

# 콘크리트내부의 철근부식에 관한 전기화학적연구

## The Electrochemical Study of the Concrete Reinforcement Corrosion

강태혁\*      조원일\*\*      신치범\*\*\*      김은겸\*\*\*\*      주재백\*\*\*\*\*      윤경석\*\*\*\*\*  
T.H. Kang      W.I. Cho      C.B. Shin      E.K. Kim      J.B. Ju      K.S. Yun

### Abstract

The electrochemical methods of early detection and analysis of corrosion related deterioration in concrete reinforcement structures are very useful techniques. The generally using procedure for corrosion monitoring of reinforced structures employs a method of half-cell potential measurement. Whilst the technique has provided a useful means of delineating areas of high or low corrosion risk, there are difficulties in its use and interpretation, particularly when assessing corrosion rates of reinforcement. The aim of this study is to describe the AC-impedance method being employed to monitor and assess corrosion rates, to estimate corrosion mechanism of reinforcement in laboratory conditions. The AC-impedance monitoring technique applies a small amplitude(20mV) AC signal to embedded steel in concrete and reference electrode (Cu/CuSO<sub>4</sub>). We obtained over a wide frequency range(10MHz~1mHz) to produce a complex plane plot or Nyquist plot

### 1. 서 론

콘크리트 구조물중의 철근부식 및 방식에 대한 전기화학적연구가 최근 국내에서도 점차 활발하게 이루어지고 있는데, 이는 이 방법이 비파괴적 부식측정방법이며 연속적 혹은 불연속적으로 철근부식에 관한 다양한 정보를 얻을 수 있기 때문이다.

콘크리트 내부의 철근부식반응은 전기화학적반응에 기초하여 일어나며 철근부식에 직접적인 영향

\* 비회원, 홍익대 화학공학과 박사과정

\*\* 비회원, 한국과학기술연구원 선임연구원, 공학박사

\*\*\* 비회원, 아주대 화학공학과 조교수, 공학박사

\*\*\*\* 정회원, 서울산업대 토목과 교수, 공학박사

\*\*\*\*\* 비회원, 홍익대 화학공학과 부교수, 공학박사

\*\*\*\*\* 비회원, 한국과학기술연구원 책임연구원, 공학박사

을 주는 인자는 중성화와 염소이온의 존재가 주된 것으로 알려졌다<sup>(1),(2)</sup>. 이중 염소이온은 최근 골재의 부족으로 인한 해사의 사용증가, 해양환경, 동절기에 제빙을 위해 뿌려지는 deicing-salt 및 혼화제 등에 의해 공급되어 철근부식반응을 가속화시키고 있다. 이에 따라 국내에서는 콘크리트 내부의 염분량을 시공시부터 총량적으로 규제하고 있으나, 그외 외부에서 공급되는 염분에 대한 고려등은 없는 상태이다. 따라서 해양환경에 노출되어 있는 구조물들에 대한 정확한 환경조사 및 평가가 수행되어 데이터베이스화되어 있어야 하며, 염분량과 철근부식에 상관관계 등에 대한 다양한 연구가 필요하다. 국내에서는 이에 대한 연구가 다소 미진한 상태이며, 특히 전기화학반응으로서의 철근부식을 이해한 것이 오래되지 않으므로 전기화학적 측정방법에 대한 개발 및 적용이 시급한 과제라 할 수 있겠다.

일반적으로 가장 많이 사용하는 전기화학적 부식측정방법으로는 기준전극(reference electrode)을 사용하여 철근의 부식전위(corrosion potential)를 측정하는 자연전위법(half-cell potential measurement)이 있다. 이 방법은 측정이 간편하고 일차적으로 철근부식의 유무 등을 알 수 있는 매우 유용한 방법이나 상대적인 부식진행정도만을 알 수 있으며, 부식속도나 부식 메커니즘 등에 대한 정보는 얻을 수 없고, 정량적인 부식량에 대한 정보는 거의 제공하지 못하는 단점이 있다. 따라서 이외에 여러 가지 전기화학적 측정법들이 개발되고 있으며 이를 그림 1에 나타내었다<sup>(3)</sup>.

