

# 전기철도 누설전류의 희생양극법을 이용한 전식 방지에 관한 연구

(A study on the prevention of the electric corrosion by leakage current using the Life of Sacrificial Anode in electric railway)

엄성배\* · 박준열 · 임명환 · 박상욱 · 강아람

Yeom Sung-bae\* · Park Joon-Yeal · Lim myung-hwan · Park Sang-wook · Kang A-ram  
 홍익대학교 · 홍익대학교 · 홍익대학교 · 홍익대학교 · 홍익대학교

## 요 약

최근 KTX의 등장으로 기존에 조금씩 논의 되어오던 누설전류에 의한 전기부식이 전면적으로 등장하고 있다. 대전류를 필요로 하는 KTX의 주변 지하매설물의 부식이 심각한 수준에 이르렀다. 따라서 이에 대한 대책이 시급한 상황이다. 전기부식을 방지하는 방법에는 몇 가지가 대두되고 있으나 경제성과 효율성을 고려하여 희생양극법을 이용하는 방법이 가장 알맞다고 판단한 바 본 논문에서는 이에 대해 기술하였다.

## Abstract

Recently, Since the advent of KTX, the Electric Corrosion by leakage current is on the issue. The corrosion of Underground metal establishment near KTX system causing by its high voltage current become very serious problem. So We must figure for this. For the prevention of corrosion, Many methods is on the discussion. In this paper, We studied the Sacrificial Anode in many methods for its high efficiency.

## 1. 서 론

철도 누설전류에 의한 지하 금속매설물의 부식이 날로 심해지고 있다. 특히 최근 서울과 부산을 잇는 고속철도 KTX가 개통되면서 고전압, 고전류로 인하여 전기부식이 기존보다 빠른 속도로 이루어지고 있다. 본 논문에서는 희생양극법을 이용하여 이온화경향이 큰 금속을 지하 금속매설물에 연결함으로써 누설전류에 의한 전기부식 속도를 지연시키고 지하 금속매설물의 수명을 늘리고자 연구를 하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 전기부식(電氣腐蝕)

#### 2.1.1 전식의 정의

전식이란 물이나 토양과 같은 전해질 속의 금속이 전류의 흐름으로 이온화하여 소모되는 현상으로서 파라데이 법칙(Faraday's Law)에 따라 1파라데이의 전류(96,500 coul)가 흐를 때 1g 당량의 금속이 이온화하여 떨어져 나가는 것을 말한다. 이 전식은 보통 직류(DC)일 때 잘 일어난다.[2]

#### 2.1.2 직류전원을 사용하는 전동차에서의 전식

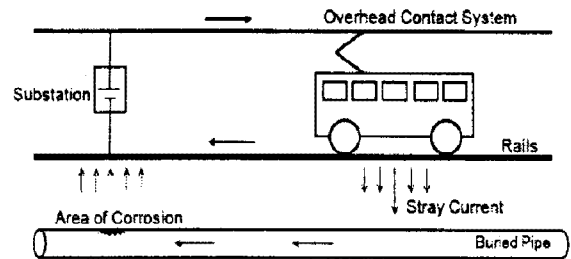


그림 1. 매설배관의 미주전류부식

Fig. 1. the stray current corrosion of Buried Pipeline

가장 현저한 전식의 예는 <그림 1>과 같이 전철궤도에 따라 매설된 가스배관, 유류배관 및 수도관 등에 생기는 부식이다. 국내 전철과 같이 직류전원을 동력원으로 하게 되면 레일을 통해 누설전류(stray current)가 발생하기 마련이다. 이렇게 발생된 누설전류는 레일 주위에 매설된 배관이나 기타 철구조물에 유입되고 다시 변전소에 가까운 쪽에서 유출된다. 이때 전류 유출부에서는 유출 전류량에 비례하여 금속이 이온으로 떨어져 나가며 전식이 발생하게 된다.[1]

