

## 음극방식 중인 도장 강판(SS34)의 방식 능력에 대한 컴퓨터 시뮬레이션 및 실험적 접근

김 영 식 · 송 영 준 · 김 영 근\*

안동대학교 신소재공학부, 경북 안동시 송천동 388번지.

\*한국가스공사 연구개발원, 경기도 안산시 일동 277-1

### Computer Simulation and Experimental Approach on the Protection Capability of Painted Steel(SS34) under Cathodic Protection

Y. S. Kim, Y. J. Song, Y. K. Kim\*

School of Materials Science and Engineering, Andong National University,  
388 Songchun, Andong, Kyungbook, 760-749, Korea

\*R&D Center, Korea Gas Cooperation, 277-1 Il-dong, Ansan, Kyunggi, 425-150, Korea

This paper dealt with computer simulation and experimental approach on the capability of cathodic protection for painted steel. Painted steel(1 m×1 m) was used, and some defects which were exposed area as a cathode were made on the painted surface. When water film thickness is 2 mm and exposed area is respectively 1 mm<sup>2</sup>, simulated result was coincident with measured potential in case of the electrolyte having high resistivity, but two results showed a big difference in case of the electrolyte having low resistivity. Increased resistivity of the electrolyte and increased size of exposed area did reduce the capability of cathodic protection. In case of simulated results for protection potential with water film thickness, effective protection distance of 10 μm - water film was calculated as over 1 m from the anode but the distance of 1 μm - water film was calculated as below 1 m from the anode. However, high resistivity(ex. rain) reduced greatly the protection distance even 100 μm - water film.

*Keywords : painted steel, cathodic protection, computer simulation, protection potential, water film*

#### 1. 서 론

도장된 금속 구조물의 대기 부식 방지를 위하여 최근에 미국 및 일본 등지에서 전기 방식법을 적용하고 있으며 국내에서도 여러 구조물에 설치하여 금속 제품의 부식 방지에 상당한 효과를 얻고 있는 것으로 나타나고 있다. 건설 구조물의 대부분이 대

기에 노출되어 있고 비가 오는 경우는 두꺼운 수막이 형성되나, 경우에 따라서는 금속 구조물의 표면에 얇은 수막이 형성되어 부식 방지 능력, 즉 방식 가능 거리에 대한 논란이 있어 왔다.

대기 부식은 물과 산소의 존재 하에서 전기 화학적으로 개시된다. 비가 내리는 경우 이외에도 대기 중의 수분이 응축하기도 하고, 많은 경우 금속

표면에 얇은 수막이 존재하여 대기 중의 산소가 이 수막 중에 용해되어 금속 표면의 대기 부식을 일으키게 하는 조건이 만들어지게 된다. 금속 표면에 형성된 수막의 두께는 약  $1\mu\text{m}$ 일 때 부식 속도가 최대로 된다.<sup>[1]</sup> 강의 대기 부식에서는 물의 존재량과 강 표면으로의 산소공급량이 지배인자이다. 흡착 수막( $\sim 100\text{\AA}$ ) 정도에서는 수분이 충분하지 못하여 부식 속도가 작다(건조 대기 부식). 습기 대기 부식 조건( $\sim 1\mu\text{m}$ ) 정도로 되면 수분량이 충분함과 동시에 수막 두께가 얇아서 강 표면으로의 산소의 공급도 쉬워져 큰 부식 속도를 보인다. 특히 수막이 두꺼워져서 젖음 대기 부식 조건으로 되면 산소공급량이 감소한다. 오염 물질로서는 아황산가스( $\text{SO}_2$ ), 황화수소( $\text{H}_2\text{S}$ ) 등의 가스류와 개체 물질의 더스트 등이 있다.  $\text{SO}_2$ 는 최근 감소하고 있으나 공업 지대 및 도시 근처에서의 부식의 주 원인이다.  $\text{SO}_2$ 는 금속 표면의 수막 중에서 황산을 형성시켜 pH를 낮추고 녹에 흡수되어 새로운 녹의 생성에 촉매적인 작용을 한다.<sup>[2]</sup>

