

## 〈研究論文〉

海中 철강제의 보호를 위한 전기방식에 있어서의  
전류밀도 분포에 대하여\*

신 규 영\*\*

On the Current Density Distribution of Cathodic Protection  
Systems for Marine Steel Structures

Kyoo Y. Shin

Department of Electrical Engineering, Ulsan Institute of Technology

## Abstract

This paper theoretically treats the current density distribution of steel plate under sea water.

Upon calculation, the present design method of determining the number and location of the electrodes was found to be unsuitable since the fluctuation rate was too large to perform a good cathodic protection economically.

## 초 록

이 연구는 전기방식하에 있는海中 철판의 전류밀도분포에 대하여 이론적으로 고찰하여 보고 또 실제 시공된 예의 전류밀도분포의 맥동율( $r$ )을 산출하여 그 성공도(成功率)를 보았다. 그 결과 현재의 설계 방식은 매우 부적합함이 발견되었다.

## 1. 서 론

최근 대단위 제철소 및 조선소의 건설에 따라 이에 부수되는 해중 철강제의 보존에 전기방식이 국내에서도 채용되는 예가 많아졌다.

전기 방식은 항만의 steel pile의 보호를 목적으로 개발되어 현재는 지중시설, 선박, 지상시설 등의 보호에 이용되고 있다. 전기방식은 크게 외부전원 방식과 유전양극 방식으로 분류 되는데 전기 방식의 가장 중요한 성공의 요소는 流入전류밀도이다.

流入전류밀도의 양상은 전극배치에 좌우된다.

이 연구는 실제 시공된 전극배치에 의한 전류분포상을 조사하고 이를 개선하기 위해 어떤 조건이 필요한지를 제시하였다.

\* 울산공대 연구 논문집에서 전재

\*\* 울산공대 전기공학과 교수

문제를 간소화 시키기 위하여 다음과 같은 가정을 하였다.

- ① 전극의 총전류와 유입전류밀도는 각각 전하 ( $q$ )와 전하밀도 ( $\rho_s$ )로 변환한다.
- ② 철판은 평면으로 간주하고 가장자리의 영향은 무시한다.
- ③ 철판은 완전 도체로서 전위는 균일하다.
- ④ 전극은 일정한 거리에 균일한 간격으로 직선상에 배치된다.
- ⑤ 전극은 점전극으로 간주한다.

## 2. 본 론

## 1. 일점 전극에 의한 전하분포

한개의 전극이  $x-y$ 평면에서  $hm$  떨어져 있을때 (Fig. 1 참조)  $x-y$ 평면상의 임의의 점  $P(x, y, 0)$ 에서의 전하밀도  $\rho_s$ 는

$$\rho_s = \frac{qh}{2\pi R^3} \quad (1)$$

으로 주어진다.

여기에서

$$R = (x^2 + y^2 + h^2)^{1/2}$$

$y$  = 전극의 전하량

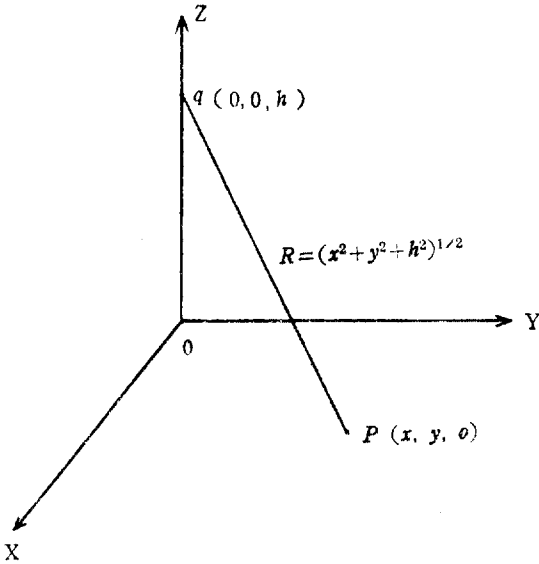


Fig. 1

$X$  축 상의 전하 밀도를 구해 보자. 식(1)에서  $y=0$ ,  $x=ah$ 로 놓으면

$$\% \rho_s \approx \frac{2\pi h^2 \rho_s}{q} = (1+a^2)^{-3/2} \quad (2)$$

식(2)로부터  $a$ 에 몇가지 값을 대입하여 Table 1을 얻는다.

