

콘크리트 내부 철근 부식의 비파괴 측정방법에 관한 연구

- 자연전위 및 비저항법을 중심으로 -

A Study on Nondestructive Method to Measure the Corrosion Level of Reinforcing Bar - Focused on the Electro-potential and Resistivity -

조 승 호* 한 남 희* 정 란**
Cho, Seung-ho Han, Nam-hee Chung, Lan

Abstract

Concrete normally provides reinforcing steel with excellent corrosion protection. The high alkaline environment in concrete results in the formation of tight adhering film which passivates the steel and protects it from corrosion. Corrosion of steel however, can occur if the water, oxygen and salt ions such as chloride ion penetrate to the surface of steel through the cracks in concrete. And also corrosion can proceed in the case of carbonation of concrete. Those corrosions severely affect durability and serviceability. Therefore, the corrosion of steel in concrete has received increasing attention in recent years because of its wide occurrence in concrete structure and high cost of repair.

In this study, the use of accelerated potentiometric corrosion method induced corrosion of steel embedded in concrete. Nondestructive techniques such as the electro-potential method and resistivity method were used. Their results were compared with the results of other tests.

Primary results of this study are as follows ;

1. While potential and resistivity values of non-corroded specimen were widely distributed, those values of corroded specimen were similar to each other. These are due to the varying potential and resistivity value which were influenced by the environmental conditions.
2. Concrete cover affects to the electro-potential method and resistivity method.
3. Corrosion weight decreasing rate equation between weight loss rate(y) and electro-potential(x) is suggested as follows.

$$: y=0.0037e^{-0.0166x}, \text{ standard deviation}=4.31$$

키워드 : 부식, 부식도 측정, 비파괴 방법

Keywords : Corrosion, Corrosion measurement, Nondestructive method

1. 서론

1.1 연구의 목적

건설공사의 급속한 수요증가는 건설자재의 부족을 초래했으며, 특히 양질의 하천골재가 부족하게 되어 콘크리트용 골재로 상당량의 해사를 사용하게 되었다. 그러나 염분을 충분히 제거하지 않은 해사를 그대로 사용함으로써 철근의 부식으로 인한 철근콘크리트 구조물의 내구성 저하의 문제가 대두되었다.

일반적으로 콘크리트는 pH≒12.5인 강알칼리 재료이며 이러한 환경 하에 놓인 철근 표면은 부동태 피막($v\text{-Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)이 형성되기 때문에 균열이 없는 양질의 콘크리트에서의 철근은 부식으로부터 보호된다. 그러나 균열이 존재하여 물과 산소의 침투 확산이 용이해 지거나,

외부로부터의 염소이온과 같은 염화물이 침투 확산되어 콘크리트 중의 철근까지 도달할 경우 또는 피복두께의 부적절한 설계로 콘크리트의 중성화가 철근 위치까지 진행될 경우 철근의 부동태 피막은 파괴되어 부식이 급진전되고 콘크리트의 박리 및 탈락 현상으로 구조물의 내구성이 크게 저하된다.

철근 부식에 관련된 국내^{1)~5)}·외^{6)~12)} 연구동향을 살펴보면 오창희, 윤재환, 임서형은 자연전위법, 분극저항법 및 콘크리트 저항법을 이용한 기초적인 연구를 수행하였고¹⁾, 특히 윤재환은 자연전위법 측정을 이용하여 철근부식과 자연전위와의 관계와 부식 시험체의 휨강도, 콘크리트의 중성화 및 압축강도시험, 콘크리트내의 염분함유량 분석 등 전위법의 좀 더 깊은 해석과 포괄적인 실험을 행하였다²⁾. 또한 김영수는 다전극 전기저항 배열을 사용

* 정회원, 단국대 대학원 박사수료

** 정회원, 단국대 건축공학과 교수, 공학박사

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(98- 0602-02-01-4)지원으로 수행되었음.

하여 철근의 위치와 부식상태를 측정하기 위해 콘크리트 구조물의 표면을 따라 겔보거저항을 측정하는 비파괴 측정방법을 제시하게 되었다³⁾. 최근에는 윤경석, 강태혁, 남상철 등에 의하여 전기화학적으로 더욱 접근된 분극저항법과 교류임피던스법에 관한 실험이 수행되었다^{4), 5)}. 또한 분극저항법과 AC 임피던스법은 철근콘크리트 구조물에 적용하기 위해서 해결해야 할 몇 가지 문제가 있어 현재 일본에서도 이 분야의 연구가 진행 중에 있다.¹⁰⁾

현재 사용되어지고 있는 철근콘크리트 구조물내의 철근의 부식상태를 비파괴로 진단하는 방법에는 여러 가지가 있다. 콘크리트 속의 철근부식은 전기 화학적 반응에 의거하여 진행되므로 철근 부식 진단에 전기 화학적 방법을 적용할 수 있다^{9)~12)}. 이 때문에 근래에 금속 부식학 분야에서 개발된 여러 가지 전기 화학적 부식 계측법을 철근 부식 진단에 이용하기 위한 연구와 기술 개발이 행해지고 있으며, 초기의 전위 측정에 따른 철근의 부식 진단 기술이 1950년대에 Straful에 의해 콘크리트고 상판의 부식 조사에 이용되었고, 1977년에 들어 미국에서 측정방법이 ASTM 규격으로서 표준화되었다¹⁴⁾. 특히 부식율을 직접적으로 결정하기 위한 방법이 지속적으로 발전되어 분극저항법이 영국을 제외한 유럽과 미국에서 연구되어왔고 직류펄스응답법은 유럽의 교량들에 적용되었지만 나머지 방법들은 최근에 영국 현장에서의 시도가 조금씩 되고있는 실정이다. 이러한 국내·외 연구들은 주로 정성적인 방법으로, 부식 가능성을 확률적으로 제시하는 방향으로 주로 연구가 이루어져 정량적인 방법에 대한 연구는 아직까지 매우 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 철근이 부식된 콘크리트 내부 철근의 부식도를 정량적으로 판단할 수 있는 방법을 연구하여 철근 부식도에 따른 구조물의 거동을 예측할 수 있는 기초적 자료를 제공하는데 연구의 목적을 두고 있다.

