

아연양극에 의한 선체용 강판의 방식에 관한 연구

문 경 만* · 김 중 신** · 김 진 경***

한국해양대학교 방식연구실* · 한국선급협회** · 종합폴스타(주)***

A Study on the Corrosion Prevention of a Ship's Steel Plate by Zinc Anode.

K. M. Moon* · J. S. Kim** · J. K. Kim***

*Corrosion Laboratory · Korea Maritime University**

*Korea Register of Shipping***

*Polestar Engineering Co., LTD****

Galvanic protection method is one of the cathodic protection methods and is mostly used for corrosion prevention of heat exchangers and ship's body.

In this study, it was investigated how cathodic potential distribution of a steel plate was influenced with according to the variation of Zn anodes surface area. And by results examined above, required number and life-time of anode for Galvanic protection could be descided properly, for example, numbers and life-time of anode for corrosion prevention could be easily estimated by corrosion prevention coefficient based on the experimental data. Also it was shown that Zn anode potential was shifted to positive direction when cathodic steel plate was not protected completely whereas it was shifted to nagative direction in case of its complete protecting, therefore, it is suggested that cathodic steel plate is completely protected or not can be known by only measuring anode potential.

1. 序 論

最近 船舶의 大型化 추세에 발맞추어 船舶의 輕量化가 이루어지고 있다. 船舶을 輕量化 하기 위해서는 鋼板의 두께를 얇게 해야 하는데, 이 경우에는 船體의 安全性 및 經濟的인 側面에서 船體外板의 防蝕이 重要한 問題로 대두된다. 따

라서 最近의 大型船舶들에는 船體의 徹底한 防蝕을 위하여 塗裝防蝕法에 陰極方式法인^{1~13)} 外部電源法이나 流電陽極法이 併用되고 있다. 外部電源法은 交流電流를 整流器로서 直流로 變換시켜서 防蝕電流를 供給하는 方式이고, 流電陽極法은 異種 금속간의 電位差를 利用해서 防蝕電流를 供給하는 方式이다. 따라서 이들의 두 方法은 각기 다른

長短點이 있으므로 防蝕하고자 하는 構造物의 주위환경에 따라 經濟性을 考慮해서 適當한 方法을 채택하고 있다. 流電陽極法에는 流電陽極의 材質^{14~20)} 크기 그리고 방식에 필요한 유전양극의 數量^{21~22)} 등에 대한 研究結果가 많이 있으며 또한 유전양극의 發生電流를 구하기 위한 接水抵抗의 計算式^{23~25)}도 많이 發表되어 있다. 그러나 이들의 接水抵抗의 計算式은 單純한 實驗式이기 때문에 모든 부식 環境에 精確하게 적용될 수 없다고 지적하고 있다.²⁶⁾

本 研究는 이러한 點에 着眼하여 우선적으로 流電陽極防蝕에 의해 裸鋼板을 陰極防蝕할 경우 鋼板防蝕에 대한 기본적인 理論을 整理하고 實驗에 의해서 亞鉛板의 面積變化에 따른 鋼板의 分極電位變化와 電流變化, 防蝕面積變化 등을 考察하였다. 그리고 일정크기의 아연판으로 防蝕할 경우 필요한 아연판의 갯수, 수명에 대하여서도 새로운 實驗式의 유도 및 그 結果에 대해서 檢討하였다. 따라서 本 研究의 結果는 流電陽極防蝕에 의한 裸鋼板을 陰極防蝕할 경우 防蝕에 대한 精確성이 높고 또한 現場에서의 實際適用이 容易할 뿐 아니라 經濟적인 측면에서, 특히 海水中에서의 鋼板防蝕에 대해서는 本 研究結果의 活用度가 높을 것으로 思料된다.

2. 理論的 考察

陰極防蝕法에는 外部電源法과 流電陽極法이 있다. 두 方法 모두 陰極을 防蝕시키는 것은 같은 原理이나 防蝕을 위하여 陰極에 供給되는 電流를 外部에서 強制的으로 흘러보내는 경우가 외부전원법이며 陽極과 陰極의 電位差에 의한 犧牲陽極인 아연의 酸化反應에 의해서 陽極으로부터 溶液을 통하여 陰極으로 電流가 흘러 陰極을 防蝕하는 것이 流電陽極法이다.

外部電源法은 Fig. 1의 (A)와 같이 陰極의 鋼板은 鋼의 酸化反應과 溶存酸素의 還元反應에 의해서 腐蝕電位 E_c 가 형성되고 不溶性陽極인 Pt의

表面에서는 溶存酸素의 酸化反應과 還元反應에 의한 平衡電位 E_a 가 형성되어 두 陽極과 陰極의 電位差 $\Delta E = E_a - E_c$ 가 開路電位差로서 나타난다. 이때에 外部에서 電源을 印加했을 경우에는 음극에는 용존산소의 환원반응이 일어나서 陰分極 (η_c)이 일어남과 동시에 防蝕되고 陽極에서는 酸素의 發生反應이 일어나 陽分極(η_a)이 일어나 開路電位差 $\Delta E' = E_a - E_c$ 가 되어 印加電壓은 增加된다. 流電陽極法의 경우는 上記한 바와 같이 外部電源法과는 달리 外部로부터 印加電壓에 의해서 防蝕電流가 흐르는 것이 아니고 陽極과 陰極의 電位差에 의한 갈바닉 전지에 基因한 陽極산화반응과 함께 防蝕電流가 陽極으로 부터 陰極으로

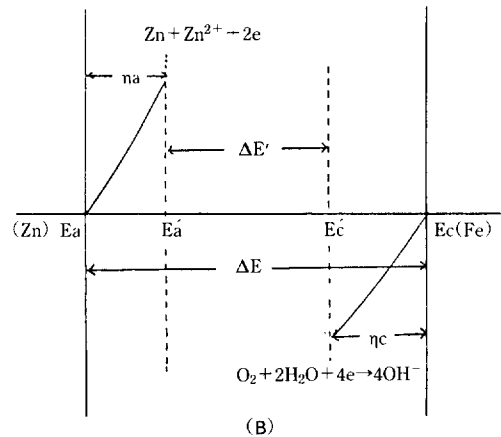
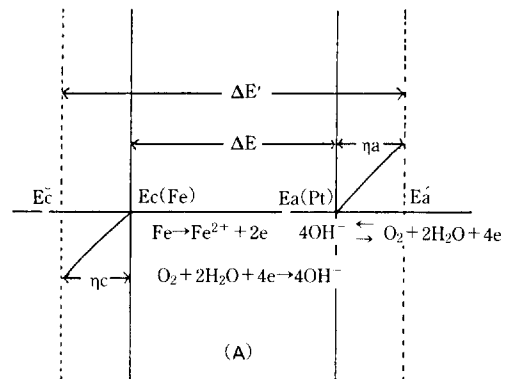


Fig. 1. Theoretical diagram of Impressed current method (A) and galvanic anode method (B).

