

# 해사 혼입된 콘크리트 구조물의 부식도 평가

## Evaluation of Corrosion Protective System for Reinforced Concrete Structures Constructed With Sea Sand

김응희\*  
Kim, Woong Hee

홍기섭\*\*  
Hong, Gi Suop

오승모\*\*\*  
Oh, Sung Mo

장지원\*\*\*\*  
Chang, Ji Won

최응규\*\*\*\*\*  
Choi, Eung Kyu

최완철\*\*\*\*\*  
Choi, Oan Chul

---

### Abstract

An experimental study to evaluate corrosion protection systems was undertaken with 44 reinforced concrete slab specimens subjected to cyclic wet and dry saltwater exposure. Corrosion measurements included monitoring macrocell corrosion currents, which are generally accepted in United States practice.

Test results indicate that specimens containing 2 kg/m<sup>3</sup> of NaCl and exposed to wet(outdoor) and dry(indoor) conditions but not to saltwater show very low values of corrosion measurements regardless applying any corrosion protective systems. Corrosion currents of the specimens exposed at 10 percent of NaCl were higher than that of the specimen exposed at 5 percent of NaCl, so the density of the salt water had an influential effect on the test. For the specimens with water repellent membrane currents kept relatively low numerical values, but test specimens with surface corrosion inhibitor protective system showed high values of corrosion current. It would be expected that evaluation of the corrosion protective systems need long-term measurement.

---

\* (주) 한성

\*\* 정회원, 홍익대학교 건축공학과 부교수

\*\*\* 서울대학교 공업화학과 부교수

\*\*\*\* 정회원, 한국계면공학연구소 수석연구원

\*\*\*\*\* 정회원, 삼성물산

\*\*\*\*\* 정회원, 숭실대학교 건축공학과 부교수

# 1. 서 론

최근 우리나라에서는 해사사용이 불가피하고 이에 따른 염해대책이 절실하다. 해사사용 콘크리트 구조물의 환경과 유사하게 시험체를 제작하여 해사가 혼입된 콘크리트 구조물 철근부식을 측정하고 방식기법을 연구한다. 해사를 혼입한 콘크리트내에 철근을 배근한 실물 시험체를 제작하여 염환경을 재현하고 염용액을 분무시켜 촉진 시험을 시행하여 각종 전기화학적 측정법(전위, 전류)을 이용하여 철근의 부식발생을 측정한다. 철근의 부식 측정법으로 전류측정법을 사용하며 자연전위 측정법과 비교하고자 한다. 실물 시험체에 표면도포재등 여러 가지 방식 대책을 적용하고 이들 결과로부터 방식기법의 성능을 평가 비교한다.

## 2. 부식 전류의 측정

콘크리트 내 철근 부식을 측정하기 위한 기법은 대체로 단순하지 않다. 육안 또는 현미경에 의한 방법, 초음파 탐사, 질량 손실 측정, 전기저항 측정, 전기 화학적 방법 등의 여러 가지 방법이 제안되고 있다. (참고문헌 1, 2, 3) 전기 화학적 특성을 이용하여 측정하는 기법으로 부식 전위 측정, 분극 저항 측정, 분극곡선법, 직류 측정, 교류의 전압, 전류비 측정을 들 수 있으며 이들이 실험실에서 사용되고 있으나 실험 조건에 따라 오차가 크고 장기간 실험을 필요로 하고 있다. 실제로 콘크리트내 철근의 부식은 양극과 음극사이의 상당거리를 유지하는 마크로 전지 형태로 나타난다. 이러한 마크로 전지이론을 실물 시험체에 적용하여 부식발생 속도(macrocell corrosion rate)를 측정하는 기법이 미국에서 Southern Exposure Test 등에 널리 활용되고 있다. (참고문헌 4, 5, 6)

그림 1에서 보듯이 상부 양극에 해당되는 철근을 배근하고 하부 음극에 해당되는 철근을 설치하여 상부에 염용액을 주기적으로 흡수시켜 염환경을 만든다. 상단철근과 하단철근을 외부에서 연결시키고 양극과 음극사이의 부식전류를 측정한다. 이때 부식전류외에 순간 절단 전위(instant-off potential)를 측정하며 또한 반전위 측정법을 병행할 수 있다.

