

<研究論文>

外部電源에 의한 水中鋼管의 陰極防蝕에 관한 研究

(Ⅲ) 分極電位와 所要電壓에 미치는 물의 比抵抗과 被防蝕面積의 影響

田 大 熙 · 金 垣 寧

韓國海洋大學 機關學科

A Study on the Cathodic Protection of a Steel
Pipe in Water by Impressed Current Method (Ⅲ)

Jeon Dae Hi · Kim Won Yeong

Department of Marine Engineering, Korea Merchant Marine College, Busan, Korea

Abstract

This paper treated the problems involved in the corrosion prevention of the steel pipe submerged in water by arranging two insoluble anodes. In the previous papers (I)(II), the authors published the effects which anode location exerts on polarization potential distribution and electric power for corrosion prevention when two insoluble anodes were arranged above the submerged steel pipe. In that case the specific resistance of water was set as 1950Ω-cm and the test piece was a small size.

In this paper, the authors interpreted the influence of specific resistance of water on polarization potential distribution, and also presented the experimental analysis for the effects which the voltage of electric power source for corrosion prevention exerts on the protected area when the area increases up to that of semi-practical size of steel pipe. And the authors surveyed the applicable limit and accuracy of the empirical formulas presented by them.

The results of research are as follows:

- (1) When the specific resistance of water is between 960~4,800Ω-cm, the polarization potential at the drainage point is presented as follow:

$$E_0' = E_0 + 0.0083433 (\rho - 1950) \quad (\text{mV}) \quad \textcircled{1}$$

where E_0 : polarization potential at the drainage point when $\rho = 1950\Omega\text{-cm}$.

- (2) In the range of ρ of 960~4,800Ω-cm, the empirical formulas are corrected as follows:

- 1) At the outer parts of steel pipe above which two anodes are arranged,

$$E_x = E_0' \exp \left[-2 \sqrt{\rho_x D / \{D^2 - (D-2t)^2\}} \cdot \frac{50x}{l} \sqrt{R} \right] \quad (\text{mV}) \quad \textcircled{2}$$

$$\sqrt{R} \times 10^3 = (19.385h + 1.0664) \cdot \frac{50x}{l} + 1284.505h - 64.4196 \quad (\Omega^{1/2}\text{-cm}) \quad \textcircled{3}$$

- 2) At the parts of the steel pipe between the two anodes arranged,

$$E_x = E_0' \cosh \left\{ \left[2 \sqrt{\rho_x D / \{D^2 - (D-2t)^2\}} / \sqrt{R} \right] \left(50 - \frac{50x}{l} \right) \right\} \div \cosh \left[100 \sqrt{\rho_x D / \{D^2 - (D-2t)^2\}} / \sqrt{R} \right] \quad (\text{mV}) \quad \textcircled{4}$$

$$\sqrt{R} \times 10^3 = (1.3877h + 0.1306) \cdot \frac{50x}{l} + 629.775h + 156.1420 \quad (\Omega^{1/2}\text{-cm}) \quad \textcircled{5}$$

(3) On the experimental measurement for confirmation of the semipractical pipe, the ratios of calculated polarization potential on the surface of steel pipe by the formulas ②~⑤ to measured values are revealed as follows;

$$\rho = 1050 \Omega\text{-cm} : \text{within } 4.0\%$$

$$\rho = 1400 \Omega\text{-dm} : \text{within } 3.4\%$$

$$\rho = 1950 \Omega\text{-cm} : \text{within } 3.3\%$$

and when assuming E_0' equal to E_0 in eq. ①,

$$\rho = 1050 \Omega\text{-cm} : \text{within } 10.5\%$$

$$\rho = 1400 \Omega\text{-cm} : \text{within } 7.7\%$$

$$\rho = 1950 \Omega\text{-cm} : \text{within } 3.3\%$$

(4) In the case of extending a small experimental pipe size to a semi-practical one, the voltage of electric power source required for corrosion prevention is corrected as follow:

$$V_0 = I_0(-0.5317973 \log I_0 + 1.7299687) \{0.0723 + 0.0144 \log(50h)\} \times \rho \times 10^{-3} + 1.85 \quad (\text{V}) \quad \textcircled{6}$$

$$I_0 = i_0 \pi D L \times 10^{-4} \quad (\text{mA}) \quad \textcircled{7}$$

抄 錄

外部電源法에 의해서 水中鋼管表面을 陰極防蝕할 때 두 개의 不溶性陽極을 設置한 경우의 鋼管表面의 分極電位 分布狀態, 所要防蝕電力 등이 물의 一定比抵抗과 試片의 一定 크기에 대해서 陽極의 設置位置에 따라서 어떻게 變化하는가에 대해서는 이미 本題 (I)(II)로 表發한 바 있다.

本報에서는 물의 比抵抗이 鋼管表面의 分極電位 分布에 미치는 영향에 대해서 調査하고 또 準實用規模의 試片에 대해서 印加電流의 增加에 따른 電源裝置의 所要電壓에 관해서도 實驗的으로 檢討한 후 (I)(II)報의 實驗式을 補完하였다. 그리고 지금까지 誘導한 여러 實驗式의 適用限界와 精度에 대해서 檢討하였다. 그 結果는 다음과 같다.

1) 물의 比抵抗과 排流點의 分極電位와의 관계는 물의 比抵抗(ρ)이 $1950 \Omega\text{-cm}$ 일 때의 排流點의 分極電位를 E_0 라 할 때 $\rho = 960 \sim 4,800 \Omega\text{-cm}$ 에서 다음式으로 表示된다.

$$E_0' = E_0 + 0.0083433(\rho - 1950) \quad (\text{mV}) \quad \textcircled{1}$$

2) 물의 比抵抗(ρ) $960 \sim 4,800 \Omega\text{-cm}$ 의 範圍에서 지금까지의 諸實驗式은 1)에 따라서 다음과 같이 補正된다. 卽 排流點에서 x cm 떨어진 任意點의 鋼管表面의 分極電位 E_x 는 다음 式으로 된다.

