

# 배관의 부식방지에 대하여 (Ⅱ) (Corrosion Control and Prevention)

글/김영호 <정우금속(주) 전무이사·기술사>

목 차	
1.	개 요
2.	부식에 강한 재료를 사용하는 방법
3.	코팅방법
4.	음극보호장치 설치법
5.	절연체 사용법
6.	결 언

## 4. 음극보호장치 설치법(Cathodic Protection)

송수관이나 지하 저수조처럼 지하에 묻혀있는 금속 구조물의 부식조절에 효과적인 방법이다. 원리는 양극물질로부터 직류를 공급하여 구조물을 음극이 되게 하므로써 전해질 속에 묻힌 금속의 부식을 방지하는 것이다. 여기에는 희생성양극(Sacrificial Anode)을 사용하는 방법과 정류기를 사용하여 인위적으로 전류를 공급하는 두가지 방법이 있다.

### (1) 희생성 양극법(Sacrificial Anode System)


양극물질과 구조물간에 발생하는 전압차에 의하며, 필요한 전류가 적고 토양의 고유저항이 낮은 장소에 많이 이용된다.

가장 일반적인 희생성양극은 주로 마그네슘으로 만들어 진다. 마그네슘은 <표 2>의 기전력계열에서와 같이 금속중 가장 높은 자연전위를 가지고 있어 전류 생산능력이 가장 크다. 때로는 고유저항이 매우 낮은 토양에서 마그네슘 만큼의 전류가 필요치 않은 경우 아연양극이 사용되기도 한다.

<그림 2>는 배관계에 설치된 양극으로부터의 전류가 흐르는 방향을 부여하는 것으로, 전류는 마그네슘 양극으로부터 토양을 통해 배관쪽으로 흐른다. 배관에 흘러 들어온 전류는 다시 관을 따라 흘러 연결선을 통하여 양극으로 되돌아간다.

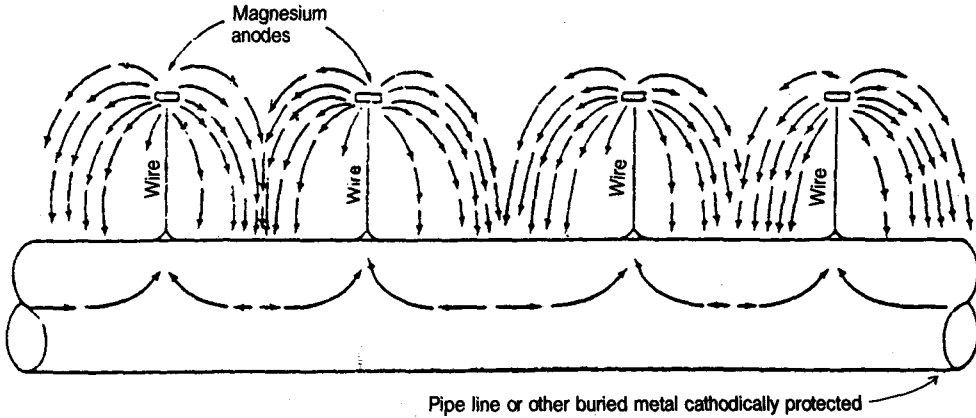
<표 3>은 마그네슘양극의 전류출력에 대한 여러 가지 크기를 보여주는 것이다.

