



지하매설 금속구조물의 전식방지 국내 현황

이현구 · 하태현 · 최정희 · 정호성 · 배정효

한국전기연구원 전력시스템연구본부, *한국철도기술연구원 집전전력연구실
(2009년 1월 16일 접수, 2009년 3월 20일 수정, 2009년 3월 20일 채택)

Domestic Conditions on the Electrolytic Corrosion Protection of Buried Metallic Structures

Hyun Goo Lee · Tae Hyun Ha · Jeong Hee Choi · Ho Sung Jung · Jeong Hyo Bae

Electric Power System Research Laboratory, KERI

28-1, Seongju-dong, Changwon-si, Gyeongsangnam-do, South Korea

**Electrical Railway Research Department, KRRI*

360-1, Woram-dong, Uiwang-si, Gyeonggi-do, South Korea

(Received 16. January. 2009, Revised 20. March. 2009, Accepted 20. March. 2009)

요 약

누설전류는 의도된 회로 이외의 경로로 흐르는 전류를 말하며, 일반적으로 도시철도의 급전 시스템은 레일을 부극선으로 사용하기 때문에 레일이 대지와 완벽하게 절연되어 있지 않다면 레일을 통해 흐르는 전류의 일부는 누설전류로 땅속을 흐르게 된다. 이때 토양을 통해 누설 전류가 유출되는 레일과 지하매설 금속구조물에서 전식이 발생하게 된다.

본 논문에서는 국내 도시철도 운행지역 인근 지하매설 금속구조물의 전식방지 현황을 설문 조사를 통하여 조사하였다.

Abstract - With respect to a given structure, a stray current is to be defined as a current flowing on a structure that is not part of the intended electrical circuit. Most often DC-powered traction systems like railroads and tramlines are responsible for large dynamic stray currents. This type of 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 investigates the domestic conditions on the electrolytic corrosion protection of buried metallic structures adjacent to DC traction systems by survey.

Key words : stray current, electrolytic corrosion, protection, traction, pipeline

1. 서 론

최근 대도시를 중심으로 교통 혼잡 및 환경오염 등을 해소하기 위한 신교통수단으로 도시철도와 경량전철을 적극적으로 증설하고 있다[1]. 미국에서는 매년 부식에 따른 영향으로 약 100억 달러를

사용하고 있다. 그 중에서 직류 전철에서 누설되는 전류에 의한 부식비용은 약 5%인 5억 달러 정도일 것으로 추정하고 있다[2]. 일반적으로 도시철도의 급전시스템은 레일을 부극선으로 사용하기 때문에 레일이 대지와 완벽하게 절연되어 있지 않다면 누설전류가 발생하게 된다[3].

토양을 통해 유출되는 누설전류는 레일과 인근 지하매설 금속구조물에 전식을 발생시킬 수 있으

*주저자: leehg@keri.re.kr

며, 이와 관련한 간섭 문제가 20세기 중반부터 심각하게 대두되면서 전진국에서는 다양한 대책들이 제시되었다[4].

국내의 경우 도시철도와 인접한 구간에 매설된 가스배관 등의 누설전류에 의한 전식대책은 1980년대 초반 서울지하철 2호선이 개통된 후부터 현재까지 대부분 강제배류법에 의존하고 있다. 강제배류법이란 레일과 지중매설 배관 사이에 직류 전압을 인가하여 배관으로 유입된 누설전류를 레일로 귀환시키는 방법이다. 그러나 강제배류법은 전철 신호회로의 교란, 레일전압의 상승 및 레일의 전식, 비접지식 레일의 절연열화, 인접한 타 시설 물로의 간섭범위 확대, 과방식 등 여러 가지 문제를 안고 있다. 따라서 배류법의 운영현황과 배류전류를 측정, 분석하여 누설전류 간섭 실태를 정량적으로 해석한 바도 있다[5].