한편 대기 부식을 일으키는 또 다른 주요 인자로는 산성비, 금속 표면의 부착물, 특히 염분의 부착 등을 들 수 있다.<sup>[3-10]</sup> 해안 지대에서는 해수 성분인 해염 입자가 중요한 부식 성분이 된다. 아연의 부식에 미치는 부착 염화물 이온과 젖음 시간의 영향을 살펴보면, 염화물 이온의 증가에 따라서 아연의 부식이 크게 상승하고 있다. 염화물 이온을 주성분으로 하고 있는 해염 입자의 양은 해안으로부터의 거리, 풍향, 풍속 등에 따라서 달라지지만 해안으로부터 멀리 떨어져 위치할수록 감소하는 경향을 보인다. 그러나 서해안 고속도로, 영종도 신공항, 섬과 육지 사이에 놓이는 교량 등에서는 바다로부터 많은 염분의 부착이 가능하며 이로 인해서 부식 속도가 크게 증가할 수 있으므로 적절한 방식 대책을 수립하지 않을 경우 심각한 부식 손상을 초래할 가능성도 있다. 이러한 염분의 효과는 금속의 부식을 촉진시키는 효과를 보임과 동시에 수막의 전도도를 증가시켜서 방식 전류가 잘 흐르는데 도움을 주는 등의 2중적인 효과를 보인다. 따라서 본 연구에서는 도장강판을 시험편으로 하여 용액의 비저항을 달리 하면서 노출되는 하지 금속의 면적에 따른 음극 방식 시스템의 방식 범위를 실험적 방법과 컴퓨터 시

뮬레이션 방법으로 조사하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 방식 전위 측정 시험

음극 방식 시스템의 작동 시 방식 능력을 확인하기 위하여  $1\text{m}\times 1\text{m}$ 의 탄소강판을 준비하여 1면을 페인팅하였다. 도장 강판의 한 모서리에서 약 5cm 정도 떨어진 위치에 Pt-Nb 양극을 설치하고 12V의 일정한 전위를 가하는 방식(제품명: Elrust Hunt)으로 음극 방식을 행하면서 방식 전위를 측정하였다. 사용한 시험 용액은 비저항  $25.125\text{ohm}\cdot\text{cm}$ 의 빗물과 NaCl을 이용하여  $34\text{ohm}\cdot\text{cm}$ 의 비저항을 갖는 NaCl 수용액이었으며 형성시킨 수막의 두께는 평균 2mm이었다. 전위의 측정은 2 전극법을 사용하였으며, 포화감홍전극으로 전위를 측정하였다.

도장이 잘된 탄소강판의 경우, 부식이 진행되지 않기 때문에 의도적으로 도장면을 제거하여 노출시키면서 방식 전위(노출 시간 20시간)를 측정하고 그 때의 부식 상태를 관찰하였다. 노출 위치의 예를 그림 1에 나타내었다. 각 위치의 노출 면적이  $1\text{mm}^2$ 과  $1\text{cm}^2$ 이 되도록 도장 강판의 도장막을 벗겨서 소지 금속이 노출되도록 하였으며, 왼쪽 모서리의 큰 네모는 양극을 의미한다. 도장 강판의 노출된 하지 금속의 부식 전위가  $-620\text{mV}(\text{SCE})$ 이므로 그 이하의 전위라면 방식이 되고 있다고 볼 수 있으나, 적절한 방식 전위의 기준은 부식 전위보다 100mV 비한 전위인  $-720\text{mV}(\text{SCE})$  이하의 전위인 경우로 정하였다.

### 2.2 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 방식 범위 계산

계산에 사용된 소프트웨어는 Computational Mechanics의 BEASY V7.0 CP Analysis로서 실제 방식은 3차원적으로 이루어지나 균일한 두께의 전해질을 가정하여 2차원적으로 환산하여 계산이 가능하도록 하였다. 전극 반응은 앞의 분극 시험 결과에서 얻어진 분극 저항값을 대입하여 선형적인 거동을 하는 것으로 가정하였다. 또한 실제 사용된 경계 조건은 Ambient Potential과 다음 식으로 정의되는 Transfer Coefficient로 표현된다.

$$q = k(u-u_0) \quad (k : \text{transfer coefficient})$$

실제 면적을 갖는 결함(및 양극)을 2차원적으로 계산하므로 결함(및 양극)의 면적 대 외곽선 길이를 고려하여 transfer coefficient를 환산하며 계산에 사용된 계수들은 아래와 같다.

Table 1. 시뮬레이션에 사용된 계수값

전극 종류	실표면적	계산에서의 길이, cm	분극 저항, kohm/cm <sup>2</sup>	transfer coefficient	effective transfer coefficient	ambient potential, mV(SCE)
양극	dia. 1.65 mm x 22.2 cm	4x6	150	6.67x10 <sup>-6</sup>	1.57x10 <sup>-6</sup>	12,600
음극	여러 종류	4x1	1 or 10	1x10 <sup>-8</sup>	2.5x10 <sup>-7</sup>	-600

시뮬레이션에 사용된 노출 위치를 Fig. 1에 나타내었다. 한편 계산의 수행은 수막이 연속적으로 형성되어 있다고 가정한다.