〈표 2〉 Standard Electrode Potentials

Metal	Standard Potential, E: (volts)	Remark
$\text{Li}=\text{Li}^++\text{e}^-$	3.05	Ignoble  Noble
$\text{K}=\text{K}^++\text{e}^-$	2.93	
$\text{Ca}=\text{Ca}^{++}+2\text{e}^-$	2.87	
$\text{Na}=\text{Na}^++\text{e}^-$	2.71	
$\text{Mg}=\text{Mg}^{++}+2\text{e}^-$	2.37	
$\text{Be}=\text{Be}^{++}+2\text{e}^-$	1.85	
$\text{U}=\text{U}^{3+}+3\text{e}^-$	1.80	
$\text{Hf}=\text{Hf}^{4+}+4\text{e}^-$	1.70	
$\text{Al}=\text{Al}^{3+}+3\text{e}^-$	1.66	
$\text{Ti}=\text{Ti}^{++}+2\text{e}^-$	1.63	
$\text{Zr}=\text{Zr}^{4+}+4\text{e}^-$	1.53	
$\text{Mn}=\text{Mn}^{++}+2\text{e}^-$	1.18	
$\text{Nb}=\text{Nb}^{3+}+3\text{e}^-$	ca 1.1	
$\text{Zn}=\text{Zn}^{++}+2\text{e}^-$	0.763	
$\text{Cr}=\text{Cr}^{3+}+3\text{e}^-$	0.74	
$\text{Ga}=\text{Ga}^{3+}+3\text{e}^-$	0.53	
$\text{Fe}=\text{Fe}^{++}+2\text{e}^-$	0.440	
$\text{Cd}=\text{Cd}^{++}+2\text{e}^-$	0.403	
$\text{In}=\text{In}^{3+}+3\text{e}^-$	0.342	
$\text{Tl}=\text{Tl}^++\text{e}^-$	0.336	
$\text{Co}=\text{Co}^{++}+2\text{e}^-$	0.277	
$\text{Ni}=\text{Ni}^{++}+2\text{e}^-$	0.250	
$\text{Mo}=\text{Mo}^{3+}+3\text{e}^-$	ca 0.2	
$\text{Sn}=\text{Sn}^{++}+2\text{e}^-$	0.136	
$\text{Pb}=\text{Pb}^{++}+2\text{e}^-$	0.126	
$\text{H}_2=2\text{H}^++2\text{e}^-$	0.000	
$\text{Cu}=\text{Cu}^{++}+2\text{e}^-$	-0.337	
$2\text{Hg}=\text{Hg}_2^{++}+2\text{e}^-$	-0.789	
$\text{Ag}=\text{Ag}^++\text{e}^-$	-0.800	
$\text{Pb}=\text{Pb}^{++}+2\text{e}^-$	-0.987	
$\text{Hg}=\text{Hg}^{++}+2\text{e}^-$	-0.854	
$\text{Pt}=\text{Pt}^{++}+2\text{e}^-$	ca -1.2	
$\text{Au}=\text{Au}^{3+}+3\text{e}^-$	-1.50	

자료) 문헌 2. p.7, Table 2.

〈그림 2〉 Magnesium Anodes Installed Along Line With Connection From Each To Line



〈표 3〉 Current Output For Magnesium Anode  
(Current in Milliamperes)

Soil Resistivity Ω / cm	Anode Sizes			
	3#	5#	9#	17#
500	127	144	170	240
1000	64	72	85	120
1500	42	48	57	80
2000	32	36	43	60
2500	25	29	34	48
3000	21	24	28	40
3500	18	20	23	33
4000	16	18	21	30
5000	13	14	17	24
6000	11	12	14	20
7000	9	10	12	17
8000	8	9	11	15
10000	6	7	9	12
15000	4	5	6	8
20000	3	4	4	6
30000	2	2	3	4
50000	1	1	1	2

자료) 문헌 3. p.31, Table 2.

지하매설 배관계에 대한 희생성양극을 설치하는 기본적인 목적은 배관에서 발생하는 순수한 전류량 만큼의 반대 전류를 부과하는 것이다.

요구되는 전류량은 기본적으로 보호하기 위한 배관계의 노출표면적 크기이며 관의 치수, 코팅된 상태등도 영향을 미치는 요소이다.

예를 들면 코팅이 잘된 배관에 대한 부식 방지를 위하여 필요로 하는 전류량은 0.0075mA/ft<sup>2</sup>이다. 이러한 기준을 토대로 관의 길이와 크기가 다른 배관계에 필요한 전류량을 계산 할 수 있다.

