

서울메트로 접지시스템의 경년변화에 따른 개선 접지 기준

A Study on the Unification of The Grounding System of SeoulMetro due to Ageing

민병훈[†] · 김균식^{*} · 정용기^{**}

Byung-Hoon Min · Gyunl-Sig Kim · Young-Ki Chung

Abstract

Since Seoulmetro built the first line of electric railway at seoul 1974, the passengers of railway have been increased rapidly, and electric railway requires more electric power for the greater capacity of transport. It is important that we prevent the accidents related with the subway, because all systems of subway are constructed in artificial underground structure. Since the previous versions of the earth system were built to meet the old standards of the electric facility for the lightning, some accidents related with the DC earth fault are causing secondary damages to the electric equipments. So, the old grounding system must be improved, and new standards of grounding system are required. We compare the grounding systems of the domestic railway corporations and the accidents that are related with the grounding systems. And we give ideas to improve the grounding systems and present standards which are suitable to electric railway.

Keywords : Grounding system(접지시스템), Earth fault(지락), Electric railway(전기철도), Subway(지하철), Railway(철도), Seoulmetro(서울메트로)

1. 서론

서울메트로의 경우 1974년 8월 15일 1호선 개통을 시작으로 전기철도의 이용승객은 비약적으로 증가해 왔고, 더 많은 수송을 위해 더 큰 전력이 요구되고 있다. 서울메트로 는 인공적으로 구축된 지하 구조물 내에 모든 시스템이 설치되어 있기 때문에 사고를 예방하는 것이 무엇보다 중요하다. 그러나 가장 큰 문제점은 이러한 접지 시스템의 유지보수가 불가능하고 성능을 개선시킬 수 있는 방법이 없다는 것이다. 이에 따라 전기설비의 안정적 운용과 사고 예방, 인명 보호의 역할을 하는 접지시스템의 중요성은 더욱 커졌다. 하지만 현재 적용되고 있는 접지시스템의 종류인 1, 2, 3종과 특별3종의 수치 근거는 2종을 제외하고 10[Ω], 100 [Ω]의 문헌근거는 전혀 없다[1]. 또한 개별접지와 다중접지

에 대한 설비 기준이 없기 때문에 전기철도 분야에 개별접지방식(TT방식)과 다중접지방식(TN방식)이 혼용되어 사용되고 있는 실정이다.

하지만 NEMA보고서에 TN방식과 TT방식은 서로 공유할 수 없는 방식으로 발표되어 있고[2], TN방식과 TT방식 혼용시 누전차단기 오작동 문제와 보호계전기 선정시스템에 문제가 있음이 보고되어져 있다[3]. 이렇듯 접지에 대한 세계적인 기술경향은 공용 접지화 및 저 임피던스화로 흐르고 있으며 전기설비의 확고한 신뢰성, 정보통신설비의 뇌과전압 보호 및 건물의 뇌보호 등이 더욱 고도로 요구되고 있다[4-7].

최근 전기철도 분야에도 TN방식의 접지 시스템 적용에 대한 연구가 활발히 진행중에 있다[8-10]. 최근에 건설시공 중인 지하철 역사는 터널 철근 구조체와 대부분의 접지시스템을 등전위접지하여 공통 접지화 하고 있는 추세이지만, 서울메트로는 개통 당시의 내 외부방수로 격리된 개별 접지시스템을 그대로 사용하는 곳이 많으며 이로 인해 경년 변화에 따른 접지저항의 증가, 부식, 접지경로 미확인 등 접

[†] 책임저자 : 종신회원, 서울메트로, 기술본부장
E-mail : mbh108@naver.com

TEL : (02)520-5012 FAX : (02)520-5018

^{*} 서울메트로 선임-연락처자

^{**} 주의제전기설비연구원 대표

지관련 사고시 정확한 분석이 되지 않는 문제점을 야기 시키고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 접지시스템의 통일화를 명시화해야 하는 것으로 나타났다. 또한 접지관련규정 변화추세에 대응하기 위한 서울메트로의 접지시스템을 시설물 현황별로 검토 결과 시스템의 통일화 방안이 시급한 것으로 조사되었다. 서울메트로 전기시설물의 경우 접지시스템은 TN과 TT방식이 혼용되어 사용되고 있고, 전력선의 접지 시스템에서도 양단, 편단, 무접지 등으로 그 방식이 통일되지 않았다. 본 연구에서는 경년변화의 영향이 적고 사고차단에 더 적합한 접지시스템을 선택하기 위한 개선 접지 기준을 제시하고자 한다.

