

지하철 누설전류의 실시간 무선 원격 감시 시스템용 매설형 기준전극

배정효, 하운철, 하태현, 이현구, 이재덕, 김대경
 한국전기연구원 지중시스템연구그룹(E-mail : jhbae@keri.re.kr)

The Buried Type Reference Electrode for Real time Wireless Remote Monitoring System for Stray Current of Subway System

Jeong-Hyo Bae, Yoon-Cheol Ha,, Tae-Hyun Ha, Hyun-Goo Lee, Jae-Duck Lee, Dae-Kyeong Kim
 Korea Electrotechnology Research Institute(E-mail : jhbae@keri.re.kr)

Abstract - In present, most of metallic structures(gas pipeline, oil pipeline, water pipeline, etc) are running parallel with subway and power line in seoul. Moreover subway system and power line make a stray current due to electrical corrosion on metallic structures. The owner of metallic structures has a burden of responsibility for the protection of corrosion and the prevention against big accident such as gas explosion or soil pollution and so on. So, they have to measure and analyze the data about P/S(Pipe to Soil) potential due to stray current of subway system. So, we have developed the Real-time Wireless Remote Monitoring System for Stray Current of Subway System. In this system, the permanent buried type reference electrode is necessary. In this paper, results of development about the permanent buried type reference electrode(Cu/CuSO₄) are presented.

Keywords : Reference Electrode, Remote Monitoring, Interference, Stray Current, P/S Potential

1. 서 론

지하 금속매설물을 소유하고 있는 시설물(가스배관, 송유관, 상하수도관 등) 소유자들은 부식(腐蝕)으로부터 설비의 수명을 연장시키기 위해 방식시설(防蝕施設)인 전기방식(Cathodic Protection) 설비를 갖추고 있다.

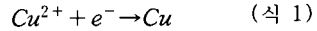
전기방식설비를 채택한 시설물 소유자들은 안정적으로 시설물을 유지하기를 원하지만 외부로부터 예상치 않은 누설전류(Stray Current)에 의한 간섭이 발생하여 유지·점검에 상당한 애로를 겪고 있다. 이러한 누설전류는 존재 자체가 곧 에너지의 손실을 의미하며, 특히, 지하철과 전력선의 누설전류는 지중 금속구조물의 부식을 촉진하게 되어 부식사고를 일으키게 됨에 따라 환경오염 및 대형사고의 직접적인 원인이 될 수 있다. 이에 대부분의 지중 구조물 소유자들은 수 작업으로 누설전류의 의한 배관의 관대지 전위를 측정하고 있다.

따라서 본 논문에서는 이러한 지하철에 의한 누설전류의 유무를 감시할 수 있고, 가스배관의 부식유무를 감시할 수 있는 실시간 무선 원격 감시시스템에 필수적인 지중 매설형 기준전극 개발에 대한 결과와 성능 검증 데이터를 소개한다.

2. 본 론

2.1 황산동기준전극(Cu/CuSO₄)의 개요

지중에 매설되어 있는 금속구조물의 전위를 측정하기 위해 가장 많이 사용되고 있는 기준전극은 포화황산동 기준전극(Cu/CuSO₄)이 주로 사용된다. 포화황산동 기준전극의 기준전위는 다음의 반응식으로부터 계산된다.



이 반응에 대하여 (식 2)와 같이 Nernst 방정식을 이용하면 포화황산동 기준전극의 기준전위는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$E = E^0 + \frac{RT}{2F} \ln a_{Cu^{2+}} \quad (식 2)$$

$$= E^0 + 0.0295 \log [Cu^{2+}]$$

여기에서, 기준반응의 표준전극전위 E⁰는 25℃ 1기압의 환경에서 +0.337V 이므로 황산동 전극의 전위는 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$E = 0.337 + 0.0295 \log [Cu^{2+}] \quad (식 3)$$

구리의 환원반응을 기준반응으로 하는 포화황산동 기준전극은 전기화학적 기준반응이 일어나는 구리 봉, 포화황산동 용액, 다공성 플러그 및 용기로 구성되어 있다. 포화황산동 기준전극은 빛이 전극내의 용액으로 투과되지 않도록 감산 상태에서 유지하며, 기준전극에 충전하는 포화황산동 용액은 시약 등급의 CuSO₄·5H₂O 를 사용하여 포화용액을 유지하도록 제조하였다. 영구적으로 사용하기 위하여 제작된 포화황산동 기준전극은 포화황산동 용액 형태가 아닌 젤 형태로 제작하여 장기간 기준전극의 전위변화가 최소화 되도록 하였다.

