

한국부식학회지
Journal of the Corrosion Science Society of Korea
Vol. 8, No. 2 June 1979

<研究論文>

外部電源에 의한 水中鋼管의 陰極防蝕에 관한 研究[☆]

(Ⅰ) 陽極間의 鋼管防蝕

田大熙·金垣寧

韓國海洋大學 機關學科

(1979. 6. 2 接受)

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

Jeon Dae Hi · Kim Won Yeong

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

(Received June 2, 1979)

Abstract

The arrangement of anodes in the cathodic method should be made to prevent corrosion on the surface of the whole metal to be protected with the least electric power. It is desirable for the distance between anodes to be made short by increasing the number of anodes. The number of anodes, however, is to be limited considering the cost of electrode and installation. Especially the impressed current method is more restricted in comparison with the galvanic anode method. In this case the polarization potential distribution varies according to the distance between anode and the metal to be protected as well as to the distance of anodes.

In the previous paper, the authors published a survey and an analysis concerning how the polarization potential distribution and electric power etc. for corrosion prevention on the surface of steel pipe of the two outer sides of anodes varied when two insoluble anodes were arranged above the submerged steel pipe.

In this paper, the authors dealt the corrosion prevention of the surface of steel pipe between anodes which occupies the most part of the surface of a long steel pipe. And analysis produced the following results:

- 1) The cathodic polarization potential on the steel pipe surfaces between anodes can be calculated by

$$E_x = E_0 \cosh \alpha(l-x) / \cosh \alpha l$$
$$= E_0 \cosh [2 \sqrt{\rho_s D} / \{D^2 - (D-2t)^2\} / \sqrt{R}] (l-x) / \cosh [2 \sqrt{\rho_s D} / \{D^2 - (D-2t)^2\} / \sqrt{R}] l \quad (\text{mV})$$

$$E_0 = \{1.7667 / \log(Ih)\}^{0.9582} i_0 - 146.4624 / (Ih)^{0.5688} \quad (\text{mV})$$

$$\sqrt{R} \times 10^3 = (0.02774lh + 0.1306)x + 12.5955lh + 156.1420 \quad (\Omega^{1/2} \text{ cm})$$

- 2) Required voltage of power source for the cathodic protection can be determined by

$$V_0 = I_0 \{0.0723 + 0.0144 \log(Ih)\} \rho \times 10^{-3} + 1.85 \quad (\text{V})$$

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

and the required electric power for the corrosion prevention on the steel pipe surfaces between anodes becomes $P = \frac{1}{2} V_0 I_0 (\text{mW})$

- 3) The h range which requires minimum power is 0.58~0.70 in accordance with the specific resistance of water.

☆ 1979. 4. 21. 春季學術發表會에서 發表.

초 록

음극 방식법에서 양극의 배치는 전 피방식체의 표면을 최소 전력으로 방식할 수 있도록 결정하여야 한다. 이를 위해서는 양극의 수를 증가해서 양극의 간격이 작도록 하는 것이 좋으나 전극비와 시공비의 견지에서 양극의 수는 제한을 받는다. 특히 외부전원법은 유전 양극법에 비하여 더욱 제한을 받는다.

이때에 전위분포는 양극의 간격뿐 아니라 양극과 피방식체간의 거리(높이)에 따라서도 변한다.

전보(前報)에서는 수중강관(水中鋼管)을 대상으로 두개의 불용성 양극을 설치한 경우에 양극의 축의 강관표면의 분극전위분포상태, 소요방식전력 등이 양극의 설치위치에 따라서 어떻게 변하는가를 조사하고 해석하여 발표하였다.

본보(本報)에서는 강관표면의 대부분을 차지하는 양극간(陽極間)의 강관표면에 대하여 연구 분석하여 다음의 결과를 얻었다.

1) 양극간의 강관표면의 음분극 전위는 다음 식으로 계산할 수 있다.

$$E_x = E_0 \{ \cosh \alpha(l - \pi) / \cosh \alpha l \}$$

$$= E_0 \cos h \left[\frac{2 \sqrt{\rho_s D / \{D^2 - (D - 2t)^2\}}}{\sqrt{R}} \right] (l - x) / \cos h \left[\frac{2 \sqrt{\rho_s D / \{D^2 - (D - 2t)^2\}}}{\sqrt{R}} \right] \cdot l \quad (\text{mV})$$

$$E_0 = \{1.7667 / (\log(lh))^{0.9542}\} i_0 - 146.4624 / (lh)^{0.5688} \quad (\text{mV})$$

$$\sqrt{R} \times 10^3 = (0.02774lh + 0.1306)x + 12.5955h + 156.1420 \quad (\Omega^{1/2} \cdot \text{cm})$$

2) 음극 방식용 전원장치의 소요전압은 다음식으로 계산 할 수 있다.

$$V_0 = I_0(0.0723 + 0.0144 \log(lh)) \cdot \rho \times 10^{-3} + 1.85 \quad (\text{V})$$

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

두 양극간의 강관표면만의 소요방식 전력은 $P = \frac{1}{2} V_0 I_0$ (mW)로 된다.

3) 최소전력으로 방식할 수 있는 양극의 높이율(h)의 범위는 물의 비저항(ρ)에 따라 0.58~0.70이다.

