

콘크리트 구조물의 철근 방식성능 실험평가

An Evaluation of Corrosion Protective Systems for Reinforcing Steel in Concrete

허 준* 홍기섭** 오승모*** 장지원**** 최응규***** 최완철*****
Hur, jun Hong, Gi-Suop Oh, Sung-Mo Jang, Ji-Won Choi, Eung-Kyu Choi, Oan-Chul

Abstract

An experimental study to evaluate corrosion protection systems was undertaken with 47 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/m³ of NaCl and exposed to a 10 percent of NaCl show high values of corrosion currents. For the specimens with water repellent membrane currents kept relatively low numerical values, while test specimens with surface corrosion inhibitor protective systems show high values of corrosion currents. No clear indication of the corrosion inhibitor protective systems might be due to the extremely high chloride exposure of the specimens, which has brought the accelerated corrosion. It would be expected that evaluation of the corrosion protective systems need long-term measurement with specimen exposed less chloride but simulating the real condition.

1. 서론

철근 콘크리트 구조물은 시멘트의 강알칼리성으로 인하여 일반적인 환경 하에서는 부식에 강한 내구성을 갖고 있으나 유해한 염해 환경에 노출되어 콘크리트의 방식기능이 약화되면, 철근의 부식이 진전되고 구조물의 내구성은 급격하게 저하된다. 최근 우리나라에서는 해사 사용이 불가피하고 이에 따라 콘크리트내의 해사 혼입에 따른 염해대책이 절실하다.

본 연구에서는 해사사용 콘크리트 구조물의 환경과 유사하게 시험체를 제작하여 해사가 혼입된 콘크리트 구조물 철근부식을 측정하고 방식기법을 연구한다. 염환경을 재현하기 위해, 해사를 혼입한 콘크리트 내에 철근을 배근한 실물 시험체를 제작하고 염용액을 분무시켜 촉진 시험을 시행하여 단기간 성능 평가 시험을 수행한다. 철근의 부식 측정법으로 전류측정법을 사용하며 자연전위 측정법과 비교하고자 한다. 여러 가지 방식 대책적용을 위해 실물 시험체에 표면 도포재 도포하고 이들 결과로부터 방식기법의 성능을 평가 비교한다.

* 숭실대학교 대학원 석사과정

** 정희원, 홍익대학교 건축공학과 부교수, 공학박사

*** 서울대학교 공업화학과 부교수, 공학박사

**** 정희원, 한국계면공학연구소 수석연구원, 공학박사

***** 정희원, 삼성물산, 공학박사

***** 정희원, 숭실대학교 건축공학과 부교수, 공학박사

2. 부식전류의 측정

콘크리트 내 철근부식을 측정하기 위한 기법이 여러 가지로 제시되고 있으나, 마크로 전지 형태로 나타나는 콘크리트내 철근의 부식을 실험 시험체에 적용하여 부식발생 속도(macrocell corrosion rate)를 측정하는 기법이 미국에서 Southern Exposure Test 등에 널리 활용되고 있다. (참고문헌 4, 5, 6, 7)

부식 과정에서 발생하는 전자의 흐름을 측정하는 부식전류 측정법은 콘크리트 내에 철근의 부식이 발생하는 속도를 알 수 있게 한다. 음극과 양극사이에 저항을 설치하여 그 사이의 IR 전위 차를 측정하여 Ohm 법칙에 따라서 전류흐름의 단절을 피하고 측정한다. 저항 양단간의 전압강하는 아래와 같이 전류와 저항의 곱으로 표현되므로 전압강하를 측정한 후 알고있는 저항값으로 나누어주면 부식전류를 얻을 수 있다.

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

마이크로암페어 단위의 작은 값으로 나타나는 부식전류는 정밀한 장치를 이용하여 미세한 전압강하의 측정이 필요하다.

