

국가 기간 시설물의 전식 대책(안)

배정효*, 하윤철, 하태현, 이현구, 김대경
한국전기연구원

A Mitigation Methode 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) system 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, Boding ICCP system. In this paper, the mechanism of mitigation method of DC stray current for underground metallic structures 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 국가 기간 시설물인 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]

그러나 대도시의 국가 기간시설물들은 DC 지하철에 의한 누설전류에 의해 간섭을 받고 있어, 시설물을 안정적으로 유지하기가 어려운 실정이다.

따라서 한국전기연구원에서 지하철의 누설전류로 인한 전식대책(안)을 마련하였으며, 관련 전문가들의 공청회를 통해 여러 가지 문제점에 대하여 검토한 바 있다. 본 논문에서는 이러한 전식대책에 대한 이론적인 메카니즘에 대하여 개략 기술하고자 한다.

2. 본 론

2.1 지하철에 의한 누설전류

일반적으로 누설전류라 함은 설계된 경로를 벗어나서 원하지 않는 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. 우리나라에서는 이러한 문제를 해결하기위해 주로 배류기를 배관과 레일 사이에 전기적으로 연결하여 사용하고 있다. 그러나 무분별한 배류

기사용은 또 다른 문제점으로 발생시키고 있으며, 선진국에서는 배류기를 절거하는 추세에 있다.[12]~[19] 이에 발맞추어 본 논문에서도 제한적인 배류기 사용은 물론, 여러 가지 전식대책(안)을 제시하고자 한다.

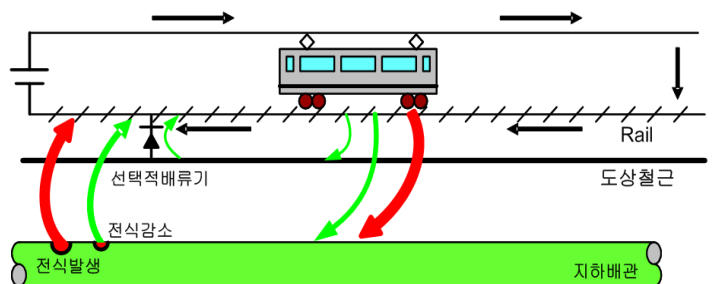
2.2 전식대책(안)

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

(1) DC 전철측 누설 저감 대책

가. 도상철근 배류 시스템

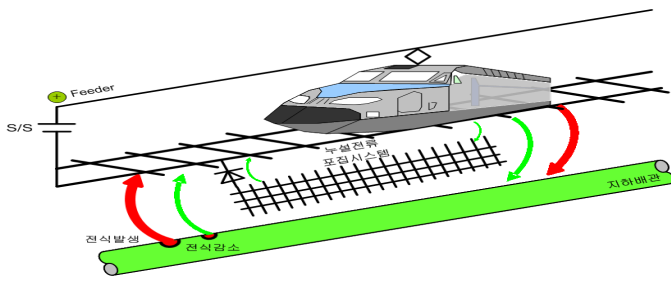
최근에는 대부분 콘크리트로 레일을 지지하고 있으며, 콘크리트 내부에 철근을 레일 길이방향으로 시설하여 레일로부터 토양으로 누설되는 전류를 포집하여 인근 지하배관에 흘러들어가는 전류를 차단하여 지하철 변전소로 귀환(제한) 시키는 시스템을 도상철근 배류시스템이라고 한다. <그림 1>에서와 같이 도상철근 배류시스템을 시설하게 되면, 원래 배관으로 흘러들어가는 큰 누설전류(굵은 선으로 표시)에 비해 대부분의 누설전류는 도상철근을 통하여 변전소로 귀환하고 일부만 지하배관으로 누설되어 간섭을 줄이는 효과가 있다.



<그림 1> 도상철근 시스템의 개념도

나. 누설전류포집 시스템

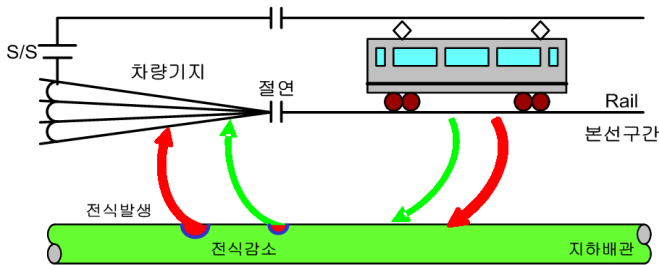
레일 본선구간에 시설되고 있는 도상철근 배류시스템과 유사한 시스템으로써, 지하철 변전소 주변에 누설전류포집시스템을 포설하여 지하철 변전소 인근 레일에서 흘러나오는 전류를 변전소 부급전선으로 귀환 시켜 간섭을 줄일 수 있다. <그림 2>에서와 같이 누설전류포집시스템을 시설하게 되면, 원래 배관으로 흘러들어가는 큰 누설전류(굵은 선으로 표시)에 비해 대부분의 누설전류는 누설전류포집시스템을 통하여 변전소 부급전선으로 귀환하고 일부만 지하배관으로 누설되어 간섭을 줄이는 효과가 있다.