포화황산동 기준전극의 전위변화는 온도, 포화황산동 용액의 농도, 구리봉 및 다공성 플러그의 상태에 의해 영향을 받는다. 포화황산동 기준전극은 온도변화에 따라 ~0.9 [mV/℃]로 기준전위가 변화한다고 알려져 있다. 황산동 용액의 농도에 따른 기준전위의 변화는 ~18[mV/decades]이다. 포화황산동 기준전극이 해수와 가까운 지역 또는 염화물들이 많은 토양지역에서 사용될 경우 역확산에 의해 용액이 염화물에 의해 오염될 가능성이 높아진다. 염소이온이 포화황산동 용액에 용해되어 있을 경우 기준전극의 전위에 영향을 미칠 수 있다. 포화황산동 용액에서 염소이온의 농도가 10,000~20,000[ppm]이 되어야 15[mV]의 전위변화가 나타나며 용액이 황산동으로 포화되지 않았을 경우 염소이온의 영향은 점점 더 커지는 것으로 알려져 있다. 염소이온과 황산이온의 비가 ~0.3 또는 0.4를 초과할 경우 기준전극의 전위 안정성을 잃어버리게 되지만 긴 시간이 경과되면 전위가 안정된다. 이 때 측정되는 전위를 포화황산동 기준전위로 환산할 수 있다면 전위 측정에 사용이 가능하지만 용액의 교체가 바람직하다. 황이나 철 이온등과 같은 이온들의 영향은 크지 않으며, 염기도의 변화 역시 기준전위에 미치는 영향은 거의 없는 것으로 나타나고 있다. 그러나 겨울에 충전액에 첨가되는 부동액의 경우 안정화된 후 기준전위가 -15[mV] 상승하는 효과를 나타

낸다.

포화황산동 기준전극의 구리 봉에 형성되는 산화막들이 기준전위에 영향을 줄 수 있지만 산화막들을 제거하면 즉시 원래의 기준전위로 복귀하게 된다. 즉 기준전극을 사용하기 전에 구리봉의 상태를 점검하면 산화막 형성에 의한 기준전위의 편향으로 발생하는 측정오류를 예방할 수 있다. 기준전극의 다공성 플러그가 막혔을 경우 저항이 크게 증가하기 때문에 기준전극으로 역할을 수행할 수 없다. 보통 다공성 플러그가 막히는 경우는 플러그가 건조되어 황산동이 플러그 내에서 결정으로 석출되었을 때 발생하며 이러한 경우, 증류수에 기준전극을 충분히 시간동안 담가두어 원 상태로 회복된 후 사용해야 한다. 토양 환경에서 사용했을 경우 이물질들이 다공성 플러그로 침투하여 막는 경우도 있기 때문에 사용 후 충분히 세척하고 건조되지 않도록 보관한다면 다공성 플러그의 저항 증가로 기준전극의 오동작이 발생하는 원인을 제거할 수 있다.