3. 철근부식 실험

3.1 실험계획

실제의 콘크리트 구조물이 처해있는 자연환경을 유사시키면서 실험시험체의 부식현상을 재현하기 위하여 콘크리트 슬래브를 시험체로 한다. 시험체 제작시 하단의 1/2은 강사로 나머지 상단의 1/2은 해사혼입정도에 차이를 두어, 5kg/m³, 2kg/m³ NaCl을 투입한 2종류의 시편을 제작하였으며 옥외환경, 옥내환경, 옥내 염수환경으로 구분하여 장기 부식실험을 위한 고려를 포함하였다. 부식억제제는 현재 국내에서 적용 가능한 여러가지 부식 억제 도포재 기법을 적용하였으며 신도시에서 적용한 발수제에 의한 성능평가도 포함하여 시험체를 제작하였다. 도포형 침투 억제제는 아질산계의 도포형 침투 억제제가 이용되었다. 옥내 염수환경으로는 상단의 해사혼입정도가 5kg/m³이고, 부식을 촉진시키기 위하여 10% 및 5%의 NaCl용액 200ml를 7일간격으로 투여하여 침지, 건조를 반복시키고, 옥외환경은 상단의 해사혼입정도가 2kg/m³로 실제 해사가 혼입된 콘크리트 구조물이 외부에 노출되었을 때의 환경을 재현시켰다.

시험체 제작에 사용된 콘크리트 배합은 표 1과 같다.

표 1. 콘크리트 배합표

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

3.2 계속 장치

철근의 부식은 전기화학적인 반응으로 부식 과정은 전자의 이동, 즉 전류의 흐름을 동반한다. 이때 부식이 일어나는 철근은 양극으로 작용하고 환원반응이 일어 날 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 연결시킨 후 Data Logger를 이용하여 양단간의 전압강하를 측정한 후 부식전류를 얻는다. (그림 1)

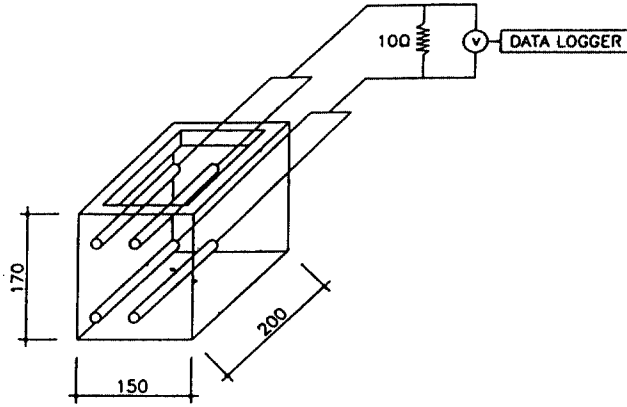


그림 1. 계측체계도

현재까지 여러가지 부식환경에서의 실험은 약 40 여주가 경과하였으며, 계측한 부식 전류값은 표 2와 같다.

표 2. 시험결과 부식전류 (μA)

Group	Specimen Label	3주 (μA)	6주 (μA)	8주 (μA)	24주 (μA)	36주 (μA)
옥외시험체 (17개)	S2 * 0 * 0 %	-	-	1.0	6.0	4.3
	S2 * 0 * 0 % A	-	-	3.2	0.3	3.0
	S2 * 0 * 0 % B	-	-	2.2	0.8	1.2
	S2 * 0 * 0 % C	-	-	1.3	2.8	0.2
	S2 * CI1 * 0 %	-	-	0.6	0.2	0.5
	S2 * CI1 * 0 % A	-	-	1.9	1.0	4.0
	S2 * CI2 * 0%	0.6	0.6	1.1	0.0	2.2
	S2 * CI2 * 0% A	0.6	0.6	0.2	0.4	0.5
	S2 * CI3 * 0%	-	-	0.9	0.5	0.8
	S2 * CI3 * 0% A	-	-	0.4	0.5	0.6
	S2 * CI4 * 0%	0.5	0.6	0.6	0.6	0.5
	S2 * CI4 * 0% A	-	-	0.9	0.3	0.8
	S2 * HWAR * 0%	-	-	4.0	0.9	1.8
	S2 * HWAR * 0% A	-	-	0.5	0.6	1.7
	S5 * 0 * 0E%	-	-	2.8	24.6	17.2
	S5 * 0 * 0E% A	-	-	7.8	8.1	5.7
	S5 * 0 * 0E% B	-	-	12.3	24.0	43.9

