

# 전기저항형 센서 및 전기화학적 방법을 이용한 철근콘크리트 구조물의 부식속도 측정 방법에 관한 연구

## Study on The Corrosion Rate Monitoring of Steel in Concrete Using Electric resistance Sensor and Electrochemical Methods.

조용범\*      김용철\*      장상엽\*\*      고영태\*\*\*  
Cho, Yong Bum      Kim, Yong Cheol      Jang, Sang Yup      Kho, Young Tai

### ABSTRACT

This paper reviews available techniques for monitoring corrosion of steel in concrete. The need for early detection and diagnosis of corrosion related deterioration in reinforced structures is widely acknowledged. This is particularly important in reinforced concrete structures on account of the economic and social significance of the problem. The current generally used on-site procedure for corrosion monitoring of reinforced structures employs a method of half-cell surface potential measurements. While the technique has provided a useful means of delineating areas of high or low corrosion risk, there are difficulties in its use and interpretation when assessing rates of deterioration. Electrochemical techniques are by far the most suitable for corrosion monitoring purpose and meet most of the requirements.

The aim of this paper is to describe the electric resistance sensor(ER sensor) and electrochemical techniques employed to monitor and estimate corrosion rates of reinforcement. Early detection and diagnosis of corrosion hazards allows preventive measures to be taken, hence the typically expensive repair of severely deteriorated structures can be avoided.

### 1. 서론

콘크리트 구조물들이 파손되는 대부분의 원인은 철근의 부식이다. 정상적인 조건하에서는 콘크리트 (시멘트 물탈)내 철근의 부식은 일어나지 않는다. 시멘트 물탈내에서는 가수분해가 일어나며, 사용된 시멘트의 약 30%가 CaOH<sub>2</sub>로 변하여 시멘트가 오염되지 않았다면 시멘트에 의해 완전히 둘러싸인 강은 pH 12 이상의 강한 알칼리성 분위기에 있게 된다. 이 경우 강의 표면에는 철의 3가 산화물 (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 피막이 얇게 형성되는데 철표면의 전극전위를 크게 바꾸어 양극이 되려고 하는 경향을 막아 부식을 방지한다. 그러나 외부오염으로 인하여 일정량 이상의 염화이온 (Chloride ion, Cl<sup>-</sup>)이 존재하거나 시멘트 기공내에 CaOH<sub>2</sub>와 공기중의 CO<sub>2</sub>가 반응하여 콘크리트내의 알

\* 정회원, 한국가스공사 연구개발원 선임연구원  
\*\* 정회원, 한국가스공사 연구개발원 연구원  
\*\*\* 정회원, 한국가스공사 연구개발원 책임연구원

칼리도를 떨어뜨리게 되면 위와 같은 부동태 (Passivity) 피막이 파괴되면서 철근은 부식될 수 있다. 철근의 부식은 구조물의 안전성에 심각한 위협 요인이 될 수 있다. 따라서 콘크리트 내 철근의 부식 상황을 파악하는 것은 구조물의 안전성 확보면에서 매우 중요하다고 할 수 있다. 본 연구에서는 선형분극법 등 전기화학적 방법과 본 연구실에서 개발한 전기저항형 박막센서를 이용하여 철근 콘크리트의 부식속도 측정 방법에 관한 연구를 수행하였으며, 이를 통하여 구조물의 경제적 유지관리와 신뢰성 제고를 목표로 하였다.

## 2. 철근콘크리트 부식 모니터링 기술

현재까지 개발된 철근콘크리트 부식모니터링 기술은 육안검사, hammer test 등 아주 기초적인 것을 제외하고는 그림 1과 같이 정리 할 수 있다.

