

전기철도 접지시스템에 대한 연구

A Study on a grounding system of electric railway

이호종*
Lee, Ho-Jong

신명호**
Shin, Myoung-Ho

ABSTRACT

An electrical railway system uses high voltage system for train traction and low voltage system for train control. Railway systems are broadly distributed across mountains, sea sides and cities. Electrical accidents provoke the death and injury of a human being and the damage of the equipment by the overcurrent due to the catenary dropping and by the overvoltage due to lightning. Grounding systems are adopted for the protections of the system from the overcurrent and the overvoltage.

Isolation grounding for each system can be easily installed. However, the closed circuits between grounding systems can be occurred. The currents flow through the closed circuits cause the abnormal operation of the system. To overcome the problem of the isolation grounding, the equipotential bonding is usually adopted. The equipotential bonding should have very small grounding resistance.

In this paper, we showed the transition from the isolation grounding system to the common grounding system and presented the comparison and the analysis of two grounding systems by simulation. In addition, we proposed the direction for a new grounding system of electric railway.

국문요약

철도시스템은 열차견인을 위한 고전압시스템, 열차제어를 위한 저전압시스템을 사용하며, 철도를 구성하는 시스템이 지형적으로 광범위하게 분포되어 있다. 철도시스템에서 전차선의 지락에 의한 과대한 고장전류, 낙뢰 등에 의한 이상 고전압이 발생되어 사람의 사상 및 기기의 고장이 발생할 수 있는데, 지락에 의한 고장전류, 낙뢰에 의한 고전압으로부터 기기를 보호하기 위해서 접지를 설치한다.

각 시스템에 대한 단독접지를 하는 경우에는 기기 상호가 폐회로가 형성되어 이상전류가 흐르게 되어 기기를 정상적으로 작동시키지 못하는 경우가 있다. 따라서 이러한 해결책으로 등전위 접지시스템을 채용한다. 이러한 등전위 접지시스템은 매우 낮은 접지저항을 확보하여야 한다.

본 논문에서는 철도시스템에서 기존의 단독접지시스템에서 현재의 공통접지시스템으로의 변화 및 두 시스템의 시뮬레이션 비교분석과 앞으로의 새로운 접지시스템에 대한 방향에 대해 제시하였다.

* 서울산업대학교 철도전문대학원 석사과정, 정회원

E-mail : hojong_eyes@hanmail.net

TEL : (02)2007-0128

** 서울산업대학교 전기공학과 조교수

E-mail : mhshin@snut.ac.kr

TEL : (02)970-6408

지락고장이 발생하면 고장전류가 대지로 흘러가게 되어 전기설비의 내부 및 주변에 전위차가 발생하여 인체의 안전이나 설비의 절연에 위험을 초래하게 된다. 철도시스템은 가공전차선로, 전기차 및 레일에 의해 구성되는 고전압 급전회로와 계전기를 이용한 신호케도회로, 본드 및 전철기, 각종 통신·제어설비, 열차통신을 위한 각종 무선설비, 기타 전원으로 사용되는 고압배전선로 등, 전압계급이 다른 여러 가지 전기설비로 구성되어 있다.

전기철도는 위와 같이 다양한 시스템이 혼용되어 사용하고 있어, 각 시스템 별로 각각 독립된 접지공사를 하지만 대지를 공유함으로써 크고 작은 상호 간섭 및 전차선로나 고압배전선로 지락사고 시 대지전위의 상승으로 약전계통(신호, 통신, 원격제어설비)에 유입되어 Relay 및 전자장치 등을 소손시키는 사례가 발생하고 있는 실정이다.

본 논문은 기존의 단독접지시스템과 그 문제점 및 현재 채택되어 사용하고 있는 공통접지시스템에 대한 변화와 두 시스템의 시물레이션을 통한 비교분석 및 새로운 개념의 접지시스템의 방향에 대해 제시하고자 한다.

현재 국내의 접지시스템은 크게 네가지로 분류될 수 있는데, 현재까지도 사용되고 있는 단독접지, 공통접지망에서의 단독접지, 가공공통접지 및 매설공통접지로 나누어진다. 지하철이나 도시철도 대부분의 구간에서는 단독접지 및 가공공통접지를 사용하고 있으며, 고속철도에서는 매설공통접지로 적용되어 시공하고 있다.

1. 단독접지 및 공통(가공+매설)접지 비교

표 1. 단독접지 및 공통접지 비교

항목	단독접지	공통접지 (가공+매설)
장점	낙뢰 및 지락으로 인하여 한 부분의 기기가 손상되더라도 다른 시스템에 영향을 미칠 확률이 매우 적음	1개의 접지점 뿐이므로 낙뢰 및 지락으로 인한 각각의 장비간에 전위차 발생이 억제(등전위 형성)되어 접지를 통한 썬지의 유입이 억제
단점	낙뢰전류, 고압 지락시와 썬지 전압 유기시에 접지저항이 아무리 양호하더라도 각 접지체의 저항치의 차이로 인하여 시스템간에 전위차가 발생, 기기의 손상 가능성이 공통접지에 비하여 아주 높음.	접지시스템의 접지저항에 계절적인 요인 또는 접지선의 부식, 대지고유저항의 변화등 변동이 발생한 경우에는 낙뢰 전위유입되어 이 접지선에 연결된 모든 시스템에 손상을 가져올 수 있는 가능성이 높다. 이 시스템은 접지저항이 약 10ohms~5ohms 이하의 매우 양호한 접지저항이 유지되어야 할 수 단으로서 가능한 접지에 사용되어지는 접지선의 규격은 굵어져야 함. (시공비가 비싸짐)
접지의 특성	각각의 접지의 기준접지 저항을 달리하여 각각 분리된 접지 시스템간에 충분한 이격거리를 두고 설치한 후 개별적으로 연결하는 접지 방식	하나의 접지시스템에 신호, 통신, 보안용등의 접지를 공통으로 접속한 방식
접지 설계	각각의 시스템간에 완전한 절연 및 접지 저항은 각각의 시스템의 요구에 맞게 다르게 시공	접지저항은 장비의 특성 및 외부 환경을 고려하여 가능한 낮게 시공

항목	단 독 접 지	공 통 접 지 (가공+매설)
접지방식 선택기준	장비 운용상 노이즈에 매우 민감하여 오동작발생 가능성이 높은 시스템 장비인 경우에 적용 가능	뇌전류 및 외부 써지 전압에 의한 접지 전위차를 억제하여 시스템을 안정적으로 운용하기 위한 경우
국가별 사용현황	일본이 사용하였으나 현재는 공통접지로 변경하여 사용하고 있음	미국 및 유럽

2. 단독 접지에 의한 설비 보호

2.1. 단독 접지의 분류

접지 방식은 단독 접지와 공통 접지로 구분된다. 단독 접지는 접지를 필요로 하는 선로변 설비 각각에 대해 독립적으로 접지 설비를 인가함으로써 과전압으로부터 관련 설비의 보호를 실행하는 반면, 공통 접지는 등전위를 사용하여 접지설비 주변을 모두 동일한 전위로 구성한 후 관련 전기설비를 전체적으로 보호한다.

단독 접지는 주로 관련 접지 공사에 따라 제1종, 제2종, 제3종, 특별 제3종으로 분류한다. 접지 공사는 전기 관련 규정 제 150조 제2항 및 제4항 제 11호의 규정에 의해 접지하는 경우와 저압가공전선의 특별 고압 가공전선과 동일지지물에 시설되는 부분에 접지 공사를 실행하는 경우 이외에는 다음과 같이 제1종, 제2종, 제3종으로 분류된다.

표 2. 접지 유형 분류

종류	접지 저항값	접지선의 종류
제1종	10Ω 이하 (NEC 규정 적용시 권고 : 5Ω 이하)	3종 클로로프렌 캡타이어 케이블, 3종 클로로설펜화 폴리에틸렌 캡타이어 케이블, 4종 클로로프렌 캡타이어 케이블 또는 4종 크로로설펜화폴리에틸렌 캡타이어 케이블의 일심 또는 다심 캡타이어 케이블의 차폐 기타의 금속
제2종	변압기의 고압측 또는 특별고압측 전기선로의 1선 지락 전류의 암페어수로 150을 나눈값과 같은 저항값으로 $150/I_1$ 으로 표시한다. 여기서 I_1 은 1선 지락 전류를 나타낸다. (NEC 규정 적용시 권고 : 5Ω 이하)	
제3종	100Ω 이하 (NEC 규정 적용시 권고 : 5Ω 이하)	다심 코드 또는 다심 캡타이어 케이블의 일심
특별 제3종	10Ω 이하 (NEC 규정 적용시 권고 : 5Ω 이하)	다심 코드 및 다심 캡타이어 케이블의 일심 이외의 가용성이 있는 연동 연선

신호설비에 대한 접지 저항 기준은 다음의 표와 같으며, 이는 NEC 규정의 권고값에 기준을 둔다.

표 3. 신호설비 접지 규정

구분	기준저항치	비고
신호기계실	5~10Ω 이하	
신호전원배전반 2차측	5~10Ω 이하	
접속함	5Ω 이하	
신호기	5Ω 이하	

표 2에서 어진 접지 종형에 따라 접지 대상을 접지 공작물로 분류할 경우, 이와 연관된 접지선의 굵기는 다음과 같다.