(i) 陽極外側兩端鋼管의 경우

$$E_x = E_0' \exp \left\{ -2 \sqrt{\rho} D / \{D^2 - (D-2t)^2\} \cdot \frac{50x}{l} / \sqrt{R} \right\} \quad (\text{mV}) \quad \textcircled{2}$$

$$\sqrt{R} \times 10^3 = (19.385h + 1.0664) \cdot \frac{50x}{l} + 1284.505h - 64.4196 \quad (\Omega^{1/2}\text{-cm}) \quad \textcircled{3}$$

(ii) 陽極間의 鋼管의 경우

$$E_x = E_0' \cosh \left\{ [2 \sqrt{\rho} D / \{D^2 - (D-2t)^2\} / \sqrt{R}] \left(50 - \frac{50x}{l} \right) \right\} \div \cosh \left\{ 100 \sqrt{\rho} D / \{D^2 - (D-2t)^2\} / \sqrt{R} \right\} \quad (\text{mV}) \quad \textcircled{4}$$

$$\sqrt{R} \times 10^3 = (1.3877h + 0.1306) \cdot \frac{50x}{l} + 629.775h + 156.1420 \quad (\Omega^{1/2}\text{-cm}) \quad \textcircled{5}$$

3) 外徑 3.4cm 두께 0.32cm 길이 2400cm의 配管用炭素鋼管의 準實用配管의 確認測定에서 鋼管表面의 分極電位의 實驗值에 대한 위 ②~⑤ 實驗式의 計算值의 比率은 다음의 精度를 갖는다.

$$\rho = 1050 \Omega\text{-cm} : \pm 4.0\% \text{ 以內}$$

$$\rho = 1400 \Omega\text{-cm} : \pm 3.4\% \text{ 以內}$$

$$\rho = 1950 \Omega\text{-cm} : \pm 3.3\% \text{ 以內}$$

또 ①式에서 ρ 의 영향을 無視($E_0' = E_0$)한 경우에도 다음과 같은 精度를 갖는다.

$\rho=1050\Omega\text{-cm} : \pm 10.5\%$ 以內

$\rho=1400\Omega\text{-cm} : \pm 7.7\%$ 以內

$\rho=1950\Omega\text{-cm} : \pm 3.3\%$ 以內

4) 準實用規模의 試片까지 擴張했을 때의 電源裝置의 所要電壓의 實驗式은 다음과 같다.

$$V_0 = I_0(-0.5317973 \log I_0 + 1.7299687) \{0.0723 + 0.0144 \log(50h)\} \rho \times 10^{-3} + 1.85 \quad (\text{V}) \quad (6)$$

$$I_0 = i_0 \pi D L \times 10^{-4} \quad (\text{mA}) \quad (7)$$

記號說明

- x : 排流點에서 測定點까지의 거리 (cm)
- D : 試驗片의 外徑 (cm)
- t : 試驗片의 두께 (cm)
- L, l : 試驗片의 全長과 1/4 길이 (cm)
- I_0 : 印加電流 (mA)
- i_0 : 試驗片의 平均印加電流密度 (mA/m²)
- E_0 : 물의 比抵抗 1950Ω-cm 일 때의 排流點의 分極電位 (mV)
- E_0' : 任意的 물의 比抵抗일 때의 排流點의 分極電位 (mV)
- E_x : x 點의 分極電位 (mV)
- R : 試驗片의 表面抵抗 (Ω-cm²)
- ρ_s : 試驗片의 比抵抗 (Ω-cm)
- H, h : 試驗片中心線으로부터 陽極까지의 거리 (cm) 및 그 높이(거리)을 (H/l)
- V_0 : 電源裝置의 負荷電壓 (V)
- ρ : 任意的 물의 比抵抗 (Ω-cm)
- f : 被防蝕面積係數

1. 序 論

外部電源에 의한 水中鋼管의 陰極防蝕에 있어서 不溶性陽極의 設置位置에 따르는 被防蝕體의 分極電位分布狀態와 不溶性陽極의 設置 適正位置 및 所要防蝕電力 등에 관해서는 本題 (I)(II)報에서 研究 發表한 바 있다¹⁾²⁾.

그러나 그들의 分極電位分布狀態와 陽極의 設置 適正位置 등에 관해서는 물의 比抵抗(ρ) 1950Ω-cm 인 경우에 대해서 研究檢討한 것이었고, 또한 電源裝置의 所要電壓 관계도 印加電流의 범위가 約 40mA 以下의 小規模의 試驗片에 대한 檢討였다.

本 研究에서는 넓은 범위의 물의 比抵抗에 대해서 물의 比抵抗의 變化가 分極電位分布에 미치는 영향을 考察하여 물의 比抵抗을 고려한 分極電位의 實驗式을 補正하고 그 適用限界를 檢討하였다.

또한 印加電流의 增加에 따른 電源裝置의 所要電壓의 관계는 一般的으로 被防蝕面積이 增加함에 따라 所

要防蝕電流密度가 減少하는 傾向³⁾이 있으므로 水中鋼管의 陰極防蝕에 있어서 電源裝置의 所要電壓의 算出에도 이 傾向을 고려할 必要가 있다. 그러므로 準實用規模의 試片까지 擴大해서 電源裝置의 所要電壓까지 檢討하였다.

2. 實驗裝置 및 實驗方法

2.1 實驗裝置의 種類

實驗裝置(I)은 分極電位分布에 미치는 물의 比抵抗의 영향을 調查하기 위한 것이고 實驗裝置(II)는 本題 (I)(II)에서 誘導한 實驗式과 實驗裝置(I)에서 補正한 물의 比抵抗을 고려한 分極電位의 實驗式 및 電源裝置의 所要電壓의 實驗式등의 精度를 確認하기 위한 裝置이다.

2.2 實驗裝置(I) 및 實驗方法

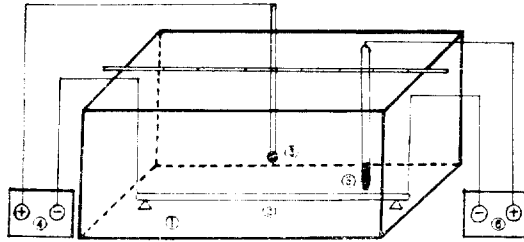
2.2.1 實驗裝置

물의 比抵抗調節을 容易하게 하기 위하여 小規模의 內部絕緣水槽를 擇하였다. 試驗片으로는 外徑 2.72cm, 두께 0.28cm, 길이 60cm의 配管用炭素鋼管(KSD 3507-SGP)을 採擇하였으며 兩端을 鎔接密閉하였다. 또한 兩端에 電氣端子를 붙인 후 電線을 연결하고 絕緣施工하였다. 試驗片表面은 完全脫銹하고 아세톤으로 脫脂한 후에 試驗片을 水槽에 浸漬시켰다.

