J. of Korean Inst. of Resources Recycling
Vol. 18, No. 4, 2009, 44-51

≫ 研究論文 ≪

表面 코팅 陽極과 太陽電氣를 이용한 콘크리트 중의 鐵筋 腐食 防止를 위한 효과†

金鍾弼* · ✞朴光弼** · 金成秀** · 鄭昊燮*** · 李承泰****

*富川大學, **大眞大學校, ***韓國建設技術硏究院, ****國立群山大學校

Effect for Steel Corrosion Protection in Concrete applying Surface Coating Anode and Solar Battery†

Jong-Pil Kim*, ✞Kwang-Pil Pak, Seong-Soo Kim**, Ho-Seop Jung*** and Seung-Tae Lee******

**Bucheon University, **Daejin University*
****KICT, ****Kunsan University*

요 약

양극과 철근과의 사이에 이온의 흐름이 원활하도록 전도성이 우수한 탄소리본전극과 표면코팅을 실기한 후 무공해, 반영구적인 무한태양전기를 전류로 공급한 전기방식에 의한 콘크리트 중의 철근 부식 방지 효과를 알아보기 위하여 복극량, 철근의 복극전위 및 부식속도를 측정하였다. 실험결과 방식을 실시한 모든 대상 시험체가 NACE의 복극량 기준 100 mV 기준을 만족하였으며, 방식을 실시한 경우 복극전위와 부식속도가 안정적인 범위에 있음을 알 수 있었다.

주제어 : 염화물, 철근부식, 전기방식, 복극량, 복극전위

Abstract

In order to verify the effect of Surface Coating Anode and Solar Battery anode system, accelerated tests in the presence or absence of some chloride content and cracks were carried out. The potential-decay, protection potential and corrosion current density of reinforcing steel in concrete specimen were measured to evaluate the effectiveness of the system. From the test results, the application of the system led to the satisfaction on NACE's criterion in all mixtures of concrete. Additionally it was found that protection potential and corrosion current density were satisfied due to the application of Surface Coating Anode and Solar Battery anode system.

Key words : chlorides, steel corrosion, cathodic protection, potential-decay, protection potential

1. 서 론

콘크리트 내부의 철근은 시멘트 특유의 강 알카리성(pH 12.5~13.6) 때문에 표면에 부동태 피막을 형성하여 부식으로부터 보호되어진다. 그러나 대기중의 이산화탄소에 의한 콘크리트의 중성화 및 해사, 동절기의 제설제등의 사용에 의해 유입되는 염소이온은 이러한 피막을 공식(pitting)의 형태로 파괴하여 부식을 유발함으로서 철근에 국부적, 혹은 집중적인 부식을 발생시켜 철근의 무게 감량을 촉진시킨다. 일단 철근이 부식하면 초기에 비해 약 3~8배의 체적 증가를 가져오게 되어 콘크리트 구조물의 균열을 가져오며 이러한 균열은 부식에 필요한 산소, 수분 및 염분의 침투를 용이하게 하여 철근의 부식속도를 가속화시킴으로서 구조물의 안정성 및 수명에 심각한 영향을 주게 된다.[1)]

† 2009년 2월 25일 접수, 2009년 4월 28일 1차수정, 2009년 6월 30일 2차수정, 2009년 7월 7일 수리
✞E-mail: pkp78@daejin.ac.kr

이러한 콘크리트 구조물의 내구성저하에 따른 성능저하는 보수보강, 우회도로의 건설 및 유지관리 등에 상당한 비용이 소요될 뿐만 아니라 만약 붕괴사태가 발생할 경우 그 파급효과는 경제적, 기술적 차원을 넘어 국가와 기술자에 대한 불안을 조장할 요인을 제공할 뿐만 아니라 국제사회에서의 경쟁력 약화와 신뢰성 상실로 이어지게 된다.

최근의 국내의 건설 환경은 신규투자보다는 기존시설의 유지관리와 성능향상을 위한 보수보강으로 변화되고 있으며, 기존 시설물의 효율적인 관리 및 예산의 중복투자를 막기 위하여 시설물에 대한 유지관리 및 수명연장 등에 대한 관심이 최근 급증하고 있다.

