

도시철도 전식방지 기술기준에 따른 시험방법 비교분석

Comparison Analysis of Field Test Methods Based on Technical Criteria of Electrolytic Corrosion Protection in Urban Railway

김재문† 정호성*
Jae-Moon Kim Ho-Sung Jung

ABSTRACT

Recently metropolitan local governments is actively introducing urban railway's expand and light rail transit as a means of new transport system. DC electricity feeder system operating in the domestic urban railway is typically a feedback circuit consisted of the contact wire and electric railway vehicle via rail. But stray current is to be defined as a current flowing on a structure that is not part of the intended electrical circuit with respect to a given structure. Stray current is generally results from the leakage of return currents from large DC traction systems that are grounded or have a bad earth-insulated return path. At the place where the current leaves the rail and metallic structures, electrolytic corrosion may take place.

This paper presents comparison analysis of field test methods based on criteria of electrolytic corrosion protection of buried metallic structures adjacent to DC traction systems.

1. 서론

국내 도시철도의 직류 급전시스템은 차량이 운행 중에 전류가 급전선과 철도차량을 경유하여 레일을 통한 귀환 회로로 구성된다. 그러나 레일과 대지사이에서 절연이 불완전한 경우 레일을 통해 흐르는 전류의 일부가 대지로 유출하게 되며, 귀선인 레일 인근에 매설된 금속체가 존재하게 되면 대지로 유출된 누설전류(漏洩電流 ; Stray Current, 미주전류)는 매설된 금속체에 유입된다. 이 전류는 도시철도의 변전소 부근에서 전위차에 의해 다시 대지로 유출하여 레일을 통해 변전소로 되돌아온다. 이때 누설전류는 전기부식을 포함하여 여러 가지 문제를 일으킬 수 있기 때문에 이에 대한 전식방지 연구가 지속적으로 이루어지고 있다[1-6].

국내에서는 서울 메트로 2호선이 개통되면서 누설전류에 대한 인식 전환이 있었으며, 지하철 누설전류의 영향을 받는 가스배관과 상수도관 등 지하 매설 금속시설물에 대한 배류법의 적용이 확산되었다. 전식방지와 관련된 배류법에는 선택배류기와 강제배류기가 주류를 이루고 있으며, 철도 선진국에서는 전식에 따른 문제점을 해결하기 위해 누설전류를 원천적으로 감소시키거나 새로운 기술을 도입하려는 연구가 이루어지고 있다.

본 논문에서는 국내 도시철도에 적용되고 있는 전식방지시스템 현황과 시험방법을 조사하여 비교분석해 보았다. 향후 도시철도 표준화 정책수립에 반영하여 이해당사자로 하여금 시험절차에 따른 시험을 할 수 있도록 해야 한다.

† 책임저자 : 한국철도대학, 철도차량전기과, 교수
E-mail : goldmoon@krc.ac.kr
TEL : (031)070-8855-1664 FAX : (031)462-2944
* 정회원, 한국철도기술연구원, 선임연구원

2. 서론

2.1 전식 개요 및 현황

직류구간을 운행하는 국내 도시철도차량의 전차선 전압은 DC 1,500[V]를 사용하고 있으며, 정 급전선로는 가공전차선 또는 강제 전차선로를 사용하고 부 급전선로는 레일(Rail)을 귀로로 사용하고 있다. 부 급전선로로 사용하는 레일이 대지에 대한 절연이 불충분할 경우 레일에 흐르는 전류의 일부가 어떤 지점에서 지중으로 누설된다.

그림 1에서 보듯이 레일에 접근하여 금속체가 매설되어 있는 경우 누설전류는 매설된 저저항의 금속체에 유입되어 부 급전점인 변전소 부근에서 유출하여 변전소 부 급전선로로 귀환한다. 매설금속이 선로와 교차 혹은 접근하는 경우의 전식은 지중으로부터 매설 금속체에 전류가 유입되는 부분에서는 전기방식(電氣防蝕)을 받는 상태가 되어 금속체의 부식이 억제되나 레일 대지전압이 (+)인 경우가 되어 레일 일부위에서, 반대로 매설금속체로부터 지중으로 전류가 유출하는 부분에서는 양극이 되어 레일 대지전압이 (-)인 경우 금속관에서 전식이 일어나게 된다. 전식은 금속체의 한 부분에 집중하여 발생하는 것이 특징이며 단기간에 금속체에 구멍이 뚫려 사고가 발생한다. 특히 매설관의 피복장애 결함이 발생한 경우 누설전류가 고전류 밀도를 절연성 도장의 결합부에서 유출하므로 관의 국부적 부식을 급속히 촉진시킨다. 표 1은 국내 도시철도 운영기관이 전식관련 전기설비 현황을 보여준다.

