

配管防蝕用 接地電池 設計를 위한 流電陽極의 特性에 관한 研究

林 祐 助*

Galvanic Anode Characteristics of Grounding Cell Design
for Corrosion Protection of Pipings

Uh-joh LIM*

The galvanic anodes have three kinds of Zn alloy anode, Al alloy anode and Mg alloy anode, which are widely used in cathodic protection for all metal structures in water or under ground. This paper to be used for designing of the grounding cell has reached the following conclusion as the results of an experimental study on the characteristics of such galvanic anodes for corrosion protection of pipings:

- 1) Zn alloy anode was the best when the specific resistance of the environment was bellow 1000 $\Omega \cdot cm$, and when above 1000 $\Omega \cdot cm$, Mg alloy anode to be used for designing of the grounding cell was the best.
- 2) Al alloy anode was better than Mg alloy anode for grounding cell when the specific resistance was bellow 500 $\Omega \cdot cm$, but the Al alloy anode in all the environments reduced the characteristics of galvanic anode to the lower grade than those of Zn alloy anode.
- 3) Each impressed voltage (E) of the anodes at which drainage current density (ρ) begins rapidly increasing is quantitatively presented as follows:
 - ① $E_{Zn} = \log (4.9465/\rho^{0.0639}) + 11 \times 10^{-6} \rho^{0.8923} i$
 - ② $E_{Al} = \log (4.9306/\rho^{0.0525}) + 13 \times 10^{-6} \rho^{0.9314} i$
 - ③ $E_{Mg} = \log (3.7086/\rho^{0.0988}) + 181 \times 10^{-6} \rho^{0.5406} i$
- 4) The empirical equations between the drainage current density (i) and impressed environment are modeled as the following type.

$$\log i = g + \sqrt{n \cdot E + r} \quad (g, n, r; \text{constants})$$

結 論

陰極防蝕法은 水中이나 地中の 水道管, 送油管, 가스관 및 通信線被覆管 등에 대하여 適用시킬 수 있는 防蝕法中에서 가장 確實하고 經濟的인 防蝕法으로 定評이 나 있다¹⁾. 이 防蝕法에는 流電陽極法과 外部電源法이 있으나, 적은 電流로 防蝕이 可能한 경우나 他埋設物이 配管에 隣接해서 많이 埋設되어 있을 때 流電陽極法이 主로 利用되고 있다²⁾.

따라서 이 防蝕法으로서의 接地電池는 大電力 電

線에 接近해서 埋設된 配管, 被覆管과 裸管間, 電氣防蝕管과 非電氣防蝕管間 등의 플랜지 絶緣結合部에 電氣 또는 電力事故로 高電壓이 波及되면 그 絶緣結合部가 破損되어 流體나 가스가 流出하게 되고, 感電, 火災 및 配管의 外面被覆 破損 등이 일어나는 것을 防止한다. 또 平常時에는 電氣防蝕裝置나 電鐵 등에서 大地中에 漏入하는 迷走電流가 있을 때 그 絶緣結合部の 兩側 管對地電位에 현저한 差가 생겨서 跳핑(jumping)作用으로 電蝕被害도 豫防하여 주므로²⁻⁶⁾ 接地電池設計의 重要性이 高潮되고 있다. 이 裝置로서 一組의 Zn合金陽極을 利用한 例가 있으

*釜山水產大學 : National Fisheries University of Busan

며, 流電陽極에는 Zn 合金陽極 以外에 Al 合金 및 Mg 合金陽極도 있으나⁷⁻¹¹⁾, 이들을 接地電池에 使用한 例가 없으며 또한 이에 대한 定量的인 研究報告는 거의 찾아 볼 수 없었다. 따라서 本 研究에서는 Zn 合金, Al 合金 및 Mg 合金의 流電陽極을 接地電池에 利用할 때 어떠한 特性을 나타내는가를 實驗的으로 調查하였으며 그 實驗結果를 定量的으로 解析하였고 印加電壓과 이에 의한 排流電流密度的 實驗式을 求하므로써 어떤 環境條件下에서의 接地電池를 設計하는데 있어 基礎資料로 기여될 수 있도록 하였다.