2. IEC 접지시스템

IEC(International Electrotechnical Commission)의 목적은 전기·전자 기술분야의 표준화에 관한 문제 및 관련사항에 관한 국제협력을 촉구함으로써 국제적인 의사소통의 도모에 있다. IEC에서는 접지시스템과 밀접한 관계가 있는 등전위 본딩을 강조하고 있다. 나아가 EMC(전자파 적합성)와 관련된 접지시스템으로 그 범위를 확대하고 있으며, IEC 60364-5-54에서는 접지극의 종류, 접지선의 단면적, 본딩용 보호도체의 단면적 등에 대해 보호목적과 기능목적으로 등전위 본딩용 도체의 일반 요구사항에 대해서도 규정하고 있다. 접지극의 종류로는 봉, 판, 선상전극 외에 기초 부분에 매립한 전극, 콘크리트에 매립한 전극, 지하 구조물 등을 인정하고 있으며, 또한 주접지단자, 바(Bar)는 접지선, 보호도체, 등전위 본딩용 도체, 기능용 접지선을 한곳에 설치하도록 규정하고 있다. 표 1은 현재 접지시스템의 변화추세를 나타내고 있으며 2007년 내선규정등 대폭적인 접지관련 규정 변화가 예고된다. 그림 1은 IEC의 권고사항인 접지설비의 본딩(Bonding) 개념도를 나타내고 그림 2는 기능용 접지의 효과를 잘 나타내고 있다.

표 1. 접지관련규정 변화

구분	관련근거	특징
현재 적용규정	· 내선규정 140-1 전기설비 기술기준 21조	단독(TT)접지 (일본식)
개편 예상규정	· IEEE, NEC 「공통접지」 고사항(유럽, 미국전기공사규정) · 2007년 까지 내선규정 대폭개선 → 현재 IEC 규격 일부 도입 적용	공통(TN)접지 (미국, 유럽식)
전기설비 기술기준 개정	※ 제1종 접지공사를 A종 접지공사로, 제2종을 B종, 특별 제3종을 C종 접지공사, 제3종을 D종 접지공사로 호칭 변경.(1997년)	

3. 서울메트로 접지시스템 현황

3.1 전기설비 접지시스템

전기설비의 일부인 통신장비에 미치는 노이즈 원인은 낙뢰, EMI 및 전원계통 단독접지로 인한 전위차 등을 지적하고 있다. 현재 서울메트로 전기 분야의 모든 접지는 각각 개별 접지를 시도하고 있어 사고시 각 기능별 접지계통이 전위차가 발생할 수밖에 없는 환경을 가지고 있다.

특히 변전소 접지저항은 1~4호선에서 현재 까지 양호한 접지 저항치를 보이고 있으나 표 2에서 보는바와 같이 호선별, 기능설비 접지시스템이 각각 다르게 시설되어 시설물에 대한 점검 및 유지보수에 많은 어려움이 있다. 앞으로 신설 변전소를 건설할 경우가 발생한다면 현재의 접지방법 중 가장 효과적이라 생각되는 망상 접지와 탄소 접지 모듈 시공 방법을 이용한 접지방식이 요구된다.

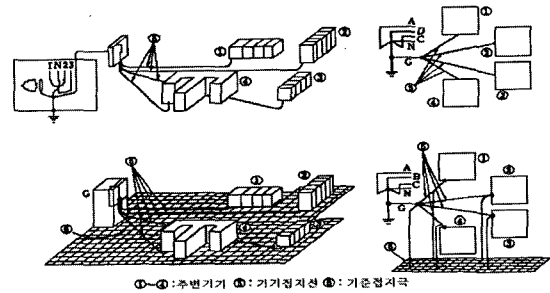


그림 1. 다점 접지시스템 구성

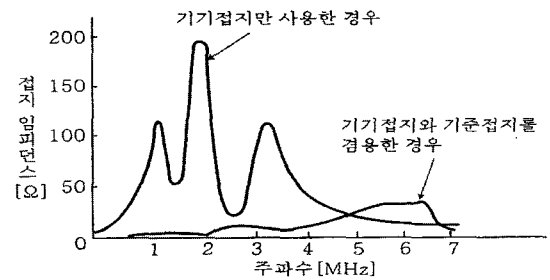


그림 2. 주파수변화에 따른 과도 임피던스 변화

표 2. 서울메트로 변전·전기설비 접지시스템

Grounding System	LINE 1		LINE 2		LINE 3		LINE 4	
	S/S	E/R	S/S	E/R	S/S	E/R	S/S	E/R
AC/DC 분리	-		1		1			
AC/DC 통합	3		14		11		12	
A,B,C종 분리	1	7	5	40	9	39	2	28
A,B,C종 통합	2	6	10	14	4	2	11	
메시 접지			1		7		·5	

