

해양환경에 노출시킨 콘크리트의 내염성능 평가

An Experimental Study on the Salt Resistance Properties with Concrete Materials under Marine Environment

고 정 재* 김 영 웅** 김 동 철*** 신 도 철**** 김 상 용***** 변 대 봉*****
Ko, Jeong-Jae Kim, Young-Ung Kim, Dong-Chul Shin, Do-Chul Kim, Sang-Yong Byun, Dae-Bong

ABSTRACT

The factors influencing concrete deterioration in marine environment can be generally divided into the physical and chemical action. The physical attack due to drying and wetting would increase the internal stress of concrete. The chemical attack resulting from the diffusion of ions(i.e, Cl^- , SO_4^{2-} , Mg^{+}) from seawater through the pores in concrete. The objective of this study is to evaluate corrosion characteristics of steel when using the various concrete materials under marine exposure environment. After 3 years of exposure, concrete specimen incorporating 40% blast-furnace slag as replacement for type I cement with low w/c ratio of 0.42 and using the inhibitor shows excellent performance.

1. 서론

인천국제공항 1단계 건설공사에 사용된 콘크리트 재료조건과 균열특성이 콘크리트 염분침투와 철근부식에 미치는 영향을 검토하기 위해, 2000년 12월 인천국제공항 현장 인근의 조수간만대에서 옥외 폭로 시험을 진행하고 있으며, 본 연구에서는 옥외폭로시험 후 36개월이 경과된 콘크리트 시험편에 대하여 지금까지 주기적으로 진행되어온 콘크리트 경화체의 역학적 물성변화와 내부에 침투한 염분함량의 경시변화, 철근 부식상태 등에 대한 보다 정량적인 평가를 통해 1단계에 건설한 공항 구조물의 유지관리와 해양 콘크리트 구조물의 내구성 향상을 위한 기초자료로 삼고자 한다.

2. 실험개요 및 방법

2.1 사용 콘크리트의 배합조건

본 연구에서는 콘크리트 내염성 평가를 위하여 1단계 인천국제공항 건설사업의 내염설계 콘크리트 사용조건을 근간으로 사용하는 시멘트 종류와 혼화재료, 방청혼화제 첨가량 등을 주요 대상으로 검토하였다. 본 연구에서 검토한 실험인자와 검토수준은 표 1과 같으며, 콘크리트 각 사용재료조건별 내염성 평가를 위한 기본 배합규격은 1단계 공항건설 사업에서 지하구조물에 사용된 25-280-15 내염설계 배합을 대상으로 하였으며, 아울러 강도수준 (W/C비)에 따른 내염특성도 같이 비교하였다.

* 정회원, 인천국제공항공사 공항시설처장
*** 정회원, 인천국제공항공사 건설시험소 품질과장
***** 정회원, 쌍용양회공업(주) 레미콘품질기술팀장

** 정회원, 인천국제공항공사 건설시험소 소장
**** 정회원, 한국건설품질시험원 건재연구팀장
***** 정회원, 쌍용양회공업주 인천사업소장

2.2 시험 공시체 제작

해양의 옥외폭로대에 거치할 시험체의 제작은 3가지 형태로 제작하였다. 해양 폭로시간에 따른 염분 침투량의 경시변화를 평가하기 위해 염분침투가 일방향으로 일어나도록 각주형 공시체는 한면만을 노출시켰다. 균열발생에 따른 열화평가를 시험은 원주형 공시체 단면에 마이크로 균열경을 부착한 후 할렬인장으로 소요 균열폭이 되게 균열을 유발시킨 후 최초의 균열상태가 유지되도록 별도로 제작된 조임틀로 시험체를 고정시켰다. 해수 노출을 위한 균열면

2.3 옥외폭로 거치대

장기간에 걸친 옥외폭로시험을 위한 장소는 지속적인 건설작용이 반복되어 해수에 의한 열화가 가장 심한 부위인 인천국제공항 북측방조제 사면의 조수간만대에 위치하였다.

2.4 평가항목

침지재령 6, 12, 24, 36개월 경과 때 마다 시편을 수거하여 역학적인 특성(압축강도, 정탄성계수 변화)의 경시변화를 평가하였다. 콘크리트 내염성은 콘크리트 표면으로 부터의 깊이에 따른 수용성 염화물 이온 함량 분포를 통해 염분침투 저항성과 이온확산특성을 비교하였으며, 아울러 피복깊이에 따른 콘크리트 매입 철근의 부식상태와 균열주입에 따른 철근부식 및 염화물 이온침투량등을 같이 분석하였다. 해수 중의 염화물과 황산염 이온 및 각종 염류들의 영향에 따라 열화작용을 받는 콘크리트의 반응생성물과 경화체 미세조직 상태를 X-Ray Diffractionmeter(XRD, Philips Co., PW-1710)와 전자주사현미경(SEM)으로 분석하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 압축강도 및 정탄성계수

콘크리트 압축강도는 28일→6개월→12개월까지는 점진적으로 증가되는 것으로 나타났으나 12개월 후 부터는 염분에 의한 콘크리트 수화물의 침식과 각종 외기의 열화현상을 지속적으로 받아 강도증진이 종료되거나 감소되는 현상이 나타났다. 36개월 침지 후의 사용 시멘트 종류에 따른 콘크리트의 강도발현 특성은 거의 동일한 경향을 나타내며 최고정점 수준인 12개월 침지후의 강도수준과 비교할 때 24개월 옥외폭로 후에는 12개월 폭로 후의 압축강도 보다 약 8% 정도, 36개월에서는 더 이상 저감 없이 유지되는 것으로 나타났다. 슬래그 미분말 첨가량에 따른 영향은 폭로기간이 길어짐에 따라 슬래그 첨가량이 많은 조건이 강도저하가 작은 양호한 특성을 보여주고 있다. 압축강도 측면에서 슬래그 첨

