

다공성 세라믹( $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ )를 이용한 지중 매설형 기준전극

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

The Development of Buried Type Reference Electrode Using Porous Ceramic( $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ )

Jeong-Hyo Bae, Yoon-Cheol Ha,, Tae-Hyun Ha, Hyun-Goo 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 of buried type reference electrode using porous ceramic( $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ) are presented.

**Keywords** : Ceramic, Electrode, Buried Type, Remote Monitoring, P/S Potential

1. 서 론

최근 성수대교붕괴, 아현동 가스배관 폭발사고, 삼풍백화점 붕괴사고 등의 대형시설물의 안전사고로 인해 국민들의 안전에 대한 관심도가 그 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.[1]~[5] 즉, 지하 금속구조물의 부식은 가스폭발사고, 기름유출로 인한 환경오염 및 누수로 인한 식수부족 등의 막대한 경제적인 손실을 초래하므로 시설물관리에 철저히 하고 있는 실정이다.[6]

한편, 전기방식설비를 채택한 시설물 소유자들은 안정적으로 시설물을 유지하기를 원하지만 외부로부터 예상치 않은 누설전류(Stray Current)에 의한 간섭이 발생하여 유지·점검에 상당한 애로를 겪고 있다.[7][8] 현재 시설물 소유자들은 막대한 예산을 들여 지하배관의 부식에 대한 안전성을 판대지 전위를 측정함으로써 관리하고 있으며, 도심지 도로위에 설치되어 있는 Test Box(측정단자함)(평균 약3,000개/1개사)에서 점검원들이 수작업으로 수행하고 있어, 교통혼잡(주간 측정 시간 : 약30분/1개소당)을 초래하거나 야간 측정시에는 점검원들의 생명까지 위협하고 있다.

따라서 본 논문에서는 이러한 지하철에 의한 누설전류의 유무를 자동으로 감지할 수 있고, 가스배관의 부식유무를 감지할 수 있는 실시간 무선 원격 감시시스템에 필수적인 지중 매설형 기준전극 개발에 대한 결과를 소개하며, 특히 다공성 세라믹( $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ,  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ )을 이용한 반영구적인 황산동 기준전극(CuCu/SO<sub>4</sub>)을 실험실 실험조의 토양에 직접 매설하여 약 60일 동안의 장기적인 특성 검증 실험결과를 소개하고자한다.

2. 본 론

2.1 황산동기준전극(Cu/CuSO<sub>4</sub>)의 개요

지중에 매설되어 있는 금속구조물의 전위를 측정하기 위해 가장 많이 사용되고 있는 기준전극은 포화황산동 기준전극(Cu/CuSO<sub>4</sub>)이 주로 사용된다. 포화황산동 기준전극의 기준전위는 다음의 반응식으로부터 계산된다.[9][10]



이 반응에 대하여 (식 2)와 같이 Nernst 방정식을 이용하면 포화황산동 기준전극의 기준전위는 다음과 같이 계산할 수 있다.5)

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

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

여기에서, 기준반응의 표준전극전위  $E^0$ 는 25℃ 1기압의 환경에서 +0.337V 이므로 황산동 전극의 전위는 다음과 같이 계산할 수 있다.

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

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 감싼 상태에서 유지하며, 기준전극에 충전하는 포화황산동 용액은 시약 등급의  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  를 사용하여 <표 1>에 보인 용해도를 기준으로 포화용액을 유지하도록 제조하였다. 영구적으로 사용하기 위하여 제작된 포화황산동 기준전극은 포화황산동 용액 형태가 아닌 젤 형태로 제작하여 장기간 기준전극의 전위변화가 최소화 되

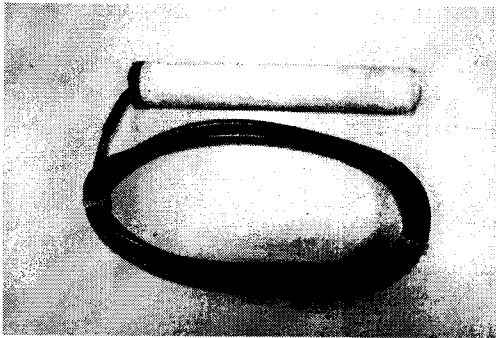
도록 하였다.