1. 接地電池 設計를 위한 實驗裝置

接地電池 設計를 위한 流電陽極 特性의 調查에는 Fig. 1의 實驗裝置를 使用하였다.

試驗水槽(直徑 50cm, 높이 65cm)는 絶緣體인 plastic tank를 使用하였으며, 試驗液을 水深이 40cm 되는 0.3m³을 注入하였다.

實驗裝置와 實驗方法

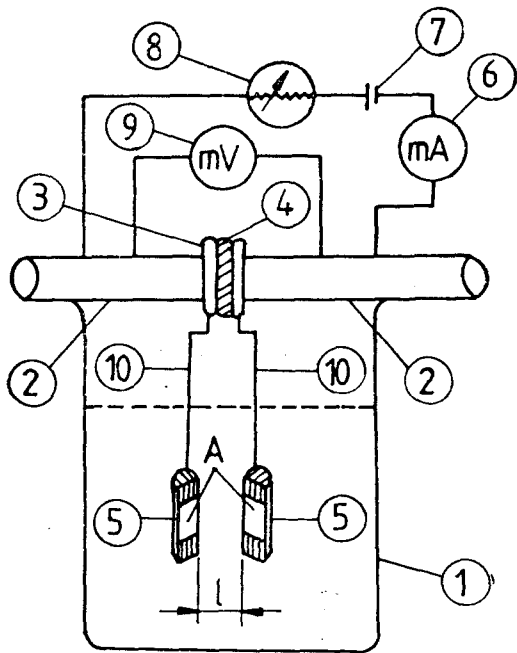


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus for the grounding cell characteristics examination by using galvanic anode.

- ① plastic water tank
- ② pipe line
- ③ flange
- ④ rubber packing
- ⑤ anode test piece
- ⑥ ampere meter
- ⑦ electric power source
- ⑧ rheostats
- ⑨ volt meter
- ⑩ lead line

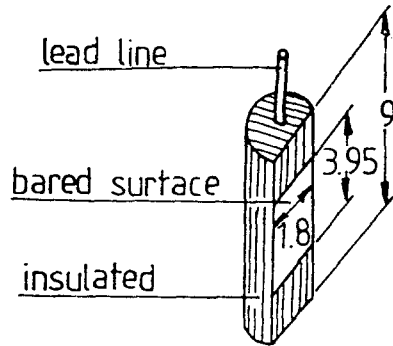


Fig. 2 Galvanic anode test piece (cm).

流電陽極 試驗片은 Fig. 2와 같이 直徑 2.2cm, 길이 9cm의 圓柱를 가로가 1.8cm 되게 平削加工하고, 磨布 1000番까지로 研磨한 후, 아세톤으로 脫脂하고, 露出(有効作用)面積이 7.11cm²만 되게 남기고 나머지 部分과 導線은 에폭시(epoxy)樹脂로 被覆하여 絶緣시켰다.

試驗에 使用한 流電陽極의 化學成分은 Table 1과 같다.

試驗環境으로서의 試驗液은 水導수에 淸明한 天然海水를 少量씩 混合해서 그 比抵抗이 30, 500, 1000, 2000 및 4000Ω·cm가 되게 變化시켜서 固定하였으며, 實驗中의 水溫은 約 14~16°C로 維持하였다.

被防護 配管은 外徑 7.62cm, 길이 60cm인 2個의 配管用 炭素鋼管(管規格 3507-SGP)에 4個의 구멍이 있는 플랜지를 熔接하였으며, 이 플랜지 사이에 두께 3mm의 고무패킹을 넣고 絶緣시켜 보울트와 너트로서 서로 끼어서 兩管의 接合이 絶緣되게 하였다.

本 實驗에 使用된 測定機器는 DC millivolt meter (Yokogawa IW 2051), DC milli-ampere meter (Yokogawa IW 1051), slide rheostats(Yamabish

Table 1. Chemical compositions of anode test piece (Wt %)

Materials of anodes	Al	Cd	Fe	Zn	Sn	In	Mn	Mg
Zinc alloy	0.6	0.1	0.01	balance	—	—	—	—
Aluminum alloy	balance	—	—	3.0	0.03	0.02	—	—
Magnesium alloy	6.0	—	—	3.0	—	—	0.01	balance

c-1), conduct meter (TOACM-3M) 및 DC power source(Kikusui, 7025) 等 이다.

