

**지하철 직류 급전시스템의 표유전류 실태 분석(III)
부산 지역**

하운철, 하태현, 배정효, 김대경, 이현구
한국전기연구원

**Analysis of the Stray Current Conditions in Subway DC Electrification System (III)
Busan Metropolitan Area**

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

Abstract - When an underground pipeline runs parallel with subway DC electrification system, it suffers from stray current corrosion caused by the stray current from the rails negative returns. Perforation due to the stray current corrosion may bring about disastrous accidents such even in cathodically protected systems. Traditionally, bonding methods such as direct drainage, polarized drainage and forced drainage have been used in order to mitigate the damage on pipelines. In particular, the forced drainage method is widely adopted in Busan. In this paper, we report the real-time measurement data of the pipe-to-soil potential variation in the presence and absence of the IR compensation. The drainage current variation was also measured using the Stray Current Logger developed. By analyzing them, the problems of current countermeasures for stray current corrosion are discussed.

유전류의 간섭 대책은 현재 대부분 강제배류법에 의존하고 있으며, 현재에도 꾸준히 그 수가 증가하고 있는 추세이다.

부산지하철은 1985년 노포동과 뽕내골을 잇는 1호선 1단계 구간이 개통된 이래 현재 2호선 3단계까지 개통되었고 2호선의 나머지 구간과 3호선의 공사가 현재 진행 중이다. 서울지역과 마찬가지로 비접지 방식으로 레일이 설계되었지만, 레일과 대지와의 불완전한 절연으로 인해 표유전류가 지중 금속시설물과 레일의 전식 문제를 초래하고 있어, 이에 대한 대책으로 현재 14개의 강제 배류기가 설치되어 있다.

본 논문에서는 부산지역의 지하철 직류급전 시스템에 의한 표유전류 실태를 조사, 분석하였으며, 특히 표유전류가 관대지(pipe-to-soil) 전위에 미치는 영향을 분석하고 아울러 배류법에 의한 배류전류의 크기를 측정하여 향후 적절한 대책 수립에 활용코자 한다.

2. 본 론

2.1 표유전류에 의한 간섭영향

지중 매설배관의 부식에 의한 손상을 예방하기 위해서는 배관과 배관이 접촉하는 토양 사이의 전위인 관대지 전위를 황산동 기준전극 대비 -0.850 V 이하로 유지하는 것이 권장되고 있다 [4]. 표유전류가 관대지 전위에 미치는 영향을 조사하기 위해 부산지역의 지하철 변전소 인근에 매설된 가스배관의 전위를 측정하였다. 이 배관은 현재 강제배류기가 설치되어 있어, 강제배류법을 적용시키지 않은 경우와 적용시킨 경우의 두 가지 조건에서 전위측정을 수행하였다. 전위측정을 위해 휴대용 황산동 기준전극을 많이 사용되고 있으나 간섭이 있는 지역에서는 표유전류와 토양의 저항에 의한 전압강하가 나타나므로 IR-free 황산동 기준전극도 병행해서 사용하였다 [5]. 연속적인 데이터 측정을 위해 아날로그 기록계인 TOA Electronics 사의 EPR(Electronic Polyrecoder)을 사용하였다.

그림 1(a)와 1(b)는 부산지역 전체 강제배류기의 작동을 중지시킨 후, 배관의 관대지 전위를 각각 휴대용 IR-free 황산동 기준전극에 대해 측정한 결과를 보여준다. 약 8분여 동안 측정된 자료에서도 전압강하에 대한 보상이 없다면 -18.5 V와 +12.5 V 사이의 큰 전위교란이 일어나는 것으로 나타나는데, 실제로는 이러한 전위교란의 범위는 그림 1(b)에서와 같이 -4 V와 2 V 사이로 축소된다. 그러나 이러한 전위는 -0.850 V 이하로 전위를 유지하지 못하는 미방식 문제가 발생할 수 있음을 보이고 있다. 즉, 전자의 경우 배관이 부식되어 손상될 수 있으며, 후자의 경우 토양 중 수분의 분해에 의해 발생한 수소가 금속 내부로 침투하면서 배관의 강도를 약화시키는 수소취성의 문제를 야기할 수 있다.