1) 전력 접지시

접지 종형	접지공작물	접지선의 굵기	접지극
제1종	접지모선 및 피뢰기 고압 및 특별 고압기기의 철대, 금속제 외함,	14mm ² 이상	접 지 극 은 관형, 변형, 관형 등의 동 또는 동피복 강 제의 접지 극을 사용 한다
	특별고압계기용 변성기의 2차측 전로, 방등회로 가 고압 및 300V를 넘는 저압이고 동작 전류가 1A를 넘는 방전등기구의 금속부분	5.5mm 이상	
제2종	1상의 변압기 합계 용량이 5kVA 이하	5.5mm ² 이상	
	(100V의 경우) 10kVA 이하	8mm ² 이상	
	" 20kVA 이하	14mm ² 이상	
	" 40kVA 이하	22mm ² 이상	
	" 60kVA 이하	38mm ² 이상	
	인입선 14mm ² 이하 인입구 접지	5.5mm ² 이상	
	" 38mm ² 이하 "	8mm ² 이상	
	" 100mm ² 이하 "	14mm ² 이상	
" 250mm ² 이하 "	22mm ² 이상		
" 250mm ² 초과 "	38mm ² 이상		
특별 제3종	300V 넘는 저압용 기기의 철대, 외함, 금속관 공사의 고압옥측에 전선로의 관, 경질비닐공사 에 의한 고압 옥내 배선의 금속제 폴박스등	제3종과 동일	
제3종	저압 전동기의 자기 이외의 공철대, 배관등 설 비로서 과부하 차단기가		
	3.7 kW 이하 50A 이하	2.0mm ² 이상	
	7.5 kW 이하 100A 이하	5.5mm ² 이상	
	15 kW 이하 200A 이하	14mm ² 이상	
	37 kW 이하 400A 이하	22mm ² 이상	
	600A 이하	38mm ² 이상	

2) 통신 접지시

접지를 하는 기기		접지 저항치	접지선 굵기	비고	접지극
전화교환기의 양극	2000 회선 이하	10Ω 이하	14mm ² 이상	전화교환기의 통신용	접지극은 판형, 변형, 판형등의 동 또는 동피복 강재의 접지극을 사용한다
	1000 회선 이하	6Ω 이하			
	1000 회선 초과	4Ω 이하			
본배선관의 보호장치		10Ω 이하	14mm ² 이상		
인입선의 보안기, 안테나 피뢰기, 확정용증폭기 현수선, 보호망,전원		100Ω 이하	2.0mm ² 이상	보안용	
소방직통M형발생기		50Ω 이하	2.0mm ² 이상		

3) 접지선

접지선은 KS C 0804의 규격에 적합한 제품을 사용하며, 접지선은 수전실, 전기실에 시설한 것을 제외하고 KS C 3302에 의한 IV 전선 또는 이와 동등 이상의 절연 효력이 있는 전선을 사용하는 것을 원칙으로 한다. 접지공사의 접지선에는 다음의 경우를 제외하고는 녹색 표식을 한다 :

- 접지선이 단독으로 배선되어 있어 접지선을 한눈에 쉽게 식별할 수 있을 경우
- 다심케이블, 다심캡타이어케이블 또는 다심코드의 1심선을 접지선으로 사용하는 경우로서 그 심선이 나전선 또는 황록색의 얼룩무늬 모양으로 되어 있는 경우
- 부득이 녹색 또는 황록색 얼룩무늬 모양인 것 이외의 절연전선을 접지선으로 사용할 경우는 말단 및 적당한 개소에 녹색테이프 등으로 접지선임을 표시한다.

4) 접지극

매설 또는 타입식(打入式) 접지극으로는 동판, 동봉, 철판, 철봉, 동복강판(銅覆鋼板), 탄소피복강봉등을 사용하고, 접지극은 다음 각호의 것을 원칙으로 하며, 이와 동등 이상의 접지성능이 있는 것으로 한다 :

- 동판을 사용하는 경우에는 두께 0.7mm 이상, 면적 900cm² (편면 : 片面) 이상의 것
- 동봉, 동피복강봉을 사용하는 경우에는 지름 8mm 이상, 길이 0.9m 이상의 것
- 철판을 사용하는 경우는 외경 25mm 이상, 길이 0.9m 이상의 아연도금가스철판 또는 후강전선관일 것.
- 철봉을 사용하는 경우에는 지름 12mm 이상, 길이 0.9m 이상의 아연 도금한 것.
- 동복강판을 사용하는 경우에는 두께 1.6mm 이상, 길이 0.9m 이상, 면적 250cm² (한쪽면) 이상의 것
- 탄소피복강봉을 사용하는 경우에는 지름 8mm 이상, 길이 0.9m 이상의 것

만약 지중에 매설되어 있는 수도관이 있을 경우, 대지간의 전기저항치가 3Ω 이하를 유지하는 금속제 수도관로는 수도관로 관리자의 승낙을 얻어서 이것을 제1종 접지공사, 제2종 접지공사, 제3종 접지공사, 특별 제3종 접지공사 기타의 접지극으로 사용할 수 있다.

2.2. 접지 방법

모든 접지공사는 전기설비 기술 기준, 내선규정, 배전규정에서 규정하고 있는 기준에 적합하게 시공한다. 단, 경우에 따라 NEC 250 규정의 접지항목을 적용할 수 있다.

1) 접지선의 시공

접지공사의 접지선의 굵기 선정 및 시설방법은 내선규정에서 정한 방법(제1종, 제2종, 제3종 및 특별 제3종 접지공사의 시설방법)의 규정에 따라 적절하게 시공할 수 있으며, NEC 250 기준에 따를 경우 예외로 한다. 제1종 접지공사, 제3종 접지공사 및 특별 제3종 접지공사의 접지선은 다음에 적합하게 시설한다 :

- 접지선이 외상을 받을 우려가 있는 경우에는 금속관(가스철관 등을 포함한다), 합성수지관등에 넣는다. 단, 피뢰침, 피뢰기용 접지선은 노출 시공을 원칙으로 한다.
- 접지선은 피접지기계기구에서 60cm 이내의 부분과 지중부분을 제외하고는 금속과, 합성수지관등에 넣어 외상을 방지한다.
- 접지하는 전기기계기구의 금속제외함, 배관등과 접지선과의 접속은 전기적으로나 기계적으로 확실하게 한다.

특별고압전로 또는 고압전로와 저압전로를 결합하는 변압기의 저압측 중성점에는 제2종 접지공사를 시행한다. 단, 저압전로의 사용전압이 300V 이하의 경우에 있어서 당해 접지공사를 중성점에 시설하기 어려운 경우는 저압측의 임의의 단자에 시설할 수 있다.

전기실 이외에 접지선을 전주, 옥측(屋側) 기타 사람이 접촉될 우려가 있는 장소에 시설하는 제1종 및 제2종 접지공사의 접지선은 다음과 시공한다 :

- 접지극은 지하 75cm 이상의 깊이로 매설한다.
- 접지선은 접지극에서 지표상 60cm 까지의 부분에는 절연전선, 캡타이어케이블(3종 캡타이어케이블, 3종 클로로프렌 캡타이어케이블, 3종 클로로설펜화 폴리에틸렌캡타이어케이블, 4종 캡타이어케이블, 4종 클로로프렌캡타이어케이블 또는 4종 클로로설펜화 폴리에틸렌 캡타이어케이블에 한한다) 또는 케이블(클로로프렌외장케이블 및 비닐외장케이블에 한한다)을 사용한다.
- 접지선의 지표면하 75cm에서 지표상 2m 까지의 부분에는 합성수지관(두께 2mm 미만의 합성수지 제전선관 및 콤팩트덕트관을 제외한다) 또는 이와 동등 이상의 절연효력 및 강도가 있는 것으로 덮는다.

전등전력용, 소세력회로용 및 출퇴근표시등 회로용의 접지극 또는 접지선은 피뢰침용의 접지극 및 접지선에서 2m 이상 이격하여 시설한다. 단, 건축물이 철골등을 각각의 접지극 및 접지선에 사용하는 경우나 NEC 기준에 따를 경우 예외로 한다.

2) 접지극의 시공

접지극은 가급적 물기가 있는 장소로서 가스, 산(酸)등으로 인하여 부식될 우려가 없는 장소를 선정하여 지중에 매설하거나 타입(打入)한다. 접지선과 접지극은 납땜 기타 확실한 방법에 의하여 접속한다. 단, 피뢰침, 피뢰기용 접속은 납땜 접속을 하지 않는다.

3. 공통접지망에서의 단독 접지 적용

본문에서는 공통접지망에서의 단독접지 적용을 위해 단독접지에 의해 주어진 구로 변전소를 기준으로 공통 접지와 인터페이스에 대해 검토하기로 한다. 이는 기존의 단독 접지를 공통 접지로 개량하는 구간의 참고 자료로 사용될 수 있으며, 상세 사항은 각각의 환경에 대해 추가적으로 상세 검토되어야 한다. 구로 변전소의 경우에는 서울-시흥 구간의 공통 접지 방식과 경인선의 단독 접지 방식이 혼용, 사용됨에 따라 구로 변전소 인출 설비에 대한 기존의 단독 접지용 CV 6.6kV 100mm²×1C의 재활용 가능성, 기

존의 단독 접지에 공통 접지방식에서 사용하는 접지 단자함의 설치 필요성, 상이한 접지방식의 경계점 부근의 접지 관련 인출 설비 검토, 상이한 접지방식이 사용에 따른 공통 접지 구역의 방전기(GP : Ground Protector) 사용 필요성 등에 대한 해결 방안을 검토하였다.

3.1. 기존의 구로 변전소

귀선 전류를 위해 사용할 목적으로 PW(Protective Wire)를 AT(Auto Transformer)의 중성점과 선로의 임피던스 본드 중성점을 아래 그림과 같이 상호 연결하여 사용하였다. 아래 그림과 같은 단독 접지 구간은 PW 현수 지지는 180Φ현수 애자 1개 절연으로 가선된다. GP는 변전소 내부의 보호를 위해 AT 중성선 단자 앞에 설치하여 전위 상승을 검지한다. 만약 AC 3kV 이상의 전압이 검지되면 GP의 회로 차단기(GCB : Circuit Breaker)를 차단한다. 참고로 일본의 경우에는 DC 1500V와 25kV의 전력 시스템이 동일한 수평면에 병렬로 궤도가 설계됨에 따라, AC NW(Neutral Wire : 중성선)는 DC 귀선 전류의 일부가 이 케이블을 통해 접지로 흘러가는 것을 방지하기 위해 금속 구조물로부터 절연되도록 설계된다.

