

## 누설전류에서 희생양극법을 이용한 전식 방지에 대한 연구

(A Study on the Prevention of the Electric Corrosion by Leakage Current using the Life of Sacrificial Anode Method)

유해철\* · 최홍규\*\*

(Hai-Chool Yoo · Hong-Kyoo Choi)

### 요 약

최근 전력구동 수송수단의 보편화로 그 주변에서 발생하는 누설전류로 인한 지하 금속매설물의 전기부식 문제의 심각성이 대두되고 있다. 본 논문에서는 전식에 대한 이론적인 개념과 구체적인 현상을 확인하고 전력구동 수송시스템에서 전식을 최소화할 수 있는 전기화학적 방안에 대하여 연구하였다.

### Abstract

Recently, since the prevalence of electric driving transfer system arouse the electric corrosion of neighboring underground metal establishment, the problems caused by that kind of electric corrosion became very serious. In this paper, we studied about a theoretical concept and concrete concepts of electric corrosion and tried suggested an optimistic chemico-electrical measures on the electric corrosion of underground metal establishments.

Key Words : Electric Corrosion, Optimistic Chemico-Electrical Measures,  
Underground Metal Establishments

### 1. 서 론

전력구동 수송수단의 보편화로 그 주변에 발생하는 누설전류에 의한 지하 금속매설물의 부식이 날로 심해지고 있다. 따라서 본 논문에서는 전식에 대한 이론적인 개념과 구체적인 현상을 정립하고 도시철도 및 경량전철 건설단계에서 전식을 우선적으로 자체 최소화할 수 있는 화학적 방안을 제시하여, 전식대책과 관련하여 건설단계에서 반드시 수행하여야 할 업무에 대하여 논하고자 한다.

---

\* 주저자 : 홍익대학교 전기공학과 박사과정  
\*\* 교신저자 : 홍익대학교 전기공학과 교수  
Tel : 041-860-2510, Fax : 041-863-7605  
E-mail : yhc3428@paran.com  
접수일자 : 2010년 2월 17일  
1차심사 : 2010년 2월 18일  
심사완료 : 2010년 4월 28일

## 2. 본 론

### 2.1 전기부식(電氣腐蝕)

#### 2.1.1 전식(電蝕)의 정의

전식이란 물이나 토양과 같은 전해질 속의 금속이 전류의 흐름으로 이온화하여 소모되는 현상으로서 파라데이 법칙(Faraday's Law)에 따라 1 파라데이의 전류(96,500[coul])가 흐를 때 1[g] 당량의 금속이 이온화하여 떨어져 나가는 것을 말한다. 이 전식은 보통 직류(DC)일 때 잘 일어난다.

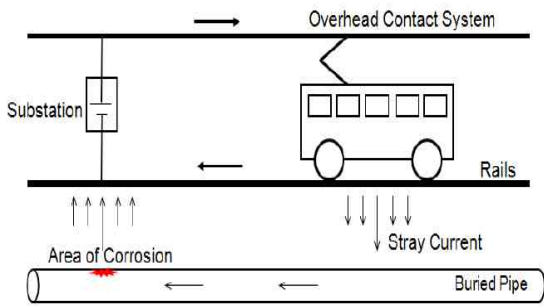


그림 1. 매설배관의 미주전류부식  
Fig. 1. The stray current corrosion of Buried Pipeline

전식의 종류에는 직류전원에 의한 부식과, 교류전원에 의한 부식으로 구분되며, 그림 1은 전기철도에서 발생할 수 있는 부식을 나타낸 것이다. 레일로부터 흘러나온 누설전류가 저항률이 적은 콘크리트에 유입되어 철근에 닿게 되면 철근은 음극화되며 알카리가 생성됨으로써 철근과 콘크리트간의 접착력이 저하되고 반대로 유입된 전류가 유출되는 곳에서는 전식이 발생한다[1].

### 2.2 전식방지법

#### 2.2.1 전식방식의 방법

##### (1) 희생양극법(Sacrificial Anode Method)

지하 매설금속이 주변물질보다 활동도 서열(이온화

서열)이 보편적으로 높기 때문에 부식이 발생하며 이 부식을 주변 누설전류에 의해 가속화 되며 이를 전식이라 한다[2]. 그러므로 지하 매설 금속 시설물보다 활동도 서열이 높은 금속을 인위적으로 매설물에 연결하여 그 금속들이 매설물 표면에 증착시켜 전식을 억제하는 방법이다.

