

비파괴 철근 부식 진단을 위한 매립형 미니센서 개발에 관한 기초적 연구

Fundamental Study on Developing Embedded Mini-Sensor for Nondestructive Diagnosis Corrosion of Rebar

조 성 형¹⁾
Joh, Sung Hyung

임 영 철^{2)*}
Lim, Young Chul

Mohamed Ismail³⁾
Mohamed Ismail

이 한 승⁴⁾
Lee, Han Seung

Abstract

Corrosion of rebar embedded reinforced concrete is the main cause of collapse and degradation of reinforced concrete structure. Degradation occurs in reinforced concrete structures from corrosion caused by the Chloride that the damage other than the severe degradation of the structure in terms of maintenance and construction when the huge expense required and deciding terms is hard. Therefore, early detection of rebar corrosion is important for efficient maintenance and repairing and planning. Meanwhile, how to evaluate the corrosion of the non-destructive measurements have been used a lot. In particular CM-II (corrosion meter) is used to measurement the natural potential, polarization resistance and the resistivity of the concrete, but has some disadvantages. Embedded mini-sensor has been developed in order to overcome these disadvantages. So Measurement corrosion for using the mini-sensor compares with the measured results CM-II (corrosion meter), the developed mini-sensor verify the validity.

Keywords : Corrosion of rebar, Nondestructive, Mini-sensor, Potential, Polarization resistance

1. 서론

철근콘크리트 구조물에서 철근의 부식발생은 콘크리트 내부의 철근 표면에서 시작된다. 따라서 콘크리트 표면에 균열이나 녹이 나타났다면, 이는 내부에서 철근의 부식이 상당히 진전되어 있음을 의미한다. 콘크리트 내부에 매설된 철근의 부식은 철근콘크리트구조물의 조기 성능저하와 붕괴의 주요원인이 되고 있다(소형석 등, 2006~2009). 철근콘크리트 구조물에 발생하는 열화현상 중에서 철근부식에 의해 발생하는 열화는 그 피해가 다른 열화 현상보다 심하고 구조물의 보수 및 시공 측면에서도 막대한 경비가 요구되고 보수시기 또한 정하기 힘들다. 따라서 철근의 부식상태에 대한 예측 및 조기발견은 관리자의 효율적인 보수 및 보강계획 수립을 위해 매우 중요하다(정영수 등, 1996, 1999, 조승호 등, 2002). 세계적으로 콘크리트 내 철근의 부식상태 진단을 위해 다양한 전기화학적 방법을 적용하여 부식속도를 측정 하는 연

구가 진행되고 있다. 특히 구조물에 영향을 끼치지 않는 비파괴적 진단법에 대한 많은 연구가 진행되어 왔다. 이에 대한 진단법으로 타음법, 자연전위법, 분극저항법 등 물리·화학적 수법이 있고, 이러한 진단법의 정밀도 향상을 위해 평가에 포함되는 측정영역을 좁히려는데 노력을 집중하고 있다(송하원 등, 2009, 윤재환 등 1992). 이에 따라 자연전위, 분극저항, 비저항등을 한번에 측정 가능한 CM-II (corrosion meter) 측정기가 많이 활용되고 있다. CM-II 측정기의 원리는 콘크리트중의 철근의 교류 임피던스값으로부터 자연전위 및 분극 저항을 구해서 부식 속도를 산출하여 부식의 정도를 진단하는 것이다(W. John et al, 2004). 하지만 CM-II 측정기는 콘크리트 표면에서 측정하므로 콘크리트의 다양한 환경에 의해 측정에 여러 오차를 발생시켜 부식평가의 정밀도를 저하시키고, 매번 같은 지점의 철근의 부식정도를 측정할 수 없다는 단점을 지니고 있다.(콘크리트 속에 매입되어 있지 않아서), 이러한 문제점을 극복하기 위해 콘크리트 피복

1) 한양대학교 대학원 건축환경공학과 석사과정
2) 대구가톨릭대학교 건축학부 전임강사
3) faculty of civil engineering universiti teknologi malaysia
4) 한양대학교 ERICA캠퍼스 건축학부 부교수

* Corresponding author : yclim@cu.ac.kr 053-850-2741

• 본 논문에 대한 토의를 2010년 12월 31일까지 학회로 보내주시면 2011년 1월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

Table 1 Potential of rebar and probability of corrosion (ASTM C 876)

Self-Potential (mV)	corrosion rate
more than -200	low (less than 10%)
-200 ~ -350	uncertainty
less than -350	high (more than 90%)

의 영향을 최대한 배제하고 구조물의 지속적인 모니터링을 실시하기 위해, CM-II와 유사한 원리를 가진 미니센서를 콘크리트 타설시 매설하여 철근부식을 모니터링 하는 기법이 본 연구진에 의하여 개발되었다. 미니센서는 철근과 수mm 떨어진 위치에서 측정을 할 수 있으므로 콘크리트 피복의 영향을 최대한 배제할 수 있는 진단법이라 할 수 있지만, 개발 초기이므로 측정값의 응답성 및 신뢰성에서는 보다 많은 연구가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 동일한 시험체를 대상으로, 본 연구진이 개발한 미니센서와 기존에 현장에서 적용되고 있는 CM-II (corrosion meter)기의 철근부식진단 응답값(자연전위, 분극저항, 비저항)을 상호 비교함으로써 비파괴 철근부식진단 기기로서의 미니센서 타당성에 관한 기초연구를 수행하였다.