흐르게 된다. 따라서 陽極과 陰極 즉 아연판과 강관을 전선으로 연결할 경우 初期에는 Fig. 1의 (B)와 같이 陽極電位(E_a)와 陰極電位(E_c)의 電位差 즉 $E_c - E_a = \Delta E$ 의 閉路電位差에 의해서 陽極에서는 아연의 酸化反應과 함께 아연이 腐蝕되고 陰極인 鋼板表面에서는 溶存酸素의 還元反應이 일어나 防蝕되게 된다. 그리고 電流가 점차로 많이 흐르게 되면 陽極과 陰極은 각각 分極되어 陽極電位는 E_a 에서 E_a' ($E_a' = E_a + \eta_a$)로, 陰極電位는 E_c 에서 E_c' ($E_c' = E_c + \eta_c$)로 변하므로 閉路電位差는 $E_c' - E_a' = \Delta E'$ 가 된다. 그러므로 이때 흐르는 電流($I = \Delta E' / R$)값은 初期에 비하여 훨씬 적게 흐르게 된다. 그리고 Fig. 1에서 陰極의 分極值 η_c 값은 全體의 被防蝕體 表面이 均等하게 分極되는 것으로 고려할 여지가 많으나 本 實驗에서와 같이 被防蝕體 즉 陰極의 表面積이 큰 경우는 陽極으로부터 거리가 멀어질 수록 그 陰極表面積에 도달하는 電流密度가 작으므로 陰極分極值 v_c 값은 陽極으로부터의 거리에 따라 달라지게 된다. 보통 아연양극의 發生電流를 구할 때 鋼板과 아연의 有效電位差의 $\Delta E'$ 의 값을 $0.2V^{27)}$ 로 가정하는 수가 많으며, 鋼板을 防蝕할 때 그 防蝕電位 E_c' 값은 일반적으로 $-770mV(SCE)$ 로 알려져 있다. Fig. 2는 陰極의 電位分布가 陽極의 直下點으로 부터

거리의 變化에 따라 다르게 나타나고 있음을 보여주고 있다. 그리고 Fig. 2를 바탕으로 흐르는 電流의 密度, 電位差 및 抵抗關係를 Fig. 3와 같이 等價回路로 나타낼 수 있다. Fig. 3에서 알 수 있듯이 회로내를 흐르는 全電流(I)는 다음과 같이 나타낼 수 있다. 즉,

$$I = \sum_{n=1}^{16562} i_n = (i_1 + i_2 + \dots + i_{16562}) \dots\dots\dots (1)$$

(단, 음극의 표면적이 $16562cm^2$ 이므로 단위면적당 공급되는 電流密度의 값을 $i_1, i_2, i_3 \dots i_n$ 으로 나타낼 수 있으며 電流密度의 개수는 16562개가 된다.)

그리고 이때의 全抵抗 R 의 값을 다음과 같이 나타낼 수 있다. 즉,

$$R = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_n}} \dots\dots\dots (2)$$

(단, $R_1 = R_{S1} + R_{P1}$, $R_n = R_{Sn} + R_{Pn}$, R_s : 용액 저항 R_p : 분극 저항)

그리고 陽極直下點으로 부터 거리 變化的에 따른 電流密度의 變化比는 다음과 같이 나타낼 수 있다. 즉,

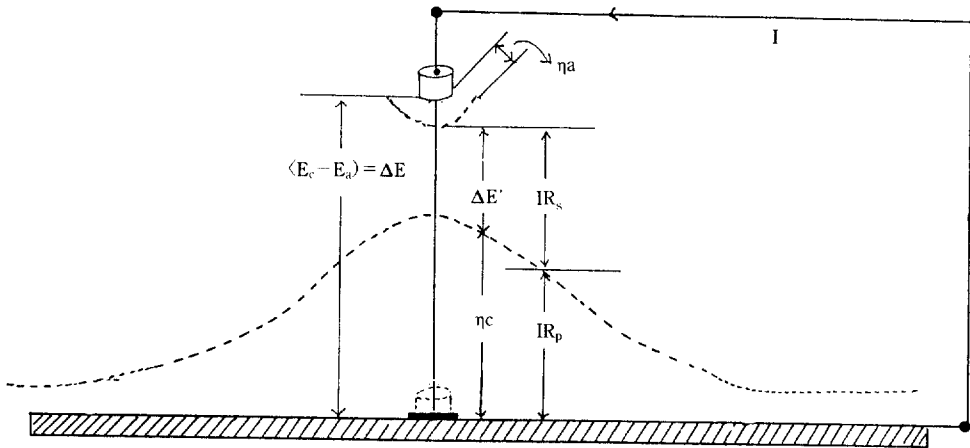


Fig. 2. Schematic diagram of Galvanic anode method.

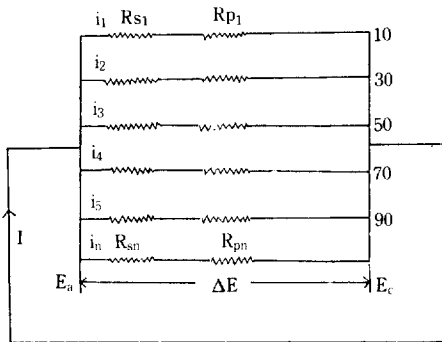


Fig. 3. Equivalent circuit of Galvanic anode method.

$$i_1(R_{S1} + R_{P1}) = i_n(R_{Sn} + R_{Pn}) = \Delta E$$

$$\frac{i_n}{i_1} = \frac{R_{S1} + R_{P1}}{R_{Sn} + R_{Pn}} \dots\dots\dots (3)$$

式(3)에서 알 수 있듯이 溶液의 流動이 적을 수록 陰極表面에서 일어나는 分極중에서 濃度分極이 차지하는 비율이 높게되므로 分極抵抗의 값이 거리의 變化에 관계없이 거의 같게 된다. 즉 式(3)에서 R_{P1} 과 R_{Pn} 의 값이 거의 같고 또한 溶液抵抗에 비해서 크므로 電流密度的 거리에 따른 比 i_n/i_1 값은 적어지게 된다. 그러나 溶液이 流動할수록 濃度分極의 값은 적어지고 溶液抵抗(R_S)의 값이 차지하는 비율이 커지게 되며 電流密度的 比 i_n/i_1 은 R_{S1}/R_{Sn} 의 값에 따라 좌우되므로 이 比의 값은 溶液의 流動이 적을 때보다 커지게 된다.