부식 전류는 부식 과정에서 발생하는 전자의 흐름을 측정하는 것으로 부식이 발생하는 속도를 알아 볼 수 있겠다. Ohm 법칙에 의한 저항 양단간의 전압강하는 아래와 같이 전류와 저항의 곱으로 표현되므로 전압강하를 측정한 후 알고있는 저항값으로 나누어 주면 부식전류를 얻을 수 있다.

$$V_{\text{measured}} = i_{\text{corrosion}} \times R_{10\Omega} \quad (1)$$

대부분 경우 부식전류는 마이크로암페어 단위의 작은 값이므로 미세한 전압강하를 측정하기 위하여 매우 정밀한 장치가 필요하다.

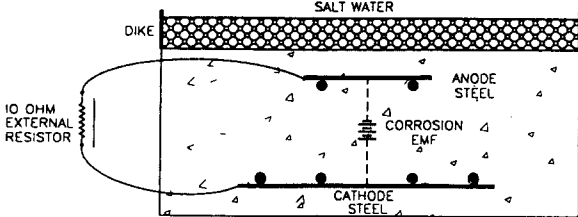


그림 1 표준 콘크리트 철근 부식도

현재 부식측정 기법중에서 반전위 측정법이 신뢰도가 높으며, 부식전류와 반전지 전위사이의 상관관계가 필요하다. 본 연구에서는 기존의 연구결과를 이용하며(참고문헌 6) 유사한 데이터로부터 반전지 전위와 부식전류를 직선관계식으로 나타내어 주며 그

결과 식은 다음과 같은 결과식을 얻는다. (그림 2)

$$I_c = -774.2P - 184.2 \quad (2)$$

$I_c$  = 부식전류 ( $\mu A$ )     $P$  = 반전지 전위 (volt)

이것을 분석하면 상관계수는 0.920으로 상관관계가 높으며 부식 활성화가 시작된 반전지 값은 약 -0.24 volt가 된다. 즉, 현재 부식이 진행되고 있는 과정은 ASTM C876에서 "불확실한 범위"이며, -0.20에서 -0.35 volt로서 나타내 준다.

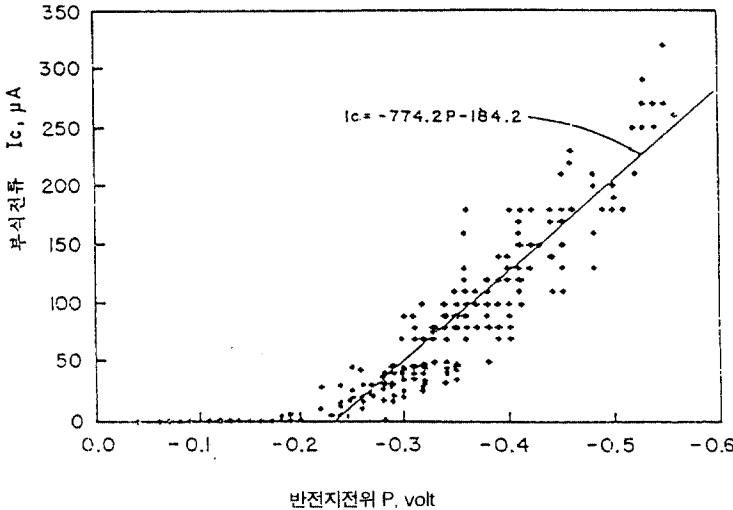


그림 2 부식전류와 반전지 전위 상관도

### 3. 철근부식 실험

#### 3.1 실험계획

실제의 자연환경을 유사시키면서 실험시험체의 부식현상을 재현하기 위하여 콘크리트 슬래브를 시험체로 한다. 시험체 하단의 1/2은 강사로 나머지 상단의 1/2은 해사혼입정도 차이를 두어 5kg/m<sup>3</sup>, 2kg/m<sup>3</sup>의 NaCl을 투입한 두 종류의 시편을 제작하였으며, 옥외환경, 옥내환경, 옥내 염수환경으로 구분하여 장기 시험을 위한 고려를 포함하였다. 현재 국내에

서 적용 가능한 여러가지 부식 억제 도포재 기법을 적용하였으며 신도시에서 적용한 발수제에 의한 성능평가도 포함하여 시험체를 제작하였다. 옥내 염수환경으로는 부식을 촉진시키기 위하여 10% 및 5%의 NaCl용액 200ml를 투여하여 부식을 강제적으로 유도하였다.