시험체 명명법
 CRN*SYS*M%R
 CR =
 CRACKED BEAM TEST
 N = 해사 혼입량
 NaCl 3kg/m³
 SYS = 방식재 : O - 도포없음
 CI1 - RF-100,Desalt
 CI2 - MCI-2020
 CI3 - Ferrogard903
 CI4 - Gard3020A
 HWAR - 발수론
 M = 염수 농도 : 1%, 3%
 R = 반복 시험체

표 2. 시험결과 부식전류 (μA) (계속)

Group	Specimen Label	3주 (μA)	6주 (μA)	8주 (μA)	12주 (μA)	24주 (μA)	30주 (μA)	36주 (μA)	41주 (μA)
육내시험체 (27개)	S5 * 0 * 0I%	0.2	0.6	0.2	0	0.1	0.1	0.3	0.2
	S5 * 0 * 0I% A	0.6	0.6	0.3	0	0.0	0.1	0.5	0.0
	S5 * 0 * 0I% B	1.0	1.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.3	0.0
	S5 * 0 * 5%	4.2	7.5	21.6	23.5	51.9	50.0	107.9	315.2
	S5 * 0 * 5% A	0.3	1.5	5.8	17.5	64.8	71.4	99.1	200.5
	S5 * CI1 * 5%	12.4	15.7	30.5	7.9	95.8	146.1	218.5	296.3
	S5 * CI1 * 5% A	12.5	14.2	29.9	36.3	120.8	137.5	207.6	323.7
	S5 * CI2 * 5%	19.0	24.0	52.0	70.8	130.7	168.7	235.6	330.5
	S5 * CI2 * 5% A	24.2	29.7	62.7	83.5	135.2	181.2	264.5	358.3
	S5 * CI3 * 5%	13.9	16.1	34.8	30.1	56.1	48.1	97.1	240.2
	S5 * CI3 * 5% A	91.0	9.8	24.6	32.3	73.3	79.0	132.3	206.0
	S5 * CI4 * 5%	13.5	14.3	32.7	34.6	56.4	40.4	62.5	221.3
	S5 * CI4 * 5% A	23.4	25.1	47.6	49.7	98.6	97.9	143.0	246.7
	S5 * HWAR * 5%	1.1	1.1	0.6	0.6	0.8	0.6	0.2	0.6
	S5 * HWAR * 5% A	0.4	0.8	0.0	0.2	0.1	0.1	0.5	0.1
	S5 * 0 * 10%	16.5	22.7	56.8	77.6	124.4	151.2	219.2	244.6
	S5 * 0 * 10% A	7.9	12.8	29.9	38.4	141.1	210.4	302.2	299.6
	S5 * CI1 * 10%	25.0	25.8	51.3	45.7	106.9	160.4	243.7	222.5
	S5 * CI1 * 10% A	26.5	32.1	66.4	64.9	149.6	217.0	317.3	283.6
	S5 * CI2 * 10%	45.6	44.0	82.1	101.5	178.6	216.6	302.2	387.1
	S5 * CI2 * 10% A	0.0	0.6	13.9	72.6	120.8	159.5	246.0	254.8
	S5 * CI3 * 10%	33.9	43.1	78.7	106.0	171.5	184.3	251.3	239.7
	S5 * CI3 * 10% A	36.2	38.2	74.3	88.3	153.1	200.8	301.2	323.1
	S5 * CI4 * 10%	45.0	45.4	70.2	76.3	136.6	137.1	193.9	329.3
	S5 * CI4 * 10% A	37.7	38.7	65.5	65.2	110.0	139.0	188.2	286.8
	S5 * HWAR * 10%	1.9	1.2	0.6	0.5	0.3	0.0	0.3	0.0
	S5 * HWAR * 10% A	0.3	0.5	0.1	0.0	0.1	0.1	0.5	0.1