3. 實驗방법

3.1 實驗材料

本 實驗에서 被防蝕體 즉 陰極으로 使用된 鋼板은 海洋에서 주로 使用되는 SM41鋼이며 流電陽極 즉 犧牲陽極用의 亞鉛은 韓國東信亞鉛工業社에서 만들고 있는 防蝕用 亞鉛을 試驗片으로 채택하였으며 각각의 성분은 Table 1에서 보여주고 있다. 그리고 陰極用으로 使用된 SM41鋼은 Table 2에서 알 수 있듯이 海水에 노출된 表面積은 16562 cm^2 이며 그외의 表面은 에폭시塗料로 絶緣시켰다. 流電陽極으로 使用된 亞鉛은 높이를 2cm로 거의 一定하게 하였고 直徑을 變化시켜 表面積의 크기를 S_1 에서 S_4 까지 4개의 試驗片을 製作하였다. 그리고 구체적인 크기와 表面積은 Table 2에서 보여주고 있으며 亞鉛의 경우에도 鋼板에 接하는 아연 表面은 에폭시塗料로 絶緣시켰다.

3.2 分極電位 測定裝置 및 測定方法

本 實驗에 使用된 實驗用 海水탱크의 規格 및 測定裝置를 Fig. 4 및 Table 2에서 보여주고 있다. 그리고 海水를 일정 速度로 流動시키기 위하여 순환수펌프(110V/90W)에 直徑 3cm 길이 6m의 플라스틱 파이프를 연결하여 Fig. 4와 같이 탱크 底面에 配置하였다. 그리고 15cm 간격으로 직경 0.5cm의 구멍을 뚫어 순환수 펌프가 기동시 海水의 순환을 촉진시키도록 하였다.

分極電位는 다지탈멀티메타(MOD EI, HC-920, 20M)로 측정하였고, 基準電極은 포화카로멜전극을 Fig. 1과 같이 裝置하여 측정하였다. 그리고 아

Table 1. Chemical Composition (Wt%)

Steel Plate (SM 41)	C	Si	Mn	P	S	-	-
	0.21	0.34	0.7	0.03	0.04	-	-
Anode (Zn)	Al	Cd	Fe	Si	Pb	Cu	Zn
	0.4	0.024	0.004	0.123	0.004	0.003	99.734

연판과 강판의 접촉면에는 防蝕電流를 먼곳까지 가도록 하기위해 絶緣고무를 아연판의 밑부분에 일정크기로 만들어 깔았다.

또한 아연판과 강판을 전선으로 연결하기 위하여 아연판의 中心部에 직경 0.2cm 깊이 1cm의 구멍을 뚫어 銅線을 插入시켰다. 그런데 實際의 現場에서는 鋼板에 아연판을 設置할 경우 볼트로 固定시키므로 본 실험에서도 아연판에 볼트구멍을

만들고 鋼板에 볼트를 熔接하여 現場에서와 같은 設置方法을 試圖하였다. 이렇게 함으로써 銅線에 아연판을 插入시킨 경우와 實際의 現場에서와 같은 方法으로 아연판을 볼트로 固定시킨 경우 接水抵抗의 差에 의한 分極電位分布의 差에 대한 有無를 알 수 있도록 하였다. Fig. 5의 (A)는 銅線을 아연판에 插入시켜서 鋼板과 連結한 경우이며 (B)는 아연판을 鋼板의 볼트에 의해서 固着시킨 경

Table 2. Specification of Experimental Apparatus and Specimen

	Width (cm)	Length (cm)	Height (cm)	Thickness (cm)	Remark
Water Tank	200	110	60	—	Steel Plate Surface Area (16562 cm ²)
Stell Plate	182	91	—	0.3	

Anode(Zn)	Diameter (cm)	Height (cm)	Surface Area (cm ²)
S1	2.1	2	16.328
S2	2.95	2	25.357
S3	6.95	2.2	85.917
S4	9.95	2.1	143.326

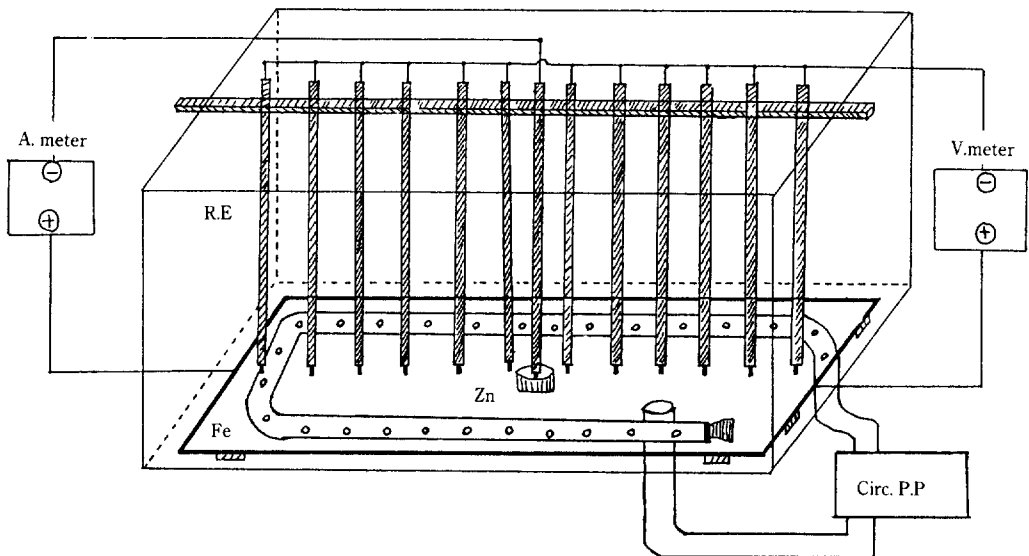


Fig. 4. Experimental Apparatus.