왔고, 철(Fe)과 구리(Cu)가 같은 저항이 나오더라도(일반 TEST 측정 시) 전기도전성이 달라 전자의 이동성이 다른 것처럼 도전성 콘크리트는 접지 단면적을 넓혀주는 역할 이외에 사고전류를 분산시키는 목적으로는 사용하는데 한계가 있다. 현재 승객의 안전을 목적으로 전 역사에 시설을 추진하고 있는 스크린도어(PSD)용 접지 시공의 경우 서울메트로에서는 전기설비나 다른 접지와 분리 시공되고 있으며 지하철에 미치는 전기적 악영향 등을 고려하여 기존 접지와 등전위 본딩이나 연접을 하지 않도록 권고하고 있다. 별도 외부 접지망을 구성할 경우 터널 외부로 접지 리드선을 인출해야 하며 접지선을 인출할 경우 경로확보, 방수문제, 긴 경로로 인한 전기 임피던스(XL값) 증가로 접지 특성 상실은 물론 설계, 시공 자체가 불가능하도록 되어 있다. 스크린도어(PSD)용 접지는 설비의 안전성과 예민성을 고려할 때 접지 저항치는 최소 10[Ω] 이하로 확보해야 하나, 기존 접지와 등전위 접지를 하지 않은 상태로 콘크리트 터널 내에서 10[Ω] 이하를 확보하는 것은 기존의 접지 공사 방법으로는 거의 불가능한 상태이다.

3.3.1 경년변화에 따른 접지방식 검토

세계적으로 전기, 정보통신 분야의 이론과 실무적인 권위를 인정하고 있는 IEEE에서 권하고 있는 자료를 보면 모든 Noise나 Surge의 근본 원인을 차단하기 위해서는 대상 시설물과 구조체의 완벽한 등전위를 권고하고 있다[11]. 또한 단독 접지를 하는 경우 과도 임피던스의 영향으로 이상 전류 피습시 최대 200(Ω)까지 임피던스가 증가하여 전위를 상승시켜 주변 기기를 파손시킨다[11]. 이러한 측면을 고려하여 미국, 유럽 등 선진국에서는 접지의 경우 철저한 등전위 접지를 권고하고 있으며, 등전위 접지로 발생될 수 있는 Noise나 Surge에 대한 대책은 규격에 맞는 Surge protector(SPD)를 설치하도록 권고하고 있다(KSC IEC 61024, 60364). 이러한 세계적 추세로 이미 KSC IEC 60364(건축전기설비)와 KSC IEC 61024(건축물등의 뇌보호 시스템)는 전기설비기술기준령에 개정 법제화되고, 내선규정 개정(2005.3) 및 관보에 게재되어 시행되고 있다. IEEE Std 518-1982 권고안을 보면 모든 기기 및 구조체 접지를 연접하도록 권고한다[12]. J사에서 제작한 탄소 저저항 접지모듈의 경우 도전성 콘크리트에 비해 도전성이 매우 우수하다. (철근콘크리트 1~50[MΩ], 접지 저감제 100~500[kΩ], 탄소접지모듈 1~4[Ω]) 현재 서울메트로 PSD용 접지 설비는 미국 IAEI에서 권고하는 방식대로 콘크리트 내의 철근과 용접 인출하여 인출선을 전기적으로 탄소 저저항 접지 모듈과 등전위 시켜 최적의 접지 시스템을 구축 운용하고 있다. 이미 선진국에

서는 토양오염 등의 문제로 심타공법 및 화학 저감제 사용을 제한하고 있다. IEEE 권고안을 보면 지하철 시설에서 많이 나타나는 전식(電蝕) 등을 고려할 경우 Carbon(탄소)과 스테인리스스틸 접지방식을 권장하고 있다[12]. 특히 서울메트로의 경우 각 기기의 전식(電蝕)에 대한 대책이 중요한 과제이므로 앞으로 접지공사의 추가 시설시 접지성능이 우수한 접지방식을 선택 적용해야 할 것으로 판단된다.

