

지하전철구간 전기부식 특성에 관한 기초연구

A Preliminary Study on the Electric Corrosion at Electrified Railroad

이철규* 정우성** 이덕희***
Lee Cheul-Kyu Jung Woo-sung Lee Duck-Hee

ABSTRACT

Although insulation equipment is installed, it is inevitable to avoid the stray current because rail is the return way of the direct current that is power of electric motor car. In this paper, by the investigation of the present state of underground facilities, and looking into the reason of electric corrosion, and analysis of corrosion accident cases of inside and outside of the country, fundamental data, to reduce of stray current and to prevent electric corrosion, were accumulated to enhance the safety of railway operation service.

1. 서론

전기철도는 선진국은 물론 국내 주요 대도시의 중요한 교통수단으로 자리 잡고 있다. 전기철도의 주 동력원인 직류전원은 레일을 전동차 전류의 귀선으로 사용하기 때문에 건설 시에 최상의 설계와 시공을 통하여 각종 절연 장치를 설치하지만, 시간이 지남에 따라 먼지 및 관리소홀 등의 각종 원인으로 인한 누설저항의 저하를 막을 수 없다.

우리나라에서도 대도시 지하매설 금속체의 부식에서 대부분을 차지하는 전기부식의 손실액이 상당하지만, 이에 대하여 종합적인 연구, 관리, 조사가 극히 미미하다. 외국의 경우 전기방식과 관련하여 100년 이상의 연구를 해왔지만 우리나라의 경우는 지하공간 매설배관의 전기방식 역사마저도 20년 정도로 매우 짧으며, 아직까지 전기방식에 대한 기술은 미흡한 실정이다. 각종 매설 금속체(Gas관, 수도관, 송유관, 전력Cable, 접지선 등)와 강구조물을 시설 및 관리하는 이해 당사자들이 전기철도 주변의 자기소유의 매설 금속체 보호 측면에서만 전기방식 조치를 실시하고 있으나 영구적으로 부식을 방지할 수는 없다. 따라서 이들 시설물에 대한 적절한 방식상태 유지관리를 위하여 관리자들은 정기점검을 통하거나, 환경 조건의 변화에 대응하는 방식으로 방식관리를 하고 있으나, 현재 타 시설물의 간섭이나 적절하지 못한 관리로 인하여 사고가 빈번하게 발생하고 있는 실정이며 이로 인한 인적·경제적 손실도 막대한 것으로 조사되고 있다.

2. 지하공간에서의 부식형태

2.1 지하공간의 부식 환경

금속의 전위는 금속이 놓여 있는 환경을 바꾸어도 변하며, 예를 들어 같은 철일지라도 콘크리트 중에 있으면 높은 전위를 나타내고 점토질 토양에 있으면 낮은 전위 값을 보인다. 외부환경의 차이에 따른 철의 자연전위 예를 표 2.1에 나타내었다. 이와 같이 같은 금속일지라도 외부환경이 다른 곳에 설치하고 도선으로 연결하면 양극과 음극을 만들어 양극부분이 부식된다.

* 한국철도기술연구원 주임연구원, 정회원
** 한국철도기술연구원 책임연구원, 정회원
*** 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원

표 2.1 외부환경의 차이에 따른 철의 자연전위

외부환경	자연전위(mV, CuSO ₄ 전극)
점토질, 물	-700 ~ -800
모래	-400 ~ -600
콘크리트	-200 ~ -300

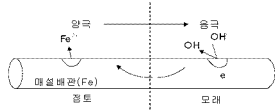


그림 2.1 매설배관의 부식도

2.2 지하매설배관의 부식원인

매설배관에 대한 부식의 일반적인 행태를 그림 2.1에 나타내었다. 배관이 습기(물)을 포함한 다른 토양(모래, 점토)에 매설되어 있고, 이들 가스배관의 피복에 결함이 발생하면 배관의 금속부와 토양이 접촉하여 각각의 환경의 차이에 의해 전위차가 발생한다. 이 때 배관을 둘러싸는 점토 또는 모래는 전해질로, 배관 자체는 도선 역할을 하여 전지가 형성되어 전위가 낮은 부분은 양극으로 되어 부식이 된다.

