

교류 임피던스기법을 이용한 철근부식 측정에 관한 실험적 연구

Electrical Impedance Spectroscopy(EIS) Measurements to Evaluate Corrosion of Steel/Concrete System

정시영*
Jung, Si Young

김병국**
Kim, Byoung Kook

최완철**
Choi, Oan Chul

ABSTRACT

Electrochemical impedance spectroscopy (EIS) has been extensively used to try to evaluate the corrosion state of the steel/concrete system. This technique is attractive because, in theory, used in a wide range of frequencies, it can give detailed information about the mechanisms and kinetics of the electrochemical reactions.

Impedance measurements were performed using potential control and measuring the corresponding current response. One-year-old southern exposure test specimens were used in the current study. The effectiveness of corrosion inhibiting additives was evaluated. The corrosion current densities estimated by impedance measurements were confirmed by those determined using linear polarization techniques. The purpose of this study was to evaluate the long-term-performance potential of the corrosion inhibitors in chloride contaminated reinforce concrete.

1. 서론

일반적으로 콘크리트 pH 12~13.5 정도의 강 알칼리성을 가지고 있어 콘크리트 내부의 철은 강알칼리성 환경에서 철의 표면에 부동태 피막이라고 불리는 산화피막이 형성되어 있어 강알칼리성 콘크리트 구조에서는 철의 부식이 일어나지 않는다.

그러나 골재 부족으로 인한 해사 사용시 염해 문제, 대기오염으로 인한 중성화 문제, 화학적 부식으로 인한 콘크리트 파괴 현상 등으로 콘크리트 내부 철근은 부식되어 콘크리트 구조물의 균열이 발생하여 이 균열로 H₂O 및 O₂가 콘크리트 내부로 침투하여 철근을 부식시켜 구조물의 내구성 및 사용연한을 저하시킨다. 이러한 철근 부식 측정 방법에 콘크리트 철근피복 두께를 파취 후 육안검사 및 전기화학적 방법이 있으며, 전기화학적 방법으로는 자연전위법, 비저항법, 분극저항법, 교류임피던스법, 전기화학적 노이즈법, 마크로셀 전류 측정법 등이 있다.

* 정회원, 숭실대학교 대학원 건축공학과, 박사과정

** 정회원, 숭실대학교 건축학부, 강사·공박

*** 정회원, 숭실대학교 건축학부, 교수·공박

본 연구에서는 최근 시험방법으로 전기화학적 방법 중 교류임피던스법(electrochemical impedance spectroscopy: EIS)을 소개하며, 이를 이용하여 철근부식을 시험한 결과를 통하여 서술하고자 한다.

2. 교류 임피던스 기법

2.1 교류 임피던스 이론적 배경

임피던스란 전류가 흐르기 어려운 정도를 나타내는 양으로서, 전압과 전류의 비를 말하며, 단위는 옴, 단위기호는 Ω 로 나타낸다.

사인곡선 형태의 교호전위시그널 $V(t)$ 에 대한 전극표면의 시간의존전류반응(time-dependent current response) $I(t)$ 가 각 주파수(angular frequency)에 따라 달라지는 임피던스 $Z(\omega)$ 로서 표시 된다.