2. 기존문헌고찰

2.1 자연전위법

Table 1은 자연전위와 부식확률을 나타내는 표이다. 철근의 자연전위를 측정함으로써 콘크리트 내 철근의 부식 가능성을 예측할 수 있다. 그러나 최근 다양한 환경에 놓여있는 철근콘크리트구조물에 대한 자연전위의 측정결과에서 부식가능성을 나타내는 철근의 자연전위 값이 각 환경에 따라 상이한 결과로 나타날수 있음이 보고되었다 (Kyung, 2007). 자연전위법은 단지 부식발생 가능성만을 나타내는 정성적인 평가일 뿐 부식율과 같이 부식의 심각성을 나타내지 못한다는 점과 피복콘크리트 부분을 제거한 후 매설된 철근을 노출시켜 전기적으로 연결시켜야 한다는 단점을 가지고 있다(이종득, 2007).

2.2 분극저항법

분극저항법은 부식속도의 추정이 가능하므로 이를 응용한 부식측정법이 실험실 및 현장에서 철근부식 모니터링용으로 실용화되어 있다. 콘크리트 중의 철근의 부식성

Table 2 Relation polarization resistance with corrosion rate (BRE, 2001)

polarization resistance Rp (kΩcm ²)	corrosion rate
more than 250	passive state
250~25	low/middle
25~2.5	high
2.5~0.25	very high

Table 3 Corrosion of rebar by polarization (BRE, 2001)

current density of corrosion i_{corr} (μA/cm ²)	corrosion depth i_{corr} (μA/cm ²)	corrosion rate
Up to 0.2	Up to 2	passive/low
0.2 ~ 0.5	2 ~ 6	low/middle
0.5 ~ 1.0	6 ~ 12	middle/high
> 1.0	> 12	high

평가에 관한 연구도 실내 실험을 중심으로 진행되었으나, 최근에는 실구조물에서의 응용도 시도되고 있다(이종득, 2007). Table 2는 분극저항과 부식율의 관계를 나타낸다. 분극저항 값에 따라서 부식율의 높고 낮음을 평가할 수 있다. Table 3은 분극저항에 의한 철근의 부식을 평가하는 기준을 나타낸다. 분극저항을 측정하여 부식전류 밀도나 부식 깊이를 구할 수 있다, 한편, 철근 부식 속도의 현장 측정에 활용되고 있는 주요 전기 화학적 분극 방법으로는 측정 시간이 긴 직류 분극저항 및 교류 저항(A/C impedance) 측정법들을 일부 변형한 방법들과 정전류 및 정전위 분극 방법이 있다. 이러한 분극저항법의 단점으로는 교류 저항측정법이나 전기화학적 노이즈법의 경우는 적용방법이 복잡하고 현장에서 사용하기에는 불편한 점을 많이 가지고 있으며 타겟법은 시간이 오래 걸릴 뿐 아니라 부식속도를 측정하면서 부식을 유발할 수도 있다. 또한 현장 철근콘크리트구조물에서 적절한 측정시간을 선택 및 적용한다는 것은 매우 어려운 문제이다.

2.3 AC 임피던스법(A/C impedance)

AC임피던스법은 10~20mv의 교류(Alternative Current)를 부하하였을 때의 저항을 측정하는 것이며 교류를 부하하였을 때 저항을 잴다는 뜻에서 AC임피던스법이라고 한다. 이 방법으로 하는 교류의 주파수는 100kHz~1mHz 정도이다. 주파수가 다른 전압을 부하함으로써 부식속도와 함께 계면의 이중층용량이나 용액저항(콘크리트 비저항) 등에 관한 정보를 구할 수 있고, 분극 저항 측정값의 신뢰성을 향상할 수 있다. AC 임피던스측정법의 측정기

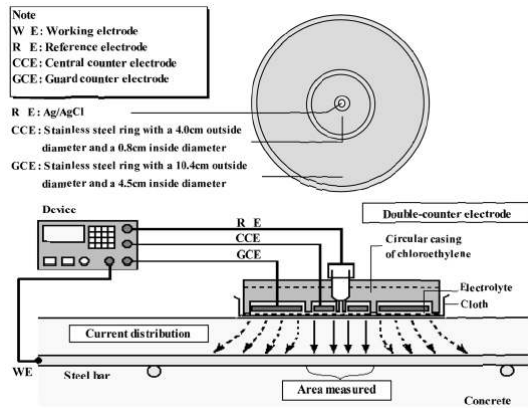


Fig. 1 Measurement using CM-II

Table 4 corrosiveness assessment by resistivity

resistivity (kΩcm)	corrosiveness
< 5,000	very large
5,000~10,000	large
10,000~20,000	small
>20,000	not