2.3 누설전류에 의한 전식

전철은 레일을 전류의 귀선으로 사용하고 있지만 레일로 흐르는 전류의 일부가 여러 가지 원인으로 인하여 토양 내로 누출된다. 매설배관이 레일에 접근하게 설치될 경우 누설전류는 매설배관으로 유입되고 전철변전소부근에서 다시 매설배관으로부터 토양 내로 귀류할 수 있다. 이 경우 전류가 유출되는 부분의 매설배관 표면에서 발생하는 매우 격렬한 부식을 누설전류에 의한 부식이라고 하며 그림 2.2에 나타내었다.

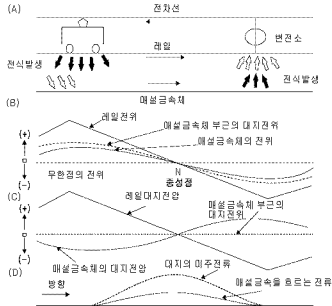


그림 2.2 누설전류에 의한 전기부식

2.4 간섭에 의한 전식

실비의 방식을 위해 전해질(토양)을 통하여 전류를 흘리는 방법법을 전기방식이라고 한다. 전기방식을 위해 전류가 흐르게 되면 전해질에서는 전위분포가 발달하게 되는데, 이 전위분포는 인접한 다른 시설물의 전위를 변화시키게 된다. 이 때 전해질에서의 전위분포는 전해질의 비저항 및 전류의 크기에 따라 좌우되며 인접한 시설물에 미치는 영향의 크기는 이격거리 및 상대적인 배치구조 등에 따

라 달라진다. 이와 같이 주변의 전기적 환경이 변화함에 따라 인접한 시설물의 전위 분포가 달라지는 현상을 간섭(interference)이라고 한다. 간섭에 의한 전기부식의 개략도를 그림2.3에 나타내었다.

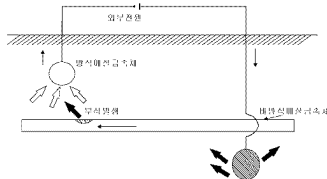


그림 2.5 간섭에 의한 전기부식

3. 전철구간 전기부식 발생사례

3.1 지하시설물의 전식사례

누설전류는 레일을 귀선으로 하여 전철에 전원을 공급하는 회로에서 벗어나 저항이 낮은 부분을 따라 의도되지 않은 방향으로 흐르게 되는 것을 말하는 데 변전소로부터 전원을 공급받아 운행하는 전철시스템에서 전류가 누설되는 부분에서 급속의 부식손실이 발생하게 된다. 철도의 궤도구조에서 이러한 누설부분은 주로 물이 고여 있게 되는 부분 등에서 집중적으로 전류의 누설이 발생하게 되는데 이러한 부분은 레일의 track 부분의 레일 고정부분 등이다. 레일을 고정하기 위한 팬드롤(Pandrol) 타입 궤철구의 전식과 철펀에 고정하는 스파이크(Spike)의 전식사례를 3.1과 3.2에 나타내었다.

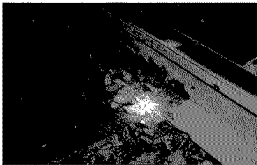


사진 3.1 Rail 정목고정부분의 전식

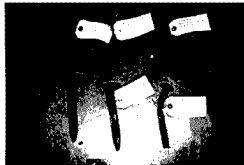


사진 3.2 레일스파이크의 전식사례

3.2 지하시설물의 전식사고 사례

3.2.1 국외 전식사고사례

철도지하 공간의 구조물들은 유형별로 분류해 보면 건물이나 토목구조물의 기초 pile류, 유류나 가스의 저장을 위한 탱크류 및 각종 utility의 운반을 위한 배관류 등이다. 이러한 구조물들 중에서 부식의 관점에서 가장 중요한 것은 배관류이다. 또한 배관류 중 고압가스배관의 경우 부식으로 인한 누출시 심각한 피해를 발생시킬 수 있으며 사고 또한 많은 유형을 가지고 있다. 일본의 메설배관의 전식 사례들 표 3.2에 정리 하였다.

