

# 다전극 배열을 이용한 콘크리트 매립 철근의 위치탐사

## Probing of Steel Bar Location inside Concrete using Multi-electrode Array

이 형 우\*  
Lee, Hyung Woo

임 흥 철\*\*  
Rhim, Hong Chul

---

### ABSTRACT

Using numerical analysis modeling of Multi-electrode Array that could be applied to the corrosion state measurement of a reinforcing steel bar in concrete, the steel bar location inside concrete can be probed by the investigation of the change of the measured impedance from concrete surface determined by the electrical impedance of interface between the steel bar and concrete, the electrical resistivity of concrete, the array of electrodes and the relative location and diameter of the steel bar.

---

### 1. 서론

콘크리트 구조물의 내구성을 평가하기 위해서는 콘크리트 내의 철근의 위치를 정확히 파악하는 것이 중요하다. 콘크리트 내의 철근의 위치를 탐사하는 방법으로는 자기법, 방사선법, 전자파법등이 일반적으로 사용되고 있다[1]. 이 연구는 철근 부식도를 표면에서 측정하기 위하여 사용되는 다전극 배열법을 이용하여 철근의 위치를 탐사하는 방법에 대한 연구이다. 다전극 배열을 통해 측정된 표면 임피던스는 철근과 콘크리트 사이의 계면 특성뿐만 아니라 콘크리트의 전기저항, 전극 배열 및 철근의 직경이나 상대 위치에 의해 결정된다[2,3]. 콘크리트 내의 철근의 위치를 탐사하기 위해 철근 부식도 표면 측정법에 대한 수치 해석 모델링을 이용하여 다른 변수들을 일정하게 유지하고 철근의 위치만을 변화시켜서 측정된 표면 응답과 철근의 수직, 수평 위치에 대한 관계를 연구한다.

### 2. 다전극 배열을 이용한 철근 부식도 표면 측정법

#### 2.1. 철근 부식도 표면 측정법

콘크리트 안에 있는 철근의 부식은 전기화학적인 작용이므로, 철 이온이 콘크리트 내에 분극화되고

---

\* 정회원, 연세대학교 건축공학과 석사과정

\*\* 정회원, 연세대학교 건축공학과 부교수

부식됨에 따라 전류가 더 잘 흐를 수 있게 된다. 또한 철근 부식상태의 변화가 표면 측정 임피던스에 반영되어 다전극 배열을 이용하여 콘크리트 표면의 전기저항을 측정함으로써 철근의 부식상태를 검사할 수 있다[2].

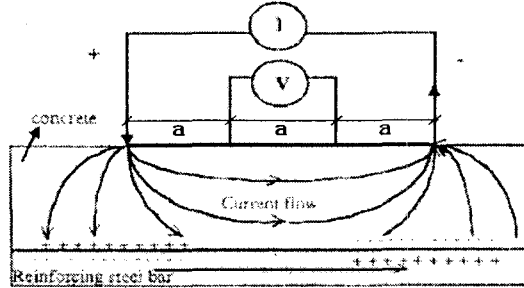


그림 1 다전극 배열을 이용한 철근 부식도 표면 측정법 개요도

콘크리트 속에 매립된 철근의 전기적인 응답은 다른 두 전극 사이에 주입된 전류에서 두 전위 전극 사이에서 측정되는 전압의 비로 표현된다. 같은 간격  $a$  로 외부 두개의 전류 전극과 내부 두개의 전위 전극의 단순한 일직선상의 배열(그림 1)을 이용하여 교류 전류를 주입 시 측정되는 값은 (식 1)의 결과 저항  $\rho_a(\Omega.m)$ 이 된다.

$$\rho_a(\omega) = \frac{V_0(\omega) \times e^{i(\omega t + \phi)}}{I_0 e^{i\omega t}} 2\pi a = \left[ \frac{V_0(\omega)}{I_0} 2\pi a \right] e^{i\phi} = |\rho_a| e^{i\phi} = \text{Re}(\rho_a) - i \text{Im}(\rho_a) \quad (\text{식 1})$$

철근 부식도 측정을 위한 철근과 콘크리트 사이 계면의 특성은 콘크리트 전기저항도  $R_c(\Omega.m^2)$ 과 부식 속도에 반비례하는 분극 저항  $R_p(\Omega.m^2)$ 과 전기적 이중층 용량  $C_{dl}(F/m^2)$ 의 계면 등가회로로 표현되고, 표면 측정을 위한 전극봉과 계면사이의 콘크리트 전기저항  $\rho_c(\Omega.m)$ 까지 포함되는 표면측정 등가회로 모델(그림 2)로 나타낼 수 있다[2].