1.2 연구내용 및 방법

철근콘크리트 내부에 배근된 철근이 부식되면 철근 직경의 감소로 역학적 성능의 약화, 철근 부식 생성물의 부피팽창으로 콘크리트 피복의 균열 및 탈락, 철근과 콘크리트 사이의 부착력 감소 등으로 구조물의 내구성을 약화시키고 있다. 따라서 본 연구에서는 철근콘크리트에 있어서 철근 부식에 미치는 염화물 인자를 검토하여 철근 부식의 위치, 부식거동, 부식속도 및 부식도를 정량적으로 또한 비파괴적인 방법으로 측정하여 철근콘크리트의 구조물의 유지관리, 내구성 진단 및 평가에 사용할 수 있는 기본 자료를 제공하고자 한다.

본 연구의 범위는 콘크리트 내부 철근의 부식환경과 그에 따른 거동, 그리고 전기화학적 비파괴 측정기법에 의한 부식정도의 예측이며, 상기 목적을 위하여 전위차 부식 촉진법을 적용하여 콘크리트에 매입된 철근의 부식을 단기간에 유도하고, 전기화학적 기법에 의한 부식 측정법을 적용하여 시험체의 변수와의 상관관계를 평가하였다. 전위차 부식촉진법의 신뢰성 검토를 위하여 예비

실험으로서 노출된 철근을 전위차 부식 촉진법에 의해 부식시킨 후 중량감소율과 부식도를 비교하였으며, 예비 실험을 통하여 전위차 부식 촉진법에 대한 신뢰성을 확보하였으며, 본 실험에서는 철근의 부식도 측정을 위한 자연전위 및 비저항법을 비교·분석하기 위하여 변수로는 부식의 정도, 철근 직경, 피복두께 등을 선정하였다.

2. 실험계획 및 방법

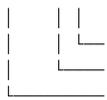
2.1 실험계획

시험체의 크기와 배근 위치는 그림1에서 보는 바와 같고 철근의 부식발생에 관한 반응경로와 부식도 측정을 위한 기존 측정법을 비교·분석하기 위하여 다음 표1과 같이 계획하였다.

표1. 실험변수

예상부식도(%)	철근종류	피복두께(cm)
0, 5, 10, 15, 20, 25	D10, D13, D16, D19	1, 3, 5
총시험체수		48개

I - A1


 피복두께(1: 1cm, 3: 3cm, 5: 5cm)
 철근의 직경(A: D10, B: D13, C: D16, D: D19)
 철근의 부식단계(0: 부식시키지 않은 철근
 I: 질량 5% 감소 II: 질량 10% 감소
 III: 질량 15% 감소 IV: 질량 20% 감소
 V: 질량 25% 감소)

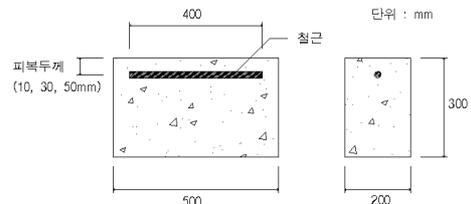


그림1. 시험체 상세

시험체 제작에 사용된 시멘트는 보통 포트랜드시멘트를 사용하였고, 콘크리트의 최대골재크기는 13mm로 깬자갈을 사용하였다. 콘크리트의 배합비와 시멘트, 골재, 철근의 물리적 특성 및 화학적 성분은 다음의 표2~5와 같다.

시험체에 타설된 콘크리트 압축강도 f_{ck} 는 183kgf/cm²이었으며, 철근의 항복강도 f_y 는 3,548kgf/cm²이었다.

표2. 콘크리트 배합비

배합강도(kgf/cm ²)	W/C (%)	S/a (%)	중량배합(kg/m ³)				공기량 (%)
			물	시멘트	잔골재	굵은골재	
180	63.8	46.2	180	282	828	1045	4.5

표3. 시멘트의 물리적 특성

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	강열감량	비중	비표면적 (cm ² /g)
20.3	6.2	3.2	62.4	3.0	2.0	1.9	3.18	3.265

표4. 골재의 물리적 특성

	G _{max}	비중	흡수율 (%)	유기불순물	단위중량 (kg/m ³)
잔골재	-	2.61	0.86	없음	1.605
굵은골재	13	2.83	0.5	-	1.949

표5. 철근의 화학적 성분(%)

Fe	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Sn
98.42	0.2	0.26	0.94	0.016	0.008	0.03	0.04	0.01	0.02	0.005

2.2 실험방법

철근의 부식을 촉진시키는 방법은 그림2와 같이 3% NaCl 용액에 철근을 매입한 시편을 침지하여 30V 직류 전원공급장치의 (+)극은 철근에, (-)극은 NaCl 용액내에 빠른 부식을 위해 설치한 동판을 연결하여 직류회로를 구성한다. 그림2는 철근 부식실험의 장치도를 보여주고 있다.