1. 서 론

국내 지하철 직류 급전시스템은 1500 V DC로 구동되며 가공 급전선과 레일을 통한 귀환 회로로 구성된다. 즉 변전소에서 급전선을 타고 전류가 흘러 전차를 구동시킨 후 레일을 통해 다시 변전소로 귀환되는 것이다. 그러나 레일의 길이방향 저항과 대지와의 불완전한 절연으로 전류의 일부가 대지로 빠져나갈 수 있는데 이러한 전류를 표유전류라 한다. 표유전류는 레일과 인근 지중 금속시설물의 전식(electrolytic corrosion)을 일으키므로 이에 대한 대책이 오랫동안 연구되어 왔다.

표유전류 현상과 이것이 야기시키는 결과에 대해서는 이미 19세기 말 독일에서 보고된 바 있다[1]. 20세기 중반에 들어 표유전류의 지중 매설배관에 대한 간섭 문제가 심각하게 대두되면서 배관의 안전을 위한 몇 가지 대책들이 제시되었다. 이 중에는 현재 국내에 광범위하게 적용되고 있는 배류법이 있으며, 교차점에 희생양극을 설치하거나 코팅 또는 전기차폐를 사용하는 방법 등이 있다 [2]. 90년대 들어 미국 NACE에서는 표유전류 대책에 대한 논의가 심도있게 진행되 바 있다 [3].

우리나라에서는 80년대 초까지 표유전류에 대한 개념조차 없었으며, 1981년 직류전원을 사용하는 서울 지하철 2호선이 개통되면서 미육군 송유관과 서울시 지하철 2호선이 교차하는 한강변 부근에서 지하철 누설전류가 송유관에 미치는 영향이 조사되었고, 그 결과 선택배류기를 설치한 것이 표유전류에 대한 인식과 대책의 시발점이 되었다. 이러한 배류법은 레일에서 누설되어 인근의 지중 금속시설물에 유입된 전류를 대지를 통하지 않고 직접 도체(배류선)를 통해 다시 레일 혹은 변전소의 부극선으로 귀환시키는 방법으로 이때부터 지하철의 영향을 받는 가스배관과 금속시설물에 대한 선택배류법의 적용이 확산되었다. 1985년부터 강제배류법이 도입되면서 지하철과 인접한 지중 금속시설물에 대한 지하철 표

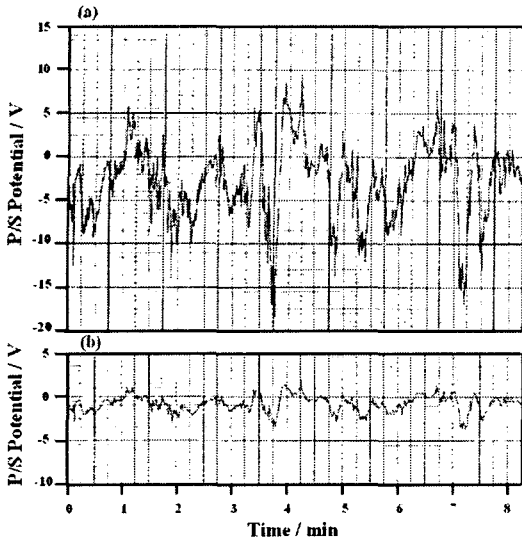


그림 1. 강제배류법 미적용 조건에서의 관대지 전위 변화: (a)휴대용 황산동 기준전극 대비, (b)IR-free 황산동 기준전극 대비

그림 2(a)와 2(b)는 강제배류기를 가동시켰을 때의 관대지 전위 변화를 나타낸다. 전압강하에 대한 보상이 없을 경우에는 -13 V와 1 V 사이에서 전위 교란이 발생하던 것으로 나타나나, 실제로는 -2.5 V와 0 V 사이의 전위 변화가 발생한다. 표유전류에 의한 배관의 간섭영향은 이렇게 강제배류를 통해 어느 정도 감소시킬 수 있을지 알 수 있다.