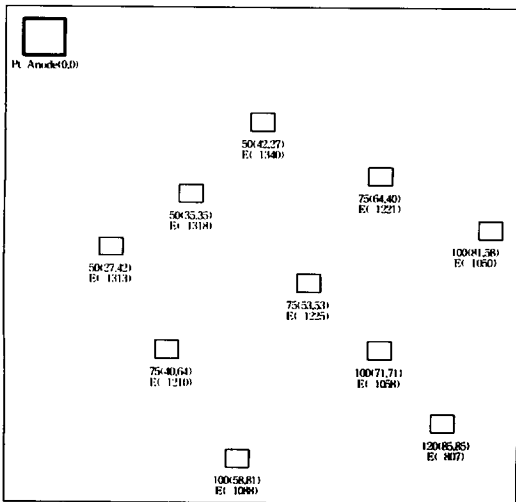


Fig. 1. Location of Pt-anode and exposed surface(defect) of painted steel ; each defect size - 1mm<sup>2</sup>, water film thickness - 2 mm, resistivity of electrolyte - 25,125 ohm·cm [Distance(coordination x, y), E(Potential)] .

### 3. 실험 결과 및 고찰

#### 3.1 두꺼운 수막이 형성된 경우

측정 방식 전위와 컴퓨터 시뮬레이션 : Fig. 1은

각각의 노출 면적이 1 mm<sup>2</sup>으로서 총 노출 면적을 10 mm<sup>2</sup>으로 한 상태에서 비저항이 25,125 ohm·cm인 빗물을 사용하여 2 mm의 수막을 형성한 상태로 음극 방식을 할 때 각각의 위치에서 측정된 방식 전위와 부식 여부를 나타낸 것이다. 모든 위치에서의 방식 전위가 -807mV(SCE) 이하의 전위를 보이고 있으며 노출 시간 20시간 경과 뒤에도 부식의 발생이 전혀 없었다. 왼쪽 상단의 네모는 불활성 양극의 위치를 나타내며 여러 위치의 네모는 하지 금속을 노출시킨 것을 의미한다. 특히 괄호 앞의 수치는 양극의 우하단 끝에서부터의 거리이며, 괄호는 노출 위치의 좌표. 괄호 밑의 E값은 측정 방식 전위(SCE)를 나타낸 것이고 방식이 효과적으로 수행되어 부식의 진전이 없는 경우는 색깔 표시를 행하지 않았고 네모 안에 색이 나타나 있는 것은 부식이 진전되었음을 의미한다.

Fig. 2는 Fig. 1과 같은 조건으로 각각의 노출 면적이 1 mm<sup>2</sup>으로서 총 노출 면적을 10 mm<sup>2</sup>으로 한 상태에서 비저항이 25,125 ohm·cm인 빗물, 분극 저항을 10 kohm/cm<sup>2</sup>, 수막의 두께를 2 mm로 하여 시뮬레이션한 방식 상태의 도장 강판의 방식 전위 분포를 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 양극으로부터 거리에 따른 각 위치의 전위 분포를 색깔의 차이로 나타내고 있다. 그러나 노출 부위에서는 IR 강하가 크게 발생하기 때문에 색깔의 차이로 방식 여부를 판단하는 데는 다소 어려움이 있다.



Fig. 2. Protection potential contour calculated by computer simulation for Figure 1 ; each defect size - 1mm<sup>2</sup>, water film thickness - 2 mm, Polarization resistance - 10kohm/cm<sup>2</sup>, resistivity of electrolyte - 25,125 ohm cm.

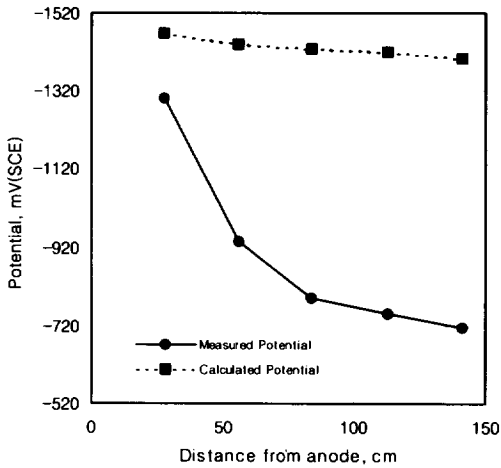


Fig. 3. Measured potential and calculated potential with distance from anode(Resistivity of electrolyte = 25,125 ohm cm,  $R_p = 10,000$  ohm/cm<sup>2</sup>, each defect size = 1 cm<sup>2</sup>, water film thickness = 2 mm, solid symbol = protected, open symbol = not protected)

따라서 각 노출 부위에서의 계산된 전위값을 구하여 방식 여부를 판단하였다.