2. 接地電池 特性의 測定理論

比抵抗이 ρ 인 環境에 露出面積이 각각 A 인 두개의 流電陽極을 平行하게 間隔 L 의 距離로 設置하고, 그 사이에 電壓 E 의 電位差를 形成시키면 두개의 陽極間에는 Ohm의 法則에 의해서 다음 式이 成立한다.

$$\frac{E}{l} = \frac{1000E}{iA} = RI + R_s = \frac{L\rho}{100A} + R_s \dots\dots\dots(1)$$

$$E = (10^{-5}L\rho + 10^{-3}AR_s)i \dots\dots\dots(2)$$

$$i = 1000E / (0.01L\rho + AR_s) \dots\dots\dots(3)$$

$$R_s = \frac{1000E}{iA} - \frac{L\rho}{100A} \dots\dots\dots(4)$$

式(3)에 의하면 理論적으로 各 印加電壓에 대한 排流電流密度 i 를 計算할 수 있겠으나 實際 陽極의 表面抵抗 R_s 는 式(4)와 같이 E, i, A, L 및 ρ 의 다섯個 變數를 가진 複雜한 函數이며, E 와 i 의 關係를 알기 前에는 이것의 計算은 거의 不可能하다.

그러므로 E 와 i 의 關係를 實驗적으로 求해서 流電陽極에 의한 接地電池의 特性을 調査하고 이 測定值에 의해서 最小自乘法를 利用한 回歸解析法에 의하여 計算하였다.

3. 實驗方法

3-1 流電陽極의 接地電池 特性의 調査

Zn, Al 및 Mg의 各 合金陽極의 露出面積 A 를 7.11cm^2 의 一定值가 되게 試驗片을 만들고 Fig.1과 같이 2개의 陽極을 導線으로 서로 絶緣狀態로 結合시킨 兩側管의 플랜지 端子에 接續시켰으며, 그 兩側管에 電壓計를 並列로 配線하였다. 그 다음에 2개의 陽極間隔을 0.3cm 로 고정시키고 plastic tank內의 試驗液의 比抵抗 ρ 를 各各 30, 500, 1000, 2000 및 $4000\ \Omega\cdot\text{cm}$ 로 調節하였다.

그리고 各境遇의 試驗에서 24時間 試驗片을 安定시켰고 外部電流를 配管兩端에 通電시켜서 電壓이 安定되게 10分間 기다린 後에 可變抵抗器로 抵抗을 調節해서 印加電壓을 0V 에서 0.1V 씩 점진적으로 1.0V 까지 增加시켜가며 各 印加電壓에 대한 排流電流를 實測하였다.