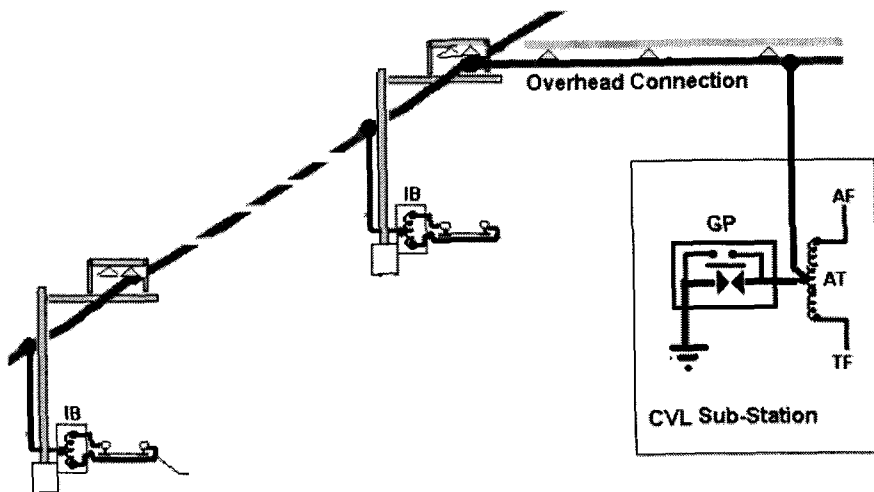


그림 1. 구로 변전소 CPW 연결

3.2. 신설 구로 변전소

KTX의 운영을 목적으로 신설 예정인 구로 변전소는 고속선이 공통 접지망을 갖는 유럽의 접지방식을 사용함에 따라, 서울-시흥의 현존하는 전철화 구간의 설비에 설치된 대지로부터 절연된 NW는 제3장의 공통 접지 개념을 적용함으로써 매설접지선(BEC)와 관련 구간의 모든 금속 구조물과 연결되는 CPW(Catenary Protective Wire : 전차선 보호선)로 대체되어야 한다. 만약 귀선 전류망을 변경하는 경우, 궤도회로 임피던스 본드와 변전소 AT를 연결하는 케이블은 주변 환경에 따라 공중 나동 케이블 또는 절연 매설 케이블 중의 하나를 선택하여 사용할 수 있다. 그러나 공중 나동 케이블은 직접 전차선주와 금속 구조물에 연결되기 때문에 관련 절연설비는 제거해야 한다. 이러한 상황을 고려할 경우, NW는 공통접지망을 실행하기 위해 CPW가 되어야 한다. 또한 기존의 단독접지용 인출설비인 CV 6.6kV 100mm²×1은 공통접지망에 그대로 적용할 수 있다.

임피던스 본드와 기타 접지용 인출 설비는 프랑스 철도청에서 사용하는 기준을 그대로 적용함에 따라 절연된 GV 70 mm² 케이블(750NE type)를 사용한다. 우리나라의 경우에는 이러한 케이블이 존재하지 않지만, 이를 대체할 수 있는 절연된 GV 80 mm² 케이블이 존재함으로써 대체 사용상의 문제점은 주어지지 않는다. 유지보수 요원의 접촉이 예상되는 장소에서는 이들 케이블에 의한 감전사고 등을 예방하기 위해 금속관 또는 PVC관 등으로 보호한다.

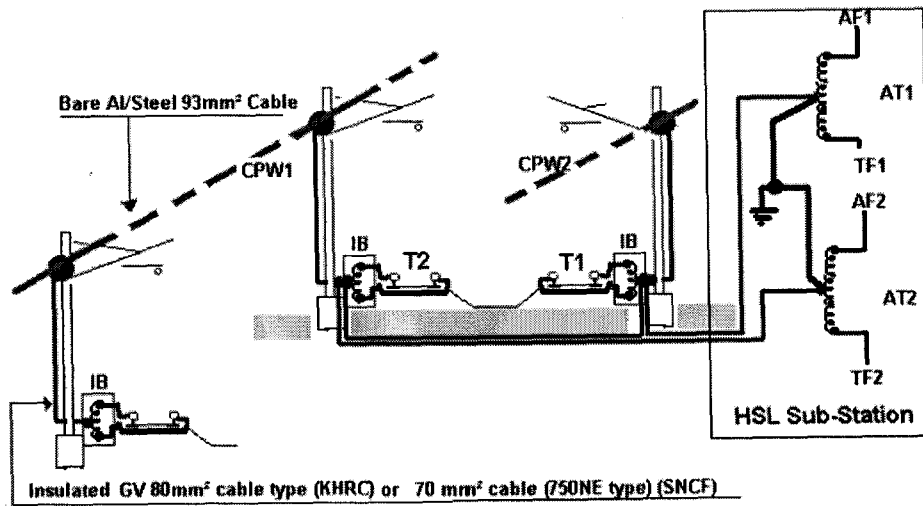


그림 2. PW 연결 방법

3.3. 단독접지와 공통 접지의 인터페이스 구간

서울-스흥 구간에 있어서 경부선은 공통 접지를 사용함에 따라 관련 보호선으로 CPW를 사용하지만 경인선은 단독 접지를 사용함으로써 관련 보호선으로 NW를 사용한다. 경인선이 단독접지로 주어짐에 따라 보호선 관련 설비는 NW와 관계되며, 이에 대한 보완 방안으로 반드시 각각의 AT에는 GP를 사용해야 하며, 기존 설비는 변경의 필요성이 없을 것으로 거토된다. 또한 NW의 절연 애자도 그대로 유지한다. AT에 연결된 GP는 변전소 Mesh Earth에 연결한 후, 경부선 공통 접지에 의해 주어지는 접지 단자함에 연결한다. 공통 접지를 사용하는 경부선의 보호선 관련 설비는 CPW로 주어지며, 연관된 모든 선로변 접지 단자를 연결하기 위해 접지 단자함을 설치해야 한다. 이들 접지 단자함은 경인선에서 사용할 GP를 포함하는 AT가 연결된 변전소 Mesh Earth, 경부선에서 사용할 AT, 경부선의 CPW, LTI(건넘선) 및 LEAE(반건넘선) 등이 연결된다.

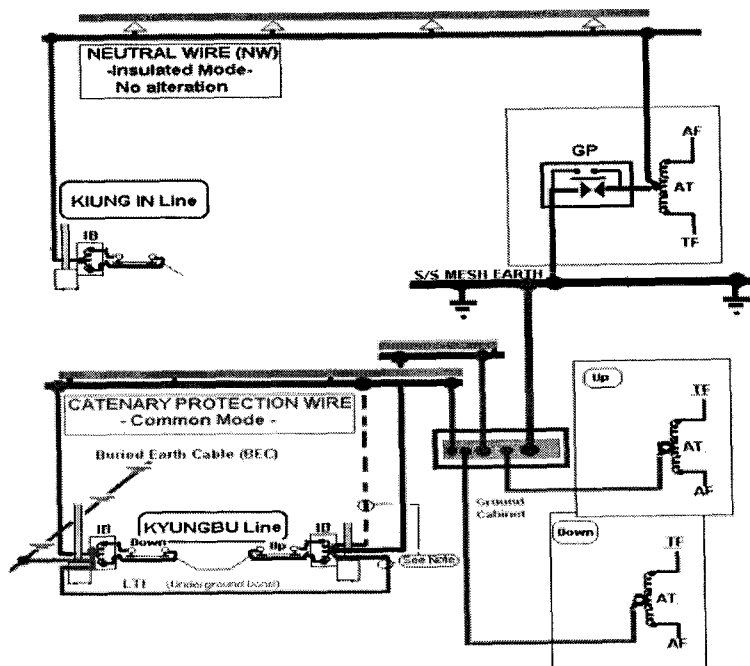


그림 3. 단독접지와 공통 접지가 공존하는 경우의 접지 연결

유자보수의 측면에 있어서 단독 접지와 공통 접지가 상호 공존하는 변전소, 급전 구분소 등에 대해서

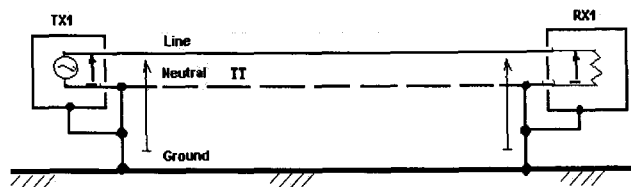
는 가능하면 모두 공통접지 방식으로 접지를 통일해야 한다. 이는 전력 공급원 관련 결함, 단락 회로 및 회로 변경이 실행될 경우에 이들 구간의 접지방식 혼용에 따른 공중 보호선의 상이함(예 : 경인선(NW), 경부선(CPW))으로 인해 유발 가능한 위험을 배제하기 위해 필요하며, 특히 접지방식을 혼용하여 사용하는 구간에서는 다음과 같은 사항을 항상 유념하여 취급해야 한다 :

- 혼용 구간에 대한 완전한 귀선 전류 흐름도 구성 : 이는 접지방식의 혼용에 의한 귀선 전류의 문제점 발생시 관련 귀선 전류 흐름도에 의해 귀선 전류의 흐름을 쉽게 확인하기 위해 필요하다.
- 임피던스 본드 연결의 구분 : 일반적으로 임피던스 본드는 선로와 공중보호선에 상호 연결된다. 구로 변전소의 경우, 변전소 구역에 위치한 임피던스 본드는 단독접지의 경우 NW에 연결되고, 공통접지의 경우, CPW에 연결된다. 따라서 유지보수 요원이 임피던스 본드를 임의의 부적절한 케이블 단자에 연결하는 것을 방지하기 위해 한 예로 NW에 연결되는 변전소 부근의 임피던스 본드 터미널은 적색으로, 다른 쪽에는 다른 색으로 표시하는 것도 하나의 방법으로 주어진다. 이는 안전면에서 CPW보다 큰 위험이 예상되는 NW와의 연결을 정확하게 표시함으로써 유지보수 요원의 안전을 보장하기 위한 조치중의 하나이다.

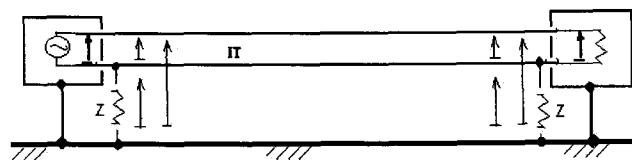
4. 공통 접지에 의한 설비 보호

4.1. 공통 접지의 특성

전기 철도를 운영하는 선로변에 여러 개의 신호기계실 또는 통신실중 어느 하나의 신호기계실에 접지 단락이 발생할 경우, 단독 접지에서는 접지 단락이 발생한 신호실의 접지 저항이 단락이 발생하지 않은 다른 신호기계실에 비해 증가하게 된다. 따라서 단락이 발생하지 않은 다른 신호기계실의 케이블을 통해 전압은 높은 신호기계실에서 낮은 신호기계실로 유입하게 되며, 단락 회로가 발생된 신호기계실 설비에 피해를 인가한다. 그러나 공통접지는 접지 단락이 발생한 신호실의 접지 저항이 단락 회로와 관계없이 동일한 접지 저항을 항상 유지함으로써 신호기계실 설비의 피해를 예방할 수 있다. 즉 그림 4(a)의 공통 접지의 경우에는 전송단과 송신단의 전압은 양단의 접지 저항이 동일함에 따라 $T_x = R_x \approx 0$ 이므로 정상적인 경우 접지와 전송 선로사이에서 0V의 전압차를 갖는다. 따라서 전송단 또는 송신단을 보호하기 위해 공통 접지는 가장 최단의 경로를 통해 대지로 비정상 유입 전류를 유도하도록 함으로서 관련 기기의 손실을 방지할 수 있게 된다. 이는 공통 접지방식에 따른 가장 큰 장점 중의 하나로 주어진다. 그러나 그림 4(b)와 같이 계측부와 제어부가 전송선에 의해 연결된 후 양단부에 각각 접지 설비가 되어 있다고 가정할 경우, 접지 저항 차에 의해 $T_x \neq R_x$ 가 되어 $T_x - R_x$ 의 전위차를 갖게 되며, 이는 0V로 주어지지 않고, 두 개의 선로 전압을 갖는다. 그 결과 단독 접지를 사용할 경우에는 이러한 현상을 보완할 수 있는 특수한 보호 설비가 충분히 고려되어야 한다.