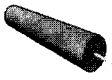
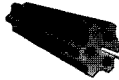
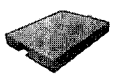
3.3.2 탄소 저저항 접지모듈의 적용

한국전기연구원의 공인 시험 개요도 그림 4, 5에서 보는 바와 같이 G-2의 탄소 단면적이 커 낙뢰 이상전압의 대기 분산효과가 가장 크게 나타난다. 접지저항은 접지봉의 외부 단면적 크기의 자승에 반비례로 크기가 작아진다[13].

따라서 접지 저항치를 가장 낮고 안정적으로 유지하기 위한 접지 방법으로 접지 단면적을 증가시키는 방법이 사용되고 있다. 탄소 저저항 접지 모듈은 단면적을 최대로 하였을 뿐 아니라 도전율도 높아 최소개수를 시공하면서 최대 저항 저감 효과가 나타나도록 할 수 있다. 이미 12개소에 시공되어 운영중인 스크린 도어용 전용 탄소 저저항 접지모듈 시공 예에서와 같이 탄소 저저항 접지모듈은 접지저항 10[Ω] 이하 확보가 용이하고 환경 친화적이며 경년변화가 없다. 또한 반영구적인 수명을 가지고 있으며 시공 상태가 노출되어 있어 유지보수 확인이 용이하다. 구조체 및 탄소 저저항 접지모듈을 이용한 공통접지를 적용하면 단독 및 공용 혼용 접지에 비해 매우 효율적이라 사료된다. 기존의 접지 설비의 노후와 성능 저하로 인한 접지 설비 보강시 탄소 저저항 접지모듈을 이용한 접지 설비를 설치할 경우 안정적인 장비 운영을 확보할 수 있다.

접지 저항 값이 높을 경우 역사에서 운용하고 있는 저압

표 5. 탄소 저저항 접지모듈의 특성

종류별	G-1	G-2	G-3
크 기	150x800 	260x1000 	500x400x60 
무게(kg)	20	50	20
실내온도 이하고유저항	≤ 4.5 (ρ=40Ωxm)	≤ 4.0 (ρ=40Ωxm)	≤ 3.5 (ρ=40Ωxm)
1개당 고유 접지저항(Ω)	7	4	6
평가공식	Rj≒0.18	Rj≒0.11	Rj≒0.16
형 태	실린더타입	실린더타입	플레이트 타입
주 용도	산악지역	저층통신기지국	산악지역

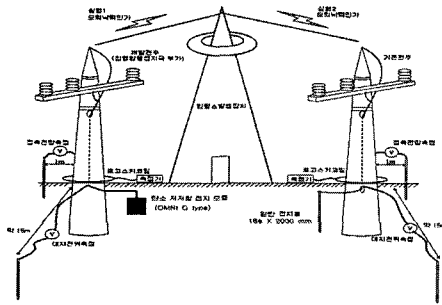


그림 4. 탄소접지모듈 임펄스 시험 개요도

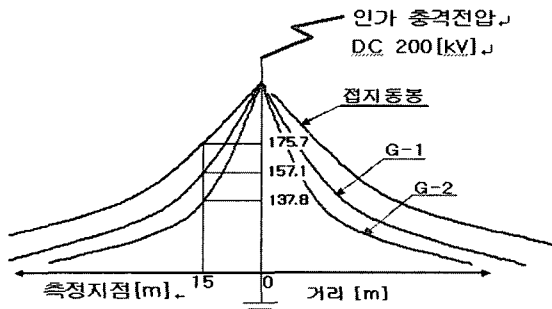


그림 5. 접지 재료별 전위 상승 그래프

AC 전기 설비의 안정성에도 치명적인 피해를 입힐 수 있으나 탄소 저저항 접지모듈 사용시 계절에 따른 경년변화가 거의 없고 항상 수분을 흡습하고 있기 때문에 접지 저항 값을 안정적으로 유지할 수 있다. 현재 '05. 8부터 12개소가 설치된 저압 AC 전기설비 및 스크린도어 설비는 안정적으로 운용되고 있다.

3.4 분리·공통 접지 타당성 검토

표 6에서와 같이 AC/DC 분리인 경우 접지극 간격이 25m이상 이격시 접지전극간의 영향은 거의 없다. 그러나 현재 서울메트로 접지환경으로는 이 조건을 충족시키기가 불가능하다.

