 장비 혹은 랙을 단독으로 배선하여 장비별로 독립된 방전경로 구성하여 신호설비를 보호한다.
- ② 장비별로 접지배선을 재확인하여 접지배선의 연접에 의한 노이즈 순환회로를 제거하여 외부에서 유입된 서지가 바로 접지로 방전될 수 있게 접지배선을 구성한다.

다) 장비별 적절한 굵기의 배선 구성

- ① 매설접지선의 접지 배선시 거리가 멀어질 경우 선로임피던스의 증가 방지를 위해 접지선의 적절한 배선 및 굵기를 선정한다.

3.4.2 매설접지 시공 개선

- 가) 매설접지선은 Cu50[mm²]이상의 연동연선을 사용하여 지하 750[mm]이상의 깊이에 상·하선 양쪽에 매설한다.
- 나) 신호용 접지단자함을 별도 신설하고, 매설접지선에서 직접 인출하여 접지선을 연결한다.
- 다) 임피던스 본드접속선은 전차선용 접지단자함에 연결한다.
- 라) 모든 신호설비 접지는 접지개소와 신호용 접지단자함까지의 거리가 최소화되도록 시공하여야 한다.



[그림 14] 기존선 공용접지방식 시공 개선도

4. 결론

본 연구를 통해 우리는 기존선의 단독접지방식, 공용접지방식 그리고 고속선의 공용접지방식에 있어서 신호설비의 안정적 운용을 위한 접지방식 개선방안에 대해 검토하였다. 앞서서도 언급하였듯이 매설접지선을 이용한 공용접지 방식은 신설 및 보강시 정확한 설계와 철저한 시공이 이루어지지 않으면 접지저항 관리뿐만 아니라 접지시스템과 연결된 철도신호설비의 유지보수에도 상당한 영향을 미칠 수 있음을 확인하였다. 가능하면 신호설비의 접지는 별도의 접지단자함을 이용하여 매설접지선과 연결되는 것이 필수 조건으로 적용되어야 한다. 이러한 신호설비의 접지시스템 성능 향상을 위해서는 앞에서 제시한 개선방안에 대해 이론적 근거와 자료를 바탕으로 연구성과를 검증하고 적용하는 것이 무엇보다 우선되어야 할 것이다. 향후에는 철도신호설비의 뇌보호시스템 및 등전위본딩시스템의 표준 모델 정립 등에 관한 연구가 필요할 것이라고 판단된다.