2.2 기준전극 설계

일반적으로 20년 정도의 수명을 보장하는 반영구적인 기준전극의 설계에 있어 수명기간 내에 측정전위의 안정성, 정확성, 기준전극의 건전성의 유지는 기본적으로 검토하여야 할 항목들이다. 이러한 점을 고려하여 본 연구에서는 전해액을 장기간 보충하지 않아도 되는 젤 형태의 전해액으로 설계하였다. 그러나 용액형태의 전해액보다는 기준전극과 토양사이의 저항증가 문제가 발생할 수 있다. 이 문제점은 (그림 1) 과 같이 다공성 플러그의 표면적을 최대한으로 할 수 있는 원통형으로 설계하였으며, 제원은 <표 1>과 같다. 다공성 세라믹 판은 알루미늄 파우더를 사용하여 제작하였으며, 공극률은 약 35%이고 기공의 크기는 0.1[μ m]이다. 다공성 세라믹 판은 원통형으로 길이는 200[mm], 외경은 25[mm], 두께는 5[mm]인 구조를 가진다. 다공성세라믹판의 기계적 성질을 측정하기 위하여 인스트론 장비를 사용하여 꺾임강도와 압축강도를 측정하였다. 그 결과는 <표 1>에서와 같이 다공성 세라믹 판은 236[kgf]의 힘에서 꺾임 현상에 의해 파단이 발생하였으며 세라믹 판의 압축강도는 1,336[kgf]의 힘에서 파괴가 발생하였다. 기준전극에 사용되는 구리 전극은 직경 6[mm]의 봉으로 설계하였다. 구리봉을 계측기에 연결하기 위한 연결선은 400[Ω] 이상의 고온에서 구리봉에 용접하는 것으로 설계하였다. 이 때 형성된 산화물들을 제거하기 위하여 EDTA 용액에서 약 1시간 정도 세척한 후 200번, 400번, 600번의 사포를 이용하여 표면을 매끈하게 하였다.

<표 1> 영구기준전극의 다공성 세라믹 판의 특성

세라믹 종류	특성	크기	기계적 성질
α -Al ₂ O ₃	Porosity: ~ 35[%] Pore Size: 0.1[μ m]	길이:200[mm] 외경:~33[mm] 두께:~5[mm]	꺾임강도: 236[kgf] 압축강도: 1,336[kgf]

2.3 성능 시험 결과

완성된 기준전극을 증류수에 담가 다공성 플러그가 충분히 젖을 때까지 기다린다. 기준전위 값이 알려진 기준전극 (상용제품으로 Calomel 또는 Ag/AgCl 기준전극)을 이용하여 제작된 전극의 전위차를 측정한다. 상용 Ag/AgCl 기준전극으로 측정했을 경우 전위차가 120[mV]의 전위차가 측정되면 정상적으로 제작된 포화황산동 기준전극이 된다. Calomel 전극에 대한 상대적인 전

위를 측정하였을 경우 약 80[mV]의 전위차를 보여야 한다.

본 연구에서는 제작된 두 개의 기준전극 시제품과 이미 상용화 되어 널리 사용되고 있는 Stelth 기준전극을 수돗물에서 Calomel 기준전극을 사용하여 전위차를 측정하였다. 그 결과 상용 Stelth 기준전극은 카로멜 기준전극과 53.3[mV]의 전위차를 보였으며 제작된 두개의 시제품 전극들은 각각 56.7[mV]와 56.6[mV]의 전위차를 보였다. 즉, 상용Stelth 기준전극과 개발된 시제품과의 전위차는 각각 3.4[mV]와 3.3[mV]로 측정되었다.

토양에서 Stelth 기준전극과 제작된 두 개의 기준전극을 사용하여 철의 부식전위 측정하였다. 부식전위 측정을 위하여 철은 수돗물에 12시간을 담가두어 자연적으로 산화물이 생성되도록 하였다. 실험실 환경에서 토양에 수분이 충분하도록 만든 후에 측정된 부식전위는 초기에 Stelth 기준전극으로는 -578.4[mV]를 보였으며 두 개의 기준전극에 대해 각각 -581.7[mV]와 -583.4[mV]를 보였다. 즉, 상용Stelth 기준전극과 개발된 시제품과의 전위차는 각각 3.3[mV]와 5.0[mV]로 측정되었다.

전체적으로 상용 기준전극과 개발된 제품과의 전위차는 5[mV] 이하로 측정되어 일반적으로 상용제품간의 전위차도 10[mV] 정도 오차가 발생하는 점을 고려할 때 본 개발제품도 현장에서 사용할 수 있는 제품으로 평가되었다.

3. 결 론

본 연구에서는 반영구적인 지중 매설형 기준전극을 개발함으로써, 실시간 원격 부식감시시스템의 매우 중요한 입력센서 개발의 어려움을 해결하였다. 즉, 실시간 원격 감시시스템의 현장 적용을 위해서는 장기적으로 지중에 매설되어 있어도 성능 변화가 없는 반영구적인 기준전극이 필수적인데, 이러한 문제점을 본 제품개발로 해결하였다. 성능 검증 결과, 상용 제품과도 성능면에서 뒤떨어지지 않는 것으로 평가되어 관련 산업분야의 산업 발전에 크게 이바지 할 것으로 기대된다.

