

지하철 누설전류에 의한 전식 대책 시스템

배정호 <한국전기연구원 전기동력학연구그룹장>

1 서 론

지하 금속매설물을 소유하고 있는 시설물 소유자들은 부식(腐蝕)으로부터 설비의 수명을 연장시키기 위해 방식시설(防蝕施設)인 전기방식(Cathodic Protection) 설비를 갖추고 있다.

전기방식설비를 채택한 시설물 소유자들은 안정적으로 시설물을 유지하기를 원하지만 외부로부터 예상치 않은 누설전류에 의한 간섭이 발생하여 유지·점검에 상당한 애로를 겪고 있다. 이러한 누설전류는 존재 자체가 곧 에너지의 손실을 의미하며, AC 누설전류의 경우 지중 금속구조물(가스배관 등)에 유기되어 유지, 보수 인력의 감전사고의 원인이 될 뿐만 아니라, 아크의 원인이 되어 가스 누출시에 대형 폭발사고의 원인이 될 수 있으며, DC 누설전류의 경우에도 지중 금속구조물의 부식을 촉진하게 되어 부식사고를 일으키게 됨에 따라 환경오염 및 대형사고의 직접적인 원인이 될 수 있다. 특히 전술한 바와 같이 DC 지하철의 누설전류에 의한 전식은 그 심각성 측면에서 세심한 관리가 필요하다. 더욱이 서울지역은 전식의 가능성 측면에서 전 세계적으로 위험한 지역이라 할 수 있어, 이에 대한 대책마련이 시급한 실정이다.

따라서 한국전기연구원에서는 공공용도의 전기설비인 전기철도, 전력계통 등에 의해 발생하는 가스관, 송유관 등과 같은 주요 기간 시설물의 전식대책 수립

및 기술지원을 위하여 2001년부터 2007년까지 7년간 “국가기간시설물의 전식대책 지원 사업”을 수행하였다.

본 사업의 1차년도에서 3차년도까지는 주로 누설전류의 실태를 조사하였다. 지하철 누설전류의 실태를 조사하기 위하여 부산지하철 1,2호선과 서울 1기 지하철(1~4호선)을 대상으로 배류기 출력전류, 컨버터 부극선 전류, 임피던스 본드 전류 및 지하철역사 주변 도시가스배관의 주야간 P/S전위를 측정하였다. 그 결과 서울과 부산지역의 총 누설전류량은 각각 1,443[A]와 161[A]였으며, 이 양은 서울의 경우 지하철 레일이 매년 263미터씩 부식되어 없어지는 것을 의미한다.

본 사업의 4차년도에서 7차년도까지는 주로 지하철의 누설전류로 인한 전식대책 시스템을 개발하였으며, 관련 전문가들의 공청회를 통해 여러 가지 문제점에 대하여 검토하였다. 또한 전식대책용 기자재로써, 직류 누설전류 측정 장치(SCMS), 전식대책용 고속 응답 정전위형 정류기, 분포형 외부전원 시스템용 정류기, 무선 원격 부식감시 시스템, 방식전위 측정용지 분석 프로그램 등을 개발하였다. 그리고 국내의 전식대책기술을 이전하기위해 초급전기방식 기술전수는 총10회 개최하였으며, 배관관리자 및 전기방식업체 등에서 189명이 참석하여 전기방식관련 실험과 현장 실습을 통해 전기방식 설비진단의 기초 기술을 습득

하였다. 중급 전기방식기술전수는 총5회 개최하였으며, 73명이 참석하여 간섭의 개요, 진단 및 대책에 대한 내용을 이수하였다. 이러한 기술전수는 앞으로 매년 지속적으로 실시할 계획으로 있다.

본 글에서는 전식대책시스템의 국내외 현황과 본 사업에서 제안된 전식대책시스템에 대하여 개략적인 메카니즘을 설명하고, 각 시스템의 현장에서 성능검증 실험을 하였다.

2. 본 론

2.1 전식대책 시스템의 국내·외 현황

2.1.1 국내 현황

현재 까지 국내의 지하철에 의한 누설전류 감소대

책은 거의 모든 방법이 배류법이며, 그 외 방법에 대하여는 연구가 미미한 실정이다.

표 1은 서울과 인천에서의 전식대책 방안에 대하여 검토한 사례를 나타낸 것이다.

2.1.2 해외 현황

해외의 전식대책시스템은 나라마다 현장마다 다양한 전식대책시스템 들이 적용되었다. 본 글에서는 일본, 미국 및 캐나다에 대하여 각각 대표적인 사례를 소개함으로써 이해를 돕고자 한다.

2.1.2.1 일본

1) 개요

사례 II의 경우는 전기철도와 가스배관(중압B 150(Φ), 용접장관)이 교차하는 지점에서 발생할 전

표 1. 전식대책 검토 사례(서울 및 인천 도시철도)

전식 대책 방안	서울 도시철도	인천 도시철도	추진 방향
1. 변전소간 거리 단축	서울 2기 적용	적용	- 경제적이고 신뢰의 전력 급전 - 계통을 연계하여 결정
2. 누설 저항 증대 가. 레일 체결 장치의 절연 패드 사용 나. 침목의 저항 증가 다. 도상 상태 청결 유지 라. 터널 배수	서울 2기 적용	적용	- 레도 설계 반영 - 토목시공 운영팀 시행
3. 귀선 저항의 저감 가. 레일 용접 상태 양호 나. 레일 본드 상태 양호 다. 보조 귀선의 설치 라. 보조 레일 설치 마. 크로스 본드 설치	서울2기 가.나.마 적용	가.나.마 적용	- 레도 설계 반영 - 토목 시공 - 다.라 항목 국내 채택 사례 없음
4. 직류 계통 기기 비접지 (직류기기 절연판 위 설치)	서울 2기	적용	- 기기 시방 및 공사 시방에 반영(전기분야)
5. 배류기 시설을 위한 관로배관	서울 2기	적용	- 환기구를 이용 추후 설치 고려
6. 누설저항 계수조사		적용	- 수행 완료
7. 전식방지를 위한 사전조사 용역	서울 2기	적용	- 귀도 공사 : 도상철근 설치 - 전기 공사 : 접지선 배선
8. 도상철근 설치 및 접지선 배선	서울 2기	적용	

특집 : 지하철 누설전류 실태와 전식대책

식의 가능성에 대한 현장조사와 그 대책에 관한 것이다. 변전소는 가스배관 횡단 부근에 위치하고 있고, 철도는 최근에 전철화 되어 운행빈도가 비교적 많다.