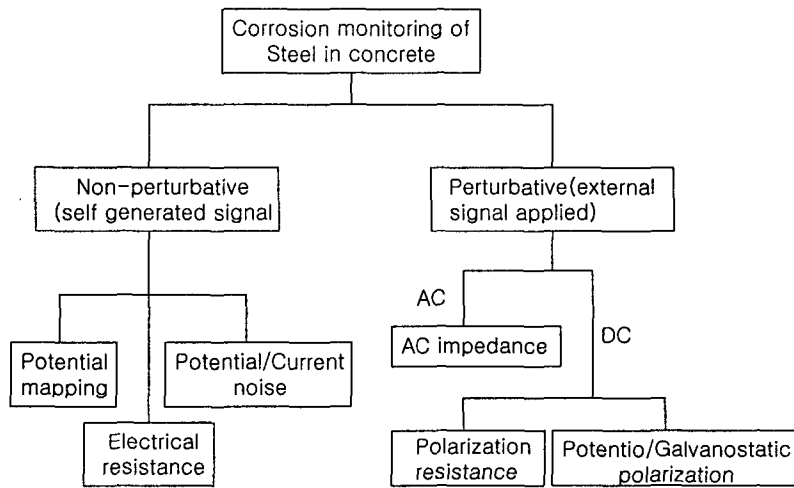


그림 1 Corrosion monitoring of steel in concrete

## 3. 부식속도 측정을 위한 전기저항형 박막센서

선형 분극법에 의한 부식속도 측정법은 전기화학적 원리를 이용하여 부식속도를 측정하는 방법으로 금속 전극에 일정전위 변화를 일으키는 전류의 양이 부식전류밀도에 비례한다는 원리를 응용한 것이다. 선형 분극법은 매우 넓은 범위의 부식속도를 수분 이내에 측정할 수 있는 장점을 가지고 있으나, 전극반응이 타펠(Tafel) 거동을 하는 경우에만 적용이 가능하다. 즉, 부식반응이 일정한 반응속도기구를 따르는 제한적인 경우에만 정확한 부식속도 측정이 가능하다. 부식반응이 타펠 거동을 따를 경우에도 분극저항을 부식속도로 환산할 때 타펠속도상수(Tafel rate constant)의 불확실성에 의한 오차가 수반될 수 있다. 실용적으로는 부식매질의 전도도가 매우 낮거나, 매질이 불균일 할 경우 오차를 수반하게된다.

무게감량법과 전기저항법은 선형분극법과는 달리 금속시편이 부식되는 양을 측정하므로 보다 직접적인 부식속도 측정방식이다. 무게감량법은 부식 환경 중에 일정기간 노출된 금속편의 무게변화를 측정하여 부식속도로 환산하는 방법이다. 전기저항 측정방식은 노출된 금속편(선재 또는 디스크, 실린더 형태)의 두께감소에 따른 전기저항을 측정하는 방식이다. 무게감량법과 전기저항 측정방식은 부식에 의한 손상이 상

당히 진행되어야 탐지가 가능한 단점이 있다. 경우에 따라 확실한 부식속도를 측정하기 위해서는 수 일 또는 수 주일이 경과해야 하는 경우도 있어 낮은 부식속도를 측정하는데는 적절치 않은 방법이다. 무게감량 법과 전기저항 측정방식의 또 다른 단점은 국부부식이 발생할 경우 이를 감지해내기가 매우 곤란하다는 점이다. 예를 들어 깊은 공식이 발생하는 경우라 하더라도 무게감량이나 전기저항의 변화가 거의 일어나지 않을 수가 있어 국부부식의 탐지에는 부적합한 방법들이다.

전기저항형 측정방식의 민감도는 프로브(Probe)의 두께에 반비례한다. 프로브의 두께가 얇아질수록 프로브의 감도는 증가하기 때문에 감도를 비약적으로 향상시키기 위하여 프로브의 노출 금속부위를 박막으로 제작하는 시도가 있었다. 박막형 전기저항 프로브는 부식속도가 낮은 경우에도 민감하게 부식속도를 측정할 수 있어 전기저항 프로브의 적용한계를 넓힐 수 있는 가능성을 갖추고 있다. 본 연구에서는 이를 위하여 그림 2와 같이 다수의 폭이 좁은 선으로 이루어진 전기저항형 센서를 스퍼터링 방법을 이용하여 제작하여 부식속도 측정용 도구로서 사용하였다. 이러한 다선형 박막센서는 부식으로 인한 결함이 발생할 때 단락이 되므로 전체 저항변화가 1/(세선수) 만큼 일어나게 된다. 즉, 부식으로 인한 센서의 저항 변화 응답은 그림 3과 같이 다수의 세선중에서 하나의 세선이 단락될 때 예측되는 스텝형태의 저항 변화를 뚜렷이 보여주며 저항변화 기울기를 이용하여 아래와 같은 식으로서 부식속도 mpy(mils per year)를 구할 수 있다.