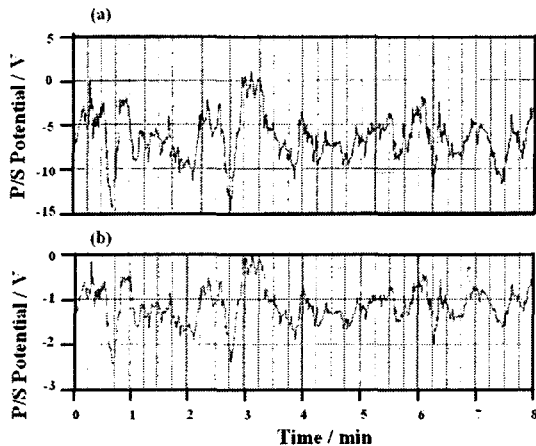


그림 2. 강제배류법 적용 하에서의 관대지 전위 변화: (a)휴대용 황산동 기준전극 대비, (b)IR-free 황산동 기준전극 대비

그러나, 강제배류법은 배관의 미방식과 과방식 문제를 완전히 해결하지 못한다는 점을 차지하고라도 레일과 레일 체결금구의 부식을 가속시키는 심각한 문제가 있다. 또한 전철 신호회로의 교란, 선택배류법 적용의 불가능, 간섭범위의 확대, 간섭의 악순환 등의 문제가 알려져 있다 [6].

2.2 배류전류 실태조사 및 분석

강제배류법에 의한 피해를 정량화하기 위해 부산지역에 설치된 14개 강제배류기에 대한 배류전류 측정값을 수행하였다. 초당 4회의 빈도수로 24시간 동안 (오전 7시 ~ 익일 오전 7시) 데이터를 획득하기 위해 자체 개발

한 누설전류 측정장치[7]와 설치현장에 맞게 개선된 전류센서[8]를 사용하였다.

그림 3은 부산지역에 설치된 강제배류기의 전형적인 배류전류 변화를 24시간 범위 및 1시간 범위로 나타낸 것이다. 전철 운행에 의해 배류전류 자체가 크게 교란되고 있음을 볼 수 있는데 이로 인해 인근 매설배관의 관대지 전위의 교란도 발생하게 된다.

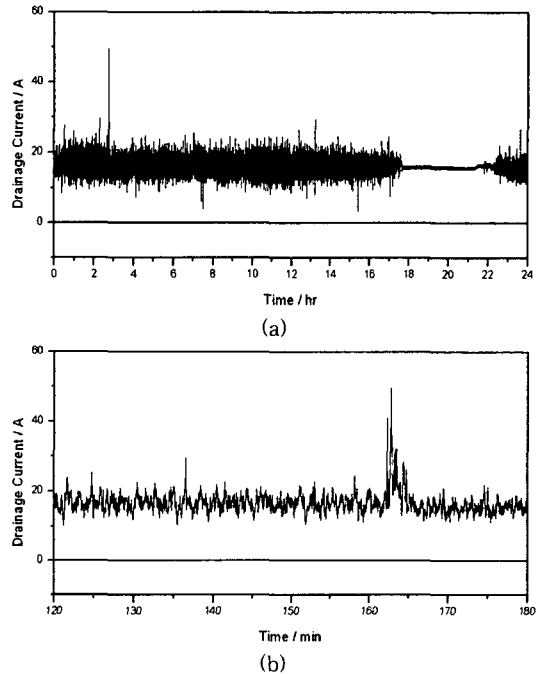


그림 3. 부산지역 강제배류기의 배류전류 변화 양태: (a) 오전 7시~익일 오전 7시 (b) 오전 9시~10시

주성분인 철이 2가의 산화물 또는 이온으로 부식되는 것을 가정하고 이 반응에 대한 전류효율이 100%라고 하면, 배류기의 평균 배류전류(I_{mean})와 패러데이 법칙을 통해 레일 및 체결금구의 연간부식량(m)을 산출할 수 있다. 즉,

$$m = M \times \frac{Q}{nF} = M \times \frac{I_{mean} \times 3600 \times 24 \times 365}{nF} \quad (1)$$

여기서 M 은 철의 원자량(=55.8), Q 는 연간 전하량(C), n 은 철의 산화에 필요한 전자수(=2), F 는 패러데이 상수(=96485 C/mol)이다.

