

직류전기철도 전식대책 실증실험(1)
누설전류 배류시스템

하윤철, 배정호, 하태현, 이현구, 김대경, 최정희
한국전기연구원

Field Test of Mitigation Methods for Stray Currents from DC Electric Railroad(1)
Stray Current Drainage System

Yoon-Cheol Ha, Jeong-Hyo Bae, Tae-Hyun Ha, Hyun-Goo Lee, Dae-Kyeong Kim, Jeong-Hee Choi
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract - With the wide spread of direct current (DC) electric railroads in Korea, the stray currents or leakage currents from negative return rails become a pending problem to the safety of nearby underground infrastructures. The most widely used mitigation method for this interference is the stray current drainage method, which connects the underground metallic structures to the rails with diodes (polarized drainage) or thyristor (forced drainage). Although this method inherently possesses some drawbacks, its cost effectiveness and efficiency to protect the interfered structures has been the main reason for the wide adoption. In this paper, we show the field test results for the application of stray current drainage system to a city gas pipeline paralleling a depot area of a metropolitan rapid transit system. The process for optimal positioning is briefly illustrated. The effectiveness of constant voltage, constant current, and constant potential drainage schemes was also described.

1. 서 론

도시철도, 경전철 등 직류로 구동되는 철도교통시스템의 증가와 이에 따른 인근 지중 기간시설물의 전식(electrolytic corrosion) 문제가 국외에서는 사례를 찾을 수 없을 정도로 심각한 현안이 되어 있다. 미국과 캐나다[1-3], 일본[4], 유럽[5-6], 호주[7-9] 등 대부분의 선진국에서는 이러한 전식문제의 해결을 위한 수십 년간의 연구와 실증을 통해 표준화된 규격과 규정을 제정하고 지자체 단위로 철도, 전기, 가스, 석유, 상수도, 통신 등 유관기관 전체를 아우르는 전식위원회(electrolysis committee)를 운영함으로써 전식 문제가 더 이상 이슈화되지 않고 있는 반면, 국내의 경우 관련 규정의 부재와 유관기관의 인식 부족으로 이러한 문제가 해결되지 못해 왔다.

최근, 철도용 고정설비에 있어서의 누설전류(stray current, 또는 표유전류) 예방규정에 대한 국제규격인 IEC 62128-2가 한국산업규격으로 번역, KS C IEC62128-2가 제정되고[10], 한국전기연구원을 중심으로 국내 전식 환경에 대한 다년간의 실태조사[110-13], 국내 실정에 맞는 전식 대책 설계[14], 해외사례연구[15-16], 실증실험, 인력양성 등의 노력에 힘입어 전식문제에 대한 유관기관의 인식이 확대되어 왔으며, 아울러 건설교통부의 도시철도 표준화 2단계 사업에 전식 설비에 대한 일부 내용이 포함되는 등 전식문제 해결을 위한 제도적 토대가 만들어지고 있다.

그러나, IEC와 같은 국제 또는 외국의 규격을 옮겨오는 것만으로는 국내 전식환경을 크게 개선하기는 어렵다. 직류 전기철도 설비에 의한 누설전류의 발생 메커니

즘과 그 크기를 결정하는 인자에 대해서도 이미 잘 알려져 있으며[16] 이를 줄일 수 있는 예방적 차원의 대책[10] 또한 잘 명시되어 있으나 이러한 대책 중 대부분은 전기철도의 건설 이전에 이미 고려되어야 하며, 철도의 운영 중에 추가로 시공하거나 교체하는 것은 막대한 비용을 발생시키므로 현실적인 적용이 어려운 실정이다. 따라서 기존 시스템을 크게 변경하지 않고 현실적으로 적용할 수 있는 대책 수립이 필수적이라 할 수 있다.

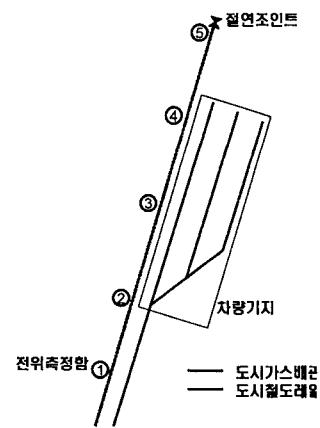
본 논문에서는 국내 가장 심각한 누설전류 유출입 지역인 도시철도 차량기지 인근의 도시가스 배관을 대상으로 누설전류 배류시스템을 설계, 적용하고 실증실험을 통해 그 효과를 분석하였다.