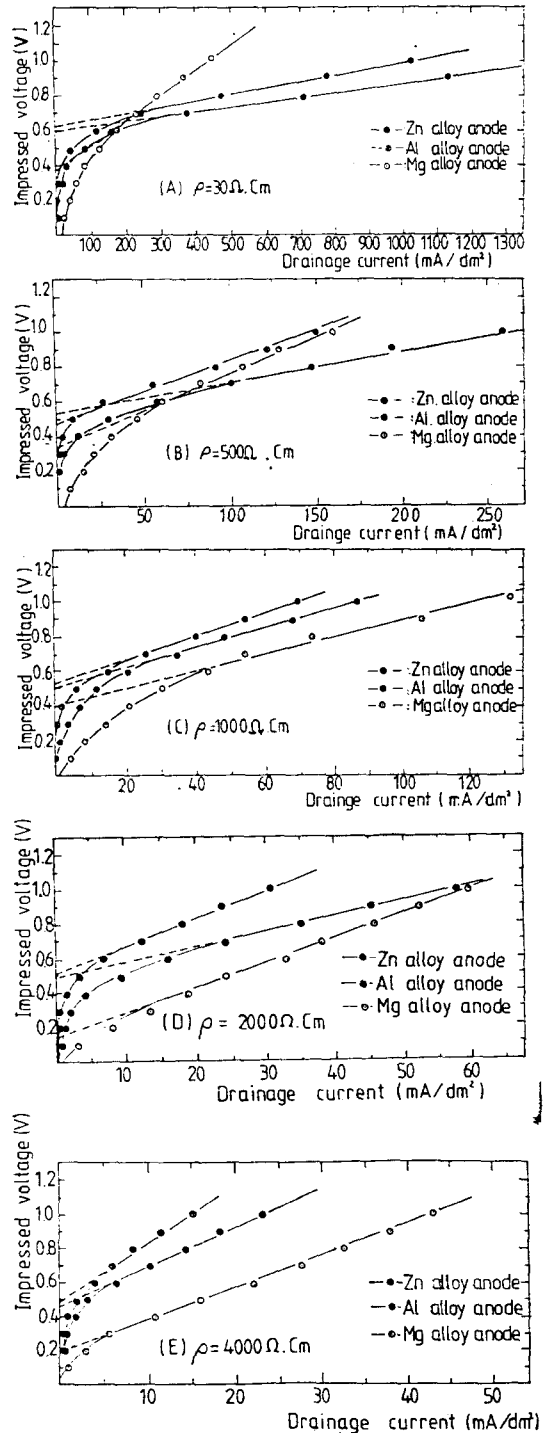


Fig. 3 Grounding cell characteristics of anodes when $L=0.3\text{cm}$.

結果 및 考察

1. 環境變化에 따른 接地電池의 流電陽極 特性

Fig. 3(A)는 接地電池 設計를 위해 Zn, Al 및 Mg 合金陽極의 間隔을 各各 0.3cm로 固定하고 環境의 比抵抗을 30 Ω·cm로 하여 測定한 이 3種의 合金陽極에 對한 特性線圖이며, Fig. 3(B)~Fig. 3(E)는 比抵抗이 500, 1000, 2000 및 4000 Ω·cm로 固定하고, Fig. 3(A)와 同一한 條件에서 이 3種의 陽極에 對하여 印加電壓에 對한 排流電流密度의 關係를 表示한 것이다.

同一한 條件에서 接地電池設計를 위한 流電陽極의 特性은 一定電壓을 印加하였을 경우에 排流電流密度가 클 때 좋으므로, Fig. 3(A)~Fig. 3(E)의 實驗結果를 다음과 같이 정리 할 수 있었다.

(1) 同一한 條件인 경우 比抵抗이 1000 Ω·cm以下에서는 Zn合金陽極이 一定印加電壓에서 排流電流密度가 가장 크므로 接地電池의 流電陽極으로서 가장 좋고 同一條件인 環境의 比抵抗이 1000 Ω·cm以上에서는 Mg合金陽極이 좋으므로 高比抵抗의 環境에서는 Mg合金陽極을 接地電池의 流電陽極으로 使用하는 것이 좋다.

(2) 比抵抗이 500 Ω·cm以下인 合金陽極에서는 印加電壓을 加하지 않아도 迷走電流가 흐르므로 比抵抗이 낮은 環境에서는 自己消耗되어 接地電池設計를 위한 流電陽極으로 不適當을 알 수 있었다.

(3) Al合金陽極은 모든 環境에서 Zn合金陽極보다 一定印加電壓에서 排流電流密度가 작았고 比抵抗이 500 Ω·cm以下에서는 自己消耗되는 Mg合金陽極보다 接地電池로서 적합하였다.

2. 接地電池를 위한 陽極의 印加電壓과 排流電流密度의 關係實驗式

(1) 1次式에 의한 解析

Fig. 3(A)~Fig. 3(E)에 의하면 排流電流密度가 急激히 增加되기 始作하는 一定印加電壓 以上에서는 印加電壓과 排流電流密度에는 流電陽極의 種類 및 比抵抗에 따라 直線關係가 成立한다. 即

$$E = b + m \cdot i \quad \dots\dots(5)$$

比抵抗에 對한 b 와 m 의 關係를 定理하여 이를 圖示하면 Fig. 4의 (A), (B)와 같은 直線關係가 成立하므로 式(5)의 b 와 m 은 式(6), (7)로 表示할 수 있다.