4. 결과분석

4.1 옥외노출시험체

약 1년 정도가 경과한 후 옥외 습윤기후조건에 노출된 시험체는 여전히 부식전류값이 낮게 나타나고 있다. 표 2에서 보듯이 36주째 옥외시험체의 부식전류값은 $100\mu\text{A}$ 에 훨씬 못 미치는 값으로 이러한 그룹에서 방식도포제의 효과는 아직 구분되지 않으며 장기적인 실험체측이 요구되고 있다.

4.2 옥내 부식촉진 시험체

염용액 10%를 투입한 시험체가 5%를 투입한 시험체 보다 부식 전류값이 상대적으로 크게 나타나 염용액의 농도가 부식에 영향을 크게 끼침을 알 수 있다. 1년 정도의 단 기간에 부식을 발생시켜 방식

성능을 평가 하기 위한 초기 목적대로 부식이 빠른 속도로 진행됨을 보여 주고 있다. 초기 부식전류값이 50 μ A에서 41 주가 지난 시점에서 100 μ A를 훨씬 초과하고 있어 기존연구결과와 비교하면 부식진행이 되고있음을 보여주고 있다. (표 2)

4.3 방식 성능 평가

실리콘계 발수제를 도포한 시험체의 부식 전류값은 10 μ A정도의 극히 작은 값에 머물고 있으며 발수효과로부터 방식성능이 나타나고 있다. 부식촉진 환경에서 부식억제제를 도포한 시험체는 부식억제제를 도포하지 않은 시험체와 현재까지는 유사한 경향을 보이고 있다. 5% 염용액을 투여한 두 시험체의 평균 전류값에서는 S5*CI3*5 시험체와 S5*CI4*5 시험체의 전류값이 상대적으로 적은 값을 보이고 있어 다소 방식 성능이 있어 보인다.(그림 2) 10% 염용액을 투여한 시험체의 평균 전류값에서는 S5*CI4*10 시험체의 전류값이 상대적으로 적은 값을 보이고 있다.(그림 3) 침투형 부식억제제 시험체를 포함한 도포형 시험체에서 부식 전류가 높게 나타나고 있어 방식 성능이 확실치 않게 나타나고 있다. 각각의 도포형 부식억제제가 비슷한 방식성능을 보이고 있으며 이는 높은 농도의 염용액이 투여된 상태에서는 방식 성능 평가가 용이하지 않다고 판단되며 적절한 성능평가를 위해서는 장기적인 관찰이 요구된다.

