

콘크리트 비저항 추정기법에 관한 연구

A Study on the Resistivity Estimation of Concrete



임 영 철^{1)*}

Lim, Young Chul

1. 머리말

RC 구조물은 현재 주거 및 사회기반시설 건립에 가장 폭넓게 이용되고 있는 구조물로, 일반적으로 반영구적 내구연한을 가진 구조체로 알려져 있다. 하지만 이러한 장수명을 가진 구조물에도 콘크리트 열화를 동반한 철근의 부식은 구조물의 내구적 성능을 저하시켜 유지관리에 많은 시간과 노력의 투자를 요구하게 된다.

콘크리트내 함수상태에 따른 철근의 부식가능성을 예측하는 것에 콘크리트 비저항을 주로 이용한다. 콘크리트의 비저항치는 콘크리트의 물/결합재비, 공극분포상태, 시멘트 및 골재의 종류, 공극내 수분함유도, 시공환경 및 양생조건, 측정위치 등 다양한 요인에 의해 지배되는데 콘크리트의 건조상태와 함수상태를 비교·분석하는데 적절한 판단지표라 할 수 있다.

콘크리트 비저항측정법에는 일반적으로 통전전극과 응답전극으로 구성된 4전극법의 Wenner법이 사용되고 있다. 하지만 기존의 비저항측정은 철근의 영향을 해석하는 것이 곤란해 철근의 직상부가 아닌 콘크리트만의 영역에서 이루어져 부식이 예상되는 특정 철근의 배근상태를 고려한 측정에는 한계가 있었다.

최근 철근의 기하학적 영향요소를 고려하며 철근 직상부에서 콘크리트 비저항을 추정할 수 있는 비저항추정모델(REM : Resistivity Estimation Model)이 제안되어 콘크리트의 평균비저항, 콘크리트 층간비저항 등의 개념을 통한 철근부식과 관련한 콘크리트의 비저항을 분석하고 평가하는 기법이 제시되었다.

본고에서는 콘크리트 비저항에 대한 새로운 분석기법을 소개하고자 한다.

1) 대구가톨릭대학교 건축학부 조교수

* E-mail : yclim@cu.ac.kr

2. 이론적 배경

$$\rho_a = 2\pi a \frac{V}{I} \quad (3)$$

2.1 겹보기 비저항

지표면에 전극을 배치하고 대지의 겹보기 비저항을 측정하는 비저항법은 Fig. 1과 같이, 측정표면상의 점 C_1, C_2 에 두 개의 전류전극을 배치하고 점 P_1, P_2 에 두 개의 전위전극을 배치하여 통전 전류원 I 와 응답 전압 V 의 관계로부터 내부 비저항 상태를 추정하는 방법이다. 이 중, 4개의 전극을 상호 등간격 a 로 CPPC와 같이 배치하는 전극배치법을 Wenner법이라 한다.

Wenner 전극배치법에 따라 전류원 $I_{C1} (+I)$ 과 $I_{C2} (-I)$ 에 의해 점 P_1 에 발생하는 전위 ϕ_1 와 점 P_2 에 발생하는 전위 ϕ_2 로부터 전위차 V 를 구하면 식 (1)과 같다.

$$V = \phi_1 - \phi_2 = \frac{\rho I}{2\pi} \left(\frac{1}{C_1 P_1} + \frac{1}{C_2 P_2} - \frac{1}{C_2 P_1} - \frac{1}{C_1 P_2} \right) \quad (1)$$

Fig. 1의 이 Wenner 전극배치법을 고려한 두 전위전극사이의 전위차 V 는 식 (2)와 같이 다시 정리될 수 있으며,

$$V = \frac{\rho I}{2\pi a} \quad (2)$$

여기서 식 (2)의 $2\pi a$ 는 Wenner법의 전극배치 계수이다.

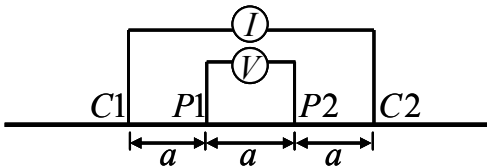


Fig. 1 기존 비저항 측정법

식 (2)는 매질의 비저항 ρ 이 균질한 경우에 대한 관계식으로 비저항 분포가 불균질한 일반적인 매질상태에서는 이 식의 적용이 어려우므로 식 (3)과 같이 겹보기 비저항 ρ_a 이란 개념을 도입하여 불균질한 매질을 해석하게 된다.

2.2 비저항 추정모델(REM)

비저항이 서로 다른 두 개 이상의 복합체에서 측정된 겹보기 비저항으로는 구성 비저항체의 분포상태에 대한 경향분석은 가능하지만 각 비저항체의 비저항치만을 추정하는 것은 불가능한 실정이다.

철근콘크리트구조물은 콘크리트와 비저항이 다른 원통형의 철근이 인장력 보강을 위해 배근되어 있는데 비저항평가에는 콘크리트 뿐만 아니라 철근의 영향도 분석되어야만 진단의 신뢰성을 높일 수 있다.