철근 부식 방지를 위하여 전기화학적 방식 공법을 적용한 정확한 통계를 조사하기는 어렵지만, 전기 방식 공법의 경우 2000년까지 수천 케이스에 2백만m^2이상적용되었고 탈염 공법과 재알칼리화 공법은 미국과 유럽에서 1998년까지 약100여건 이상 15만m^2 적용실적이, 일본에서는 2001년까지 54건에 28800 m^2 보고되었다. 적용 실적은 1980년 이후로 세계적으로 점점 증가하는 추세로서 이는 구조물에 대한 목표고용기간내에 발생하는 총비용인 LCC 비용을 최소화할 수 있는 가장 효과적인 공법이라는 인식이 퍼지고 있기 때문이다. 한편 구조물별 적용사례를 보면 해상교량, 항만구조물, 교량 상판 등이 주를 이루고 있으나 최근 주차장, 발코니, 수영장 등과 같은 건축물에 적용되는 사례도 증가하고 있다.

그러나 국내에서는 최근에 철근콘크리트 구조물의 안정성에 부식이 크게 영향을 미치고 있다는 사실이 점차 크게 인식되고 있는 것은 사실이나 외국에 비해 전기화학적 방식에 대한 연구가 극히 미미한 수준이며, 양극재료도 수입하여 사용함으로써 기술 종속도가 심화되고 불필요한 외화의 유출이 증가하고 있는 실정이다.[2-4)]

한편, 전기화학적 방식법은 비교적 새로운 공법이기 때문에 양극시스템의 내구성, 적용대상 구조물이 위치하는 현장조건에 맞는 방식결정기준, PC구조물에의 적용성 등의 과제도 지적되고 있다.

따라서 본 연구에서는 양극과 철근과의 사이에 이온의 흐름이 원활하도록 전도성이 우수한 탄소리본전극과 표면코팅을 실기한 후 무공해, 반영구적인 무한태양전기를 전류로 공급한 전기방식에 의한 콘크리트 중의 철근 부식 방지 효과를 알아보기 위하여 복극량, 철근의 복극전위 및 부식속도를 측정하였다.

2. 실험개요

2.1. 시멘트

국내의 S사에서 생산되는 비중 3.15, 비표면적 3,112 cm^2/g인 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였다.

2.2. 골재

잔골재는 비중 2.56, 조립률 2.60인 강모래 및 굵은 골재는 최대치수 13 mm와 비중 2.55인 부순돌을 사용하였다.

2.3. 철근

직경 13 mm의 원형철근을 한쪽 끝에 통전용 리드선을 납땜하여 마운팅 처리하였으며, 콘크리트 타설 직전 철근 표면을 No.1000 샌드페이퍼로 연마하여 아세톤으로 깨끗이 닦아 사용하였다. Fe를 제외한 철근의 화학조성은 Table 1과 같다.

2.4. 전도성 표면코팅재료

방식 전류를 공급하는 전극은 Fig. 1과 같은 탄소섬유리본을 사용하였고, 이차전극은 전류분배띠로 공급되는 전류를 콘크리트 표면에 균일하게 분포시키기 위하여 비저항이 50 Ohm-cm 이하인 전도성표면코팅을 실시하였다.

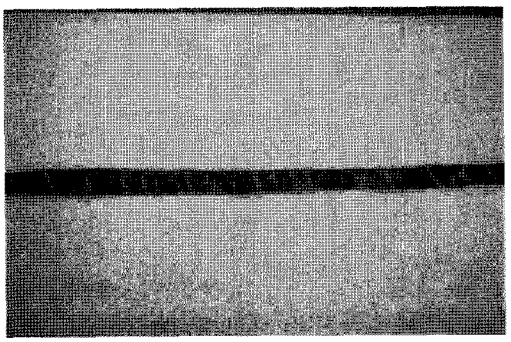


Fig. 1. Carbon anode.

