

해양콘크리트구조물의 부식 방지를 위한 고내구성 재료의 성능비교

Comparison of High-Durability Materials for Prevention of Corrosion in Marine Concrete Structures

이 동 근* 김 명 유* 양 은 익** 이 성 태*** 한 상 훈****
Lee, Dong Gun Kim, Myung Yu Yang, Eun Ik Yi, Seong Tae Han, Sang Hoon

ABSTRACT

The durability of reinforced concrete structures is severely degraded by mainly corrosion due to seawater attack and chloride ion diffusion in concrete. The deterioration of durability causes high repair cost for maintenance of marine concrete structure. In this paper, high-durability materials for prevention of rebar corrosion are investigated to promote the durability in marine concrete structures. For these, the effect of the mineral materials addition(SF, FA and BFS), the modified steel(stainless and coating steel), and corrosion inhibitors are compared.

1. 서론

해양 콘크리트구조물이 해양 환경 하에 오랜 기간 노출되는 경우 해수 중의 화학성분의 영향으로 내구성이 크게 저하되고, 심한 경우 균열이 발생하여 구조물로서 역할을 상실하게 된다. 또한, 이러한 내구성 저하는 동결 용해, 반복 건습 등의 작용으로 급격하게 진행되며, 염해에 의한 해양 구조물의 성능 저하는 보수 보강 및 유지 관리 비용의 증가를 초래한다.

따라서 본 연구는 광물질 혼화제가 콘크리트의 염화물 침투저항성에 미치는 영향을 비교하는 한편, 철근 및 스테인리스 봉강, 에폭시 코팅철근의 부식 저항특성을 비교하고 부식억제제 혼합에 따른 내부식성을 평가하는 등 해양 환경 하에 건설되는 콘크리트구조물에 사용할 수 있는 고내구성 재료의 성능을 비교 검토하여 해양콘크리트구조물에 사용할 수 있는 최적의 구조 재료를 제시하는데 목적이 있다.

2. 실험 개요

2.1 실험 변수 및 콘크리트 배합

본 연구에서는 해양콘크리트구조물에 대해 염해 피해를 최소화 할 수 있는 최적의 내구성 재료를 제시하기 위하여 표 1과 같은 실험 변수를 두었으며, 혼화제 혼입 및 철근 종류별 염해 저항성을 알아보기 위하여 표 2의 배합표를 사용하여 시험체를 제작하였다. 한편, 부식억제제 관련 배합은 표 3과 같다. 배합을 결정함에 있어서 단위수량에 대한 오차를 줄이기 위하여 배합설계 시 단위수량을 고정하여 설계하였다.

* 정회원, 강릉대학교 토목공학과 대학원생 ** 정회원, 강릉대학교 토목공학과 교수
*** 정회원, 충청대학교 토목공학과 교수 **** 정회원, 한국해양연구원 선임연구원

2.2 실험 내용

(1) 혼화재 혼입에 따른 침투 저항성 평가

혼화재 혼입에 따른 침투 저항성을 평가하기 위하여 RCPT 실험 후 질산은 변색법에 의해 측정된 침투 깊이를 통하여 Browne, Crank 및 Laylor가 제시한 식으로 확산계수를 결정하였다.

(2) 철근 종류에 따른 염해 저항성 평가

철근 종류에 따른 염해 저항성을 평가하기 위해 수용액 상태에서 전위차 촉진실험을 수행하여 중량 감소량을 파악하였다. 한편, 비파괴적인 부식 평가 방법인 분극저항을 측정하였는데, 일반 철근 및 코팅철근을 비교하는 경우 피복두께별로 슬래브 시편체를 제작하여 7일 반복 건습을 통한 분극저항을 측정하였으며, 일반철근 및 스테인리스 봉강의 비교 경우 전위차 촉진 시험을 수행 후 분극저항을 측정하였다.

(3) 부식억제제 혼입에 따른 성능 향상

콘크리트 구조물의 염해 성능을 높이기 위해 부식억제제를 배합에 첨가하는 것을 고려하여, 질산칼슘의 경우 시멘트 중량에 대해 0, 1, 2%, 아질산계열 방청제(시중제품)의 경우 0L/m³, 3L/m³, 5L/m³를 혼입하여 실험을 수행하였으며, 배합 후 부식억제제 혼입에 따른 초기 응결 특성을 파악하기 위하여 콘크리트 응결시간을 측정하였고, 응결 후 재령별 압축강도를 측정하여 비교 평가하였다.

3. 실험 결과 및 분석

3.1 혼화재 혼입에 따른 염해 저항성 평가

혼화재 혼입에 따른 염해 저항성 평가에 대한 결과를 그림 1에 나타내었다. 결과를 살펴보면 BFS 및 SF로 대체한 경우 확산계수가 상당 수준 감소였다. 이는 혼화재가 공극을 채워줌으로써 물리적 구속능력을 향상시킨 결과로 사료된다.