기호 설명

- x : 배류점(排流點)에서 측정점까지의 거리 (cm)
- D : 시험편의 외경 (cm)
- t : 시험편의 두께 (cm)
- L, l : 시험편의 전장(全長)과 1/4 길이 (cm)
- I_0, I_x : 인가전류 및 x 점을 흐르는 전류 (mA)
- i_0, i_x : 시험편의 평균인가 전류밀도 및 x 점의 전류밀도 (mA/m²)
- E_0, E_x : 배류점 및 x 점의 분극전위 (mV)
- R : 시험편의 표면저항 (Ω-cm²)
- $w(=R/\pi D)$: 시험편의 1cm 길이당의 표면저항 (Ω-cm)
- $r[=4\rho_s/\pi\{D^2-(D-2t)^2\}]$: 시험편의 1cm 길이당의 금속저항 (Ω/cm)
- ρ_s : 시험편의 비저항 (Ω-cm)
- $\alpha(=\sqrt{r/w})$: 감쇠계수 (cm⁻¹)
- H, h : 시험편 중심선으로부터 양극(陽極)까지의 높이 (cm) 및 그 높이율(H/l)
- V_0 : 전원장치의 부하전압 (V)
- ρ, ρ_{28} : 임의온도하의 물의 비저항 및 28°C하의 물의 비저항 (Ω)
- $R\rho_H$: 양극의 높이 H(cm)이고 물의 비저항 ρ(Ω-cm) 일 때의 전 방식회로저항 (Ω)
- P : 방식전력 (mW)
- $P_{(min)}$: 최소방식전력 (mW)
- $i_{0(min)}$: 최소방식 전류밀도 (mA/m²)

1. 서 론

장대한 매설관을 방식함에 있어서 전극의 설치간격과 피방식체와의 거리는 전 피방식체에 대해서 방식전위 이하의 양호한 전위분포¹⁾²⁾가 되게 해야 한다. 이렇게 하기 위해서는 소용량의 다수의 전극을 사용해서 전극간의 간격을 보다 좁게, 그리고 피방식체와 전극간의 거리도 보다 가깝게 설치하는 것이 좋다. 그러나 양극비와 시공비의 견지에서 그렇게 할 수가 없으므로 그 주위환경에 따라 최소방식 전력으로 방식할 수 있는 적정위치를 결정해서 양극을 설치해야 한다. 그러나 이 문제에 대해서는 아직 이론적인 해석이 부족하다. 따라서 이를 위해서는 예비실험을 통해서 양극의 설치위치 및 전위용량 등을 결정해야 하는 번거로움이 뒤따르게 된다.

금속구조물을 음분극 방식할 때 분극전위 분포에 대한 이론적 해석은 관(管) 내외면에 대해 많은 진전³⁾⁴⁾

이] 있으나 이들의 연구는, 수중강관(水中鋼管)이나 지하매설관을 방식하는 데 있어서 불용성 양극의 적정위치의 결정이나 방식용 전원장치의 용량결정에는 적용하기 곤란하다.

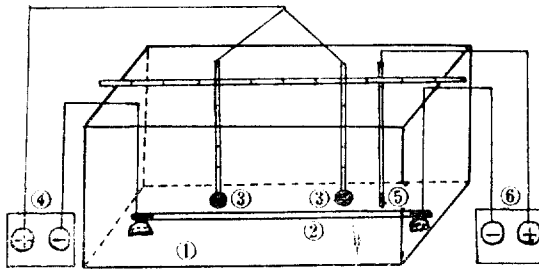
그러므로 불용성 양극의 설치위치에 따르는 피방식체의 분극전위 분포상태와 불용성 양극의 적정설치 위치 등을 연구하기 위해서 실험하기 쉬운 수중강관을 택하고, 두개의 불용성 양극으로 방식하는 경우를 택하였다.

이 연구는 방대하므로 수중강관을 두 양극의측 부분과 두 양극사이 부분의 두 방식문제로 나누고, 그 전자의 문제는 이미 필자들이 연구발표⁹⁾한 바 있다. 그러므로 이번에는 장대한 강관에서 그 대부분을 차지하는 후자의 문제를 연구 검토하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

실험장치 및 실험방법은 전보(제 1 보)¹⁰⁾와 같다. 다시 간략하게 설명하면 다음과 같다.

실험장치의 배치는 Fig. 1에 표시한 바와 같다. 실험방법도 역시 동일하게 시험편을 안정화시킨 후 통전시험을 개시하였으며, 시험편에 대한 양극의 위치도 동일하게 1/4분점과 3/4분점 상방에 잡았고, 양극의 높이와 방식전류도 같은 방법으로 바뀌가면서 시험편 표면의 분극전위를 측정하였다.



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

3. 분극전위의 이론식과 실측분극전위

3.1 분극전위의 이론적 분포식(표면저항이 비전류 합수일 때)

Fig. 2의 배류점 A(x=0)에서 x cm 떨어진 곳의 시

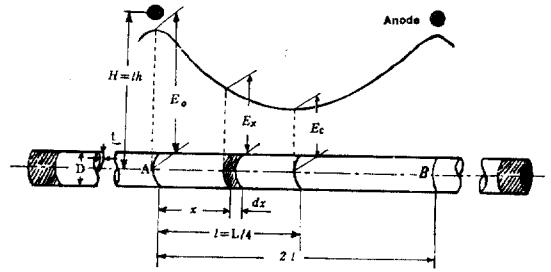


Fig. 2 Polarization potential on the pipe protected by cathodic protection

험편의 표면적 $\pi D dx$ (cm²)에 유입하는 전류를 dI_x (A)라 하면 그 전류밀도에 의해 일어나는 시험편 표면의 전위변화 E_x (V)와 표면저항 R (Ω -cm²)간에는