2.1.2 궤도주변의 콘크리트 구조물 철근에서의 전식  
 콘크리트는 배합률에 따라 흡습률과 저항률이 차이가

크다. 따라서 레일로부터 흘러나온 누설전류가 저항이 적은 콘크리트에 유입되어 철근에 닿게 되면 철근은 음극화되며 알카리가 생성되므로써 철근과 콘크리트간의 접착력이 저하되고 반대로 유입된 전류가 유출되는 곳에서는 전식이 발생한다.(전철용 터널, 교량, 교각 등에서 철근 손상)[4]

## 2.2 전기부식 방식(防蝕)

### 2.2.1 희생양극법(Sacrificial Anode Method)

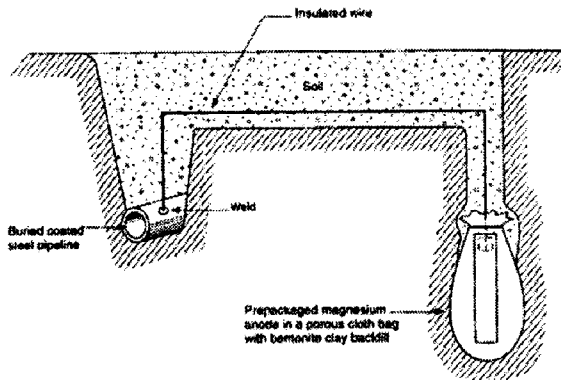


그림 2. 희생양극식 설치도

Fig. 2. the design of the Sacrificial Anode Method

금속이 그 표면의 전위 차이에 의해서 부식을 일으키므로 어떤 금속의 표면에서 가장 부식성이 큰 전위(가장 [-]인 전위)보다 더 [-]인 전위를 가진 금속을 전기적으로 연결하여 부식을 억제하는 방법이다. 이때 전위가 낮은 금속을 양극, 피방식체를 음극이라 한다. 이 방식은 전원이 없어도 되므로 분산 배치가 용이하고 공사비도 싸다는 장점이 있으나 방식출력전류에 제한이 있고 방식 유효 범위가 좁아서 주로 국부 방식에 쓰이므로 방식대상물이 대형인 경우에는 부적합하다. 또한 양극의 지속적 소모로 일정한 수명을 가지므로 수시로 교체해 주어야 하는 등의 단점도 있다.[3]

- ◆ 별도의 외부전원이 필요 없음.
- ◆ 설치가 쉬움.
- ◆ 외부구조물에 대한 간섭의 영향이 작음.
- ◆ 양극의 추가 설치가 쉬움.
- ◆ 유지, 보수가 쉬움.
- ◆ 전류의 분포가 균일.
- ◆ 설치면적을 최소화 할 수 있음.
- ◆ 방식전류를 효과적으로 사용할 수 있음.

표 1. 희생양극법의 장점

Table 1. The Sacrificial Anode Method's good point

- ◆ 기전력이 제한되어 있음.
- ◆ 방식출력전류가 작고, 제한되어 있음.
- ◆ 방식대상물의 코팅이 불량할 경우 양극의 수가 많아짐.
- ◆ 방식대상물이 대형인 경우 부적합.
- ◆ 설치장소의 비저항율이 높은 경우 비효율적.
- ◆ 양극의 지속적인 소모로 일정시간 사용 후 수시로 교체하여야 함.