본 배합 설계는 ACI 방법을 따른 것으로 배합은 표 2와 같다. 잔골재의 비중은 2.6이고, 조립율은 2.7이며, 굵은 골재의 비중은 2.7이고 최대치수는 13mm이며 단위 중량은 1700kg/m<sup>3</sup>으로 가정하였다. 사용한 잔골재는 아산만에서 채취한 해사로서 NaCl 0.12%를 함유하였다.

#### 3.2 계측 장치

철근의 부식은 전기화학적인 반응으로 부식 과정은 전자의 이동, 즉 전류의 흐름을 동반한다. 이때 부식이 일어나는 철근은 양극으로 작용하고 환원반응이 일어날 수 있는 철근의 다른 부분이 음극이 되며, 두 철근이 전기적으로 연결되어 있다면 연속적으로 전류가 흐를 수 있는 전기적 폐회로가 구성된다. 이 과정에서 흐르는 전류를 부식 전류라 하며 이 전류의 크기는 부식 반응의 속도와 직접 비례하므로, 부식 전류를 측정함으로써 철근의 부식 속도를 알 수 있다. 본 연구에서는 10Ω (1%, 1/4 Watt) 저항을 양극(상단철근)과 음극(하단철근)에 연결시킨후 Data Logger를 이용하여 양단간의 전압강하를 측정후 부식전류를 얻는다. (그림 3)

표 1 콘크리트 배합표

배합강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	Slump 범 위 (cm)	공기량 범위 (%)	W/C (%)	잔골재율 (S/a)	단위량(kg/m <sup>3</sup> )			
					물 (W)	시멘트 (C)	잔골재 (S)	굵은골재 (G)
200이하	10	5	70	45	172	246	819	1020

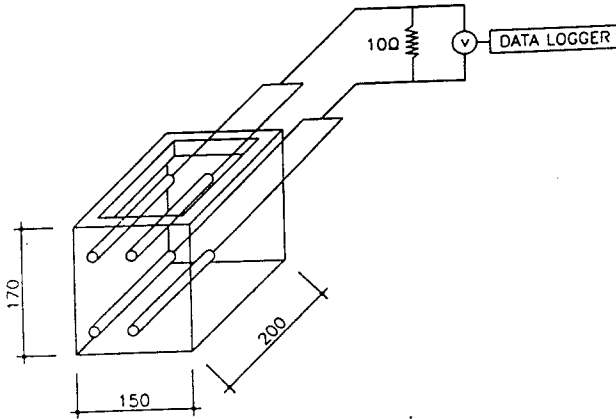


그림 3 계측체계도

### 3.3 계측 결과

현재까지 약 6개월째(25주) 44개 시험체를 여러가지 부식환경에서 시험하고 있으며, 부식 전류값을 계측하고 있다. 예측대로 높은 염화물 농도의 해사가 혼입된 콘크리트 구조물이 옥외 습윤기후 조건에 노출되었다 하더라도 6개월 정도 경과한 후 부식전류값은 여전히 극히 낮게 나타나고 있다. 표 2에서 보듯이 25주째 옥외시험체의 부식전류값은 -100  $\mu$ A에 훨씬 못 미치는 값으로 이러한 그룹에서 방식도포제의 효과는 아직 나타나

치 않고 있으며 장기적인 실험계측이 요구되고 있다.

염용액 10%를 투입한 시험체가 5%를 투입한 시험체 보다 부식 전류값이 상대적으로 크게 나타나 염용액의 농도가 부식에 영향을 크게 끼침을 알 수 있다. 초기 부식전류값이 -50 $\mu$ A에서 6개월이 지난 시점에서 -100 $\mu$ A를 초과하고 있어 기존연구결과와 비교하면 부식진행이 되고있음을 보여주고 있다. (그림 4)

실리콘계 발수제를 도포한 시험체의 부식 전류값은 -10 $\mu$ A 정도의 극히 작은 값에 머물고 있으며 발수효과로부터 방식성능이 나타나고 있다. (그림 5) 부식촉진 환경에서 부식억제제를 도포한 시험체는 부식 억제제를 도포하지 않은 시험체(S5×0×10)와 현재까지는 유사한 경향을 보이고 있다. 도포형 부식억제제가 침투형으로써 높은 농도의 염용액이 투입된 상태에서는 부식전류가 높게 나타나는 것으로 보여지며 장기적인 관찰이 요구된다. (그림 6)

염수용액을 침지하지 않은 시험체는(내부 또는 외부조건에 노출) 모두 부식 전류값이 낮게 나타났으며 염수용액 침지가 마크로 전류 형성에 크게 영향을 주는 것으로 관찰 된다.