2. 본 론

2.1 누설전류 배류시스템 위치 선정

도시철도 차량기지 주변에서 누설전류의 유출입을 차단하기 위한 가장 근본적인 해결책은 도시철도 설비의 누설전류 발생원인을 파악하고 누설을 차단하는 것뿐만 아니라, 이에 대한 노력이 단기간에 이루어질 문제가 아니므로 간접을 받는 지하 매설배관 주체의 입장에서 외부로부터 유출입되는 누설전류의 영향을 최소화하기 위한 조치가 필요하다. 이러한 목적으로 가장 많이 사용되는 방법이 잘 알려진 것처럼 배류기를 사용하는 방법으로서 누설전류를 강제적으로 도선을 통해 레일로 다시 회귀시키는 방법이다.

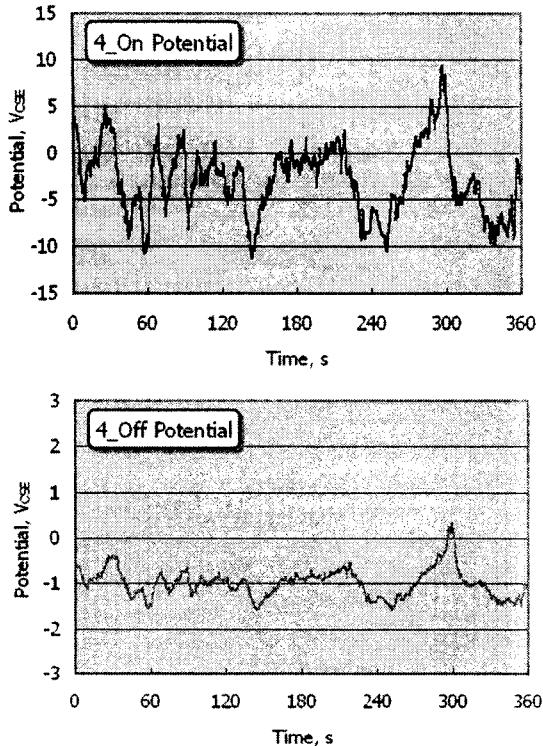
그림 1은 차량기지와 매설배관의 배치도를 나타낸다.



[그림 1] 차량기지 및 매설배관 배치도

각 전위측정함 간 거리는 약 400미터이며 배류시스템 설치 전의 "4"지점에서의 배관의 측정전위(on potential)

와 분극전위(off potential) 변화를 그림 2에 나타내었다. NACE에서는 배관의 부식방지를 위하여 분극전위가 $-0.85V_{CSE}$ 이하로 유지토록 규정하고 있는데[3], 도시철도 누설전류의 영향으로 이 기준을 만족시키지 못하고 있음을 알 수 있다.

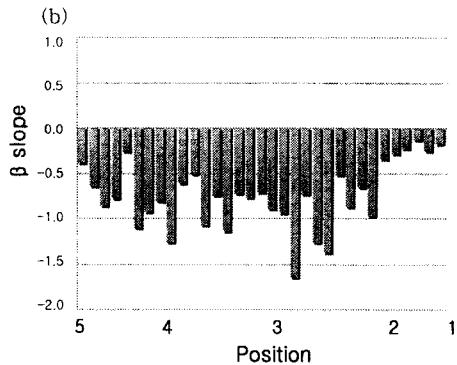
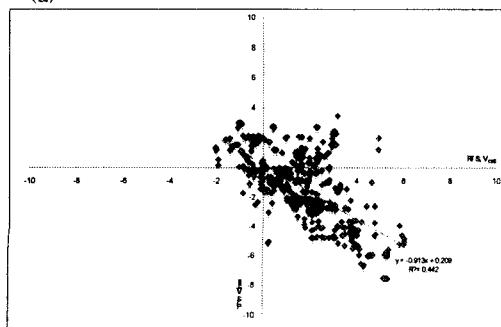


[그림 2] 누설전류에 의한 측정전위 및 분극전위 변화

이러한 누설전류 간섭을 완화하기 위해 배류시스템을 설치하고자 할 때에는 누설전류의 영향을 가장 많이 받는 위치를 찾아서, 그 위치에 배류기를 설치하고 배관에서 레일방향으로 전류가 흐를 수 있도록 배류선을 연결한다. 이 위치를 찾기 위해서는 배관의 길이방향을 따라서 R/P(레일-배관 전위)와 P/S(배관-대지 전위)를 동시에 측정하여 직선식을 구하고 그 기울기를 구하면 이 기울기가 가장 큰 지점이 누설전류 최대 노출지점이 된다[17]. 그림 3(a)은 “4”지점에서의 기울기를 구한 것이며 그림 3(b)는 배관을 따라 측정한 모든 지점에서의 기울기를 도시한 것이다.

