

국가기간시설물의 전식대책(안) 및 그 적용 사례(1)

배정효*, 하윤철, 하태현, 이현구, 김대경
한국전기연구원

A Case Study(1) of Mitigation Method of DC Stray Current for Underground Metallic Structures in KOREA

Jeong-Hyo Bae*, Yoon-Cheol Ha, Tae-Hyun Ha, Hyun-Goo Lee, Dae-Kyeong Kim
Korea Electrotechnology Research Institute
28-1, Seongju-dong Changwon City
KyungNam Province, 641-120, Korea

Abstract - The owner of underground metallic structures (gas pipeline, oil pipeline, water pipeline, etc) has a burden of responsibility for the corrosion protection in order to prevent big accidents like gas explosion, soil pollution, leakage and so on. So far, Cathodic Protection(CP) technology have been implemented for protection of underground systems. The stray current from DC subway system in Korea has affected the cathodic protection (CP) design of the buried pipelines adjacent to the railroads. In this aspect, KERI has developed a various mitigation method, drainage system through steel bar under the rail, a stray current gathering mesh system, insulation method between yard and main line, distributed ICCP(Impressed Current Cathodic System), High speed response rectifier, restrictive drainage system. We installed the mitigation system at the real field and test of its efficiency in Busan and Seoul, Korea. In this paper, the results of field test, especially, distributed ICCP system is described.

1. 서 론

최근 성수대교붕괴, 아현동 가스배관 폭발사고, 삼풍백화점 붕괴사고 등의 대형시설물의 안전사고로 인해 국민들의 안전에 대한 관심도가 어느 때 보다 고조되어 있다. 이러한 관점에서 지하 금속매설물을 소유하고 있는 시설물(가스배관, 송유관, 상하수도관 등) 소유자들은 일찍이 부식(腐蝕)으로부터 설비의 수명을 연장시키기 위해 방식시설(防蝕施設)인 전기방식(Cathodic Protection) 설비를 갖추고 있다. 즉, 지하 금속구조물의 부식은 가스폭발사고, 기름유출로 인한 환경오염 및 누수로 인한 식수부족 등의 막대한 경제적인 손실을 초래하므로 시설물관리에 철저히 하고 있는 실정이다.[1]~[7]

한편, 전기방식설비를 채택한 시설물 소유자들은 안정적으로 시설물을 유지하기를 원하지만 외부로부터 예상치 않은 누설전류(Stray Current)에 의한 간섭이 발생하여 지하에 매설되어 있는 금속매설물들이 전식을 발생할 수 있어 이에 대한 대책이 필요하다.

따라서 한국전기연구원에서 지하철의 누설전류로 인한 전식대책(안)을 마련하고 현장실증실험을 통하여 검증하였다. 본 논문에서는 전식대책(안) 중에서 분포형 정류기에 대한 현장 실증시험결과에 대하여 소개한다.

2. 본 론

2.1 지하철에 의한 누설전류

일반적으로 누설전류라 함은 설계된 경로를 벗어나서 원하지 않은 방향으로 흐르는 전류(DC 전류 혹은 AC 전류)를 의미한다. 흔히 누설전류에 의해 부식이 발생하는 것을 전해부식(electrolysis)이라 한다. 그리고 대체로 전류의 흐름으로 발생하는 부식을 전식이라 부르고 있으나, 본 논문에서는 편의상 누설전류에 의해 부식을 발생하는 현상을 전식이라 부르기로 한다.[8]~[11]

DC 전기철도 혹은 DC 지하철에 의해 발생하는 누설전류는 레일에서 토양으로 누설되어 인근에 매설되어 있는 지하 매설물 특히, 긴 지하배관을 따라 흐르며, 여러 지점에서 누설되어 포집된 전류들은 지하배관을 통해 흘러 최종적으로는 DC 지하철 변전소 인근에서 지하 배관에서도 양을 통해 변전소 컨버터의 부(-) 극선으로 귀환 한다. 이때 전류가 배관에서 토양으로 빠져나가는 지점에서 집중적으로 전식이 발생하게 된다. 우리나라 에서는 이러한 문제를 해결하기위해 주로 배류기를 배관과 레일사이에 전기적으로 연결하여 사용하고 있다. 그러나 무분별한 배류기 사용은 또 다른 문제점으로 발생시키고 있으며, 선진국에서는 배류기

를 철거하는 추세에 있다.[12]~[19]

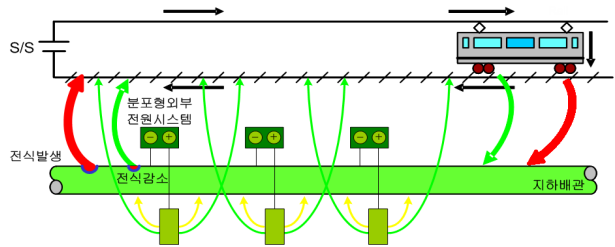
이에 덧붙여 본 논문에서도 제한적인 배류기 사용은 물론, 여러 가지 전식대책(안)을 제시하고자 한다.