$$mpy = \text{기울기} \times (\text{센서의 초기두께}(um)/hr) \times (24hr/day \times 365day/year \times 1mils/25.4um)$$

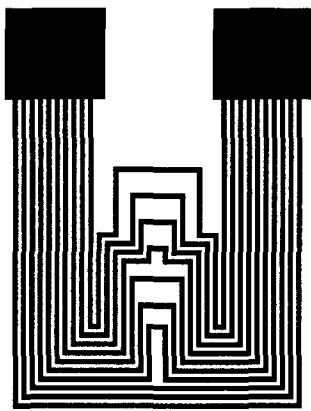


그림 2. 전기저항형 박막센서

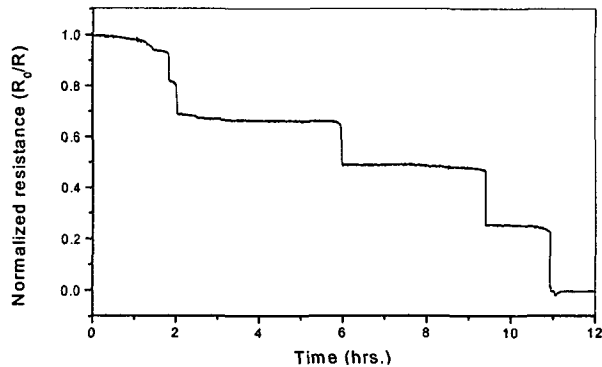


그림 3. Multiple line을 갖는 박막 센서의 응답

#### 4. 실험 방법

콘크리트내 철근의 부식속도를 측정하기 위하여 그림 4와 같은 몰타르 시편을 제작 하였다. 시편의 크기는 100 x 150 x 80mm (L x W x H), W/C = 0.5로 하였다. 한편 시편의 부식환경을 변화 시키기 위해서 염분의 양을 조절 하였는데 무게비로 NaCl을 0.5, 1.0, 1.5% 함유한 시편 3개를 제작 하였다.

각각의 시편에는 그림 4와 같이 부식속도 측정용 도구를 삽입 하였다. 그림 4에서 1은 LP probe로서

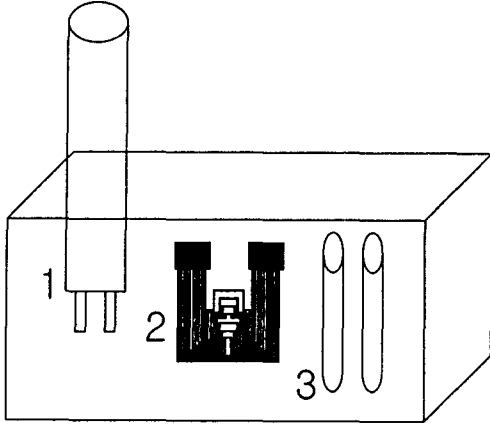


그림 4. 시험 시편

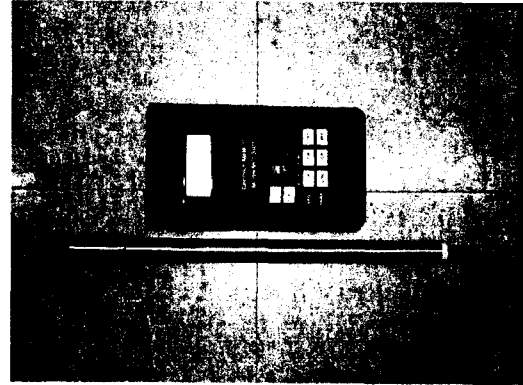


그림 5. LP probe

주로 수입품으로서 시판되고 있으며, 선형분극법 (Linear Polarization)을 이용하여 콘크리트내 철근의 부식속도를 측정하는데 이용하고 있다. 본 실험에서 사용한 LP probe는 본 연구실에서 개발한 것으로 그림 5에 probe와 data receiver를 나타내고 있다. 그림 4의 2는 앞에서 설명한 전기저항형 박막센서이며, 3은 potentiostat를 이용하여 분극저항  $R_p$ 를 측정하여 부식속도를 구하기 위해 시편속에 철봉 형태의 탄소강을 매설하였다. 이는 LP probe에서 구한 데이터와 비교하기 위해 매설해 놓은 것이다.