본 논문에서는 도시철도의 누설전류와 전식의 개요에 대하여 정리하였으며, 국내 도시철도 운행 지역 인근 지하매설 금속구조물의 전식방지 현황을 설문조사를 통하여 조사함으로써, 향후 적절한 전식방지 대책 수립에 활용하고자 한다.

II. 도시철도의 누설전류와 전식

2.1 도시철도의 누설전류

누설전류(Stray Current)란 의도된 회로 이외의 경로로 흐르는 전류를 말한다. 레일은 변전소에서 부극에 접속하므로 레일의 전위는 변전소 부근에서는 무한원점의 대지전위를 기준으로 음의 값이고, 변전소에서 멀어짐에 따라서 점점 올라간다. 레일의 전위가 높은 부분은 레일에서 대지로 누설전류가 유출하는 범위이고, 레일의 전위가 낮은 부분은 대지에서 레일로 누설전류가 유입하는 범위이다. 레일의 저항과 궤도의 구조가 균일하다면 레일에서 전류가 유출되는 부분과 레일로 유입하는 부분과는 거의 같으며, 그 중간에 레일과 대지가 동전위인 점 즉, 중성점이 있다. 중성점에서 변전소 측은 매설 금속구조물에서 레일로 향하여 전류가 유출하는 범위이므로 전식 위험 구역이다. 레일을 정, 전차선을 부로 하면 누설전류가 레일에



Fig. 1. Current path of electric railway.

유입하는 부분이 전차의 이동과 함께 변하고, 대부분 선 전체가 전식 위험구역으로 되어 버린다. 그래서 전기설비 기술기준에는 레일을 부로 하도록 정하고 있다[6].

전기설비기술기준 판단기준 제264조 [전기부식방지를 위한 귀선용 레일의 시설 등] 규정에서는 귀선의 궤도 근접 부분이 금속제 지중 관로와 1km 이내에 접근하는 경우에 금속제 지중 관로에 대한 전식 작용에 의한 장해를 방지하기 위하여 누설전류를 줄이기 위한 레일 시설방법이 기술되어 있다[7].

도시철도 시스템의 전류경로는 Fig. 1과 같다. 여기서 레일을 통해 변전소로 흐르지 않고 토양으로 유출되는 전류가 누설전류이며, 이때 토양을 통해 전류가 유출되는 레일과 지하매설 금속구조물에서 전식(Electrolytic Corrosion)이 발생하게 된다[8].

2.2 전식

레일은 대지에 대해 어느 정도의 접지저항을 갖지만 완벽하게 절연되어 있지 않다. 따라서 레일을 흐르는 전류의 일부는 대지에 누설되어 지중에 매설되어 있는 수도관, 가스관 등에 유입하여 변전소 부근에서 다시 대지에 유출되어 레일로 돌아온다. 매설 금속에서 전류가 유출하는 곳에서는 발생기의 산소가 생겨 이것이 금속을 산화해, 납의 경우에는 과산화납(PbO_2), 철의 경우에는 산화제2철(Fe_2O_3)이 된다. 또 매설 금속구조물의 표면의 물리적 및 화학적 불균일 때문에 국부 전지가 작용하여 부식을 발생시키는 경우가 있다. 이런 부식은 전식이라고는 말하지 않지만, 이러한 경우는 산화납(PbO), 사삼산화철(Fe_3O_4) 등의 산화물로 안정하게 된다. 따라서 전식에 의한 생성물은 일반적으로 높은 산화수의 산화물이다. 납의 부식생성물이 PbO_2 인지 PbO 인지를 판별하는 데는 벤젠 시약이 사용되고 있다[6].

도시철도 전식발생 개요도는 Fig. 2와 같다. 레일을 통해 대지로 누설된 전류가 인근에 매설된 금속 배관에 유입되었다가 변전소 인근에서 유출되는 데 이 지점에서 전식이 발생하게 된다[9].