Fig. 3은 각각의 노출 면적이 1 cm<sup>2</sup>으로서 총 노출 면적을 5 cm<sup>2</sup>으로 한 상태에서 비저항이 25,125 ohm·cm인 수막의 두께를 2 mm로 하여 음극 방식할 때의 방식 전위를 측정된 결과와 분극 저항을 10 kohm/cm<sup>2</sup>으로 시뮬레이션 하여 구한 전위 분포를 보여주고 있다. 그림에서 백색 기호는 방식이 이루어지지 않음을, 흑색 기호는 방식이 정상적으로 이루어짐을 나타낸다(이하 동일). 그림에서 알 수 있듯이, 측정된 방식 전위와 계산 전위가 커다란 차이를 보이지 않고 비교적 잘 일치하고 있으며, 양극으로부터 50 cm 정도의 거리까지는 방식이 이루어지는 것으로 계산되었으며 그 이후의 거리는 방식이 되지 않음을 보여주고 있다. 측정된 전위의 경우는 50 cm 정도의 거리에서도 -720 mV(SCE)보다 귀한 전위가 측정되었으며 20시간이 경과한 뒤 부식이 진행되고 있음을 확인할 수 있었다.

한편 Fig. 4는 그림 3과 동일한 상태에서 34 ohm·cm의 비저항을 갖는 염수를 사용하여 2 mm의 수막을 형성시켜 방식했을 때의 측정 및 계산결과(분극저항 10 kohm/cm<sup>2</sup>)이다. 비저항이 큰 Fig. 3의

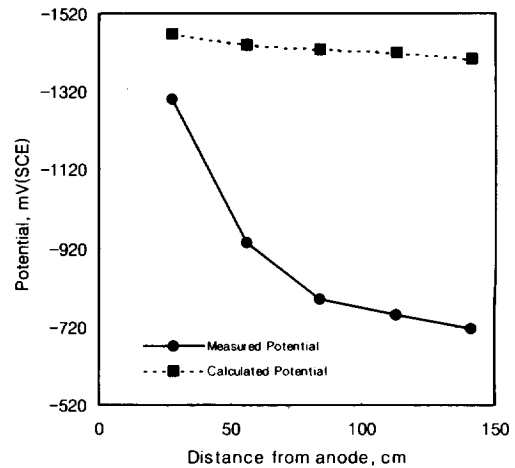


Fig. 4. Measured potential and calculated potential with distance from anode(Resistivity of electrolyte = 34 ohm·cm,  $R_p = 10,000$  ohm/cm<sup>2</sup>, defect size = 1 cm<sup>2</sup>, water film thickness = 2 mm, solid symbol = protected, open symbol = not protected),

결과와는 달리 양극으로부터 140 cm 정도의 거리까지 양호하게 방식되는 것으로 측정되었다. 그러나 시뮬레이션 계산 결과는 매우 낮은 방식 전위를 보일 것으로 계산되어 측정 전위와 상당히 많은 차이점을 보이고 있다. 이러한 차이는 염수를 사용하여 방식을 하는 상태에서 양극 주변의 도장막이 높은 전류에 의하여 벗겨졌기 때문에 많은 양의 전류가 흐르게 되었고 이로 말미암아 IR 강하에 기인되어 시뮬레이션 계산값보다 매우 귀하게 측정된 것으로 판단된다.

Fig. 5는 도장강판의 방식 상태에 미치는 수막의 비저항 영향을 보여주고 있다. 결합의 크기는 각각의 노출 면적이 1 cm<sup>2</sup>으로서 총 노출 면적을 5 cm<sup>2</sup>으로 한 상태에서 수막의 두께를 2 mm로 하여 음극 방식할 때의 방식 전위를 측정된 결과와 분극 저항을 10 kohm/cm<sup>2</sup>으로 시뮬레이션하여 구한 전위 분포를 보여주고 있다. Fig. 5(a)에서는 측정 전위를 보여주고 있는데 용액의 비저항이 증가할 때 방식 가능한 범위가 50 cm 이하로 크게 저하하고 있음을 보여주고 있다. Fig. 5(b)에서는 계산 전위를 보여주고 있는데 용액의 비저항이 증가하면 전