## 4. 결 론

염화물 농도가 극히 높은 해사가 혼입된 콘크리트 구조물이 옥외 습윤기후조건에 노출되었다 하더라도 6개월 정도 경과한 후의 부식전류값은 극히 낮게 나타나고 있어 방식도포제의 효과는 아직 나타나지 않고 있으며 장기적인 실험계측이 요구되고 있다.

옥내실험체는 염수침지에 부식전류가 민감한 반응을 보여주고 있으며, 염용액 10%를 투입한 시험

표 2 시험결과 부식전류( $\mu A$ )

Group	Specimen Label	3주 ( $\mu A$ )	6주 ( $\mu A$ )	8주 ( $\mu A$ )	24주 ( $\mu A$ )
옥외 (17개)	S2 * 0 * 0 %	-	-	-1.0	-6.0
	S2 * 0 * 0 % A	-	-	3.2	0.3
	S2 * 0 * 0 % B	-	-	-2.2	-0.8
	S2 * 0 * 0 % C	-	-	-1.3	-2.8
	S2 * CI1 * 0 %	-	-	0.6	0.2
	S2 * CI1 * 0 % A	-	-	-1.9	-1.0
	S2 * CI2 * 0%	0.6	0.6	1.1	0.0
	S2 * CI2 * 0% A	0.6	0.6	0.2	0.4
	S2 * CI3 * 0%	-	-	0.9	0.5
	S2 * CI3 * 0% A	-	-	0.4	0.5
	S2 * CI4 * 0%	0.5	-0.6	-0.6	-0.6
	S2 * CI4 * 0% A	-	-	-0.9	-0.3
	S2 * HWAR * 0%	-	-	4.0	0.9
	S2 * HWAR * 0% A	-	-	-0.5	-0.6
	S5 * 0 * 0E%	-	-	2.8	24.6
	S5 * 0 * 0E% A	-	-	-7.8	-8.1
	S5 * 0 * 0E% B	-	-	-12.3	-24.0

시험체명 : SN\*SYS\*MC%R

N=해사 혼입량 : 2Kg/m<sup>3</sup>, 5kg/m<sup>3</sup>

SYS=방식재 : O - 도포없음

CI1 - RF-100, Desalt

CI2 - MCI-2020

CI3 - Ferrogard903

CI4 - Gard3020A

HWAR - 발수톤

M = 염수 농도 : 5%, 10%

C = 내부, 외부 조건 : I= 내부

E= 외부

R = 반복 시험체

체가 5%를 투입한 시험체 보다 부식 전류값이 상대적으로 크게 나타나 염용액의 농도가 부식에 영향을 크게 끼침을 알 수 있었다. 초기 부식전류값이 -50 $\mu A$ 에서 6개월이 지난 시점에서 -100 $\mu A$ 를 초과하고 있어 기존연구결과와 비교하면 부식진행이 되고있음을 보여주었다. 실리콘계 발수제를 도포한 시험체의 부식 전류값은 -10 $\mu A$  정도로 부식전류에 크게 미치지 않고 있으며 발수효과로부터 방식성능이 나타나고 있다. 부식촉진 환경에서 부식억제제를 도포한 시험체는 부식 억제제를 도포하지 않은 시험체와 현재까지는 유사한 경향을 보이고 있다. 도포형 부식억제가 침투형으로써 높은 농도의 염용액이 투여된 상태에서는 부식전류가 높게 나타나는 것으로 보여지며 장기적인 관찰이 요구된다.

본 연구는 건설교통부 '95 건설기술 연구 개발사업, "콘크리트 구조물의 내구성 향상을 위한 철근방식 기법개발" 연구내용중 일부임을 밝히며, 본 연구를 위하여 협조하여 주신 여러분께 깊은 감사의 말씀을 드립니다.