2) 대상

가) 현장의 상황

부식현장의 시설물 노선도는 그림 1과 같다.

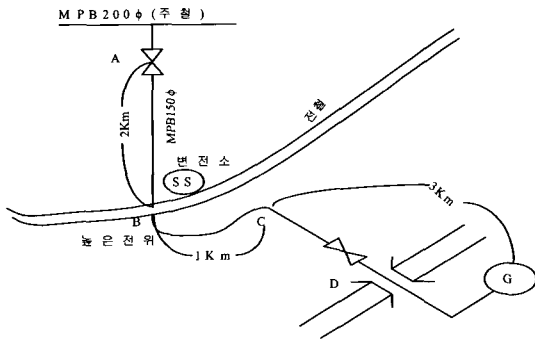


그림 1. 부식현장의 시설물 노선도

나) 배관상황

가스배관의 제원은 표 2와 같다.

표 2. 가스배관의 제원

항 목	제 원	비 고
압 력	중 압B	
구 경	150(Φ)	
관 종	강 관	
접 합 방법	용 접	
도 복 장	아스팔트주트2중권	
경 파 년 수	15년	
방 식 설 비	없음	

다) 부식상황

불명

라) 과거의 경위

특기사항 없음

3) 조사내용

가) 전철의 노선에 따라 레일횡단부의 R/S 전위와 그림 2와 같은 지점에서 가스배관의 P/S 전위를 측정하였으며, 측정결과는 표 3과 같다.

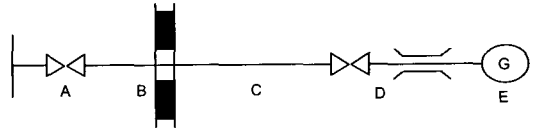


그림 2. P/S 전위 측정 지점의 위치도

표 3. P/S 전위 측정 결과

(단위 : [mV])

측정점	P/S 전위[mV]			R/S 전위(B점)
	최저치	평균치	최고치	
A	-800	-500	-420	+10~65[V] 지시율 +5~95[%]
B	-780	-150	+1,000	
C	-1,050	-600	+500	
D	-950	-600	-400	
E	-1,000	-800	-580	

측정결과, 레일 횡단부 근처의 P/S 전위는 심한 전식영향을 나타내었고, 같은 지점의 R/S 전위와 P/S 전위는 역상관계에 있었다.

나) 분기밸브는 절연 불량상태, 노선밸브는 도전상태였다. 또한 D지점 부근에서 배관과 지지물이 일부 접촉하고 있었다.

4) 종합 의견

- P/S 전위에 변동이 있었다.
- R/S 전위와 P/S 전위는 역상관계였다.
- 레일횡단부에서의 누설전류의 유입에 때문에 전식의 가능성이 있는 높은 전위가 발생하는 것으로 판단된다.

5) 대책

가) 대책방법

레일 횡단부의 R/S 전위가 거의 항상 -전위이므로 선택배류법을 적용하여 전식을 방지하기로 하였다.

나) 실시방법

- 배류시험의 결과 배류전류는 최대 120[A], 평균 40[A]였다.
- 전철부하의 변동을 고려하여 배류기 용량을 300[A]로 하였다.
- 레일 횡단부의 철도부지내에 선택배류기를 설치하고 배류점을 부근의 임피던스 본드에 연결하였다.
- 방식효과를 높이기 위하여 다음과 같이 대책을 강구하였다.

- 분기밸브 전후에 Mg양극 설치(점핑부식 방지)
- 노선밸브를 피트내에서 본드
- 교량의 지지물을 절연
- 정압기 입구를 절연

다) 실시결과

대책의 실시결과, 가스배관의 P/S 전위는 -600 [mV]에서 -2,200[mV]까지로서 전식은 완전히 방지되는 수준이 되었다.

2.1.2.2 미국, Washington

1) 개요

WMATA(Washington Metropolitan Area Transit Authority)는 그림 3과 같이 A~L Route

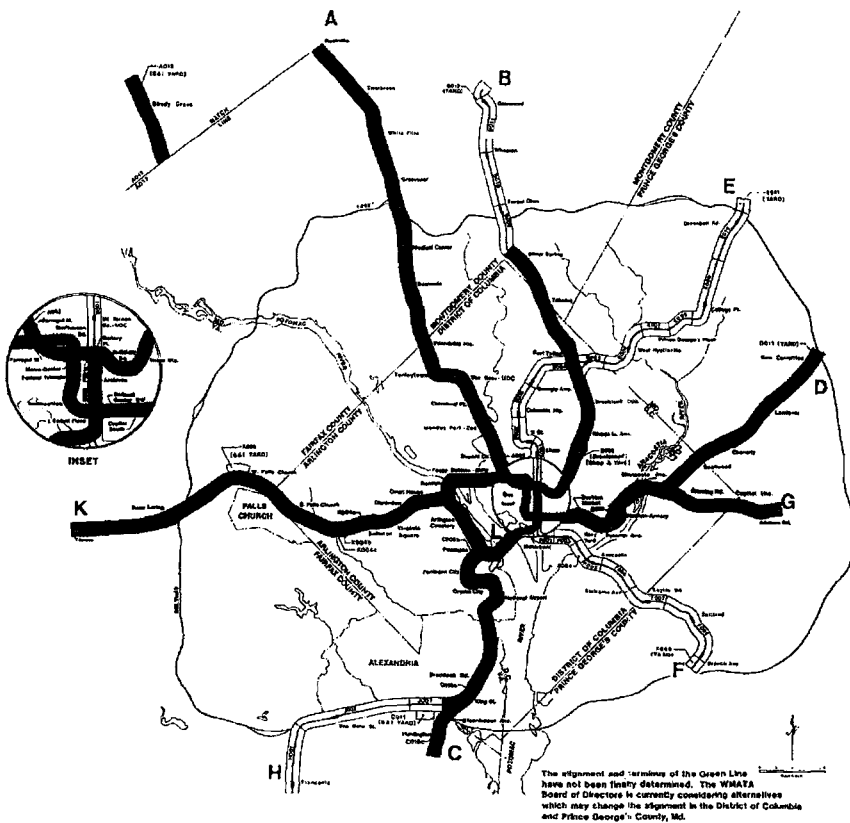


그림 3. WMATA의 지하철 노선도

의 지하철을 소유하고 있고, 이 중 A-Route는 1990년 초 60개 역과 112[km] 연장의 Two Track System으로 운용을 시작하였다. 현재 80개 역과 165[km] 연장으로 운용중이다. 전원은 750[Vdc]를 사용하고 있다.