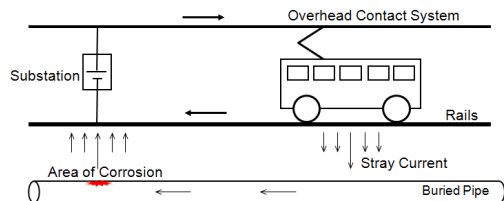


Fig. 2. Mechanism of electrolytic corrosion.

2.3 전식에 대한 대책

도시철도 운행에 따른 누설전류에 의해 도시철도 구조물 및 인근 지하매설 금속구조물에 전식이 발생할 수 있으므로 다양한 전식방지 대책이 적용되고 있다. 도시철도 누설전류에 의한 전식 대책은 도시철도 운행 전 대책과 운행 중 대책으로 크게 나눌 수 있으며 이를 정리하면 Table 1과 같다[10,11].

도시철도에서 발생하는 누설전류를 최소화하기 위한 방안이 주요 대책으로 제시되고 있으며, 누설전류가 인근 지하매설 금속구조물에 영향을 미칠 경우에는 희생양극법, 외부전원법 그리고 배류법 등의 전기방식법을 적용하도록 하고 있다[12]. 전기방식(Cathodic Protection)은 금속구조물의 표면에 직류전류를 유입시켜 양극반응을 억제함으로써 부식을 방지하는 것으로 금속구조물을 음극화시키기 때문에 음극방식이라고도 한다.

Table 1. Electrolytic corrosion protection of traction system.

전식방지 대책	비 고
• 변전소간 거리 단축	기본계획시 수전점, 정거장위치, 계통을 연계 하여 결정
• 누설저항 증대 -레일 체결장치의 절연패드 사용 -침목의 저항 증가 -도상 상태 청결 유지 -터널 배수시설 강화	궤도설계, 시공 시 반영
• 레일 저항의 저감 -레일 용접 및 본드 상태 양호 -보조귀선/크로스본드 설치	궤도설계, 시공 시 반영
• 직류계통 기기 비접지 (직류기기 절연판 위 설치)	기기 시방 및 공사 시방에 반영
• 전식방지를 위한 사전조사	지하매설물에 대한 전식 영향조사
• 도상철근 설치 및 접지선 배선	궤도설계, 시공 시 반영
• 누설저항 계수조사	지하철 운행 중 조사 후 대책
• 전기방식법 -희생양극법 -외부전원법 -배류법	배류기 설치는 누설전류 영향에 따라 시행 여부 결정

III. 지하 금속구조물의 전식방지 현황

도시철도 운행지역 인근 지하매설 금속구조물의 전식방지 현황을 파악하기 위하여 현재 국내에서 도시철도가 운행 중인 서울, 경기, 인천, 대전, 대구, 부산 및 광주지역의 가스관, 상수관, 송유관 운영기관을 대상으로 설문조사를 실시하였다. 여기서 총 17개 기관이 설문조사에 참여해 주었다.

3.1 조사대상 시설현황 및 개요

설문조사에 참여한 지하매설 금속구조물의 종류는 Fig. 3과 같다. 가스관을 유지관리하는 기관에서는 도시가스안전관리기준을 준수하기 위한 전담부서를 운영하고 있기 때문에 많은 관심과 높은 참여율을 보였으며, 지방자치단체 상수도사업본부에서는 현재까지 체계적인 관련 조직이 구성되어 있지 않은 관계로 서울지역만 응답하였다.

도시철도가 운행되는 지역에서 지하매설 금속구조물을 운영하고 있는 17개 응답기관 모두 도시철도 누설전류의 영향을 직간접적으로 받고 있다고 응답하였다.

지하매설 금속구조물이 도시철도 누설전류의 영향을 받고 있다면 가장 많이 영향을 받는 구간을 묻는 질문에는 Fig. 4와 같이 약 70%의 기관에서 차량기지 인근에서 가장 많은 영향을 받고 있다고 응답했다.