2.2 전식대책(안)

전식대책으로는 크게 누설전류를 발생시키는 DC 전철 측에서 대책과 간섭을 받고 있는 지하 매설물 측에서의 대책으로 나누어 볼 수 있다.

본 논문에서는 지하 매설물 측에서 강구할 수 있는 대책으로 분포형 정류기에 대하여 메카니즘을 살펴보면 다음과 같다.

지하철 변전소 인근에 <그림 1>과 같이 분포형 외부전원 시스템을 설치하면, 배관으로 유입된 누설전류들은 외부전원 시스템의 양극으로 전류가 빠져나가 지하철 변전소로 귀환하게 된다. 즉 배관 표면을 통해 토양으로 누설전류가 빠져나가지 않고 양극으로 빠져나가기 때문에 배관은 부식을 하지 않는다. 다만, 외부전원 시스템용 양극은 소모가 촉진되지만 원래 불용성 양극이므로 그 영향이 미미하다. 이때 희생양극을 포설하게 되면, 급속하게 희생양극이 소모되어 배관이 방식되지 않게 되므로 주의하여야 하며, 하나의 외부전원 시스템을 채택하기보다는 작은 출력을 갖는 분포형 외부전원시스템을 채택하면, 누설전류가 쉽게 빠져나갈 수 있고, 타 지하매설물에 간섭도 적게 영향을 주게 되어 여러 가지 장점이 있다.



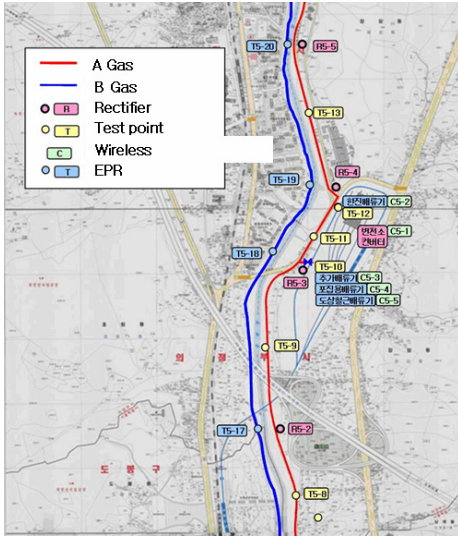
<그림 1> 분포형 외부전원법의 개념도

2.3 현장 측정 결과

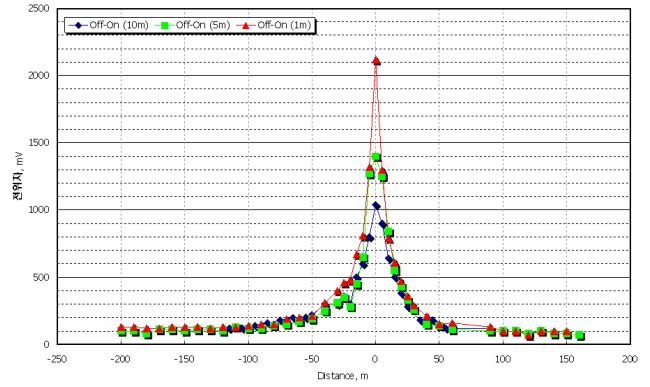
본 논문에서는 현장실증실험을 위해 서울지역에 있는 임의의 도시가스 배관(PE-Coated Steel Pipe, 500φ×약 4km)에 대하여 분포형 외부전원법의 성능 평가시험을 수행하였다.

<그림 2>, <표 1> 및 <표 2>와 같이 6대(R5-1~ R5-6)의 분포형 정류기를 설치하였으며, 출력은 DC15[V] 300[mA]으로 조정 하였고, 6대의 정류기를 시간 동기화를 시켜 도시에 On/Off 하면서 방식전위를 측정하였다.