그림의 회로에서 양극과 음극의 전위차는 염소이온의 침투를 용이하게 하여 철근의 부식을 역시 촉진시키는 작용을 한다. 시편의 부식 측정 방법은 각 시편마다 10Ω의 저항을 연결하여 저항에 걸리는 전압강하를 측정하여 전류로 환산한다.

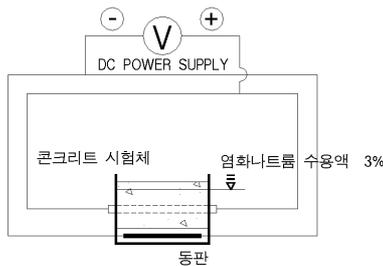


그림2. 시험체 부식 설치상황

오옴(ohm)의 법칙에 의해 저항 양단 간의 전압 강하는 다음의 식과 같이 전류와 저항의 곱으로 표현되므로 전압강하를 측정 후 알고 있는 저항값으로 나누어 주면 부식전류를 얻을 수 있다.

$$V_{measured} = i_{corrosion} \times R_{10\Omega}$$

이 이론은 철근의 부식이 전기화학적인 반응이므로 반응에 사용되는 총 전하량이 보존된다는 페러데이법칙에 근거한다. 즉 전기부식방법에 사용되는 총 전하량을 측정하면 총 부식도를 계산할 수 있다. 이 과정을 그림3과 같다.

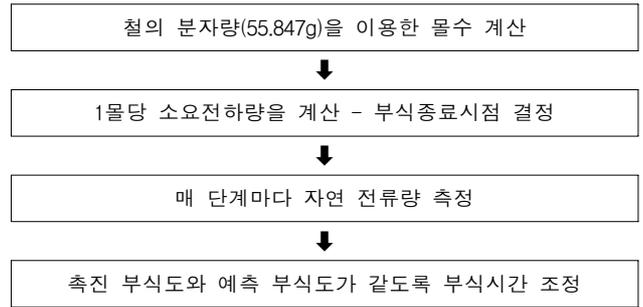


그림3. 자연부식시간 산정과정

즉, 부식도(몰) = $\frac{1}{2 \times 96500} \int q dt$ (시간에 대한 전류량의 적분값이 부식도를 표현)이다.

철분자의 분자량이 55.847g이고 2가 원소이므로 96500 × 2 = 193000(C)이 1몰의 철을 부식시키는데 필요한 소요 전하량이다. 따라서 I-A1 시험체의 경우 5%의 부식을 시키는 데 11.2g의 중량이 감소되어야 함으로 전위차 부식 촉진 실험에서 평균 1A의 전류가 흐른다면 위 식에 의해 3870.6초의 시간 동안 실험을 진행시켜야 한다.

측정은 자연전위와 비저항을 아래 그림4와 5에서 보는 바와 같은 측정위치에서 측정하였으며, 본 실험에서 사용한 부식측정장비는 Colebrand사의 자연전위 측정기와 비저항 측정기를 사용하였다.

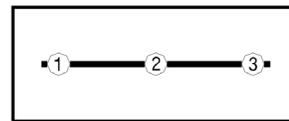


그림4. 자연전위 측정위치

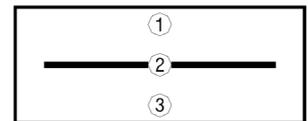


그림5. 비저항 측정위치

중량감소율은 철근의 중량을 미리 정확하게 측정하였을 경우 이용할 수 있으며, 부식이 상당히 진행된 철근에서 부식에 의해 손실된 양을 파악하기 위해 활용된다. 측정방법은 시험 후 전체 시험체를 모두 파쇄하여 부식된 철근을 노출시켜 철근에 남아있는 콘크리트 조각을 철술로 제거한 후 ASTM G1 규준에 의한 방법으로 부식 철근을 실온에서 표6에서 보는 바와 같은 클라크 용액 (Clark's solution)에 20분간 침수하여 부식생성물을 용해시켜 제거하였고, 증류수를 고속 분사하여 부식생성물 등을 제거한 후 건조기로 완전 건조시킨 다음 중량을 측정하였다.

표6. ASTM G1 클라크용액에 대한 규준¹⁶⁾

Hydrochloric (HCl)	1 liter
Antimony trioxide (Sb ₂ O ₃)	20 g
Stannous chloride (SnCl ₂)	50 g
온 도	실온
시 간	최대 25분

3. 실험결과 및 분석

총 48개의 시험체에 대한 실험결과는 표7에서 보는 바와 같다. 당초 예상한 철근의 부식도 0, 5, 10, 15, 20, 25%에 대하여 실제 부식도는 5% 시험체에서 다소 오차가 있으나 대체적으로 예상부식도에 근접한 것을 볼 수 있다. 또한 그림6과 7에서는 시험체 및 측정위치별로 전위와 비저항값을 보여주고 있다.