(a). 공통 접지의 경우



(b). 단독 접지의 경우

그림 4. 접지방식에 따른 송.수신단 전압차

공통 접지의 특성은 선로변에 설치된 모든 금속 물체를 지하에 매설한 나동 케이블에 의해 상호 연결하는 것으로 이는 단독접지에 비해 시공상의 어려움 및 경제성이 문제점으로 주어진다. 특히 지하에 매설할 케이블의 부식은 초기의 공통 접지가 대두된 시점에 있어서 중요한 검토 요인으로 작용하였다. 일반적으로 지하에서의 부식 발생 원인은 서로 다른 두 가지 금속이 전기적 도전 수성 액체(Electrically conductive aqueous liquid)에 의해 접합된 경우에 발생하는 금속의 혼용에 따른 부식과 화학적 부식으로 분류된다. 전자의 부식 효과는 두 개의 금속의 상이한 자화율(전도성)에 의해 그림 5와 같이 전도성이 강한 쪽은 음극(-)이 되고 전도성이 약한 쪽은 양극(+)이 되며, 양극을 띄는 금속은 부식 작용이 발생한다.

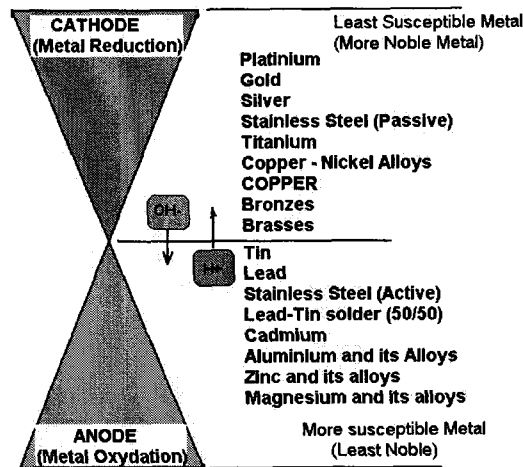


그림 5. 두 개의 금속 접합시의 전도성

한 예로 그림 5에서 연동과 연피(납)의 경우, 전도성이 강한 연동은 연피와의 접촉시 전도성이 감소되는 반면, 상대적으로 연동에 비해 전도성이 약한 연피는 산화하여 부식하게 된다. 이러한 현상은 지하철 구간에서 많이 사용하는 DC 1500V 전압원의 접지에 중요한 영향을 인가할 수 있으며, 접지망 구성시에는 이러한 현상을 충분히 검토해야 한다. 이는 AC 전류가 음극보호장치와 함께 사용되지 않는 경우에는 강한 부식을 유발하기 때문이다. 이에 비해 AC 전류는 단지 미소한 부식을 유발한다. 화학적 부식은 토양의 pH에 의해 부식의 비율이 결정된다. 토양의 산성도가 중성인 7인 경우에는 화학적 부식은 중요하게 취급되지 않는다.

프랑스 최초의 고속선인 TGV 동남선(Paris-Lyon)에서 접지 저항의 값이 토양의 특성에 따라 20~1000Ω.m로 주어짐에 따라 3m 길이를 갖는 두 개의 접지봉 사용은 10Ω 이하로의 접지 저항 기준을 만족할 수 없게 되었다. 특히 바위가 많은 일부 지역의 경우에는 3m 길이를 갖는 5 개의 접지봉을 사용하였지만 등가 저항값은 500Ω 이하로 감소되지 않았다. 그 결과 선로변의 철조망을 보조 접지망으로 이용한 경우 위에서 언급한 동일 영역에서의 등가 저항값을 측정된 결과, 1Ω 이하로 감소함에 따라 선로를 통한 길이 방향으로의 공통 접지 원리가 탄생하였다. 이에 대한 연구는 1988년 프랑스의 두 번째 고속선인 TGV 북대서양선 (Paris-Le Mans)에서 채택되었다. 사용된 공통 접지용 매설 접지선의 특성은 다음과 같다.

- 25 mm² 연동 연선 케이블
 - 6 가닥 심선
 - 반경 : 6.6 mm
 - 20℃에서의 저항 : 0.727 Ω./km
- 동 케이블의 기계적 보호를 위한 연피 외장(Lead Sheath)
 - 두께 : 1mm

그러나 이들 연피 연동 연선 케이블은 연피(납 오염)의 유독성과 연피 연동 연선 케이블 생산 공정의 어려움을 유발하였다. 이에 따라 프랑스 철도청은 연피 연동 연선 케이블을 다음과 같은 새로운 연동 연선 케이블로 대체 후 현재까지 사용중에 있다.

- 35 mm² 연동 연선 케이블
 - 7 가닥 심선
 - 반경 : 7.1 mm
 - 20℃에 있어서의 저항 : 0.524 Ω./km

4.2. 공통 접지망 구성 규정

공통 접지망은 신호시스템에서 사용하는 궤도 회로 작업에 의존하며 EMI, 선로변 유지보수 요원의 보호, 귀선 전류 및 단락 회로 요구 조건을 고려하여 프랑스 철도청에서 사용하는 설계 기준에 따라 접지망을 구성한다. 이들 규정은 현재까지 전세계의 공통 접지망에 대한 기본 규정으로 적용되고 있으며, 우리나라의 경우에도 경부고속선에 처음으로 공통 접지망이 구성됨에 따라 이들 규정은 현재까지 그대로 적용되고 있다. 공통 접지망에 있어서의 가장 기본적인 구성 원리는 전차선 지지대, 금속 구조의 대피소, 플랫폼의 금속 구조, 선로변 기기, 공중 보호선 및 접지 케이블에 대해 “Faraday cage”를 실행하는 것으로 전철화 선로의 경우, 이러한 구성 원리를 고려한 공통 접지망 설계는 최소한 두개의 공중 보호선, 1개의 매설 접지 케이블, 접지/선로 전압을 감소하기 위한 선로 케이블과 금속 구조 사이의 규칙적인 연결 등이 기본적으로 고려되어야 한다. 두 번째로는 공통 접지망 구성에 따른 건넘선과 반건넘선의 개념 및 구성을 검토해야 한다. 건넘선(LTI : Overall Traverse Link)와 반건넘선(LEAE : Partial Traverse Link)의 사용 용도는 두 개의 선로에 주어지는 각각의 궤도에 대한 귀선 전류 평형, 전차선/선로 단락 회로 발생시의 접지/선로 전압의 감소 역할을 실행한다. 이에 대한 규정은 다음과 같다.

1) 규정 1

- 두 개의 연속된 LTI 사이의 거리 "X"는 $X \geq 1000m$ 이어야 한다.
- LEAE와 LTI 사이의 거리 "X1"는 대략 $X1 = 2/X$ 로 주어진다.
- 궤도 1의 공중 보호선, 궤도 1의 임피던스 본드 중성점, 궤도 2의 임피던스 본드 중성점, 궤도 2의 공중 보호선 및 매설 접지선은 모두 LTI에 연결한다.
- 궤도 1의 공중 보호선, 궤도 2의 공중 보호선, 매설 접지선은 또한 LEAE에도 연결한다.

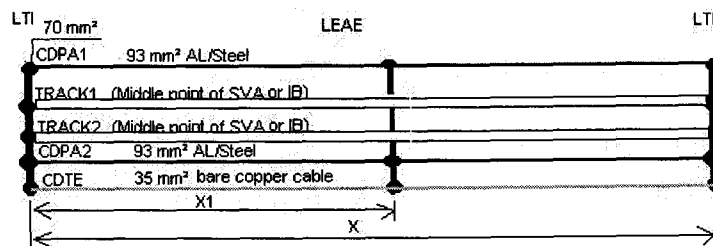


그림 6. 규정 1

2) 규정 2

- 궤도 회로의 축이 LTI로부터 50m 이상일 경우, 관련 궤도에 SVPMM을 설치한다.
- 동일 궤도 회로에는 두 개의 SVPMM 설치가 금지된다. 이는 아래 그림에서와 같이 궤도 절손 검지 기능을 방해하기 때문이다.

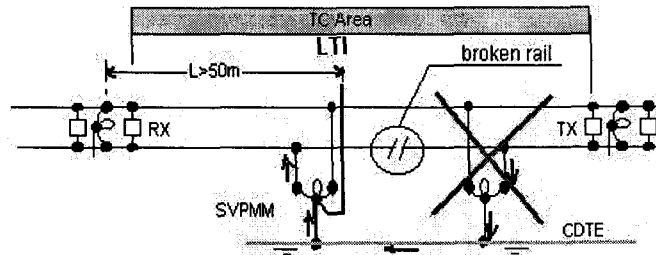


그림 7. 규정 2

3) 규정 3

- 변전소 또는 AT(단권 변압기) 전방의 경우, 귀선 전류는 궤도회로의 임피던스 본드를 통해 유입된다. 따라서 궤도 회로 측은 귀선 전류 관련 설비로부터 50m 이상 떨어져 설치해야 한다.
- SVA의 중성점은 낙뢰로부터의 보호를 위한 서지 Arrester에 의해 신호기계실 접지망에 연결되어야 한다.

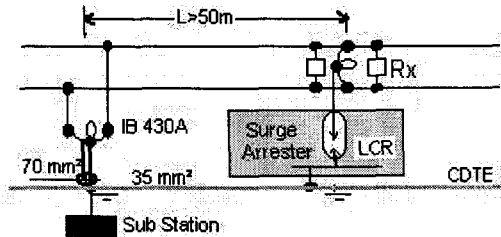


그림 8. 규정 3

4) 규정 4

- 절연 블럭 이음매(임펄스 궤도회로/무절연 궤도 회로)의 경계 부근에 있어서, 귀선 전류는 아래 그림과 같이 두 개의 연결선에 의해 연결된다.