<표 1> 황산동의 용해도(gram solute/100 gram water)

온도 [°C]	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
황산 동	14.3	17.4	20.7	24.2	28.7	33.8	40.0	47.0	56.0	67.5	80

## 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 최대로 할 수 있는 원통형으로 설계하였으며, 재료는 <표 2>와 같다. 다공성 세라믹 관은 알루미늄이 파우더를 사용하여 제작하였으며, 공극률은 약 35%이고 기공의 크기는 0.1[ $\mu$ m]이다. 다공성 세라믹 관은 원통형으로 길이는 200[mm], 외경은 25[mm], 두께는 5[mm]인 구조를 가진다.



(그림 1) 다공성 세라믹형 매설형 기준전극

<표 2> 영구기준전극의 다공성 세라믹 관의 특성

세라믹 종류	특성	크기	기계적 성질
$\alpha$ - $Al_2O_3$	Porosity: ~ 35[%] Pore Size: 0.1[ $\mu$ m]	길이:200[mm] 외경:~33[mm] 두께:~5[mm]	격임강도: 236[kgf] 압축강도: 1,336[kgf]

## 2.3 성능 시험 결과

본 기준전극을 제작 한 후, 1차적으로 임시적으로 성능 시험을 한 결과, 다음과 같이 측정되었다. 즉, 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 기준전

극과 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.[11]

그리고 토양에서도 임시적으로 철을 묻어 상용 Stelth 기준전극과 제작된 두 개의 기준전극을 사용하여 철의 부식전위 측정하였다. 그 결과 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.[11]

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

본 연구에서는 (그림 2)와 같이 실험실 실험조의 토양에 직접 매설하여 기준전극의 성능실험을 약 60일 간 장기간 수행하였다. 그 결과 (그림 3)에서 보인 바와 같이 기준전극 사이의 전위차는 약 -0.06 mV로 일정하게 유지됨을 확인할 수 있었다. 철 시편에 대한 부식전위의 측정은 (그림 4)에서 보인 바와 같다. 부식전위를 측정하는 환경이 실험실 내부 환경이었기 때문에 시간에 대해 부식전위 측정을 위한 토양 환경의 수분이 증발하는 경향을 보이며 이에 따라 부식전위가 상승함을 보이고 있다. 이 때 기준전극들에 대해 측정된 철의 부식전위들 사이의 차는 (그림 5)에서 보인 바와 같다. (그림 6)에서 볼 수 있는 바와 같이 상용기준전극에 대해 측정된 부식전위에 대한 오차는  $\pm$ 1[mV] 이내에 있음을 알 수 있다.

따라서 1차적으로 단기간 측정시에 오차가  $\pm$ 5[mV] 발생하였으나, 약 60일간 장기적으로 실험한 결과, 오차가  $\pm$ 1[mV] 이내로 줄어들어 안정화 됨을 확인하였다.

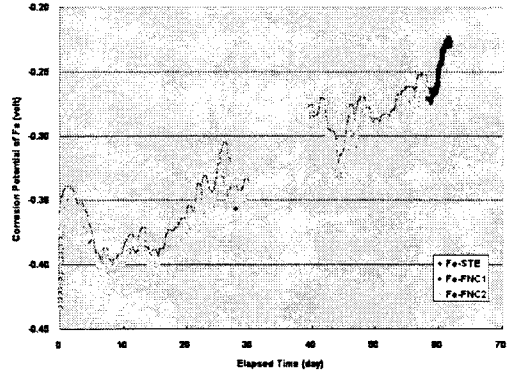
## 3. 결 론

본 연구에서는 다공성 세라믹을 이용한 지중 매설형 황산동 기준전극을 비교적 장기간인 60일간 성능평가실험을 수행 하였다. 그 결과, 상용제품에 성능이 뒤떨어지지 않는 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 성능 면에서 뒤떨어지지 않는 것으로 평가되어 관련 산업분야의 산업 발전에 크게 이바지 할 것으로 기대된다.