본 연구에서는 국내환경에서 일어나는 철근 콘크리트 구조물내부의 철근부식 및 방식에 대한 연구의 일부분으로, 최근 여러 분야에서 다양하게 이용되고 있는 AC-impedance법을 이용, 염분함량에 따른 콘크리트내부의 철근부식에 대하여 고찰하였다.

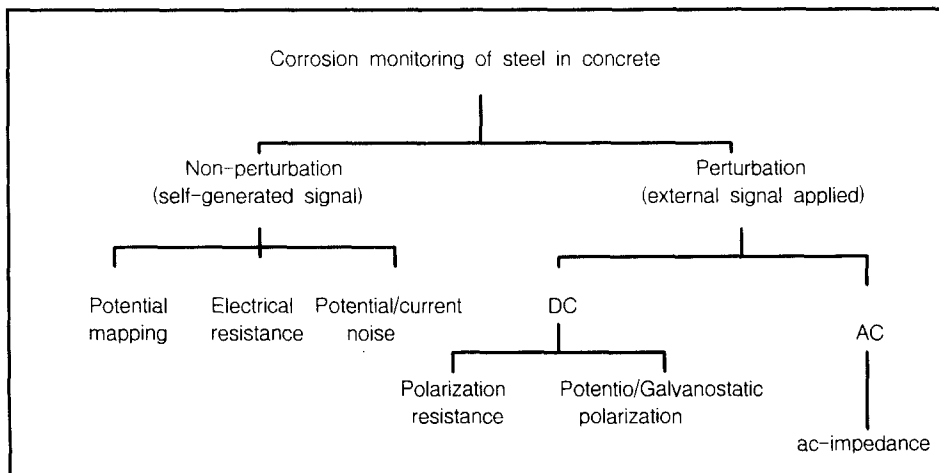


Fig. 1 Electrochemical test methods of reinforcement concrete corrosion

## 2. 이론적 배경

전기화학적 임피던스 분광법(Electrochemical impedance spectroscopy, EIS)은 일전극(working electrode), 상대전극(counter electrode) 그리고 기준전극(reference electrode)으로 구성된 전기화학적 cell에 signal을 인가하여 다양한 주파수(frequency)영역에서 전극의 응답특성을 알아보는 방법이다. AC-impedance법은 AC signal을 인가하게 되며, 철근콘크리트의 부식에 대한 연구에서는 10~20 mV의 AC signal을 주로 사용하고 있다. AC signal의 주파수를 변화시키면서

전극에 인가하게 되면 전극 및 전극계면에서의 변화가 일어나게 되고, 이 변화는 임피던스 및 상변화 등으로 나타나게 되어 이로부터 전극반응에 관계되는 확산(diffusion), 전극반응속도(electrode kinetics) 등에 유용한 정보를 해석할 수 있게 되는데, 고주파수 영역에서는 전극의 반응속도, 저주파수 영역에서는 물질확산 및 이동에 관한 정보가 얻어지게 된다.

전기화학적 cell은 등가회로(equivalent electrical circuit)로 나타낼 수 있으며, 이 등가회로는 저항(resistances)과 캐패시터(capacitances)의 조합으로 표현되고, 전극의 응답특성에 따라 다양하게 구성할 수 있다. 일반적으로 철근콘크리트의 전기화학적 model은 그림 2와 같이 표현되며 이의 등가회로 및 Nyquist plot을 그림 3에 나타내었다<sup>(4)</sup>.