Table 1. Chemical compositions of steel (%)

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

2.5. 실험변수 및 배합

Fig. 2와 같이 150×250×500 mm 크기의 콘크리트 시험체에 표면에서부터 30 mm 깊이에 직경 13 mm의 원형철근을 묻었다. 이때 사용한 콘크리트의 배합은 Table 2와 같고, 실험변수는 NaCl의 혼입량을 시멘트 중량에 대하여, 0, 1.5 및 3.0%, 균열의 유무 및 철근의 표면적 비에 대하여 Table 3과 같이 변화시켰다.

한편, 시험체에 발생된 균열은 NaCl의 침투를 용이하게 하기 위하여 휨강도 측정 방법과 유사하게 중앙재하 방식으로 폭이 10 mm 이하가 되도록 하였다.

2.6. 전기 방식 회로의 구성 및 촉진 시험

1차전극으로부터 콘크리트 표면에 균일하게 방식전류를 공급해줄 2차전극을 콘크리트 표면에 도포한 후 철근에 방식전류를 공급해 줄 일차전극을 플라스틱 접착제나 순간접착제로 콘크리트 표면에 고정하였으며, 외부에서 철근의 방식에 필요한 직류전류를 공급하기 위해서 정저압 직류전원 공급장치를 사용하였다. 회로를 구성할 때 태양전지의 (-)극에 철근을, (+)극에 탄소섬유리본전극을 연결하여 리본전극쪽에서 전류가 유출되어 철근으로 흐르게 하였다. 전기방식의 구성 회로도 및

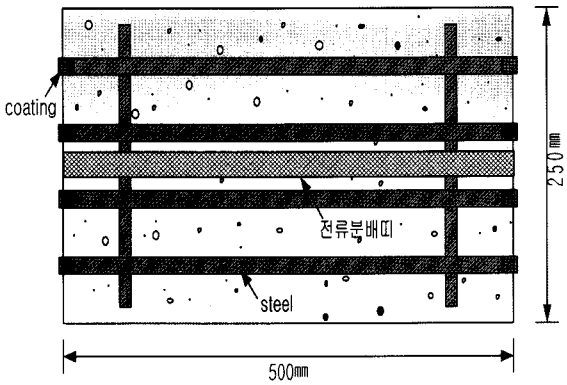


Fig. 2. Shape and size of specimen.

Table 2. Mixture proportions of concrete

$G_{max.}$ (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	758	1040

Table 3. Test conditions

NaCl(%)	균 열	방 식	철근의 표면적 (cm^2)	기호명
0	무	-	902	C-0-X-X
		○		C-0-X-OK
	유	-		C-0-O-X
		○		C-0-O-OK
1.5	무	-	902	C-1.5-O
		○	493	C-1.5-OK-1
			902	C-1.5-OK-2
			1330	C-1.5-OK-3
3.0	무	-	902	C-3.0-O
		○		C-3.0-OK

통전 중인 시험체는 Fig. 3 및 4에 나타내었다.

Fig. 5와 같이 철근의 부식을 촉진시키기 위하여 공시체 윗면 수조에 3%의 NaCl용액을 3일간 공급하고, 6일간 건조를 1싸이클로 하는 염수침지(Salt-ponding)를 총 18싸이클 동안 실시하였다. 또한, 복극량 및 복극전위를 평가하기 위해 각 싸이클 기간 중 7일은 방식전류 공급, 2일간은 방식전류의 공급을 중단시켰다.

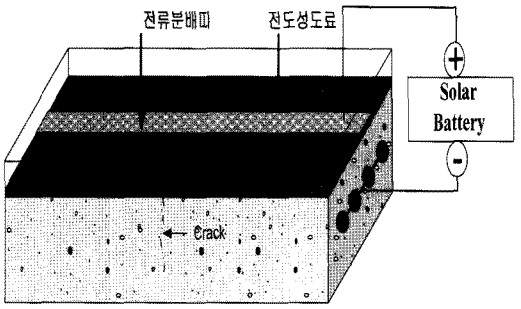


Fig. 3. Anode system of specimen.

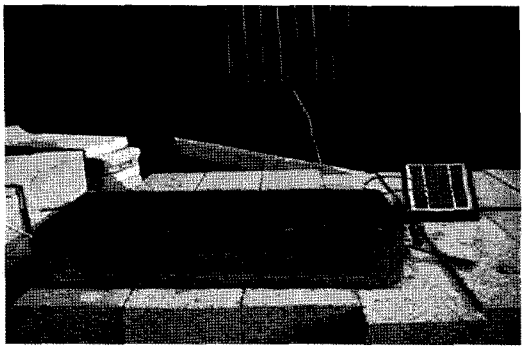


Fig. 4. Charging current on the specimen.