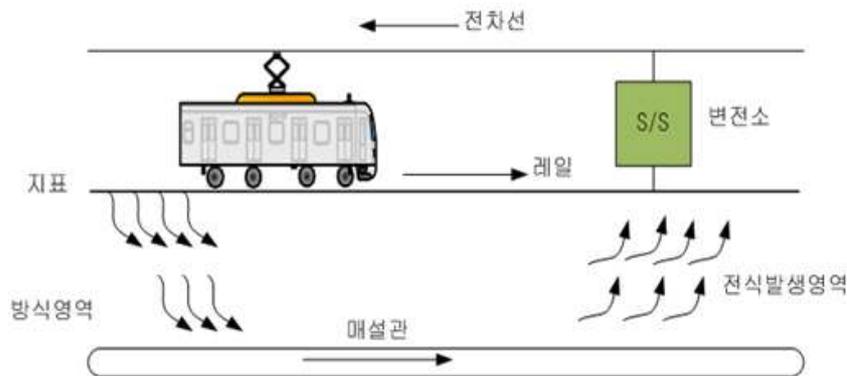


그림 1. 누설전류에 의한 매설 금속체의 전식현상

표 1. 전식현황

운영기관	구분	내용	비고
서울 메트로	운행전 설치사례	미8군 송유관 전식방지 대책으로 시설한 3호선 압구정 정거장 인근의 배류설비가 유일	
	공사에 반영된 설비	공사에 반영된 전식방지설비는 없음	
	운영 중	강제배류기 설치(1,2호선 군자차량기지,4호선 창동 차량기지)	
서울 도시철도	운행전 설치사례	도상철근, 레일절연패드, 레일 용접 및 본딩	-인천지하철 -부산교통공사 -대구,대전, 광주지하철
	공사에 반영된 설비	차량기지 선로는 입출고선에서 FRP색선으로 구분, 검수고 내에서 점검용 H 빔과 레일사이를 절연패드로 절연 구분	
	운영 중	보완된 전식관련 설비 없음	

2.2 운영기관 배류기 설치 현황

전기방식법에는 유전방극법, 외부전원법, 선택배류법, 강제배류법이 있으며, 국내 운영기관에 적용되고 있는 대부분의 배류법은 레일과 지중매설배관을 전기적으로 다이오드를 연결하고 전압 인가 없이 레일과 배관 사이의 전압차를 이용하여 선택적으로 누설전류를 귀환시키는 선택배류법이 있다. 그리고 레일과 지중매설배관 사이에 사이리스터를 이용한 직류 전원장치를 사용하여 배관으로부터 레일 방향으로 전류가 흐르도록 제어전압을 인가하여 배관으로 유입된 누설전류를 강제로 레일로 귀환시키는 강제배류법으로 구분한다. 선택배류법과 강제배류법의 개요도를 그림 2와 그림 3에 각각 나타낸다.

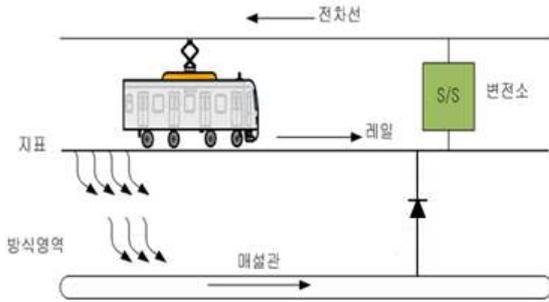


그림 2. 선택 배류법 원리

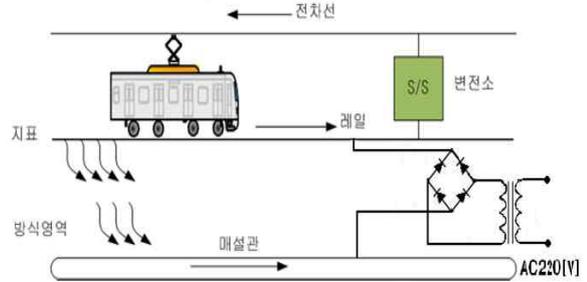


그림 3. 강제 배류법 원리

국내에서 운행 중인 도시철도의 누설전류 실태를 알아보기 위해 지하철 레일 사이에 설치된 주요 배류기의 설치 현황을 살펴보면 표 2와 같다.