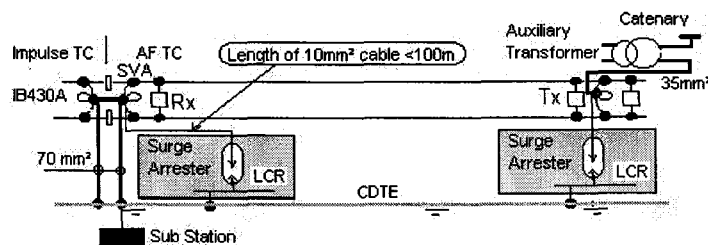


그림 9. 규정 4

5) 규정 5

- 변전소와 AT(단권 변압기) 전방 이외의 장소에 있어서 LTI는 궤도회로의 임피던스 본드의 중성점에, 궤도 축이 LTI의 전방에 주어지지 않는 SVPMM의 중성점에, 70mm² 케이블에 의해 연결되는 공중보호선 및 매설접지선에 연결해야 한다.
- LTI는 동일 주파수를 갖는 두 개의 AF 궤도 회로를 포함하여 두 개 이상의 궤도 영역에 위치하지만 이들을 직접 연결하는 것은 금지된다.

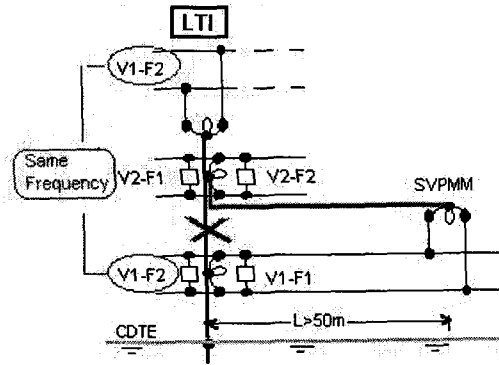


그림 10. 규정 5

4.3. 공통 접지망 연결

접지망의 연결은 알루미늄노테르미 접합법과 같은 발열성 용접, 케이블 분기기의 사용, 및 접지함의 사용에 의한 연결로 분류된다. 알루미늄노테르미 접합법과 같은 발열성 용접에 의한 연결은 고가이며, Depth cutting을 실행하기에 매우 어려운 단점을 갖는다. 케이블 분기기의 사용에 의한 연결은 프랑스 철도청의 선호 방식으로 1988년 TGV 북대서양선 이후의 모든 선로에 적용 이후, 현재까지 접지망의 모든 장소에서 접지 저항이 1Ω 이하로 주어지는 최상의 결과를 제공하였다. 접지함의 사용에 의한 연결은 접지 연결 Strip에 매설 접지선의 두 종단부를 구성한 후, 케이블을 그림 11과 같이 Bus bar에 의해 볼트로 고정하는 방법으로, 이는 유지보수 견지에서 추후의 선로변 기기 추가 또는 변환시 손쉬운 접지 실행, 접지 상태의 감시, 납땜 연결에 따른 부식 등의 위험 배제, 및 인접 기기의 접지망 연결이 접지함으로부터 먼 거리까지 무난히 실행할 수 있는 장점을 갖는다.

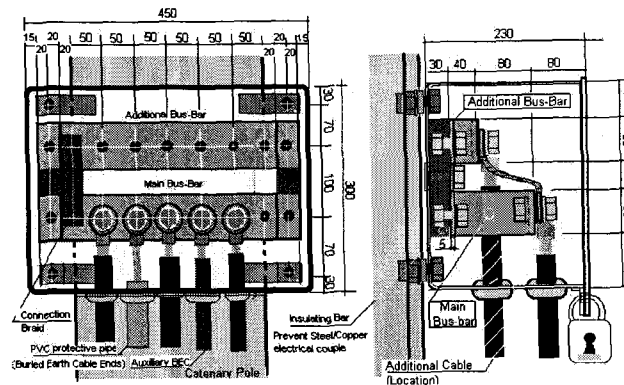


그림 11. 접지함의 구조

1) 프랑스 철도청의 경우

프랑스 철도청의 공통 접지망 구성도는 아래 그림과 같이 주어진다. 이는 현재 기존선에서 사용중인 공통 접지망과 동일한 형태로 주어진다. 이의 구성은 그림에서와 같이 4 개의 선로가 주어질 경우, 각각의 선로는 궤도회로의 임피던스 본드 중성점, 전차선 보호를 위한 2 개의 공중 보호선, 선로변 장벽, 건물, 교량, 터널의 모든 금속재 구조, 각각의 전력용 변압기 및 단권 변압기의 중성점, 매설 접지 케이블 (Buried Earth Cable)이 적절하게 연결되어 있음을 쉽게 확인할 수 있다. 또한 그림에서 귀선 전류의 평형 및 각각의 궤도에 인가되는 선로 및 접지 전압의 감소를 실행하기 위해 사용하는 건넘선과 반건넘선이 1500m로 주어지는 고속선의 궤도회로 길이에 부합하여 구성되어 있음을 알 수 있다. 접지에 따른 전철화 구간의 분류도 그림에서처럼 규정에 따라 적색 구간과 녹색 구간으로 분류되어 도시되며, 이에 따라 건넘선과 반건넘선의 연결 방안도 제시되어 있음을 확인할 수 있다.

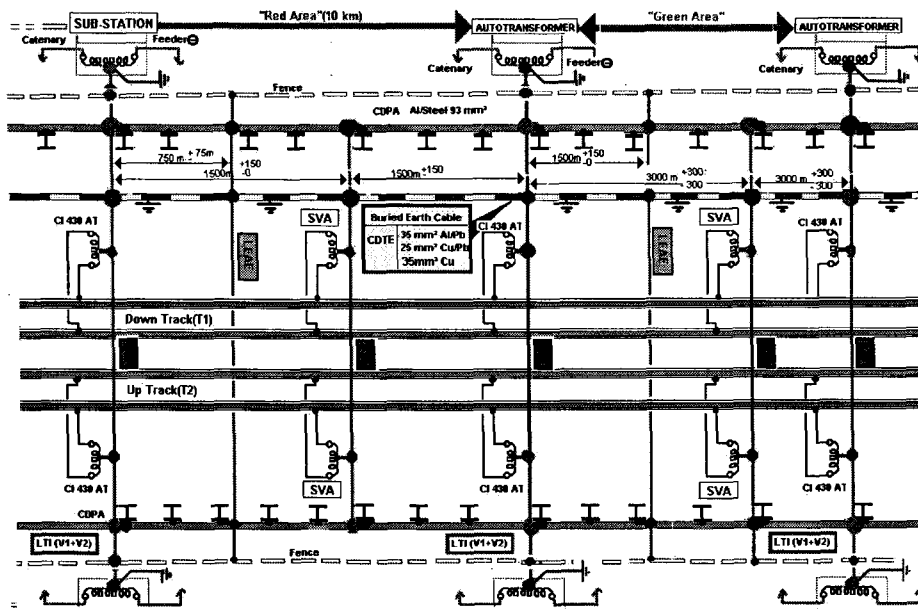


그림 12. SNCF의 기존선 전철화 구간 접지망

아래 그림은 고속선에 대한 접지망 구성으로 기존선과의 다른점은 고속선 전력 용량의 크기에 따라 고속선의 모든 구간이 적색 구간으로 표시되며, 이러한 원리는 우리나라의 경부고속선에 그대로 적용되었다.

2) 경부고속선의 경우

아래 그림은 경부고속선의 접지망 구성도를 나타낸다. 경부고속선과 프랑스 고속선의 접지망은 단지 매설 접지선의 시공에 따른 차이점이 존재한다는 것을 그림을 통해 알 수 있다. 프랑스 고속선의 경우에는 매설 접지선이 선로변의 한 방향에 대해 주어진 반면, 우리나라의 경우에는 선로변 양측에 모두 매설 접지선이 시공되어 있다. 이는 경부고속선이 대부분 터널과 교량으로 주어짐에 따라 접지선 시공상의 어려움 등으로 인해 선로변 양측에 매설 접지선을 시공한 것으로 예상되며, 접지 효과 측면에서는 단 방향 설치와 큰 차이점을 갖지 않는다.

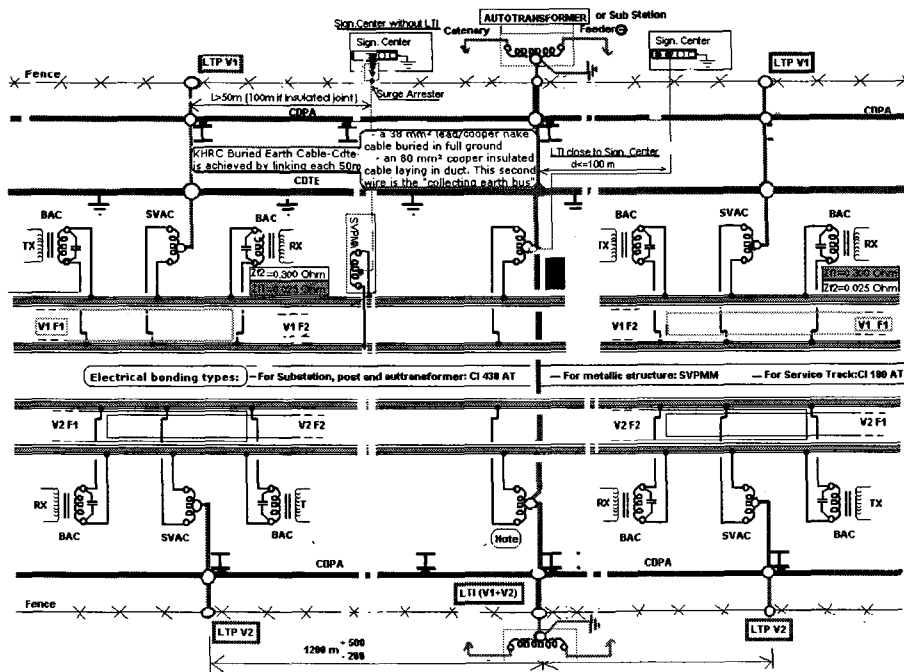


그림 13. 경부고속선 접지망 구성

3) 기존선 전철화 구간의 경우

동대구-부산간 KTX의 운행 구간을 시작으로 전철화 구간에 대한 공통 접지망 공사는 대부분의 전철화 구간에 적용하기 시작하였다. 본 논문에서 검토한 접지망 관련 사항은 KTX의 운영을 위한 전철화 개량 구간을 기본으로 분석하였다. 초기의 접지망 구성은 경부고속선의 접지망 설계도를 그대로 적용함에 따라 선로변 양측에 접지망을 구성하였다. 그러나 기존선 구간의 경우에는 교량 및 터널이 많이 존재하지 않음에 따라 이러한 접지망 구성은 적합하지 않은 것으로 분석되었으며, 현재 진행중인 접지망 구성은 선로의 단 방향에 대해서만 매설 접지선을 시공하는 것으로 확인되었다. 특히 두 개의 전차선 보호선(CPW)이 접지망에 연결되어 있기 때문에 매설 접지 케이블(BEC)의 반대편에 있는 절연 연동 케이블은 양질의 접지망을 구성하기 위해 필요하지 않은 것으로 판단된다. 절연 연동 케이블이 없어도 접지망은 매 1000m 마다 CPW와 BEC 연결선에 각각의 금속채 구조를 연결하거나 지하 덕트를 설치하여 운영하는 장소에는 매 250m 마다 각각의 금속채 구조를 접지망에 연결할 수 있으며, 절연 연동 케이블이 없는 단순화한 접지망을 통해 낮은 저항값($R < 1\Omega$)을 쉽게 실행할 수 있을 것으로 분석된다.