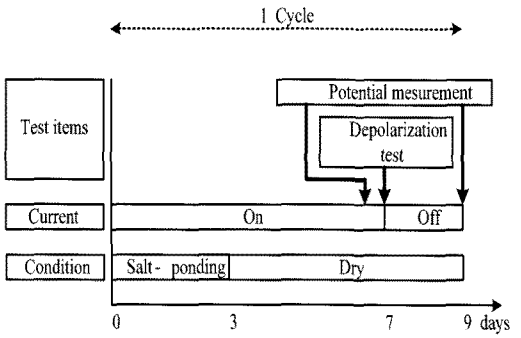


Fig. 5. Schematics of rapid test condition.

3. 실험방법

3.1. 복극량 및 방식전위

콘크리트의 저항에 따른 전압강하(IR drop)를 배제하기 위하여 전원차단 직후의 전위와 전원차단 후 1, 2, 3 및 4시간에서 각각 철근의 전위를 측정하였으며, 복극량은 전원차단 직후의 전위와 4시간 후의 전위차로 하였다(NACE, 1990).

3.2. 철근의 복극전위

철근의 복극전위는 GECOR6로써 방식전류를 차단한 후 2일간 안정을 시킨 후 싸이클별로 측정하였다.

3.3. 철근의 부식속도

자연전위 측정법과 유사하게 콘크리트 표면을 증류수로 살포하고 부식속도 측정기를 철근과 접속한 후, 철근에 전류를 인가시켜 싸이클별로 전류밀도를 측정하였다.

4. 실험결과에 대한 고찰

4.1. 전원차단 직후의 복극량에 따른 방식 성능

양극재료와 철근과의 사이에 이온의 흐름이 원활하도록 전도성능이 우수한 코팅재료를 사용하여 콘크리트 표면에 코팅하여 양극으로 하고, 전류를 태양전기에 의해 공급함으로서 콘크리트 중의 철근의 부식을 방지하는 효과를 판정하기 위하여 시간에 따른 복극량 결과를 Fig. 6 및 7에 나타내었다.

Fig. 6에서 알 수 있듯이 염분을 혼입하지 않고, 균열이 없는 시험체의 경우 복극량은 338 mV로 나타났으

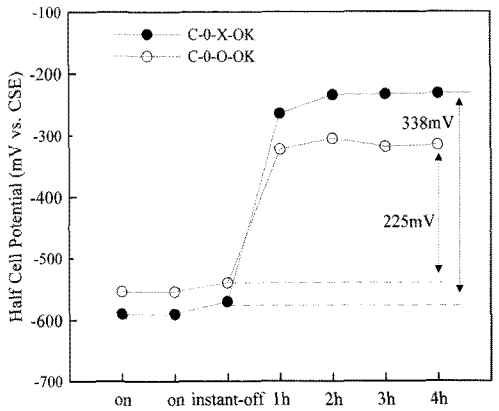


Fig. 6. Potential-decay of specimens.

며, 균열이 있는 경우에는 225 mV를 나타내어 NACE (National Association of Corrosion Engineering)의 방식 기준인 100 mV 복극량을 만족하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 7은 콘크리트 배합시 NaCl을 1.5% 혼입하고, 철근의 면적비를 달리한 시험체의 복극량을 나타낸 것이다. 철근의 면적에 따라 복극량은 각각 310 mV, 280 mV 및 273 mV를 나타내어 철근량이 증가할수록 복극량은 다소 작아지는 것을 알 수 있었다. 그러나 모든 시험체에서 NACE에서 추천하고 있는 방식기준을 만족하는 값을 나타내었다.