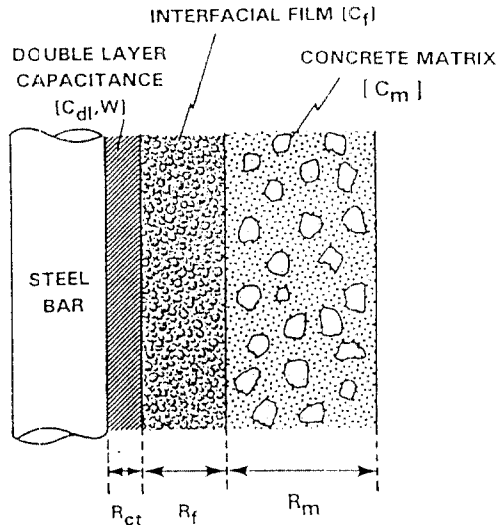


Fig. 2 Schematic representation of steel/concrete interface boundary.

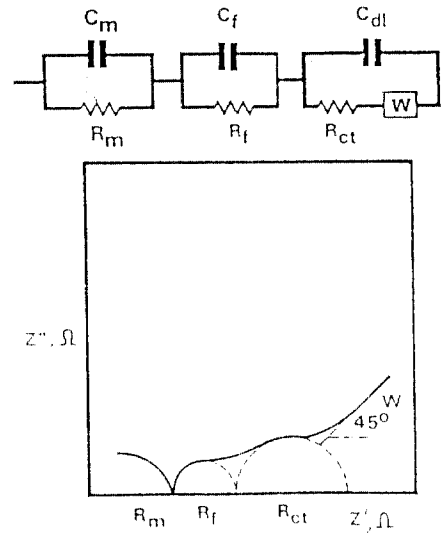


Fig. 3 Schematic representation of generalised equivalent circuit of steel/concrete interface(m=matrix, f=film) and corresponding impedance(Nyquist) plot.

### 3. 실험

#### 3.1. 철근콘크리트 공시체제작

실험에 사용한 철근콘크리트 공시체는 10×15×25cm(가로, 세로, 높이)의 각주형으로 ASTM G902-92를 참고하였고, w/c의 비율 0.47로, 그림 4와 같이  $\phi$  10mm의 철근과 SUS를 중심으로부터 피복두께가 20mm가 되게 삽입하여 총 36개의 공시체를 제작하였다. 염소이온은 두 종류의 시약(NaCl, CaCl<sub>2</sub>)을 3가지 농도로 변화시켜 물에 녹여서 공시체 안에 투여하였다. 이 중 6개의 공시체를 AC-impedance법을 이용하여 전기화학적 측정을 하였고 나머지는 철근의 부식상태를 관찰하는데 사용하였다.

#### 3.2. AC-impedance measurement

매설된 철근을 일 전극으로, SUS를 상대전극으로, ASTM C867에 의해 제작한 황산동전극(Cu/CuSO<sub>4</sub>)을 참조전극으로 사용하였다. 우선 전극이 평형전위(open circuit potential)에서 안정화된 다음, 이 평형전위로부터 20 mV의 AC signal을 10MHz~1mHz 범위로 인가하였다. 측정장