즉 배관계의 일정구간을 보호하기 위하여 필요로 하는 양극의 수는, 한개의 양극이 낼수 있는 전류출력을 기준으로 한다.

$$im = \frac{150,000f}{P} \dots\dots$$

$$iz = \frac{150,000f \times 0.27}{P}$$

식에서 im iz : Mg, Zn 양극의 출력(mA)

P : 토양의 전기저항(Ω-Cm)

f : 양극 규격에 대한 보정계수로 다음과 같은 값이다.

Anode Size (Lb)	f
3	0.59
5	0.66
9	0.81
17	1.00
32	1.16
50	1.22

양극의 유효면적은 노출 또는 포장상태에 관계없이 제품화된 형태 즉 중량에 관계된다. 필요로 하는 중량과 길이는 출력으로, 수명은 직경은 크기로 결정된다.

예) 저항  $500\Omega\text{-cm}$ , 9# Mg 봉,  $f=0.81$ 일때 마그네슘 양극봉의 출력을 계산한다.

$$im = \frac{150,000 \times 0.81}{500} = 243(\text{mA})$$

〈표 4〉는 마그네슘 양극의 크기별 적용기준을 보여주는 것이다.

〈표 4〉 Magnesium Anode Spacing For Distribution Piping In Feet

Pipe Size (Inches)	A	B	Bare
1½	—	5000	250
2	—	3200	160
3	5400	2160	110
4	4250	1700	85
6	2875	1150	58
8	2210	885	44
10	1775	710	—
12	1550	600	—

자료) 문헌 3. p.31, Table 3.

Note : Use figures from column "B" for most main extensions (this includes allowance for fittings and services).

Use figures in column "A" only for long transmission mains that have few or no services tied to them.

Use 17 lb anodes in soil resistivities of 2500 ohm / cm and less.

Use 9 lb anodes in soil resistivities of 2500 ohn / cm and less.

Use 9 lb anodes in soil resistivities above 2500 ohm / cm.

〈표 5〉은 매설관관에 요구되는 전류의 양이다. 저

항이 높은 토양에 양극을 설치할 때에는, 일반적으로 구간중에서 가장 저항이 낮은 부분에 설치되어야 하며, 전극이 습한 토양에 묻혀져야 할 경우에는 가능하다면 오히려 물이 많은 층의 밑에 두고, 토사층에 묻혀지는 것은 피하는 것이 좋다. 토사층은 배수가 잘되므로 저항이 가장 높기 때문이다.

저항이 높은 토양에서와 배관이 밀집되어 있지 않은 지역에서의 긴 구간에 대한 배관의 보호에는 희생성양극 방식보다 인위적으로 직류전류를 공급하는 것이 더 나은 방식이다.

〈표 5〉 Current Requirements Steel Pipe : Bare and Coated

Pipe Size (Inches)	Surface Area Per Foot	C. & W.Pipe Current Required Per 1000Ft. .0100MA / Sq.Ft.	Bare Pipe Current Required Per 1000Ft. 3.0MA / Sq.Ft.
1½	0.4185	4.19	1257
2½	0.6217	6.22	1866
3½	0.9163	9.16	2748
4½	1.1781	11.78	3534
5½	1.7344	17.34	5202
6½	2.2580	22.58	6774
10½	2.8143	28.14	8443
12½	3.3379	33.38	10014

자료) 문헌 3. p.32, Table 4.

Note : (1) Based on .85 volts, Pipe-to-Soil Potential

(2) Current requirements are in Milliamperes.

희생성양극법은

- ① 설치비용이 적다.
- ② 외부 전원이 필요없다.
- ③ 유지 및 관리비용이 적다.
- ④ 인접 구조물에 영향을 미치지 않는다.
- ⑤ 배관에 적용할 때에는 최소의 비용으로 간단히 설치할 수 있다는 등의 장점을 가진 반면

- ① 출력이 극히 낮다(대략 0.75V)
- ② 출력(전류)은 토양의 고유저항에 영향을 받는다.
- ③ 큰 전류를 요하는 곳에는 사용할 수 없다는 단점이 있다.