반면, FA 경우에는 OPC와 비슷한 수준의 확산계수를 보였는데, 이는 FA의 포졸란 반응 효과가 다른 혼화재 효과보다 늦기 때문으로 판단된다. 따라서 확산계수 저감을 위해 광물질 혼화재를 사용할 경우에는 BFS 및 SF의 적절한 대체가 염화물 침투 저항성을 높일 수 있는 것으로 판단된다.

3.2 철근 종류에 따른 염해 저항성 평가

(1) 수용액 상태에서의 철근 종류에 따른 부식성 평가

본 연구에서는 철근의 종류에 따른 부식성 평가가 수행되었는데, 콘크리트 타설 후 부식 실험에 앞서 철근 시편을 제작하여 염화물 용액에서의 전위차 부식 실험이 선행되었다. 그림 2는 중량 감소량을 토대로 부식속도를 계산한 것으로 보통철근 < 스테인리스강 > 에폭시 코팅철근의 순으로 나타났으며 특히, 에폭시 코팅철근의 부식속도가 가장 느린 것으로 나타났다.

표 1 실험변수

Item	W/C	Type	Measuring	Specimen
Admixture	50% 60%	FA(10%), BFS(30%), SF(10%)	Chloride diffusion coefficient	φ10*20
Inhibitor		Calcium nitrate -0%, 1%, 2% Nitrite inhibitor (NR1900) -0L/m ³ , 3L/m ³ , 5L/m ³	Setting time Compressive strength	φ10*20
Reinforcing bar	50%	Normal Stainless (STS304)	Polarization resistance I _{corr}	15*15*15
		Normal, Coating	Polarization resistance I _{corr}	Plate (10*20*30)

표 2 배합표 I

W/C (%)	Unit weight(kg/m ³)				AE (%)	SP (%)
	W	C	S	G		
50%	172.5	345	776	1021	0.005	0.3
60%	172.5	288	815	1030	0.01	0.4

표 3 배합표 II

W/C (%)	Unit weight(kg/m ³)				AE (%)	SP (%)
	W	C	S	G		
50%	175	350	765	948	0.01	0.3
60%	175	292	804	957	0.01	0.7

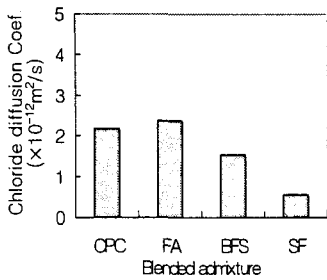


그림 1 혼화재 종류에 따른 확산계수

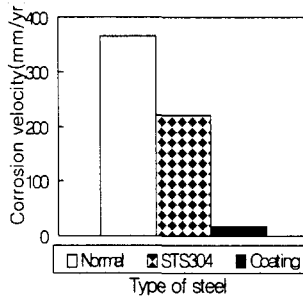


그림 2 철근 종류에 따른 부식 속도

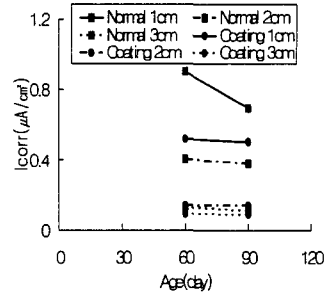


그림 3 피복두께별 부식 전류 속도

(2) 콘크리트 타설 시 강재의 코팅 유·무에 따른 염해 저항성

피복두께와 철근의 종류가 부식 저항성에 미치는 영향을 검토하고자, 해수를 사용하여 시험체 반복 건습을 병행하고 재령에 따른 분극 저항 값을 측정하였으며 그림 3은 재령에 따른 분극저항 값을 토대로 부식 전류 속도를 나타낸 것이다. 측정된 결과를 살펴보면, 현재 90일까지의 재령에서 피복두께 1cm의 두 철근 모두 부식이 발생하는 것으로 나타났으며, 보통 철근의 경우는 2cm의 경우에서도 부식이 진행하고 있는 것으로 측정되어, 코팅철근의 염해 저항성이 우수한 것으로 판명되었다.

(3) 콘크리트 타설 시 강재 종류에 따른 염해 저항성 평가

일반 철근 및 스테인리스 봉강의 내부식성을 알아보기 위해 전위차 촉진 부식 실험을 실시하였다. 동일한 전압으로 70시간 동안 전류를 흘린 후 분극저항을 측정한 결과를 토대로 그림 4의 부식 전류 밀도를 얻을 수 있었다. 결과에 따르면, 일반 철근에 비해 STS 304의 부식 전류 밀도는 매우 낮게 나타났다. 따라서 앞선 수용액 상태에서의 결과와 마찬가지로 스테인리스 강봉이 일반철근에 비해 염해 저항성이 우수한 것으로 판단된다.

3.3 부식억제제 혼입에 따른 성능 향상

(1) 부식억제제 혼입에 따른 응결 시간

부식억제제의 콘크리트 적용에 따른 콘크리트의 역학적 특성에 미치는 영향 여부를 판단하고자 응결 시험 결과를 그림 5 및 그림 6으로 나타내었으며, 그림결과에 따르면 각각의 W/C 에 대해서 동일하게 질산칼슘 혼입 시 응결 시간이 약 1시간 정도 빠른 것으로 판단된다.