$$Z(\omega) = V(t) / I(t) \quad \text{식(1)}$$

$t =$ 시간

$$V(t) = V_0 \sin \omega t$$

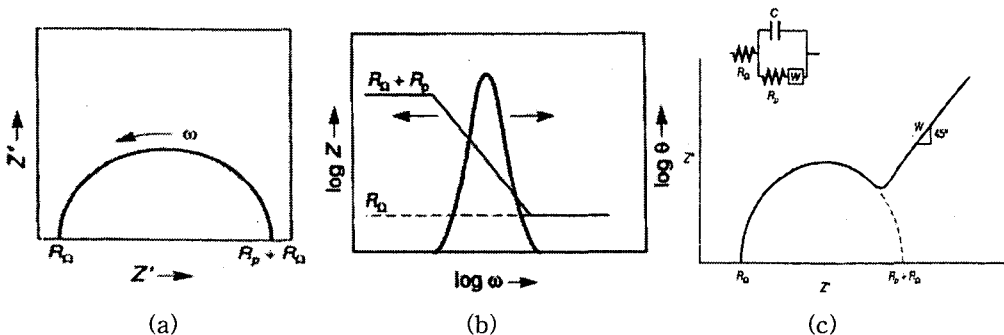
$$I(t) = I_0 \sin(\omega t + \theta)$$

$\theta = V(t)$ 와 $I(t)$ 사이의 상각(phase angle)

임피던스 $Z(\omega)$ 는 실성분 $Z'(\omega)$ 와 허성분 $Z''(\omega)$ 의 합으로 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$Z(\omega) = Z'(\omega) + Z''(\omega) \quad \text{식(2)}$$

전극의 임피던스 거동은 $Z'(\omega)$ 의 함수로서의 $Z''(\omega)$ 를 그린 나이퀴스트 도표(Nyquist plot)에 의해서 또는 주파수 f (사이클/초 : hertz)의 함수로서 $\log |Z|$ 와 $\log \theta$ 로서의 보드도표(Bode plot)에 의해서 나타낼 수 있다.



(a) Nyquist plot (b) Bode plot (c) effects of partial diffusion control with Warburg impedance

Fig.1 Data display for EIS for a corroding electrode

나이퀴스트 도표(임피던스의 실성분 Z' 에 대한 허성분 Z'' 의 도표)의 고주파수 끝에서 용액저항 R (Ω)을 얻게 되며 저주파수 분극저항 값은 무게 손실에 의해서 구해진 부식속도에 역비례 한다.

3. 실험계획

3.1 실험계획 및 배합

본 시험에 사용한 시험체는 부식촉진을 위해 널리 사용되는 남부촉진시험체(Southern Exposure Corrosion Specimen)이다. 305mm × 203mm의 사각형으로 상부 25 mm 정도에 홈을 만들어 NaCl 15%를 4일간 침식시킨 후 3일간 건조 하여 7일 단위로 반복 하였다. 시험체 5개를 제작하였으며, 1번 시험체에는 D10 이형철근 원형 그대로 매입하였으며, 2번 시험체는 에폭시도막 철근의 손상을 가정하여 4개의 홈을 설치하였으며, 3번, 4번, 5번 시험체는 4개의 홈을 갖는 에폭시 철근을 또한 A, B, C 사의 방청제를 사용하여 콘크리트 시험체를 만들었다.

재령 50주째의 부식상태를 평가하기 위하여 시험을 수행하였으며 모체 상부에 NaCl 15%에 겔로멜 전극(reference electrode) 및 백금 전극(counter electrode)을 설치하였으며 EIS 측정기에 연결 하고, 상부 철근 또한 단자를 설치하여 EIS 측정치에 연결하여 부식 반응을 측정하였다.

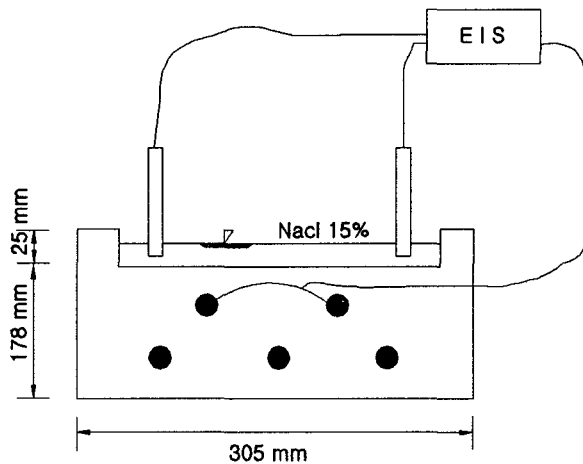


Fig. 2 Test specimen and EIS measurement configuration

3.2. 실험결과

본 연구는 콘크리트 내의 철근 부식 측정 및 방청제가 철근에 미치는 영향을 평가하기 위하여 EIS 분석 방법을 이용하여 측정을 실시하였으며, Fig. 3은 시험체별 실성분대 허성분을 보여주는 Nyquist plot로서 용액 저항치의 차이를 보여주고 있다. 그림에서 방청제를 도포하지 않은 철근에서 부식속도가 증가하는 것을 알 수 있었다.