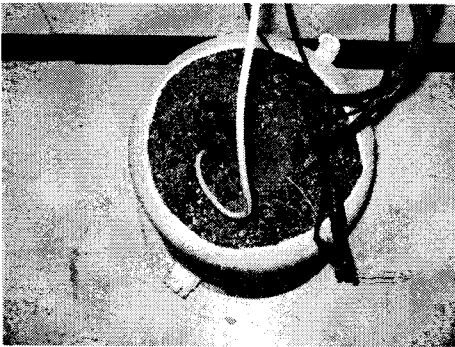
## [참 고 문 헌]

- [1] "음극방식시스템의 전압, 전류분포 연구" 한국가공공사, 1995. 5
- [2] 전석방지연구위원회, "신판 전식, 토양부식핸드북", 전기학회, 1988.
- [3] "부식과 방식기술(기초과정I,II)" 한국건설방식기술연구소,
- [4] R. Srinivasant, J.C. Murphy, "Fundamental Advances for Characterizing Cathodic Protection Systems", GRI-92/0630, 1962.

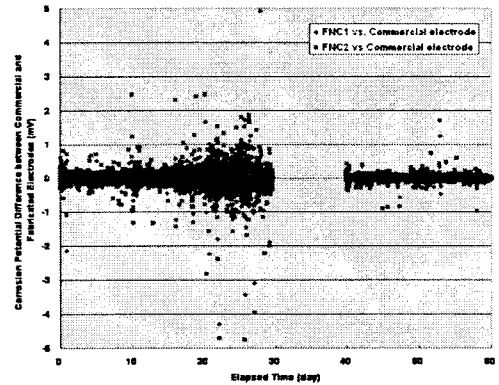
- [5] John Morgan, "Cathodic Protection" NACE, January 1993.
- [6] "전기방식 경밀 진단 용역(1)", 한국가스공사, 1996. 3
- [7] Michael J.Szeliga, 외 2명 "Stray Current Control Washington Metropolitan Area Transit Authority's A Route" CCI, 1990.
- [8] "Cathodic Protection Interference Training Guide", The Gas Company Bill Graves Local Distribution Services Technical Consultant. February 1996.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 배정효, 하윤철, 하태현, 이현구, 김대경 "지하철 누설전류의 실시간 무선 원격 감시 시스템용 매설형 기준전극", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, 2005.



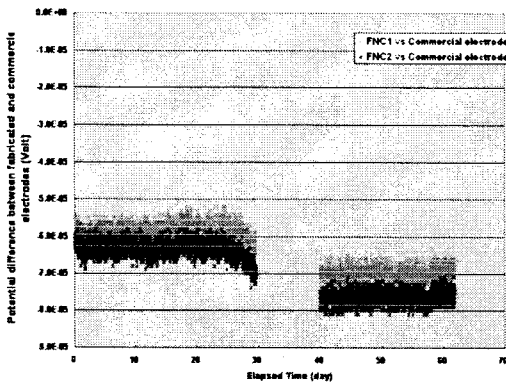
(그림 4) 철의 부식전위 그래프(상용기준전극, 본 제품)



(그림 2) 장기간 실험실 실험조의 토양에 매설하여 기준전극의 성능실험을 하고 있는 장면



(그림 5) 철의 부식전위차 그래프(상용기준전극 - 본 제품)



(그림 3) 기준전극 사이의 전위차 그래프(상용기준전극 - 본 제품)