표7. 측정결과

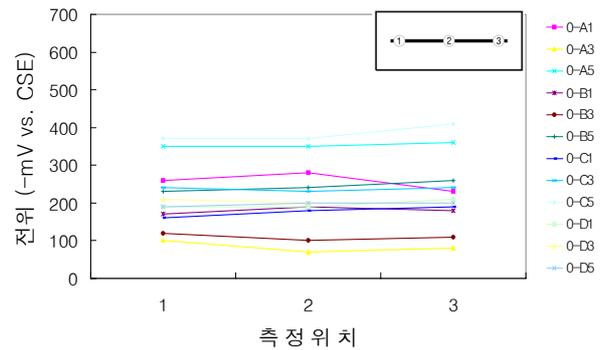
시험체명	예상 부식도 (%)	철근 직경	피복 두께 (cm)	평균 전위 (mV)	평균 비저항 (kΩ·cm)	중량 감소율 (%)	균열 폭 (mm)	
0-A1	0 (0%)	A(D10)	1	-260	14	0.09		
0-A3			3	-80	11	0.05		
0-A5			5	-350	9	0.09		
0-B1			B(D13)	1	-180	14	0.05	
0-B3				3	-110	14	0.03	
0-B5		5		-240	35	0.18		
0-C1		C(D16)	1	-180	12	0.26		
0-C3			3	-240	38	0.2		
0-C5			5	-380	8	0.08		
0-D1		D(D19)	1	-200	14	0.06		
0-D3			3	-200	29	0.06		
0-D5			5	-200	13	0.04		
I -A3			I (5%)	A(D10)	3	-590	11	3.84
I -A5		5			-460	6	3.61	0.1
I -B1		B(D13)			1	-450	13	5.84
I -B3	3			-500	10	5.56	1.0	
I -B5	5			-480	14	3.53	0.1	
I -C1	C(D16)	1		-390	12	7.53	0.2	
I -C3		3		-470	12	6.41	0.3	
I -C5		5		-370	13	4.16	0.2	
I -D1	D(D19)	1		-410	10	4.15	0.2	
I -D3		3		-530	9	3.67	0.1	
I -D5		5		-380	11	3.78	0.1	
I -D5		5		-490	15	3.56	0.1	
II -A1	II (10%)	A(D10)		1	-400	11	13.37	0.2
II -A1				1	-440	8.5	9.82	0.2
II -A3				3	-450	14	9.60	0.2
II -A5			5	-240	11	9.48	0.2	
II -A5			5	-480	13	12.17	0.4	
II -B1		B(D13)	1	-430	11	10.31	0.3	
II -B3			3	-450	12	11.32	0.3	
II -C1			C(D16)	1	-420	14	11.91	0.2
II -C3		3		-480	12	9.31	0.2	
II -C5		5		-450	13	9.21	0.4	
II -D1		D(D19)	1	-440	14	11.48	0.2	
II -D5			5	-510	15	12.84	0.5	
III -A3			III (15%)	A(D10)	3	-480	14	16.61
III -B5		B(D13)		5	-520	18	15.51	2.0
III -C5		C(D16)		5	-470	13	15.81	0.5
III -D3	D(D19)	3		-500	14	14.37	0.5	
III -D3		3		-480	16	16.82	1.0	
IV -A1	IV (20%)	A(D10)	1	-470	13	22.54	2.0	
IV -B3		B(D13)	3	.	18	19.56	1.5	
IV -C3		C(D16)	3	-500	19	18.46	0.8	
IV -D1		D(D19)	1	-340	15	19.02	1.5	
V -B1	V (25%)	B(D13)	1	-480	15	26.31	2.0	
V -C1		C(D16)	1	-450	8	24.95	2.0	

3.1 부식도에 따른 전위 측정

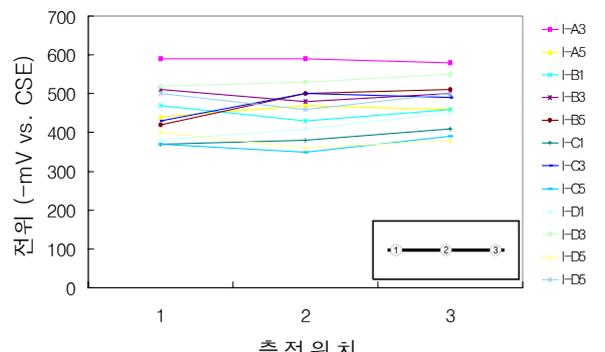
부식도에 따라 분류한 전위 분포는 그림6에서 보는 바와 같이 부식도 0, 5, 10, 15, 20, 25% 계열 시험체가 각각

-80mV > E > -380mV, -370mV > E > -580mV, -240mV > E > -510mV, -460mV > E > -520mV, -340mV > E > -500mV, -450mV > E > -470mV의 전위 분포를 나타내고 있다. 여기서 부식된 5, 10, 15, 20, 25% 계열 시험체는 E < -350mV에서 전위 분포를 나타내고 있어 ASTM 기준과 일치하고 있으나, 부식되지 않은 0% 계열 시험체는 ASTM 기준에서 90% 부식가능성이 없다고 규정하는 E > -200mV 범위에 50%만 분포하고 있다.

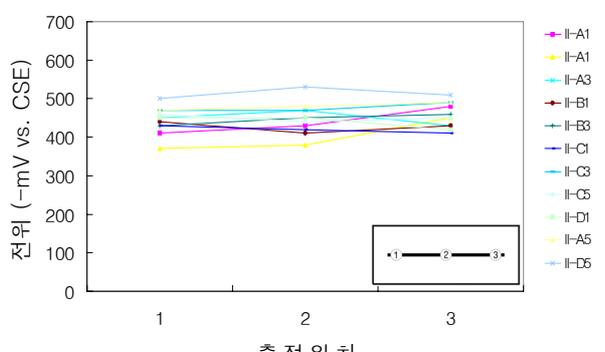
현재 ASTM C 876에 제시되어 있는 자연 전위에 대한 철근 부식의 판단 기준은 표8에서 보는 바와 같이 부식의 상태만을 파악하고 있다.