방청제를 도포한 시험체의 방식 성능은 각 사마다 차이는 있으나 부식속도는 방청제를 첨가하지 않은 것보다 느린 것으로 결과를 얻을 수 있었다. EIS 기법은 콘크리트와 에폭시 철근의 계면 특성 연구 등에 활용될 수 있겠다.

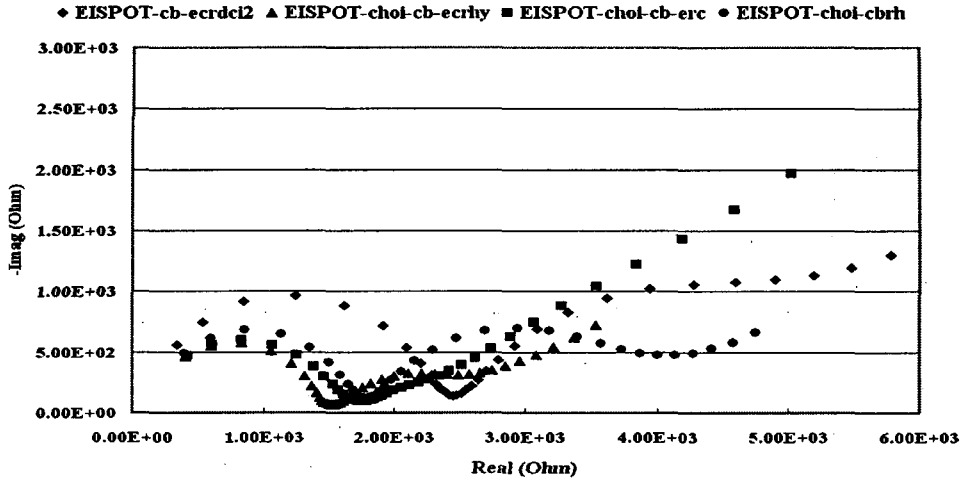


Fig.3 Impedance spectra to show Real vs. Imaginary plot

4. 결론

철근의 부식측정기법 중에서 전기화학적 방법의 하나로 최근 사용되고 있는 교류임피던스 기법을 소개하고 50주째 염화물 침지를 반복한 시험체를 이용하여 철근의 방청제의 효과를 비교하였다. 실험 결과 방청제의 효과가 뚜렷하게 구분되었으며 다른 시험법에서의 결과와 일치를 보여주고 있다. 교류 임피던스법(EIS)은 부식속도 추정 외에 철근과 콘크리트 계면의 특성을 연구할 수 있으므로 활용이 높게 평가되고 있다.

참고문헌

1. Hachani, L.; Carpio, J.; Fiaud, C.;Raharinaivo, A and Triki, E., "Steel Corrosion in Concrete deteriorated by Chlorides and Sulphate: Electrochemical Study Using Impedance Spectroscopy and Stepping down the Current Method," Cement and Concrete Research, Vol. 22, 1992, pp.56~66.
2. Gu, Ping; Elliot, S.; Hristova, R.; Beaudoin, J. J.;Brousseau, R., and Baldock, B., "A Study of Corrosion Inhibitor Performance in Chloride Contaminated Concrete by Electrochemical Impedance Spectroscopy," ACI Material Journal, V. 94, No. 5, Sept.-Oct. 1997, pp. 385~395.