계로서 CM-II 기 측정기가 많이 사용되고 있다. Fig. 1 은 CM-II 를 이용한 측정방법에 관한 개략적인 그림이다. 철근 부식의 연구 테크닉으로서 혹은 모니터링 기술로서 AC 임피던스는 원리적으로 우수하다. 그러나 경우에 따라서 0.1~10mHz 혹은 이 이하의 저주파수까지 측정이 필요하며, 측정할 때 시간이 걸리는 점이 실용상 문제이다. 또한 AC 임피던스 측정법의 경우에는 측정시간이 비교적 길고, 주파수 응답 해석 장치 또는 전달 함수 분석기가 부가적으로 필요하며, 시험 결과 해석에 전문적 지식이 필요하여 실용성이 낮다. 분극저항을 구하는 방법은 전극의 형태 및 위치에 따른 최적 시험 조건의 변화에 대한 연구가 미흡하여, 소정의 전위를 인가하여 구하는 정전위 분극 방법은 시간에 따른 전류 변화폭 및 재현성이 작아 실무에 적용하기가 곤란하다(John P, 2002).

2.4 콘크리트 비저항

콘크리트 속에 철근이 부식할 때 애노드 영역과 캐소드 영역의 거리가 떨어져 있는 경우에는 콘크리트의 저항이 부식속도에 대단히 중요한 지배 요인이 된다. 또한, 비저항이 작으면 부식이 심하게 되고, 크면 작아진다. Table 4는 비저항에 의한 부식평가 기준을 나타낸다.

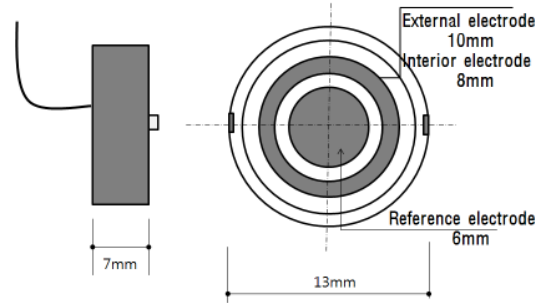


Fig. 2 Outline of mini-sensor

3. 실험개요 및 방법

3.1 철근부식진단의 매립형 미니센서 개요

기존 부식진단에 사용되고 있는 CM-II (corrosion meter) 기의 본체에 미니센서(이하 미니센서)를 연결하여 얻은 측정값과 CM-II (corrosion meter) 기의 원래 측정법(이하 CM-II 기)에 따라 모르타르 표면상에서 얻은 측정값을 비교분석하였다. 콘크리트 구조물의 철근 부근에 설치된 미니센서에 의해 전기화학적 특성치(자연전위, 분극저항, 비저항)를 측정하고 철근부식의 유무, 부식 속도 및 철근부근의 염화물과 수분의 유무를 평가하는 것이 가능하다. 또한 이 시스템에서는 자동적인 계측데이터를 원격 감지실에서 회선을 사용하여 자동 전송하는 것이 가능하기 때문에 철근의 부식을 스마트하게 모니터링을 할 수 있다. Fig. 2는 미니센서의 형태 및 크기를 보여준다. 계측 원리로는 콘크리트 내에 철근부식은 일반적으로 부식전위 작용에 의해 진행된다. 부식전위차 작용이라는 것은 철근에 생기는 부식부(아노드부)와 비부식부(캐소드) 사이에 전위구배가 발생하고 부식전류가 흐르는데 있다. 본 부식 모니터링법에 있어서의 자연전위는 그 전위구배(자연전위)를 철근주변에 매립한 미니센서에 의해 계측된다. 또 전류를 철근에 인가한 것에 의해 계측된 철근의 분극저항과 콘크리트의 비저항을 미니센서로 측정할 수 있다.

3.2 실험방법

미니센서를 매립하는 모르타르 제조는 시멘트와 모래의 비율이 1:2이고, W/C는 60%로 하였다. 공시체의 크기는 200×200×100mm 로 하였으며, 공시체 표면에서 20mm의 깊이에 철근을 설치하였다. 철근의 직경은



(a) Keep 5mm depth (b) Adhere to rebar

Fig. 3 Processing mini-sensor adhere to rebar

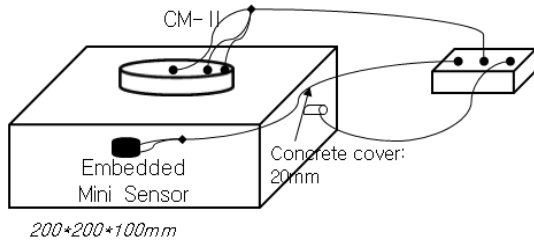


Fig. 4 Measurement method and figuration

Table 5 Concrete proportion

W/C (%)	Unit weight (kg/m ³)			
	Water	Cement	Sand	NaCl
60	180	300	600	18

13mm이고, 흑막을 제거한 원형 철근으로 길이는 240mm로 실험을 하였다. 원형 철근의 흑막을 제거하기 위해 구연산 암모늄 10%수용액에 60시간 침전시켜 놓았다. 부식측정에 이용되는 미니센서는 철근표면으로부터 5mm 떨어진 위치에 정착시켰으며, 이를 위해 센서주변을 미리 준비한 필름지로 감싸 형틀을 만들고 이 형틀 내부에 공시체와 동일한 조성의 모르타르를 채워 1일간 경화시킨 후 미니센서에 두께 5mm의 모르타르 피복층을 만들었다. 모르타르와 일체가 된 센서를 철근에 부착하기 위하여 케이블타이를 이용하여 철근에 정착시켰다. 미니센서 철근장착과정은 Fig. 3과 같다. Fig. 4는 측정방법 및 형상을 나타낸다. CM-II는 콘크리트 표면에서 측정하고, 미니센서는 공시체 속에 매립되어 측정한다.