實驗裝置는 Fig. 1과 같이 配置하였다. 즉 試驗片은 2개의 knife edge 緣絶片위에 올려 놓았으며 不溶性陽極은 試驗片中央에 試驗片中心線으로부터 높이 9cm (높이率 $h=0.3$)에 固定設置하고 基準電極은 試驗片上面에 沿하여 길이 方向으로 移動시킬수 있도록 設置하여 試驗片 各點의 分極電位를 測定할 수 있도록 하였다. 그리고 電源裝置와 電位差計에 各各 試驗片을 配線하였다. 또한 測定機器는 本題(I)(II)⁴⁾에서와 같다.

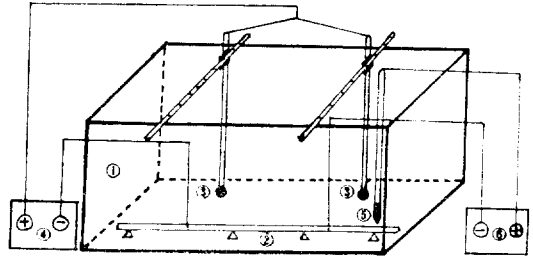
2.2.2 實驗方法

實驗水槽에 물을 채우고 試驗片을 浸漬시킨 후에 처음 2週間은 晝間 6時間간 150mA/m² 電流密度로 防蝕하고 그외의 時間은 無防蝕狀態로 放置하였다. 이렇게 해서 試驗片을 安定化시킨후 通電試驗을 開始하였다. 이때의 試驗片의 自然電位는 -680mV(SCE)이었다.



- ① Water tank
- ② Test piece
- ③ Pt-insoluble electrode
- ④ Electric Power Source
- ⑤ Reference electrode (SCE)
- ⑥ Potentiometer

Fig. 1. Schematic Drawing of experimental equipment (I)



- ① Water tank
- ② Test piece
- ③ Pt-insoluble electrode
- ④ Electric power source
- ⑤ Reference electrode (SCE)
- ⑥ Potentiometer

Fig. 2. Schematic drawing of experimental equipment (II)

外部電源에서 防蝕電流을 125mA/m² 通電하여 約 20 分후에 分極電位가 安定된 후 各點의 分極電位를 測定 하였고 測定이 끝난 후에는 電源을 끊고 물의 比抵抗을 調節하였다.

물의 比抵抗은 海水(10°C에서 $\rho=28\Omega\text{-cm}$)와 清水(10°C에서 $\rho=7000\Omega\text{-cm}$)를 適當量 混合시켜서 調節 하였으며 $\rho=28\sim 4800\Omega\text{-cm}$ 範圍로 調節한 數種의 比折抗의 물에서 各各 分極電位를 測定하였다. 各各의 물의 比折抗으로 水質을 調節한 후에는 數時間씩 기다려서 試驗片表面이 自然電位[-680mV(SCE)]로 復極된 후에 다시 通電試驗을 하였다.

2.3 實驗裝置(II) 및 實驗方法

2.3.1 實驗裝置

本報(I)(II)에서 採擇한 試驗片(外徑 2.72cm, 두께 0.28cm 길이 200cm)代身 準實用規模의 큰 試驗片을 採擇하므로써 (I)(II)報에서 誘導한 實驗式을 本實驗(I)로 補正하고 그 實驗式의 精度를 確認하기 위하여 水槽로서는 本大學 大型 室內물(25m 길이×12m 폭×2m 깊이)을 利用하였다.

試驗片으로는 準實用配管으로서 外徑 3.4cm, 두께 0.32cm 길이 2,400cm의 配管用炭素鋼管(KSD 3507-SGP)을 採擇하였으며 6m 길이의 市販鋼管 4개를 유니온으로 연결하고 兩端을 鎔接密閉하였다. 試驗片의 1/4分點 및 3/4分點에 電氣端子를 붙인 후 試驗片 表面은 完全脫銹하고 아세톤으로 脫脂한 후에 試驗片을 水槽에 浸漬시켰다.

實驗裝置는 Fig. 2와 같이 配置하였다. 卽 試驗片은 水槽內에 數個의 絕緣臺 위에 올려 놓았으며 不溶性陽極은 試驗片의 1/4分點 및 3/4分點에서 鋼管의 中心線과 같은 깊이(水深)에서 거리만을 調節할 수 있도록

設置하였고 基準電極은 試驗片에 沿하여 길이 方向으로 移動시킬 수 있도록 하였다. 그리고 試驗片을 電源裝置와 電位差計에 各各 配線하였다.

測定機器는 本報(I)(II)⁵⁾에서 使用한 것들과 같으나 다만 基準電極은 大型포화카로멜 電極을 使用하였다.

2.3.2 實驗方法

試驗片은 本報(I)(II)에서와 같은 方法으로 安定化시켰으며 試驗片의 自然電位는 -680mV(SCE)이었다.

外部電源에서 防蝕電流을 通電하여 試驗片表面의 分極電位가 安定되는 40分후에 各點의 分極電位를 測定하였고 測定이 끝난 후에는 電源을 끊고 다시 試驗片表面이 自然電位[-680mV(SCE)]로 復極되기까지 約 1時間씩 기다렸다. 이 때 물의 比抵抗을 700, 1050, 1400 및 1950 $\Omega\text{-cm}$ 의 4 경우로 調節하여 各各의 경우에 대하여 實驗하였다.

두 不溶性 陽極의 位置는 各各 試驗片의 1/4分點과 3/4分點에서 試驗片 中心線으로 부터의 거리를 1.5m ($h=0.25$), 3.0m ($h=0.5$), 4.5m ($h=0.75$) 및 6.0m ($h=1.0$)로 바꿔가면서, 印加電流(I_0) 320.28mA ($i_0=125\text{mA/m}^2$)下에서 試驗片表面의 分極電位를 測定하였다. 또한 分極電位測定位置는 排流點(不溶性陽極의 直側點)으로부터 1.5m 간격으로 하였다.