우를 보여 주고 있다. 上記한 두 方法에 의한 實驗結果는 나중에 說明하기로 한다. 한편 被防蝕體인 鋼板을 海水탱크에 浸漬시키기 前에 表面을 샌드브라쉬로 녹을 完全히 除去한 다음 샌드페이프 NO. 100에서 NO. 1,000번까지 順番대로 表面을 研磨한 다음 아세톤으로 脫脂하였다. 海水탱크에 浸漬한 後에는 自然電位가 $-560 \sim -565$ (mV, SCE) 될 때까지 安定시킨 후 實驗을 시작하였다. 유전양극으로 使用한 아연은 表面을 아세톤으로 脫脂한 後 海水탱크에 浸漬하여 銅線을 插入한 鋼板과 電線을 연결하였다. 分極電位測定은 아연과 鋼板을 연결한 直後 약 5분을 初期時間으로 잡고 1時間 간격으로 測定하였다. 實驗의 結果, 20時間이 지난 후 부터는 아연판과 鋼板의 分極電位 및 電流變化는 安定된 값을 유지하였다.

4. 實驗結果 및 考察

Fig. 5에서 (A)의 경우는 銅線을 아연판에 插入시킨 경우이며 (B)는 아연판을 鋼板의 볼트에 의해서 固着시킨 경우이다. 現場에서 流電陽極의 취부방법은 (B)와 같이 하게 된다. 따라서 본 實驗에서는 (A)와 (B)의 경우 接水抵抗의 差에 의해서 흐르는 電流密度도 서로 相異하여 鋼板의 分極電位 分布에 어떠한 差異가 있는지를 考察하였다. 實驗의 結果에 의하면 (A), (B)의 경우 鋼板의 分極電位 分布에는 아무런 差異가 없음을 알 수 있었다. 따라서 본 實驗에서는 (A)의 方法에 의해서 實驗하였다. Fig. 6은 流電陽極의 크기를 S_1 에서 S_4 까지 4 종류를 被防蝕體인 鋼板의 中央에 각각 놓았을 경우에 浸漬直後(OHr)와 20時間(20 Hr) 경과 후의 鋼板에 나타나는 分極電位 分布를 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 S_1 에서 S_3 까지는 浸漬直後에는 被防蝕體 全部가 防蝕電位⁽³⁾인 -770 mV(SCE)보다 높게 되어 被防蝕體인 鋼板全體面積에서의 防蝕效果를 기대할 수 없다고 판단된다.

그러나 S_4 의 경우에는 침지직후부터 상당한 部分의 鋼板이 防蝕되고 있음을 알 수 있다. 그리고 20時間이 경과한 後 부터는 S_1 과 S_2 는 陽極直下點을 中心으로 防蝕面積이 나타나고 있으며 S_3 와 S_4 의 경우에는 鋼板全體面積이 防蝕領域에 들어 있음을 알 수 있다. Fig. 7은 S_1 및 S_3 의 陽極을 각각 2개씩 等間隔으로 海水에 浸漬했을 경우에 나타나는 電位分布이다. S_1 의 경우 침지초기에는 鋼板 全體面積이 防蝕電位領域에 들어가지 않으나 20時間이 경과한 後에는 陽極直下點을 中心으로 防蝕되는 面積이 나타남을 알 수 있다. S_3 의 경우는 그림에서도 알 수 있듯이 침지초기에 陽極直下點을 中心으로 防蝕面積이 나타날 뿐 아니라 20時間 경과 후에는 鋼板의 全體面積이 防蝕됨을 알 수 있다. Fig. 8은 S_1 과 S_4 의 경우 陽極을 각각 3개씩 等間격으로 설치한 경우에 나타나는 分極電位 分布

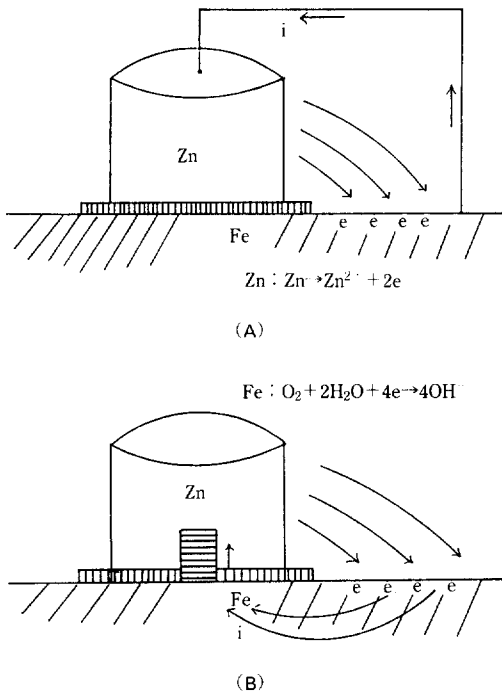


Fig. 5. Attaching method of between steel plate and Zn anode.