표 2 시험결과 부식전류( $\mu\text{A}$ ) (계속)

Group	Specimen Label	3주 ( $\mu\text{A}$ )	6주 ( $\mu\text{A}$ )	8주 ( $\mu\text{A}$ )	24주 ( $\mu\text{A}$ )
육내 (27개)	S5 * 0 * 0I%	-0.2	-0.6	-0.2	-0.1
	S5 * 0 * 0I% A	-0.6	-0.6	-0.3	0.0
	S5 * 0 * 0I% B	-1.0	-1.1	-0.2	-0.1
	S5 * 0 * 5%	-4.2	-7.5	-21.6	-51.9
	S5 * 0 * 5% A	-0.3	-1.5	-5.8	-64.8
	S5 * CI1 * 5%	-12.4	-15.7	-30.5	-95.8
	S5 * CI1 * 5% A	-12.5	-14.2	-29.9	-120.8
	S5 * CI2 * 5%	-19.0	-24.0	-52.0	-130.7
	S5 * CI2 * 5% A	-24.2	-29.7	-62.7	-135.2
	S5 * CI3 * 5%	-13.9	-16.1	-34.8	-56.1
	S5 * CI3 * 5% A	-91.0	-9.8	-24.6	-73.3
	S5 * CI4 * 5%	-13.5	-14.3	-32.7	-56.4
	S5 * CI4 * 5% A	-23.4	-25.1	-47.6	-98.6
	S5 * HWAR * 5%	-1.1	-1.1	-0.6	-0.8
	S5 * HWAR * 5% A	-0.4	-0.8	0.0	-0.1
	S5 * 0 * 10%	-16.5	-22.7	-56.8	-124.4
	S5 * 0 * 10% A	-7.9	-12.8	-29.9	-141.1
	S5 * CI1 * 10%	-25.0	-25.8	-51.3	-106.9
	S5 * CI1 * 10% A	-26.5	-32.1	-66.4	-149.6
	S5 * CI2 * 10%	-45.6	-44.0	-82.1	-178.6
	S5 * CI2 * 10% A	0.00	-0.6	-13.9	-120.8
	S5 * CI3 * 10%	-33.9	-43.1	-78.7	-171.5
	S5 * CI3 * 10% A	-36.2	-38.2	-74.3	-153.1
	S5 * CI4 * 10%	-45.0	-45.4	-70.2	-136.6
	S5 * CI4 * 10% A	-37.7	-38.7	-65.5	-110.0
	S5 * HWAR * 10%	-1.9	-1.2	-0.6	-0.3
	S5 * HWAR * 10% A	-0.3	-0.5	-0.1	-0.1

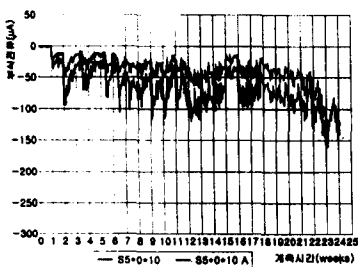


그림 4 부식촉진 시험체

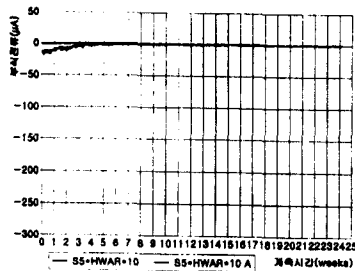


그림 5 발수제도포 시험체

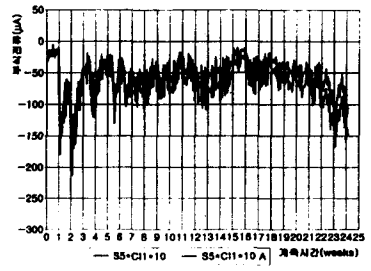


그림 6 침투형 부식억제제 도포 시험체

## 참고 문헌

1. 윤재환, "콘크리트중의 철근부식에 대한 비파괴 진단 방법에 관한 연구," 콘크리트 학회 논문집, 제4권2호, 1992. 6. pp. 75~80
2. 최완철외 3인, "부식전위 측정법에 의한 에폭시 도막 철근의 내부식 성능 평가." 대한 건축학회 논문집, 통권 78호, 1995. 4. pp. 75~80
3. 김성수, "해양환경하에 방치한 콘크리트의 열화 및 철근의 부식 방식에 대한 연구," 한양대학교 대학원, 1994. pp. 127~129
4. 정형서, "해사를 사용한 콘크리트 구조물의 철근부식 실험 기법에 관한 연구", 숭실대학교 산업대학원 논문, 1996. pp. 32~36
5. M.S. Senecal, D. Darwin, C. Lock, "Evaluation of Corrosion Resistant Steel Reinforcing Bar", SM Report 40, University of Kansas, July 1995. page 142
6. W.J.E, "Protective Systems for New Prestressed and Substructure Concrete", FHWA/RD-86/193 Virginia, U.S.A, 1987. 4, page 126