전식대책 수립과 관련하여 도시철도 운영기관에서 협조 받고 있는 사항과 협조가 요구되는 사항을 조사한 결과는 Fig. 5와 같다. 대부분의 기관이 도시철도 운영기관으로부터 배류기 설치장소를 지원받고 있었다. 그리고 도시철도 운영기관에서 협조가 요구되는 사항으로는 주로 누설전류 영향 조사를 선택한 기관이 많았으며, 일부 기관에서는 배류기 운영지원을 요구하였다.

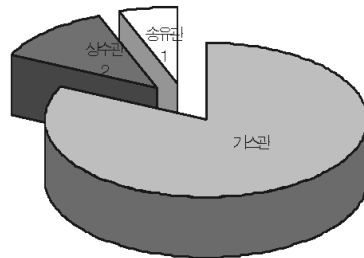


Fig. 3. Surveyed buried metallic structures.

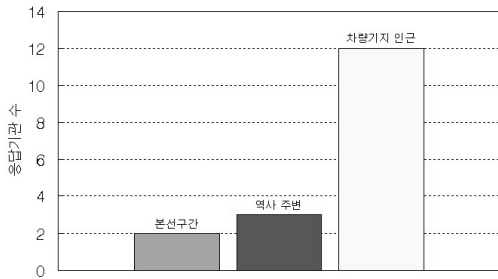


Fig. 4. Most effected site of stray currents caused by traction systems.

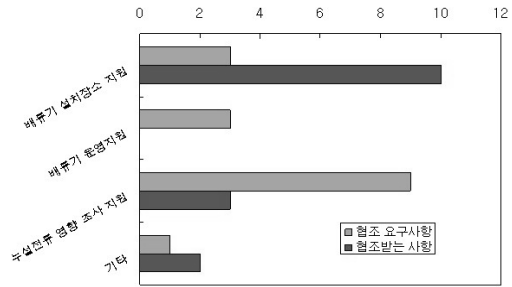


Fig. 5. Cooperated and recommended items from traction company.

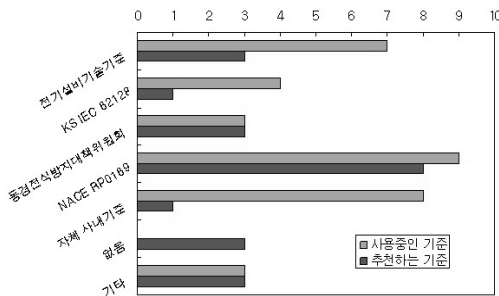


Fig. 6. Being used and recommend standards for electrolytic corrosion protection.

3.2 전식대책 적용기준과 전식대책법

지하매설 금속구조물 운영기관에서 사용하고 있는 전식대책 적용기준과 추천하는 전식대책 적용기준을 조사한 결과는 Fig. 6과 같다. 현재 사용하고 있는 전식대책 기준은 전기설비기술기준과 미국 부식기술자협회(NACE)의 RP 0169라고 응답한 기관이 많았으며 각각의 기준을 자체 사내기준으로 정리하여 활용하고 있는 기관이 절반에 가까웠다. 가장 많은 추천을 받은 전식대책 기준은 NACE의 RP0169이었다[13]. 기타 의견으로 ASTM G 165을 반영한 레일절연 점검[14] 그리고 국내 현실과 현장상황에 맞는 새로운 기준을 요구하는 기관들도 있었다.

국가 차원의 전식방지를 위한 기술기준 제정이 필요한가? 라는 질문에 대해서는 약 88%의 기관에서 “그렇다”고 답했다.

현재 사용하고 있는 지하매설 금속구조물의 전식대책 방법에 대해서는 Fig. 7과 같이 대부분의 기관에서 2종류 이상의 전식대책법을 사용하고 있었으며, 한 종류의 전식대책법을 사용하고 있다고 응답

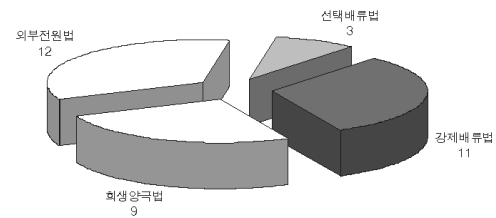


Fig. 7. Method of Electrolytic corrosion protection.

