

희생양극방식을 응용한 콘크리트 중의 철근의 전기방식 효과

Effect of the Cathodic Protection in Concrete by Applying Sacrificial Anode System

김 성 수*, 김 홍 삼**, 김 진 철***, 김 종 필****, 박 광 필****

Seong-Soo Kim, Hong-Sam Kim, Jin-Chul Kim, Jong-Pil Kim, Kwang-Pil Park

ABSTRACT

Reinforced concrete have defect in durability due to carbonation, freezing and thawing, and penetration of chloride ions with time in spite of superb structure. Especially steel corrosion in concrete due to penetration of chloride ions have result in a marked decline in service life. The principal purpose in this study is to see effect of sacrificial anode cathodic system, one of the electrochemical methods in order to the control of steel corrosion in concrete. There are chloride content in concrete in cracked and no cracked specimen with cathodic protection. To recognize the effect of sacrificial anode cathodic protection, Instant-off potential are measured. We have the excellent effect for control steel corrosion adaption sacrificial anode cathodic system.

1. 서론

철근콘크리트는 철강재와 더불어 건설재료 가운데 가장 널리 이용되어지는 구조재료로써 내구성이 우수하여 반영구적인 구조물로 이용되고 있으나, 근래에 들어 여러 가지 열화원인들에 의해 철근콘크리트 구조물의 내구성에 문제가 보고되고 있어 철근콘크리트의 내구성에 대한 많은 연구가 진행되고 있는 상황이다.

특히, 콘크리트중의 염화물이온은 강재표면의 부동태피막을 파괴하여 철근의 부식반응을 진행시켜 수산화제1철, 2철을 만들어 녹을 발생시킨다. 결과적으로 콘크리트 내부의 철근 부식 생성물의 용적이 철 자체의 용적보다 수배로 팽창함에 따라 거대한 인장응력이 콘크리트의 응력을 초과할 때 균열발생은 필연적이며, 이러한 균열은 콘크리트 내부에서부터 점차적으로 콘크리트 표면까지 진전되어 박리현상을 일으켜 콘크리트 구조물의 내구성저하를 초래한다.

선진 외국에서는 철근콘크리트 구조물의 여러 가지 방식방법 중 전기방식에 관한 연구를 이미 오래 전부터 수행해 오고 있으며, 방식효과가 좋은 것으로 보고되고 있다. 전기방식에는 외부전원법과 희생

* 정회원, 대전대학교 토목공학과 교수

** 정회원, 한양대학교 산업과학연구소 연구원, 공학박사

*** 정회원, 한국도로공사 연구원, 공학박사

**** 정회원, 대전대학교 대학원 토목공학과 석사과정

양극법이 있으며, 외부전원법은 수중 및 대기상태에 놓은 구조물 모두에 좋은 효과를 보이는 반면, 희생양극법은 충분한 수분의 영향을 받을 수 있는 수중에서만 좋은 효과를 보인다고 보고하고 있다.

미국의 경우 1973년에 캘리포니아주에서 본격적인 전기방식법을 적용한 이래 1996년까지 약 350건, 면적으로 약 70만 평방미터가 넘는 적용사례가 있었다. 일본에서는 1981년에 처음으로 콘크리트 구조물을 대상으로 한 전기방식법에 관한 연구발표가 있었고, 그 이후에 학회 및 공공기관에서 전기방식법의 실용화 연구가 진행되어 일본콘크리트학회가 『콘크리트구조물의 전기방식법 연구위원회 보고서(1994년)』 등을 발간한 것을 계기로 시공건수도 증가하여 1999년 1월말까지 124건, 면적으로는 약 5만 평방미터에 달하는 적용사례가 있다.

한편, 국내에서는 최근에 철근콘크리트 구조물의 내구성에 철근의 부식이 크게 영향을 미치고 있다는 사실이 점차 크게 인식되고 있으나, 철근의 전기방식에 대한 연구, 문헌 및 자료가 극히 드문 실정이며, 그 기술도 최근 도입되어 시공실적 또한 미비한 실정이다.