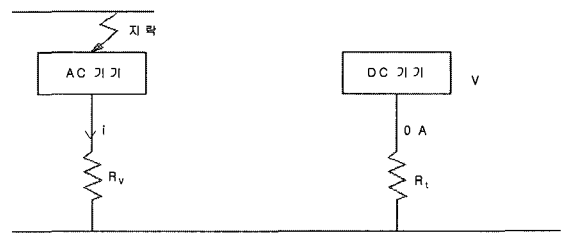
이러한 이유로 변전소내의 접지극이 그림 6(a)와 같이 근접 시공된 경우 낙뢰 및 지락사고 분석의 예를 보면, 접지저항이 A변전소는 5[Ω], B변전소는 1[Ω]이하라고 하면 AC계통 고장전압은 한전변전소의 피뢰기 제한전압(65kV)이하, 1선 지락전압(20kV)이하, 지락고장전류는 7kA이다. DC계통의 상용주파내전압은 15[kV]이고 뇌임펄스 전압은 규정에는 없으나 통상 약2.5배를 적용하여 37.5[kV]에 이른다[14].

따라서 낙뢰시 한전계통 저압 AC계통에 인가되는 전압은 $V = iR_g + V_a$ 이다. 저압 AC계통 지락 사고 시 인가전압은 아래식과 같이 계산된다.

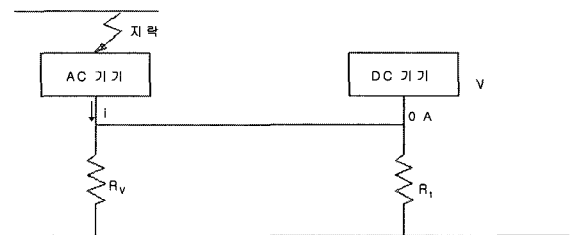
표 6. 분리 및 공통접지의 사고별 전위 상승효과

기능실	DC계통 전위상승[kV]				비고
	분리접지		공통접지		
	한전계통낙뢰	AC계통지락	한전계통낙뢰	AC계통지락	
A 변전소	100	55	65	20	지락시 절연파괴
B 변전소	72	27	65	20	
검 토	서울메트로 변전소는 22.9kV 계통이 125BIL이기 때문에 지락사고만을 고려, 공동 접지가 타당하다.				

R_g : AC 기기 접지저항 V_a : AC 계통 고장전압
 I : 고장전류 R_t : DC 기기 접지저항



(a) 분리접지



(b) 공통접지

그림 6. AC·DC 접지시스템

$$V = 7[kA] \times 5[\Omega] + 65[kV] = 100[kV] \quad (2)$$

$$V = 7[kA] \times 1[\Omega] + 65[kV] = 72[kV] \quad (3)$$

$$V = 7[kA] \times 5[\Omega] + 20[kV] = 55[kV] \quad (4)$$

$$V = 7[kA] \times 1[\Omega] + 20[kV] = 27[kV] \quad (5)$$

$$V = V_a, R = (R_g \times R_t) / (R_g + R_t),$$

$$V = 65[kV] \text{ (한전 낙뢰시)},$$

$$V = 20[kV] \text{ (지락시)}$$

4. 서울메트로 접지시스템 개선 기준

4.1 국내·외 낙뢰사고 관련 접지시스템 검토

외국의 경우 그림 7(a)에서처럼 다나변전소 부근 전차선에 낙뢰 발생으로 뇌격전류가 전차선과 송전 케이블을 타고

변전소내 기기에 침입하는 사고가 발생되었다[15].