한 기관은 6개 기관이었다.

현재 사용하고 있는 전식대책 기준과 전식대책법에 대한 만족도를 조사한 결과는 Fig. 8과 같다. 도시철도 전식관련 설비의 점검과 기술기준이 마련되어 있지 않기 때문에 전식대책 적용기준에 대한 만족도는 매우 낮은 반면에 전식대책법에 대한 만족도는 보통이라고 응답한 기관이 많았다.

배류법 운영 현황 조사결과를 요약하면 Fig. 9와 같다. 응답한 기관 중에서 배류기를 운영하지 않는 기관은 총 5개 기관이었으며, 배류기를 운영 중인 12개 기관에 대하여 선택배류기와 강제배류기로 나누어 정리하였다. 현재 운영 중인 선택배류기는 20대이며, 강제배류기는 110대로 총 130대의 배류기가 운영 중이었다. 서울, 부산 및 대구지역 중심지에 매설된 배관을 유지관리하는 기관에서 강제배류기를 많이 사용하고 있었으며, 한국가스공사 서울지사의 경우 선택배류기의 활용 비중이 높은 것으로 나타났다. 그리고 인천, 대전 및 광주 지역은 타 지역보다 도시철도 운행거리가 짧고 최근에 건설되었기 때문에 누설전류의 영향이 심하지 않았으며, 현재까지 강제배류기가 설치되지 않은 것으로 조사되었다.

참고문헌

- [1] 이재영, “직류전기철도시스템에서의 누설전류에 의한 전식방지에 대한 연구”, 2005년도 한국철도학회 추계학술대회 논문집, pp. 112~117, (2005)
- [2] “*Electrolytic Corrosion in DC Powered Transit Systems*”, IIT Research Institute, Chicago, IL, 8 Reports Prepared for the National Cooperative Transit Research and Development Program Project 48-1, TRB, National Research Council, Washington DC, 1985~1987, (1987)
- [3] Steve Case, “DC Traction Stray Current Control - So What’s the Problem?”, *The Institution of Electrical Engineers*, (1999)
- [4] M. J. Szeliga, “Stray Current Corrosion - The Past, Present, and Future of Rail Transit Systems”, *NACE International*, (1994)
- [5] 하운철, 배정효, 하태현, 이현구, 김대경, “매설배관과 직류전기철도의 표유전류 간섭분석”, 한국가스학회지 제10권 제3호, (2006)
- [6] 표준전기공학강좌 17, 개정 전기철도
- [7] 전기설비기술기준, 산업자원부 공고 제 2007-10호, 개정 2007.1.17,(2007)
- [8] 이현구, 하운철, 하태현, 최정희, 김대경, 배정효, “귀선자동개폐장치를 이용한 차량기지 전식방지법”, 2007년도 대한전기학회 EMECS 추계학술대회, (2007)
- [9] S. Case, “DC Traction Stray Current Control”, *IEE*, Savoy Place, London WC2R 0BL, UK, (1999)
- [10] 서울특별시 도시철도 9호선 1단계구간(상부부분) 민간투자사업 실시설계 전기부식 방지 분야 보고서, 서울시메트로9호선주식회사, (2006)
- [11] 직류전기철도에 의한 전식조사 보고서, 서울특별시 지하철공사, (1987)
- [12] IEC 62128-2, *Railway applications - Fixed installations - Part 2: Protective provisions against the effects of stray currents caused by d.c. traction systems*, (2003)
- [13] NACE Standard RP0169-2002, *Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems*, NACE International, (2002)
- [14] ASTM G 165, *Standard Practice for Determining Rail-to-Earth Resistance*, (2005)