한편, Fig. 8은 염분 혼입량이 3.0%인 시험체의 복극량 결과로써 복극량은 227 mV를 나타내어 1.5%를 혼입한 경우와 비교하여 염분의 혼입량이 증가할수록 복극량이 크게 떨어짐을 알 수 있다. 따라서, 시험체의 조건에 따라

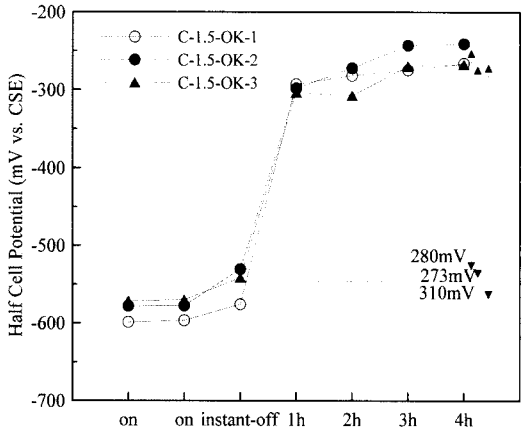


Fig. 7. Potential-decay of specimens.

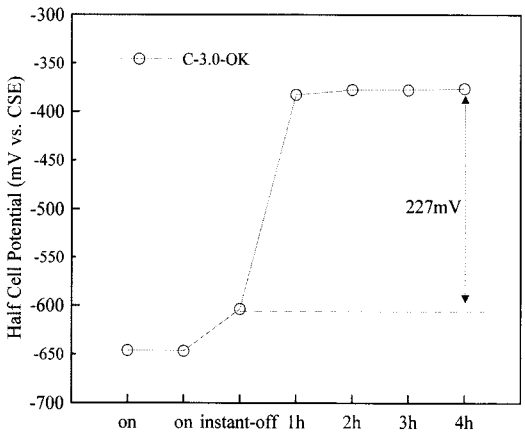


Fig. 8. Potential-decay of specimens.

전기방식효과가 다소 상이하게 나타남을 알 수 있었다.

4.2. 콘크리트 중의 철근의 복극전위

콘크리트 중의 철근의 부식을 억제하기 위하여 적용한 전기방식의 효과를 알아보기 위해 전원공급을 차단시키고. 24~48시간 동안 방식전류를 안정시킨 후 부식촉진 14싸이클까지의 철근의 복극전위 값을 측정하여 Fig. 9~12에 정리하여 나타내었다.

Fig. 9는 균열의 유무에 따른 방식효과를 알아보기 위한 것으로 재령 28일까지 양생하는 동안 -270 mV(vs. CSE) 정도를 유지하였으며, 부식촉진 후부터는 균열의 유무 및 방식여부에 균열이 없는 경우에는 부식촉진시험 초기에는 자연전위 값이 얼마간 떨어졌으나 거의 -250 mV 정도를 유지하였으며 방식여부에 따라 큰 차이를 나타내지 않았으나, 균열이 있는 경우에는 부식촉진시험 초기부터 자연전위 값이 급격히 저하되었으며, 방식을 하지 않은 경우와 방식을 실시한 경우가 뚜렷이 구분됨을 알 수 있다.

한편, 염분 혼입량의 변화에 따른 전기 방식효과를 알아보기 위해서 초기염분 혼입량을 시멘트 중량의 1.5% 및 3.0% 혼입한 복극전위 값을 나타낸 것이 Fig. 10이다. 염분을 혼입하지 않은 경우에는 복극전위 값의 변화가 거의 발생되지 않고 -250 mV 정도를 유지하였으나, 염분을 혼입한 경우에는 방식전류를 공급하지 않고 재령 28일 까지 복극전위 값이 급격히 떨어졌으며, 방식전류를 공급한 직후 약간 증가하여 거의 -380 mV 를 유지하였다. 이 그림에서 알 수 있듯이 염분의 혼입량에 따른 복극전위 값의 차이는 많지 않으나 염분의 혼입 여부에 따른 차이가 크게 나타남을 알 수 있다.