배합사항은 다음 Table 5와 같다. 철근과 미니센서의 간격을 5mm한 이유로는 잔골재 최대치수인 5mm보다 작은 간격이 측정의 오차 저감에 적절하다고 판단하였다. 부식을 촉진시키기 위하여 염화나트륨을 모르타르중량의 6%의 비율로 염화나트륨(NaCl)을 계량하여 첨가하였다.

미니센서는 CM-II기 측정에 방해를 막기 위해 철근의 측면에 장착하였고, 공시체의 정중앙에 장착하였다. 타설 후 28일의 수중 양생을 한 후, 항온항습기를 이용하

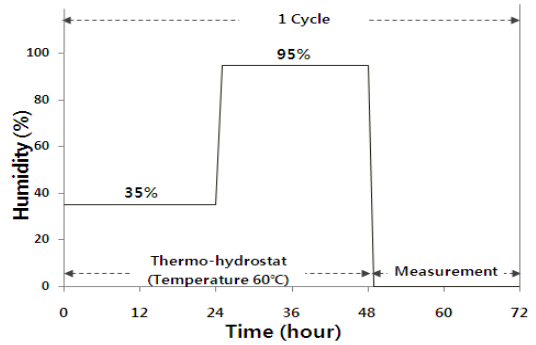


Fig. 5 Condition of accelerated corrosion cycle



(a) Placing

(b) Thermo-hygrostat



(c) Measurement of CM-II

(d) measurement of mini-sensor

Fig. 6 Experimental procedure

여 부식촉진 과정을 거쳤다.

항온항습기의 온도는 일정하게 유지시키고 상대습도에 변화를 주었다. RH35%-60°C로 24시간, RH95%-60°C로 24시간을 가동한 후에 측정하는 것을 1cycle로 잡았다. 부식촉진 cycle은 Fig. 5와 같다. 적당한 수분이 있어야 측정이 가능한 CM-II 측정기의 특성에 따라 RH35%-60°C 24시간 가동한 후에 RH95%-60°C 24시간 가동 후 공시체가 습윤상태로 되었을때 CM-II로 측정하였다. 신뢰성을 확보하기 위해 1 cycle에 각각 3회 측정 후 평균값을 사용하였다. 1 cycle의 실험이 종료된 후 CM-II와 미니센서로 측정하였다.

3.3 측정항목

부식촉진을 시킨 후 CM-II (corrosion meter) 측정기



Fig. 7 The status of rebar and mini-sensor after end of experiment

가 AC 임피던스법에 의해 자연전위, 분극저항, 콘크리트 비저항을 측정하였고, 미니센서도 동일하게 측정하였다. Fig. 6은 실험 과정을 사진으로 나타낸 것이다.

4. 실험 결과

미니센서를 모르타르에 매립하여 부식축진을 시킨 후 각 cycle마다 측정을 시작하였다. Fig. 7은 실험종료 후 철근의 부식상태를 나타낸 것이다. 철근의 부식은 개시되었지만 미니센서의 전극의 부식은 일어나지 않았다. 이를 통해 미니센서가 모르타르에서 부식을 측정할 때 전극재료의 부식에 의해 발생하는 문제가 없음을 알 수 있었다.

4.1 자연전위 측정

Table 6은 CM-II 기와 미니센서로 측정한 자연전위 값을 나타내고 있다. 동일한 조건의 2개의 공시체의 자연

전위를 측정하여 평균값을 구하였다. CM-II의 자연 전위값에 대한 기준은 여러 문헌에 나와 있다. 본 연구에서는 ASTM C 876의 기준에 따라 자연전위를 평가하였다. 하지만 미니센서의 자연 전위 값에 대한 기준은 아직 확정되지 않았다. 그런데 데이터를 살펴보면 미니센서의 자연전위의 값과 CM-II의 자연전위의 값이 부식을 촉진시킬수록 감소하는 경향을 보이며 그 형태 또한 유사한 거동을 보이고 있다. 따라서 두 개의 데이터의 상관관계를 살펴보면, 미니센서의 자연전위의 값에 α (상수 값)을 곱하면 CM-II의 자연 전위 값이 된다는 것을 알 수 있다. 식(1)

$$P_c = \alpha \times P_m \quad (1)$$

여기서, P_c 는 CM-II의 자연전위 값(mV), P_m 은 미니센서의 자연전위 값(mV), α 는 상수값 1.62이다.