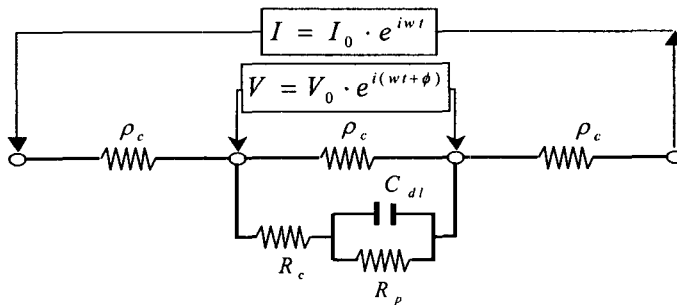


그림 2 다전극 배열을 이용한 철근 부식도 표면측정 등가회로 모델

## 2.2. 표면 측정법 모델링

원주형 철근의 존재에서 전류 근원점 주위에 전위 분포를 결정하기 위하여 표면 측정법의 기하와 전류원 위치 평면에서 철근 단면의 중심을 원점으로 하는 원주 좌표계를 적용하면, 임의의 위치  $R$  에서

의 전위는 원주 좌표계에서 Poisson 방정식(식 2)에 의해 결정된다[3].

$$\nabla^2 \Phi(R) = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( \frac{\partial \Phi(R)}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 \Phi(R)}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 \Phi(R)}{\partial z^2} = \frac{I}{4\pi} \rho_1 \cdot \delta(r-r_s) \cdot \delta(z) \quad (\text{식 2})$$

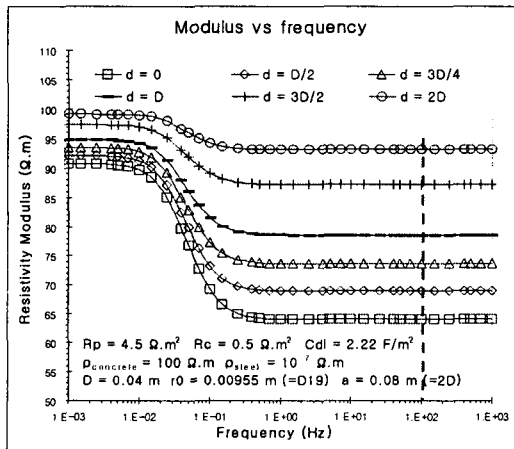
여기서,  $\delta(r-r_s)$  : Dirac Function,  $\rho_1$  : 매질의 전기 저항

### 3. 콘크리트 내 철근의 위치 탐사

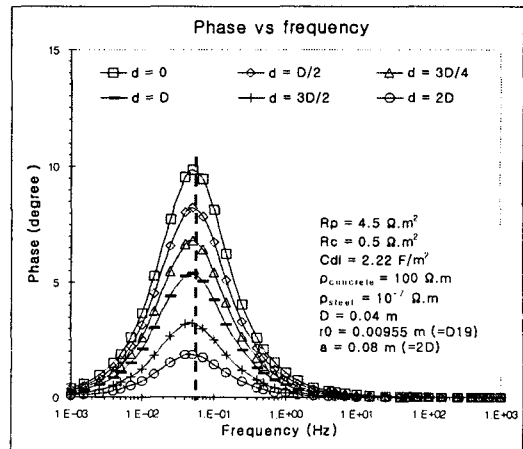
다전극 배열의 수치해석 모델을 이용하여 콘크리트 내 철근의 위치를 탐사하기 위하여 철근 위치 이외의 변수들은 일정하게 가정하였다. 철근의 경미한 부식상태를 나타내는 계면 임피던스는  $R_c=0.5 \Omega.m^2$ ,  $R_p=4.5 \Omega.m^2$ ,  $C_{dl}=2.222 \text{ F/m}^2$ 로 가정되었고[4], 전극 배열 방향은 철근과 평행하고, 철근은 D19 ( $r_0=0.00955 \text{ m}$ )이며, 전극 배열간격  $a$ 는  $0.08 \text{ m}$ , 콘크리트 전기저항  $\rho_c$ 는  $100 \Omega.m$ 로 가정되었다.

#### 3.1. 수평 위치 탐사

피복두께  $D$ 가 일정( $D=0.04 \text{ m}$ )할 때, 철근과 전극 배열의 이격 거리  $d$ 가 증가함에 따라 표면 주입 전류의 흐름에서 포함되는 분극화된 철근의 표면적이 감소하게 되고 이에 따라 계면을 통하는 전류의 양이 작아지게 된다. 또한 전류가 더 많은 콘크리트 부분을 통과하여야 하므로 표면 응답 전기저항의 크기는 증가(그림 3.(a))하게 되고 위상 응답은 감소(그림 3.(b))하게 된다. 이 결과를 통하여 차이가 분명한 비교적 고주파수에서의 절대값의 크기가 가장 작은 위치 및 최대 위상 주파수에서의 위상차이가 가장 큰 위치에 철근이 위치하고 있다고 예측이 가능하다.