## 5. 실험결과 및 분석

### 5.1. 각 측정 방법에 의한 몰타르 시편에서의 부식속도

표 1. 각 부식속도 측정 방법에 의한 몰타르시편에서의 부식속도

부식속도 측정 방법	염분함유량(NaCl %)	부식속도 (mpy)
전기저항형 박막센서	0.5	3.1
	1.0	43
	1.5	111
LP probe	0.5	0.5
	1.0	0.8
	1.5	1.5
분극저항 ( $R_p$ )	0.5	3.3
	1.0	6.6
	1.5	6.7

## 5.2. 전기저항형 박막센서에 의한 부식속도 측정

10가닥의 두께  $6\mu\text{m}$ 의 세선을 갖는 박막센서는 0.5% NaCl 함유 시편의 경우 그림 6에서와 같이 500시간이 경과한 상태에서  $R_0/R$ 의 변화가 1에서 0.2까지 변화하였으며 시간 대비  $R_0/R$  변화량의 기울기는  $1.5 \times 10^{-3}$  이었다. 이 기울기를 앞서 설명한 식을 이용하여 부식속도를 구해보면 3.1mpy의 부식속도를 구할 수 있다. 마찬가지로 방법으로 1.0, 1.5%의 염분 함유 시편의 부식속도를 구해 볼 수 있다. 1.0%의 경우 저항이 정확한 스텝형태로 변화하는 것을 볼 수 있으며 약 50시간이 경과한 후 모든 세선이 부식으로 인하여 단락된 것을 알 수 있다. 1.5%의 경우에는 24시간이 경과 하기도 전에 센서의 모든 세선이 단락되었다. 염분이 함유된 환경에서 철의 부식 형태는 일반적으로 전면 부식보다는 국부 부식의 형태를 나타내므로 염분 함유량에 따라 세선의 단락 시간 차이가 큰 것으로 판단된다.

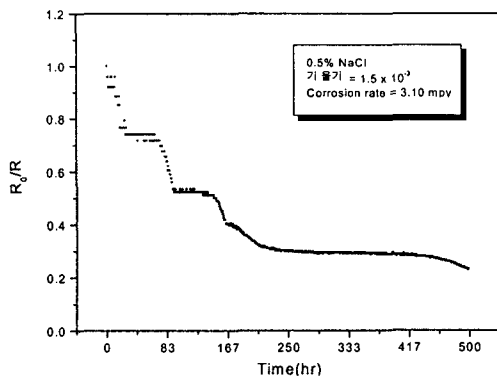


그림 6. 박막센서를 이용한 부식속도(0.5% NaCl)

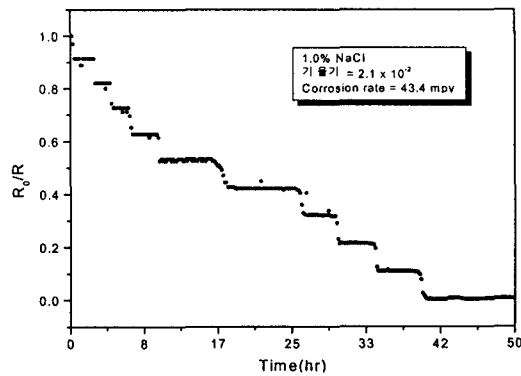


그림 7. 박막센서를 이용한 부식속도(1.0% NaCl)