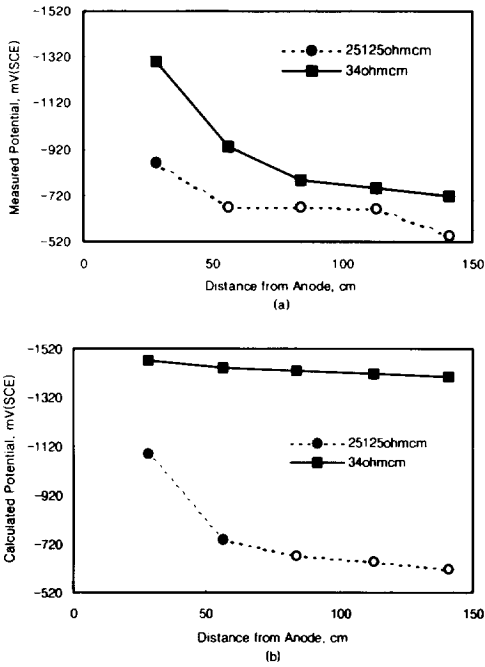


Fig. 5. Effect of resistivity of electrolyte on protection potential ; (a) Measured potential (b) Calculated potential (defect size = 1 cm<sup>2</sup>, R<sub>p</sub> = 10,000 ohm/cm<sup>2</sup>, water film thickness = 2 mm, solid symbol = protected, open symbol = not protected)

위값이 상승하여 방식 범위가 급격히 감소하고 있음을 알 수 있다.

**노출 면적의 효과 :** Fig. 6은 각각의 노출 면적 증가에 따른 측정 방식 전위와 계산 전위를 보여주고 있다. Fig. 6(a)에서처럼 각 노출 면적이 1 mm<sup>2</sup>에서 1 cm<sup>2</sup>로 증가하자 방식 가능한 범위가 크게 감소함을 보여주고 있다. 계산된 전위를 나타내는 Fig. 6(b)에서도 유사한 결과를 얻었다.

Fig. 7(■)은 양극으로부터 120 cm 떨어져 있는 위치의 노출 면적을 2 cm×2 cm로 증가시키고 나머지의 노출 면적은 동일하게 각각 1 mm<sup>2</sup>으로 한 상태로 방식하고 있을 때 측정된 결과이다. 노출 면적이 각각 1 mm<sup>2</sup>인 위치의 방식 전위는 방식이 충분히 이루어지는 비한 값을 보이고 있는 반면, 노출 면적을 4 cm<sup>2</sup>으로 증가시킨 위치의 측정 전위는 급격히 상승하여 -720 mV(SCE)보다 귀한 전위를 나타내며 부식이 되고 있음을 보여주고 있다.

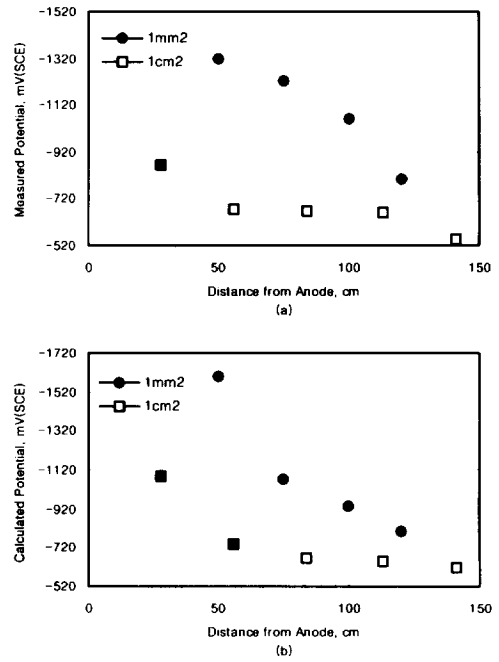


Fig. 6. Effect of defect size on protection potential ; (a) Measured potential (b) calculated potential (Resistivity of electrolyte = 25,125 ohm·cm R<sub>p</sub> = 10,000 ohm/cm<sup>2</sup>, water film thickness = 2 mm, solid symbol = protected, open symbol = not protected).

Fig. 7(●)은 양극으로부터 110 cm 떨어져 있는 위치의 노출 면적을 2 cm×2 cm로 증가시키고 나머지의 노출 면적은 동일하게 각각 1 mm<sup>2</sup>으로 한 상태로 방식한 결과이다(120 cm 위치의 노출 부위는 에폭시로 덮어 주어 절연시켰다). 이 경우도 노출 면적이 각각 1 mm<sup>2</sup>인 위치의 방식 전위는 큰 변화가 없는 반면, 노출 면적을 4 cm<sup>2</sup>으로 증가시킨 위치의 측정 전위는 급격히 상승하였으며 부식이 되고 있음을 보여주고 있다.