2) 문제점

A-Route의 Rockville 역과 Shady Grove 역 사이에 9개사의 가스배관이 교차함으로써 누설전류에 의한 간섭이 발생하여 시설물소유자는 WMATA에 감소 대책을 요구하였고, 공동으로 지하철이 운행하는 시간대에 배관의 P/S 전위와 R/S 전위를 측정하였다. 그 결과 그림 4와 같이 변동이 심하므로 지하철의 영향임이 판명되어 이에 대한 대책을 마련하기로 하였다.

3) 대책

WMATA는 다음과 같이 누설전류에 대한 감소대책을 세우고 현장적용한 결과 많은 감소효과를 거두었다.

가) 주 레일 분리

WMATA는 Gap을 이용하여 Rackvill역 남쪽 지하철변전소 1번가에서 주 급전과 귀환 레일을 분리시켰다. 이 지점은 차량에 공급되는 전원이 비교적 적게 필요한 지점이며, 비상시를 위해 여분의 정류기 및 Breaker가 설치되어 있는 곳이다.

분리 후 대지간의 저항은 92[Ω-km]에서 492[Ω-km]까지 증가하였고, 누설전류 측정결과 표 4와 같이 누설전류가 상당히 감소되었다.

참고로 사전조사를 포함한 주 레일 분리에 소요된 총 경비는 \$2,000,000가 소요되었다.

표 4. 누설전류 감소효과(주 레일 분리 후)

역 명	총 전류[A]	분리 후 총 전류[A]	감소 효과 (%)
Shady Grove	9.9	3.3	66.7
Rockville	8.7	2.0	77.0
Twinbrook	0.8	0.0	100.0
White Flint	4.0	0.0	100.0
Grosvenor	4.8	0.0	100.0

나) 절연 고정장치 개발

레일 고정장치는 그 당시 WMATA의 기준을 만족하는 것은 없었다. 따라서 여러 제작사에게 의뢰를 한 결과 4가지의 후보 제품이 제공되어, 6개월 동안 현장적용 시험을 거쳐 양호한 1종류 제품을 선정하였다. 이 제품의 대지간 저항은 습윤시에는 1,542[Ω-km], 건조시에는 2,395.013[Ω-km]로써, 가스배관이 교차하는 문제구간 주위의 총 3.05[km] 구간에 18,000개가 설치되었다.

절연 고정장치 개발에 소요된 경비는 약 \$1,100,000로써 전체 프로젝트에 소요된 경비에 비해 비교적 적은 편이다.

다) 절연 플랜지 설치

9개사의 가스배관 소유자중 2개사가 지하철과 교차하는 배관에 절연 플랜지를 설치하고, 이 부분에 전기방식설비를 갖추어 누설전류를 상당히 감소시켰다.

4) 감소효과

앞에서 언급한 대책에 대한 효과는 다음과 같다.

- 주 레일을 분리한 경우 : 50~60[%] 감소 (그림 5 참조)
- 절연 고정 장치 설치 경우 : 50~90[%] 감소 (그림 5 참조)

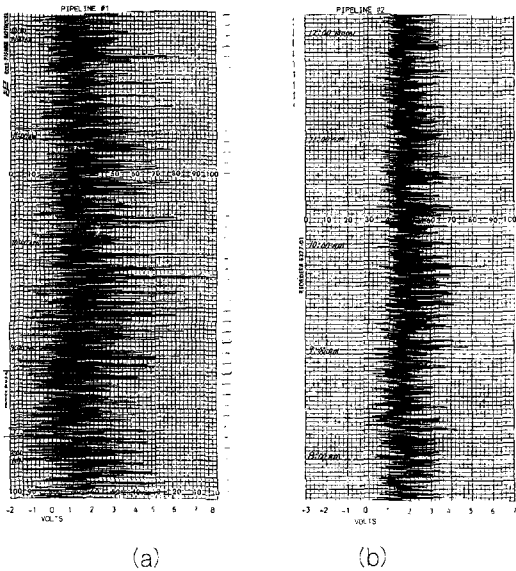


그림 4. 주 레일분리(a) 및 절연고정장치 설치(b) 전의 P/S 전위

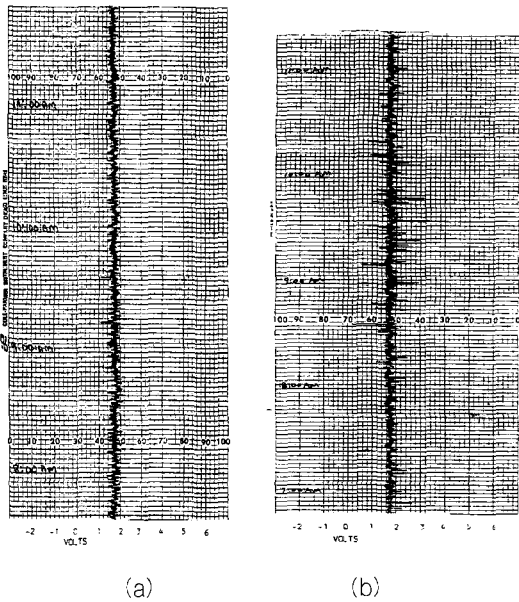


그림 5. 주 레일분리(a) 및 절연고정장치 설치(b) 후의 P/S 전위

5) 종합

- WMATA는 1960년 후반기부터 누설전류 감소측면에서 지하철을 설계하였다.
- WMATA는 배류기 설치에 반대한다.
- 문제구간에 대한 누설전류 감소대책에 소요된 경비는
 총 4백만달러=2백만달러(주 레일 분리 경비) + 1.2백만달러(절연고정장치개발) + 0.8백만달러(기타 관리비)
- 단한번, Tunnel의 콘크리트 Rebar를 보호하기 위해서 배류기를 설치하였으나 이것은 더 많은 배류기의 설치를 유도할 것이다.