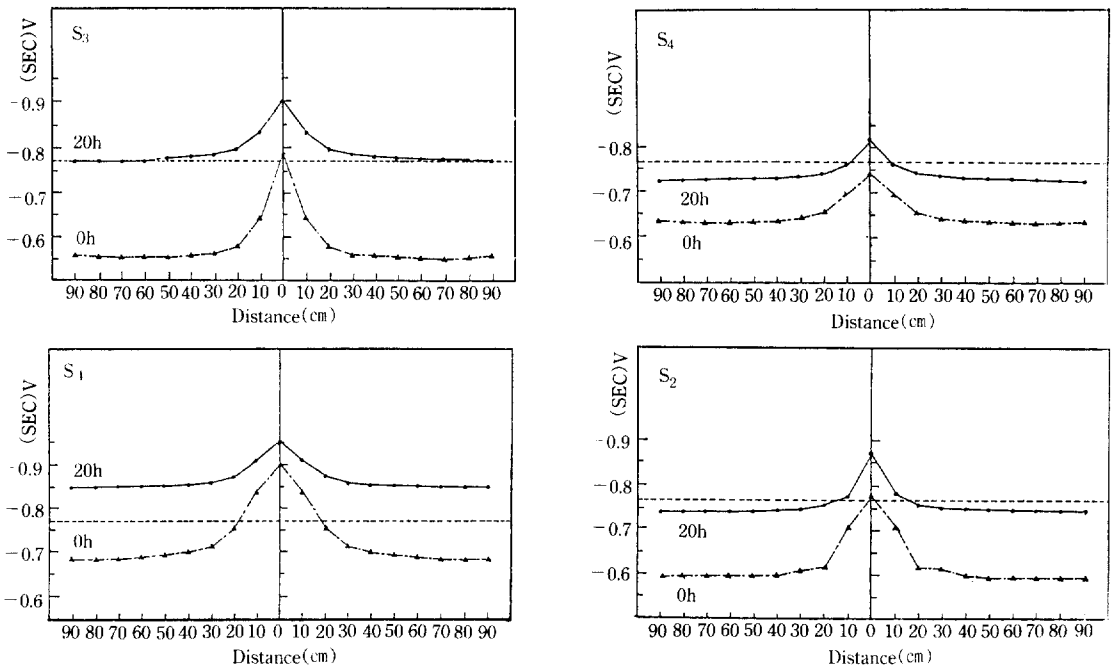


Fig. 6. Variation of cathodic potential as a function of exposed time of steel plate (S1, S2, S3, S4)

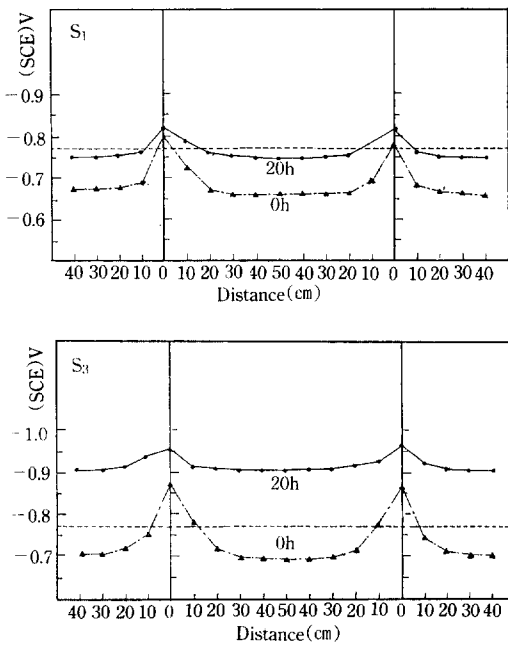


Fig. 7. Variation of cathodic potential of steel plate when Zn anodes are dual.

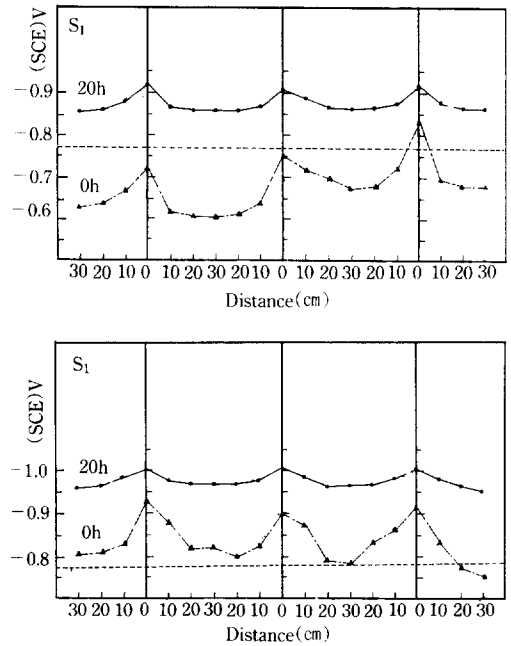


Fig. 8. Variation of cathodic potential of steel plate when Zn anodes are triple.

이다. 그림에서 알 수 있듯이 浸漬初期에는 電位分布의 屈曲이 매끄럽지 못한 느낌을 주나 20時間이 경과한 後 부터는 매끄러운 느낌을 주고 있음을 알 수 있다. 그리고 S₁의 경우 浸漬初期에는 Fig. 6, 7에서와 같이 鋼板全面積이 防蝕되지 않으나 20時間이 경과한 後에는 全體의 鋼板面積이 防蝕되어 있음을 알 수 있다. Table 3 및 Fig. 9는 Fig. 6, 7, 8에서 나타나는 電位分布의 특징을 整理한 것이다. 먼저 S₁과 S₄를 각각 한개씩 設置했을 경우(以下 S₁ Single, S₄ Single로 한다)陽極直下點과 X=90cm 떨어진 地點의 電位差(以下 E₀-E₉₀으로 한다)는 86mV, 127mV로 S₄의 경우가 S₁보다 直下點에서 X=90cm까지 이르는 電位分布의 屈曲이 심하다는 것을 알 수 있다. 그리고 S₁과 S₄를 각각 3개씩 설치했을 경우(以下 S₁ Triple, S₄ Tri-

ple로 한다)에서 S₁ Triple의 E₀-E₉₀은 76mV S₄의 경우 42mV로 오히려 S₁ Triple이 S₄ Triple 보다 電位分布의 屈曲이 심함을 알 수 있다. 그리고 S₁ Single과 S₁ Triple를 比較하여 보면 S₁ Single이 86mV S₁ Triple 76mV로 불과 10mV의 電位差를 보여주고 있으며 S₄의 경우에는 S₄ Single이 127 mV, S₄ Triple이 42mV로 85mC의 큰 電位差를 보여주고 있다. 以上의 結果에서 Triple이 Single의 경우보다 電位分布의 屈曲이 緩慢함을 알 수 있으며 특히 S₄의 경우가 S₁보다 그 영향이 컸음을 알 수 있다. 이것은 陰極의 鋼板表面積이 流電陽極에 의해서 完全防蝕領域을 넘어서 必要以上으로 卑電位가 되면 오히려 濃度分極의 영향이 증대되어 式(3)에 의해서 電流密度가 거리에 관계없이 거의 均等하게 되기 때문인 것으로 思料된다.