<그림 3>은 양극의 위치 즉, 배관으로부터 1m, 5m 그리고 10m 떨어진 지점에 양극을 시설하고 배관의 길이방향으로 방식전위를 측정한 그래프이다. 그림에서 볼 때 양극과 배관의 거리가 가까울수록 양극 인근에서의 on/off 전위차이는 크나 이격 거리에 관계없이 양극으로부터 약 120~130m 정도 벗어나면 on/off전위차이가 약 100mV 정도로 감소하며 세 경우에 큰 차이를 발견할 수 없었다. 이러한 결과로부터 양극과 배관의 이격거리가 약 10m 이내인 경우에는 전체 방식전류분포에 큰 영향을 미치지 않고 불균일한 전위분포가 얻어지는 조건이라는 것을 확인할 수 있다.



〈그림 2〉 현장 실증 실험장

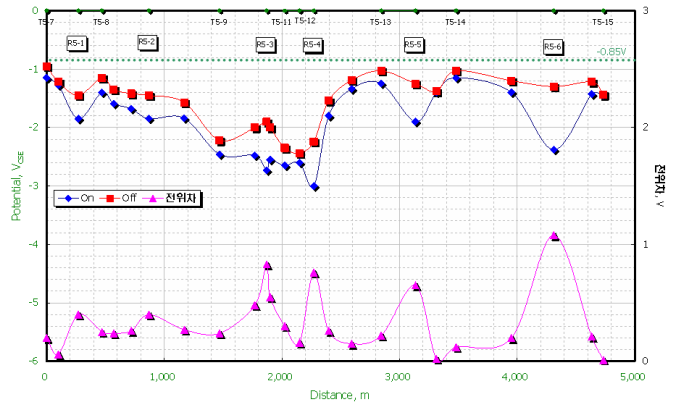


〈그림 3〉 양극의 위치에 따른 방식전위 감쇄 그래프

〈그림 4〉는 측정 위치별의 방식전위 및 On/Off 전위차를 그래프화 한 것이다. 그림에서 양극 위치에서의 on/off전위차는 위치에 따라서 다르지만 약 0.4 ~ 1V, 양극과 양극 사이에서는 약 100mV 이상, 최대 500mV 정도까지 측정되었으며 모든 측정지점에서 on/off전위가 방식기준을 만족하고 있음을 알 수 있다. 또한, 전체 on전위도 -1 ~ -3VCSE 사이의 매우 균일한 전위분포를 나타내고 있다. 각 정류기 당 0.3A의 출력전류로 방식을 시키기 때문에 주변 배관에 미치는 영향도 작다. 분포외전을 동기화 on/off시켰을 때 타 가스배관에 미치는 영향은 〈그림 5〉와 같이 거의 간섭을 유발하지 않는다는 것을 알 수 있다. 즉, 타 가스배관의 on/off전위는 거의 차이가 없고, 간섭정도는 0~60mV 정도로 매우 낮아서 타 가스배관의 방식상태에 거의 영향을 미치지 않고 있다. 이상으로부터 분포외전을 적용하여 배관의 방식상태를 충분히 기준값 이하로 유지하면서 타 시설물에 간섭을 주지 않는 것을 확인하였다

〈표 1〉 분포형 정류기 설치 위치

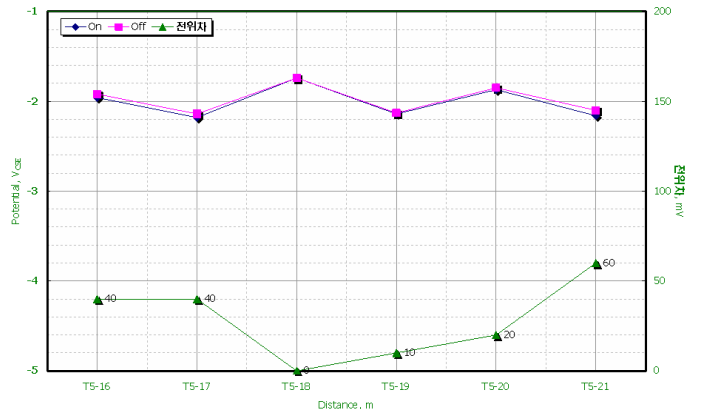
정류기	Anode Bed Hole	정류기
R5-1	200φ × 4,000L Horizontal	DC15[V] 300[mA]
R5-2	200φ × 4,000L Horizontal	DC15[V] 300[mA]
R5-3	200φ × 4,000L Horizontal	DC15[V] 300[mA]
R5-4	200φ × 4,000L Horizontal	DC15[V] 300[mA]
R5-5	200φ × 4,000L Horizontal	DC15[V] 300[mA]
R5-6	200φ × 4,000L Horizontal	DC15[V] 300[mA]