그림에서 보는 바와 같이 차량기지의 넓은 영역에 걸쳐 누설전류의 유출입이 발생하고 있음을 알 수 있고 “3”지점과 “4”지점에 복수로 배류기를 설치하는 것이 효과적인 것으로 나타났다.

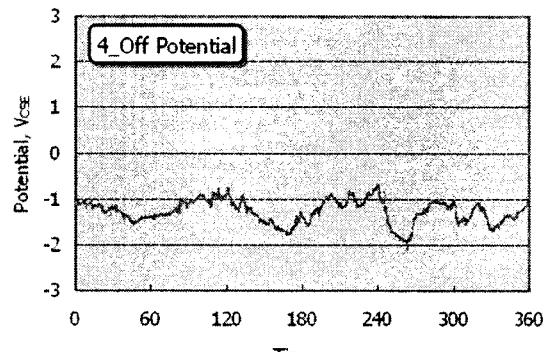
(a)



[그림 3] 베타-도표와 배류시스템 위치선정

2.2 배류시스템 실증실험

“4”지점에 단독으로 강제배류기를 설치하고 R/P전압을 25V로 설정한 경우의 분극전위 양상을 그림 4에 나타내었다. 배류시스템을 적용하기 전에 비해 전위가 (-)방향으로 이동했음을 알 수 있다. 그러나 순간 최대 배류전류가 45A까지 훌렸음에도 불구하고 배류기 설치 위치에서 조차 분극전위의 최대값을 $-0.85V_{CSE}$ 이하로 맞추지 못하고 있다. 이러한 현상은 배관에서 레일로 누설전류가 유출되는 경우, 즉 배관의 대지전위가 상승하는 속도에 의해 배류기의 제어 속도가 늦어 충분히 전류를 흘려주지 못하기 때문에 발생할 수 있다.



[그림 4] 단독 강제 배류시스템 작동시 분극전위

이러한 문제점을 해결하기 위하여 “3”과 “4” 지점에 배류기를 복수로 설치하여 정전압 강제배류(25V 및 20V), 정전류 강제배류(각각 20A)와 정전위 강제배류(각각 $-5V_{CSE}$) 실험을 실시하였다. 각 실험에 따른 방식효율을 표 1에 정리하였다. 실제로는 분극전위를 기준으로 $-0.85V_{CSE}$ 이하로 유지되는 비율을 계산하여야 하나, 분극전위를 측정할 수 없는 지점이 있어 통상적인 측정전위를 기준으로 계산하였다.

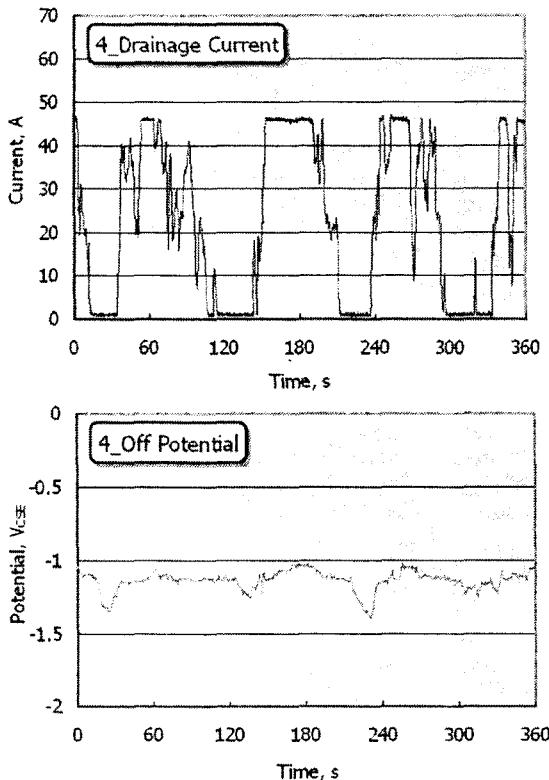
[표 1] 배류시스템 적용에 따른 방식효율

위치	1	2	3	4	5
배류기미운용	91.3	37.4	76.7	72.8	95.1
정전압배류	100	60.9	98.4	96.8	100
정전류배류	100	80.6	97.2	94.7	99.3
정전위배류	100	82.3	100	99.5	100

“2”지점에서의 전위가 충분히 방식기준을 만족시키지는 못하지만, 누설전류 배류시스템의 적절한 위치선정과 출력방식 조절을 통해 직류전기철도에 의한 누설전류 간

설을 크게 완화시킬 수 있음을 알 수 있다.