본 연구에서는 콘크리트 중의 철근부식 방지를 위하여 자기 희생적 아연체를 희생양극으로 적용한 전기방식의 효과를 고찰하기 위하여 철근을 매입한 콘크리트 시험체를 제작하여 부식촉진 시험을 실시하였다. 또한 전기방식법의 효과를 검증하기 위하여 Instant-off전위 및 전류밀도를 측정하여 고찰함으로써 전기방식에 대한 기초적인 자료를 얻고자 한다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

(1) 시멘트

비중이 3.15인 1종 보통포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 화학성분 및 물리적 성질을 표 1에 나타내었다.

표 1 시멘트의 화학성분 및 물리적 성질

Chemical composition (%)						Ig, loss (%)	Specific gravity	Blaine (cm ² /g)
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃			
21.95	6.59	2.81	60.1	3.32	2.11	2.58	3.15	3,112

(2) 골재

잔골재는 비중 2.56인 강사를 사용하였으며, 굵은골재는 최대치수 13mm, 비중 2.55인 쇄석을 사용하였다. 잔골재 및 굵은 골재의 물리적 성질은 표 2와 같다.

표 2 골재의 물리적 성질

Items Types	Gmax (mm)	Specific gravity	Absorption (%)	Abrasion ratio (%)	F.M	Unit weight (kg/m ³)
Fine agg.	-	2.56	0.92	-	2.32	1,475
Coarse agg.	13	2.55	0.70	28.9	6.87	1,741

(3) 철근

직경 13mm의 원형철근을 한쪽 끝에 통전용 리드선을 납땀한 후 양끝을 수축밴드로 고무캡을 이용하여 마운팅처리 하였으며, 콘크리트 타설 직전 철근 표면을 No. 1000 샌드페이퍼로 연마한 후, 아세톤으로 깨끗이 닦아 사용하였다. 사용된 철근의 화학조성은 표 3과 같다.

표 3 철근의 화학조성 (% , Fe제외)

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Sn
0.24	0.26	0.95	0.016	0.008	0.03	0.04	0.01	0.02	0.0005

(4) 희생양극재료

본 연구에 사용된 H사의 자기희생적 아연체(Galvashild XP)를 그림 1에 나타내었다. 자기 희생적 아연체와 콘크리트와의 통전성을 확보하고 고알칼리성시멘트계 모르타르를 사용하였으며, X-ray회절 분석에 대한 반응 생성물은 그림 2와 같다.

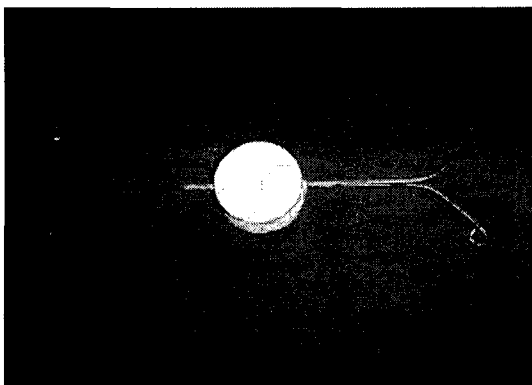


그림 1 자기 희생적 아연체 (Galvashild XP)

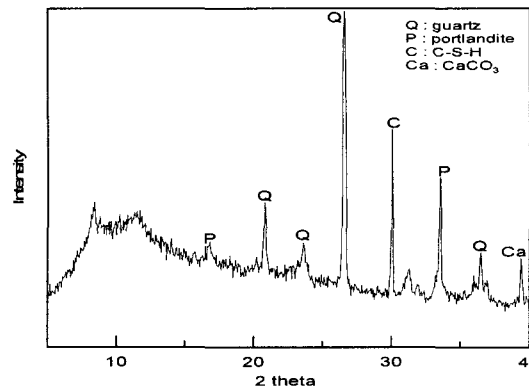


그림 2 고알칼리성시멘트 모르타르의 X-ray분석 결과

2.2 콘크리트의 제작 및 배합

그림 3와 같이 150×250×500mm 크기의 콘크리트 시험체에 표면에서부터 30mm 깊이에 직경 13mm의 원형철근을 묻었으며, 철근에 방식 전류를 공급해 줄 자기 희생적 아연체(희생양극으로 약함)를 철근에 고정 한 후, 그 위에 콘크리트를 타설하였다.