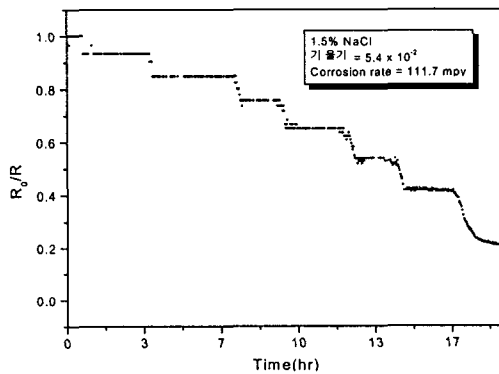


그림 8. 박막센서를 이용한 부식속도(1.5% NaCl)

## 5.3. LP probe를 이용한 부식속도 측정

그림 5에 나타난 LP Probe를 이용하여 몰타르 시편의 부식속도를 측정한 결과 염분 함유량에 따라 표 1과 같은 부식속도를 나타 내었는데 이러한 결과는 전기저항형 박막센서의 데이터에 비하여 비교적 많은 차이를 나타내고 있다.

#### 5.4. 분극저항( $R_p$ )를 이용한 부식속도 측정

Potentiostat를 이용하여 시편의  $R_p$ 를 측정된 결과를 그림 9에 나타내었으며 이를 이용하여 부식속도를 구한 값을 표 1에 나타내었다.

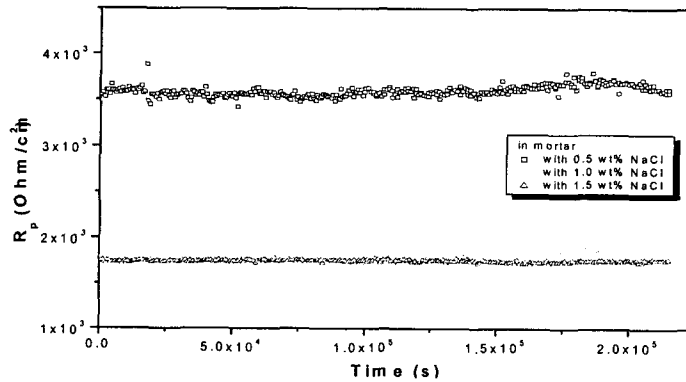


그림 9. 염분함유량에 따른 몰타르 시편에서의 분극저항

#### 5.5. 실험결과와 고찰

LP probe와 Potentiostat를 이용한  $R_p$ 에 의해 측정된 부식속도는 염분 함유량이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였으며 두 가지 방법으로 측정된 데이터는 비교적 큰 차이는 없었다. 하지만 박막센서로 측정된 부식속도와는 상당한 차이를 보여주고 있다. 이런 이유는 선형 분극법에 의한 부식속도 측정은 전극반응이 Tafel 거동을 하는 경우에만 적용이 가능하며, 부식반응이 Tafel 거동을 하는 경우에도 Tafel rate constant의 불확실성에 의한 오차가 수반될 수 있으며, 국부부식에 의한 부식속도는 추정할 수 없다는 단점이 있다. 반면 박막센서에서 측정된 부식속도가 큰 값을 나타 낸 것은 염화물 분위기에서 전면부식이 아닌 국부 부식이 발생 되어 센서의 세션이 단락 되었기 때문이라고 판단된다.

### 6. 결론

염화물 환경하에서 콘크리트 내부의 철근은 전면 부식보다는 국부부식으로 인한 열화 현상이 일반적으로 발생한다. 이러한 현상을 정량적으로 찾아내기 위해 현장에서 선형분극법이 널리 사용되지만 이 방법으로는 국부부식으로 인한 부식속도를 알아내기 어렵고 또한 식 자체가 오차를 수반하고 있으므로 보다 정확한 철근의 부식속도를 모니터링 하기 위해서 전기저항형 박막센서가 유용하다고 판단된다. 왜냐하면 센서 자체의 물성이 철과 같고 센서 자체의 부식이 국부적으로 발생되어 콘크리트 내부 철근 부식의 상황을 비교적 정확하게 대표할 수 있다고 생각되기 때문이다.

#### 참 고 문 헌

1. P.Rodriguez. et al. "Methods for studying corrosion in reinforced concrete," Magazine of Concrete Research, 1994, 46, No.167.
2. 김영근 외 "설비부식 감시용 전기저항형 부식속도 측정기 개발," 한국가스공사 연구개발원 보고서.