<그림 2> 누설전류 포집 시스템의 개념도

다. 차량기지/레일 본선 절연시스템

차량기지/레일 본선 절연시스템은 대부분의 선진국에서 채택하고 있는 시스템으로써, 레일 본선구간과 차량기지와 전기적으로 절연하는 시스템이다. 차량기지내의 레일들은 자갈도상에 시설되어 있고, 검수고와 같은 건물접지와 연결되어 있을 가능성이 높기로 접지저항이 매우 낮다. 접지저항이 낮다는 것은 누설전류가 크질 수 있다는 것이다. 그림에서 차량 기지와 레일본선을 절연하면, 레일과 배관과의 절연저항이 크지는 효과 때문에 원래 배관으로 흘러들어가는 큰 누설전류(붉은 선으로 표시)에서 적은 누설전류(가는 선으로 표시)가 배관으로 유입되게 된다.



<그림 3> 차량기지/레일 본선 절연시스템의 개념도

(2) 지하 매설배관 축 간섭 대책

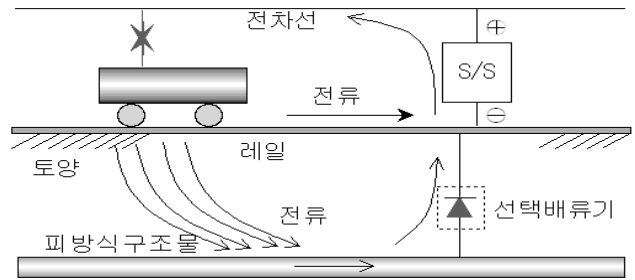
가. 제한적 배류 시스템

DC 전철을 가동하기 위해 공급되는 전류의 일부가 <그림 4>에서와 같이 레일로 부터 토양으로 누설되어 인근의 상수도용 강관 등으로 유입되고, 이 전류는 DC 전철 변전소 인근의 상수도용 강관에서 다시 전류가 유출되며 이 유출부에서 국부 부식이 발생한다. 여기서, 이 누설전류를 토양으로 통하지 않고 전기적인 도체를 통하여 직접 레일 또는 전철변전소로 제한 시켜 매설상수도 강관의 부식을 방지하는 방법을 배류법이라 하며, 이러한 기능을 하는 시스템을 배류시스템 혹은 배류기라고 한다. 배류법에는 직접 도체를 연결하는 직접 배류법, 방향성을 가지는 소자인 다이오드를 사용하여 연결하는 선택 배류법 그리고 외부에 전원을 인가하여 강제적으로 배류를 시키는 강제배류법이 있다.

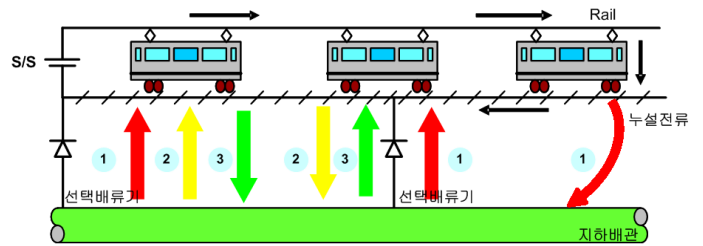
전술한 것과 같이 현재 국내에서는 지하철에 의한 전식대책으로 이러한 배류법에 전적으로 의존하고 있어, 이에 대한 폐해들이 발생하고 있는 실정이다. 즉, 지하철이 회생제동 시스템을 채택하고 있고 있어, 이를 저감하기 위해서는 지하철 차량기지 뿐만 아니라 지하철 역 주변에도 무분별하게 설치하고 있다.