그결과 피뢰기는 동작하였으나, 기기용 접지와 배전반용 접지 사이에 큰 전위차가 발생되어 직류고속도차단기(HSCB)의 고압측에서 제어선측으로 뇌격전류 유입으로 직류 고속도 차단기, 제어선, 원격감시 제어장치 및 배전반 등의 일부 손상으로 변전소 송전능력이 상실되었다. 원인은 변전소내 접지시스템이 기기용 A종 접지전극과 배전반용 D종 접지전극으로 분리되어 있기 때문에 뇌격시 2개의 접지계간에 큰 전위차가 발생, 이로 인해 분리된 2개의 접지계간, 즉 직류 큐비클과 배전반간에 제어선이 넘어가 제어선을 통해 직류 1500[V] 주회로에 지락이 발생되었다. 그림 7(b)와 같이 기기용 접지와 배전반용 접지를 연결하는 회로를 설치하여 동일 변전소내의 접지전위를 균등하게 하여 뇌격전류에 의한 기기 손상을 방지하고자 대책을 마련하였다. 첫째 다른 접지계간에 큰 전위차가 발생한 것에 기인 기기용 A종 접지전극과 배전반용 D종 접지전극을 접속하였다. 둘째 낙뢰에 의한 전위상승은 뇌격전류와 접지저항치 때문이므로 접지 저항치를 낮추기 위해서는 피뢰기용 A종 접지전극에 접속하였다. 셋째 뇌격전류는 급전선을 통해 침입하므로 전차선로용 피뢰기보다 제한전압이 낮은 변전소용 피뢰기를 변전소 바로 옆 전차선로측에 설치하였다. 이로써 뇌격전류는 2개의 독립된 접지극으로 분류하므로 변전소의 접지 전

위상승은 억제되었다. 국내의 경우에는 변전소의 접지설비 훼손에 따른 정류기(SR) 내부기기 소손사고가 있었다. 원인으로 DC 차단기가 사고전류(대전류) 차단시 발생한 과도한 아크전압이 피뢰기를 통하여 방전되어야 하나, 접지설비 훼손으로 피뢰기가 제기능을 상실하여 SURGE 에 취약한 정류기 다이오드, 저항등이 소손되었다. 사고시 변전소 접지설비는 건설당시 A,B,C종 접지공사는 분리 시공되어 있었으며 접지선의 경년변화가 심하였고 외부요인으로 인해 접지선이 쉽게 훼손되었다. 대책으로 훼손된 접지저항 28[Ω]을 개선하기 위하여 변전소 출입문앞 외벽지지 H 빔 등 접지보강을 실시하여 5[Ω]이하로 보강을 하였다.

4.2 서울메트로 접지시스템 개선

현재 서울메트로의 변전소, 전기실 분리접지는 향후 변화되는 규정에 부합하지 않고, 서지유입시 접지전극간 전위차 발생이 우려되며, 송배전선로 실드접지도 일관성이 없어 기준이 필요(양단접지→편단접지)하다. 특히 22.9[kV] 연락선로는 중성선 미설치 개소(양단접지)를 편단접지로 개선한다. 6.6[kV] 배전선로는 일부 양단접지 개소를 편단접지로 개선한다. DC 급전계통의 케이블 실드접지 형태가 변전소별 상이함으로 DC 급전케이블의 접지시스템은 단계적으로 개선하여야 한다. 첫째 비접지로 하여 1,2호선 변전소 케이블 실드접지로 개선한다. 둘째 정밀 진단 후 결과에 따라 기술검토 후 전압감지기 설치한다. 셋째로 중장기적으로 케이블 교체시 무(無)실드 케이블 적용한다. 특히 변전소의 경우 제 3종 접지는 제1종 접지와 통합하고, 접지저항값이 기준치를 넘는 변전소의 접지의 보강은 신규로 접지공사를 하는 방법이 있으나 비현실적인 면이 있어 양호한 제 1종 접지와 통합 운영하도록 한다. AC 접지와 DC 접지는 접지극 간격 25m 이상 이격 또는 공통으로 접속하여 시공하여야 하며 접지극 간격은 25m이상 이격 불가시 공동접지화로 통합 관리한다. 이때 공동접지의 저항값은 현저히 낮은 수준을 유지한다. 지하 터널등에서의 접지저항저감대책은 현실적으로 일반 접지극의 신설이 불가하므로 건축물의 철구조물과 연결 탄소저저항 접지모듈을 시공함이 바람직하다.

5. 결론

서울메트로의 접지시스템은 시공당시의 접지시스템을 그대로 사용하고 있어 현재까지도 경년변화에 따른 개선 접지 기준이 마련되어있지 않아 많은 문제점이 야기되고 있다. 따라서 본 논문에서는 서울메트로의 접지시스템에 대한 접지 기준을 다음과 같이 제시한다.