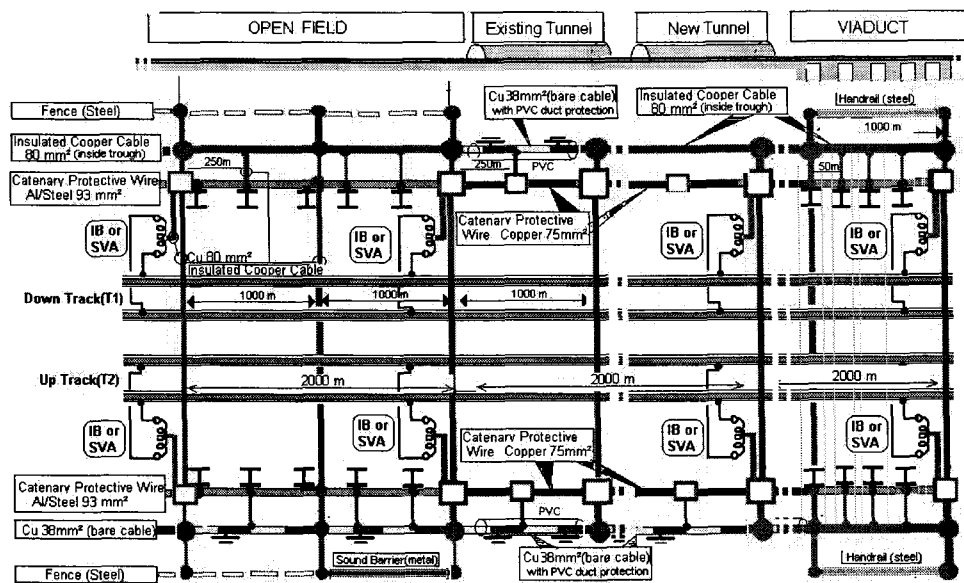


그림 14. KNR의 기본 접지망 설계도

5. 접지 시스템 구성 시뮬레이션

본문에서는 공통접지와 단독접지의 특성을 비교하였다. 이를 위해 첫 번째로 접지방식에 따른 접지 효과를 접지봉을 사용하는 단독 접지와 매설 접지 케이블을 사용하는 공통접지로 비교하여 실행하였다. 두 번째로는 접지방식에 따른 귀선 전류의 영향을 측정하였다. 측정은 공통 접지의 경우, 고속선에서 실행하였으며, 단독 접지의 경우에는 구로 변전소에서 실행하였다. 세 번째로는 기본 원리에 따라 신호 기계실의 보호를 위한 공통 접지망 구성안에 대해 기술하고자 한다. 마지막으로 공통접지망에서의 단독 접지 적용 방안은 구로 변전소의 개량에 적용하였다. 이러한 결과는 공통 접지가 기존의 단독 접지에 비해 경제적인 면에서 매우 불리하지만 접지의 목적에는 가장 적합함을 쉽게 확인할 수 있다.

5.1. 접지 효과 관련 시뮬레이션

일반적으로 철도 전기 시스템이 요구하는 접지 저항값은 1Ω 이하로 규정되어 있다. 이를 실현하기 위해 단독 접지를 사용할 경우에는 단일 접지봉 또는 다중 접지봉에 의한 접지 방법을 적용한다. 공통 접지의 경우에는 접지봉 대신 매설 접지선(Buried Earth Cable)을 사용한다. 단독접지와 공통 접지에 따른 접지 효과를 검증하기 위해 경부고속철도가 연계 운행되는 동대구-부산 기존선 전철화구간에서 가장 큰

대지 고유 저항값(온도 32℃에서의 측정값 : 290.4Ω)이 측정된 신거역을 대상으로 접지 방법에 따른 대지 저항의 감소를 시뮬레이션 하였다.

5.1.1. 단일 접지봉 사용

깊이 3m로 매설된 3 개의 철봉을 10m 간격으로 설치한 후, 이들을 상호 연결하였다. 관련 계수는 다음과 같다 :

- 접지봉 길이(l) : 6m*3 = 18m
- 접지봉 직경(d) : 0.03m
- 매설 깊이(h) : 0.6m
- 도체 계수(q) : 원형 도체(1.3). 스트립 도체(1.0)
- 관련 수식(Rs) : $R_s = \frac{\rho}{2\pi l} [\ln(8/d) - 1]$

5.1.2 다중 접지봉 사용

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(q) : 원형 도체(1.3). 스트립 도체(1.0)
- 관련 수식(Rm) : $R_m = [\Delta N(N+1)] \frac{\rho}{2\pi l} [\ln(8/d) - 1]$

5.1.3 매설 접지선 사용

지상에서 0.6m 깊이로 동선을 매설한 후, 지상의 모든 철구조물을 매설 접지선에 연결한다. 이러한 방법은 단독접지에서 사용하는 앞의 두 가지 방법에 비해 대지 저항이 최소화됨은 물론 간단한 추가적인 접지 연결 가능성 및 접지망 구성시의 확장의 용이성 등이 가장 큰 장점으로 주어지며, 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(q) : 원형 도체(1.3). 스트립 도체(1.0)
- 관련 수식 : $R_c = \frac{\rho}{2\pi l} [\ln(4 \times l^2/dh) - Q]$

5.1.4 시뮬레이션 결과

각각의 접지방식에 따라 주어진 계수에 의해 실행된 접지 효과 시뮬레이션 결과는 그림 15와 같이 주어

진다. 그림 15에서 대지 저항의 기준치인 1Ω 이하를 구성하기 위해 단일 접지봉을 사용한 경우에는 최소한 550m의 깊이로, 다중 접지봉을 사용한 경우에는 160m의 깊이로 접지봉을 부설해야 한다. 그러나 매설 접지선을 이용할 경우에는 단지 길이 30m만으로도 전기철도 규정에서 요구하는 접지 저항 값을 충족한다. 또한 시뮬레이션에 따라 공통 접지는 대지 저항을 단독 접지에서 제시한 기준값 1Ω보다 더욱 작게 형성함으로써 대지 저항은 공통 접지일 때 단독 접지보다 더욱 작아짐을 알 수 있다. 공통 접지가 전철화 선로 구간에 적용될 경우, 공통접지의 길이는 전철화 선로의 길이와 동일하게 주어지며, 전철화 구간의 길이가 길면 길수록 대지 저항은 더욱 더 감소하며, 전철화 구간의 모든 설비 및 인명에 대한 보호를 실행하는 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. 이는 공통접지 방식이 기존의 단독접지 방식에 비해 양호한 접지 효과를 제공할 수 있다.

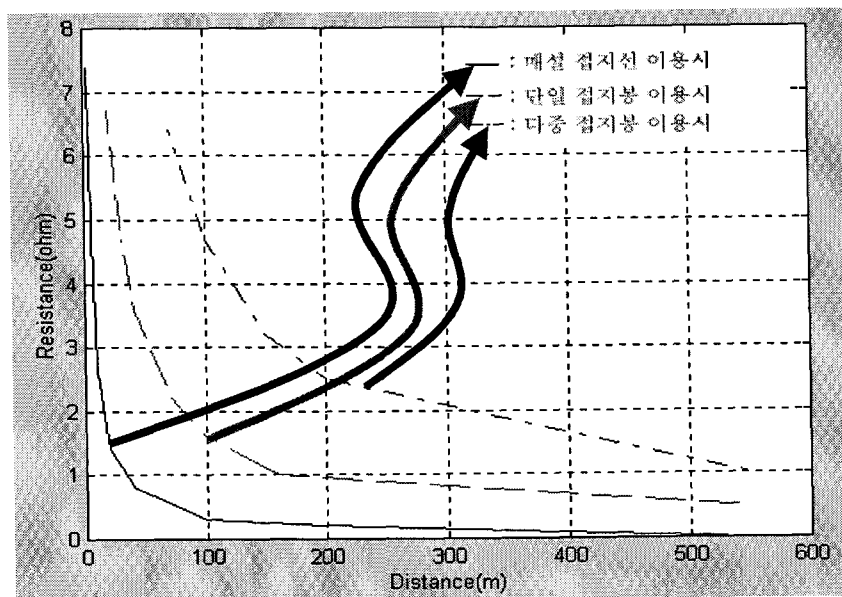


그림 15. 접지 방식에 따른 접지 효과

5.2 접지방식에 따른 귀선 전류의 영향

전기 차량은 전차선을 통해 변전소로부터 운행에 필요한 전기 에너지를 공급받으며, 이러한 에너지원은 선로를 통해 변전소로 귀환하게 된다. 이때 선로를 통해 변전소로 귀환되는 전류를 귀선전류라고 정의하며, 이는 접지방식에 가장 큰 영향을 받는다. 본 단원에서는 실제로 접지 방식에 따라 선로변에 흐르는 전류의 크기를 검증함으로써 선로변 기기와 유지보수 요원의 안전 및 선로변 전기 설비 장애의 주요 원인으로 작용하는 귀선 전류에 대해 검토하였다. 측정은 단독접지를 사용하는 구로 변전소와 공통접지를 사용하는 고속선으로 구분하여 검증하였다.

5.2.1 단독 접지의 경우

구로 변전소 전방에 설치된 임피던스 보드에서 귀선 전류의 검측을 실행하였다. 구로 변전소의 공급 전원은 25kV 60Hz로 서울-수원간을 운행하는 전동차가 통과하는 순간에 관련 귀선 전류를 측정하였다. 접지망은 타 전기기기와 연결되어 있지 않았으며, 전동차는 최대 속도 80km/h가 가능한 구간이었다. 3

번의 측정 결과, 귀선 전류는 최고 173A까지 측정되었다. 이와 같은 귀선 전류 최대 값은 오래 지속되지 않았다.