표 1은 부산지역 14개 배류기 중 재측정 중인 1개소를 제외한 13개 배류전류에 대한 평균전류, 최대전류 및 연간부식량을 나타낸다.

표 1. 부산지역 배류전류 분석

호선	No	배류형태	평균전류 [A]	최대전류 [A]	연간부식량 [kg]
1	1	강제	7.78	15.69	71.05
1	2	강제	14.24	39.05	129.97
1	3	강제	13.52	33.08	123.37
1	4	강제	16.18	49.72	147.68
1	5	강제	10.06	38.91	91.82
1	6	강제	7.56	44.37	69.00
2	1	강제	8.49	26.20	77.46
2	2	강제	6.67	17.64	60.83
2	3	강제	6.94	13.00	63.32

2	4	강제	3.52	9.23	32.10
2	5	강제	18.05	27.58	164.73
2	6	강제	5.10	30.42	46.55
2	7	강제	14.16	19.72	129.21
계			132.25		1207.09

서울지역에 비해 표유전류의 크기가 상대적으로 작게 나타나지만 연간 1톤 이상의 레일이 부식으로 손상되고 있음을 알 수 있다. 이러한 피해를 최소화하기 위해 강제배류법을 대체할 수 있는 적절한 전식대책법이 개발되어야 할 것이다.

3. 결 론

부산지역 지하철 직류급전시스템의 표유전류로 인해 인근 지중 매설배관의 관대지 전위가 교란되어 배관이 미방식 또는 과방식 상태에 놓이게 됨을 측정자료를 통해 분석하였다. 현재의 표유전류 대책으로 적용되어 있는 강제배류법은 관대지 전위를 일정정도 안정화시키는 역할을 하지만 레일과 레일체결금구의 전식 문제를 야기시키는데 부산지역의 전체 배류전류를 측정하여 현재 연간 약 1톤 이상의 레일이 부식될 수 있음을 알 수 있었다. 따라서 강제배류법을 대체할 수 있는 적절한 전식대책법의 개발이 요청되고 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] A.V. Abbott, "Electrolysis from Railway Currents", Electric Railway Number of Cassier's Magazine, 1899. Available online at <http://www.lrtta.org/TA01.html>
- [2] M.J. Szeliga, "Stray Current Corrosion", in: Peabody's Control of Pipeline Corrosion, 2nd Ed., Ed. R.L. Bianchetti, NACE International, p. 211, 2001
- [3] M.J. Szeliga (ed.), Stray Current Corrosion: the Past, Present, and Future of Rail Transit Systems, NACE International, 1994
- [4] NACE Standard RP0169-2002, Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems, NACE, 2002.
- [5] 하태현, 하운철, 배정효, 이현구, 김대경, "IR Free 전극을 이용한 전위측정에 관한 연구", 2003 대한전기학회 하계학술대회 논문집, D권, pp. 2735-2737, 2003
- [6] 하운철, 배정효, 하태현, 이현구, 김대경, "지하철 직류 급전시스템의 표유전류 실태조사", 2003 대한전기학회 전력기술분회 추계학술대회 논문집, pp. 373-375, 2003
- [7] 배정효, 김대경, 하태현, 이현구, 하운철, "지하철과 전력선의 누설전류(stray current) 측정을 위한 저장형 data logger", 대한민국 특허출원 제 2003-786004호, 2003
- [8] 배정효, 김대경, 하태현, 이현구, 하운철, "지하철의 누설전류 측정센서", 대한민국 실용신안 등록 제 0343324호, 2004