2.1.2.3 캐나다, Toronto

1) 개요

1981년 지하매설물 소유자와 협력한 토론토 지하철 위원회(Toronto Transit Commission, 이하 TTC라 명함)는 누설전류를 감소시키는 데 착수하였다. TTC는 지상 DC 전철도 있지만 전력이 많이 소모되는 지하철에 대하여 주로 연구하였다.

TTC는 그림 6과 같이 총 46개의 지하철 변전소를 가지고 있으며, 전원은 Toronto Hydro 전력회사로부터 13.8[kV], 시외로부터 27.6[kV]를 공급받는다. 지하철에 공급하는 전압은 570[Vdc]이며, 다음 시설물들은 서로 연결되어 있다.16)

- 73.37[km] 지상 전철
- 55.49[km] Trolley Coach
- 54.4[km] 지하철(Heavy Rail)
- 6.52[km] 경전철(Light Rail)

2) 문제점

TTC는 누설전류의 주 원인이 지하철이라 판정하고, DC Negative Return System에 대한 현장검증결과, 아래와 같이 문제점 및 대책시스템을 제시하였다.

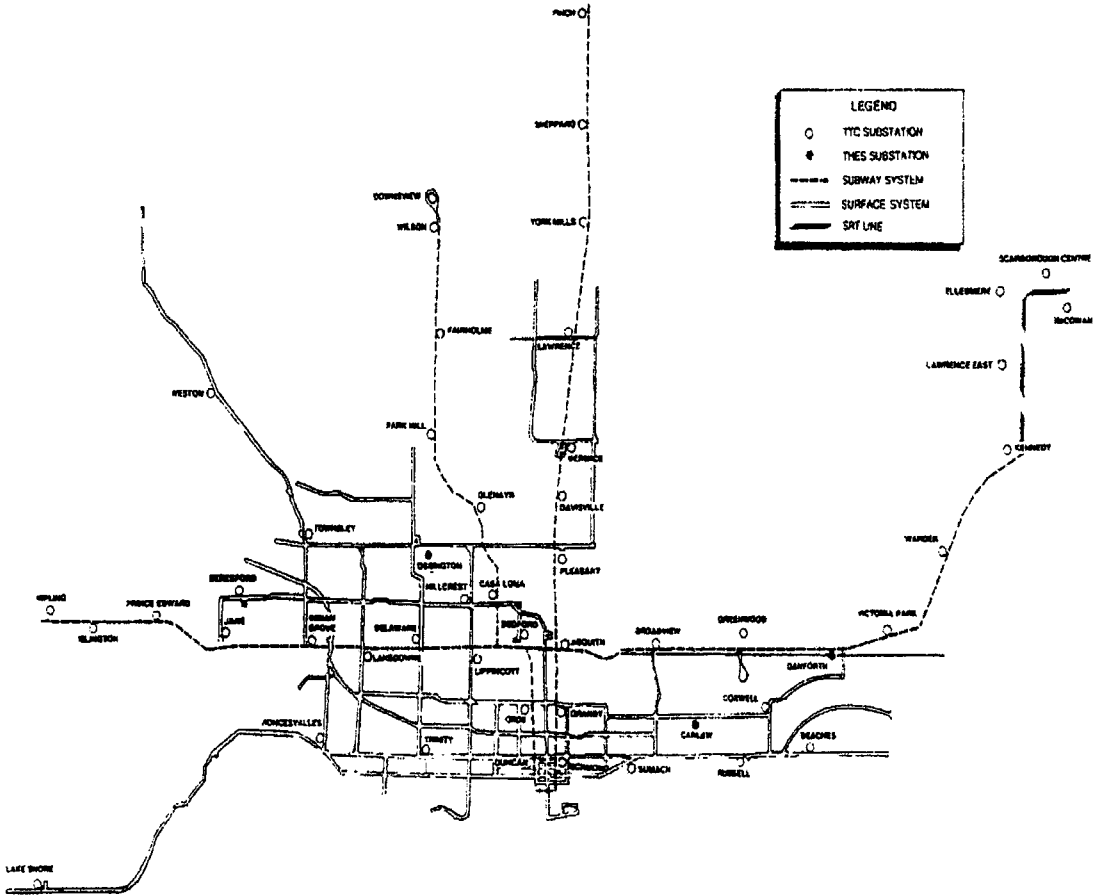


그림 6. Tronto 시의 지하철 노선도

- 대지간 레일의 저항을 측정한 결과, 의도적인 레일 접지가 누설전류의 원천이며 지하철 변전소에서 주로 발생하였다.
- 구형 전철의 대지간 레일저항이 설계치 보다 낮았다. 조사결과, 대지간 레일 저항을 높이기 위해 절연고정장치를 개발하여야 한다.
- 차량기지내의 의도적인 접지는 그대로 유지하면서 Main Line과 분리하는 연구가 계속되었다.
- 지하철변전소와 여러 역에서 Negative Return Power System과 접지 연결이 잘 되어 있는지를 조사하고, 이 연결은 하나의 Negative Bus 또는 도체로 병합이 되고 이 도체와 대지간의 절연과 연결을 할 수 있는 지점을 만들어 교환 전류를 측정할 결과 수 백 [A]가 교환되고 있었다.
- 지하철을 전기적으로 모델링하여 현재 조건과 레일과 대지간의 전위, 누설전류 크기 등을 예측하고, 여러 요소를 변경하여 분석하였다. 그 결과 레일의 완전한 분리로 인한 레일과 대지간의 전위 상승은 사고시에 문제를 야기시킬 수 있어, TTC는 자동으로 변전소의 Negative Bus를 접지시키는 반도체 스위치 개발에 착수하였다.
- 10개소의 변전소에서 41개의 누설전류 완화용

Bond를 제거함으로써 누설전류를 미약한 크기로 감소시켰다. 이 결과는 TTC를 고무시켰고 표 5와 같이 절연할 5개 프로젝트의 안이 도출되었다.