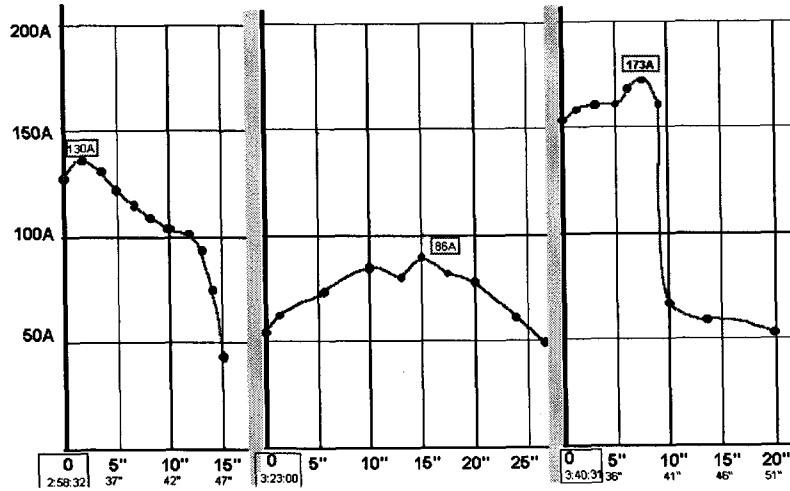
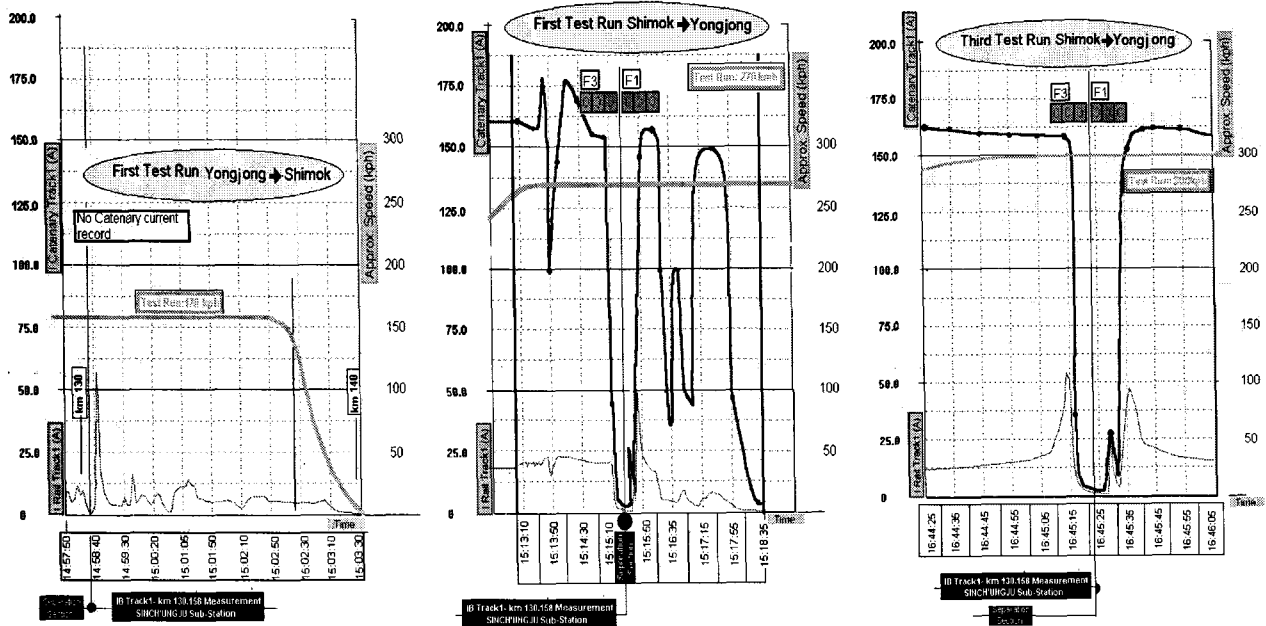


그림 16. 단독 접지에서의 귀선 전류 측정값

5.2.2 공통 접지의 경우

공통 접지의 경우에는 경보고속선 시험선 구간에 전력을 공급하는 서청주 변전소에서 열차의 가감속 시험중에 검측하였다. 관련 열차의 운행 속도는 고속선에서의 최대 운행 예정 속도인 300km/h를 기준으로, 270km/h, 170km/h의 경우로 분류하여 측정하였다. 측정은 지상과 차상으로 분류하여 실행되었다. 지상에서는 전력과 관련된 모든 장소에서 측정한 것이 아니고 고속선 시험 운행 선로에 견인력을 공급하는 신청주 변전소에서 귀선 전류와 전차선 전류를 측정하였다.



a) 170km/h인 경우

b) 270km/h인 경우

c) 300km/h인 경우

그림 17. 공통 접지에서의 귀선 전류 측정값

5.2.3 귀선 전류 측정 결과

그림에서 주어진 귀선 전류의 측정값은 속도에 큰 영향을 받지 않으며, 이는 전차선 공급 전류의 약 34% 귀선 전류가 통과됨을 쉽게 확인할 수 있다. 이는 전차선 전류가 기존의 단독 접지 시스템처럼 모두 귀선 전류로 흐르는 것이 아니라, 일부는 귀선 전류와 접지 전류로 분기되어 흐르고, 나머지는 대부분 (-) Feeder을 통해 변전소로 귀환하는 것으로 추정된다. 따라서 단독 접지의 경우에 전차선 공급 전류의 대부분이 귀선 전류로 통과하는데 비해 공통 접지는 귀선 전류의 양이 상대적으로 감소함으로써 선로변 유지보수 요원의 안전이 기존의 단독접지에 비해 우수한 효과를 갖는다는 결과를 유추할 수 있다. 또한 검측 결과는 공통 접지망 사용시 귀선 전류의 통로로 사용되는 궤도회로의 임피던스 본드 용량을 단독접지에서 사용하는 임피던스 본드의 용량보다 작은 것을 사용할 수 있는 것으로 확인되었다.

5.3. 단독접지와 공통접지시스템에서의 고장전류비교 시뮬레이션

기존접지방식인 단독접지방식은 각각의 접지의 기준접지 저항을 달리하여 각각 분리된 접지 시스템간에 충분한 이격거리를 두고 설치한 후 개별적으로 연결하는 접지 방식으로 낙뢰전류, 고압 지락시와 surge 전압 유기에 접지저항이 아무리 양호하더라도 각 접지체의 저항치의 차이로 인하여 시스템 간에 전위차가 발생, 기기의 손상 가능성이 공통접지에 비하여 아주 높게 나타난다.

이에 반해 공통접지방식인 매설접지방식은 하나의 접지시스템에 신호, 통신, 보안용등의 접지를 공통으로 접속한 방식으로 1개의 접지점 뿐이므로 낙뢰 및 지락으로 인한 각각의 장비간에 전위차 발생이 억제(등전위 형성)되어 접지를 통한 surge의 유입을 억제할 수 있다는 장점이 있다.

5.3.1. 고장전류비교 시뮬레이션

이상전압(surge) 발생시 레일전위 및 신호·통신기기에 가해지는 유도전압의 크기에 대해 기존 접지방식과 매설접지방식(공통접지)을 구성하여 시뮬레이션을 실시하였다. 레일전위 및 신호·통신기기에 가해지는 유도전압의 기준은 ITS(CCITT), EN50122, 철도통신시설규정의 권고치를 기준으로 평가하였다. 즉, 레일전위는 정상 운전상태에서 60 V이하, 고장상태에서 650 V(0.2 s 이내)이하를 기준으로 하였으며 신호·통신기기의 내전압은 1,500V이내를 기준으로 하였다.

이상전압 발생시 레일전위 및 신호·통신기기의 전위분포 해석을 위한 AT급전회로의 modeling 결과를 Fig. 2-1에 나타냈으며 시뮬레이션을 정확히 모사하기 위해 PI(π)등가형 선로모델을 사용하였다. 이상전압에 대한 해석을 위해 사용한 program tool은 Matlab을 사용하였다.

본 연구에서 이상전압 발생을 모의하기 위해서는 전기적인 회로를 모의할 수 있는 Matlab의 Power System Toolbox를 사용하였다.

시뮬레이션은 다음과 같은 방법으로 수행되었다.

각 접지시스템 구성(기존접지방식, 매설접지방식)시 변전소, 말단, AT중간에서 이상전압이 발생한 것으로 가정하여 이때의 고장전류, 레일전위, 신호·통신기기에서의 전위상승에 대해 분석하였으며 이상전압이 발생한 선로의 반대측 선로에 유도되는 현상에 대해서도 영향을 분석하는 방법으로 수행되었다.

5.3.2. 시뮬레이션 결과

지락에 의한 고장이 변전소측에서 발생한 경우와 선로 말단인 구분소측에서 발생한 경우에 대해 모의한 결과 고장전류는 기존접지방식의 경우 변전소측에서 고장이 발생하였을 때 약 11kA이며 고장이 발생하지 않은 반대측 선로에는 약 2kA가 유도되는 것으로 분석되었다. 또한 구분소측에서 고장이 발생한 경우에는 말단측에서 최고 2kA정도이며, 반대측 선로에는 거의 유도에 의한 영향이 없는 것으로 분석되었다.

표 4에 각 고장조건별 고장전류의 크기를 나타냈으며, 그림 18~21은 시뮬레이션 결과를 그림으로 나타낸 것이다.