희생양극법은 다른 전식방지법(외부전원법, 배류법 등)에 비해 설치 방법이 간단하고, 설치비용이 낮은 장점이 있어 다른 전식방지 대책에 비해 활용도가 높다. 따라서 본 논문에서는 희생양극법을 적용해 전식 방지 실험을 하였다.

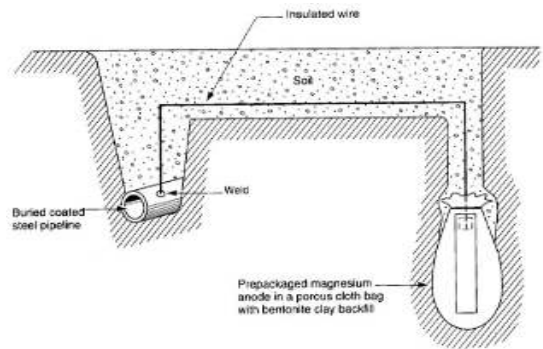


그림 2. 희생양극식 설치도  
Fig. 2. The design of the Sacrificial Anode Method

##### (2) 외부전원법(Impressed Current Method)

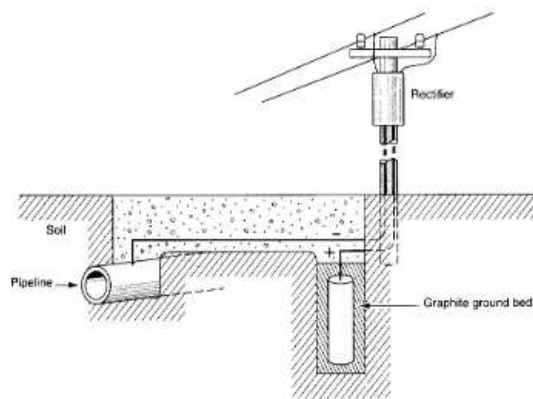


그림 3. 외부전원식 설치도  
Fig. 3. The design of the external electric type

금속의 표면에서 전류가 방출되면 부식하고, 전류를 흡수하면 방식이 되므로 부식성이 적은 금속을 직류 전원의 [+]극, 피방식체를 직류전원극에 연결하여 강제적으로 전류를 흐르게 하여 방식하는 방법이다[3].

### (3) 배류법

지하배관에 제2의 전류가 유입되어 관을 따라 어느 곳에선가 다시 유출될 때 유입부는 보호(방식)되지만 유출부에서 심한 부식(전식)을 당하게 된다. 이때 전류 유출부에 전기적 회로를 인위적으로 구성하여 미아가 된 전류를 되돌아가고자 하는 곳으로 안전하게 보내줌으로서 전식을 방지하는 방법이다[4].

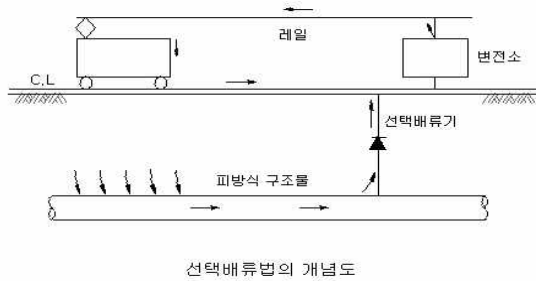


그림 4. 배류법의 개념도  
Fig. 4. Stray current drainage system

## 2.3 실험재료

희생양극법의 효과를 증명하기 위한 실험재료를 나타내면 다음과 같다. 수조, 강철판, 알루미늄 판, 아연 판, 구리판, 강관, 알루미늄 망, 전류발생장치, 버니어 캘리퍼스, 전자식 저울, 염화나트륨, 수산화나트륨, 토양진흙

## 2.4 실험방법 및 결과

### 2.4.1 강철판의 자연 부식 측정

- (1) 수조에 물은 담은 후 염화나트륨을 사용하여 5% 전해질 용액을 만든다.
- (2) 강철판 외부코팅을 사포로 갈아낸다.
- (3) 강철판을 전해질 용액에 담근 후 24시간 동안 부식의 정도를 측정한다.

표 1. 자연부식실험의 실험환경  
Table 1. The experiment conditions of spontaneous corrosion

사각수조 (39.5[cm]×24.5[cm])	
물의 높이	9.6[cm]
부 피	9,290.4[mℓ]
물의 무게	8,999.61[g]
NaCl 무게	500.38[g]
NaCl 함량	5.267163[%]

자연부식의 실험은 전기발생장치와 강철에 둘러싸여 있는 망을 제거한 상태에서 진행된다.