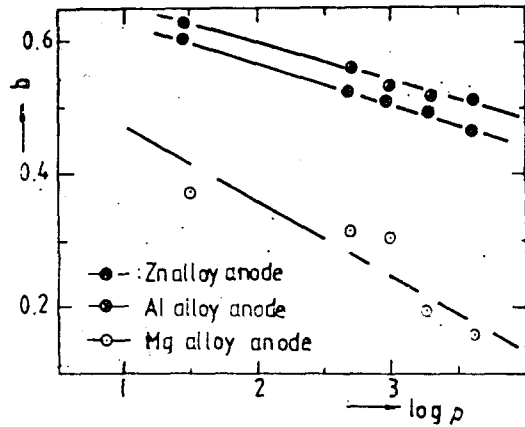


Fig. 4(A) Relations of b versus ρ .

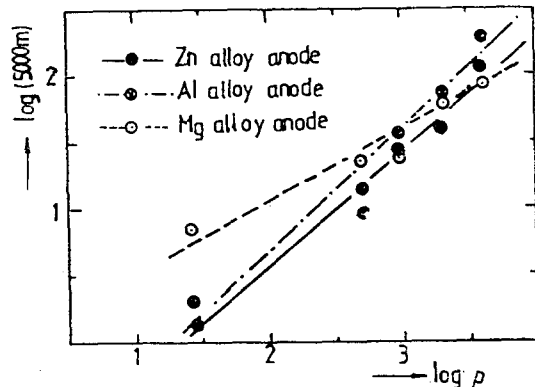


Fig. 4(B) Relations of m versus ρ .

$$b = \log c - d \cdot \log \rho \quad \dots\dots(6)$$

$$\log(5000m) = \log p + q \cdot \log \rho \quad \dots\dots(7)$$

式(6), (7)의 未知數 c 와 d 및 p 와 q 를 Table 2의 값을 代入하여 最少自乘法으로 計算하고 이 b 와 m 을 式(5)에 代入해서 印加電壓에 對한 排流電流密度의 關係式을 求하면 다음과 같이 된다.

① Zn合金陽極

$$E = \log(4.9465/\rho^{0.0639}) + 11 \times 10^{-6} \rho^{0.8923} i \quad \dots\dots(8)$$

② Al合金陽極

$$E = \log(4.9306/\rho^{0.0525}) + 13 \times 10^{-6} \rho^{0.9314} i \quad \dots\dots(9)$$

③ Mg合金陽極

$$E = \log(3.7086/\rho^{0.0988}) + 181 \times 10^{-6} \rho^{0.5406} i \quad \dots\dots(10)$$

(2) 2次式에 의한 解析

Fig. 3(A)~Fig. 3(B)에 의하면 一定印加電壓 以上에서 排流電流密度는 直線的으로 急激히 增加되므로 그 關係實驗式은 1次式으로 求할 수 있었으나, 이

Table 2. Relations between m and b according to ρ

Anode	$m, b, \rho/\rho(\Omega \cdot cm)$	30	500	1000	2000	4000
Zn alloy	m	0.00027	0.00019	0.00561	0.00873	0.02383
	b	0.6006	0.5147	0.5060	0.4957	0.4560
	$\log \rho$	1.4771	2.6990	3	3.3010	3.6021
	$\log(5000m)^*$	0.1319	0.980	1.4480	1.640	2.076
Al alloy	m	0.0037	0.00290	0.00676	0.01570	0.0390
	b	0.6160	0.5535	0.5280	0.5210	0.5060
	$\log(5000m)^*$	0.2670	1.1610	1.5290	1.8950	2.290
Mg alloy	m	0.00137	0.00404	0.00536	0.0141	0.01870
	b	0.3860	0.3169	0.3068	0.1950	0.1503
	$\log(5000m)^*$	0.8537	1.3054	1.4281	1.8485	1.9934

* m 을 5000倍로 한 것은 $\log m$ 가 負數로 되기 때문.