Fig. 7(▲)은 양극으로부터 100 cm 떨어져 있는 위치의 노출 면적을 2 cm×2 cm로 증가시키고 나머지의 노출 면적은 동일하게 각각 1 mm<sup>2</sup>으로 한 상태로 방식한 결과이다(110 cm 위치의 노출 부위는 에폭시로 덮어 주어 절연시켰다). 노출 면적이 각각 1 mm<sup>2</sup>인 위치의 방식 전위는 큰 변화가 없는 동시에 노출 면적을 4 cm<sup>2</sup>으로 증가시킨 위치의 측정 전위는 적정 방식 전위 기준인 -720 mV(SCE)

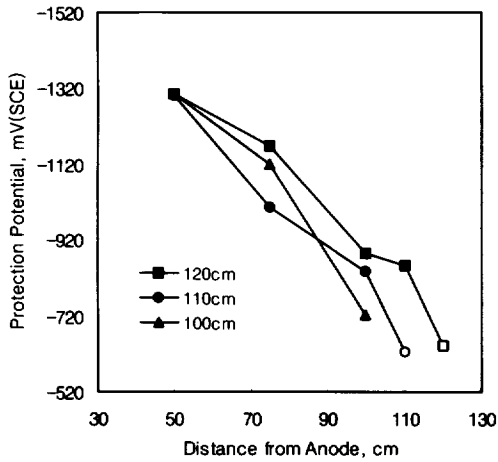


Fig. 7. Effect of increased defect size on protection potential with distance from anode(Resistivity of electrolyte = 25,125 ohm cm, water film thickness = 2 mm, the last defect size is  $2 \times 2 \text{ cm}^2$  and the others are  $1 \text{ mm}^2$  respectively, solid symbol = protected, open symbol = not protected).

이하로 측정되었으며 부식이 발생되지 않고 있다.

이러한 결과는 도장강판의 음극 방식 시스템의 방식 거리는 노출 면적과 노출 위치에 따라서 변화될 수 있음을 보여주고 있다. 따라서 음극 방식 시스템을 설치한 뒤에도 정기적인 점검을 통하여 도장 피막의 열화 상태를 확인하고 과다하게 강판이 노출되었을 경우에는 도장 피막에 대한 보수를 행하여야 안정적인 방식 효과를 얻을 수 있으며 금속 구조물의 건전성을 확보할 수 있을 것이다.

### 3.2 얇은 수막 두께에 따른 방식 범위 계산

#### 3.2.1 용액의 비저항이 매우 작은 경우

Fig. 8의 계산에 사용된 조건으로 용액의 비저항은  $34 \text{ ohm} \cdot \text{cm}$ 이며, 노출 면적은 각각  $1 \text{ mm}^2$ 이고 노출 위치는 양극으로부터 50, 75, 100, 120 cm의 거리에 있다. Fig. 8(a)는 분극 저항이  $10,000 \text{ ohm}/\text{cm}^2$ 인 경우이며, Fig. 8(b)는 분극 저항이  $1,000 \text{ ohm}/\text{cm}^2$ 인 경우의 계산 결과이다. 수막의 두께는 100, 10,  $1 \mu\text{m}$ 이었다. 분극 저항과 관계없이 수막의 두께가  $100 \mu\text{m}$ 로 얇아지더라도 노출 위치의 거리 50 cm에서부터 120 cm까지의 전위는 약  $-4.1 \text{ V}$ 에서  $-3.2 \text{ V}$

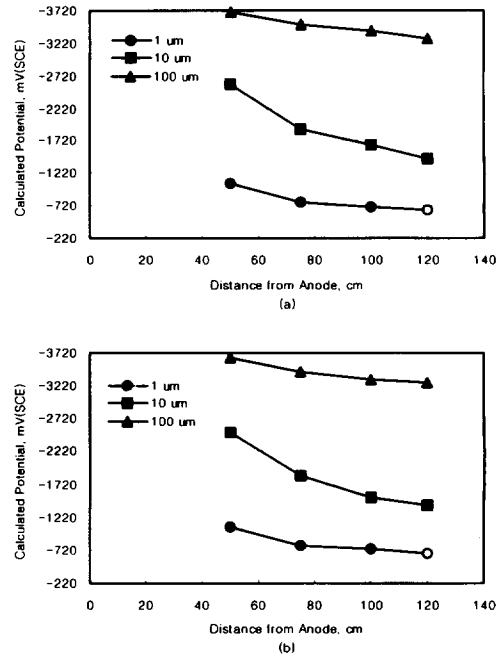


Fig. 8. Effect of water film thickness on calculated potential with distance from anode ; (a)  $R_p = 10 \text{ Kohm}/\text{cm}^2$ , (b)  $R_p = 1 \text{ Kohm}/\text{cm}^2$  (Resistivity of electrolyte =  $34 \text{ ohm} \cdot \text{cm}$ , solid symbol = protected, open symbol = not protected).