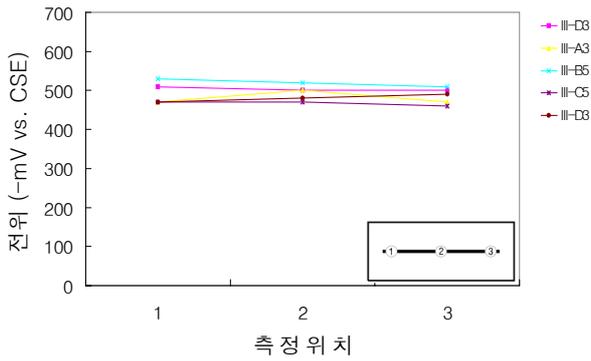
(a) 부식도 0% 시험체의 전위 분포



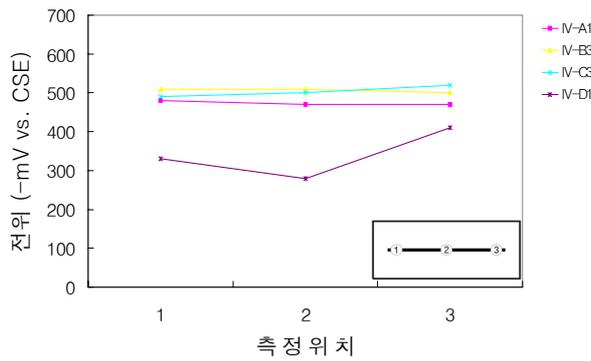
(b) 부식도 5% 시험체의 전위 분포



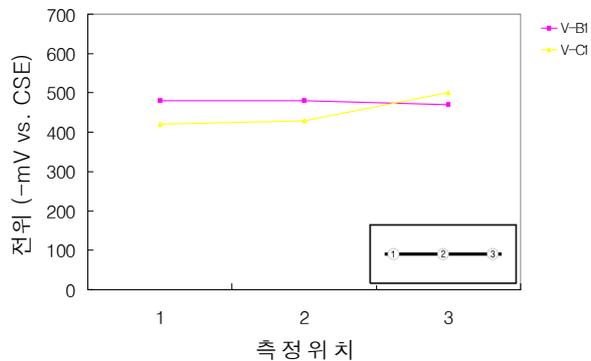
(c) 부식도 10% 시험체의 전위 분포



(d) 부식도 15% 시험체의 전위 분포



(e) 부식도 20% 시험체의 전위 분포



(f) 부식도 25% 시험체의 전위 분포

그림6. 부식도별 시험체의 전위 분포

표8. 자연전위에 의한 철근 부식의 판단 기준(ASTM C 876)¹⁴⁾

전위(mV vs. CSE)	부식의 확률
-200 이상	90% 이상 없음
-200 ~ -350	불확실
-350 이하	90% 이상 부식

3.2 부식도에 따른 비저항 측정

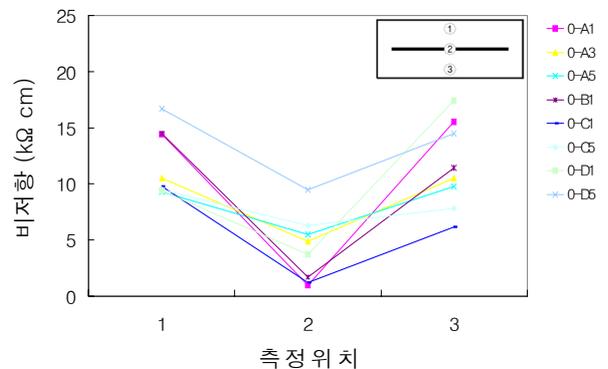
부식도에 따라 분류한 비저항 분포는 그림7에서 보는 바와 같이 부식도 0, 5, 10, 15, 20, 25% 계열 시험체가 각각 8~38 kΩ·cm, 6~15 kΩ·cm, 8~15 kΩ·cm, 13~

18 kΩ·cm, 13~19 kΩ·cm, 8~15 kΩ·cm로 측정되었다. 또한 철근이 매입된 부분인 측정위치 2에서의 비저항이 측정위치 1, 3에서의 비저항보다 감소하므로 비저항에 의한 철근 탐지가 가능함을 알 수 있다.

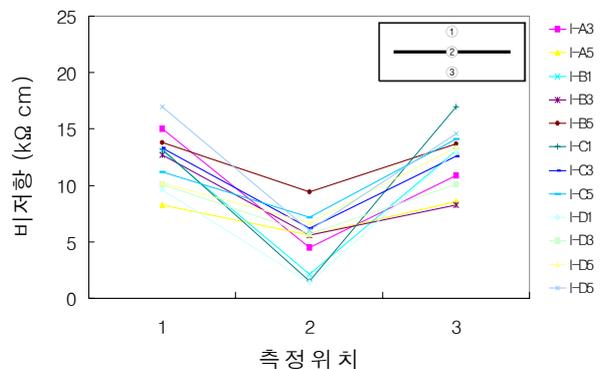
비저항에 대한 철근 부식의 판단 기준은 다음 표9와 같다.