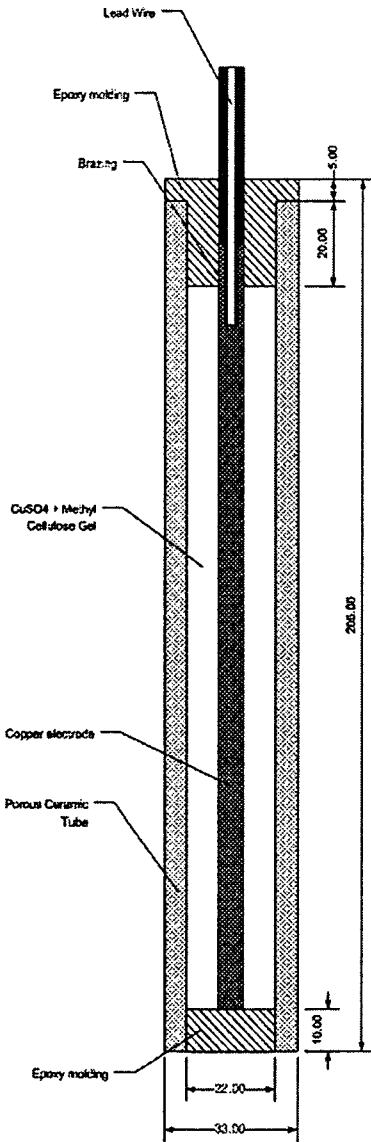
향후 본 기준전극을 현장에 장기간 설치하여 성능 검증 및 보안을 하여 최종적으로 상품화할 예정이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 배정효, 김대경, 하태현, 이현구, 최상봉, 정성환, 김기준, "지중 표유전류 저감 대책에 관한 연구", 대한전기학회 학회 학술대회 논문집, 1998.
- [2] "음극방식시스템의 전망, 전류분포 연구" 한국가스공사, 1995. 5
- [3] "지중 POE 케이블 부식방지에 관한 연구" 한국전력공사 기술연구원, 1989.12
- [4] 전식방지연구위원회, "신판 전식, 토양부식해독", 전기학회, 1988.
- [5] "부식과 방식기술(기초과정I,II)" 한국건설방식기술연구소,
- [6] "전기방식 경질 전단 용역(1)", 한국가스공사, 1996. 3
- [7] R. Srinivasant, J.C. Murphy, "Fundamental Advances for Characterizing Cathodic Protection Systems", GRI-92/0630, 1962.
- [8] A.A. Sauges, et al., "Characterization of a solid reference electrode for corrosion measurements of steel in concrete", Proceedings of the first Mexican Symposium on Metallic Corrosion, 7-11 March, 1994, pp.43-52.
- [9] S.J. Pawel, R.J. Lopez, E. Ondak, "Chemical and environmental influences on copper/copper sulfate reference electrode half cell potential", Materials Performance, May, 1998, pp.24-29.
- [10] Michael J.Szeliga, 외 2명 "Stray Current Control

Washington Metropolitan Area Transit Authority's A-Route" CCI, 1990.

- [11] H.E. Bomar 외 4명 "Bay Area Rapid Transit System(BART)" Stray Current Corrosion, pp45-174, NACE, 1994.
- [12] Robert J. Wilson 외 2명 "Soild State Solutions to Stray Current Control - Toronto Transit Commission" Stray Current Corrosion, pp231-304, NACE, 1994.
- [13] John Morgan, "Cathodic Protection" NACE, January 1993.
- [14] "Cathodic Protection Interference Training Guide", The Gas Company Bill Graves Local Distribution Services Technical Consultant. Februray 1996.
- [15] DIN 30676: Planung und Anwendung des Kathodischen Korrosionsschutzes fur den Aubenschutz, Ausg. Okt. 1985.



(그림 1) Cu-CuSO4 기준전극의 제작도