표 2. 희생양극법의 단점

Table 2. The Sacrificial Anode Method's weak point

### 2.2.2 외부 전원법(Impressed Current Method)

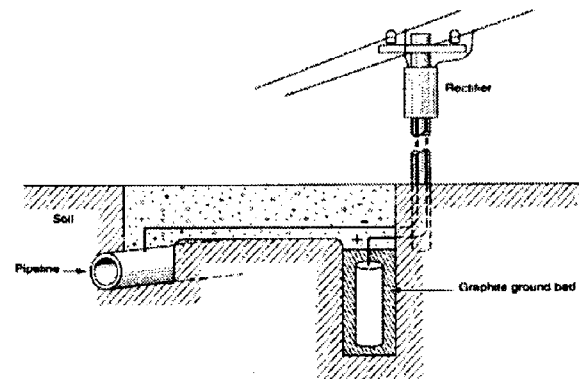


그림 3. 외부전원식 설치도

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. 이 방식은 직류전원설비가 소요되지만 방식효과가 크고 유효범위가 넓다는 장점이 있다. 그러나 한편으로 주위의 다른 매질물에 간섭에 의한 전식을 일으킬 수 있으므로 도심 지역에서는 적용에 주의로 요한다.[3]

- ◆ 전압 및 전류의 범위가 넓음.
- ◆ 하나의 양극으로도 전류출력이 큼.
- ◆ 방식범위가 넓음.
- ◆ 전압, 전류의 출력조건 조정 가능.
- ◆ 비저항이 높은 지역에서도 적용 가능.
- ◆ 코팅이 불량한 구조물에도 적용 가능..
- ◆ 단위전류 당 경비가 적음

표 3. 외부전원법의 장점

Table 3. the external electric method's good point

- ◆ 외부구조물에 간섭의 영향을 미치지 쉬움
- ◆ 외부전원 상실의 경우 미 방식 상태가 됨.
- ◆ 주기적인 유지, 보수가 필요.
- ◆ 외부전원이 필요.
- ◆ 과방식의 우려가 있음.
- ◆ 전력요금이 소모.

표 4. 외부전원법의 단점

Table 4. the external electric method's weak point

### 2.2.3 배류법

배류법이란 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 방법으로 선택배류법 및 강제배류법의 두 가지 방법이 있다.[3]

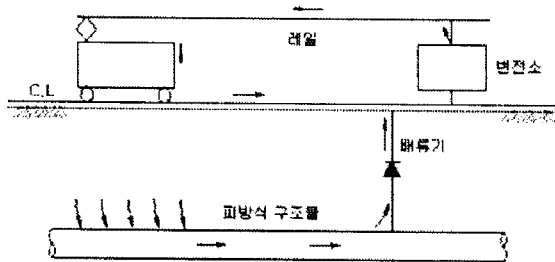


그림 4. 배류법의 개념도

Fig. 4. Stray current drainage system

### 2.3 전기가 부식을 일으키는 정도 측정

이온화경향을 바탕으로 하여 2.2.2에 나온 희생양극법 실험을 하였다. 철(Fe) 보다 이온화경향이 큰 금속 중 경제성을 고려하여 알루미늄(Al)을 희생양극으로 택하였으며 전해질로는 NaCl을 사용하여 전기가 잘 통하게 하였다. 빠른 결과를 위하여 철(Fe)과 알루미늄(Al)에 직접 전기를 흘려보내 24시간씩 5회 관찰하였다.

#### 2.3.1 전기에 의한 강철의 부식 영향도

전기 자체가 강철에 미치는 영향을 알아보기 위하여 (+)극에 강철판과 강철관을 연결하고 전기를 흘려보내 무게를 측정함으로써 부식 정도를 측정하였다.

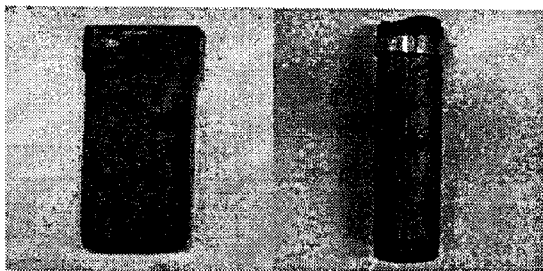


그림 5. 강철판과 강철관의 부식정도  
Fig. 5. Steel sheet and pipe's degree of Rust Condition

| 횟수 | 강철판     |        | 강철관     |         |
|----|---------|--------|---------|---------|
|    | 실험전     | 실험후    | 실험전     | 실험후     |
| 1회 | 110.74g | 83.43g | 283.43g | 236.17g |
| 2회 | 111.12g | 85.25g | 282.85g | 232.10g |
| 3회 | 110.54g | 80.21g | 286.21g | 223.42g |
| 4회 | 109.84g | 81.43g | 279.45g | 231.23g |
| 5회 | 110.51g | 86.45g | 280.62g | 240.51g |
| 평균 | 110.55g | 83.35g | 282.51g | 232.69  |