표9. 비저항에 의한 철근 부식의 판단기준¹⁸⁾

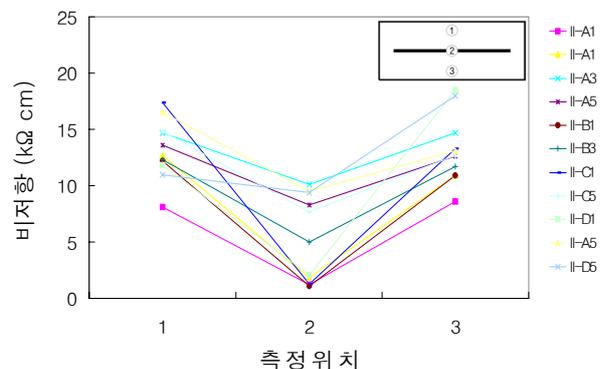
비저항(kΩ·cm)	부식성
< 5	매우 크다
5 ~ 10	크다
10 ~ 20	작다
20 <	없다



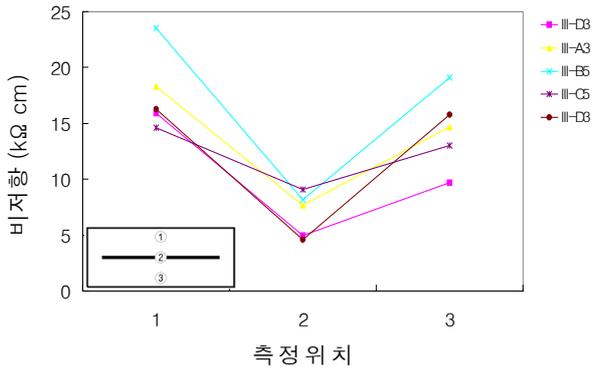
(a) 부식도 0% 시험체의 비저항 분포



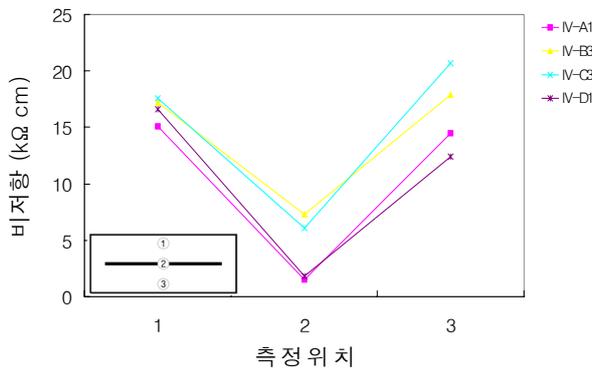
(b) 부식도 5% 시험체의 비저항 분포



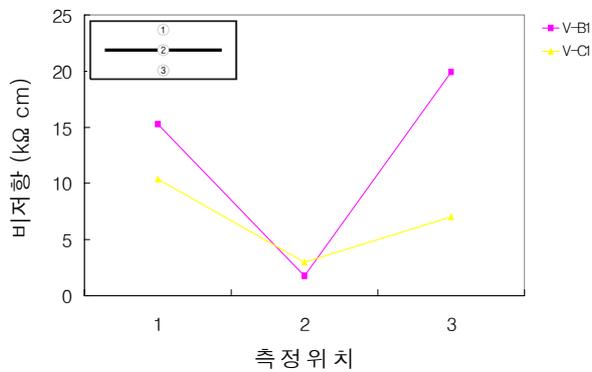
(c) 부식도 10% 시험체의 비저항 분포



(d) 부식도 15% 시험체의 비저항 분포



(e) 부식도 20% 시험체의 비저항 분포



(f) 부식도 25% 시험체의 비저항 분포

그림7. 부식도별 시험체의 비저항 분포

3.3 피복두께에 따른 측정결과 분석

그림8은 각 부식도에 따라 분류한 시험체들의 전위 평균값과 피복두께에 따른 경향을 나타내고 있다. 피복두께 1, 3, 5cm 시험체 모두 E > -250mV의 전위 범위에서는 부식도 0% 계열 시험체만 분포하고 있고, 부식된 시험체는 E < -350mV 범위의 전위 분포를 나타내고 있다. 또한 일단 부식된 5, 10, 15, 20, 25% 시험체는 피복두께 3cm에서는 부식도에 따라서 증가하는 경향을 보이고 있지만, 피복두께 1, 5cm에서는 근사한 값을 나타내고 있다.

일반적으로 피복이 크면 철근과의 저항이 커지므로 이

론적으로는 측정값이 작게될 것이나, 본 연구에서는 큰 변화가 없었다. 그러나 저항분포에서 대체로 피복두께가 적은 곳에서 큰 저항을 나타내고 있어 동일한 조건에서 피복두께의 차이는 저항에 영향을 준다는 것을 알 수 있다.

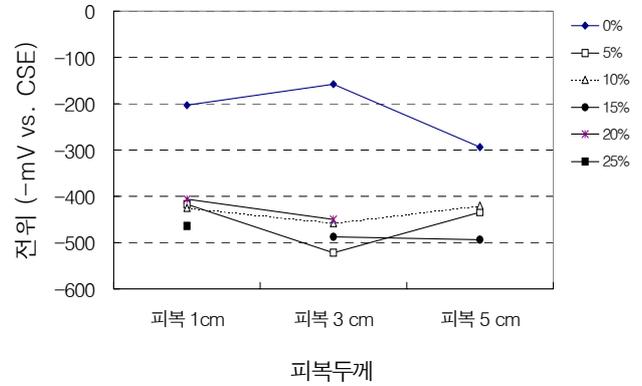
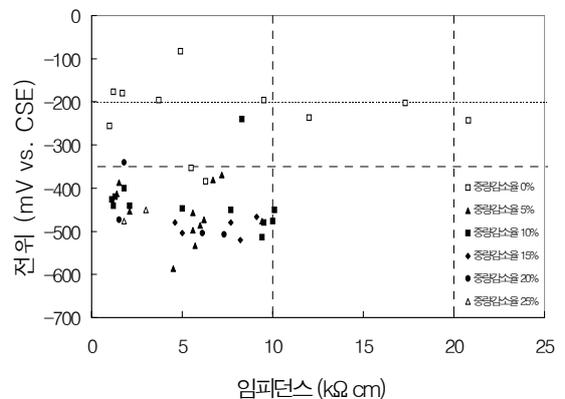