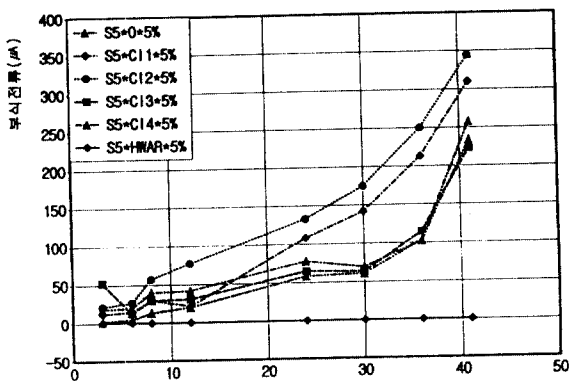


그림 2. 염용액 5% 투여 시험체

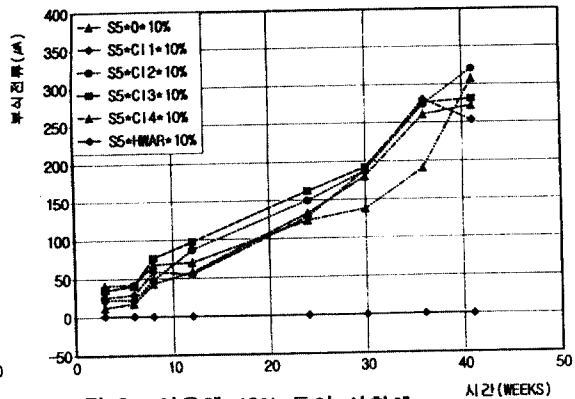


그림 3. 염용액 10% 투여 시험체

5. 결론 및 연구계획

5.1 결론

해사가 혼입된 콘크리트 구조물이 옥외 습윤기후조건에 노출되었다 하더라도 1년 정도 경과한 후의 부식전류값은 극히 낮게 나타나고 있고, 방식도포제의 효과는 아직 구분되지 않고 있으며 장기적인 실험계측이 요구되고 있다.

옥내실험체는 염수침지가 부식전류에 민감한 반응을 보여주고 있으며, 염용액 10%를 투입한 시험체가 5%를 투입한 시험체 보다 부식 전류값이 상대적으로 크게 나타나 염용액의 농도가 부식에 영향을 크게 끼침을 알 수 있다. 부식전류값이 10개월이 지난 시점에서 100 μ A를 초과하고 있어 기존연구

결과와 비교하면 부식진행이 되고있음을 보여주고 있다. 평균부식전류 그래프에서 보듯이 여러 가지 도포제의 방식성능은 구분되지 않고 있어 해사 혼입된 콘크리트에 염용액 5%, 10%투여가 방식성능 발현에 과도한 조건으로 판단된다.

실리콘계 발수제를 도포한 시험체의 부식 전류값은 10 μ A 정도로 부식전류에 크게 미치지 않고 있으며 발수효과로부터 방식성능이 나타나고 있다. 부식촉진환경에서 부식억제제를 도포한 시험체는 부식억제제를 도포하지 않은 시험체와 10개월이 지난 시점에서도 유사하게 높은 부식전류 값을 보이고 있으며 일부 차이를 보이거나 도포형 부식억제의 방식 성능이 뚜렷하게 나타나지는 못하고 있다. 이는 높은 농도의 염용액이 투여된 상태에서는 방식성능 나타나지 않는 것으로 보여지며 장기적인 평가가 요구된다.

5.2 연구계획

1차년도 실험결과 옥외 시험체와 옥내 촉진 시험체의 현상을 각각 보완하여 2차년도에도 시험을 계속 수행하고 있다. 해사혼입도 2kg/m³의 옥외 노출 시험체의 부식전류값은 10개월이 지났음에도 불구하고 미미한 정도였으며 옥내 부식촉진실험에서 보듯이 염용액 5%와 10% 투여는 여러 가지 방식제의 충분한 성능발현에 과도한 조건으로 판단되었다. 옥외노출 시험체의 현실적인 부식발현과 방식제의 현실적인 방식 성능평가를 위해 2차년도에는 CRACKED BEAM TEST 시험체를 제작하여 해사혼입도 3kg/m³와 염용액 농도도 바닷물농도(2.7%)에 가까운 1%와 3%로 투여하는 시험체를 제작하여 연구를 수행하고 있다.

1차년도 시험체(염용액 5%, 10% 투여)와 2차년도 시험체(염용액 1%, 3%투여)의 부식전류값을 계속 측정하여 장기적인 부식전류의 양상과 여러 가지 농도에서의 방식제의 현실적인 성능을 파악하고자 한다.

● 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, “ 해양환경 하에 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. 김용희, “해사 혼입된 콘크리트 구조물의 부식도 평가”, 콘크리트 학회 논문집, 제9권1호, 1997. 5, pp. 203~209
6. M.S. Senecal, D. Darwin, C. Lock, “Evaluation of Corrosion Resistant Steel Reinforcing Bar”, SM Report 40, University of Kansas, July 1995. page 142
7. W.J.E, “Protective Systems for New Prestressed and Substructure Concrete”, FHWA/RD-86/193 Virginia, U.S.A, 1987. 4, page 126