그림 5는 배류시스템 중 방식효율이 가장 높은 정전위 강제배류 실험에서의 “4” 지점에 대한 본국전위와 배류전류를 나타낸다. 기기보호를 위한 전류 제한치까지 배류전류가 증가하는 경우가 많고 이때에는 본국전위가 상승하는 양상을 나타내고 있다. 즉 설정된 전위를 맞추기 위해서 보다 큰 전류를 흘려주어야 함을 나타내는 데 이는 전기철도의 누설전류가 주는 간섭의 크기를 반영하는 것이라 할 수 있다.



[그림 5] 정전위 복수 강제배류 실험에서의 배류전류와 본국전위

“2”지점에서의 전위를 회복하기 위해 추가로 배류시스템을 설치할 수 있으나 이미 알려진 바와 같이 배류시스템 자체의 문제점이 있으며[11-12], 설치비용 또한 고려해야 할 사항으로 여러 가지 대책을 비교하여 현장에 맞는 가장 경제적이며 효과적인 대책을 선정하는 것이 바람직하다.

3. 결 론

지금까지 도시철도 차량기지 인근의 도시가스 배관에 대해 누설전류 배류시스템을 적용한 사례를 소개하였다. 비록 실험을 위해 선택된 구간 전체에 대해 100%의 방식효율을 얻을 수는 없었으나 최적의 위치선정과 배류시스템의 출력방식 조절을 통해 누설전류에 의한 간섭이 심각한 지역에서는 배류시스템이 하나의 효과적인 전식대책임을 보였다. 그러나 배관과 레일을 전기적으로 연결하는 배류법 자체는 누설전류의 총량을 크게 증가시키고, 레일의 전식을 가속시키는 단점이 있어, 배관과 레일간의 전기적인 접속없이 누설전류의 유출에 따른 전위상승을 신속하게 보상할 수 있는 새로운 전식대책이 요구된다.

[참 고 문 헌]

- [1] Szeliga, M.J.(ed), "Stray Current Corrosion - The Past, Present, and Future of Rail Transit Systems", NACE International, 1994
- [2] NACE TPC Publication 11, "A Guide to the Organization of Underground Corrosion Control Coordinating Committees", NACE International, 1998
- [3] NACE Standard SP0169 2007, "Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems", NACE International, 2007.
- [4] 東京電触防止對策委員會, “新版 電触防止對策の手びき”, 東京電触防止對策委員會事務局, 2005
- [5] BS EN 50162:2004, "Protection Against Corrosion by Stray Current from Direct Current Systems", British Standards, 2004
- [6] IEC 62128 2, "Railway application - Fixed installations - Part 2: Protective provisions against the effects of stray currents caused by d.c. traction systems", IEC, 2003
- [7] "Electricity safety act 1998", Parliament of Victoria, Australia, 1998
- [8] "Electricity safety (stray current corrosion) regulations 1999", Parliament of Victoria, Australia, 1999
- [9] "Code of Practice", Victorian Electrolysis Committee, Australia, 2004
- [10] KS C IEC 62128-2, "철도용 고정설비-제2부: 직류 견인 시스템의 표류전류 영향에 대한 보호규정", 한국산업규격, 2005.
- [11] 하윤철, 배정효, 하태현, 이현구, 김대경, “지하철 직류 급전시스템의 표유전류 실태조사”, 2003 대한전기학회 전력기술부문회 추계 학술대회 논문집, 373-375, 2003
- [12] 하윤철, 배정효, 하태현, 김대경, 이현구, “지하철 직류 급전시스템의 표유전류 실태분석(I, II)”, 2004 대한전기학회 하계학술대회 논문집, B권, 1364-1369, 2004
- [13] 이현구, 하태현, 하윤철, 배정효, 김대경, “지하철 누설전류가 도시가스 배관에 미치는 영향 해석”, 2004 대한전기학회 하계학술대회 논문집, B권, 1376-1378, 2004
- [14] 하윤철, 배정효, 하태현, 이현구, 김대경, “직류전기철도의 누설전류 간섭대책(I, II, III)”, 2005 대한전기학회 전기기기 및 에너지변환부문회 추계 학술대회 논문집, 270-278, 2005
- [15] 하윤철, 배정효, 하태현, 이현구, 김대경, “직류전기철도의 누설전류 방지대책에 대한 고찰(I) 유럽과 호주”, 2006 대한전기학회 하계학술대회 논문집 B, 1075-1076, 2006
- [16] 하윤철, 배정효, 하태현, 이현구, 김대경, “직류전기철도의 누설전류 방지대책에 대한 고찰(II) 일본”, 2006 대한전기학회 하계학술대회 논문집 B, 1083-1084, 2006
- [17] Peabody, A.W., "Control of Pipeline Corrosion", 2nd ed., NACE International, 2001, p. 231.