위와 같은 환경에서 24시간동안 5개의 강철판을 이용하여 부식을 측정된 결과는 다음 표 2와 같다.

표 2. 강철판의 자연부식 실험 결과 평균값  
Table 2. The average output of steel sheet's spontaneous corrosion

철(Fe)판	실험 전	실험 후		
		위쪽	아래쪽	평균
무 게	110.18[g]	110.16[g]		
세 로	100.25[mm]	100.12[mm]		
가 로	30.12[mm]	30.01[mm]	29.91[mm]	29.96[mm]
두 께	4.72[mm]	4.67[mm]	4.65[mm]	4.66[mm]
담 금 길 이	81.11[mm]	81.11[mm]		

전해질 내에서 전기가 통하지 않은 강철의 자연부식으로 인한 변화는 매우 작다. 강철판은 5[%] NaCl 전해질 속에서 평균  $4.9319 \times 10^{-3} [g/m^2day]$ 의 속도로 부식되었으며, 부식의 속도가 일정하다고 가정할 경우 자연부식으로 인해 강철판이 소멸하는데 까지 걸리는 시간은 약 132,221시간이며, 5,509일 정도이다.

### 2.4.2 전기의 강철판 부식에 대한 영향도 측정

- (1) 위 실험과 똑같은 환경에서 양극전선에 강철판을 연결한다.
- (2) 강철판을 전해질 용액에 담근 후 전기를 일정하게 흘려 보내어 24시간 동안 부식의 정도를 측정한다.

누설전류에서 희생양극법을 이용한 전식 방지에 대한 연구

(3) 24시간동안 부식의 정도를 측정한다. 강철판에 흐르는 전압과 전류는 다음과 같다.

표 3. 강철판에 흐르는 전압과 전류  
Table 3. The voltage and current of the steel sheet

	실험 전	실험 후
전 압	5.9[V]	5.9[V]
전 류	1[A]	1.1[A]

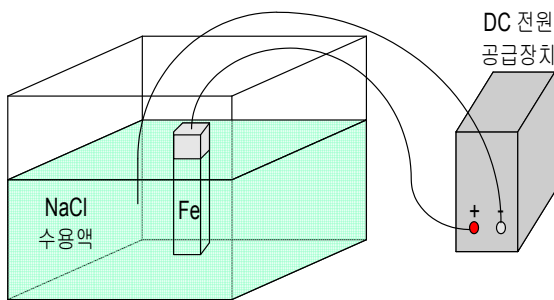


그림 5. 강철에 대한 전기부식실험  
Fig. 5. The corrosion of the steel sheet by electricity

표 4. 전기가 강철의 부식에 미치는 영향(5개의 강철판에 대한 평균값)  
Table 4. An influence of steel sheet corrosion by electricity (An average value of 5 steel sheet)

철(Fe)판	실험 전	실험 후		
		위쪽	아래쪽	평균
무 게	110.74[g]	83.43[g]		
세 로	100.09[mm]	98.4[mm]		
가 로	30.02[mm]	28.40[mm]	26.94[mm]	27.67[mm]
두 게	4.73[mm]	4.72[mm]	3.32[mm]	4.02[mm]
담 금 길 이	80.72[mm]	78.67[mm]		

위의 표 4에서 보는바와 같이 자연부식일 때 보다 전기를 강철에 흘렸을 때의 부식의 정도가 훨씬 심하다는 것을 눈으로도 쉽게 알 수 있다.

위 실험에서는 전기를 흘려 보내자마자 강철에서 산화가 시작 되었으며, 24시간 후에는 산화의 정도가 심하여 전해질의 색깔이 황녹색으로 변해 있음을 확인

할 수 있었다. 강철판은 시간이 꽤 오래 지난 후에 산화철이 강철판을 둘러싸고 있었으며, 전류의 변화는 1.0[A]에서 1.1[A]로 변했다.