표 5. 강철판과 강철관의 무게변화

Table 5. Weight Change of the Steel sheet and pipe

### 2.3.2 강철 판에 알루미늄 판 연결

강철판에 희생양극으로 알루미늄판을 연결하여 그 변화를 살펴보았다.

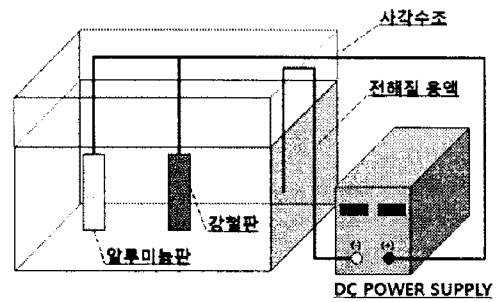


그림 6. 강철판과 알루미늄판 희생양극 실험 장치도  
Fig. 6. Sacrificial Anode Method of Steel sheet and Aluminum sheet

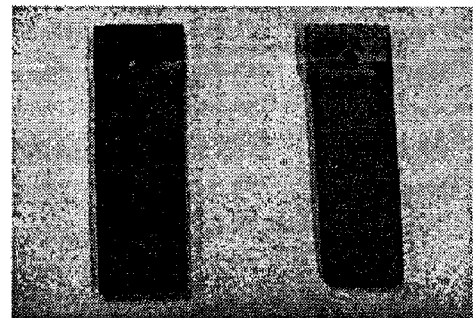


그림 7. 철판(좌)과 알루미늄판(우)의 부식  
Fig. 7. The corrosion of the steel and aluminum sheet

| 횟수 | 강철판     |        | 알루미늄판  |        |
|----|---------|--------|--------|--------|
|    | 실험전     | 실험후    | 실험전    | 실험후    |
| 1회 | 110.50g | 99.11g | 39.54g | 31.61g |
| 2회 | 109.34g | 96.89g | 40.12g | 33.54g |
| 3회 | 110.23g | 98.53g | 39.23g | 29.12g |
| 4회 | 111.12g | 97.21g | 38.46g | 30.89g |
| 5회 | 110.78g | 98.67g | 40.53g | 32.27g |
| 평균 | 110.39g | 98.08g | 39.58g | 31.49g |

표 6. 강철판과 알루미늄판의 무게변화

Table 6. Weight Change of the steel and aluminum sheet

실험결과 <표 5>의 강철판과 <표 6>의 강철판의 평균값의 비교하여 보았을 때, 희생양극으로 알루미늄을 사용하였을 경우 약 15g 정도 강철판의 부식이 덜 일어났다. 이는 <그림 8>에서 보이듯이 육안으로도 그 변화가 확인될 정도이다.

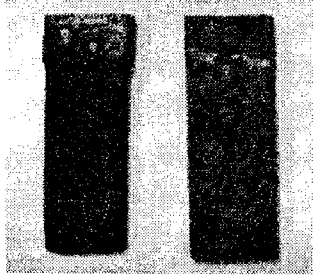


그림 8. 희생양극 사용 강철판(우)과 비사용 강철판(좌)  
Fig. 8. Steel sheet Using the Sacrificial Anode Method(right) Steel sheet non-Using the Sacrificial Anode Method(left)