로 매우 낮은 방식 전위가 예상됨을 보여주고 있다. 수막의 두께가  $10 \mu\text{m}$ 로 얇아지면 노출 위치의 거리 50 cm에서부터 120 cm까지의 전위는 약  $-2.6 \text{ V}$ 에서  $-1.5 \text{ V}$ 로 매우 낮은 방식 전위가 예상되며,  $100 \mu\text{m}$ 의 수막의 경우보다 약  $1.5 \text{ V}$ 가 상승됨을 보여주고 있다. 수막의 두께가  $1 \mu\text{m}$ 로 얇아지자 노출 위치의 거리 50 cm에서부터 100 cm까지의 전위는 약  $-1.06 \text{ V}$ 에서  $-710 \text{ mV}$ 로 크게 상승하지만 100 cm의 위치까지는 적절한 방식 전위를 보여주고 있다. 그러나 120 cm의 위치의 노출 부위는  $-650 \text{ mV}$ 의 높은 전위를 보여 방식 가능성이 거의 없음을 알 수 있다.

#### 3.2.2 용액의 비저항이 큰 경우

Fig. 9의 계산에 사용된 조건으로 용액의 비저항은  $25,125 \text{ ohm} \cdot \text{cm}$ 이며, 노출 면적은 각각  $1 \text{ mm}^2$ 이고 노출 위치는 양극으로부터 50, 75, 100, 120 cm의 거리

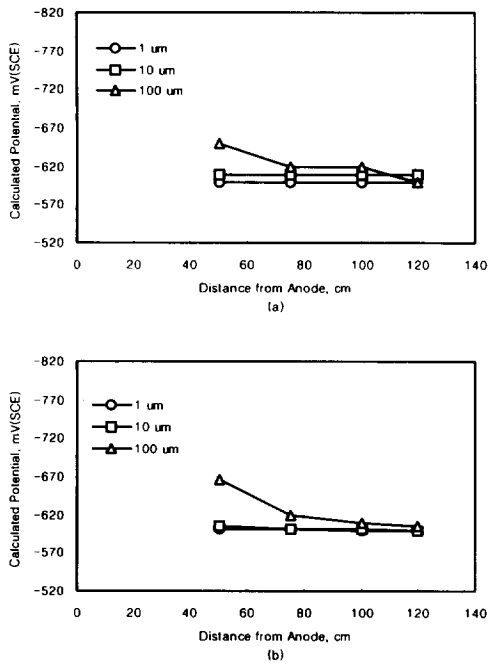


Fig. 9. Effect of water film thickness on calculated potential with distance from anode ; (a)  $R_p = 10 \text{ Kohm/cm}^2$ , (b)  $R_p = 1 \text{ Kohm/cm}^2$  (Resistivity of electrolyte =  $25,125 \text{ ohm cm}$ , solid symbol = protected, open symbol = not protected)

에 있다. Fig. 9(a)는 분극 저항이  $10,000 \text{ ohm/cm}^2$ 인 경우이며, Fig. 9(b)는 분극 저항이  $1,000 \text{ ohm/cm}^2$ 인 경우의 계산 결과이다. 수막의 두께는 100, 10,  $1 \mu\text{m}$ 이었다. 수막의 두께가  $100 \mu\text{m}$ 로 얇아지면 용액의 비저항이 작은 경우에 비해서 급격히 방식 전위가 상승하여 노출 위치의 거리 50 cm에서부터 120 cm까지의 전위는 분극 저항과 관계없이 약  $-650 \text{ mV}$ 에서  $-605 \text{ mV}$ 의 범위로 매우 높은 전위가 예상되어 만족스러운 방식이 가능하지 않음을 예상할 수 있다. 수막의 두께가  $10 \mu\text{m}$ 로 얇아지면  $100 \mu\text{m}$ 의 경우와 유사하게 급격히 방식 전위가 상승하여 노출 위치의 거리 50 cm에서부터 120 cm까지의 전위는 분극 저항과 관계없이 약  $-610 \text{ mV}$ 에서  $-600 \text{ mV}$ 의 범위로 매우 높은 전위가 예상되어 만족스러운 방식이 가능하지 않음을 예상할 수 있다. 수막의 두께가  $1 \mu\text{m}$ 로 얇아지면 100 그리고  $10 \mu\text{m}$ 의 경우와 유사하게 급격히 방식 전위가 상승하여 노출 위치

의 거리 50 cm에서부터 120 cm까지의 전위는 분극 저항과 관계없이 약  $-605 \text{ mV}$ 에서  $-599 \text{ mV}$ 의 범위로 매우 높은 전위가 예상되어 만족스러운 방식이 가능하지 않음을 예상할 수 있다.