표 3.2 매설배관 전식사고사례(일본)

개 요	배관 및 부식상황	조사내용 및 원인	대 책
전기철도 횡단지점에서 매설배관 부식발생	<ul style="list-style-type: none"> 배관상태: 중압강관, 용접접합, 아스팔트비닐테이프 사용년수: 6년 방식설비: JR에 선택배류기 설치 부식상태: 직경 8mm의 공식, 절구형형태 부식으로 금속광택임 	<ul style="list-style-type: none"> 부식의 형태로 판정하여 전식 측정항목: P/S, R/S, 토양비저항 조사결과: <ul style="list-style-type: none"> 전철부근에서 발생 금속광택 부식지점의 P/S는 -200mV, 최대치는 +5mV임 	<ul style="list-style-type: none"> 선택배류법으로 대처 유전양극법으로는 용량적으로 대처할 수 없음 비교적 최근에 매설한 것으로 피복열화도 적고 자연부식도 적다고 판단됨 건설비용 및 유지관리 면을 고려
전기철도 횡단 강관의 전식	<ul style="list-style-type: none"> 배관상태: 중압아스팔트피복강관 사용년수: 24년 방식설비: 희생양극 부식상황: 불명 	<ul style="list-style-type: none"> 측정항목: <ul style="list-style-type: none"> 각 TB P/S의 년도 변화 -R/S와 P/S 동시 측정 측정결과 판단: 길이가 짧은 관로이지만 측정결과로부터 시설의 Mg 양극으로는 대응이 불가능 	<ul style="list-style-type: none"> 대체가능방법: <ul style="list-style-type: none"> 선택배류법 신설 외부전원장치 신설 대책: <ul style="list-style-type: none"> 전철에 인접하고 있는 가바나용지내에 선택배류기를 설치함
전철레일에서 2km 떨어진 지점에서 부식발생	<ul style="list-style-type: none"> 배관상태: 중압아스팔트피복강관 사용년수: 10년 방식설비: 없음 부식상황: 관통부식 및 얇은 공식발생 	<ul style="list-style-type: none"> 측정항목: 레일 횡단부의 R/S, 노선 P/S, 토양비저항 측정결과: R/S: +15 ~ -5V, 부식지점 P/S: -400mV 	<ul style="list-style-type: none"> 방식대책: Mg 희생양극 선택이유: <ul style="list-style-type: none"> 토양의 부식성이 비교적 완만 압출에 의한 전식 위험 범위가 좁다.
선택배류법이 적용된 배관에서 5.2km 떨어진 지점에서 부식발생	<ul style="list-style-type: none"> 배관상태: 중압아스팔트피복강관 사용년수: 5년 방식설비: 선택배류법 부식상황: 케이블과 교차부에서 피복이 손상되어 있는 지점에 8mm 및 5mm 공식발생 	<ul style="list-style-type: none"> 측정결과: <ul style="list-style-type: none"> 케이블 P/S: -800mV 가스관 P/S: -300mV 간섭조사; 배류기 On, Off 변화량: <ul style="list-style-type: none"> 케이블: 1,100mV 가스관: 510mV 토양비저항: 2,500Ωcm 	<ul style="list-style-type: none"> 가능대책방법: <ul style="list-style-type: none"> 케이블과 가스관을 연결하여 공동배류 희생양극법 간섭치가 크기 때문에 공동배류법 실시

3.2.2 국내 전식사고 사례

표 3.3에 최근에 지하철 누설전류에 의한 간섭 및 타 시설물에 의한 간섭에 의해 발생한 도시가스 배관의 사고 예를 정리하였다. 매설배관사고의 원인을 분석하면 지하철 누설전류에 의한 가스배관 누출사고, 낙뢰의 순간 과전압에 의한 배관누출사고 및 타 시설물의 간섭에 의한 배관누출 등이다.