표 5. 절연 프로젝트(안)의 내역

No.	절연지점	개소	비고
1	Yonge Subway(North Extention)	5 지하철 변전소	
2	Spadina Line, Wilson Yard Separation	5 지하철 변전소 Mainline으로부터 차량기지의 분리	
3	Bloor-Danforth Line(East) Greenwood Yard Seperation	7 지하철 변전소 1 지하철 변전소	예정
4	Bloor-Danforth Line(East)	7 지하철 변전소	
5	Central Core Area Davisville Yard Seperation	6 지하철 변전소 타당성 검토 중	

3) 대책

가) 전기적 절연

AC 전원접지와 DC 전원접지와 연결되어 있는 것을 분리시키기 위해, DC 전원회로의 ⊖단자를 접지로부터 분리시켜 Floating System 상태로 만들어 대지로 흐르는 누설전류를 감소시켰다.

나) FNAGS 설치

상기와 같이 Floating System으로 만들 경우, Negative System은 전위가 상승하여 레일, 전철 차체, 그 외 부속물에 전압이 인가되어 DC Fault 시에 사고를 야기시키므로 FNAGS(Floating Negative Automatic Grounding Switches)를 개발 설치하였다.

FNAGS는 일정전압 이상을 감지할 수 있는 SCR 관련 장치와 Time Setting 장치가 내장되어 있다. FNAGS는 DC Negative Bus와 AC 접지 Bus(변전소 접지)사이에 연결되어 양단의 전위를 감지하고

미리 설정된 전압과 시간을 초과하면 SCR이 동작하고 전류가 "0" 또는 SCR에 역 방향전압이 걸릴 때까지 계속 전류를 흘린다.

FNAGS는 아래 조건일 때 동작한다.

- ① 2,500[A] 전류가 연속 흐름
- ② 20,000[A] 전류가 250[ms] 동안 흐름
- ③ 1,200[Vdc] 최대전압이 걸림

다) Mainline 분리

Mainline 분리는 대표적인 감소대책으로서 TTC는 다음과 같이 현장에 적용하여 누설전류 감소 효과를 보았다.

(1) Yonge Subway

North Yonge Line의 Mainline로부터 DC Negative System을 분리절연함으로써 평균 약 1,700[A], 최대 약 2,300[A]의 누설전류를 감소시켰다.

TTC는 Mainline을 분리절연하기 전에 19개의 배류기를 5개의 지하철 변전소로부터 철거하였고, 단 1개의 배류기만 연결운용하였다. 그러나 전체의 1/3인 5개의 변전소만 절연하였으므로 여전히 누설전류의 영향이 존재하였다. 따라서 향후 남은 변전소의 절연과 배류기 철거가 시행될 것이다.

(2) Spadina Line

Spadina Line의 Mainline로부터 DC Negative System을 분리절연함으로써 평균 약 1,400[A], 최대 약 2,300[A]의 누설전류를 감소시켰다.

TTC는 24개의 배류기를 5개의 지하철 변전소로부터 철거하였고 단 1개의 배류기만 남겼다. 이 배류기는 Yard와 Mainline의 Negative Return System과 연결됨으로 인한 누설전류의 영향을 감소시키기 위한 것이다. 그 후 Wilson Yard의 분리와 배류기는 철거되었다.

(3) 차량기지 절연

누설전류를 감소시키기 위해 레일을 Floating 시키면 접지된 차량기지와 전위차가 생기게 되고, 이 전위차는 차량이 차량기지를 출입할 때 근처 작업자의 안전에 문제가 될 뿐 아니라 Spike 전류에 의해 궤도, 차량바퀴, 베어링, 굴대목 등에 손상을 줄 수 있다. 따라서 TTC는 NBS(Negative Bridging Switch)를 개발하여 문제를 해결하였다. NBS는 아래 조건에서 동작한다.

- ① 700[Adc] 연속/단 방향
- ② 3,000[Adc] 250[ms]/단 방향
- ③ 750[Vdc] 역 전압/단 방향

종합적으로 볼 때, 대부분의 국내 및 해외의 지하철에 의한 DC 누설전류를 감소시키기 위한 대책은 현장에 따라 다양한 방법이 제시될 수 있으나, 아래 방법으로 정리될 수 있다.

- 전철의 부하전류를 저감시키기위해 급전선의 전압을 높인다.
- 귀환레일의 전도도를 증가시킨다.
- 귀환레일의 크기를 증가시킨다.
- 귀환레일간의 연결을 확실히 한다.
- 귀환레일의 Cross Bonding을 확실히 한다.
- 귀환레일과 평행 도체를 설치하여 귀환회로저항을 줄인다.
- 복수 지하철 변전소로 설계하여 긴 레일에 따른 저력손실을 최소화 한다.
- 귀환레일의 대지간 저항을 증가시킨다.
- 지하철 변전소내 DC 전원의 접지는 가능한 양호하게 시공한다.
- Mainline과 차량기지와 분리 절연하여 레일의 대지간 저항을 높이고, 누설전류에 의한 간섭구간을 줄인다.
- Mainline의 ⊕, ⊖선에 Gap을 설치하여 분리 절연시킴으로써 레일의 구간을 줄여 대지간 저항

을 높인다.

- 지하매설물의 대지간 저항 증가시키기 위해 절연 Joint 혹은 Flange를 사용하여 짧은 배관으로 즉, Sectionalize 한다.

2.2 제안된 전식대책 시스템

전식대책으로는 크게 누설전류를 발생시키는 DC 전철 측에서 대책과 간섭을 받고 있는 지하 매설물 측에서의 대책으로 나누어 볼 수 있다.

2.2.1 DC 전철측 누설 저감 대책

가. 도상철근 배류 시스템

최근에는 대부분 콘크리트로 레일을 지지하고 있으며, 콘크리트 내부에 철근을 레일 길이방향으로 시설하여 레일로부터 토양으로 누설되는 전류를 포집하여 인근 지하배관에 흘러들어가는 전류를 차단하여 지하철 변전소로 귀환(궤환)시키는 시스템을 도상철근 배류시스템이라고 한다. 그림 6에서와 같이 도상철근 배류시스템을 시설하게 되면, 원래 배관으로 흘러들어가는 큰 누설전류(굵은 선으로 표시)에 비해 대부분의 누설전류는 도상철근을 통하여 변전소로 귀환하고 일부만 지하배관으로 누설되어 간섭을 줄이는 효과가 있다.