3. 實驗結果 및 分析

3.1 實驗(I)의 結果 및 分析

本實驗에서 一定한 印加電流密度 125mA/m²下에서 물의 比抵抗에 따른 分極電位分布는 Fig. 3과 같다.

즉 물의 比抵抗이 28~430 $\Omega\text{-cm}$ 範圍에서는 分極電位分布狀態가 良好하다. 그러므로 陽極의 適正位置의

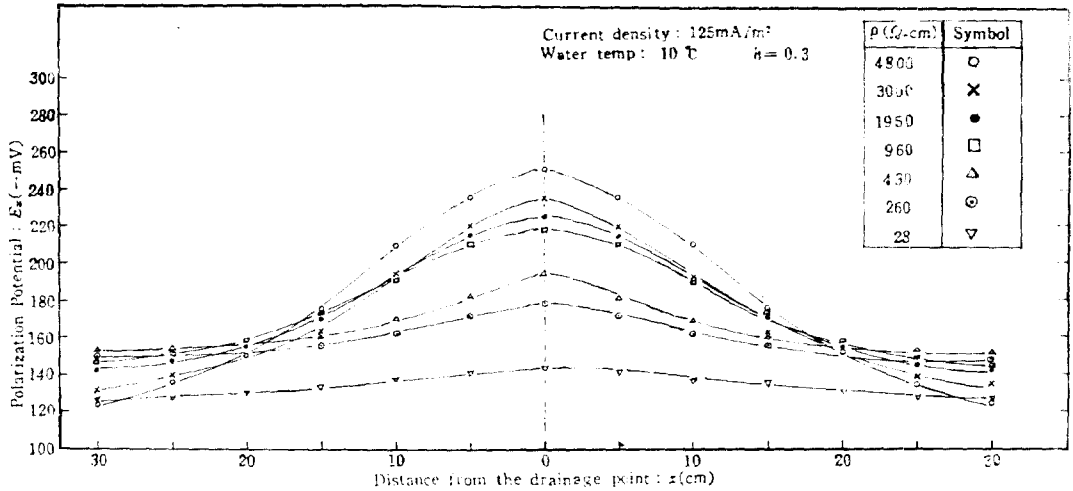


Fig. 3. Cathodic polarization potentials(an anode:center)

영향이 거의 없다. 그러나 물의 비저항이 960~4800Ω-cm의 범위에서는 분극전위 분포상태가 불량하므로 양극을 適正位置에 設置한다는 것이 重要な 問題임을 알 수 있다.

또한 本實驗에서 물의 비저항(ρ)의 變化에 따른 排水點의 分極電位(E)의 變化는 Fig. 4와 같다.

즉 물의 비저항(ρ)의 값이 960~4800Ω-cm 범위에서 排水點의 分極電位의 값은 ρ=1950Ω-cm 일 때와 큰 差는 없으나 完滿하게 直線의 變換함을 알 수 있다. 그러므로 그 一般式은

$$E = a\rho + b \quad (2.1)$$

로 表示할 수 있으며 式의 a 및 b는 測定值의 代入에 의하여 最少自乘法로 決定하면 다음 式으로 表示된다.

$$E = 0.0083433\rho + 209.87 \quad (\text{mV}) \quad (2.2)$$

(2.2)式을 (I) (II)報에서 求한 排水點의 分極電位(E₀)에 適用시키면 물의 비저항을 고려한 排水點의 分極電位(E'₀)의 實驗式은

$$E'_0 = E_0 + 0.0083433(\rho - 1950) \quad (\text{mV}) \quad (2.3)$$

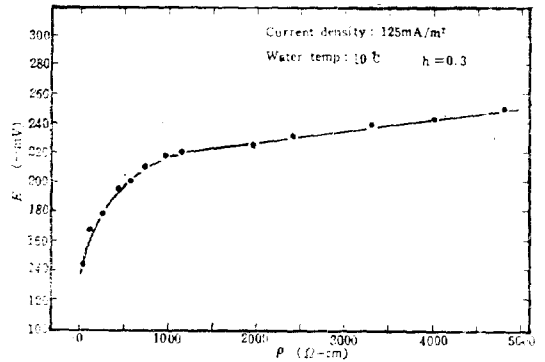


Fig. 4. Relations of E to ρ

但 E₀ : ρ=1950Ω-cm 일 때의 排水點의 分極電位

로 表示할 수 있다.

E₀에 대한 E'₀'의 比率은 Table 1에 表示한 바와 같이 ρ=1200~2700Ω-cm 에서 ±5% 以內, ρ=470~3400Ω-cm 에서도 ±10% 以內의 差에 不過하다.

Table 1. Calculated polarization potential for the drainage point and the ratio of (E'₀/E₀)

h	ρ Ω-cm									
	470	800	1000	1200	1950	2700	2800	3000	3200	4400
0.25	154.9 (92.5)	157.7 (94.2)	159.3 (95.2)	161.0 (96.2)	167.3 (100)	173.5 (103.7)	174.3 (104.2)	176.0 (105.2)	177.7 (106.2)	179.3 (107.2)
0.5	124.35 (90.9)	127.1 (92.9)	128.7 (94.2)	130.4 (95.4)	136.7 (100)	142.9 (104.5)	143.7 (105.1)	145.4 (106.4)	147.1 (107.6)	148.7 (108.8)
0.75	112.05 (90.0)	114.8 (92.2)	116.47 (93.6)	118.14 (94.9)	124.4 (100)	130.6 (105.0)	131.4 (105.7)	133.1 (107.0)	134.8 (108.3)	136.4 (109.7)

따라서 $\rho=1200\sim 2700\Omega\text{-cm}$ 라면 (I)(II)報에서 誘導한 實驗式을 그대로 使用해도 큰 文障은 없을 것 같으나 ρ 의 影響을 고려하면 $\rho=960\sim 4800\Omega\text{-cm}$ 의 範圍에서 鋼管表面의 分極電位の 實驗式은 (I)(II)報에서 誘導한 分極電位の 實驗式에 E_0 대신 E_0' (2.3式)을 代入해서 補正하면 다음式으로 表示된다.