$$dI_x / \pi D dx = -E_x / R \tag{3-1}$$

單位길이당의 시험편의 표면저항을 w (Ω -cm)라 하면

$$w = R / \pi D \tag{3-2}$$

$$\therefore dI_x / dx = -E_x / w \tag{3-3}$$

또 x점의 시험편을 흐르는 전류 I_x (A)는 dx 간에서 dE_x (V)의 전위변화를 생기게 하므로 시험편의 비저항을 ρ_s (Ω -cm), 그 단위 길이당의 금속저항을 r (Ω /cm)라 하면

$$dE_x = -I_x \rho_s \cdot dx / \frac{\pi}{4} \{D^2 - (D-2t)^2\} \tag{3-4}$$

$$r = \rho_s / \frac{\pi}{4} \{D^2 - (D-2t)^2\} \tag{3-5}$$

따라서

$$dE_x = -I_x r dx \tag{3-6}$$

$$\therefore d^2 E_x / dx^2 = -r dI_x / dx \tag{3-7}$$

(3-3) 식과 (3-7) 식에서

$$d^2 E_x / dx^2 = (r/w) E_x = \alpha^2 E_x \tag{3-8}$$

$$\sqrt{r/w} = \alpha \text{ (감쇠계수)} \tag{3-9}$$

Uhlig¹¹⁾와 Sato²¹⁾ 등과 같이 R가 전류밀도에 따라 변하지 않고 전시험편 표면에 대하여 일정하다고 가정하면 α 는 정수이므로 (3-8) 식의 일반해는

$$E_x = A \cosh \alpha x + B \sinh \alpha x \tag{3-10}$$

배류점의 분극전위를 E_0 , 두 배류점간의 중앙점 ($x=l$)의 분극전위를 E_c 라 하면

경계조건

$$\left. \begin{aligned} (1) \quad x=l \text{에서 } E_x = E_c, \quad dE_x/dx = 0 \\ (2) \quad x=0 \text{에서 } E_x = E_0 \end{aligned} \right\} \text{에서}$$

$$A = E_c \cosh \alpha l, \quad B = -E_c \sinh \alpha l$$

$$\therefore E_x = E_c \cosh \alpha(l-x) \tag{3-11}$$

(2)의 조건과 위 식에서

$$E_c = E_0 / \cosh \alpha l$$

따라서 두 양극간의 분극전위분포식은

$$E_x = E_0 \cos h \alpha(l-x) / \cos h \alpha l \quad (3.12)$$

3.2 분극전위의 계산치와 실측치와의 비교

시험편의 치수가 $D=2.72\text{cm}$, $t=0.28\text{cm}$ 및 $L=4l=200\text{cm}$ 이고 탄소강의 비저항 $\rho_s=13.5 \times 10^{-6}(\Omega\text{-cm})$ 정도¹³⁾이므로 단위길이당의 금속저항(r)과 표면저항(w) 및 감쇠계수 (α)는

$$r = \rho_s / \frac{\pi}{4} \{D^2 - (D-2t)^2\} = (13.5/2.145) \times 10^{-6}(\Omega/\text{cm}) \quad (3.13)$$

$$w = R/\pi D = R/8.5408(\Omega\text{-cm}) \quad (3.14)$$

$$\alpha = \sqrt{r/w} = 2\sqrt{\rho_s D / \{D^2 - (D-2t)^2\}} / \sqrt{R} = 7.331 \times 10^{-3} / \sqrt{R} (\text{cm}^{-1}) \quad (3.15)$$

또한 (3.12) 식을 x 로 미분하여 (3.6) 식에 대입하면 $dE_x/dx = -\alpha E_0 \sin h \alpha(l-x) / \cos h \alpha l = -I_x \cdot r$ 故로

$$I_x = \frac{\alpha}{r} E_0 \sin h \alpha(l-x) / \cos h \alpha l = (E_0 / \sqrt{rw}) \sin h \alpha(l-x) / \cos h \alpha l \quad (3.16)$$

위 식에서 $x \rightarrow 0$ 일때 $I_x = \frac{1}{4} I_0$ 이므로

$$\frac{1}{4} I_0 = (E_0 / \sqrt{rw}) \tan h \alpha l \quad (3.17)$$

(3.13), (3.14) 및 (3.17) 식에서

$$\sqrt{rw} = r/\alpha = 0.8584 \times 10^{-3} \quad \sqrt{R} = \frac{4E_0}{I_0} \tan h \alpha l \quad (3.18)$$

따라서 이 시험편상의 분극전위분포식은 (3.12)식 및 (3.15) 식에서

$$E_x = E_0 \cos h \alpha(l-x) / \cos h \alpha l = E_0 \cos h \{2\sqrt{\rho_s D / \{D^2 - (D-2t)^2\}} / \sqrt{R}\} (l-x) / \cos h \{2\sqrt{\rho_s D / \{D^2 - (D-2t)^2\}} / \sqrt{R}\} \cdot l = E_0 \cos h \{7.331 \times 10^{-3} / \sqrt{R}\} (l-x) / \cos h \{7.331 \times 10^{-3} / \sqrt{R}\} \cdot l \quad (3.19)$$

이때의 R 값은 (3.18) 식에서

$$\sqrt{R} = 1.165 \times 10^3 (4E_0/I_0) \tan h \alpha l (\Omega^{1/2}\text{-cm}) \quad (3.20)$$

(3.20) 식은 표면저항 R 이 앞의 가정과 같이 비전류함수(즉 전시험편 표면에서 일정하다고 간주할 때) 일때의 식으로서 R 은 E_0/I_0 만의 함수로 표시된다. 여기에서 \sqrt{R} 의 값을 구하여 임의의 \sqrt{R} 의 값에 대한 E_0/I_0 의 값을 구하여 Fig.3과 같이 도시하였다. 그러므로 E_0/I_0 의 값을 알면 Fig.3에서 그 값에 해당하는 \sqrt{R} 의 값을 알 수 있다.