단 이 방식은 두 금속에서 1V이하의 낮은 전압차에 의해 생성되는 전류에 의존하므로 발생하는 전류 자체가 또한 적다.(약 0.1~0.5A/Anode) 따라서 코팅된 소구경 관이나 하수나 오물처리장등 필요방식전류가 적은 구조물에 사용된다.

예를들면 강관 보호를 위한 토양과 강관간의 전위차가 0.85V이고, 아연 양극의 전위는 0.25V, 마그네슘 양극의 전위는 0.75V이다. 또 아연의 소모율은 335Ampere-hour/Lb 이고 마그네슘 소모율은 500Ampere. hour/Lb이므로 주어진 중량과 출력에 대한 양극물질의 실제수명은 다음과 같은 공식으로 계산된다.<sup>1)</sup>

$$L_m = \frac{57.08W}{I}$$

$$L_{zn} = \frac{38.2W}{I}$$

식에서  $L_m$ , 마그네슘 양극의 수명(年)

$L_{zn}$ , 아연 양극의 수명(年)

$W$ , 양극의 중량(Lb)

$I$ , 양극의 출력(mA)이다.

이 방법적용에 대한 비용은 일반적으로 토양의 고유저항이 1500Ω-cm이하이면 마그네슘을, 1500Ω-cm를 초과하면 아연 양극을 사용하는 것이 경제적이다.

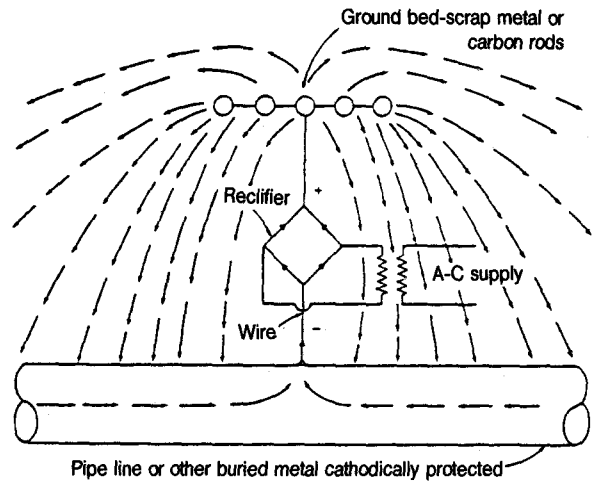
(2) 인위적 전류 공급법(Impressed Current System)

(그림 3)에서와 같이 AC-DC 정류기(Rectifier)

를 설치하여 인위적으로 전류를 흘리는 것이 희생성양극법과 다른 점이다. 단 출력을 자유로 조절할 수 있다는 특징을 가진다.

이 방법은 대개 흑연이나 고실리콘강으로 된 양극과 보호하려는 구조물과 선으로 이어져 있는 AC-DC 정류기가 연결되는 구조이다.

〈그림 3〉 Use of Battery, Rectifier or Generator To Supply External Source of Direct Current



정류기는 교류(AC)를 직류(DC)로 변환시키는 역할이며, 전류는 정류기→토양→관(음극)으로 흐르고, 다시 연결된 선을 통하여 정류기에 되돌아가는 완전한 회로를 이룬다.

이 방식에서의 출력은 전류를 공급하는 정류기 전압에 의해 결정되므로 금속과 금속간의 전위차에 제한을 받지 않으며, 전압의 조정으로 필요한 전류를 공급할 수 있다.

따라서 이 방식은 나관(Bare Pipe), 대규모 저장탱크, 초대구경 상수도관, 송수관(주철관) 등과 같이 다량의 방식전류를 필요로 하는 대규모 구조물에 사용되며, 적용상의 장점은

- ① 큰 출력을 낼 수 있다.
- ② 전압 조정 범위가 넓다.