α (상수 값)은 $\frac{CM-II}{미니센서}$ 으로 구하였다. 상수 값은 약간의 오차가 있으나 이는 측정상의 오차로 판단된다. α (상수 값)는 평균 1.62값을 갖는다. 따라서 미니센서의 자연전위를 측정하여 $\alpha=1.62$ 의 상수 값을 곱하여 CM-II의 자연전위를 구하여 부식 확률을 정성적으로 평가할 수 있다고 판단된다. 또한 ASTM C 876의 기준에서 $-350mV$ 이상의 값이 부식 확률이 높음을 알 수 있다. 미니센서에 이 기준을 적용하여 보면 미니센서의 자연전위는 $-216mV$ 이상 일 때 부식 확률이 높음을 알 수 있다. 따라서 ASTM C 876의 자연전위 규정 값에 α (상수 값)

Table 6 The average value of measurement data

	Potential				CM-II/ Mini sensor	Polarization resistance				CM-II/ Mini sensor	Concrete resistivity			
	CM-II (mV)		Minisensor (mV)			CM-II (k Ω cm)		Minisensor (k Ω cm)			CM-II (k Ω cm)		Minisensor (k Ω cm)	
	Type1	Type2	Type1	Type2		Type1	Type2	Type1	Type2		Type1	Type2	Type1	Type2
1 cycle	-58.25		-35.7		1.631	94.3		73.6		1.28	35.7		25.7	
	-79.5	-37	-46.8	-24.6		97.4	91.2	75.6	71.6		36.8	34.6	26.6	24.8
2 cycle	-140.05		-85.4		1.639	78.5		66.9		1.17	25.5		20.2	
	-164.5	-115.6	-94.9	-75.9		81.2	75.8	67.4	66.4		26.6	24.4	21.2	19.2
3 cycle	-213.55		-133.15		1.603	65.9		48.7		1.29	19.9		17.5	
	-198.8	-228.3	-118.9	-147.4		69.8	62	53.4	48		20.7	19.1	18.2	16.8
4 cycle	-269.95		-165.5		1.631	41.35		29.9		1.25	14.4		11.8	
	-278.3	-261.6	-129.4	-201.6		43.9	38.8	35.4	30.4		15.6	13.2	12.2	11.4
5 cycle	-355.3		-219.08		1.620	19.5		18.5		1.18	7.6		4.8	
	-351.9	-358.7	-186.6	-251.5		22.8	21.2	19.4	17.6		8.2	7	5	4.6
6 cycle	-397.6		-245.95		1.616	12.1		11		1.28	4.3		3.7	
	-394.3	-400.9	-237.7	-254.2		14.6	13.6	11.2	10.8		4.8	3.8	3.9	3.5

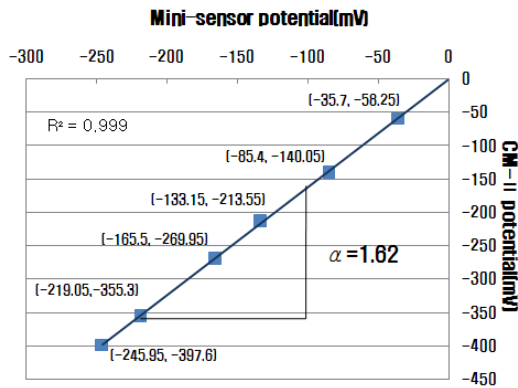


Fig. 8 Potential of Correlation CM-II and mini-sensor

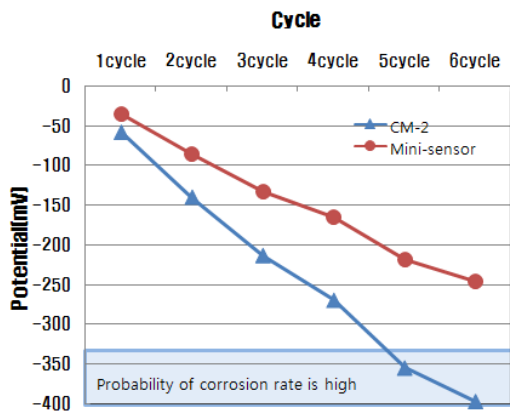


Fig. 9 Comparison of potential CM-II and the mini-sensor

를 사용하여 미니센서의 부식확률 값을 구할 수 있다. Fig. 8은 CM-II와 미니센서의 자연전위 값의 상관관계를 나타낸다. 상관계수 R^2 은 0.999이었다. 또한, 미니센서와 CM-II로 측정된 자연전위의 환산계수는 본 연구 범위에서 1.62로 나타났다.