(a) 전기저항 절대값과 주파수



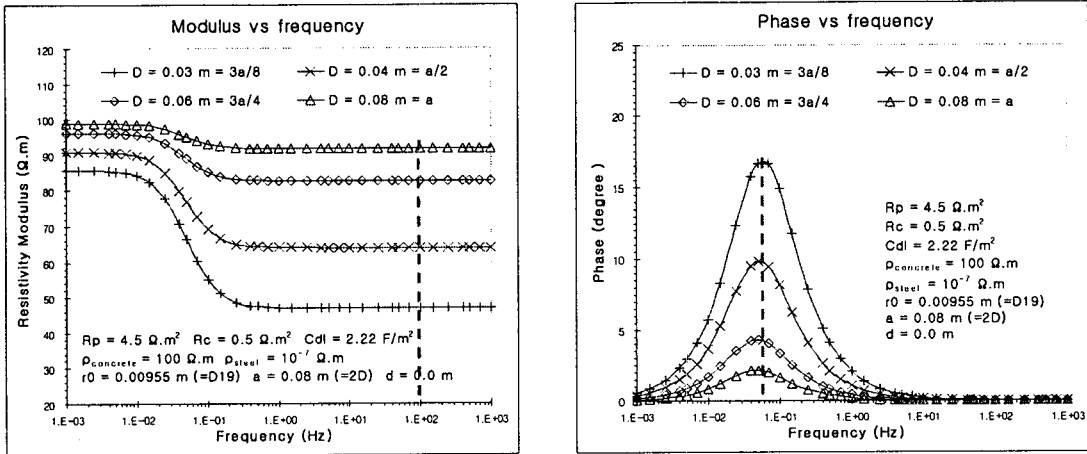
(b) 위상차와 주파수

그림 3 철근과 평행한 4전극 배열의 이격거리에 따른 표면 측정 임피던스

#### 3.2. 수직 위치 탐사

철근과 전극 배열의 이격 거리  $d$ 가 평행으로 일정( $d=0.0 \text{ m}$ ) 할 때, 철근의 피복두께가 감소함에 따라

라 표면 주입 전류의 흐름에서 포함되는 분극화된 철근의 표면적이 증가하게 되고 이에 따라 계면을 통하는 전류의 양이 많아지게 된다. 또한 전류가 더 많은 분극화된 철근 표면을 통과하게 되므로 표면 응답 전기저항의 크기는 감소(그림 4.(a))하게 되고 위상 응답은 증가(그림 4.(b))하게 된다. 이 결과를 이용하여 같은 조건일 경우 절대값의 크기가 상대적으로 작거나 최대 위상 주파수에서의 위상차이가 상대적으로 클 때 매립된 철근의 피복두께가 작다고 추정할 수 있다.



(a) 전기저항 절대값과 주파수

(b) 위상차와 주파수

그림 4 철근의 피복두께에 따른 표면 측정 임피던스

#### 4. 결론

철근 부식도 표면 측정에 이용되는 다전극 배열의 모델링을 철근의 위치탐사에 적용하였다. 그 결과 측정된 응답의 절대값과 위상의 크기가 철근의 위치의 변화를 반영하게 되어 철근의 위치를 추정할 수 있었다.

#### 참고 문헌

1. 한국 콘크리트 학회, "개정 콘크리트 구조물의 비파괴검사 및 안전진단," 사단법인 한국 콘크리트 학회, 2001년.
2. Jieying Zhang, Paulo J. M. Monteiro, and Frank Morrison, "Noninvasive Surface Measurement of Corrosion Impedance of Reinforcing Bar in Concrete-Part 1: Experimental Results," *ACI Materials Journal Technical Paper*, Title no. 98-M14, pp. 116-125, March-April 2001.
3. Jieying Zhang, Paulo J. M. Monteiro, and Frank Morrison, "Noninvasive Surface Measurement of Corrosion Impedance of Reinforcing Bar in Concrete-Part 2: Forward Modeling," *ACI Materials Journal Technical Paper*, Title no. 99-M24, pp. 242-249, May-June 2002.
4. John P. Broomfield, "Corrosion of steel in concrete: understanding, investigation and repair," E & FN SPON, 1997.