(i) 陽極外側兩端鋼管表面의 경우

$$E_x = E_0' \exp \left[-2\sqrt{\rho} D / \{D^2 - (D-2t)^2\} \cdot \frac{50x}{l} / \sqrt{R} \right] \quad (\text{mV}) \quad (2.4)$$

$$\sqrt{R} \times 10^3 = (12.385h + 1.0664) \cdot \frac{50x}{l} + 1284.505h - 64.4196 \quad (\Omega^{1/2}\text{-cm}) \quad (2.5)$$

$$E_0' = \{1.7667 / [\log(50h)]^{0.9582}\} i_0 - 146.4624 / (50h)^{0.5688} + 0.0083433(\rho - 1950) \quad (\text{mV}) \quad (2.6)$$

(ii) 陽極間의 鋼管表面의 경우

$$E_x = E_0' \cosh \left\{ [2\sqrt{\rho} D / \{D^2 - (D-2t)^2\} / \sqrt{R}] \cdot \left(50 - \frac{50x}{l}\right) \right\} \div \cosh [100\sqrt{\rho} D / \{D^2 - (D-2t)^2\} / \sqrt{R}] \quad (\text{mV}) \quad (2.7)$$

$$\sqrt{R} \times 10^3 = (1.3877h + 0.1306) \frac{50x}{l} + 629.775h + 156.1420 \quad (\Omega^{1/2}\text{-cm}) \quad (2.8)$$

$$E_0' = \{1.7667 / [\log(50h)]^{0.9582}\} i_0 - 146.4624 / (50h)^{0.5688} + 0.0083433(\rho - 1950) \quad (\text{mV}) \quad (2.6)$$

3.2 實驗(II)의 結果 및 分析

Fig. 5 (1)(2)는 本實驗에서 320.28mA ($i_0=125\text{mA}/\text{m}^2$)의 印加電流일 때 準實用規模의 試驗片表面의 各各一定한 물의 比抵抗下에서의 實測分極電位分布와 위 實驗式((2.4)~(2.8)式)이 表示하는 分極電位分布를 例示한 것이다.

여기에서 鋼管表面의 分極電位の 實測值에 대한(2.4)~(2.8)式의 計算值의 比率는 附錄 Table A와 같다. 이 Table에서 알 수 있는 바와 같이 分極電位實測值에 대한 計算值의 比率는 實驗式의 適用範圍外인 $\rho=700\Omega\text{-cm}$ 에서는 $\pm 6.5\%$ 以內의 精度를 가지나 適用範圍內에서는 다음의 精度를 갖는다.

$\rho=1050\Omega\text{-cm}$; $\pm 4.0\%$ 以內

$\rho=1400\Omega\text{-cm}$; $\pm 3.4\%$ 以內

$\rho=1950\Omega\text{-cm}$; $\pm 3.3\%$ 以內

또한 (2.3)式에서 물의 比抵抗의 影響을 無視($E_0'=E_0$)한 경우에는 $\rho=700\Omega\text{-cm}$; $\pm 13.8\%$ 以內, $\rho=1050\Omega\text{-cm}$; $\pm 10.5\%$ 以內, $\rho=1400\Omega\text{-cm}$; $\pm 7.7\%$ 以內 및 $\rho=1950\Omega\text{-cm}$; $\pm 3.3\%$ 以內의 精度를 갖는다. (附錄 Table B 參照)

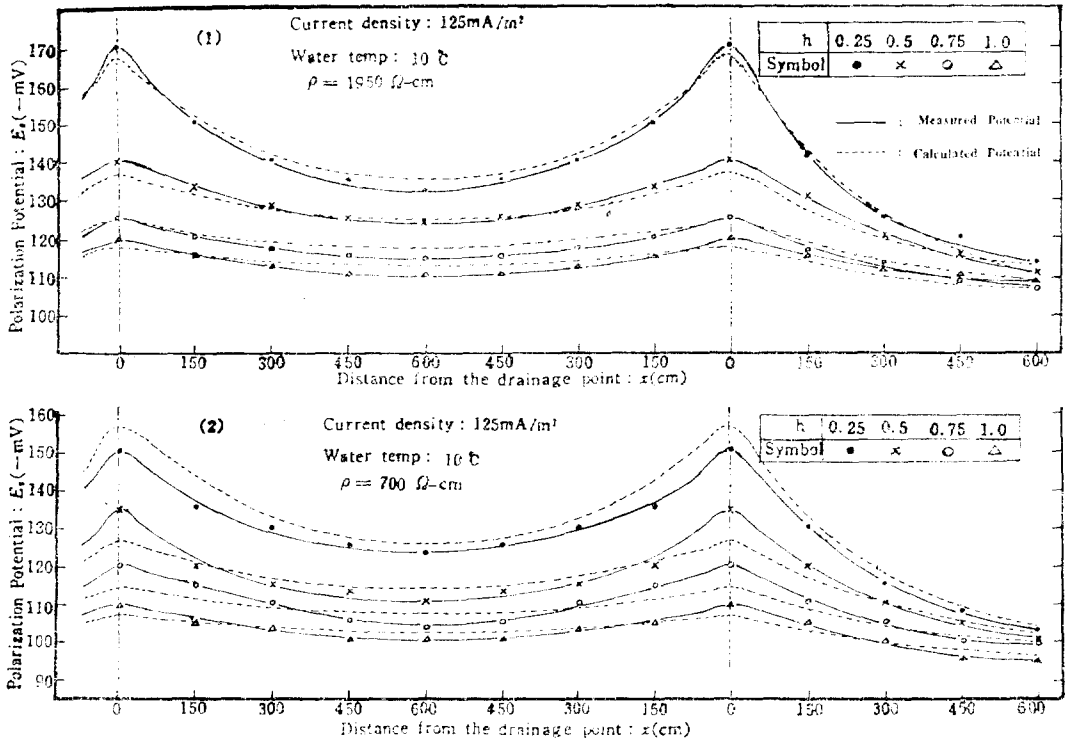


Fig. 5. Cathodic polarization potentials (two anodes: (1/4) x L, (3/4) x L)

4. 被防蝕面積의 增加에 따르는 電源裝置의 所要電壓의 實驗式

(I)(II)報에서 誘導한 電源裝置의 所要電壓의 實驗式은 小規模의 試驗片에 대한 것이며 印加電流 約 40 mA 以下에서는 높은 精度를 나타내나 被防蝕面積이 增加할 때는 一般의 所要防蝕電流密度가 減少하는 傾向³⁾이 있다.