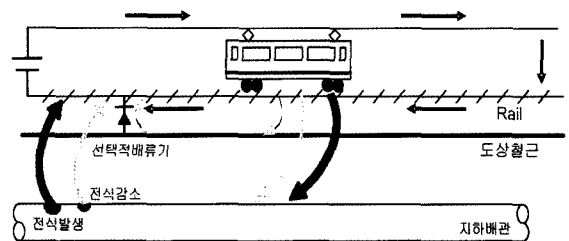


그림 6. 도상철근 시스템의 개념도

나. 누설전류포집 시스템

레일 본선구간에 시설되고 있는 도상철근 배류시스

템과 유사한 시스템으로써, 지하철 변전소 주변에 누설전류포집시스템을 포설하여 지하철 변전소 인근 레일에서 흘러나오는 전류를 변전소 부급전선으로 귀환시켜 간섭을 줄일 수 있다. 그림 7에서와 같이 누설전류포집시스템을 시설하게 되면, 원래 배관으로 흘러 들어가는 큰 누설전류(굵은 선으로 표시)에 비해 대부분의 누설전류는 누설전류포집시스템을 통하여 변전소 부급전선으로 귀환하고 일부만 지하배관으로 누설되어 간섭을 줄이는 효과가 있다.

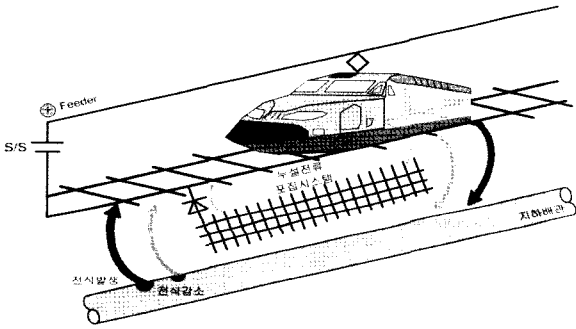


그림 7. 누설전류 포집 시스템의 개념도

다. 차량기지/레일 본선 절연시스템

차량기지/레일 본선 절연시스템은 대부분의 선진국에서 채택하고 있는 시스템으로써, 레일 본선구간과 차량기지과 전기적으로 절연하는 시스템이다. 차량기지내의 레일들은 자갈도상에 시설되어 있고, 검수고와 같은 건물점지와 연결되어 있을 가능성이 높으므로 접지저항이 매우 낮다. 접지저항이 낮다는 것은 누설전류가 크질 수 있다는 것이다. 그림에서 차량기지와 레일본선을 절연하면, 레일과 배관과의 절연저항이 크지는 효과 때문에 원래 배관으로 흘러 들어가는 큰 누설전류(굵은 선으로 표시)에서 적은 누설전류(가는 선으로 표시)가 배관으로 유입되게 된다.

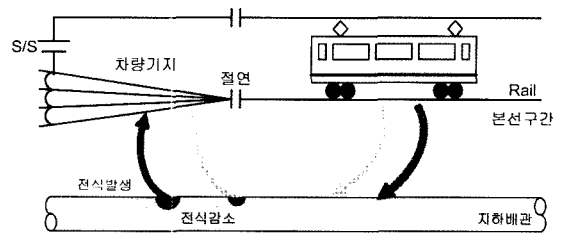


그림 8. 차량기지/레일 본선 절연시스템의 개념도

2.2.2 지하 매설배관 측 간섭 대책

가. 제한적 배류 시스템

DC 전철을 기동하기 위해 공급되는 전류의 일부가 그림 9에서와 같이 레일로 부터 토양으로 누설되어 인근의 상수도용 강관 등으로 유입되고, 이 전류는 DC 전철 변전소 인근의 상수도용 강관에서 다시 전류가 유출되며 이 유출부에서 국부 부식이 발생한다. 여기서 이 누설전류를 토양으로 통하지 않고 전기적인 도체를 통하여 직접 레일 또는 전철변전소로 귀환시켜 매설상수도 강관의 부식을 방지하는 방법을 배류법이라 하며, 이러한 기능을 하는 시스템을 배류시스템 혹은 배류기라고 한다. 배류법에는 직접 도체를 연결하는 직접 배류법, 방향성을 가지는 소자인 다이오드를 사용하여 연결하는 선택 배류법 그리고 외부에 전원을 인가하여 강제적으로 배류를 시키는 강제 배류법이 있다.

전술한 것과 같이 현재 국내에서는 지하철에 의한 전식대책으로 이러한 배류법에 전적으로 의존하고 있어, 이에 대한 피해들이 발생하고 있는 실정이다. 즉 지하철이 희생제동 시스템을 채택하고 있고 있어, 이를 저감하기 위해서는 지하철 차량기지 뿐만 아니라 지하철 역 주변에도 무분별하게 설치하고 있다.

따라서 본 논문에서는 배류기를 철거하는 것을 원칙으로 하고 있으나, 불가피하게 누설전류가 크거나 다른 방법으로 누설전류에 의한 영향을 저감할 수 없을 경우에 한하여, 제한적 배류시스템을 채택하는 것

으로 검토하였다. 제한적 배류시스템은 그림 10과 같이 제한적으로 복수개(2기~3기 정도)의 배류기를 지하철 차량기지 주변에 설치한다. 본 논문에서는 2대의 배류기를 설치하였을 경우에 예를 들어 설명한다. 첫 번째로 지하철이 차량기지에서 멀리 떨어진 경우(1)에는 누설된 전류가 차량기지 주변의 배관으로 모이게 되며, 이 때 1대의 배류기를 통해 변전소 컨버터의 부 극선으로 귀환되는 것 보다 2대일 경우가 더 쉽게 귀환 될 수 있다. 그리고 차량이 차량기지 내에서 운행할 경우(2)에는 누설전류가 차량기지에서 누설되어 압출전식을 발생 시킬 수 있다. 이 때 인근에 배류기가 있으면 누설된 전류는 또 다른 인근의 배류기를 통해 레일로 귀환 할 수 있어, 누설전류에 의한 영향이 저감될 것이다. 마지막으로 차량이 차량기지 주변에 있을 경우(3)에도, (2)번의 경우와 유사하게 되어 누설전류에 의한 영향이 저감될 것이다.