Table 1.  $a-\rho_s$  관계

$a$	0	0.5	1.0	1.5
$\rho_s$	1	0.7154	0.3536	0.1718
$a$	3.5	4.0	4.5	5.0
$\rho_s$	0.0207	0.0143	0.01023	0.00754
$a$	2.0	2.5	3.0	
$\rho_s$	0.0894	0.0511	0.0316	
$a$	5.5	6.0	6.5	
$\rho_s$	0.00574	0.00443		

다시 그래프상에 그리면 Fig. 2를 얻으며

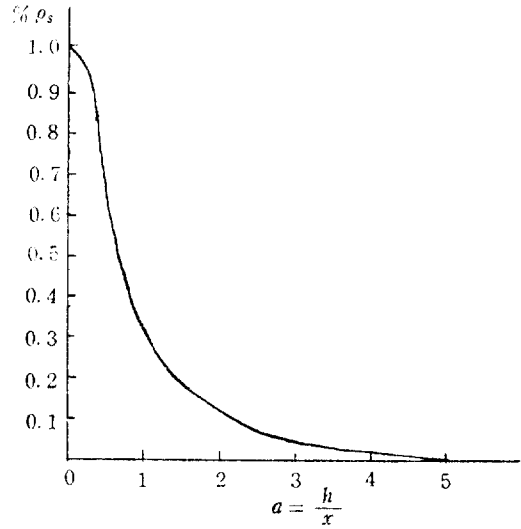


Fig. 2. 전하밀도의 분포

그림에서 알 수 있는 바와 같이  $a=4.5$ 이던  $\% \rho_s$ 는 0.01이하로 감소한다.

또한 전하의 대부분이  $-2 \leq a \leq 2$ 인 영역에 집중함을 알 수 있다.

## 2. 다점전극에 의한 전하분포

직선 상에  $(2n+1)$ 개의 전극이 Fig. 3과 같이 배치 되었을 경우를 생각하여 보자.

전극들은  $x-y$  평면으로 부터  $h$ 만큼 떨어져 있고 전극간의 간격은  $d=bh$ 라고 놓기로 한다.

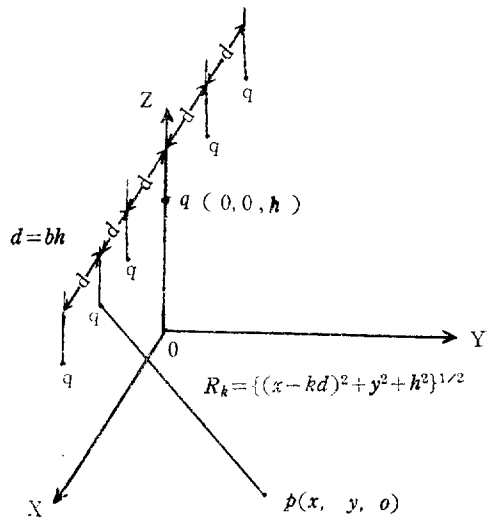


Fig. 3 다점 전극에 의한 전류분포

$x-y$ 평면상의 1 점  $p(x, y, 0)$ 에서의 전하밀도는 중점의 원리에 의하여

$$\rho_s = \sum_{k=1}^n \frac{qh}{2\pi R_k^3} \quad (3)$$

단,  $R_k = \{(x-kd)^2 + y^2 + h^2\}^{1/2}$

(2) 식에서와 마찬가지로

$x=ah, d=bh$ 로 놓고  $y=0$ 을 대입하면

(3) 식은

$$\rho_s = \sum_{k=1}^n \frac{q}{2\pi h^2} \{(a+kb)^2 + 1\}^{-3/2} \quad (4)$$

상수와  $h^2$ 을 이동하고

$$\% \rho_s \cong \frac{2\pi h^2 \rho_s}{q} \text{로 정의 하면}$$

$$\% \rho_s = \sum_{k=1}^n \{(a+kb)^2 + 1\}^{-3/2} \quad (5)$$

이 된다.

(5) 식을 기초로 하여 몇 가지  $b$ 와  $n$ 의 값을 대입하여 Fig. 4가 얻어진다.