실험결과와 한 예로서 두개의 양극을 본 시험편의 1/4 분점과 3/4 분점 상부에 두고 전류밀도를 150mA/m²로 하였을때 양극의 높이에 대한 E_0/I_0 (실측치)와

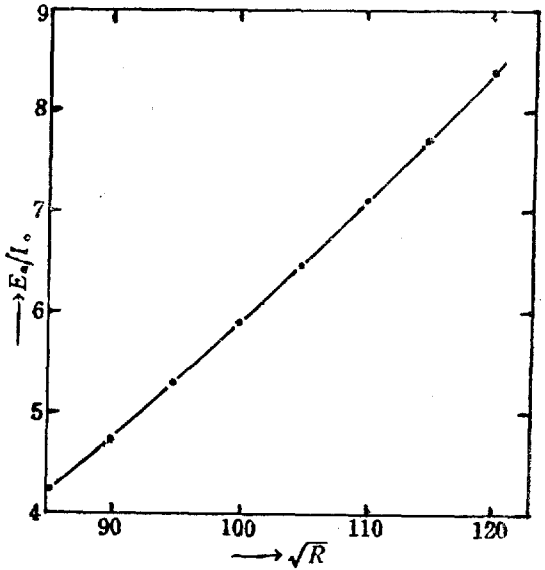


Fig. 3. Relations of E_0/I_0 to \sqrt{R}

\sqrt{R} (계산치)를 Table 1의 좌반부에 표시하였다. 그리고 본 실험에서 측정된 시험편표면의 분극전위와 (3.19) 식으로 계산한 분극전위를 우반부에 비교하여 표시하였다.

Table 1에서 분극전위의 실측치와 계산치간에는 큰 차이를 보이고 있다. 이것은 표면저항 R 을 시험편 각 부 전류밀도의 비함수 즉 시험편 전장에 걸쳐 일정하다고 간주하였기 때문이라고 생각된다.

4. 분극전위의 계산치를 실측치와 동일하게 하는 조건(분극전위의 보정계산식 유도)

(3.19) 식 $E_x = E_0 \cos h \{7.331 \times 10^{-3} / \sqrt{R}\} (l-x) / \cos h \{7.331 \times 10^{-3} / \sqrt{R}\} \cdot l$ 에서 계산되는 분극전위를 실측치와 동일하게 하기 위해서는 표면저항 R 은 각 측정점의 전류밀도 i_x 에 따라 변하는 것으로 보고, 이 측정점의 전류밀도 i_x 는 양극의 높이를 h 및 배류점에서 측정점까지의 거리 x 의 함수로 표시해야 된다. 또한 배류점에서의 분극전위 E_0 는 평균전류밀도 i_0 와 양극의 높이를 h 의 함수로 표시해야 된다.

4.1 표면저항(R)의 실험식

표면저항 R 은 일정한 i_0 와 일정한 h 하에서 (3.19)식의 E_0 와 E_x 에 실측치를 대입하여 구하고, 다시 이 R 와 주어진 h 와의 관계를 구하면 일정한 i_0 하에서의 R 의 일반식이 구해진다.

한 예로서 $i_0=150\text{mA}/\text{m}^2$ 일 때 각각 일정한 h 하에서의 R 를 구하기 위해서 일정 측정점에서의 \sqrt{R} 에 대한

Table 1. Cathodic polarization potentials ($i_0=150\text{mA/m}^2$)

$h=H/l$	E_0/I_0	$\sqrt{R} \times 10^3$	λx	0	10	20	30	40	50
0.25	8.1568	118.3×10^3	M*	208	174	151	136	128	126
			C*	208	207.9996	207.9994	207.9994	207.9991	207.9990
0.375	7.058	109.9×10^3	M	180	159	144	135	130	129
			C	180	179.9996	179.9994	179.9992	179.9990	179.9989
0.5	6.667	106.8×10^3	M	170	155	145	138	134	134
			C	170	169.9996	169.9994	169.9992	169.9990	169.9989
0.625	6.2745	103.6×10^3	M	160	149	142	137	134	134
			C	160	159.9996	159.9993	159.9992	159.9990	159.9989
0.75	6.0	101.3×10^3	M	153	145	139	135	134	133
			C	153	152.9996	152.9994	152.9992	152.9990	152.9990
1.0	5.647	98.3×10^3	M	144	139	135	133	132	132
			C	144	143.9996	143.9994	143.9992	143.9990	143.9990

* M: Measured polarization potentials (-mV)
 C: Calculated polarization potentials (-mV)