부식을 촉진시키는 cycle이 증가할수록 자연전위의 값은 감소하는 경향을 볼 수 있다. 그리고 CM-II기와 미니센서의 자연전위는 유사한 경향을 보이고 있다. 자연전위 값이 -350mV 의 값 이하는 철근의 부식 확률이 높다는 것을 알 수 있다. (ASTM C 876) 5cycle에서 CM-II기의 자연전위의 값이 -350mV 이상의 값을 보이고 있으므로 철근부식이 발생한 것으로 정성적으로 판단할 수 있다. CM-II기와 미니센서의 자연전위 값을 비교해보면 CM-II기의 자연전위의 값이 미니센서의 자연전위 값보다 높은 것을 알 수 있다. 이는 CM-II기의 경우 전극재료차이에 의해 자연전위의 값이 미니센서보다 크게 측정되고 있다는 것을 알 수 있다. 따라서 미니센서에 α (상수값)를 곱하여 전극재료의 차이를 보정을 하게 되면 미니

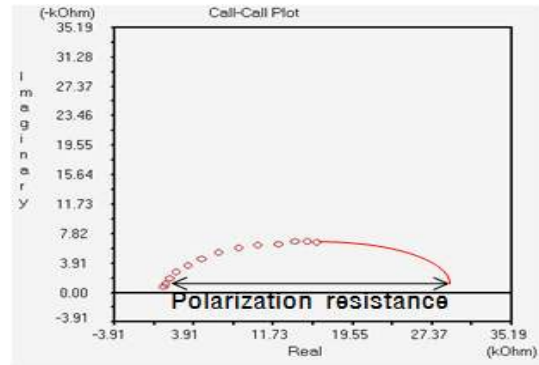


Fig. 10 Actual measurement of polarization resistance

센서의 자연전위 값을 CM-II의 측정기준에 적용을 할 수 있으므로 타당성을 가질 수 있다. 따라서 두 데이터의 상관관계에 의해서 미니센서로 자연전위를 측정하는 것에 대한 타당성을 검증 하였다.

4.2 분극저항 측정

Fig. 10은 CM-II에 의해 실측데이터 값이다. CM-II 본체에서 나온 실측데이터로 주파수 범위는 10Hz와 0.03162 Hz로 두고, 가로축 실수부(real)와 세로축 허수부(imaginary)로 하여 데이터가 나타났다. 각 데이터마다 동일한 주파수로 분극저항의 데이터를 산출하였고, 실측값에서 점이 찍힌 부분이 각 주파수의 데이터이고, 반원의 직경(Nyquist Plot)을 형상화하여 반원의 지름을 분극저항 R_p 로 하여 분극저항값을 계산하였다.

Table 6은 CM-II기와 미니센서로 측정된 분극저항 값을 나타내고 있다. 동일한 조건의 2개의 공시체의 분극저항을 측정하여 평균값을 구하였다. 부식을 촉진시킬수록 분극저항 값이 작아지는 것은 부식속도가 증가하고 있다는 것을 의미한다. 두 가지의 측정에서 부식진행에 따라 경향은 유사하게 나타났다. 두 측정치 모두 Nyquist Plot의 반원이 작아졌으며 이에 따른 산출된 분극저항 값도 감소하였다. 또한 CM-II와 미니센서와의 분극저항 값의 상관관계를 살펴보면 일정한 비율에 의해서 두 측정 값이 차이를 보였다. 식(2)

$$R_c = K \times R_m \quad (2)$$

여기서, R_c 는 CM-II의 분극저항 값($\text{k}\Omega \text{cm}^2$), R_m 은 미니센서의 분극저항 값($\text{k}\Omega \text{cm}^2$), K는 상수값 1.24이다.

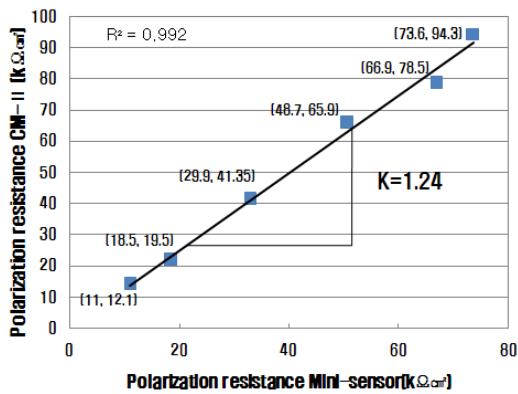


Fig. 11 Polarization of Correlation CM-II and mini-sensor

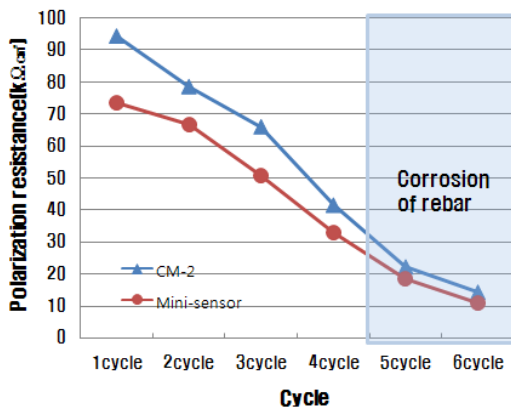


Fig. 12 Comparison of Polarization CM-II and the mini-sensor

K(상수 값)은 $\frac{CM-II}{\text{미니센서}}$ 으로 구하였다. 상수 값은 약간의 측정오차가 있으나 평균 1.24값을 갖는다. 따라서 미니센서의 분극저항을 측정하여 K=1.24의 상수 값을 곱하여 CM-II의 분극저항을 구하여 부식 상태를 정량적으로 평가할 수 있다고 판단된다. Fig. 11은 CM-II와 미니센서의 분극저항 상관관계를 나타낸다. 상관계수 R2은 0.992이었다. 또한, 미니센서와 CM-II로 측정된 분극저항의 환산계수는 본 연구범위에서 1.24로 나타났다. 따라서 미니센서의 분극저항 값을 측정하면 CM-II의 분극저항 값을 알아낼 수 있고 CM-II의 분극저항 기준에 적용할 수 있다고 판단된다.