그림8. 피복두께에 따른 전위의 경향

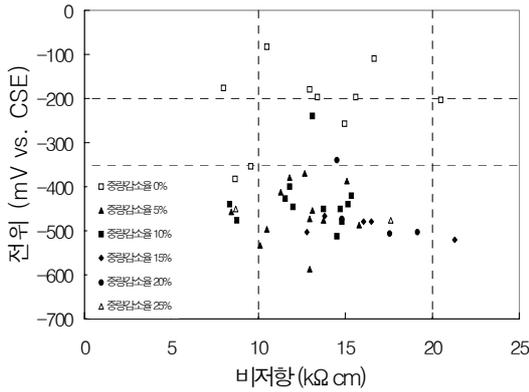
전반적으로 동일한 피복두께를 갖는 시험체에서 직경이 작은 D10 철근이 매입된 시험체에는 균열이 발생되지 않았으나, 직경이 보다 큰 D16, D19 철근이 매입된 시험체에서는 균열이 발생되었다. 이는 동일한 피복두께의 시험체에서 같은 부식도에 의해 발생한 팽창압은 철근직경이 클수록 상대적으로 크기 때문인 것으로 판단된다.

3.4 전위와 비저항 분석

그림9 (a), (b)는 중량감소율에 의해 분류한 시험체의 비저항과 전위의 관계를 측정된 48개의 데이터에 대해 나타낸 것이다. 전위는 콘크리트 비저항과의 상관성이 높은 분포를 하고 있는데, 측정결과 대부분의 시험체가 ASTM의 규준에서 제시한 부식가능성 90% 이상 확률의 영역인 -350mV 이하에 분포하고 있다.



(a) 전위와 임피던스의 분포



(b) 전위와 비저항의 분포

그림9. 전위와 임피던스 및 비저항의 분포

3.5 중량감소율과 전위 분포 분석

그림10은 중량감소율과 전위와의 관계를 측정된 48개의 데이터에 대해 나타난 것이다. 측정된 중량감소율(y)과 전위값(x)과의 관계식을 구한 결과 $y=0.0037e^{-0.0166x}$ 로 도출되었으며, 이 식에 대한 표준편차는 4.31이다.

중량감소율에 대한 전위의 경향은 비례관계를 나타내고 있으며, $E < -350\text{mV}$ 에서 중량감소율이 증가하는 것을 볼 수 있다. 또한 $E < -500\text{mV}$ 의 전위에 대해 중량감소율이 급증하는 경향은 표10의 CEB 기준에서 제시한 활성상태(IV단계)에서의 부식에 의한 위험정도를 증명하고 있다.

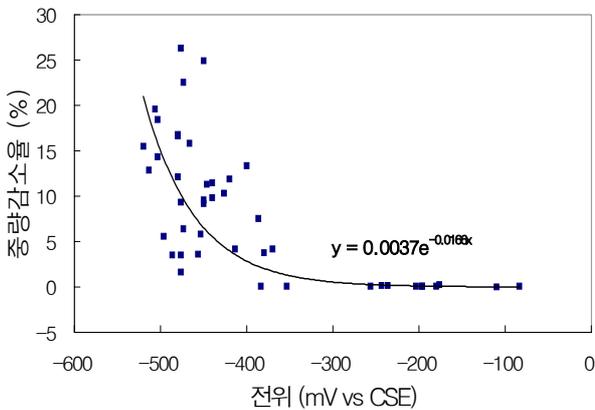
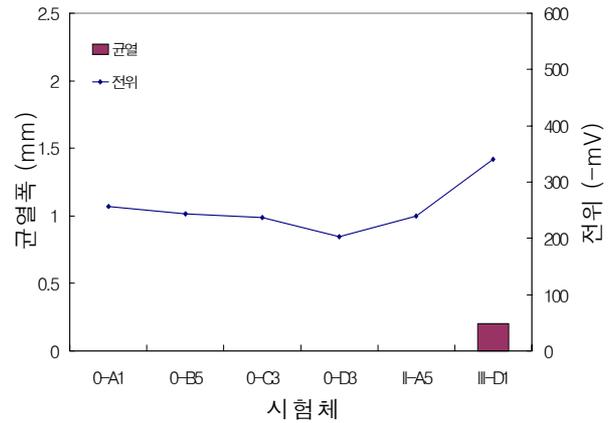


그림10. 중량감소율과 전위치의 관계

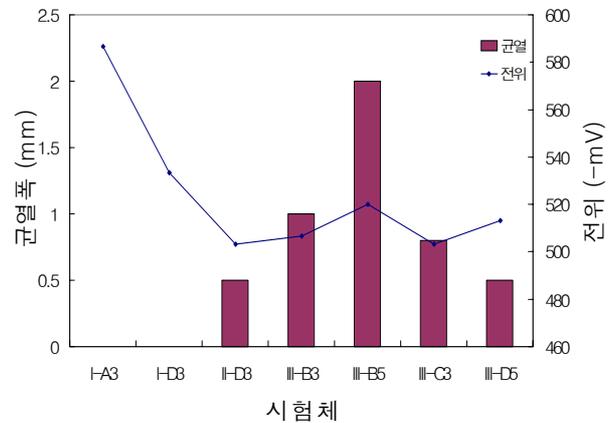
3.6 전위에 따른 균열 경향

그림 12 (a), (b)에서는 각각 CEB 기준에서 제시한 부식단계 II($-250\text{mV} > E > -350\text{mV}$)의 전위 범위를 갖는 시험체의 균열 폭과의 관계를 나타낸 것이다. 부식단계별 균열정도를 제시한 CEB 기준과 비교해 보면, 균열의 정도를 2mm 이상 발생한 시험체는 없었지만, $E < -500\text{mV}$ 시험체에서는 연단까지 이어지는 균열이 발생하였다. 또한 $-250\text{mV} > E > -350\text{mV}$ 인 시험체 중에서는 CEB 기준

과 같이 큰 균열폭을 나타내고 있었다.