표 3.3 도시가스배관 전식사고 사례(국내)

년월	사고장소	사용처별 원인별	사고개요
95.5	서울 영등포구 여의도 지하철 5-17	본관, 공급관	사고 상기장소에 200A 배관에서 부식으로 인하여 상당할 크기의 구멍으로 가스 누출
96.3	서울 중구 충무로	본관, 공급관 시설미비	도시가스 지하매몰 중압배관의 보호관과 한전 지중선이 이격거리 없이 설치되어 보호관과 지중선의 좁측부 피복의 손상으로 전류가 보호관으로 흐르면서 보호관과 가스배관이 용융되어 중압배관에 구멍(직경 10mm)이 발생하여 가스 누출
96.4	서울 강남구 압구정동	본관, 공급관 시설미비	매몰배관에서 전기부식으로 인한 가스배관에 10mm 크기의 구멍이 뚫렸는데 그곳을 보수하지 않고 비닐장판 조각에 접착제로 임시 처리 후 매설하였다가 가스가 누출됨
96.7	서울 강서구 화곡본동	본관, 공급관 시설미비	매설되어 있는 아스팔트코팅관 200A(저압)에서 전기부식으로 인하여 배관에 약 3cm가량의 구멍이 뚫려 가스누출
98.9	서울시 영등포구 당산동	공급관 시설미비	주택에 공급되는 가스배관(PLP)의 용접부방식코팅한 부분에 전기부식으로 인한 편홀(지름2~3mm, 2개소)이 발생하여 가스누출
98.9	서울시 노원구 공릉동	공급관 시설미비	단지내 매몰배관에 전기부식으로 구멍(직경2cm)이 10여개가 발생하여 가스누출

4. 전철구간 전기부식 발생대책

4.1 레일 귀선의 저항감소

누설전류의 유출은 레일-토양회로와 레일회로사이의 저항과 관련이 있다. 귀류하는 레일의 고저항은 레일의 전압강하를 증가시켜 결국은 누설전류를 발생하게 된다. 레일의 전압강하를 감소하는 방법으로는 레일의 귀류저항을 감소하는 방법이 있는데 이러한 방법으로는 (1) 레일 또는 횡단부의 사이즈를 증가시키는 방법, (2) 적절한 레일-레일접합 방법 (3) 변전소 사이의 거리간격을 줄이는 방법 등이 있다.

4.2. 토양과의 접촉저항 증가

토양과의 접촉저항 증가는 전류의 누설을 저감하는데 아주 효과적인 방법이다. 이러한 저항을 증가시킴으로서 누설전류의 토양으로의 경로가 어렵게 되어 레일로 흐르게 된다. R/S저항을 증가시키기 위한 방법으로는 기존의 경우 ballast위에 creosote로 처리한 목침목을 사용하였으나 주기적인 유지보수가 정상적으로 이루어지지 않아 누설전류가 발생하였다. 특히 레일 고정편의 경우 토양으로의 전류누출의 원인이 되었다. 현재에는 콘크리트 침목을 이용하여 레일 절연 및 고정을 하고 있으며 고정편 또한 절연하는 방식을 택하여 토양으로의 전류누출을 방지하고 있다.

그림 4.1a에 고분자 물질로 절연한 방법을 나타내었으며 4.1b에는 고무 및 폴리에틸렌패드를 이용하여 레일 하단부의 절연 및 콘크리트 침목에는 제작단계부터 에폭시물질을 충전하여 고정편의 절연을 하고 있다. 이러한 절연패드는 누설전류 저감에 효과를 나타내고 있다.