그러나 外部電源法의 경우 경제적인 측면에서 不溶性陽極의 갯수를 적게하면 電位分布의 屈曲이 심하여 過防蝕의 罣려가 있으며 不溶性陽極의 갯수를 많게하면 均等한 電位分布가 된다고 지적하고 있다.³⁴⁾ 本 實驗의 結果에서 알 수 있듯이 流全陽極法의 경우에도 한개의 陽極보다 여러개의 陽極을 설치하는 것이 均等한 電位分布를 얻을 수 있다는 것을 알 수 있었다. 이와같이 電流陽極에 의한 陰極防蝕의 경우 電位分布가 均等하게 되는 이유의 하나로 流電陽極自身の 電流制御作用이 있으며 또한 物一電流密度分布力(Throwing Power)³⁵⁾에 基因하는 것으로 보는 경우도 있다. Table 4에서는 지금까지 流電陽極의 크기를 變化시키면서 一定表面積의 鋼板을 陰極防蝕시켰을 경우 陽極電流, 陽極電流密度, 이때의 防蝕面積 그리고 防蝕된 鋼板面積과 流電陽極의 面積比(防蝕面積

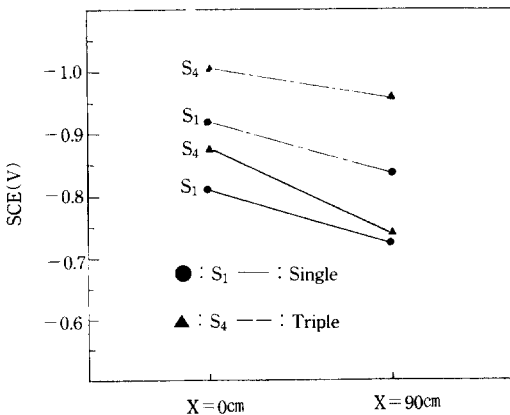


Fig. 9. Comparison between maximum (x=0cm) and minimum (x=90cm) potential when Zn anodes are single and triple.

Table 3. Relation between maximum (x=0cm) and minimum (x=90cm) potential when Zn anodes are single and triple.

Distance	Hr	Zn	S ₁ Single	S ₄ Single	E ₄ -R ₁	S ₁ Triple	S ₄ Triple	E ₄ -R ₁
X=0 cm	20h		-817	-870	-53	-922	-1003	-81
X=90 cm	20h		-731	-743	-12	-846	-981	-135
E ₀ -E ₉₀		-	-86	-127	-	-76	-42	-

係數 $\alpha = S_{Fe}/S_{Zn}$) α 를 求하여 나타내고 있다. Table 4에서 알 수 있듯이 流電陽極의 面積, $S_{Zn} = 48.984 \text{ cm}^2$ 일 때 被防蝕體의 鋼板 16562 cm^2 全面積이 防蝕되었음을 알 수 있다. 그리고 이때의 防蝕面積係數 $\alpha = 338.1$ 이며 아연판의 면적이 48.984 cm^2 보다 크거나 적은 경우 얻어지는 모두의 α 값은 上記한 α 값보다 적음을 알 수 있다. 결국 鋼板의 面積이 一部分만이 防蝕되거나 혹은 全體가 必要以上으로 過防蝕되어도 α 값은 적어지게 됨을 알 수 있다. 따라서 最適의 條件을 만족하는 α 값은 Table 4에서 알 수 있듯이 S_1 Triple에 해당하는 α 의 값이 338.1이며 이때가 가장 양호한 完全防蝕條件에 해당됨을 알 수 있다. 따라서 일정크기의 아연판으로 방식시킬 수 있는 鋼板의 最大表面積은 上記한 α 값을 이용하여 구할 수 있다고 생각된다. 예를들면 防蝕하고자 하는 鋼板의 表面積을 S_F , 이때의 陽極의

크기를 S_{Zn} 이라고 하면 S_{Zn} 으로서 防蝕可能한 鋼板面積을 S_{Fe} 라 할 때 $S_{Fe}/S_{Zn} = \alpha$ (最適條件의 α 값은 338.1)

그러므로 $S_{Fe} = \alpha \cdot S_{Zn}$ 이 된다. 결국 陽極 S_{Zn} 1개로 S_{Fe} 의 面積을 防蝕할 수 있으므로 필요한 陽極의 갯수 n 은

$$n = \frac{S_F}{S_{Fe}} = \frac{S_F}{\alpha \cdot S_{Zn}} \dots \dots \dots (4)$$

따라서 上記한 (4)式에 의해서 필요한 아연판의 갯수를 쉽게 구할 수 있다.

Table 5는 Table 4에서 整理한 陽極電流密度를 이용하여 實際 現場에서 使用하는(韓國東信亞鉛金屬工業社에서 만들고 있는 規格製品 A-9) 流電陽極의 수명을 계산하여 정리하였다. 流電陽極의 수명을 구하는 公式는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

Table 4. Relation between anode current density and protected area according to variation of anode surface area.

Zn	Surface Area) (S_{Zn})	I_{zn} (mA)	I_{zn} (mA/cm ²)	Protected Area (S_{Fe})	$\alpha = S_{Fe}/S_{Zn}$
S_1 Single	16.328	59	3.6	256	15.68
S_2 Single	25.357	78	3.1	659	25.99
S_1 Double	32.656	93	2.86	1058	32.49
S_1 Triple	48.984	114	2.32	16562	338.11
S_3 Single	85.397	118	1.38	16562	193.94
S_4 Single	143.326	121	0.85	16562	115.55
S_3 Double	171.83	130	0.76	16562	96.39
S_4 Triple	429.98	136	0.31	16562	38.52

Table 5. Relation between anode current density and anode lifetime, corrosion prevention coefficient.

i_{zn} (mA/cm ²)	Zn Life(yr)	$S_{Fe}/S_{Zn}(\alpha)$	Remark
0.31	3.6	38.52	Zn Size(mm) 300×150×30 1. Surface Area 550cm ² 2. Anode Weight 8.3kg 3. Cosumption rate 750A.h/kg 4. Utilization Factor 0.85
0.76	1.5	96.39	
0.85	1.3	115.55	
1.38	0.8	193.94	
2.32	0.5	338.11	
2.86	0.4	32.49	
3.1	0.3	25.99	
3.6	0.2	15.68	

$$\text{수명}(Y_r) = \frac{Q \cdot W \cdot K}{I} \dots\dots\dots(5)$$

- Q : 流電陽極의 消耗率(A·h/kg)
- W : 流電陽極의 重量(kg)
- K : 流電陽極의 防蝕用으로 使用할 수 있는 實際의 重量을 구하는 係數
- I : 流電陽極의 平均發生電流