(a) $E > -350\text{mV}$ 시험체



(b) $E < -500\text{mV}$ 시험체

그림12. CEB 기준에 따른 부식단계 II, IV의 전위 범위와 시험체의 균열 폭과의 관계

표10. 자연전위범위에 따른 균열상태(CEB Bulletin N°243)¹⁷⁾

전위 (mV vs. CSE)	육안관찰에 의한 평가	부식 상태
> -200	10% 이하의 공극이 존재한다고 평가	I : 비활성단계
$-200 \sim -350$	0.4mm 이하로 미세균열	II : 초기단계
$-350 \sim -500$	0.4~1.0mm 이상의 균열	III : 부식가능성
< -500	3.0mm 이상의 균열	IV : 활성단계
.	콘크리트 표면의 박리	V : 위험단계

4. 결론

본 연구에서는 부식의 정도를 6단계로 분류하여 피복 두께와 철근직경에 따라 전기화학적 방법으로 철근의 부

식도를 측정하였다. 실험을 통해 부식정도에 대한 각 변수의 영향을 분석한 결과는 다음과 같다.

- (1) 부식되지 않은 시험체는 전위와 비저항이 비교적 넓은 범위에서 분포하여 특별한 경향을 나타내지 않은 반면 일단 부식된 시험체는 일정 부분에 분포하였다. 이는 전위와 비저항의 측정은 콘크리트 내부에 매입된 철근과 콘크리트 표면에서의 전기화학적 기구에 의한 것이고, 그 전기적 경로는 콘크리트의 미세공극 또는 공극내의 용액이기 때문에 이미 부식이 시작된 콘크리트의 환경은 그 부식의 정도가 미소하더라도 전위와 비저항에 큰 영향을 미치기 때문인 것으로 판단된다.
- (2) 피복두께가 작으면 대체로 큰 전위값을 나타내었고 비저항도 피복두께 1cm 계열 시험체인 경우가 피복두께 5cm 계열 시험체에 비해 감소율이 보다 크게 나타나고 있어 피복두께가 전위와 비저항 등 전기화학적 측정값에 많은 영향을 준다는 것을 알 수 있다.
- (3) 측정된 전위(x)에 의해 부식도(y)를 나타내는 식을 제안하면 다음과 같다.

$$y = 0.0037e^{-0.0166x}, \text{ 표준편차} = 4.31$$

참고문헌

1. 오창희, 윤재환, 임서형, “콘크리트중의 철근부식에 관한 전기화학적 진단 방법에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집, 6권 3호 통권 29호, 1990. 6
2. 윤재환, “콘크리트중의 철근부식에 대한 비파괴진단방법에 관한 연구”, 콘크리트학회 논문집, 4권 2호, 1992. 6
3. 김영수, “매설철근의 부식상태에 대한 비파괴 측정방법”, 대한건축학회 논문집, 13권 9호 통권 107호, 1997. 9
4. 남상철 외 5인, “전기화학적 임피던스법을 이용한 염함유 시멘트 모르타르내의 철근부식 연구”, Journal of Korean Ind. & Eng. Chemistry, Vol. 9, No. 6, November 1998, pp811-816
5. 강태혁 외 4인, “전기화학적 임피던스법에 의한 철근콘크리트의 부식연구”, Journal of Korean Ind. & Eng. Chemistry, Vol. 9, No. 6, November 1998, pp907-913
6. 樫野紀元, “鐵筋コンクリート構造物の耐久性に關する研究-主として鐵筋の腐食と防蝕を中心として-”, 建築研究報告, 90, p.209, 建設省建築研究所, 1980
7. 小林豊治, “コンクリート中の鋼材の腐食機構”, 콘크리트工學, Vol. 19, No. 3, p.26, 1981
8. 田村 博, 水山 勝, 下澤和幸, “鐵筋の腐食モニタリングに關する一考察” 콘크리트工學年次論文報告集, 11-1, 1989
9. 武若耕司, “コンクリートの非破壊檢査方法(原理と手法)-鋼材腐食-”, 콘크리트工學, Vol. 27, No. 3, 1989
10. 小林豊治, 米澤敏男, 出頭圭三, “鐵筋腐食の診斷”, 森北出版株式會社, 1993
11. Arnon Bentur & Sindney Diamond, Neal S., Berke “Steel Corrosion in Concrete”, E&FN SPON, 1997
12. John P. Broomfield, “Corrosion of Steel in Concrete”, E&FN SPON, 1997

13. Denny A. Johns, “Principles & Prevention of Corrosion”, 2nd Ed., Prentice hall
14. ASTM C 876, “Standard Test Method for Half cell Potentials of Reinforcing Steel in Concrete”
15. ASTM C 876-91, “Half-cell Potential of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete”
16. ASTM G 1-72, “Prepairing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimen”
17. CEB Bulletin N°243, “Strategies for Testing and Assessment of Concrete”
18. F. Wenner, “A Method of Measuring Earth Resistivity” Bullein of the Bureau of Standard, Vol. 12, pp.469~478
(接受 : 2002. 3. 31)