여기에서 (I)(II)報에서의 主試驗片 및 本研究에서 的 實驗裝置(II)의 準實用規模의 試驗片에서 印加電流 (I_0)에 대한 電源裝置의 所要電壓을 調査한 結果 Table 2 와 같이 되었다.

Table 2 Relation of V_0 to I_0 ($\rho=1950\Omega\text{-cm}$, $h=0.5$)

I_0 (mA)	21.35	192.2	256.2	320.28	448.41
V_0 (Volt)	5.8	19.5	22	25	28.5

따라서 (I)(II)報에서의 電源裝置의 所要電壓 實驗式에서 印加電流(I_0)項에 被防蝕面積係數 f 를 고려하여야 한다. 그러므로 所要電壓式은

$$V_0 = I_0 f \{0.0723 + 0.0144 \log(50h)\} \rho \times 10^{-3} + 1.85 \quad (V) \quad (2.9)$$

이 된다. Table 2의 數值代入에 의하여 I_0 에 대한 f 의 關係를 求하면 Fig. 6 과 같이 $f = A \log I_0 + B$ 의 一般式으로 表示되고 이것을 最少自乘法으로 求하면,

$$f = -0.5317973 \log I_0 + 1.7299687 \quad (2.10)$$

이 된다. (2.10)式을 (2.9)式에 代入하면 電源裝置의 所要電壓의 實驗式은 다음과 같이 補正된다.

$$V_0 = I_0 \{-0.5317973 \log I_0 + 1.7299687\} \{0.0723 + 0.0144 \log(50h)\} \times \rho \times 10^{-3} + 1.85 \quad (V) \quad (2.11)$$

$\rho=1950\Omega\text{-cm}$ 일 때의 所要電壓의 實測值에 대한 (2.11)式의 計算值의 比率은 Table 3 과 같이 $\pm 3\%$ 以內的 精度를 가지며 또한 $\rho=700, 1050, 1400$ 및 $1950 \Omega\text{-cm}$ 의 各 경우에 대한 準實用配管의 實驗에서 所要電壓의 實測值에 대한 計算值의 比率도 Table 4 와 같이 $\pm 4\%$ 以內的 精度를 갖는다.

Table 3 Calculated Voltage / Measured voltage and the ratio ($\rho=1950\Omega\text{-cm}$, $h=0.5$)

I_0 (mA)	21.35	192.2	256.2	320.28	448.41
$\frac{V_{calc}}{V_{em}}$	$\frac{5.79}{5.8}$ (99.82)	$\frac{19.71}{19.5}$ (101.07)	$\frac{22.59}{22}$ (102.68)	$\frac{24.8}{25}$ (99.2)	$\frac{27.7}{28.5}$ (97.19)

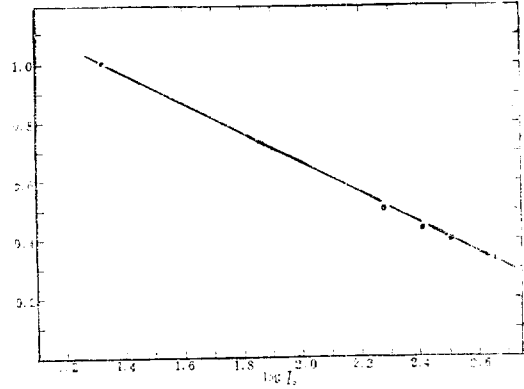


Fig. 6. Relations of f to $\log I_0$

Table 4. Calculated voltage / Measured Voltage and the ratio

$$[I_0 = 320.28 \text{mA} (i_0 = 125 \text{mA/m}^2) \text{ Protected area; } 2.56224 \text{m}^2]$$

ρ ($\Omega\text{-cm}$) \ h	0.25	0.5	0.75
700	$\frac{9.7}{9.3}$ (104.3)	$\frac{10.09}{9.8}$ (102.9)	$\frac{10.31}{10}$ (103.1)
1050	$\frac{13.63}{14.1}$ (96.6)	$\frac{14.21}{14.7}$ (96.6)	$\frac{14.55}{15}$ (97.0)
1400	$\frac{17.55}{18.2}$ (96.4)	$\frac{18.33}{19}$ (96.4)	$\frac{18.78}{19.5}$ (96.3)
1950	$\frac{23.72}{24}$ (98.8)	$\frac{24.80}{25}$ (99.2)	$\frac{25.43}{27}$ (93.1)

5. 結 論

外部電源에 의한 水中鋼管의 陰極防蝕에 관한 研究에서 分極電位에 미치는 물의 比抵抗의 影響과 被防蝕面積增加에 따른 電源裝置의 所要電壓에 관하여 調査한 후 (I)(II)報의 實驗式을 補完하였다. 아울러 지금까지 誘導한 諸實驗式의 適用限界와 精度에 대하여 檢討한 結果 다음의 結論을 얻었다.

- (1) 물의 比抵抗과 排流點의 分極電位와의 關係는 물의 比抵抗이 $1950\Omega\text{-cm}$ 일 때의 排流點의 分極電位

를 E_0 라 할 때 $\rho=960\sim 4800\Omega\text{-cm}$ 에서 다음 식으로 表示된다.

$$E_0' = E_0 + 0.0083433(\rho - 1950) \quad (\text{mV}) \quad ①$$

(2) 물의 比抵抗 $960\sim 4800\Omega\text{-cm}$ 의 範圍에서 지금까지의 諸實驗式은 다음과 같이 補正된다. 卽 排流點에서 $x\text{cm}$ 떨어진 任意點의 鋼管表面의 分極電位 E_x 는 다음 식으로 表示된다.