토양으로의 누설경로의 저항을 증가시키는 방법으로는 절연상태의 유지 혹은 다이오드 접지상태의 견인시스템을 유지하여야 한다. 이러한 견인시스템은 일반적으로 접지된 상태, 절연된 상태, 다이오드 접지상태가 있는데 이들은 모두 장·단점을 가지고 있다.

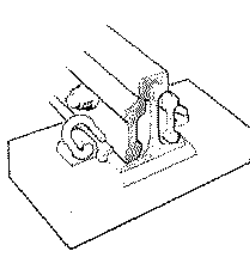


그림 4.1a 고분자 절연패드

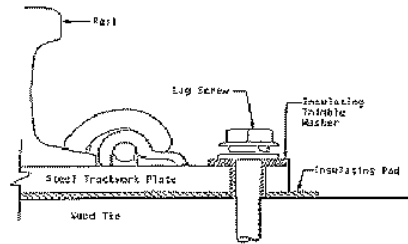
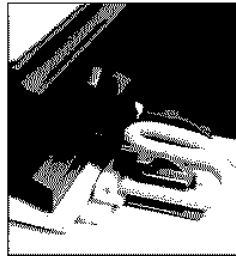


그림 4.1b 고정판 절연사계

절연된 시스템의 경우 토양과 변전소간의 접지가 이루어지지 않는 상태인데 이때 레일체결구의 절연이 중요하게 작용하게 된다. 이론적으로 이러한 방식은 누설전류의 양을 최소화할 수 있다. 단점으로는 플랫폼과 토양사이에 고전압이 걸리게 된다. 다이오드 접지방식의 경우 위의 두 가지 방식의 장점을 가지고 있으며 누설전류를 저감시키기 위하여 많이 채택되고 있다.

5. 결론

1. 철도 지하공간 내 매설배관은 시간경과에 따른 열화로 인한 자연부식 뿐만 아니라 지하철이나 상·하수도관 등의 구조물은 전기적 간섭 등의 외부요인들에 의해 부식손상을 받고 있다. 이러한 부식손상을 방지하기 위하여 내식성재질을 사용하거나 피복, 도장 및 전기방식 등의 절연을 실시하고 있다.

2. 철도시설물의 부식피해를 최소화하기위한 대책으로 (1) 누설전류 측정장비 및 기법구축 (2) 누설전류 저감지침 마련 (3) 설시간 스파이크(spike) 및 팬드롤(pandrol)부식 측정모니터링 구축 (4) 신 레일절연기술 개발 (5) 레일모니터링 관리체계구축 등을 마련하여 철도시스템에 적용하고 있는 실정이다.

3. 전기부식방지대책으로는 강제 배류기를 설치할 경우는 사전에 전철의 간섭영향이 전구간에 걸쳐 정확히 평가되어야 하며 대부분 배류기 설치구간은 전철의 간섭영향이 심각한 것으로 조사되었으며 일부는 전철의 간섭영향이 경미한 것으로 조사되었다.

4. 전철의 누설전류에 의한 간섭영향 이외에도 타 시설물의 방식시설의 증가로 인한 실제 주변시설물의 경로 및 방식시설물의 위치를 정확히 파악하여 이들 방식설비의 간섭 또한 차단할 수 있도록 하여야 한다.

참고문헌

1. R.A. Hadfield, (1925) Metallurgy and Its Influence on Modern Progress, Chapman & Hall Ltd.
2. 東京電蝕防止委員會 (1995) "신판전식방지대책핸드북, 37-93
3. Lundquist, Kurt and Farneby, Bernt, "Stray-Current Corrosion Caused by Railways" 65, 10th Scandinavian Corrosion Congress, Stockholm, Sweden, 1986
4. Orton, Michael and Parker, Robert, "BARTD Stray-Current vs PG&E Gas Operations" 145, Corrosion/80, Chicago, IL, NACE 1980