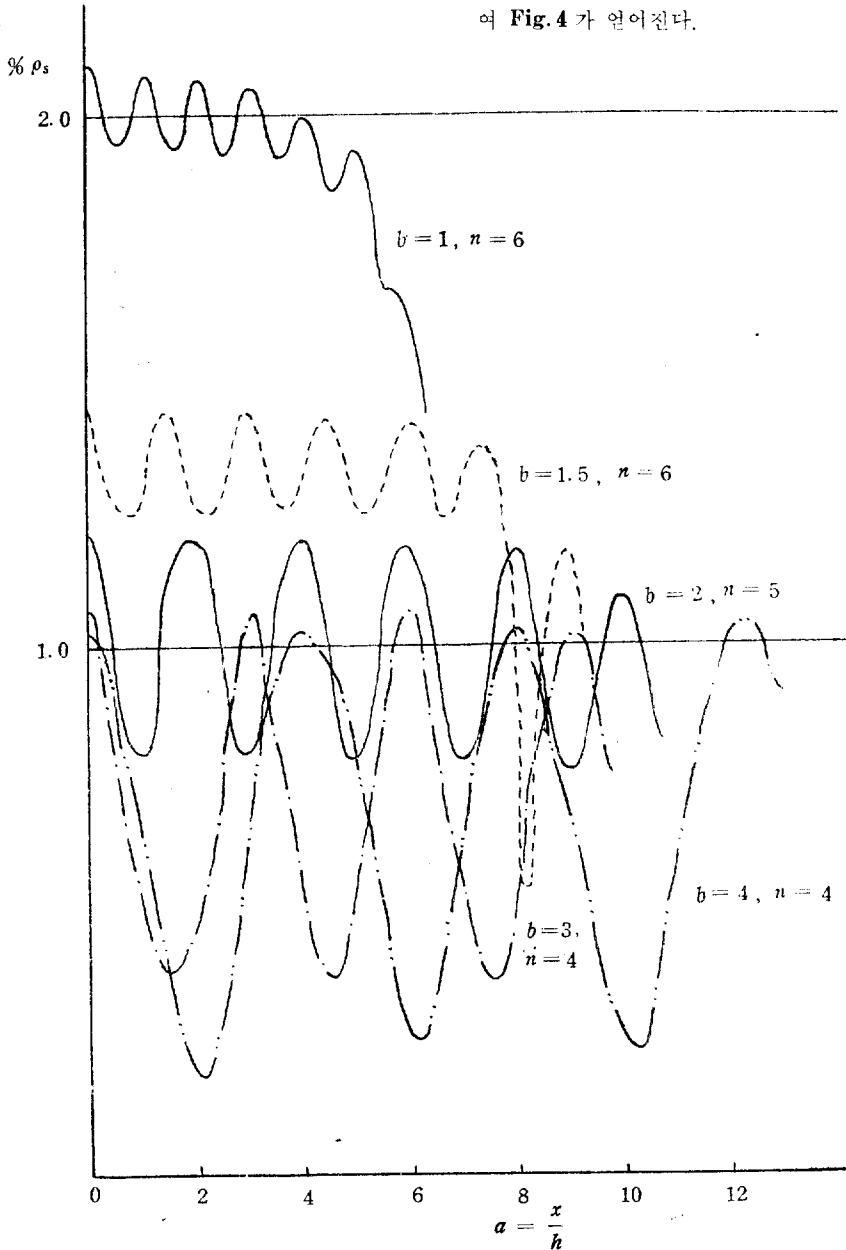


Fig. 4 %  $\rho_s$  vs.  $a/h$

Fig. 4를 보면 각  $b$ 의 값에 따라서  $\%r_i$ 가 맥동함을 알 수 있는데 이 맥동은  $n$ 의 값에는 그리 큰 영향을 받지 않음을 알 수 있다. 다시 말하면 어느점의  $\%r_i$ 는  $a$ 의 값이 5이내에 있는 전극에 의해서만 영향을 받게 되고 그 이상의 전극은 별 기여를 하지 못하게 된다.

우선 맥동폭 (fluctuation band width)을 다음과 같이 정의한다.

$$D = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^3 (p_i - l_i) \quad (6)$$

여기에서

- $D$ : 맥동폭
- $p_i$ :  $i$ 번째의 최고치
- $l_i$ :  $i$ 번째의 최소치

Fig. 4 및 Table. 1을 토대로 하여  $D$ 와  $b$ 와의 관계를 구하면 Table 2와 같다.

Table 2  $b$ 와  $D$ 의 값

$b=1$ 일때	$D=0.0768$
$b=1.5$ "	$D=0.0924$
$b=2$ "	$D=0.2185$
$b=3$ "	$D=0.3549$
$b=4$ "	$D=0.4205$
$b=5$ "	$D=0.4564$

이것을 그래프상에 나타내면 Fig. 5와 같이 된다.