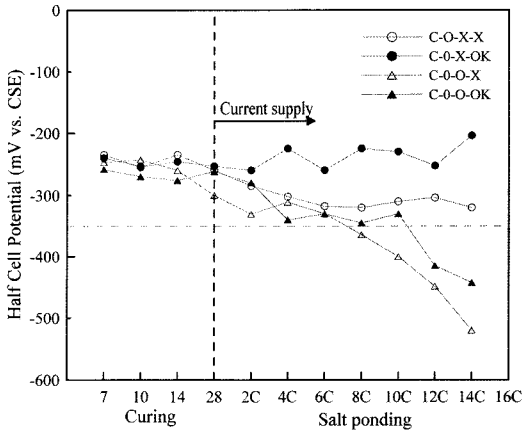


Fig. 9. Protection potential of steel with crack.

Fig. 11은 초기 염분을 혼입하고 철근의 단면적에 따른 영향을 알아보기 위하여 초기 염분 혼입량을 1.5%로 하고 측정한 복극전위 값을 나타낸 것이다.

방식전류를 공급하지 않은 재령 28일 까지는 복극전위 값이 급격히 떨어짐을 알 수 있으며, 방식전류를 공급한 후에는 철근의 단면적이 증가할수록 복극전위가 큰 값을 유지하고 있음을 알 수 있다.

한편 염분을 혼입한 경우는 방식을 실시하지 않은 초기 재령 10일부터 -400 mV 이하로 이동하였으며, 방식을 실시한 후에는 다소 자연전위 값이 상승하였으나, 재령이 증가할수록 복극전위 값은 작은 값을 나타내었다. 전반적으로 염분을 넣은 경우는 -380~-410 mV정도의 범위에 있음을 알 수 있었다. 이는 염화물 환경에서는 철근의 부식이 초기재령에서부터 일어남을 알 수 있다.

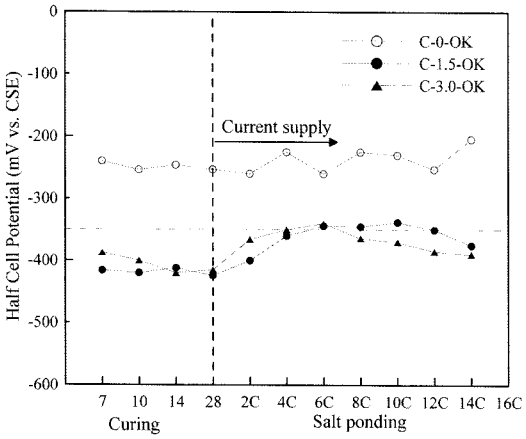


Fig. 10. Protection potential of steel with NaCl.

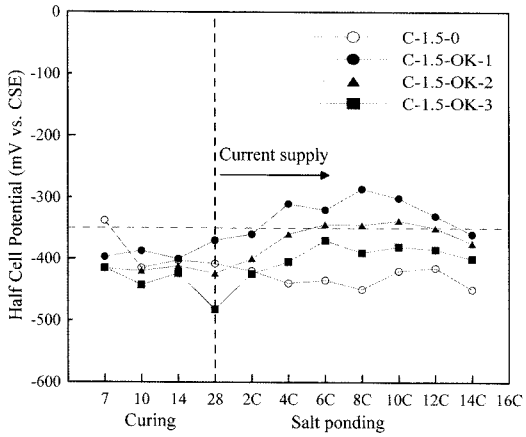


Fig. 11. Protection potential of steel area.

4.3. 콘크리트 중의 철근의 부식속도

콘크리트 중의 철근에 전기방식을 적용하여 방식효과를 알아보기 위하여 전원공급을 차단시킨 후 24~48시간 동안 방식전류를 안정시킨 후 14싸이클까지의 철근 부식 속도 값을 Fig. 12~14에 정리하여 나타내었다.

Fig. 12는 염분 혼입이 없고 균열의 유무에 따른 결과로써 균열이 있고 방식을 하지 않은 경우는 10싸이클에서 활성태영역 1 μA/cm^{2}을 넘고 있으며, 방식을 실시한 경우는 아직까지 활성태영역을 넘고 있지 않다. 또한, 균열이 없는 경우는 0.2~0.7 μA/cm^{2}의 값으로 대체적으로 안정적인 값을 나타내고 있다.