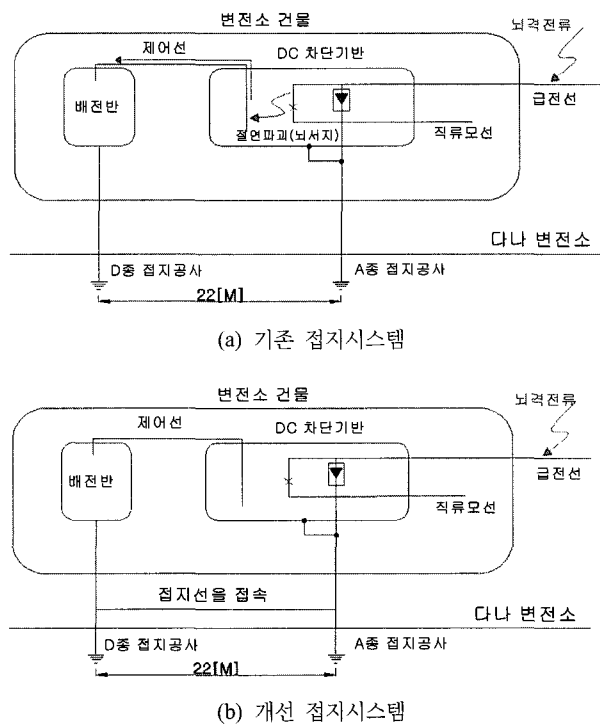


그림 7. 낙뢰 사고 대책을 위한 접지시스템

- (1) 변전소 및 전기실의 C종 접지공사의 경우 A종 접지와 통합하고, AC·DC분리 접지공사인 경우 25M이상 이격이 불가하므로 철저한 공동 접속하여 시공하며 지하터널의 접지보강은 건축물의 철골구조물과 연결시공 한다.
- (2) 급전선 케이블인 경우 실드 비접지는 실드와 대지사이에 전압감지기를 설치하고, 실드편단일 경우 실드개방단과 대지사이에 피뢰기 설치, 향후 설치되는 급전케이블은 무실드 케이블을 사용한다.
- (3) 경년변화 대책과 환경 문제 해결, 유지관리 측면, 장비 안정성 관리측면에서 이미 12개역사 스크린도어용 접지로 운용 검증된 탄소저저항 접지모듈을 보강하여 접지스테이션으로 구축하여 접지시스템을 개선시킨다.

이상의 연구결과로서 향후 시설되는 수도권 지하철의 접지시스템의 기준 접지 개선을 위한 보완대책 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것으로 사료된다.

참고 문헌

1. 社)日本電設工業協會, “電設工業”, Vol No. 539, 1997. 11.
2. Electrical Installation Requirements, “A Global Perspective”, A report by Underwriters Laboratories Inc., Paul Duks, for the National Electrical Manufacturers Association, Rosslyn. VA, USA 1999.
3. 정용기, 광희로, 신효섭, 정춘병, 남택주, “건축전기설비에 적용되는 접지시스템 문제점과 개선방안”, 전력기술인, pp.52-57, 2001. 8.
4. 高橋健彦, 接地等電位ボンディング設計の實務知識, Ohmsha, 2003.
5. 高橋健彦, “圖解接地技術入門”, Ohmsha, 1990.
6. Y.L.Chow, M.M.A.Salama, “A Simplified Method for Calculating the Substation Grounding Grid Resistance”, IEEE Transactions on PowerDelivery, Vol.9, No.2, pp.736-742, 1994.
7. 高橋健彦, “圖解接地システム入門”, Ohmsha, 2001.
8. 창상훈, 김주락, 이형수, 김정훈, “전기철도 접지시스템 혼용 운용시 고장진류 해석”. 한국철도학회 추계학술대회 논문집, 2000.
9. 김양수, 김재문, “철도 지하구간에 대한 효율적인 접지방안에 대한 연구”, 한국철도학회 2005년도 춘계 학술대회 논문집, 2005.
10. 도쿄전철 발행 “호토 TOKKYU 임시호”, 2001. 12.
11. IEEE Std. 142, “IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems”, 1991.
12. 광희로, 정용기, 신효섭, “IEC 60364 건축전기설비 기술기준 핸드북”, (주)의제전기설비연구원, 2000.
13. IEEE Std 80, “IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding”, 1986.
14. 정용기 “서우메트로 역사 AC계통 접지시스템 보강 검토보고서”, (주)의제전기설비연구원, 2006.3.
15. LG산전주식회사 (주)대우엔지니어링, “지하철 1~4호선 전력설비 정밀안전진단 용역 보고서”, 2005.9.