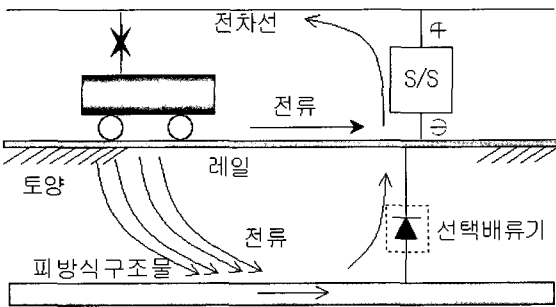


그림 9. 선택 배류시스템의 개념도

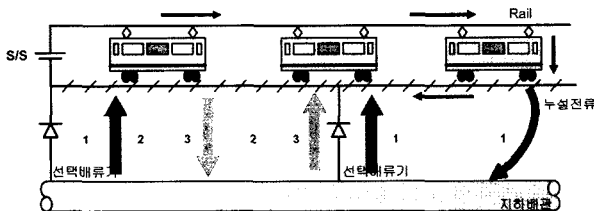


그림 10. 선택 배류시스템의 개념도

나. 분포형 외부전원 시스템

지하철 변전소 인근에 분포형 외부전원 시스템을 설치하면, 배관으로 유입된 누설전류들은 외부전원 시스템의 양극으로 전류가 빠져나가 지하철 변전소로 귀환하게 된다. 즉 배관 표면을 통해 토양으로 누설전류가 빠져나가지 않고 양극으로 빠져나가기 때문에 배관은 부식을 하지 않는다. 다만 외부전원 시스템용 양극은 소모가 촉진되지만 원래 불용성 양극이므로 그 영향이 미미하다. 이때 희생양극을 포설하게 되면, 급속하게 희생양극이 소모되어 배관이 방식되지 않게 되므로 주의하여야 하며, 하나의 외부전원시스템을 채택하기보다는 적은 출력을 갖는 분포형 외부전원시스템을 채택하면, 누설전류가 쉽게 빠져나갈 수 있고, 타 지하매설물에 간섭도 적게 영향을 주게 되어 여러 가지 장점이 있다.

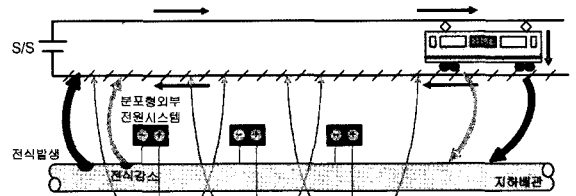


그림 11. 분포형 외부전원법의 개념도

다. 방식전위 속도제어형 정류기

지하철 주변의 지하배관에서 매우 큰 누설전류가 배관에서 빠져나가게 되면, 상기의 분포형 외부전원시스템만으로 부족할 수가 있다. 분포형 외부전원시스템은 누설전류를 양극을 통해 빠져나가게 하는 특성은 있지만, 배관의 방식기준을 만족하지 못하는 경우가 발생한다. 이때 방식전위 속도 제어형 정류기를 포설하면, 빠져나가는 전류보다 큰 방식전류를 배관으로 흘려서, 결국 배관에서 흘러나오는 전류가 없게 만들어 부식을 방지하는 시스템이다. 여기에 사용되는 정류기는 빠져나오는 누설전류에 신속하게 대응하지 않으면 효과가

없으므로 방식전위를 피드백 받아서 빠르게 출력을 제어하는 속도형 정류기를 사용하여야 한다.

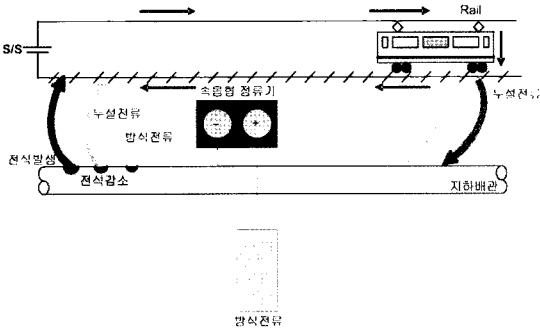


그림 12. 방식전위 속도형 정류기의 개념도

3. 결 론

본 글에서는 전식대책시스템의 국내외 현황과 제안된 전식대책시스템의 개략적인 내용에 대하여 살펴 보았다. 그리고 부산 및 서울지역의 지하철과 지하배관을 대상으로 전식대책시스템에 대하여 실증실험을 하였다. 그 결과 표 4와 같이 각 전식대책시스템에 대하여 누설전류 저감효과를 검증하였다. 다만 실증실험 장소와 방법 등은 시설물소유자의 요구로 공개하지 못함을 아쉽게 생각하며, 상세한 자료들은 향후 관련 공청회나 홍보용 자료를 통하여 공개될 수 있을 것으로 기대한다. 그림 13은 전식대책 시스템의 표준화

를 위해 관련 분야의 전문가를 모시고 공청회를 하는 장면을 나타낸 것이다.

전 세계적으로 복잡한 지하매설물을 갖고 있는 우리나라는 전식에 의한 대형사고가 상존하고 있어 이에 대한 대책이 시급히 마련하여야 하는 필요성 때문에 앞으로, 전식대책시스템의 법제화 및 기술 홍보에 힘을 쏟아야 할 것으로 본다. 이를 위해 관련 전문가 뿐만 아니라 각종 홍보매체를 적극적으로 활용하여야 할 것이며, 효과적으로 진행하기 위해 전식대책위원회 구성 및 운영은 우리가 다 같이 노력해야 할 것이다. 전식대책위원회 구성원은 정부, 지자체(서울시청 등), 학계, 정부출연 연구소, 지하철 관계자 및 지하배관 소유자들이 모두 참여하여 할 것이며, 미력이나마 한국전기연구원의 역할이 있다면 힘을 보탬 것이다.