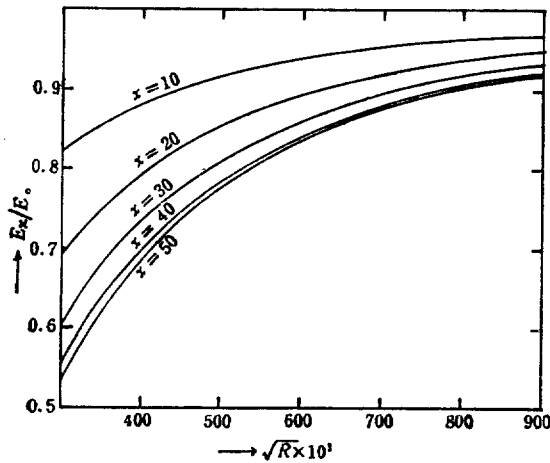


Fig. 4. Relations of E_x/E_0 to \sqrt{R}

E_x/E_0 의 관계를 도시하면 Fig. 4와 같이 된다. 이 도표에서 일정한 h 하에서의 \sqrt{R} 의 값을 구하고 이 \sqrt{R} 와 x 와의 관계를 도시하면 Fig. 5와 같이 직선적으로 된다. 그러므로 그 일반식은

$$\sqrt{R} \times 10^3 = ax + b \quad (4.1)$$

또 (4.1) 식의 a 와 b 는 주어진 h 에 대하여 Fig. 6과 같이 거의 직선관계가 있으므로 (4.1)식은

$$\sqrt{R} \times 10^3 = (ch+d)x + (eh+f) \quad (4.2)$$

으로 표시할 수 있으며 (4.2)식의 c, d, e 및 f 는 측정치를 대입하여 최소자승법으로 결정하면 표면저항식은 다음과 같이 된다.

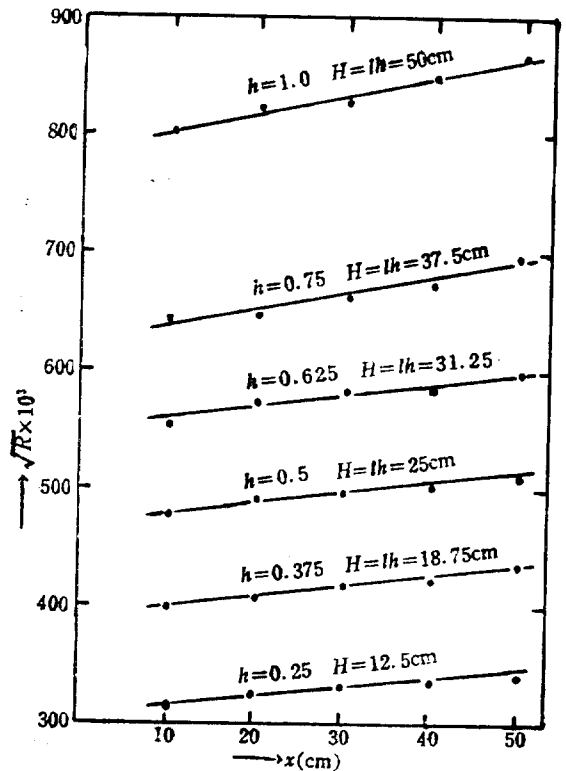


Fig. 5. Relations of R to x

$$\begin{aligned} \sqrt{R} \times 10^3 &= (1.3869h + 0.1306)x + 629.7737h + 156.1420 \\ &= (0.02774lh + 0.1306)x + 12.5955lh \\ &\quad + 156.1420 \end{aligned} \quad (4.3)$$

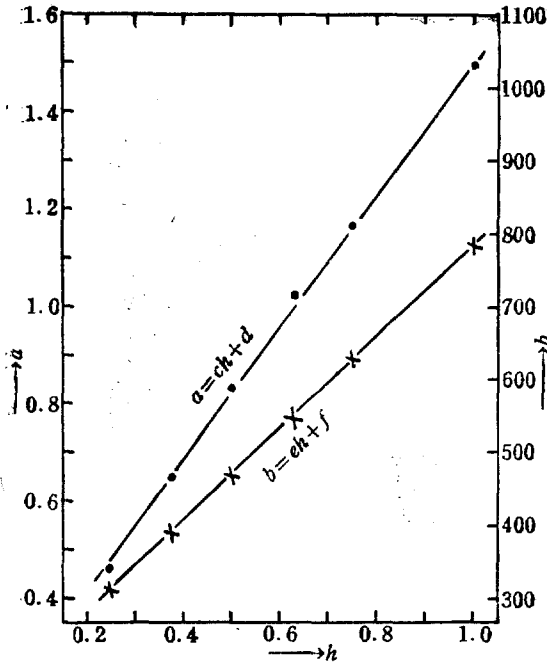


Fig. 6. Relations of a and b to h

4.2 배류점의 분극전위 (E_0)의 실험식

일정한 양극높이를 h 에 대한 평균전류밀도 i_0 와 배류점에서의 분극전위 E_0 의 관계는 전보¹⁴⁾에서와 같이 다음 식으로 표시된다.

$$E_0 = \{1.7667 / (\log(ih))^{0.9582}\} i_0 - 146.4624 / (ih)^{0.5688} \quad (4.4)$$

4.3 분극전위의 보정계산치와 실측치와의 비교

분극전위의 계산치(보정계산치) E_x 는 (3.19)식의 $\sqrt{R} \times 10^3$ 이 (4.3)식으로, E_0 가 (4.4)식으로 표시될 때 실측치와 근사적으로 같게 될 것이다.

Table 2는 본 실험의 분극전위의 실측치와 그 보정계산치의 비교 및 그 실측치에 대한 보정계산치의 비율을 나타낸 것이다. Table 2에 의하면 $\pm 4\%$ 이내의 정도(精度)를 나타내고 있다. 또 참고적인 보조실험에서도 Table 3에 표시한 바와같이 양자간에 $\pm 7\%$ 이내의 정도를 나타낸다.