### 2.3.2 강철관에 알루미늄망 연결

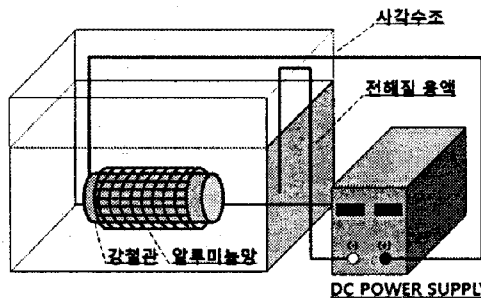


그림 9. 강철관과 알루미늄망 희생양극 실험 장치도  
Fig. 9. Sacrificial Anode Method of Steel pipe and Aluminum net

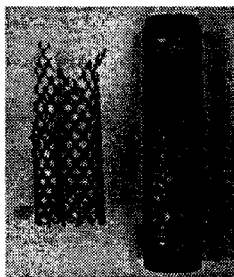


그림 10. 강철관(우)과 알루미늄망(좌)의 부식  
Fig. 10. The corrosion of the steel pipe and aluminum net  
강철관에 희생양극으로 알루미늄망을 관 주위에 감싸 그 변화를 살펴보았다.

| 횟수 | 강철관     |         |
|----|---------|---------|
|    | 실험전     | 실험후     |
| 1회 | 278.84g | 248.89g |
| 2회 | 286.23g | 251.17g |
| 3회 | 281.15g | 246.43g |
| 4회 | 279.42g | 249.26g |
| 5회 | 283.16g | 255.31g |
| 평균 | 281.76g | 250.21g |

표 7. 알루미늄망으로 감싼 강철관의 무게변화  
Table 7. Weight Change of the steel pipe in the aluminum net

<표 5>의 강철관의 무게 평균과 <표 7>의 평균을 비교하여 본 결과 알루미늄으로 감싼 강철관의 경우 약 20g 정도 부식이 덜 일어났다. <그림 11>에서 나타나듯이 육안으로도 확연한 차이를 보이고 있다.

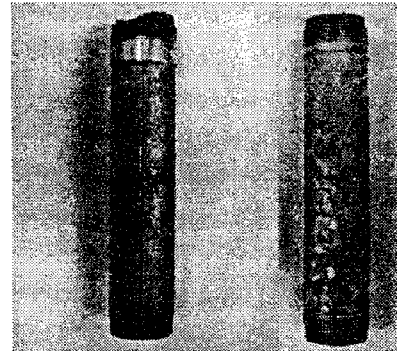


그림 11. 희생양극 사용 강철관(우)과 비사용 강철관(좌)  
Fig. 11. Steel pipe Using the Sacrificial Anode Method(right) Steel pipe non-Using the Sacrificial Anode Method(left)

### 3. 결론

본 논문에서는 철도 주변 지하 매설물의 부식을 지연시키고자 희생양극법을 이용한 실험을 하였다. 실험 초기에는 양극으로 사용할 비철금속을 아연과 알루미늄 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. 알루미늄을 희생양극으로 하여 실험한 결과 강철판과 강철관의 부식이 각각 15g, 20g 씩 덜 일어났으며 이는 육안으로도 확인이 가능한 정도이다. 실험이 소규모로 이루어졌으나 이를 좀 더 확장하여 철도 주변 지하매설물에 적용하여도 무방할 것이다. 철도 주변 수도관이나 가스관 등 지하 매설물의 일정 구간에 희생양극법을 사용하여 알루미늄을 연결함으로써 지하 매설물의 부식을 지연시킬 수 있다. 또한 희생양극법은 기존 지하매설물에 설치 및 유지, 보수가 쉬우므로 철도 운행의 방해나 희생양극 설치 시 발생하는 기타 소음공해를 최소화 할 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.

### 참고 문헌

- (1) 이현구, 하태현, 정호성, 한문섭, 배정호 “도시철도 전식방지 조사보고 현황”
- (2) 이지인 “직류전류에 의한 전식 방지법”
- (3) (주) 태흥전기방식
- (4) 한국건설기술연구원 “전식피해와 방지대책”