따라서 본 논문에서는 배류기를 철거하는 것을 원칙으로 하고 있으나, 불가피하게 누설전류가 크거나 다른 방법으로 누설전류에 의한 영향을 저감할 수 없을 경우에 한하여, 제한적 배류시스템을 채택하는 것으로 검토하였다. 제한적 배류시스템은 <그림 5>와 같이 제한적으로 복수개(2기~3기 정도)의 배류기를 지하철 차량기지 주변에 설치한다. 본 논문에서는 2대의 배류기를 설치하였을 경우에 예를 들어 설명한다. 첫 번째로 지하철이 차량기지에서 멀리 떨어진 경우(1)에는 누설된 전류가 차량기지 주변의 배관으로 모이게 되며, 이 때 1대의 배류기를 통해 변전소 컨버터의 부 극선으로 귀환되는 것 보다 2대일 경우가 더 쉽게 귀환될 수 있다. 그리고 차량이 차량기지 내에서 운행할 경우(2)에는 누설전류가 차량기지에서 누설되어 압출전식을 뿜낼 시킬 수 있다. 이 때 인근에 배류기가 있으면 누설된 전류는 또 다른 인근의 배류기를 통해 레일로

귀환 할 수 있어, 누설전류에 의한 영향이 저감될 것이다. 마지막으로 차량이 차량기지 주변에 있을 경우(3)에도, (2)번의 경우와 유사하게 되어 누설전류에 의한 영향이 저감될 것이다.



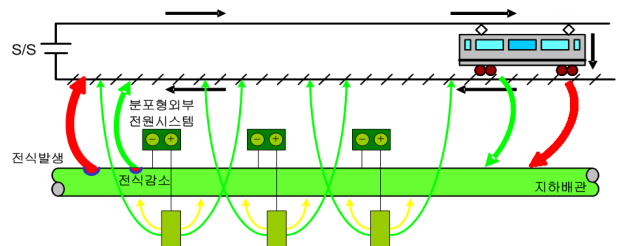
<그림 4> 선택 배류시스템의 개념도



<그림 5> 선택 배류시스템의 개념도

나. 분포형 외부전원 시스템

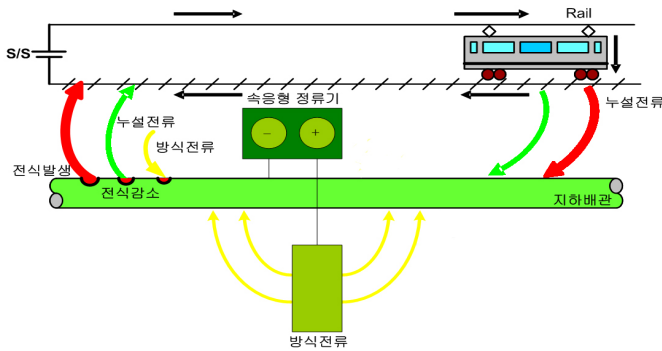
지하철 변전소 인근에 분포형 외부전원 시스템을 설치하면, 배관으로 유입된 누설전류들은 외부전원 시스템의 양극으로 전류가 빠져나가 지하철 변전소로 귀환하게 된다. 즉 배관 표면을 통해 토양으로 누설전류가 빠져나가지 않고 양극으로 빠져나가기 때문에 배관은 부식을 하지 않는다. 다만, 외부전원 시스템용 양극은 소모가 촉진되지만 원래 불용성 양극이므로 그 영향이 미미하다. 이때 희생양극을 포설하게 되면, 급속하게 희생양극이 소모되어 배관이 방식되지 않게 되므로 주의하여야 하며, 하나의 외부전원시스템을 채택하기보다는 적은 출력을 갖는 분포형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



<그림 6> 분포형 외부전원법의 개념도

다. 방식전위 속도제어형 정류기

지하철 주변의 지하배관에서 매우 큰 누설전류가 배관에서 빠져나가지 않으면, 상기의 분포형 외부전원시스템만으로 부족할 수가 있다. 분포형 외부전원시스템은 누설전류를 양극을 통해 빠져나가지게 하는 특성은 있지만, 배관의 방식기준을 만족하지 못하는 경우가 발생한다. 이때 방식전위 속도 제어형 정류기를 포설하면, 빠져나가는 전류보다 큰 방식전류를 배관으로 흘려서, 결국 배관에서 흘러나오는 전류가 없게 만들어 부식을 방지하는 시스템이다. 여기에 사용되는 정류기는 빠져나오는 누설전류에 신속하게 대응하지 않으면 효과가 없으므로 방식전위를 피드백 받아서 빠르게 출력을 제어하는 속도 제어형 정류기를 사용하여야 한다.



[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).

〈그림 7〉 방식전위 속음 제어형 정류기의 개념도

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 속음제어형 정류기들이 효과 있을 것으로 검토 되었다.

향후에, 각각 시스템에 대한 현장 실증 실험을 통한 성능평가 시험을 할 예정이며, 이에 대한 사례도 발표할 예정이다.

[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.