시험체의 제작 조건은 표 5와 같이 염분의 혼입량을 시멘트 중량비 0, 1.5, 3%로 달리하였으며, 균열의 유무 및 철근의 단면적비에 대한 희생양극의 개수를 달리하여, 철근의 부식을 촉진시키기 위해서 공시체 윗면에 틀을 만들고 그 속에 3%의 NaCl용액을 3일간 침지하고, 4일간 건조시키는 것을 1사이클로하였다. 시험체 제작을 위한 콘크리트 배합은 물-시멘트비 50% 및 단위시멘트량 350kg/m³으로 하였으며 표 4와 같다.

표 4 콘크리트 배합

G _{max} (mm)	Slump (cm)	Air (%)	W/C (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m ³)			
					W	C	S	G
13	15±2	2.5	50	43	175	350	739	979

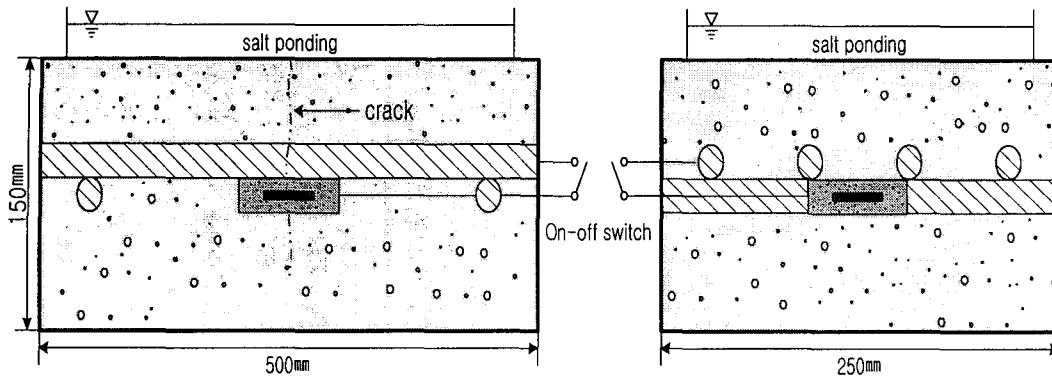


그림 3 공시체의 형상 및 크기

2.3 실험방법

1) Instant-off 전위의 측정 및 Depolarization test

콘크리트에 묻힌 철근의 부식계에서는 콘크리트의 세공용액이 전해질로 작용하기 때문에 콘크리트의 저항에 의하여 방식전류의 공급시에 전압강하(IR drop)가 존재한다. 따라서 복극시험시 전압강하에 의한 측정오차를 배제하기 위해서 Multi-Recorder인 AR-1200을 이용하여 0.01초 간격으로 전류 차단에 따른 복극전위를 측정하여 고입력 전압계와 비교하였다. 또한 Depolarization test를 위해 전류공급을 차단한 직후의 전위(Instant-off전위)와 차단 후 1, 2, 3, 4시간에서 각각 철근의 전위를 측정하였으며, 복극량은 Instant-off전위와 4시간 후의 전위차로 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

희생양극 방법에 의한 콘크리트중의 철근의 전기방식은 이종금속간의 서로 다른 전기화학적 전위차에 의한 하나의 전기적 셀을 형성하여 철근의 부식을 억제하는 방법이다. 따라서 전류가 통하기 위해서는 전해질이 존재하여야 하며 전해질의 저항성은 이 시스템을 작동하는데 매우 중요하기 때문에 저항성이 낮은 재료를 사용하여 희생양극과 철근과의 사이에 이온의 흐름이 가능하도록 하는게 중요하다. 본 연구에서는 이러한 희생양극과 철근과의 사이에 이온의 흐름이 원활하도록 희생양극을 고알칼리 모르타르 속에 묻은 방법으로 특수 고안된 자기 희생적 아연체의 방식효과를 판정하기 위하여 시간에 따른 Depolarization test를 실시하여 그 결과를 그림 4에서 7에 나타내었다. 측정시간은 방식전류의 공급을 차단한 직후의 전위(Instant-off 전위)와 차단후 1, 2, 3, 4시간에서의 전위를 각각 측정하였으며, 복극량은 Instant-off 전위와 4시간 후의 전위차로 하였다.