이상의 결과를 요약하면 다음과 같다. : 분극 저항값을  $10,000 \text{ ohm/cm}^2$ 으로 하여 수막 두께에 따른 방식 범위를 계산한 결과, 용액의 비저항이 작은 경우( $34 \text{ ohm}\cdot\text{cm}$ )에는 수막의 두께가  $1 \mu\text{m}$ 로 매우 얇게 형성되더라도 탄소강판의 부식 전위보다  $100 \text{ mV}$  정도가 비한 전위로 계산되어 최소 100 cm 이상의 범위를 방식할 수 있는 것으로 계산되었다. 그러나 용액의 비저항이 매우 크게 되면  $100 \mu\text{m}$  이하의 수막이 형성되는 경우, 계산 전위가 급격히 상승되어 효과적인 방식을 하지 못함을 알 수 있다. 그러나 실제의 대기 부식 환경을 고려하면 비가 내리는 조건에서는 도장 강판의 표면에 두꺼운 수막이 형성되어 앞에서 검토한대로 방식 범위가 매우 넓게 형성될 수 있으며, 해양 환경 등으로부터 염분이 부착되는 경우에 얇은 수막이 형성하더라도 용액의 비저항이 크게 작아질 수 있으므로 Fig. 8에 계산된 것처럼 효과적인 방식이 이루어 질 수 있을 것이다. 그러나 염분의 부착이 없는 상황에서 얇은 수막이 형성되는 경우에는 효과적인 방식 범위가 매우 축소됨을 유의하여야 할 것이며, 방식 전위의 계산이 도장강판에 연속적인 수막이 형성된 것을 가정하고 있으므로 수막이 연속적이지 못하면 효과적인 방식이 어려울 것이다.

#### 4. 결 론

건설 구조물 중 도장된 금속 부위에서 발생하는 대기 부식을 억제하기 위해 국내외적으로 적용되고 있는 음극 방식 시스템의 방식 거리를 평가하기 위하여 실험실적 시험 및 컴퓨터 시뮬레이션을 행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 페인트로 도장된  $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$  크기의 탄소강판에 고의로 도장 면을 노출시키면서 음극 방식을 행한 결과(수막의 두께가  $2 \text{ mm}$ 이고 각 노출 면적이  $1 \text{ mm}^2$  일 때), 측정 전위와 시뮬레이션 전위가 비교적 잘 일치하였다. 한편 수막의 비저항이 작을 경우( $34 \text{ ohm}\cdot\text{cm}$ )에는 140 cm 이상의 거리까지도 방식이

가능하지만 비저항이 증가하면(예, 빗물) 방식 거리가 50 cm 이하로 감소하는 것으로 나타났다. 또한 유효 방식 거리는 노출되는 결합의 크기에 크게 의존하였는데, 결합의 크기가 증가할수록 방식 거리가 감소하였으며 이는 IR 강하에 의한 것으로 판단된다.

2. 수막 두께에 따른 방식 범위를 컴퓨터 시뮬레이션으로 계산한 결과(각 노출 면적이  $1\text{ mm}^2$ 일 때), 용액의 비저항이 작은 경우( $34\text{ ohm}\cdot\text{cm}$ )에는 수막의 두께가  $10\text{ }\mu\text{m}$ 로 낮아지더라도 1 m 이상의 거리까지 방식할 수 있는 것으로 계산되었으나  $1\text{ }\mu\text{m}$ 로 매우 얇게 형성되면 방식 거리가 1 m 이하로 감소하는 것으로 계산되었다. 그러나 용액의 비저항이 증가하면(예, 빗물) 계산에 사용된 수막의 두께, 즉 1, 10,  $100\text{ }\mu\text{m}$ 에서는 효과적인 방식이 이루어지지 않는 것으로 계산되었다. 한편 계산에 사용된 분극 저항값이 방식 거리의 계산에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 생각된다.

## References

1. N. D. Tomashov, "Theory of Corrosion and Protection of Metals", p.368, MacMillan, (1966)
2. H. H. Uhlig, "Corrosion and Corrosion Control", 2nd Ed., John Wiley & Sons, p.167, (1971)
3. W. H. Vernon, Transaction of Faraday Soc., 23, 113(1927) : 27, 255(1931) : 31, 1668(1935)
4. N. A. Lange, "Handbook of Chemistry", 10th Ed., McGraw-Hill, (1961)
5. I. Suzuki, *Corrosion Engineering*, **30**, 639(1981)
6. I. Horikawa, "Rikanenhyo", p.265, Maruzen, Japan, (1984).
7. RTKB Kenkyukai, Kakushin 97 Report, p.15 (1968)
8. K. Sekine, S. Uchikawa, *Reidokozokizutsu*, **31**, 367(1980)
9. T. Murata, *Corrosion Engineering*, **33**, 598(1984)
10. M. Ohida, *Kokai-to-Taishaku*, **19**(12), 75(1983)