한편, 염분 혼입량의 변화에 따른 전기방식효과를 알아보기 위해서 염분량을 각각 변화시켜 부식촉진 시험을 실시하여 측정된 결과는 Fig. 13으로써 염분을 혼입

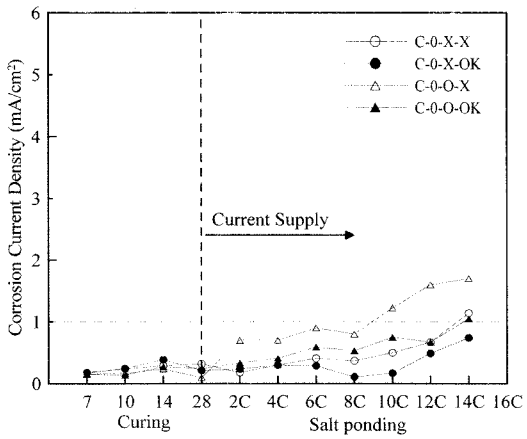


Fig. 12. Current density of steel in concrete.

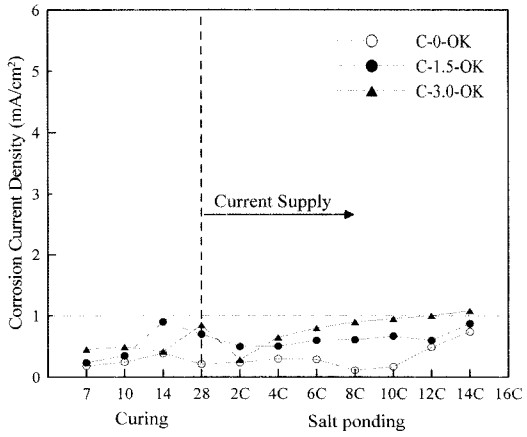


Fig. 13. Current density of steel in concrete.

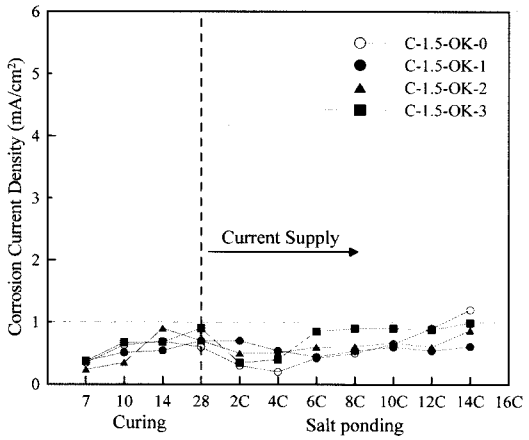


Fig. 14. Current density of steel in concrete.

한 경우 염분을 혼입하지 않은 경우 보다 매우 빠른 부식속도를 나타내고 있다. 이는 염화물 환경에서는 철근의 자연전위와 마찬가지로 부식이 초기재령에서부터 일어남을 알 수 있었다.

Fig. 14는 염분을 혼입하지 않고, 철근의 면적비에 따른 경우로써 철근의 면적비가 클수록 부식속도가 증가하며, 방식에 따른 효과는 미미하지만 부식속도가 다소 늦은 결과를 나타내고 있다.

5. 결 론

(1) 방식효과를 알아보기 위해서 실시한 복극량 시험결과 염분과 균열이 없는 경우 338 mV의 복극량을 얻었고, 균열이 있는 경우는 225 mV를 나타내었다. 균열이 없고 염분을 1.5% 혼입한 경우는 철근 면적에 따라 각각 310 mV, 280 mV 및 273 mV의 복극량을 얻었으며, 염분을 3.0% 혼입한 경우는 227 mV의 복극량을 얻어 대상 시험체 모두 NACE기준을 만족하였다.

(2) 콘크리트 중의 복극전위 값을 측정한 결과 균열이 없는 경우 부식촉진시험 초기에는 복극전위 값이 얼마간 떨어졌으나 거의 -300mV 정도를 유지하였으며 방식여부에 따라 큰 차이를 나타내지 않았으나, 균열이 있는 경우에는 부식촉진시험 초기부터 복극전위 값이 급격히 저하되었으며, 방식을 하지 않은 경우와 방식을 실시한 경우가 뚜렷이 구분됨을 알 수 있었다. 염분을 시멘트 중량에 1.5% 및 3.0% 혼입한 경우의 철근의 복극전위는 -380~410 mV 정도로 염화물 환경에서는 철근의 부식이 초기재령에서부터 일어남을 알 수 있었다.