주 1) 문헌 4. p.18-9.

③ 토양의 고유저항이 높은 곳에 사용할 수 있다.

④ 코팅되지 않은 구조물도 보호할 수 있다.

⑤ 대규모 구조물의 보호에도 사용될 수 있다는 등이며,

반면 단점으로는

① 시설비 및 관리·유지비가 고가이다.

② 별도의 동력비가 필요하다.

③ 인접 구조물에 간섭이나 영향을 끼칠 수 있다 (방전에 의한 인접 구조물의 전식초래)는 등이다.

## 5. 절연체 사용법

조합 금속간을 절연시키는 방법은 또 하나의 중요한 부식조절 방법이다. 단 조합된 금속간에 절연물질을 삽입하므로써 기전력은 물론 외부로부터 유입되는 전류의 흐름을 차단시켜 주는 원리로 금속의 종류나 양극, 음극 금속의 표면적 대소에 관계 없이 가장 적용이 용이하고 경제적인 방법으로 널리 이용되고 있다.<sup>2)</sup>

국내에서도 최근 이러한 목적에 부합하는 절연유니온과 절연플랜지가 개발되어 접촉부식이나 전식의 방지 또는 억제용으로 사용되고 있다.

이러한 특수 이음쇠는 다음과 같은 부분에 사용이 권장되고 있다.<sup>3)</sup>

① 위생 및 냉난방 등 설비배관 계통에서 서로 다른 재질이 접촉되는 부분

② 철제 물탱크와 배관의 연결부

③ 도금탱크와 배관의 연결부

④ 위생기구류(수전류)와 배관의 연결부

⑤ 급수펌프와 배관의 연결부

⑥ 유류, 가스 및 증기배관

제품에 요구되는 성능은 이종금속재 배관에 사용

하였을때 두 금속간에 발생하는 유기전류의 1%이하로 낮출 수 있어야 하며, 분해와 조립 기능은 일반의 유니온이나 플랜지와 동일해야 한다<sup>4)</sup>는 것이다.

## 6. 결 언

이제까지 주로 전기가 원인이 되는 부식을 중점적으로 설명하였는데, 확실한 원인을 파악 할 수 있다는 것은 바로 확실한 대책을 강구 할 수 있다는 확신 때문이었다.

본고는 미국 OHIO 대학 금속공학과 R. W. STAEBELT 교수의 연구보고서에 언급된 내용을 소개하는 것으로 끝을 맺고자 한다.

“전기가 원인이 되는 부식의 조절이나 방지에 대한 여러가지 방법 중에서 가장 확실한 방법은 절연 이음쇠를 사용하는 것이다.

대부분의 산업환경에서 전식과 접촉부식으로 인한 피해를 적게하기 위해 필수적으로 적용하고 있는 부식방지대책—산소조절, 부식억제제의 첨가, 표면의 처리, 물의 화학성분 조절 등—에 대하여 그 효과를 확신한다는 것은 불가능하다.

다시 말해서 여러가지 부식에 대한 보호대책 중 절연체 사용이 가장 “Good Proof”에 근접한다.”

## 참 고 문 헌

1. Stamper Koral. HandBook of Air Conditioning Heating and Ventilating. 3rd. Edition.
2. R.W.Staehle, Galvanic and Stray Current Corrosion; Causes and Prevention.
3. Melvin E.Yampolsky, Corrosion of Piping. Plumbing Engineer. JULY/AUGUST. 1983.
4. ASPE. Data Book, 1981-1982. Volume II. Special Plumbing Systems Design. Chapter 18. Corrosion.
5. EPCO. Dielectric Pipe Fittings / Insulators.

주 2) 문헌 2. p.10.

3) 문헌 5. p.4.

4) 문헌 5. p.3.