표 4. 각 고장조건별 고장전류의 크기

접지방식		고장전류		0km	7.35km	13.21km	23.78km
		측정지점	위치				
기존접지방식	변전소측 고장	고장선로		1.0902e+004	1.8552e+003	3.2754e+002	3.9437e+001
		반대측선로		2.0083e+003	7.0189e+002	2.5888e+002	6.8939e+001
	선로말단 고장	고장선로		1.6415e+003	1.7095e+003	1.7717e+003	1.9617e+003
		반대측선로		1.7375e+002	6.0412e+001	2.2007e+001	5.6856e+000
매설접지방식	변전소측 고장	고장선로		2.7605e+004	2.5451e+003	8.0917e+002	2.0372e+002
		반대측선로		9.2055e+003	2.5451e+003	8.0917e+002	2.0372e+002
	선로말단 고장	고장선로		1.7651e+003	1.8449e+003	1.9363e+003	2.1677e+003
		반대측선로		1.7596e+002	9.2730e+001	8.4561e+001	9.0944e+001

1) 기존접지방식

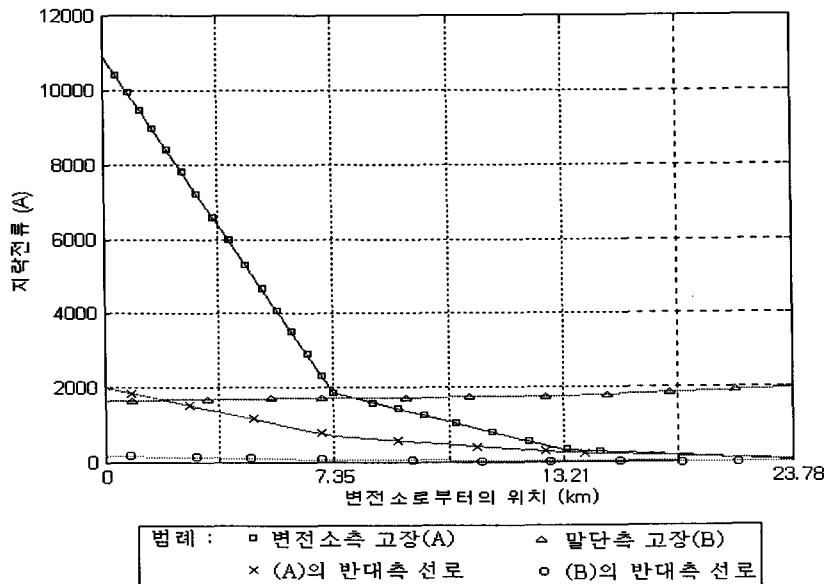


그림 18. 기존접지방식 고장전류

2) 매설접지방식

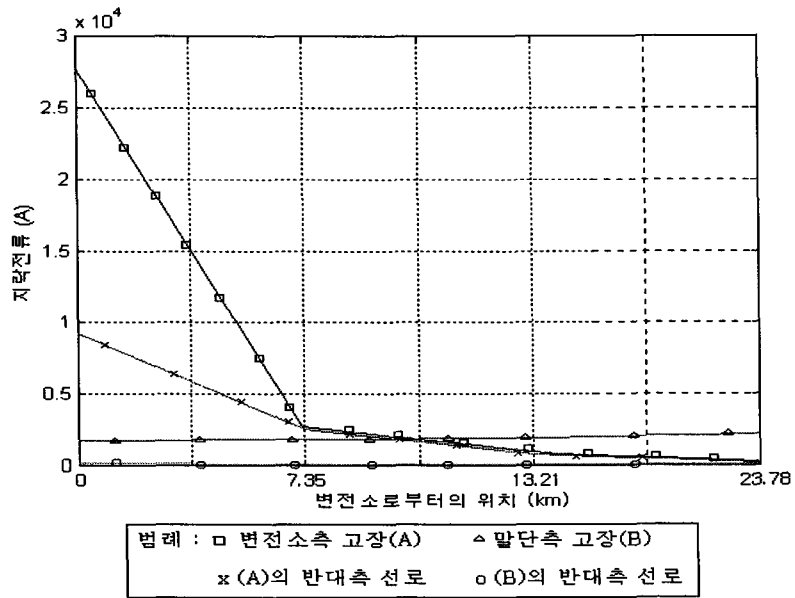


그림 19. 매설접지방식 고장전류

3) 접지방식별 고장전류 비교

(가) 변전소측 고장시

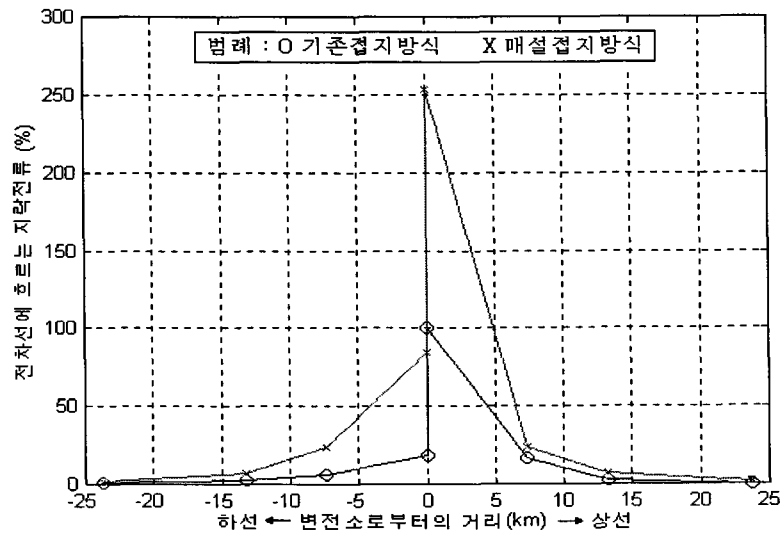


그림 20. 변전소측 고장시 고장전류 비교

(나) 구분소측 고장시

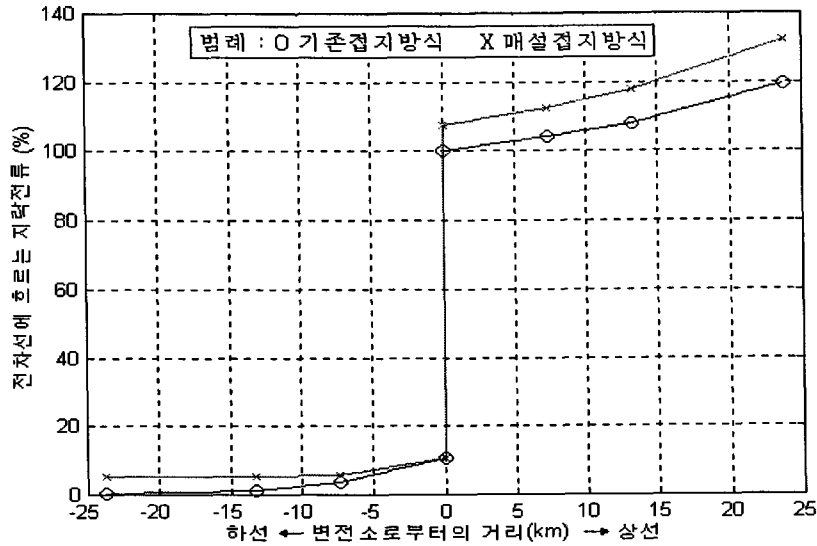


그림 21. 말단측(SP) 고장시 고장전류 비교

6. 결론

본 논문에서는 우리나라의 접지시스템에 대한 과정을 소개하였고, 고속전철에 도입되어 현재 사용되고 있는 공통 접지망을 기본으로 단독접지와 공통접지시스템에 대한 관련 특성에 대해 조사, 분석하였으며, 조사된 공통접지의 특성을 기본으로 검토된 결과를 실제의 시스템에 적용하기 위해 연구되었던 단독접지와 공통접지의 접지효과 시뮬레이션, 접지방식에 따른 귀선 전류의 영향 측정, 고장전류 분석등에 관한 연구를 조사하였다. 이러한 조사, 분석 및 검토결과는 공통접지시스템이 기존의 단독접지에 비해 경제적인 면에서는 크게 불리하지만 접지의 주요 목적인 낙뢰 및 이상 전압으로부터의 철도시스템에 있어서의 각종 기기 및 유지보수에는 가장 이상적임을 확인할 수 있었다.

또한, 현재 세계적인 흐름도 공통접지시스템으로 적용되고 있는 바 향후 보완된 접지시스템으로서 지속적으로 사용될 것이며 이상적인 시스템중의 하나로 인정받고 있는 추세이다.

하지만, 공통접지시스템은 고전압의 역류현상이 발생시 전력, 신호, 통신설비 등 철도시스템 전체에 큰 영향을 미칠 수 있으며, 접지 시공시 단독접지시스템에 비해 비용이 많이 든다는 단점으로 인해 앞으로도 지속적인 개선방안이 필요하다.

철도시스템의 상당히 많은 분야에서 현재 무선시스템들이 사용되고 있는 가운데 있으나, 아직 접지시스템에는 무선시스템에 대한 언급이 없다. 물론, 접지시스템은 고전압을 빠른시간내에 모든 기기와 인체에 영향을 끼치지 않으면서 저항이 영에 가까운 대지로 보내는 것이 최대목적으로 주로 직접 연결하는 방법으로 케이블을 사용하고 있으나, 무선시스템으로도 연구 가능성이 있다고 본다.

따라서 본 논문에서는 현재의 공통접지시스템의 기능을 갖춘 신개념의 접지시스템의 연구 및 도입이 필요하며, 시스템의 안정성, 기능성 및 경제성에도 크게 개선될 획기적인 향후 과제로 무선 접지시스템의 연구에 대해 제안하고자 한다.

참 고 문 헌

1. 高橋 健彦, “接地・等電位ボンデング設計の實務知識” pp.103~145
2. Seoul-Pusan High Speed Rail Project Transmittal Sheet, “Specifications for Traction Current Return, Earthing and Protections” pp1~33, 1996.6
3. H Puntis, “Design of Earthing and Bonding Systems for 25kV A.C. Electrified Lines”, RailTrack PLC, RT/E/S/21085 ISSUE 1, pp1~35, 1998. 8
4. N. Nedelchev, “Influence of Earth Connection on the Operation of Railway Track Circuit” IEE Proc-Electr. Power Appl. vol. 144, No. 3, pp215~219, 1997.3
5. K.S Bahra and P.G. Batty, “Earthing And Bonding of Electrified Railways”, IEE International conference on Electric Railways, pp296~ 302, 1998
6. Egid Schneider, “Combating EMI Through Earthing System Design”, EMC rail the Brewerv, London, 1999. 10
7. 심건보, “최적 접지설계를 위한 대지파라미터의 측정 및 해석 방법”, 전기 학회지, vol. 45, No. 11, 1996. 11
8. Gilbert Sharick, “Grounding and Bonding” vol. 13, abc TeleTraining, Inc.
9. HASIMA YOSINORI, “Lightning Protection of Railway Signal System” J.IEIE Jpn, Vol. 18, No, 7, 1998
10. 김용규 외 2인, “공통 접지망 구성 요소 LEAE와 LTI 분석”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집 (B), pp. 1242-1244, 2001. 7.
11. T.CHARLTON, “Earthing Practice”, Publication of Copper Development Association, St Albans, U.K, 1997, 69pp.
12. Y.K.KIM and al, “Estimation and Measurement of traction return current on Gyeongbu electrification line”, 2001 ICCAS, pp. 1458-1461, 2001. 10.
13. 김용규 외, “경부선 전철화 구간에서의 귀선 전류 및 임피던스 예측”, Jun, 2001. 2001년 전자공학회 하계학술대회 발표 예정
14. 김용규 외, “동대구-부산간 기존선 전철화 구간 접지 시스템 분석 및 검토”, Sept, 2000, 한국철도기술연구원.
15. 이길노 외 “전기 철도 시스템에서의 공통 접지 적용에 대한 연구” 2005, 서울산업대 철도전문대학원