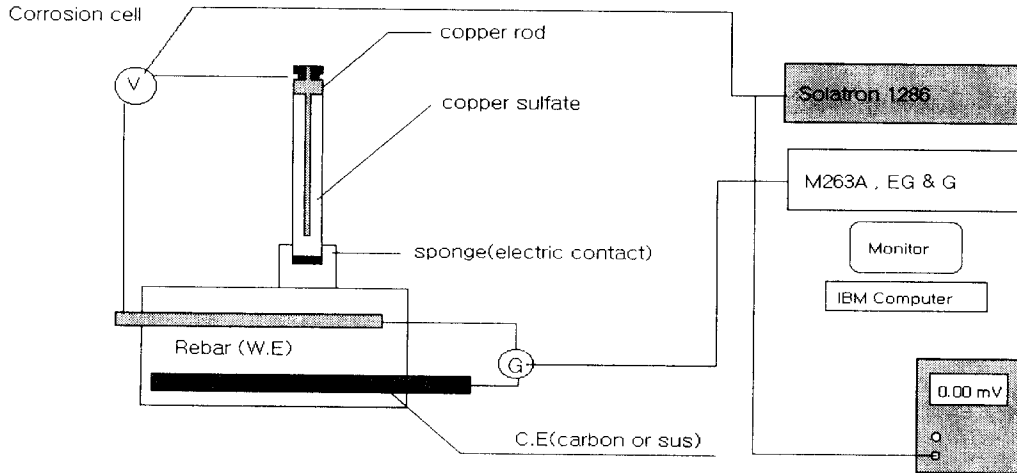
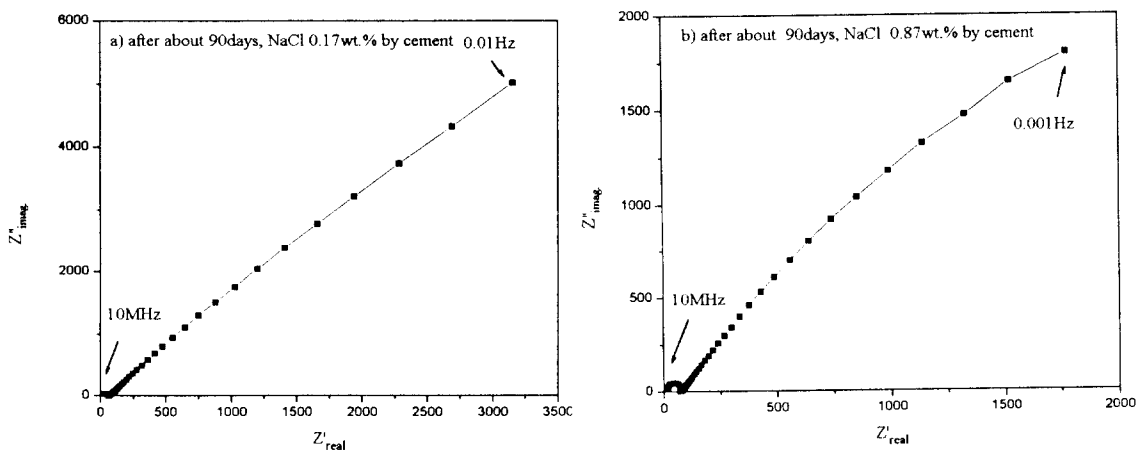


Fig. 4 The electrochemical cell of reinforcement concrete corrosion.

비로는 EG&G사 potentiostat/galvanostat 263A와 Schlumberger사의 SI 1286 electrochemical interface, SI 1260 impedance/gain phase analyser를 사용하였다.

#### 4. 결과 및 고찰

그림 5에 AC-impedance법으로 작성한 각 공시체의 Nyquist plot을 나타내었다. 그림에서 concrete matrix의 저항은 염분농도가 높을수록 작아지는 것을 볼 수 있으며, steel rust의 두께 및 양에 따라 interfacial film 부분의 저항 변화를 관찰할 수 있었다. 이로 미루어 보다 장기간의 측정을 통해 철근의 부식과 임피던스, 염분의 양과 임피던스의 관계를 명확히 할 수 있으리라 생각된다. 실험을 통하여 철근콘크리트 부식연구에 있어 AC-impedance법은 매우 유용한 방법임을 확인하였고, 이에 따라 보다 많은 정보의 확보와 정확한 해석을 통하여 실험실은 물론 현장에서도 철근 부식의 상황을 정확히 파악할 수 있으리라 기대된다.