따라서 두 양극간의 강판표면의 음분극전위계산의 일반식은 다음 3식으로 요약할 수 있다.

$$(3.19): E_x = E_0 \cos h \alpha (1-x) / \cos h \alpha l \\ = \frac{E_0 \cos h [2\sqrt{\rho_s D} / \{D^2 - (D-2t)^2\} / \sqrt{R}]}{\cos h [2\sqrt{\rho_s D} / \{D^2 - (D-2t)^2\} / \sqrt{R}] \cdot l}$$

Table 2. (Calculated potential/Measured potential) and the ratio(%)

(Protected area; 0.1708m²)

i_0 (mA/m ²)	x (cm)	h					
		0	10	20	30	40	50
100	0.25	126.87 / 128 (99.1)	106.13 / 105 (101.1)	91.75 / 91 (100.8)	82.57 / 80 (103.2)	77.78 / 76 (102.3)	76.88 / 74 (103.9)
	0.375	112.54 / 111 (101.4)	99.35 / 100 (99.4)	90.1 / 92 (92.9)	84.15 / 87 (96.7)	81.1 / 82 (98.9)	80.62 / 79 (102.1)
	0.5	104.69 / 106 (98.8)	95.57 / 97 (98.5)	89.12 / 90 (99.0)	84.99 / 86 (98.8)	82.89 / 83 (99.9)	82.62 / 82 (100.8)
	0.75	95.75 / 96 (99.7)	90.69 / 91 (99.6)	87.11 / 89 (97.8)	84.82 / 86 (98.6)	83.68 / 85 (98.4)	83.57 / 84 (99.5)
	1.0	90.49 / 90 (100.5)	87.32 / 88 (99.2)	85.07 / 87 (97.8)	83.64 / 86 (97.2)	82.93 / 85 (97.5)	82.88 / 84 (98.6)
175	0.25	248.13 / 249 (99.6)	207.57 / 206 (100.7)	179.46 / 178 (100.8)	161.49 / 164 (98.4)	152.12 / 150 (101.4)	150.36 / 148 (101.6)
	0.375	217.59 / 215 (101.2)	192.10 / 193 (99.5)	174.19 / 177 (98.4)	162.71 / 164 (99.2)	156.8 / 157 (99.8)	155.83 / 153 (101.9)
	0.5	200.81 / 203 (98.9)	183.31 / 187 (98.0)	170.95 / 173 (98.8)	163.03 / 165 (98.8)	159.0 / 160 (99.3)	158.47 / 158 (100.3)
	0.75	181.54 / 182 (99.7)	171.96 / 173 (99.4)	165.16 / 166 (99.5)	160.82 / 163 (98.6)	158.66 / 162 (97.9)	158.45 / 161 (98.4)
	1.0	170.23 / 169 (100.7)	164.27 / 167 (98.3)	160.04 / 164 (97.6)	157.34 / 162 (97.1)	156.02 / 161 (96.9)	155.91 / 160 (97.4)

Table 3. (Calculated potential/Measured potential) and the ratio (%)

Secondary experiment (I) protected area; 0.2135m

(II) protected area; 0.1362m

i_0 (mA/m ²)	experiment	$\frac{x}{h}$ (cm)	0	10	20	30	40	50
100	(I)	0.375	$\frac{112.5}{111}$ (101.4)	$\frac{100.73}{98}$ (102.7)	$\frac{92.43}{89}$ (103.8)	$\frac{87.09}{83}$ (104.9)	$\frac{84.35}{80}$ (105.4)	$\frac{83.94}{79}$ (106.2)
		0.75	$\frac{95.8}{96}$ (100.0)	$\frac{91.36}{90}$ (101.5)	$\frac{88.20}{87}$ (101.4)	$\frac{86.19}{84}$ (102.6)	$\frac{85.18}{83}$ (102.6)	$\frac{85.09}{82}$ (103.7)
125	(II)	0.375	$\frac{147.6}{146}$ (101.1)	$\frac{129.91}{127}$ (102.3)	$\frac{117.49}{114}$ (103.0)	$\frac{109.53}{106}$ (103.3)	$\frac{105.43}{102}$ (103.3)	$\frac{104.79}{98}$ (106.9)
		0.75	$\frac{124.4}{125}$ (99.5)	$\frac{117.66}{122}$ (96.4)	$\frac{112.88}{116}$ (97.3)	$\frac{109.83}{112}$ (98.0)	$\frac{108.3}{110}$ (98.4)	$\frac{108.15}{109}$ (99.2)

$$(4.3): \sqrt{R} \times 10^3 = (1.3869h + 0.1306)x + 629.7733h + 156.1420 = (0.02774lh + 0.1306)x + 12.5955lh + 156.1420$$

$$(4.4): E_0 = \{1.7667 / (\log(lh))^{0.9582}\} i_0 - 146.4624 / (lh)^{0.5688}$$

5 전원장치의 소요전압과 방식소요전력 및 최적방식조건

5.1 전원장치의 소요전압의 실험식 및 방식소요전력의 실험식

일정한 높이율 (h)에 대한 인가전류 (I_0) 및 물의 비저항 (ρ)과 전원장치의 소요전압 (V_0)의 관계는 전보¹⁵⁾에서와 같이 다음식으로 표시된다.

$$V_0 = I_0 \{0.0723 + 0.0144 \log(lh)\} \rho \times 10^{-3} + 1.85 \text{ (V)} \quad (5.1)$$