〈그림 4〉 측정 위치별 방식전위 그래프

〈표 2〉 측정항목 및 실험 방법

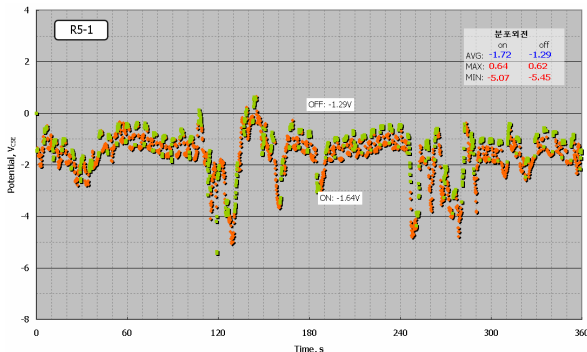
실험종류	실험 방법	측정 항목
분포외전 지하철 간섭완화 평가 (주간 및 야간)	-R5-4 최대출력 on/off (야간) -양극이격거리에 따른 전위측정	-R5-4 좌우 CIPS
	-전체 분포외전 동기화 on/off (야간)	-도시가스배관 전위 -타 가스배관 전위
	-전체 분포외전 동기화 on/off (주간) -선택배류기 on/of 각1회	-R, T지점 전위 -변전소 급전전류 -배류기 배류전류



〈그림 5〉 양극의 위치에 따른 방식전위 감쇄 그래프

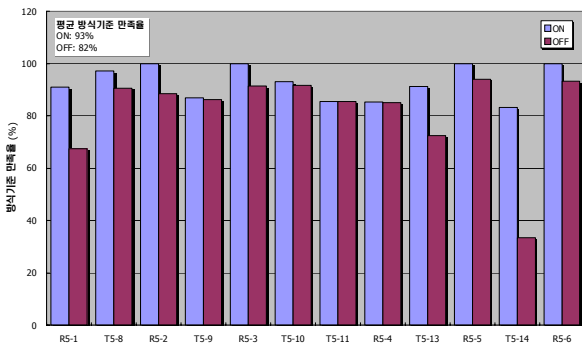
정류기 R5-1 지점에서 분포형 정류기를 On/Off 시키면서 방식전위를 측정하면, 〈그림 6〉과 같다. 그림에서 분포형 정류기를 Off 했을 경우

에 방식전위는 최대값이 -620mV/CSE 최소값이 -5,450mV/CSE. 그리고 평균값이 -1,290mV/CSE로 측정되었다. 그리고 분포형 정류기를 On 했을 경우에 방식전위는 최대값이 -640mV/CSE 최소값이 -5,070mV/CSE. 그리고 평균값이 -1,720mV/CSE로 측정되었다. 분포형 정류기를 On 했을 경우 430 mV/CSE 음분극 되었음을 알 수 있다.



<그림 6> R5-1 지점에서의 가스배관 방식전위 그래프(분포외전 on/Off)

<그림 7>에서 알 수 있듯이 전체 실험시간 중 방식기준을 만족하는 시간을 의미하는 "방식률"을 비교하면 실험구간에서 분포외전을 작동시키지 않은 경우의 방식률이 약 82%인데 비해서, 분포외전을 작동시키자 방식률이 93%로 11%P 방식상태가 향상된 것을 알 수 있다. 특히, 실험 중 6대의 분포외전의 출력을 각각 0.3A로 최소로 낮출 상태에서 실험이 이루어졌으므로, 주변 배관에 간섭을 일으키지 않을 정도로 출력을 증가시킨다면 100%에 가까운 방식률을 얻을 수 있을 것으로 판단된다. <그림 8>은 현장에 설치된 분포형 외부전원시스템의 사진을 도시한 것이다.



<그림 7> 분포외전 적용 유무에 따른 방식률의 변화



<그림 8> 현장에 설치된 분포형 외부전원시스템의 사진

3. 결 론

본 논문에서는 최근 도심지에서의 DC 지하철에 의한 누설전류가 지하에 매설되어 있는 국가 기간시설물에 영향을 주어 전식을 발생시키고 있어, 이에 대한 대책에 대하여 검토하였다.

그 결과, DC 전철 측 누설 저감 대책으로 누설전류포집 시스템, 누설전류포집 시스템 및 차량기지/레일 본선 절연시스템이 효과가 있을 것으로 검토되었으며, 지하 매설배관 측 간섭 대책으로는 제한적 배류 시스템, 분포형 외부전원 시스템 그리고 방식전위 속도제어형 정류기들이 효과 있을 것으로 검토 되었다.