그림 6. 24시간 후 강철의 산화된 모습  
Fig. 6. The corroded appearance of steel sheet after 24hours

자연부식에서는 부식의 속도가 일정하다는 가정을 하였으나 실제로는 강철판은 부식이 이루어질수록 전류가 더 잘 통하여 부식의 속도를 촉진시킬 수 있다는 예상도 해볼 수 있다. 강철에 전기를 흘려 보냈을 때의 부식의 속도가 일정하다고 가정했을 때 6.7294[g/m<sup>2</sup>day]의 속도로 부식이 이루어지며, 약 97.3시간 후에는 강철판이 부식으로 인하여 모두 없어진다. 이는 자연부식에 약 1364배에 해당하는 속도로서 우리는 위 두 실험을 근거로 하여 강철판에 전기를 흘려 보냈을 때, 부식의 속도가 현저하게 증가함을 확인할 수 있다. 따라서 누설전류가 흐르는 매설 강관이 누설전류가 흐르지 않는 매설 강관보다 부식의 속도가 현저하게 빠름을 예상할 수 있으며, 특히 현재 운용되고 있는 KTX는 일반 전철보다 높은 전류와 전압이 흐르고 있으므로 자연부식에 비교되는 부식의 속도는 위의 실험에서 얻어진 속도보다 더 빠를 것이라 예상된다.

#### 2.4.3 알루미늄 판을 이용한 희생양극법의 효과도 측정

- (1) 위 두 실험과 똑같은 환경에서 양극전선에 강철판과 알루미늄 판을 직렬로 연결한다.
- (2) 두 개의 판을 전해질 용액에 담근 후 24시간 동안 부식의 정도를 측정한다.
- (3) 전압을 다르게 하여 위의 방법을 반복한다.
- (4) 실험결과를 근거로 전압과 전류가 부식에 미치는 영향을 살펴본다.

(5) 희생양극을 병렬로 연결하여 직렬과의 효율성을 비교한다.

표 5. 알루미늄을 이용한 희생양극법 실험환경  
Table 5. The experiment conditions of the Sacrificial Anode Method using for aluminum

사각수조(39.5[cm]×24.5[cm])	
물의 높이	9.6[cm]
부피	9,290.4[mℓ]
물의 무게	8,999.61[g]
NaCl 무게	500.43[g]
NaCl 함량	5.267662[%]

표 6. 알루미늄을 이용한 희생양극법에서 전압, 전류 변화  
Table 6. The changing of voltage and current in the Sacrificial Anode Method for the aluminum

		실험 전	실험 후
전압		5.9[V]	5.9[V]
전류	Fe	1.05[A]	
	Fe+Al	1.24[A]	1.31[A]

전압과 전류는 철에 알루미늄을 연결하기 전과 후의 전류를 따로 측정하였다. 따로 측정한 결과 철에 알루미늄을 연결할 때는 전류에 대한 저항도가 감소하여 전류가 더 잘 통하는 것을 볼 수 있었다. 또한 24시간 후에는 전류가 1.25[A]에서 1.35[A]로 증가 하였으며 전압은 그대로 유지 되었다. 또한 알루미늄 주위로 산화된 물질이 더 많이 생성 되었으며 산화의 정도가 더 심했다.

알루미늄을 연결하였을 때가 연결하지 않았을 때 보다 철의 무게가 15.92[g] 덜 감소했으며, 알루미늄을 연결하지 않았을 때의 철의 부식속도는 6.7294[g/m<sup>2</sup>day] 인 반면에 알루미늄을 연결 하고 나서의 철의 부식속도는 2.8054[g/m<sup>2</sup>day]로 알루미늄을 연결했을 때의 부식속도가 연결하지 않았을 때 보다 무려 2.3987배 느림을 알 수 있다. 따라서 알루미늄의 양이 무한정이라 가정 했을 때 철이 부식으로 인해서 완전히 소멸되는 시간은 약 233.1시간정도로 예상할 수 있다.

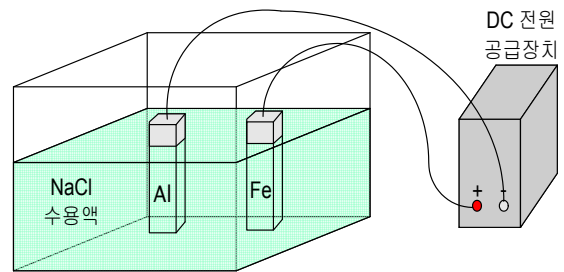


그림 7. 알루미늄을 이용한 희생양극법 효과 측정 실험  
Fig. 7. The effect of the Sacrificial Anode Method for the aluminum

표 7. 희생양극법 실험 후 강철판의 변화  
Table 7. The changing of the steel sheet after the Sacrificial Anode Method