표 2. 배류기 설치 현황(2003년말 기준)

구분	선택배류기	강제배류기	계	차량기지 설치
서울 1호선	2	3	5	
서울 2호선	11	28	39	군자(강제1개소)
서울 3호선	5	18	23	
서울 4호선	1	11	12	창동(강제1개소)
서울 5호선	0	14	14	방화(선택1개소)
서울 6호선	1	1	2	신내(선택1개소)
서울 7호선	1	3	4	도봉(선택1개소)
서울 8호선	0	0	0	
부산 1호선	0	7	7	
부산 2호선	0	8	8	
합계	21	93	114	

한편 배류전류가 레일과 인접한 타 시설물로 유입될 경우 그 유출지점에서 전식을 발생시킬 수 있으며, 배류전류는 레일의 전식량과 직접적인 상관관계를 갖는데 주성분인 철이 2가의 산화물 또는 이온으로 부식되는 것을 가정하면 측정된 배류전류를 적분하거나 평균전류(I_{mean})에 시간을 곱하여 페러데이 법칙에서 연간부식량(m)을 계산할 수 있다. 즉 1[A]의 전류가 1년간 흐를 경우 철은 약 9.12[kg]이 부식함을 알 수 있다.

$$\begin{aligned}
 m &= M \times \frac{Q}{nF} \\
 &= M \times \frac{I_{mean} \times 3,600 \times 24 \times 365}{nF}
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

여기서 M : 철의 원자량(=55.8), Q : 연간 전하량 [C]
n : 철의 산화에 필요한 전자수(=2), F : 패러데이 상수(= 96,485[C/mol])

서울지역 78개소와 부산지역 13개소의 배류전류와 이에 상응하는 철의 연간부식량을 분석한 결과에 따르면, 누설전류에 의한 최대 배류전류가 100[A] 이상 되는 곳이 거의 절반에 이르고 있으며 국내 배류기의 80% 이상을 차지하고 있는 강제배류기에 의한 배류전류는 선택배류에 의한 배류전류에 비해 10배 이상의 누설전류를 발생시키고 있음을 알 수 있다. 서울지역의 경우 평균 1,112[A]의 누설전류가 흐르고 있으며, 레일 전식량은 연간 10.15톤에 달한다. 실제적으로 레일보다는 레일 체결금구의 부식이 크게 가속되므로 레일 마모나 탈선의 문제도 초래할 수 있다.

2.3 전식 시험방법

국내에서 적용하고 있는 전식관련 시험방법은 전기설비 기술기준 및 판단기준에 근거하여 이루어지고 있다. 전기설비 기술기준에는 2개조의 기준으로 정하고 있으며, 이에 따른 판단기준에는 5개조에 기준을 정하고 있다. 이러한 전기설비 기술기준 및 판단기준의 근거는 일본 및 EU를 비롯한 국제규격을 바탕으로 정하고 있다.

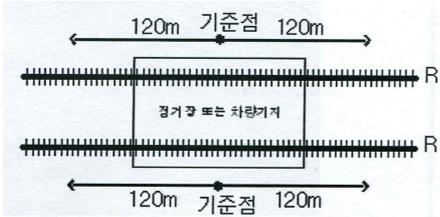
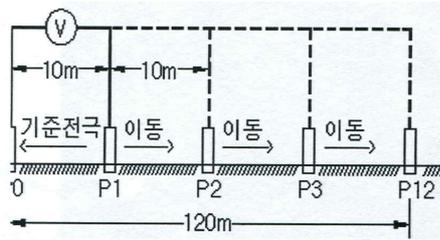
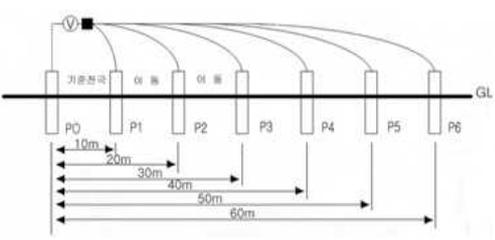
2.3.1 전식방지를 위한 사전조사

전식방지를 위한 사전조사로는 지전위 측정, 대지의 고유저항 조사, 토양의 산성도 조사, 선로인근 지하매설물의 관 대지전위 측정 등을 들 수 있다.