그림 13. 전식대책시스템 표준화를 위한 공청회 개최 장면

표 4. 전식대책시스템에 대한 부산 및 서울지역의 실증실험 결과 요약

전식대책안	원 리	특 징	실증실험 결과	비고
강제배류법	-레일을 양극으로 사용하는 외부전원법 방식	-배관전위 안정화 효과 탁월 -주변간섭 유발	-전위변동감소 비율: 16[%]	부산
선택배류법	-배관으로부터 레일로의 누설전류이동회로 형성	-배관으로부터 전류가 유출될 때에만 작동 -타 배관에 미치는 영향 작음	-전위변동감소 비율: 16[%]	부산
복수선택배류법	-선택배류법과 같음	-2개이상의 지점에서 작동하여 배류 효과 높임 -선택배류보다 효과 높음	-전위변동감소 비율: 21[%]	부산

특집 : 지하철 누설전류 실태와 전식대책

전식대책안	원 리	특 징	실증실험 결과	비고
정전위형정류기	-배관전위를 일정수준이하로 유지하도록 정류기 출력 자동 조절	-누설전류유출지점에 적용하여 배관 전위 안정화	-전위변동감소비율: 76~99[%] -방식률:100[%]	서울/ 부산
분포외전	-Semi 심매양극법	-간섭완화 효과	- 미방식방식율:82[%]	서울
	-정류기출력 최소화	-배관의 균일전위분포 확보	- 분포외전방식율:93[%]	
		-주변 시설물에 미치는 간섭 작음.	- 방식율11[%]증가	
도상철근배류법	-콘크리트 도상내의 철근과 레일을 연결하여 누설 전류를 철근에서 포집	-배관유입누설전류량감소	-전위변동감소비율:33[%]	부산
누설전류포집 시스템	-레이주변에 매설된포집선이 누설전류포집	-배관유입누설전류량감소	-누설전류유입량22~27[%]감소	부산
		-포집선의설치용이		

참고문헌

(1) 배정호, 김대경, 하태현, 이현구, 하윤철, "지하철과 전력선의 누설전류(stray current) 측정을 위한 저장형 data logger", 대한민국 특허출원 제 2003-786004호, 2003.

(2) 하태현, 하윤철, 배정호, 이현구, 김대경, "IR Free 전극을 이용한 전위측정에 관한 연구", 2003 대한전기학회 하계학술대회 논문집, D권, pp. 2735-2737, 2003.

(3) 하윤철, 배정호, 하태현, 이현구, 김대경, "지하철 직류 급전시스템의 표유전류 실태조사", 2003 대한전기학회 전력기술부문회 추계학술대회 논문집, pp. 373-375, 2003.

(4) 배정호, 김대경, 하태현, 이현구, 하윤철, "지하철의 누설전류 측정센서", 대한민국 실용신안 등록 제 0343324호, 2004.

(5) John Morgan, "Cathodic Protection" NACE, January 1993.

(6) M.J. Szeliga, "Stray Current Corrosion", in: Peabody's Control of Pipeline Corrosion, 2nd Ed., Ed. R.L. Bianchetti, NACE International, p. 211, 2001.

(7) A.V. Abbott, "Electrolysis from Railway Currents", Electric Railway Number of Cassier's Magazine, 1899. Available online at <http://www.Irta.org/TA01.html>.

(8) NACE Standard RP0169-2002, Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems, NACE, 2002.

(9) Kuhn, R.J., Criteria for Steel and Cast Iron, Proceedings of the American Petroleum Institute, Vol 14, p153, 1953.

(10) Australian Standard, Galvanic(sacrificial) Anodes for Cathodic Protection, AS 2239, 1993.

(11) Det Norske Veritas Industry AS, Cathodic Protection Design, Recommended Practice RP B 401, 1993.

(12) W. Baeckmann, W. Schwenk, Handbook of Cathodic Protection The Theory and Practice of Electrochemical Corrosion Protection Techniques, BSI Code of Practice for Cathodic Protection, Portcullis Press LTD, 1975.

(13) J.H. Bae, A Study on the Standardization of Cathodic Protection System and Test Methods in KOREA, Bulletin of Electrochemistry 19(1), p31-36, Jan 2003.

(14) D.K. Kim, A Study on the Potential and Current Distribution of Cathodic Protection System, KOGAS Report, 1995.

(15) A.V. Abbott, Electrolysis from Railway Currents, Electric Railway Number of Cassier's Magazine (1899).

(16) M.J. Szeliga, ed., Stray Current Corrosion: the Past, Present, and Future of Rail Transit Systems, NACE, Houston, TX, USA

(1994).

[17] J. Beggs, J.H. Gitzgerald, CORROSION/2003, paper no. 03711, Mar. 2003, San Diego, CA, USA (2003).

[18] K.J. Moody, CORROSION/2003, paper no. 03712, Mar. 2003, San Diego, CA, USA (2003).

[19] L. Bortels, CORROSION/2002, paper no. 02113, Apr. 2002, Denver, CO, USA (2002).

[20] J.-H. Bae, D.-K. Kim, T.-H. Ha, H.-G. Lee and Y.-C. Ha, US Patent Application No. 10/989533, Filed Nov. 17 (2004).

[21] J.-H. Bae, D.-K. Kim, T.-H. Ha, H.-G. Lee and Y.-C. Ha, Korea Utility Model Patent No. 0343324, Feb. 17 (2004).

[22] E.D. Verink, Corrosion Testing Made Easy, Vol. 1: The Basics, NACE, Houston TX (1994) 57.

[23] H.H. Uhlig, ed., Corrosion Handbook, John Wiley & Sons, Inc., New York, NY (1948) 601.

[24] NACE Standard RP0169-2002, NACE, Houston, TX, USA (2002).

◇ 저 자 소 개 ◇



배정호(裴廷孝)

1964년 1월 6일생. 1986년 경북대 전자공학과 졸업. 1988년 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 2001년 한국해양대 대학원 기관시스템공학과 졸업(박사). 1989년~현재 한국전기연구원 전력연구단 전기동력학 연구그룹장.

E-mail : jhbae@keri.re.kr