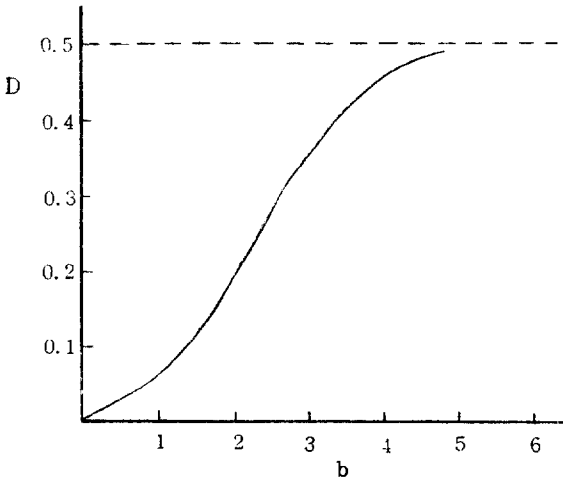


Fig. 5  $b-D$ 관계

$b$ 가 커짐에 따라  $D$ 는 0.5에 접근 하는데 이것은 방식 표현의 전류 밀도가 불균일 하여 일부는 과방식 구역 (over protected region)이 되고 일부구역은 부족방식구역 (under protected region)이 됨을 의미하며 철강체가 국부적으로 부식당했을때 전체로서의 효율성은

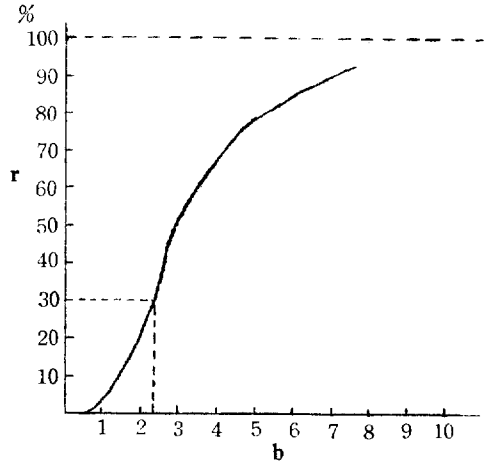


Fig. 6  $r$ 과  $b$ 의 관계

크게 손상되기 때문에 이런 경우 ( $D \rightarrow 0.5$ )는 피해야 될 것이다. 즉  $b$ 의 값을 어느정도 이하로 제한할 것을 암시한다.

$b$ 의 값의 적정선을 결정하기 위하여 맥동율( $r$ )을 정의하기로 한다.

$$r = \frac{3D}{\sum_{i=1}^3 (p_i + l_i)} = \frac{\text{맥동폭}}{\text{평균치(전류밀도의)}} \quad (7)$$

$r$ 과  $b$ 와의 관계는 대략 Fig. 6과 같이 된다.

성공적인 전기 방식은  $r=0$ 이어야 할 것이나 여기에 경제적 요인이 개재함으로 우리는  $r$ 의 적절한 값을 찾아야 한다. 예로서  $r=0.3$ 인 경우  $b$ 는 약 2.4가 된다.

### 3. 결 론

전기 방식에 있어 맥동율이 크다는 말은 전류분포가 불균일하다는 뜻이며 따라서 효율이 나쁘다는 것을 의미하게 된다.

현재 국내 방식공사에서 전극의 수를 결정하는 방법은

$$n = \frac{(\text{추천 전류밀도} \times \text{방식면적})}{\text{전극한개당의 전류 용량}}$$

으로 결정되는 데이 식은 식(1)의  $h$ 를 고려치 않고 산출 되므로 충분한 허용도를 주었을 경우에도 시공상의 난점으로  $h$ 의 값이 작게 되어 결과적으로  $b$ 의 값을 크게 하였다.

실례로 진해 ○○시설의 coffer dam에 시공된 예는  $h=0.3M$ 에  $d \geq 2$ 이어서  $r \geq 0.8$ 이 되므로 극히 비효율적이다. 따라서 종래에 쓰이던 전극설계방식은 다음과 같이 변경하는 것이 더 합리적인 것이다.

<전극 설계 순서>

- ① 전류밀도의 맥동율을 결정.

② 추천전류밀도의 결정.

③ ①로부터  $b$ 의 값을 정한다. (Fig. 6)

④ ② 및 ③의 결과로부터  $h$ 의 값을 결정한다.

이때 식 (5)를 적용하되  $n$ 의 값은  $a$ 의 값의 5이내에 전극이 있는 경우만 생각한다.

⑤ 방식 면적으로부터 전극의 수를 결정한다.

⑥ 전 방식전류 및 ⑤의 결과로부터 전극의 용량을 결정한다.

대략 상기 6개의 단계로서 설계할 수 있겠으나 여기의 여러가지 보정계수가 들어가야 한다.

본 연구는 실제 시공결과의 많은 자료를 참조하여 참

신한 설계기준을 제시하려 했으나 시공된 예가 제한되고 조사의 난이성으로 이론적 연구에 그쳤다.

### 참 고 문 헌

1. Robert Plonsey & Robert E. Collin, Principles and Applications of Electromagnetic Fields, McGraw-Hill Book Co., Inc., 1961.
2. P. Corradi, Corrosion Prevention & Control, NAVDOCKS MO-306,
3. 中山雅央, 電氣防食法の實際, 地人書館, 1967.