가) 지전위 측정

지전위 전위차에 의한 Macro Cell 전위에 의하여 미주전류(Stray Current)가 발생할 수 있으며, 휴대용 고저항(내부저항 1MΩ 이상)이 높은 전압계를 이용하여 두 전극간의 전류를 측정한다. 기준전극은 포화 황산동을 사용한다. 표 3에서 보듯이 서울메트로 9호선인 경우 차량기지인 경우 중심부위를 중심으로 좌우를 측정하고 10m 간격으로 120m까지 측정하고 있는 반면, 비교대상인 타 운영기관은 변전소 중심부위를 기준으로 좌우 60m씩 120m까지 측정하고 있음을 알 수 있다.

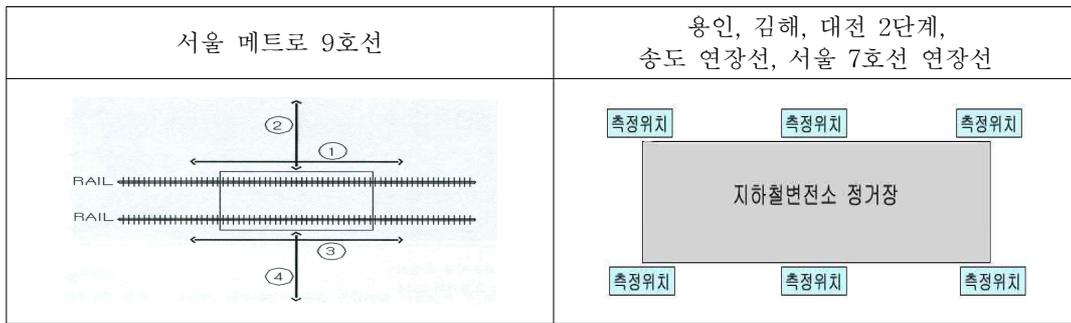
표 3. 지전위 측정

	서울 메트로 9호선	용인, 김해, 대전, 송도, 서울 7호선 연장선
시험 위치		
측정 방법		

나) 대지의 고유저항 측정

토양의 비저항은 토양의 전류가 통하기 쉬운 성격의 지표로서 Marco cell 부식과 밀접한 관계가 있다. 대지 고유저항율이 낮은 지역일수록 누설 전류가 많으며, Wenner four pin method에 따라 측정 1개소당 9회(3,6,8,10,12,20,30,40,50m)를 측정하는 등 표 4에서 보듯이 현장상황에 따라 측정방향을 달리하고 있으며 측정위치도 서로 다르게 측정되고 있음을 알 수 있다.

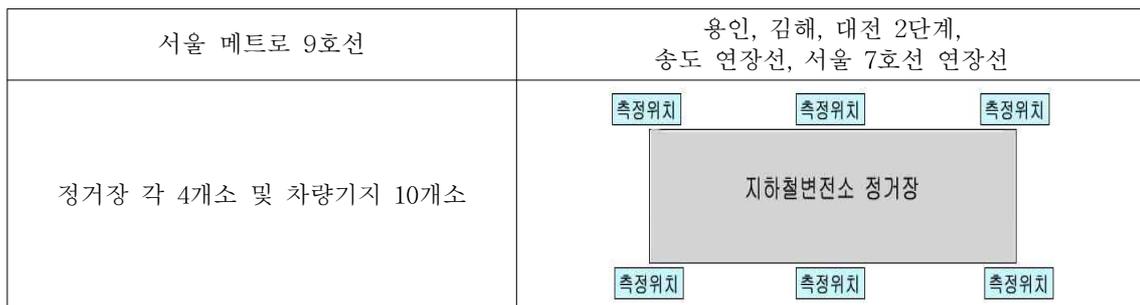
표 4. 대지 고유저항 측정



다) 토양의 산성도 측정

산성이 강한 토양(pH 4 이하)은 매설관에 심한 부식을 일으킨다. 일반적으로 산성의 지층은 적고 대부분 pH 5~pH 8의 범위 내에 있기 때문에 pH값이 직접 부식에 영향을 미치는 경우는 드물다. 그러나 전식영향이 우려되는 지역에서 일반적인 부식성을 살펴보기 위해 토양의 산성도를 측정하게 된다. pH meter 측정계기를 사용하여 1개소당 1회씩 측정하는데, 표 5에서 보듯이 측정개소를 임의로 정한 후 현장상황에 따라 이루어지고 있음을 알 수 있다.