이러한 비저항측정에 철근의 영향을 고려하기 위해서는 철근의 물리적 요인인 비저항과, 기하학적 요인인 철근의 직경, 피복두께 등에 대한 해석이 가능하여야 하며, 측정전극의 간격에 따른 분석도 포함되어야 한다.

비저항추정모델(REM : Resistivity Estimation Method)은 비저항 해석에 철근의 영향을 고려하기 위해 제안된 수학적 해석모델로 전기영상법의 개념을 이용하여 콘크리트와 철근으로 구성된 복합체의 비저항 분석에 활용될 수 있다.

특히 이 모델은 전기영상법의 적용을 위해 철근과 같은 원통형 모델에 대한 비저항 반사계수가 정의되었는데 이것은 실제 전류원과 이 전류원으로 인해 발생하는 영상전류원 사이의 관계를 나타낸다. 이 모델은 Fig. 2와 같이 철근의

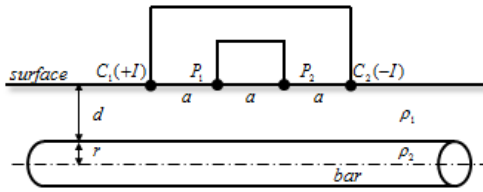


Fig. 2 비저항추정모델(REM)

상부에 외측에 두 개의 전류전극을, 내측에 두 개의 전위전극을 등간격 a 로 배치하는 Wenner 법의 전극배치법을 따르며 식 (4)과 같이 콘크리트비저항 ρ_1 , 철근비저항 ρ_2 , 피복두께 d , 철근직경 r 및 전극간격 a 의 요소를 포함하고 있다.

$$V_a = \frac{\rho_1 I}{m} \left[\frac{1}{2} \sum_{n=1}^{\infty} \left[\frac{k_n \prod_{i=1}^{\infty} Q_i}{k_n} \cdot \left[\frac{1}{(1+H_n^2)^{1/2}} - \frac{1}{(4+H_n^2)^{1/2}} \right] \right] + \left[\frac{\prod_{i=1}^{\infty} Q_i}{k_n} \cdot \left[\frac{1}{(1+G_n^2)^{1/2}} - \frac{1}{(4+G_n^2)^{1/2}} \right] \right] \right] \quad (4)$$

$$k_n = \frac{r}{(1+2(n-1))d+r} \quad (5)$$

$$Q_n = \frac{k_n(\rho_2 - \rho_1)}{\sqrt{k_n \rho_2 + \rho_1}} \quad (6)$$

$$H_n = \frac{d+r(1-k_n)}{a} \quad (7)$$

$$G_n = \frac{2nd}{a} \quad (8)$$

V_a : 걸보기 전위차(V)

I : 전류원(A)

ρ_1 : 콘크리트 비저항($\Omega \cdot m$)

ρ_2 : 철근표면 비저항($\Omega \cdot m$)

d : 피복두께(m)

r : 철근 반경(m)

a : 전극 간격(m)

3. 콘크리트 비저항 추정

3.1 콘크리트 평균비저항 추정

먼저 상기 비저항 추정모델(REM)을 이용하여 기하학적 조건이 서로 다른 실험체로부터 철근직상부에서 철근의 기하학적 영향에 따른 콘크리트의 평균비저항을 측정하고 실측치와 추정치를 비교·분석하였다.

실험체는 외부 인자에 의한 영향을 억제하기 위해 모르타르에 의해 제작되었으며, 보통 포틀랜드 시멘트와 강모래(표건비중: 2.58, 흡수율: 2.21, 조립율: 2.86)를 사용한 W/C=60%의 모르타르(시멘트:모래=1:2)는 Fig. 3과 같이 자체 제작한 400×400×100mm의 형틀에 타설되었다. 표1은 제작된 실험체의 종류이다.

Fig. 4에서 보는 바와 같이 실측치와 이론치 사이에는 각 실험체에 따른 비저항의 편차가 발생하지만 전반적으로 일치하고 있다는 것을 알 수 있다.

3.2 콘크리트 층간비저항

콘크리트 층간비저항 분석은 철근직상부에서 콘크리트 표면에서부터 내부로의 함수상태 추정

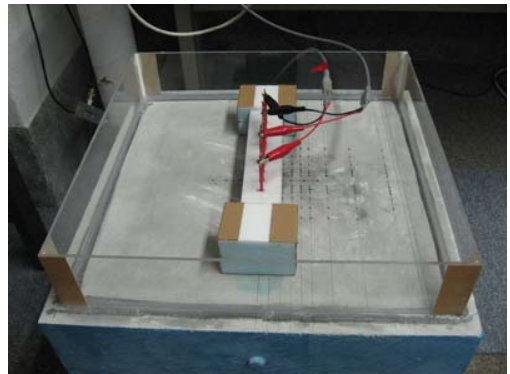


Fig. 3 철근직상부 비저항 측정

Table 1 실험체 종류

실험체 종류	피복두께(mm)	원형철근직경(mm)
T20-φ13	20	13
T30-φ13	30	13
T40-φ13	40	13
T30-φ19	30	19
T30-φ25	30	25