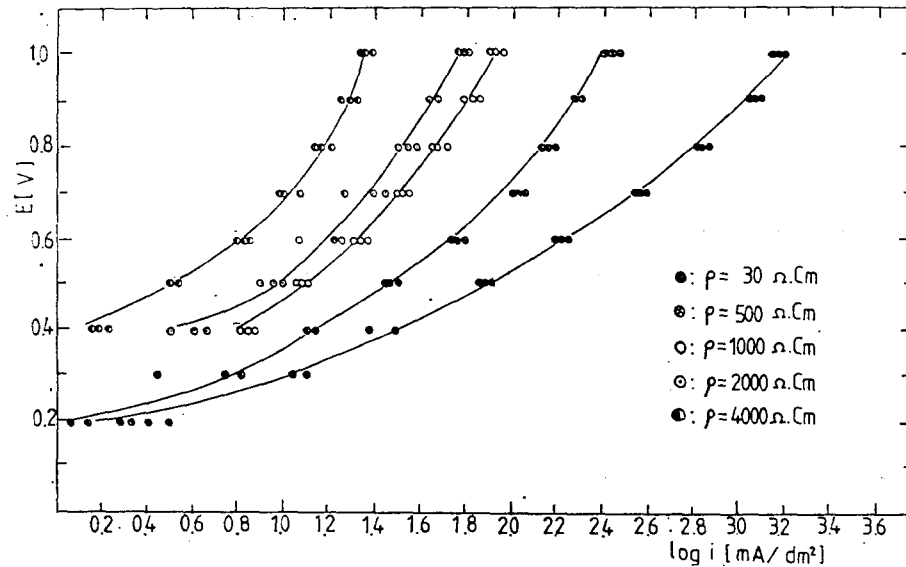


Fig. 5 Empirical diagrams of $\log i$ versus E when using zinc alloy anode (calculated by digital computer).

印加電壓 以下에서는 直線이 아닌 曲線으로 나타났으므로 1次式으로는 解析할 수 없다.

그러나 各 測定值를 印加電壓 E 와 排流電流密度的 對數值 $\log i$ 의 座標에 圖示하면 Fig. 5(Zn合金陽極)와 같이 拋物線의 2次多項式 $E=a(\log i)^2+b\log i+k$ 로 됨을 알 수 있다. 그러므로 이 關係는 計算에 의해서 다음과 같이 表示할 수 있다.

$$\log i = g + j \sqrt{n \cdot E + r} \dots\dots\dots(11)$$

$$\left(\text{但, } j = +1, E \geq -\frac{r}{n} \right)$$

Table 3은 Zn, Al 및 Mg의 合金陽極에 대해서 比抵抗이 各各 30, 500, 1000, 2000 및 4000 $\Omega \cdot cm$ 일 경우에 印加電壓과 排流電流密度的 關係를 最少

自乘法을 利用한 回歸解析法으로 電算해서 求한 2次多項式이다.

(3) (1)과 (2)의 比較

實驗式 (8), (9) 및 (10)에서의 기대값과 實測值와의 平均誤差는 10%以內이고, Table 3의 實驗式平均誤差는 約 25%이므로 그 신뢰도가 높다고 생각된다.

前者는 流電陽極에 따라 모든 環境比抵抗에서 排流電流密度가 急激히 增加하는 一定印加電壓以上에서만 有效하며, 後者는 前者에서 計算할 수 없는 低印加電壓을 포함해서 計算할 수 있는데 有效하다. 그리고 이들 式은 실제 接地電池를 設計하는데 있어서 그 利用價値가 높음이 實驗을 통해서 確認될 수 있었다.