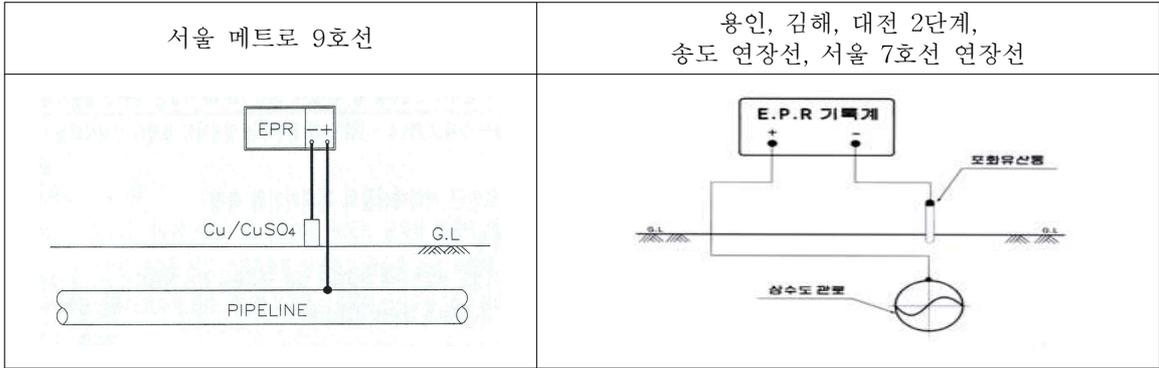
표 5. 토양 산성도 측정



라) 관 대지전위 측정

철도 선로부근에 매설되어 있는 금속체의 부식 상태 여부를 확인하고자 측정하는 것으로 변전소 부지로부터 300m이내 측정대상 관로의 Test Box 및 Valve를 기준으로 측정하고 있으며, 측정간격은 30m로 하고 있다. 변전소 주변에 매설금속체(전식영향을 받을 수 있는 가스공사관로, 도시가스관로, 송유관로, 상하수도 관로 등)와 기준전극 사이에 고저항 고감도 기록계(EPR)와 표준전극(포화황산동전극)을 설치하고 자동으로 연속 기록한다.

표 6. 관 대지전위 측정



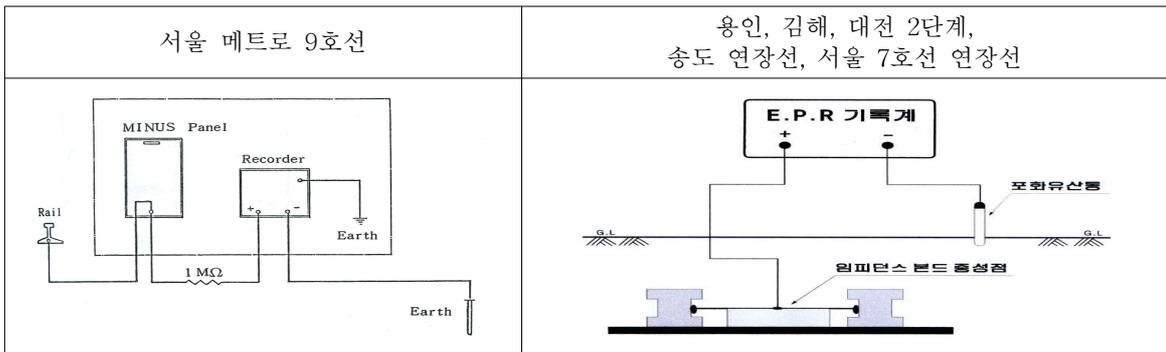
2.3.2 도시철도 운행 중 전식조사

레일로부터의 누설전류를 알아내는 것이 중요하나 실제로 부하에 대한 누설전류를 직접 측정하는 것이 매우 어렵다. 따라서 레일의 대지전압과 대지 누설저항 및 레일저항 등을 구하여 누설전류를 산정하게 된다. 즉 레일 대지전위(Rail to Soil Potential) 측정, 레일전류 측정, 레일 누설저항 측정, 레일본드(Rail Bond) 저항 측정을 통해 누설전류를 계산한다.