철(Fe)판	실험 전	실험 후		
		위쪽	아래쪽	평균
무게	110.5[g]	99.11[g]		
세로	100.01[mm]	99.13[mm]		
가로	29.98[mm]	29.51[mm]	28.59[mm]	29.05[mm]
두께	4.61[mm]	4.57[mm]	3.77[mm]	4.17[mm]
담금 길이	80.01[mm]	79.11[mm]		

표 8. 희생양극법 실험 후 알루미늄판의 변화  
Table 8. The changing of the aluminum sheet after the Sacrificial Anode Method

알루미늄(Al)판	실험 전	실험 후		
		위쪽	아래쪽	평균
무게	39.54[g]	31.61[g]		
세로	100.20[mm]	98.93[mm]		
가로	29.9[mm]	28.43[mm]	26.40[mm]	27.42[mm]
두께	4.87[mm]	3.87[mm]	3.51[mm]	3.69[mm]
담금 길이	80.02[mm]	78.93[mm]		

전압이 부식에 어떠한 영향을 미치는지 알아보기 위하여 전압을 앞 실험 보다 3[V] 정도 더 올려서 실험 하였다.

이 실험도 전압을 일정하게 유지되는 상태에서 24시간 후에는 전류가 1[A]정도 더 올라 갔다. 앞의 강철판에만 전기를 흐르게 하는 실험에서 부식의 정도가 높아질수록 전류가 더 잘 통하게 되었던 것처럼 희생

양극법을 이용해도 부식이 이루어질수록 전류가 더 잘 통한다는 성질은 동일하다. 하지만 이 실험에서는 전압이 더 높아짐에 따라 철의 부식도 더 많이 이루어진다는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 부식은 전류와 전압에 둘 다 영향을 받는다는 것을 확인할 수 있었다.



그림 8. 24시간 후 철과 알루미늄  
Fig. 8. The appearance of steel sheet and aluminum after 24hours



그림 9. 알루미늄을 연결하지 않았을 때의 강철판과 비교  
Fig. 9. The steel sheet comparison between non-connecting and connecting aluminum

표 9. 전압을 더 올린 상태에서의 실험  
Table 9. The experiment after the voltage increases

		실험 전	실험 후
전 압		8.7[V]	8.7[V]
전 류	Fe	1[A]	
	Fe+Al	1.25[A]	1.35[A]

### 3. 결 론

본 논문에서는 철도 주변 지하 매설물의 부식을 지연 시키고자 희생양극법을 이용한 실험을 하였다. 실험 초기에는 양극으로 사용할 비철금속을 아연과 알

루미늄 두 가지를 가지고 실험하였다. 아연과 알루미늄 둘 다 철보다 이온화 경향이 커서 양극으로 적합하다고 판단하였다. 그러나 알루미늄이 아연보다 단가가 낮고 이온화경향도 앞서 반응이 잘 일어나므로 알루미늄을 양극으로 선택하였다. 실험이 소규모로 이루어졌으나 이를 좀 더 확장하여 철도 주변 수도관이나 가스관 등 지하 매설물의 일정 구간에 희생양극법을 사용하여 알루미늄을 연결함으로써 지하 매설물의 부식을 지연시킬 수 있다. 지하매설물을 스테인리스와 같은 재질로 대체하면 보다 효율적일 수 있으나 비용이나 교체의 어려움 등을 고려할 때 현재의 상황에서는 희생양극법을 통한 부식 지연 방법이 가장 적합하다고 본다.

본 연구는 2009학년도 홍익대학교 교내 연구비로 수행되었음.

### References

- [1] 이현구, 하태현, 정호성, 한문섭, 배정호 “도시철도 전식 방지 조사보고 현황” 한국철도학회, 2008.
- [2] 이희준 “2중 스테인리스축 방식용 시계 경량합금재의 실용화 방안 연구” 선박검사기술협회, 2006.
- [3] 이지인 “직류전류에 의한 전식 방지법” 대한전기학회, 1995.
- [4] 한국건설기술연구원 “전식피해와 방지대책” 한국건설기술연구원, 1997.

### ◇ 저자소개 ◇



**유해출** (柳海出)

1947년 9월 4일생. 고려대학교 공학대학원 전기공학과 졸업(석사). 홍익대학교 대학원 전기공학과 박사과정. (사)한국전기철도 기술협력회 기술이사. 우송대학교 철도 전기신호학과 초빙교수.



**최홍규** (崔洪圭)

1950년 1월 7일생. 홍익대학교 전자·전기공학과 교수. 홍익대학교 전기설비연구센터 소장.