그리고 Fig. 10은 Table 5에서 구한 陽極電流密度와 陽極의 수명관계를 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 양극전류밀도가 클수록 양극의 수명은 감소하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 11에서는 陽極의 수명과 α값의 관계를 나타내고 있는데 陽極의 수명이 0.5(Yr)년까지는 α값이 급격히 증가하고 그 이상의 수명에서는 α값이 줄어들고 있음을 알 수 있다. 그리고 Table 5에서 알 수 있듯이 양극의 수명이 0.5년 이하에 해당하는 α값에서는 Table 4에서 나타난 바와 같이 陰極의 鋼板이 完全防蝕되지 않고 있음을 알 수 있다. 따라서 被防蝕體를 完全防蝕시키기 위해서는 적어도 0.5년 이상의 수명이 維持될 수 있는 α값이 필요하며 Fig. 11의 오른쪽 領域에 해당됨을 알 수 있다. Fig. 11에 의하면 필요한 수명이 결정되면 α값이 同時に 결정되고 式(4)에 의해서 陽極의

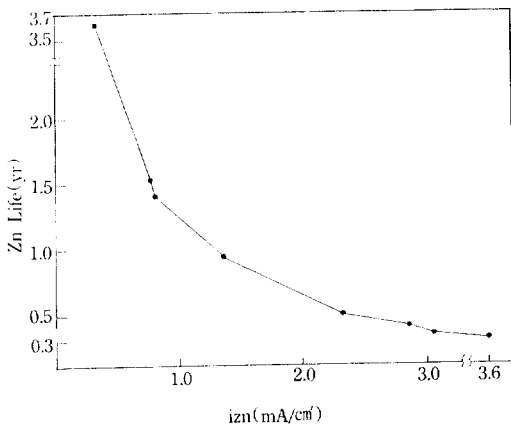


Fig. 10. Relation between Zn lifetime and Zn current density.

소요갯수를 구할 수 있다. 한편 瀬尾³⁶⁾ 등에 의하면 防式對象 面積에 防蝕電流密度를 곱하고 여기에다 陽極電流密度와 陽極面積을 나누어 所要갯수를 구하고 있다.³⁶⁾ 그러나 지금까지의 실험결과에서 알 수 있듯이 流電陽極의 크기에 따라 다시 말해서 防蝕對象面積과 流電陽極의 面積比에 따라서 陽極電流密度는 달라지고 있음을 알 수 있었다. 따라서 瀬尾 등에 의한 陽極의 갯수를 구하는 方法은 陽極의 수명과 前述한 面積比를 생각할 때 完全한 方法은 아니라고 思料된다.

따라서 本 實驗의 結果를 응용하면 被防蝕體를 完全防蝕시키기 위해 필요로 하는 양극의 수명 및 갯수를 求할 수 있다고 思料되어진다. Fig. 12는 被防蝕體인 鋼板을 陰極防蝕시킬 때 流電陽極으로 使用한 아연의 分極電位變化를 보여주고 있다. S₁ Single의 경우 通電開始直後 -898mV에서 時間의 경과에 따라서 점차 貴한 方向으로 分極되어 -828mV 근처에서 거의 일정한 값을 維持하였다. 그리고 S₄ Triple의 경우에는 通電直後 -995mV에서 時間의 경과에 따라 점차 卑한 方向으로 이동하여 20時間 경과되었을 때는 -1016 mV의 일정한 값을 유지하였다. 한편 S₁ Triple의 경우에는 通電初期에 -916mV에서 時間의 경과에 따라 電位로 變化가 거의 없고 일정한 값을 유지하고 있음을 알 수 있었다. 그런데 Table 4, 5에서 알 수 있듯이 S₁ Single의 경우에는 被防蝕體의

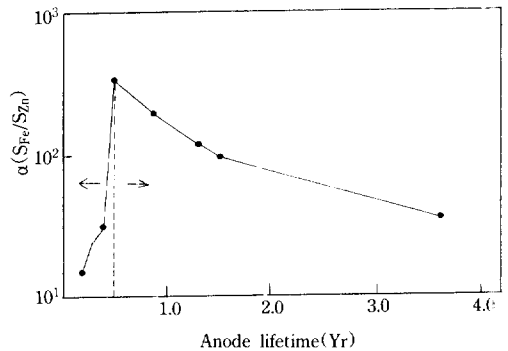


Fig. 11. Relation between Zn lifetime and corrosion prevention coefficient.

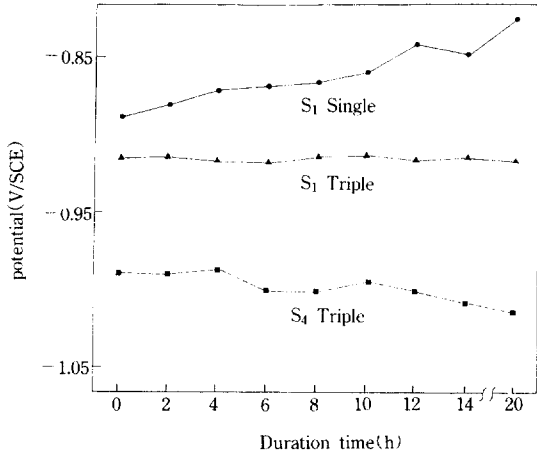


Fig. 12. Variation of Zn anode potential according to Zn surface area.

극히 적은 면적이 防蝕可能했으며 이때의 수명도 0.2年(Yr)밖에 되지 않았음을 알 수 있다. 그리고 S₄ Triple의 경우에는 被防蝕體를 完全防蝕시킴은 물론 수명도 3.6年(Yr)임을 알 수 있다. 한편, S₁ Triple의 경우에는 被防式體인 鋼板을 完全防式시킴과 동시에 수명은 0.5年(Yr)임을 알 수 있었다.

따라서 이들의 結果와 아연의 分極電位變化關係를 考察하여 보면 일정크기의 流電陽極으로 陰極防蝕할 경우 流電陽極이 被防蝕體를 完全防蝕시키는 경우와 그렇지 못한 경우에 따라서 陽極자신의 分極電位가 貴 또는 卑방향으로 移行하고 있음을 알 수 있다. 그리고 被防蝕體를 完全防蝕시키면서 경제적으로 最小限의 陽極갯수를 결정하는 경우에는 S₁ Triple의 경우처럼 分極電位가 거의 일정한 값을 유지함을 알 수 있다. 또한 이들의 結果에서 陽極과 陰極의 電位分布를 腐蝕電位の 支配형식과 관련시켰을 때 아연판의 크기가 적을수록 陽極支配, 클수록 陰極支配로 變化하고 있음을 알 수 있으며 Fig. 13에서는 이들의 關係를 內部分極曲線으로 쉽게 說明하고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 鋼板의 腐蝕電位(E_{COR})는 아연양극과의 通電으로 점차 分極되어 E_1 (완전방식되지 않음) 電位에서 E_2 (완전 방식된), E_3 , E_4 電位로 變하고 있음을 생각할 수 있다.