본 논문에서는 전식대책 중, 분포형 외부원법에 대하여 현장 실증을 통하여 성능 평가 하였으며, 그 결과는 아래와 같다.

- (1)양극을 배관으로부터 1m, 5m 그리고 10m 떨어진 지점에 시설하고 배관의 길이방향으로 방식전위를 측정된 결과, 양극과 배관의 이격거리가 약 10m 이내인 경우에는 전체 방식전류분포에 큰 영향을 미치지 않고 불균일한 전위분포가 얻어진다. 즉, 균일한 분포를 유지시키기 위해서는 10m보다 더 이격시켜야 하나, 이럴 경우 타 시설물에 간섭을 줄 수 있다.
- (2)분포형 정류기의 출력을 DC15[V] 300[mA]으로 조정하여 On/Off 할 경우, 타 간섭정도는 0~60mV 정도로 매우 낮아서 타 가스배관의 방식상태에 거의 영향을 미치지 않음을 확인 하였다.
- (3)전체적으로 분포형 정류기를 On 했을 경우 음 분극 됨을 확인 하였다.
- (4)분포형 정류기를 On 했을 경우의 방식률은 82%에서 93%로 약 11% 향상됨을 확인하였다.

이상에서 살펴 본 바와 같이 분포형 외부전원법을 적용한 결과, 타 시설물에는 간섭을 주지 않으면서 방식효율을 향상 시킬 수 있을 확인 하였다.

향후 제안 된 방법에 대한 검증 실험을 보완하여 표준화하여 실제 현장에 적용하도록 권장하고자 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] John Morgan, "Cathodic Protection" NACE, January 1993.
- [2] A.W. Peabody, Control of Pipeline Corrosion, 2nd ed., NACE, Houston, TX, USA (2001) 211.
- [3] NACE Standard, External Cathodic Protection of On-Grade Metallic Storage Tank Bottoms, NACE RP0193-93, 1993.
- [4] Kuhn, R.J., Criteria for Steel and Cast Iron, Proceedings of the American Petroleum Institute, Vol 14, p153, 1953.
- [5] Australian Standard, Galvanic(sacrificial) Anodes for Cathodic Protection, AS 2239, 1993.
- [6] Det Norske Veritas Industry AS, Cathodic Protection Design, Recommended Practice RP B 401, 1993.
- [7] W. Baeckmann, W. Schwenk, Handbook of Cathodic Protection The Theory and Practice of Electrochemical Corrosion Protection Techniques, BSI Code of Practice for Cathodic Protection, Portcullis Press LTD, 1975.
- [8] J.H. Bae, A Study on the Standardization of Cathodic Protection System and Test Methods in KOREA, Bulletin of Electrochemistry 19(1), p31-36, Jan 2003.
- [9] D.K. Kim, A Study on the Potential and Current Distribution of Cathodic Protection System, KOGAS Report, 1995.
- [10] A.V. Abbott, Electrolysis from Railway Currents, Electric Railway Number of Cassier's Magazine (1899).
- [11] M.J. Szeliga, ed., Stray Current Corrosion: the Past, Present, and Future of Rail Transit Systems, NACE, Houston, TX, USA (1994).
- [12] J. Beggs, J.H. Gitzgerald, CORROSION/2003, paper no. 03711, Mar. 2003, San Diego, CA, USA (2003).
- [13] K.J. Moody, CORROSION/2003, paper no. 03712, Mar. 2003, San Diego, CA, USA (2003).
- [14] L. Bortels, CORROSION/2002, paper no. 02113, Apr. 2002, Denver, CO, USA (2002).
- [15] J.-H. Bae, D.-K. Kim, T.-H. Ha, H.-G. Lee and Y.-C. Ha, US Patent Application No. 10/989533, Filed Nov. 17 (2004).
- [16] J.-H. Bae, D.-K. Kim, T.-H. Ha, H.-G. Lee and Y.-C. Ha, Korea Utility Model Patent No. 0343324, Feb. 17 (2004).
- [17] E.D. Verink, Corrosion Testing Made Easy, Vol. 1: The Basics, NACE, Houston TX (1994) 57.
- [18] H.H. Uhlig, ed., Corrosion Handbook, John Wiley & Sons, Inc., New York, NY (1948) 601.
- [19] NACE Standard RP0169-2002, NACE, Houston, TX, USA (2002).