Fig. 12는 CM-II와 미니센서의 분극저항 값을 비교한 그래프이다. cycle의 횟수가 증가 할수록 분극저항의 값은 작아지고 있다. 따라서 부식속도가 증가한다는 것을 알 수 있다. 미니센서에 의한 분극저항 값과 CM-II기의 분극저항 값들을 비교해보면 미니센서의 분극저항 값이 CM-II기보다 대체적으로 낮은 경향을 볼 수 있다. 이는 미니센서의 경우 측정단면이 작을 뿐만 아니라 철근에 근접한 거

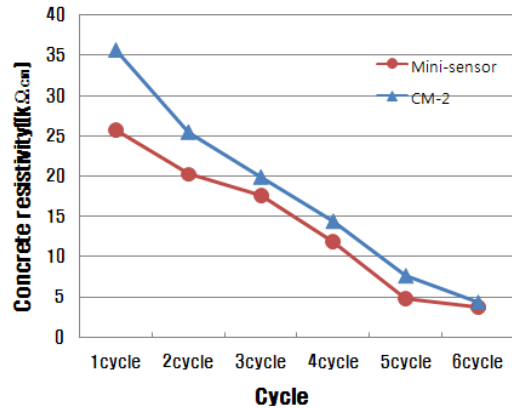


Fig. 13 Comparison of Concrete resistance CM-II and the mini-sensor

리에서 측정을 하게 되므로 CM-II기 보다 그 측정영역이 좁고 또한 측정에 포함되는 전기이중층의 영향이 적기 때문에 나타나는 현상으로 판단된다. 하지만 산출된 분극저항은 두 경우, 유사한 값을 나타내고 있다. 분극저항 값이 $25k\Omega\text{cm}^2$ 이하가 되면 부식율이 상당히 높다는 것을 기존 문헌 고찰에서 살펴보았다. 따라서 4cycle이 진행된 후 (5cycle)에서 철근부식이 진행된 것을 알 수 있다. 미니센서 분극저항의 초기값은 $73.6k\Omega\text{cm}^2$ 의 측정값을 나타내고 있으며 6cycle에는 약 $11k\Omega\text{cm}^2$ 의 측정값을 나타낸다. CM-II기 분극저항 초기 값은 $94.3k\Omega\text{cm}^2$ 의 측정값을 나타내고 있으며 6cycle에는 약 $12.1k\Omega\text{cm}^2$ 의 측정값을 나타내고 있다. Cycle이 진행할수록 CM-II기와 미니센서의 분극저항 차이가 작아지고 있다는 것을 데이터를 통해 관찰 할 수 있다. 따라서 CM-II기뿐만 아니라 미니센서의 분극저항으로 부식의 여부를 판단할 수 있다.

4.3 콘크리트 비저항 측정

콘크리트 비저항은 AC임피던스법을 이용하여 측정하였다. CM-II기의 특성상 분극저항과 비저항을 함께 측정 할 수 있다. 미니센서와 철근 사이의 비저항과 철근과 CM-II, 즉 콘크리트표면과의 비저항을 측정값을 비교해 보았다. Fig. 13은 CM-II와 미니센서의 비저항을 비교한 값을 나타낸다. 미니센서의 비저항은 Cycle이 증가할수록 점점 작아지고 있는 경향을 보였다. CM-II 비저항 또한 점점 작아지는 경향을 볼 수 있다. 이러한 경향은 철근의 부식환경을 나타내는 콘크리트 공극내 수용액의 조건이 철근부식을 더욱 활성화시킬 수 있는 환경으로 변해가고 있음을 의미하며 결과적으로 분극저항의 감소에 영

향을 미쳐 철근의 부식속도를 증가시키고 있음을 보여준다. 콘크리트 표면의 저항이 작아진다는 것은 부식이 진행되고 있다는 것을 알 수 있고 부식에 의해 콘크리트에 균열과 같은 열화가 발생했다고 판단된다.

5. 결론

본 연구는 개발된 미니센서를 이용한 비파괴 철근 부식 측정의 타당성을 검증하기 위하여 철근 부식 촉진 실험을 실시하여 CM-II와 미니센서로 자연전위, 분극저항, 비저항 값을 비교 분석 하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 개발된 미니센서로 자연전위를 측정할 수 있었으며, 자연전위 측정결과 미니센서와 CM-II의 값이 부식이 진행 될수록 감소하는 경향을 보였고, 본 연구범위에서 환산계수는 1.62로 나타났다.
- (2) 개발된 미니센서로 분극저항을 측정할 수 있었으며, 분극저항 측정결과 미니센서와 CM-II의 값이 부식이 진행 될수록 감소하는 경향을 보이고 부식이 진행 될수록 두 값의 차이는 줄어들었고, 본 연구범위에서 환산계수는 1.24로 나타났다.
- (3) 개발된 미니센서로 비저항을 측정할 수 있었으며, 비저항 측정결과 미니센서와 CM-II의 비저항값이 부식이 진행 될수록 감소하는 경향을 보인다. 이는 철근의 부식환경을 나타내는 콘크리트 공극 내 수용액의 조건이 철근부식을 더욱 활성화시킬 수 있는 환경으로 변해가고 있음을 의미한다.