(i) 陽極外側兩端鋼管의 경우

$$E_x = E_0' \exp \left[-2 \sqrt{\rho_s D / \{D^2 - (D-2t)^2\}} \cdot \frac{50x}{l} / \sqrt{R} \right] \quad (\text{mV}) \quad ②$$

$$\sqrt{R} \times 10^3 = (19.385h + 1.0664) \frac{50x}{l} + 1284.505h \\ = 64.4196 \quad (\Omega^{1/2}\text{-cm}) \quad ③$$

$$E_0' = \{1.7667 / [\log(50h)]^{0.9582}\} i_0 - 146.4624 / \\ (50h)^{0.5688} + 0.0083433(\rho - 1950) \quad (\text{mV}) \quad ④$$

(ii) 陽極間의 鋼管의 경우

$$E_t = E_0' \cosh \left\{ 2 \sqrt{\rho_s D / \{D^2 - (D-2t)^2\}} / \sqrt{R} \right\} \cdot \\ \left(50 - \frac{50x}{l} \right) \div \cosh \left\{ 100 \sqrt{\rho_s D / \{D^2 - (D-2t)^2\}} / \sqrt{R} \right\} \quad (\text{mV}) \quad ⑤$$

$$\sqrt{R} \times 10^3 = (1.3877h + 0.1306) \frac{50x}{l} + 629.775h \\ + 156.1420 \quad (\Omega^{1/2}\text{-cm}) \quad ⑥$$

$$E_0' = \{1.7667 / [\log(50h)]^{0.9582}\} i_0 - 146.4624 / \\ (50h)^{0.5688} + 0.0083433(\rho - 1950) \quad (\text{mV}) \quad ④$$

(3) 外徑 3.4cm, 두께 0.32cm, 길이 2,400cm의 配管

用炭素鋼管의 準實用配管의 確認測定에서 鋼管表面의 分極電位의 實測值에 대한 위 ②~⑥實驗式의 計算值의 比率은 다음의 精度를 갖는다.

$$\rho = 1050\Omega\text{-cm}; \pm 4.0\% \text{ 以內}$$

$$\rho = 1400\Omega\text{-cm}; \pm 3.4\% \text{ 以內}$$

$$\rho = 1950\Omega\text{-cm}; \pm 3.3\% \text{ 以內}$$

또한 ①式에서 ρ 의 영향을 無視($E_0' = E_0$)한 경우에는 다음의 精度를 갖는다.

$$\rho = 1050\Omega\text{-cm}; \pm 10.5\% \text{ 以內}$$

$$\rho = 1400\Omega\text{-cm}; \pm 7.7\% \text{ 以內}$$

$$\rho = 1950\Omega\text{-cm}; \pm 3.3\% \text{ 以內}$$

(4) 電源裝置의 所要電壓의 實驗式은 다음과 같이 補正된다.

$$V_0 = I_0 \{-0.5317973 \log I_0 + 1.7299687\} \{0.0723 \\ + 0.0144 \log(50h)\} \times \rho \times 10^{-3} + 1.85 \quad (\text{V}) \quad ⑦$$

$$I_0 = i_0 \pi D L \times 10^{-4} \quad (\text{mA}) \quad ⑧$$

參 考 文 獻

1. 田大熙·金垣寧: 本誌, Vol. 8, No. 1 p. 3~16 (1979).
2. 田大熙·金垣寧: 本誌, Vol. 8, No. 2 p. 18~26 (1979)
3. 田大熙: 腐蝕과 防蝕의 管理, p. 416, 太和出版社, 釜山(1979)
4. 前掲書(1): p. 6
5. 前掲書(1): p. 6

Table A $\frac{\text{Calculated Polarization Potential (mV)}}{\text{Measured Polarization Potential (mV)}}$ and the ratio

($I_0=125\text{mA/m}^2$, Protected area; 2.56224m^2)

ρ ($\Omega\text{-cm}$)	$\frac{x}{h}$ (cm)	Surface between two anodes		drainage point	Surface of outer sides of anodes	
		600	300	0	300	600
700	0.25	$\frac{126.72}{123}$ (103.0)	$\frac{132.62}{130}$ (102.0)	$\frac{156.0}{150}$ (104.5)	$\frac{118.29}{115}$ (109.7)	$\frac{103.75}{103}$ (100.7)
	0.5	$\frac{114.68}{110}$ (104.2)	$\frac{116.85}{115}$ (101.6)	$\frac{126.27}{135}$ (93.5)	$\frac{110.34}{110}$ (100.3)	$\frac{102.9}{100}$ (102.9)
	0.75	$\frac{107.95}{103}$ (99.1)	$\frac{109.05}{110}$ (99.1)	$\frac{113.97}{120}$ (94.9)	$\frac{104.31}{105}$ (99.3)	$\frac{99.48}{100}$ (99.4)
	1.0	$\frac{103.03}{100}$ (103.0)	$\frac{103.69}{103}$ (100.6)	$\frac{106.67}{110}$ (96.9)	$\frac{99.86}{100}$ (99.8)	$\frac{96.34}{95}$ (101.4)
1050	0.25	$\frac{129.08}{125}$ (103.2)	$\frac{135.09}{135}$ (100.0)	$\frac{159.79}{160}$ (99.8)	$\frac{120.49}{125}$ (96.3)	$\frac{105.68}{110}$ (96.0)
	0.5	$\frac{117.33}{115}$ (102.0)	$\frac{119.56}{120}$ (99.6)	$\frac{129.19}{130}$ (99.3)	$\frac{112.89}{113}$ (99.9)	$\frac{105.28}{105}$ (100.2)
	0.75	$\frac{110.72}{110}$ (100.6)	$\frac{111.85}{115}$ (97.2)	$\frac{116.89}{120}$ (97.4)	$\frac{106.98}{110}$ (97.2)	$\frac{102.03}{105}$ (97.1)
	1.0	$\frac{105.85}{103}$ (102.7)	$\frac{106.53}{103}$ (103.4)	$\frac{109.59}{110}$ (99.6)	$\frac{102.68}{100}$ (102.6)	$\frac{98.98}{100}$ (98.9)
1400	0.25	$\frac{131.44}{128}$ (102.6)	$\frac{137.56}{135}$ (101.8)	$\frac{162.71}{165}$ (98.6)	$\frac{122.7}{125}$ (98.1)	$\frac{107.61}{110}$ (97.3)
	0.5	$\frac{119.98}{118}$ (101.6)	$\frac{122.25}{125}$ (97.8)	$\frac{132.1}{135}$ (97.8)	$\frac{115.44}{115}$ (100.3)	$\frac{107.6}{108}$ (99.3)
	0.75	$\frac{113.48}{110}$ (103.1)	$\frac{114.64}{113}$ (101.4)	$\frac{119.81}{120}$ (99.8)	$\frac{109.65}{110}$ (99.6)	$\frac{104.58}{103}$ (101.5)
	1.0	$\frac{108.66}{105}$ (103.4)	$\frac{109.35}{107}$ (102.1)	$\frac{112.5}{110}$ (102.2)	$\frac{105.32}{103}$ (102.2)	$\frac{101.61}{100}$ (101.6)
1950	0.25	$\frac{135.15}{132}$ (102.3)	$\frac{141.44}{140}$ (101.0)	$\frac{167.3}{170}$ (98.4)	$\frac{126.16}{125}$ (100.9)	$\frac{110.65}{113}$ (97.9)
	0.5	$\frac{124.15}{123}$ (100.9)	$\frac{126.51}{128}$ (98.8)	$\frac{136.7}{140}$ (97.6)	$\frac{119.46}{120}$ (99.5)	$\frac{111.4}{110}$ (101.2)
	0.75	$\frac{117.83}{114}$ (103.3)	$\frac{119.03}{117}$ (101.7)	$\frac{124.4}{125}$ (99.5)	$\frac{113.85}{113}$ (100.7)	$\frac{108.58}{106}$ (102.4)
	1.0	$\frac{113.11}{110}$ (102.8)	$\frac{113.83}{112}$ (101.6)	$\frac{117.1}{120}$ (97.5)	$\frac{109.63}{112}$ (97.8)	$\frac{105.76}{108}$ (97.9)