(3) 염분을 혼입하지 않고 균열이 없는 시험체에는 0.2~0.7 μA/cm^{2}의 안정적인 값을 나타내었으나, 균열이 있는 경우는 10싸이클에서 활성태영역인 1 μA/cm^{2}을 넘고 있다. 또한, 염분을 혼입한 경우는 염분을 혼입하지 않은 경우 보다 매우 빠른 부식속도를 나타내고 있다. 이는 염화물 환경에서는 철근의 복극전위와 마찬가지로 부식이 초기재령에서부터 일어남을 알 수 있다.

참고문헌

1. 문한영, 김성수, 김홍삼, 2001: 우리나라 콘크리트 구조물의 철근 부식 현황, 한국콘크리트학회 학회지, Vol. 13, No. 5, pp. 58-63.
2. 문한영, 김성수, 김홍삼, 1997: 콘크리트 중의 철근부식 방지를 위한 외부전원법의 적용, 한국콘크리트학회 봄학술발표회 논문집, Vol. 9, No.1, pp. 197-202.
3. 문한영, 김성수, 김홍삼, 김종필, 2003: 콘크리트 중의 철근 방식을 위한 매설형 희생양극재의 효과에 대한 연구, 대한토목학회 논문집, 제 13권 24호, pp. 311-317.
4. 정영수, 문홍식, 이상국, 송호진, 2000: 염해환경하 철근콘크리트의 철근 부식 및 방식기법 연구, 한국콘크리트학회 2000년도 가을학술발표회 논문집, Vol. 13, No.1, pp. 653-658.
5. 松本典人, 2000: コンクリ-ト電氣防食法に關する最近の研究について, 文獻調査委員會, pp. 77-81.
6. 沿岸開發技術研究センタ-, 1987: 港灣構造物の劣化防止補修に關する調査報告書.
7. 日本コンクリ-ト工學協會, 1990: 海洋コンクリ-ト構造物の防食指針(案).
8. 川俣孝治, 峰松敏和, 川田秀夫, 1990: 電氣防食法による コンクリ-ト 構造物中の鋼材の防食, コンクリ-ト工學年次論文報告集, Vol. 12, No.1, pp. 511-516.
9. A. Bentur, S. Diamond, N. S. Berke, 1997: Steel Corrosion in Concrete, E&FN SPON, pp. 7-19.
10. British Standard 7361 Part 1, 1991: Cathodic Protection, p49-p53.
11. M. Makita, K. Takewaka, 1994: Application of Cathodic Protection for Reinforced Concrete Structure, The First KCI-JCI Seminar on Evaluation, Repair and Rehabilitation of Concrete Structures, pp. 93-106.
12. M. G. Fontana, 1986: Corrosion Engineering, 3rd, McGRAW-HILL, pp. 3-19, 295-304.
13. NACE, 1990: Standard Recommended Practice Cathodic Protection of Reinforcing Steel in Atmospherically Exposed Concrete Structures, NACE Standard RP 0290-90, 1990.
14. R. A. Gummon, 1986: Cathodic Protection A Critical Review of NACE Standard RP-01-69, Paper 343 Corrosion 86.

金 鍾 弼

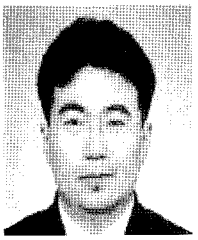
- 2005 한양대학교 토목공학과 공학박사
- 현재 부천대학 토목공학과 교수

朴 光 弼

- 2008 대진대학교 토목 · 환경공학과 박사수료

金 成 秀

- 1994 한양대학교 토목공학과 공학박사
- 현재 대진대학교 건설시스템공학과 교수



鄭 昊 燮

- 2004 한양대학교 토목공학과 공학박사
- 현재 한국건설기술연구원 선임연구원

李 承 泰

- 2003 한양대학교 토목공학과 공학박사
- 현재 군산대학교 토목공학과 교수