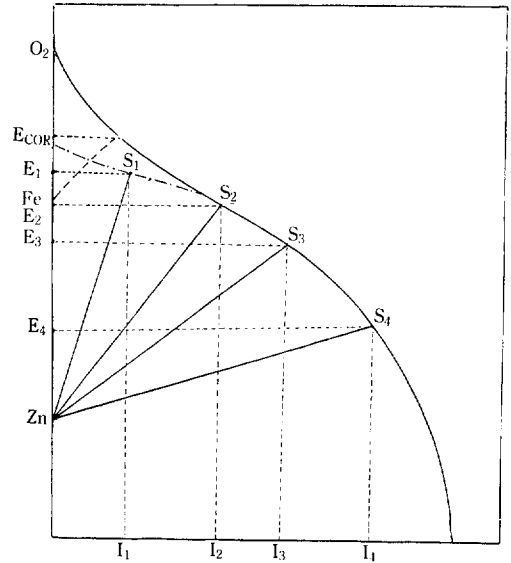


Fig. 13. Internal polarization curves of between Zn anodes and steel plate.

5. 結 論

지금까지 流電陽極法에 의해서 아연판의 면적의 크기를 變化시키면서 鋼板을 陰極防蝕시킨 結果 다음과 같은 사실을 알 수 있었다.

- 1) 被防蝕體인 鋼板이 完全防蝕되지 않았을 때 한 개의 아연을 設置한 경우 아연판의 크기가 클수록 陰極의 分極電位分布가 不均一하며 크기가 적을수록 均一해짐을 알 수 있었다.
- 2) 被防蝕體인 鋼板이 完全防蝕되었을 때는 아연판의 갯수에 관계없이 陰極의 電位分布가 均一해짐을 알 수 있었다.
- 3) 裸鋼板을 陰極防蝕시킬 경우 아연판의 크기가 陰極面積에 비해 비교적 크더라도 陽極直下點의 電位가 卑方向으로 移行하기 보다 오히려 鋼板의 가장자리 地點의 電位가 卑方向으로 移行하는 比率이 훨씬 커지는 傾向을 알 수 있었다.
- 4) 流電陽極에 의해서 陰極防蝕시킬 경우 필요한 陽極의 갯수, 수명등을 本 實驗의 結果에 의해서 쉽게 구할 수 있다고 思料된다.

5) 流電陽極에 의해서 陰極防蝕할 경우 被防蝕體가 完全防蝕되지 않을 경우에는 陽極電位가 貴方向으로 移行하고, 完全防蝕될 경우에는 卑方向으로 移行하는 傾向을 보였다.

따라서 양극전위만을 測定함으로써 被防蝕體가 完全防蝕되고 있는지의 여부를 알 수 있다고 思料되어진다.

〈사 례〉

이 논문은 한국과학재단 연구비(과제번호: 901-0605-012-2) 지원에 의해서 이루어졌음을 밝히고 귀재단에 감사를 드리는 바입니다.

參 考 文 獻

1. K. G. COMPTON : Corrosion, Vol. 12,553 (1956)
2. K. G. COMPTON : Corrosion, Vol. 17, 93 (1956)
3. J. D. TALAT. etal : Corrosion, Vol. 40,88 (1984)
4. T. E-LIN. etal : Corrosion, Vol. 40,88(1984)
5. PERO, GRATLAND, etal : Corrosion, Vol. 40, 127(1984)
6. ROY JOHNSEN. etal : Corrosion, Vol. 41,296 (1984)
7. K. NISANCIGIVY. etal : Corrosion, Vol. 43,710 (1987)
8. N. G. THAMPSON. etal : Corroson, Vol. 44, 581(1988)
9. R. V. Lee eta : Corrosion, Vol. 44,887(1988)
10. 重野, 清原, 倉成 : 防蝕技術, Vol. 9, No. 1,4 (1957)
11. L. J. WALDRON&M. H PETERSON : Corrosion, Vol. 14,2895(1958)
12. 中川雅央 : 電氣防蝕 實際, 地人書館, 東京 (1967)
13. 文慶萬, 興戶正純, 田大熙, 沖猛雄 : 防蝕技術, Vol, 34, NO. 7,400(1985)
14. 三浦周敏, 村井東助 : 防蝕技術. Vol. 18, No 6,261(1967)
15. 田大熙 : 韓國腐蝕學會誌 : 2,3,101(1973)
16. 田大熙 : 韓國腐蝕學會誌 : 7,1, 25(1978)
17. 田大熙 : 韓國腐蝕學會誌 : 3,3(1973)
18. 金垣寧 : 金基俊, 金英大 : 韓國腐蝕學會誌, 9,3, 33,(1985)
19. 日本學術振興會, 金屬防蝕使覽 p. 588
20. 伊藤田 : 金屬の防蝕技術と表面處理, p. 321 地人書館
21. 瀬尾正雄, 船舶の電氣防蝕, 改訂版 船舶技術協會(1963)
22. 福谷英二 : 防蝕技術, Vol 9, NO. 10,446(1962)
23. 中川雄央 : 電氣防蝕法の實際, 地人書館, p. 34 (1967)
24. 花田政明, 豊部正義 : 防蝕技術, Vol. 8, NO. 6 245(1957)
25. 花田政明, 豊部正義 : 防蝕技術, Vol. 8, NO. 6 249(1957)
26. 前掲書(24) p. 36
27. 前掲書(24) p. 36
28. 齊藤明夫, 重野準太, 熊谷年男 : 防蝕技術 Vol. 19. NO. 7.303(1968)
29. 福谷英二 : 防蝕技術, Vol. 9.157(1957)
30. 花前正明 : 防蝕技術, Vol. 9.160(1959)
31. 重野準太 : 防蝕技術, Vol. 9.NO.14.157(1957)
32. 福谷英二 : 防蝕技術, Vol. 9.NO. 4.157(1959)
33. 花田政明 : 防蝕技術, Vol. 9.NO. 4.161(1959)
34. 田大熙 : 腐蝕과 防蝕의 管理, 一中社, p. 236 (1985)
35. 沖猛雄 : 金屬電氣化學, 共立出版株式會社, p. 127(1981)
36. 前掲書(34) p. 401