따라서 방식소요전력의 실험식도 동일하게 다음과 같이 표시된다.

$$P = V_0 I_0 = I_0^2 \{0.0723 + 0.0144 \log(lh)\} \rho \times 10^{-3} + 1.85 I_0 \text{ (mW)} \quad (5.2)$$

$$I_0 = i_0 \pi D l \times 4 \times 10^{-4} \text{ (mA)} \quad (5.3)$$

5.2 최적방식조건

(3.19)식에서 $x=l$ 일때 $E_x = E_l$ (방식에 소요되는 분극치)를 대입하면

$$E_l = E_0 \cos h \left[\frac{2\sqrt{\rho_s D} / \{D^2 - (D-2t)^2\} / \sqrt{R}} \right] (l-x) / \cos h \left[\frac{2\sqrt{\rho_s D} / \{D^2 - (D-2t)^2\} / \sqrt{R}} \right] \cdot l \quad (5.4)$$

(4.3)식에 $x=l$ 을 대입하면

$$\sqrt{R} \times 10^3 = (1.3869h + 0.1306)l + 629.7733h + 156.1420 \quad (5.5)$$

(4.4)은 그대로

$$E_0 = \{1.7767 / (\log(lh))^{0.9582}\} i_0 - 146.4624 / (lh)^{0.5688} \quad (5.6)$$

(5.4)~(5.6) 식에서 $i_0 = f_1(h)$ 를 구하고 (5.3) 식에서 I_0 를 구한다음 (5.2) 식에서 $P = f_2(h, \rho)$ 를 구한다. 그 다음에 $\partial P / \partial h = 0$ 의 최소조건에서 $h = f_3(\rho)$ 를 구하면 최소전력으로 방식할 수 있는 양극의 위치 h 가 구해진다. 이때의 V_0 와 I_0 를 구하면 그것이 전원장치에 요구되는 최소용량이 될 것이다.

예로서 본 실험에 사용된 시험편에 대하여 생각하면 본 시험편의 중앙부분 즉 두 양극간의 중앙점 ($x=50$ cm)이 다음과 같이 90mV 음분극되어야 한다.

$$E_l = E_{50} = -770 - (-680) = -90 \text{ (mV)} \quad (5.7)$$

따라서 최소방식전력 $P_{(min)}$ 의 산식은

$$P_{(min)} = (4\pi D l i_{0(min)} \times 10^{-4})^2 \{0.0723 + 0.0144 \log(lh)\} \rho \times 10^{-3} + 1.85 \times 4\pi D l i_{0(min)} \times 10^{-4} = [21.095769 + 4.201647 \log(50h)] i_{0^2(min)} \rho \times 10^{-7} + 0.316 i_{0(min)} \quad (5.8)$$

이때 최소방식전류밀도 $i_{0(min)}$ 는 (5.4)~(5.7) 식과 본 시험편의 치수대입에 의하여 다음과 같이 된다.

$$i_{0(min)} = \left[25.4705 \left\{ \exp\left(\frac{366.55}{699.12h + 162.67} \right) + \exp\left(-\frac{366.55}{699.12h + 162.67} \right) + \frac{82.9011}{(50h)^{0.5688}} \right\} \times \left[\log(50h) \right]^{0.9582} \right] \quad (5.9)$$

위의 조건하에서 여러가지 ρ 및 h 값을 대입하여 $P(\rho, h)$ 를 전산(電算)하여 일정한 ρ 하에서의 $P(\rho, h)$ 와 h 의 관계를 도시하면 Fig.7과 같이 된다. Fig.7에 의하면 물의 비저항 ρ 가 큰 경우에는 양극의 설치위치 h 의 적정문제가 방식전력 P 에 크게 영향을 미치나 해수와 같이 물의 비저항이 작은 경우에는 이 영향이 아주 적게 나타난다. 또한 수중강관에서 양극간의 강관 표면의 최소방식전력을 요하는 양극의 높이율 h 는 물의 비저항 ρ 에 따라서 $h=0.58 \sim 0.70$ 의 범위이다.