미국 NACE(National Association of Corrosion Engineering)는 대기 중의 콘크리트 구조물의 철근에 대한 방식기준으로써 전원 차단 직후부터 4시간까지의 복극량이 100~150mV 정도이면 만족할 만한 방식효과를 얻을 수 있다고 추천하고 있다.

그림 4에서 알 수 있듯이 균열이 없는 시험체의 경우 복극량은 300.6mV로 NACE의 방식기준을 만족하였으며, 그림 5의 균열이 있는 경우에는 희생양극의 갯수에 따라 각각 168.5mV와 212.4mV를 나타내어 역시 방식기준인 복극량이 100mV를 만족하고 있음을 알 수 있다. 또한 콘크리트 배합시 NaCl을 1.5% 및 3.0% 혼입하고 희생양극의 갯수를 달리한 시험체의 복극량을 나타낸 것이 그림 6 및

그림 7이다. 이들 그림에서 알 수 있듯이 희생양극에 의한 복극량이 모든 시험체에서 NACE에서 추천하고 있는 방식기준을 만족하는 값을 나타내었다.

한편, 염분의 혼입여부와 철근의 면적에 대한 희생양극의 갯수에 따른 Instant-off 전위와 복극량의 변화를 알아보기 위하여 정리한 것이 표 5이다.

표 5 Instant-off 전위 및 복극량 결과

염분혼입량(%)	균열유무	희생양극의 개수	Instant-off 전위 (mV)	복극량 (mV)	기호명
-	무	1개	-592	300.6	No crack-1xp
-	유	1개	-640	168.5	crack-1xp
		2개	-550	212.4	crack-2xp
1.5	무	1개	-570	115.4	1.5NaCl-1xp
		2개	-550	122.9	1.5NaCl-2xp
		3개	-540	150.2	1.5NaCl-3xp
3.0	무	1개	-525	110.37	3NaCl-1xp
		2개	-525	131.4	3NaCl-2xp

이 표에서 알 수 있듯이 시험체의 제작 조건에 따라 Instant-off 전위 및 복극량이 다르게 나타남을 알 수 있다. Instant-off 전위의 경우 염분의 혼입량이 증가할수록 다소 전위가 작게 나타남을 알 수 있으며, 희생양극의 갯수에 따라 서로 큰 차이가 없음을 알 수 있다.

복극량의 경우 균열이 없고 희생양극의 갯수가 1개인 염분혼입량이 0, 1.5kg/m³, 3.0kg/m³에서 각각 300.6mV, 115.4 및 100.7로 나타나 염분의 혼입량이 증가할수록 복극량이 크게 떨어짐을 알 수 있다. 또한 염분혼입량이 1.5kg/m³으로 동일한 경우 희생양극의 갯수가 증가할수록 복극량이 115.4mV에서 150.2mV로 크게 상승됨을 알 수 있다. 따라서, 시험체의 조건 및 희생양극의 사용량에 따라 전기방식 효과가 크게 다르게 나타남을 알 수 있었다.