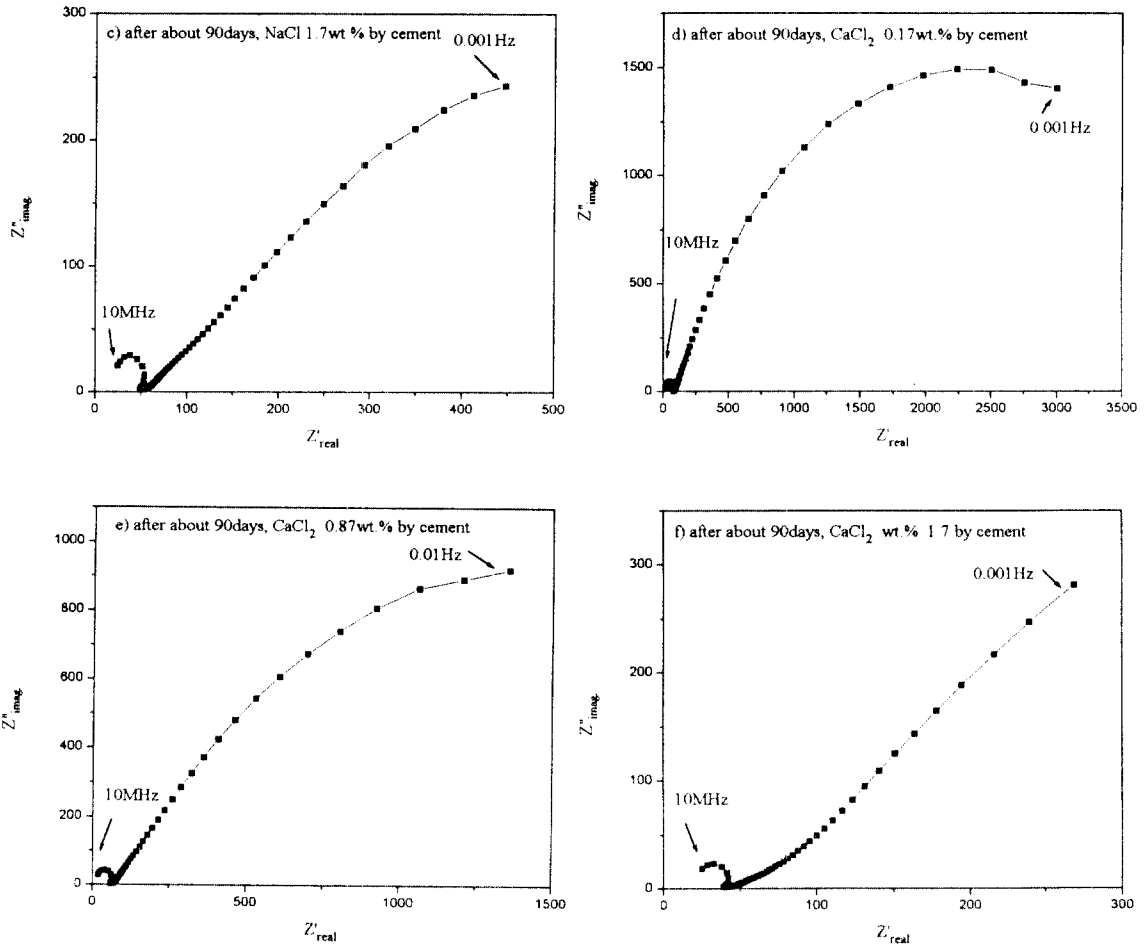


Fig. 5 The electrochemical Nyquist plots of reinforcement concrete corrosion cells with con. of Cl

## 5. 참고 문헌

1. C.L. PAGE and K.W.J. TREAPAWAY, Nature, 297, 109, 1982.
2. L.H. EVERETT and K.W.J. TREAPAWAY, Building Research Establishment Information paper IP 12, 80, 1980.
3. S.G. Mckenzie, Corrosion Prevention & Control, 11, Feb., 1987.
4. K.K. SASOE-CRENISIL, F.P. GLASSER, J.T.S. IRVINE, British Corrosion Journal, Vol. 27, 113, 1992.