Table B $\frac{\text{Calculated Polarization Potential (mV) for } \rho=1950\Omega\text{-cm}}{\text{Measured polarization potential (mV)}}$ and the ratio $(I_0=125\text{mA/m}^2, \text{ Protected area; } 2.56224\text{m}^2)$

ρ ($\Omega\text{-cm}$)	$\frac{x}{h}$ (cm)	Surface between two anodes		drainage point	Surface of outer sides of anodes	
		600	300	0	300	600
700	0.25	$\frac{135.15}{123}$ (109.8)	$\frac{141.44}{130}$ (108.8)	$\frac{167.3}{150}$ (111.5)	$\frac{126.16}{115}$ (109.7)	$\frac{110.65}{103}$ (107.4)
	0.5	$\frac{124.15}{110}$ (112.8)	$\frac{126.51}{115}$ (110.0)	$\frac{136.7}{135}$ (105.1)	$\frac{119.46}{110}$ (108.6)	$\frac{111.4}{100}$ (111.4)
	0.75	$\frac{117.83}{103}$ (114.3)	$\frac{119.03}{110}$ (108.2)	$\frac{124.4}{120}$ (103.6)	$\frac{113.85}{105}$ (108.4)	$\frac{108.58}{100}$ (108.5)
	1.0	$\frac{113.11}{100}$ (113.1)	$\frac{113.8}{103}$ (113.8)	$\frac{117.1}{110}$ (106.4)	$\frac{109.63}{100}$ (109.6)	$\frac{105.76}{95}$ (111.3)
1050	0.25	$\frac{135.15}{125}$ (108.1)	$\frac{141.44}{135}$ (104.7)	$\frac{167.3}{160}$ (104.5)	$\frac{126.16}{125}$ (100.9)	$\frac{110.65}{110}$ (101.2)
	0.5	$\frac{124.15}{115}$ (107.9)	$\frac{126.51}{120}$ (105.4)	$\frac{136.7}{130}$ (105.1)	$\frac{119.46}{113}$ (105.7)	$\frac{111.4}{105}$ (106.0)
	0.75	$\frac{117.83}{110}$ (107.1)	$\frac{119.03}{115}$ (103.5)	$\frac{124.4}{120}$ (103.6)	$\frac{113.85}{110}$ (103.5)	$\frac{108.58}{105}$ (103.4)
	1.0	$\frac{113.11}{103}$ (109.8)	$\frac{113.83}{103}$ (110.5)	$\frac{117.1}{110}$ (106.4)	$\frac{109.63}{100}$ (109.6)	$\frac{105.76}{100}$ (105.7)
1400	0.25	$\frac{135.15}{128}$ (105.5)	$\frac{141.44}{135}$ (104.7)	$\frac{167.3}{165}$ (101.3)	$\frac{126.16}{125}$ (100.9)	$\frac{110.65}{110}$ (100.5)
	0.5	$\frac{124.15}{118}$ (105.2)	$\frac{126.51}{125}$ (101.2)	$\frac{136.7}{135}$ (101.2)	$\frac{119.46}{115}$ (103.8)	$\frac{114.4}{108}$ (103.1)
	0.75	$\frac{117.83}{110}$ (107.1)	$\frac{119.03}{113}$ (105.3)	$\frac{124.4}{120}$ (103.6)	$\frac{113.85}{110}$ (103.5)	$\frac{108.58}{103}$ (105.4)
	1.0	$\frac{113.11}{105}$ (107.7)	$\frac{113.83}{107}$ (106.3)	$\frac{117.1}{110}$ (106.4)	$\frac{109.69}{103}$ (106.4)	$\frac{105.76}{100}$ (105.7)
1950	0.25	$\frac{135.15}{132}$ (102.3)	$\frac{141.44}{140}$ (101.0)	$\frac{167.3}{100}$ (98.4)	$\frac{126.16}{125}$ (100.9)	$\frac{110.65}{113}$ (97.9)
	0.5	$\frac{124.15}{123}$ (100.9)	$\frac{126.51}{128}$ (98.8)	$\frac{136.7}{140}$ (97.6)	$\frac{119.46}{120}$ (99.5)	$\frac{111.4}{110}$ (101.2)
	0.75	$\frac{117.83}{114}$ (103.3)	$\frac{119.03}{117}$ (101.7)	$\frac{124.4}{125}$ (99.5)	$\frac{113.85}{113}$ (100.7)	$\frac{108.58}{106}$ (102.4)
	1.0	$\frac{113.11}{110}$ (102.8)	$\frac{113.83}{112}$ (101.6)	$\frac{117.1}{120}$ (97.5)	$\frac{109.63}{112}$ (97.8)	$\frac{105.76}{108}$ (97.9)