금후 개발 된 미니센서의 신뢰성 평가와 실구조물(현장) 적용에 관한 연구를 진행 할 예정이다.

감사의 글

이 연구는 과학기술부 우수연구센터 육성사업인 한양대학교 친환경건축 연구센터의 지원(R11-2005-056-04003)과 건설교통부 건설 핵심 기술연구개발사업인 콘크리트코리아 연구단의 지원으로 수행되었음.(05-CCT-D11)

참고문헌

1. 소형석 등, "분극저항법을 이용한 철근콘크리트내 보강철근의 부식률 평가와 환경적 영향", 대한건축학회 논문집, 22권 제2호(통권208호), 2006. 2, pp.107-109.
2. 소형석 등, "철근콘크리트구조물에서 철근의 부식률 측정을 위한 직류 전기저항법의 이용에 관한 실험적 연구", 대한건축학회 논문집, 24권 제6호(통권236호), 2008. 6, pp.93-100.
3. 소형석 등, "철근콘크리트구조물에서 콘크리트의 전기저항 측정에 미치는 내부철근 및 환경변수의 영향", 대한건축학회 논문집, 25권 제6호(통권248호), 2009. 6, pp.91-94.
4. 송하원 등, "분극저항 측정기법을 이용한 혼합 시멘트 모르타르의 임계 염화물 농도에 대한 연구", Journal of the Korea Concrete Institute, Vol.21, No 3, pp.245-253, June, 2009.
5. 윤재환 등, "콘크리트중의 철근부식에 대한 비파괴진단방법에 관한 연구", 콘크리트학회 논문집, 4권 제 2호, 1992. 6, pp. 75-78.
6. 이종권 등, "전기화학적인 콘크리트 부식의 예측", 산학기술성 공학회논문지 Vol.3, NO. 2, pp.80-83, 2002.
7. 이종득, "철근 부식진단", 일광출판사, 2007, pp.41~49, pp.80~108.
8. 이문환 등, "재령 7년의 콘크리트 내부 철근 부식도와 비파괴 시험법의 개선방안 연구", 대한건축학회 논문집, 제23권 제12호(통권230호) 2007년12월, pp.69.
9. 정영수 등, "균열진행과 철근 부식정도에 관한 연구1", 한국건설기술연구원 1999.12, pp.207-210.
10. 정영수 등, "콘크리트 구조물의 내구성 향상을 위한 철근 방식 방안 연구", 한국건설기술연구원, 1996.12, pp.148-157.
11. American Society for Testing and Materials, Standard Test Method for Corrosion Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete, C876-91, 1991.
12. Building Research Establishment, Corrosion of Steel in Concrete; Investigation and Assessment, BRE, 2001.
13. Kyung, Je-Woon, "IBEM Analyses on Half-cell Potential Measurement for NDE of Rebar Corrosion", Computer and Concrete, 2007, vol. 4, No. 4, pp.285-298.
14. Broomfield, John P., "The Use of Permanent Corrosion Monitoring in new and Existing Reinforced Concrete Structures", Cement&Concrete Composites, 2002, pp. 27-34.
15. Mecater, W. John, "Review; Sensor System for Use in Reinforced Concrete Structure", Construction and Building Materials, 2004, pp.351-358.

(접수일자 : 2010년 6월 16일)

(수정일자 : 2010년 8월 10일)

(심사완료일자 : 2010년 8월 25일)

요 지

콘크리트 내부에 매설된 철근의 부식은 철근콘크리트구조물의 조기 성능저하와 붕괴의 주요원인이 되고 있다. 철근콘크리트 구조물에 발생하는 열화현상 중에서 철근부식에 의해 발생하는 염해는 그 피해가 다른 열화 현상보다 심하고 구조물의 보수 및 시공 측면에서도 막대한 경비가 요구되고 보수시기 또한 정하기 힘들다. 따라서 철근의 부식상태에 대한 조기발견은 관리자의 효율적인 보수 및 보강계획 수립을 위해 매우 중요하다. 한편 철근 부식을 평가하는 방법 중 비파괴측정이 많이 사용되고 있다. 특히 CM-II(corrosion meter) 측정기는 자연전위와 분극저항 및 콘크리트 비저항을 측정할 수 있어서 많이 사용되지만 몇 가지 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 극복하기 위해 매립형 미니센서가 개발되어져 왔다. 이 미니센서를 이용하여 철근 부식을 측정후 CM-II(corrosion meter)의 측정결과와 비교분석하여 개발된 미니센서의 타당성을 검증하였다.

핵심 용어 : 철근부식, 비파괴, 미니센서, 자연전위, 분극저항