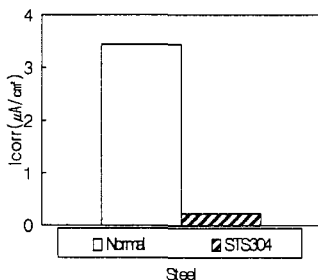


그림 4 일반 및 STS304 부식 전류 속도 비교

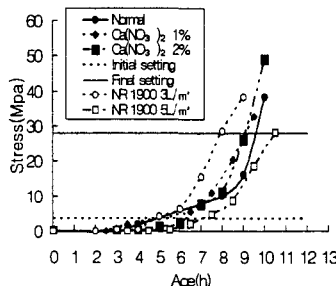


그림 5 부식억제제 혼입에 따른 응결특성(W/C 60%)

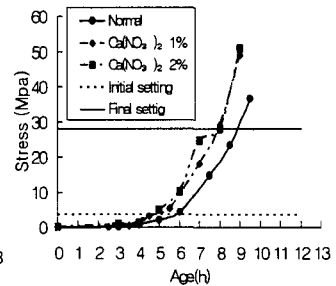


그림 6 부식억제제 혼입에 따른 응결 특성(W/C 50%)

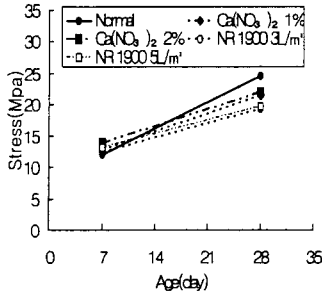


그림 7 부식억제제 혼입에 따른 압축강도 (W/C 60%)

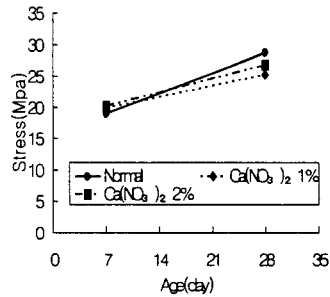


그림 8 부식억제제 혼입에 따른 압축강도 (W/C 50%)

(2) 부식억제제 혼입에 따른 압축 강도

그림 7 및 그림 8은 부식억제제 혼입에 따른 압축강도를 나타낸 그래프이다. 재령7일 압축강도의 경우 혼입량이 증가함에 따라 강도도 증가하는 것으로 나타났다. 이것은 부식억제제를 혼입함으로써 빠른 수화반응에 의해 강도발현이 빨리 나타나 강도가 증가한 것으로 판단된다. 한편 재령28일 압축강도의 경우에는 부식억제제 종류에 상관없이 모두 기준보다 작게 나타나는 경향을 보였다. 이에 대하여는 추후 장기재령에 대한 강도를 측정하여 보다 명확한 부식억제제 혼입에 따른 강도의 영향을 검토할 필요가 있을 것으로 판단되며, 부식억제제 첨가에 따른 부식저항성 평가는 진행 중에 있다

4. 실험 결과

해양 환경 하에 건설되는 콘크리트구조물에 사용할 수 있는 고내구성 재료를 검토하고 부식에 대한 내구성을 비교 분석 하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- 1) 부식저항을 높이기 위해서는 적절한 광물질 혼화제의 첨가가 효과적인 것으로 판단된다. 특히 고로슬래그 미분말과 실리카흄의 첨가가 바람직하다.
- 2) 일반철근에 비해 코팅철근 및 스테이리스 봉강의 내 부식성이 우수한 것으로 판단되며, 코팅철근이 가장 우수하였다.
- 3) 부식억제제 혼입에 따라 응결시간은 빨라지며 초기 압축강도 발현은 증가한다. 그러나 장기강도 발현에 대해서 검토가 필요한 것으로 판단된다.
- 4) 추후 부식억제제 혼입에 따른 부식 저항특성을 비교 평가하기 위한 실험이 실시 될 예정이다.

감사의 글

본 논문은 해양수산부 차세대 성장 동력 사업 “지능형 항만물류시스템 기술 개발”의 하이브리드 안벽구조물의 내구성 확보를 위한 최적 구조재료 개발 과제의 지원에 의해 연구되었습니다. 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고 문헌

1. 문한영, 김홍삼, 김진철, “해양환경하에 위치한 콘크리트 구조물의 내구성 저하”, 한국콘크리트학회 연구위원회 발표집, 2002, pp. 57~71
2. 배수호, 정영수, 하재담, “방청제를 사용한 콘크리트 성능 평가”, 대한토목학회 논문집, 2003.9, pp. 815~822
3. 양은익, 이성태, 김명유, 최윤석, 최성하, “염화물 확산 평가를 위한 전기적 실험법의 비교 연구”, 한국콘크리트학회 학술발표회 논문집(Vol.17 No.1), 2005, pp.257~260