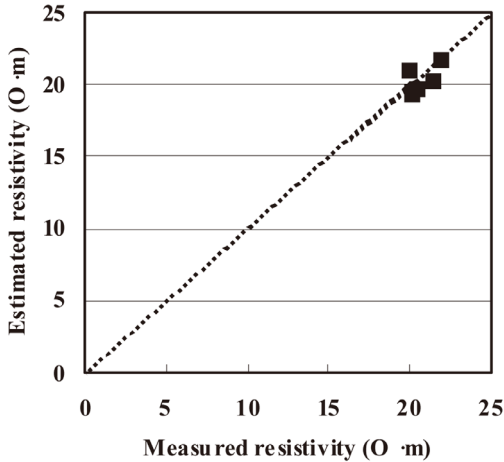


Fig. 4 실측치와 추정치

을 목적으로 전극간격별 실측 콘크리트 층간비저항(실측 응답전압)과 추정 콘크리트 층간비저항(추정 응답전압)을 통해 비저항의 상대적 값을 비교하여 콘크리트의 함수상태를 깊이별로 파악한다. 콘크리트의 층간비저항 추정에는 상기의 비저항 추정모델(REM)을 이용한다.

또한 콘크리트 층간비저항은 전극간격별 실측 콘크리트 층간비저항에 대한 추정 콘크리트 평균비저항의 관계비인 비저항률을 구함으로써 깊이별 함수상태의 상호관계를 보다 명확하게 파악할 수 있다.

Fig. 5와 6은 T20-φ13 실험체의 분석결과 의 예로 콘크리트 층간비저항의 변화를 나타낸다. Fig. 5는 추정치와 전극간격별 실측치에 대

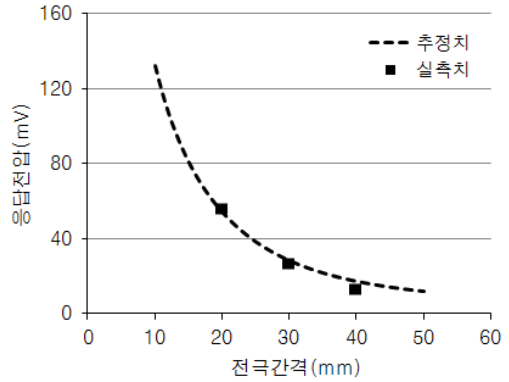


Fig. 5 응답전압: T20-φ13

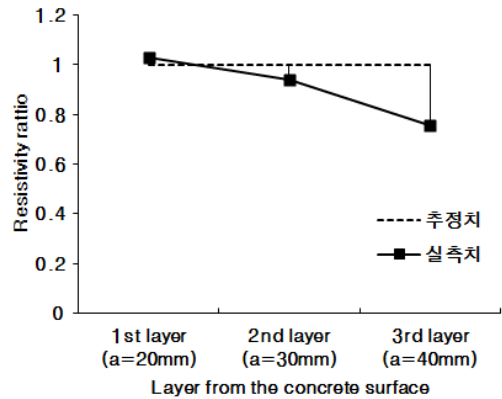


Fig. 6 비저항률: T20-φ13

한 층간 응답전압의 변화를 나타내고 있는데 전극간격별 전압의 변화가 거의 일치하고 있음을 알 수 있다. Fig. 6은 비저항률에 의한 층간비저항분석으로 전극간격이 20mm에서는 평균 비저항에 비해 조금 높은 1.027의 겉보기 비저항률을 보이지만 전극간격이 30mm에서는 겉보기 비저항률이 0.94으로 낮아지고 더욱 넓고 깊은 영역에서의 비저항상태를 나타내는 전극간격인 40mm에서는 겉보기 비저항률이 0.757로 상당히 낮은 비저항 치를 보이며, 실험체 심부의 함수상태가 실험체 평균함수상태에 비해 상대적으로 높은 상태에 있다고 추정할 수 있다.

4. 맺음말

철근직상부에서 비저항을 직접 추정하기 위해 개발한 본 기법은 현재 콘크리트 평균비저항, 층간비저항에 이어 철근탐사 등의 새로운 개념의 비저항 분석기법 제안을 목표로 연구를 진행중에 있다.

참고문헌

1. 佐々宏一, 菅野強, 芦田讓, “建設・防災技術者のための物理探査”, 森北, 東京, 1999, pp.148-155.
2. The Society of Exploration Geophysicists, “Exploration of Geophysicists’ Mining Geophysics”, 1967.
3. Y. C. Lim, et al., “Mathematical Modeling for Corrosion Environment Estimation Based on Concrete Resistivity Measurement Directly above Reinforcement”, ISIJ International, vol. 49, 2009, pp.92-99.

담당 편집위원: 김태수
(한밭대학교 건축공학과 부교수)
tskim@hanbat.ac.kr