Table 3. Experimental equations of log *i* versus *E*

$\rho(\Omega \cdot cm)$	Anode	Experimental equation of $E-\log i$
30	Zn alloy	$\log i = -0.2904 + \sqrt{15.4443E - 2.8963}$
	Al alloy	$\log i = -0.7297 + \sqrt{67.9330E - 3.1711}$
	Mg alloy	$\log i = 1.0718 + \sqrt{3.0001E - 0.4520}$
500	Zn alloy	$\log i = 0.0783 + \sqrt{7.4213E - 1.4775}$
	Al alloy	$\log i = 0.4251 + \sqrt{5.6081E - 2.2430}$
	Mg alloy	$\log i = 0.1145 + \sqrt{4.1579E + 0.2948}$
1000	Zn alloy	$\log i = 0.2399 + \sqrt{4.4188E + 1.4645}$
	Al alloy	$\log i = 0.2122 + \sqrt{4.7109E - 1.8832}$
	Mg alloy	$\log i = 0.6176 + \sqrt{2.4216E - 0.3873}$
2000	Zn alloy	$\log i = 0.3656 + \sqrt{3.3040E - 1.2969}$
	Al Alloy	$\log i = -0.0469 + \sqrt{4.0763E - 1.6235}$
	Mg alloy	$\log i = 0.6824 + \sqrt{1.4943E - 0.2525}$
4000	Zn alloy	$\log i = 0.0428 + \sqrt{3.0335E - 1.2059}$
	Al alloy	$\log i = -0.2647 + \sqrt{3.3278E - 1.2357}$
	Mg alloy	$\log i = 0.4550 + \sqrt{1.8588E - 0.3686}$

要 約

接地電池 設計를 위한 Zn, Al 및 Mg의 合金陽極의 特性을 實驗的으로 調査한 結果에서 다음과 같이 要約할 수 있다.

1. 環境比抵抗 1000 $\Omega \cdot cm$ 以下에서는 Zn合金陽極이, 1000 $\Omega \cdot cm$ 以上에서는 Mg合金陽極이 接地電池 設計에 좋다.

2. 比抵抗 500 $\Omega \cdot cm$ 以下에서는 Al合金陽極이 Mg合金陽極보다 接地電池 設計를 위한 流電陽極 特性이 좋으나 모든 比抵抗에서 Zn合金陽極보다 特性이 떨어진다.

3. 排流電流密度가 急激히 增加하는 一定印加電壓은 다음과 같다.

$$\textcircled{1} E_{Zn} = \log(4.9465/\rho^{0.0639}) + 11 \times 10^{-6} \rho^{0.8923} \cdot i$$

$$\textcircled{2} E_{Al} = \log(4.9306/\rho^{0.0525}) + 13 \times 10^{-6} \rho^{0.9314} \cdot i$$

$$\textcircled{3} E_{Mg} = \log(3.7086/\rho^{0.0988}) + 181 \times 10^{-6} \rho^{0.5406} \cdot i$$

4. 流電陽極의 種類 및 環境의 比抵抗에 따라 印加電壓과 排流電流密度의 關係는 다음과 같은 一般式으로 表示할 수 있다.

$$\log i = g + \sqrt{n \cdot E + r}$$

文 獻

- 1) 田大熙, 閔丙彦(1978): 外部電源에 의한 水中鋼帶의 陰極防蝕에 관한 研究. 韓國海洋大學 論文集 13, 118.
- 2) 田大熙(1975): 腐蝕과 防蝕(實用編). 海洋大學圖書出版部, 86-96.
- 3) 木村忠雄·市野瀨·比路實(1979): 파이프라인의 防食. 防食技術 28(10), 553-556.
- 4) 山田哲地(1978): 金屬構造物과 防食系에 對する 交流와 雷의 影響輕減에 關する 推獎施工法, 防食技術 27(10), 535-536.
- 5) Shreir L. L. (1976): CORROSION 2. Newnes-Butterworths 11, 62.
- 6) 岡本藤那(1970): 埋設管의 腐食과 電氣防食法 配管과 裝置. 198, 4-5.
- 7) 電食防止研究會(1977): 電食·土壤腐食 핸드북. 260-266.
- 8) 山室富士雄, 阿部三之(1973): 石油タンクボトム의 防食法(2). 配管 8, 13-14.
- 9) 玉利昭一(1975): 工場施設의 콘크리트 防食燃料及 燃燒. 40, 3, 210.
- 10) Rogers T. H. (1968): Marine Corrosion. George news Ltd, 196-205.
- 11) Joseph F. Bosich(1970): Corrosion prevention for practicing engineers. Barnes & Voble, 98-104.