가) 레일 대지전위 측정

레일의 대지전위를 측정하여 레일로부터 대지로 향하는 누설전류의 유출 및 유입가능성을 조사하는 것으로 표 7과 같다. 레일전압은 전동차의 운전특성에 따라 지속적으로 변동하므로 연속측정을 통해 평균전압으로 환산하고 있다. 그러나 표 7에서 보듯이 측정방법이 서로 다르고 전기설비기술기준에도 현장상황을 고려하지 않고 있음을 확인할 수 있었다.

표 7. 레일 대지전위 측정



나) 레일 전류 측정

그림 4와 같이 변전소와 변전소 사이 역 구내 레일에 전류센서를 레일 하부에 설치하여 레일에 흐르는 전류를 직접특정하거나, 식 (2)와 같이 레일의 전압강하, 레일저항값을 통해 환산하여 계산된다.

$$I = \frac{U}{r \times l} [A] \tag{2}$$

여기서, I : 레일 전류[A], U : 레일 전압강하[V], r : 레일 저항, (레일길이): 8[m]

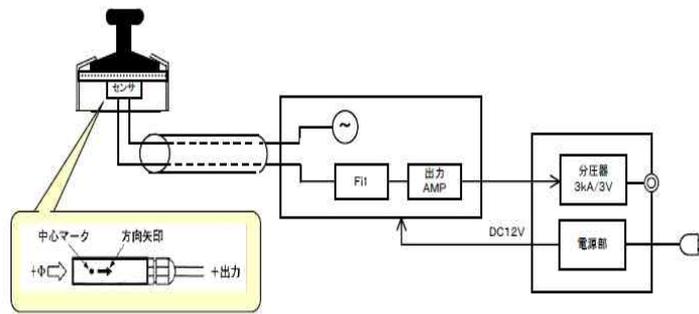


그림 4. 레일 전류 측정

다) 레일 누설저항 측정

레일의 전압측정과 더불어 레일로부터의 누설전류를 조사하기 위한 목적으로 신호용 임피던스 본드로 절연구분되어 있는 한 개의 궤도회로에 계기를 설치하여 전압, 전류값을 구하여 누설저항을 구한다.

라) 레일 본드저항 측정

레일의 전압이 크면 같은 부하전류에 대해 높은 전압강하를 나타내므로 레일의 저항을 가급적 최소화할 필요가 있다. 따라서 측정하고자 하는 본드(Bond)가 포함된 레일에 직류를 인가하여 접속개소에서 발생하는 전압강하를 측정하여 본드 저항값을 구한다.

3. 결 론

본 논문에서는 직류 급전을 사용하고 있는 국내 도시철도에서의 전식방지를 위한 시험방법을 살펴본다. 전식측정과 관련하여 현장상황에 따라 달라지고 있음을 확인하였으며, 측정방법도 자의적 해석을 통해 이루어지고 있음을 알 수 있었다. 따라서 본 논문을 통해 시험방법의 문제점을 도출하고 현장상황을 고려한 시험방법 및 시험절차서의 표준(안)을 제시할 필요가 있다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 도시철도표준화2단계연구개발사업의 연구비지원(07도시철도표준화A01)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 김재문 외 3인, “국내 도시철도에서의 전식방지를 위한 시험사례 연구”, 대한전기학회 춘계학술대회, pp.20-30, 2010.
2. 이현구 외 3인, “도시철도 전식방지를 위한 기술기준에 관한 연구”, 도시철도표준화2단계 연구개발사업, 2009.4
3. 한국철도기술연구원, “국내 도시철도 접지 및 전식방지 시스템 분석연구”, 도시철도표준화2단계 연구개발사업, 2008.7
4. 하연호, “전식방지 조사, 설계”, 사조기술단, 2008.11
5. 김양수, “전기설비기술기준 및 판단기준의 전기부식관련 근거조사보고서”, 2007.12
6. Szeliga, M.J., "Stray Current Corrosion - The Past, Present, and Future of Rail Transit Systems", NACE International, 1994.