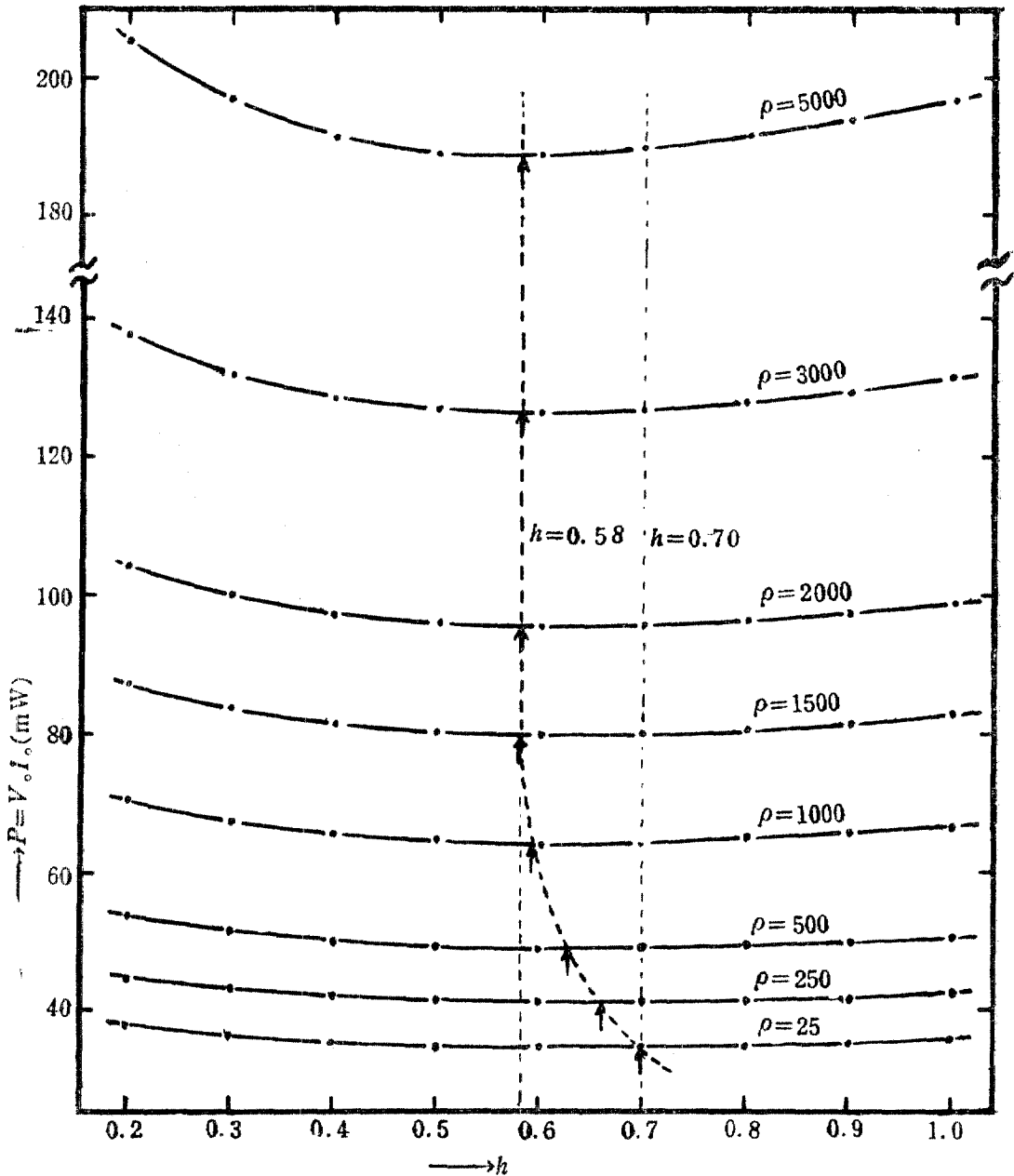


Fig. 7. Relations of P to h

6 결론

외부전원에 의한 수중강관의 음극방식에 관한 연구 중 양극간의 강관표면의 경우에 대한 이상의 연구에서 다음의 결론을 얻었다.

1) 강관을 두개의 불용성 양극으로 방식할 때 양극간의 강관표면의 음분극 전위는 다음 식으로 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 E_x &= E_0 \cos h \alpha(l-x) / \cos h \alpha l \\
 &= E_0 \cos h [2 \sqrt{\rho_s D} / \{D^2 - (D-2t)^2\} / \\
 &\quad \sqrt{R}] (l-x) / \cos h [2 \sqrt{\rho_s D} / \{D^2 - (D-2t)^2\} / \\
 &\quad \sqrt{R}] \cdot I \quad (\text{mV}) \\
 E_0 &= \{1.7667 / (\log (lh))^{0.9582}\} i_0 - 146.4624 / (lh)^{0.5688} \\
 &\quad (\text{mV}) \\
 \sqrt{R} \times 10^3 &= (0.02774lh + 0.1306)x + 12.5955lh \\
 &\quad + 156.1420 \quad (\Omega^{1/2}\text{cm})
 \end{aligned}$$

2) 음극방식용 전원장치의 소요전압은 다음 식으로 구할 수 있다.

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

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

두 양극간 강판표면만의 소요방식전력은 $P = \frac{1}{2} V_0 I_0$ 로 된다.

3) 물의 비저항(ρ)이 클수록 양극의 설치위치(h)의 적정문제가 방식전력(P)에 미치는 영향이 크게 나타나 비저항이 작은 경우에는 이 영향이 적게 나타난다. 또한 최소전력으로 방식할 수 있는 양극의 높이(h)의 범위는 물의 비저항에 따라 0.58~0.70이다.

참 고 문 헌

1. 中川雅夫: 電氣防蝕의 實際 p. 133~134. 地人書館, 東京 (1967)
2. R. Pope: Uhlig's Corrosion Handbook, p. 942 John Wiley and Sons Inc., New York (1963)
3. J. H. Morgan: Corrosion Vol. 15, August, p. 417~422, NACE (1954)

4. 田大熙: 韓國海洋大學論文集. Vol. 10, p. 55~76 (1975)
5. 佐藤山内: 防蝕技術, Vol. 25 No. 10, p. 611~617 (1976)
6. H. H. Uhlig: Corrosion and Corrosion Control, p. 352, John Wiley and Sons Inc., New York (1965)
7. D. A. Jones: Shreir's Corrosion-2 p. 11, 13~17, Newnes-Butterworths, London-Boston (1976)
8. 前掲書(2): p. 942~946
9. 田大熙·金垣寧: 本誌, Vol. 8. No. 1 p. 3~16 (1979)
10. 前掲書(9): p. 5~6
11. 前掲書(6): p. 352
12. 前掲書(5): p. 613
13. 日本金屬學會編: 金屬データブック, p. 105, 丸善, 東京 (1974)
14. 前掲書(9): p. 11
15. 前掲書(9): p. 13