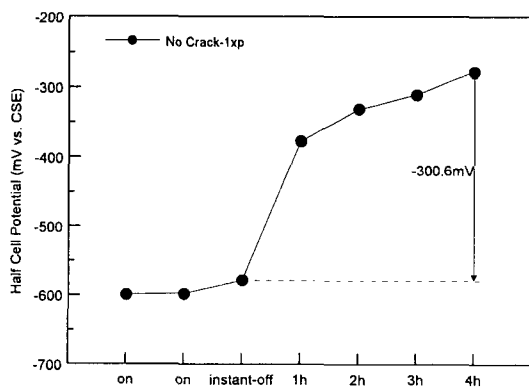


그림 4 염분 무혼입, 균열이 없는 경우의 복극량

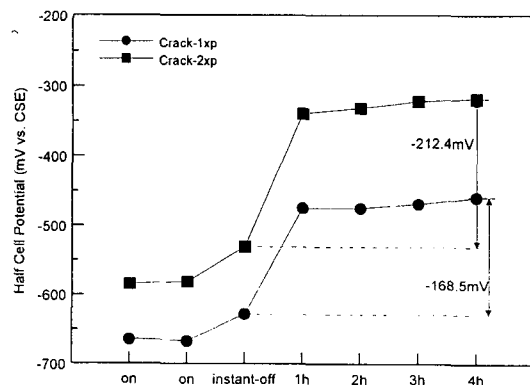


그림 5 염분 무혼입, 균열이 존재하는 경우의 복극량

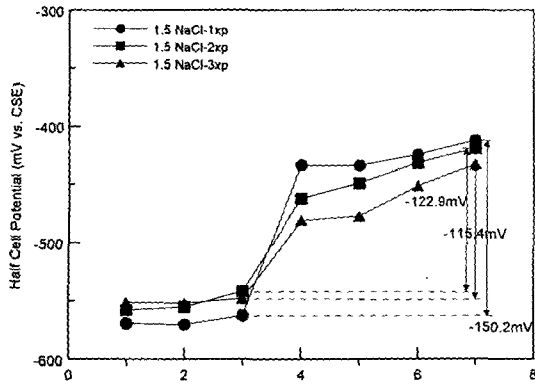


그림 6 염분 1.5%혼입, 균열이 없는 경우의 복극량

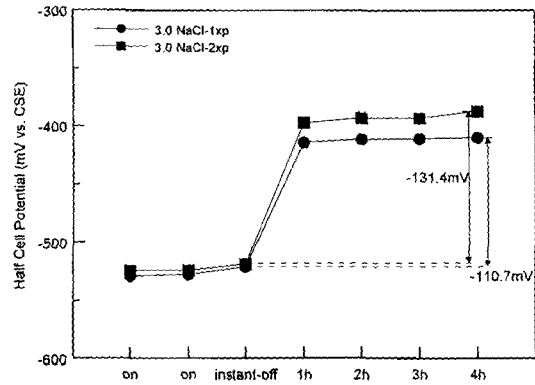


그림 7 염분 3%혼입, 균열이 없는 경우의 복극량

4. 결론

(1) 콘크리트중의 철근부식을 억제하기 위해 희생양극방법에 의한 전기방식을 적용한 결과 희생양극 전기방식을 적용한 시험체에서 110.4~300.6mV의 복극량을 얻었으며, 모든 조건에서 NACE의 방식기준인 100mV이상을 만족하여 방식효과가 있음을 알 수 있었다.

(2) 희생양극방식을 적용한 시험체의 경우, Instant-off 전위와 복극량이 시험체의 제작 조건에 따라 각각 다르게 나타났다. 특히, 복극량의 경우 염분의 혼입량이 증가할수록 크게 떨어지며, 염분혼입량이 동일 할 경우 동일 철근비에 대한 희생양극의 갯수가 증가할수록 크게 상승됨을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 김성수 “해양환경하에 방치한 콘크리트의 열화 및 철근의 부식, 방식에 대한 연구”, 한양대학교 대학원 토목공학과 박사학위 논문, 1994.
2. 김홍삼 “전기화학적 기법에 의한 콘크리트 중의 염소이온 확산평가 및 철근부식 개시시기 예측”, 한양대학교 대학원 토목공학과 박사학위 논문, 2000.
3. 김성섭 “희생양극법을 이용한 콘크리트 중의 철근방식에 대한 연구”, 한양대학교 대학원 토목공학과 석사학위 논문, 1997
4. British Standard 7361 Part 1:1991, “Cathodic Protection”, p49-p53
5. Kenneth Co. Clear, “Growth and Evolution of Bridge Deck Cathodic Protection.”, 1984