표 1. 장기옥외 폭로시험을 위한 실험인자 및 수준

시험인자		시험수준
콘크리트 배합조건	시멘트 종류	보통(1종) 및 내황산염(5종) 시멘트
	강도수준	210, 280, 350 kg/cm ²
	방청제 사용량	0, 2, 4, 8 kg/m ³
	슬래그 첨가량	0, 25, 40, 60 %
철근 피복두께		3, 5, 8cm
균열유무		균열폭 : 0.1, 0.3 mm, 깊이 : 철근
염분환경 방치 기간		6개월, 1, 2, 3, 5 년

일부를 제외하고는 각주형 공시체와 같이 전면을 코팅한 후 폭로시험을 하였다. 이때 모든 시험체는 해양환경에 원 시험체 상태로 폭로시 장시간 후에는 각종 해양조류에 의한 오염과 공시체간의 충격축에 따른 손상우려가 있어 부직포(토목섬유)로 제작된 주머니에 넣어 밀봉한 후 옥외폭로대에 거치하였다.

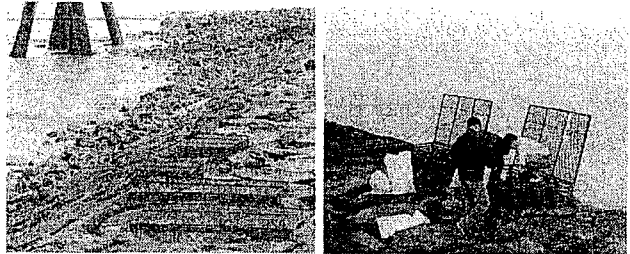


사진 1 옥외폭로시험대

사진 2 시험체 수거장면

가량은 25% 사용조건 보다는 40% 수준이 적정한 것으로 나타났다.

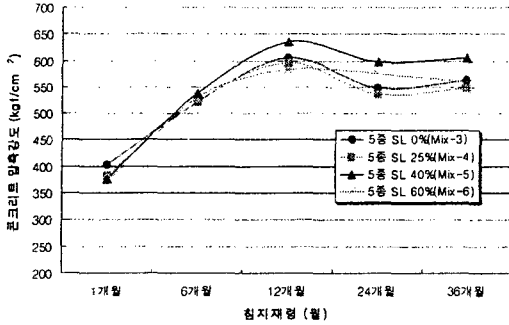


그림 3 5종 시멘트+슬래그 첨가량에 따른 강도변화

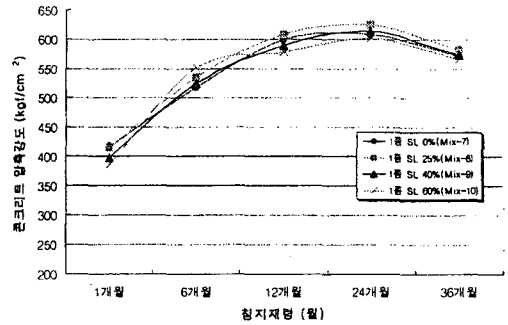


그림 4 1종 시멘트+슬래그 첨가량에 따른 강도변화

3.2 콘크리트 중의 염화물이온 침투량

각주형 공시체의 한면을 제외한 나머지 5개면을 코팅하여 해수와 접촉을 차단시키도록 공시체를 제조한 후 36개월간 해양 옥외폭로대에 침지시켰다. 해수 외에 접하는 면으로 부터 콘크리트 내부로 10mm간격으로 시험편을 cutting 한 후 염화물 함량을 분석하여 콘크리트 내부로 침투한 염화물 함량 분포를 각 콘크리트 조건에 따라 비교 평가하였다.

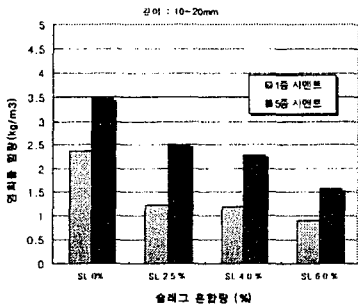


그림 5 깊이 10~20mm에서 Cl⁻함량

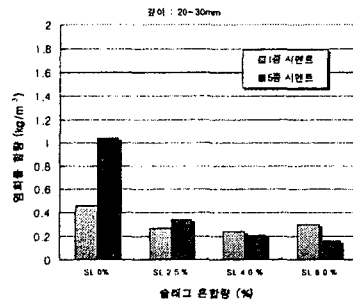


그림 6 깊이 20~30mm에서 Cl⁻함량

2.4(1종 시멘트)~3.5 kg/m³(5종 시멘트)으로 높는데 비해 슬래그를 첨가량 증가에 따라서 염화물 침투량은 0.9~1.6kg/m³ 수준으로 감소하는 경향을 나타내고 있다. 깊이 20~30mm 부위에서는 슬래그 무첨가 조건의 경우 염화물 이온 침투량이 임계부식 농도를 초과하는데 반해 슬래그 25% 첨가 조건에서 부터는 염화물 이온 침투저항성이 크게 증가하여 철근부식농도 이하를 나타내고 있었다.

1) 슬래그 첨가량과 사용 시멘트 종류(1종,5종)의 영향

그림 5,6에서와 같이 슬래그 첨가량에 따른 영향은 비교적 뚜렷한 경향을 나타내고 있으며, 슬래그 첨가량의 증가에 따라 내부의 염화물 침투함량이 직선적으로 감소하는 경향을 보여주고 있다. 깊이 10~20mm 부위에서는 슬래그 무첨가 수준의 염화물 함량이

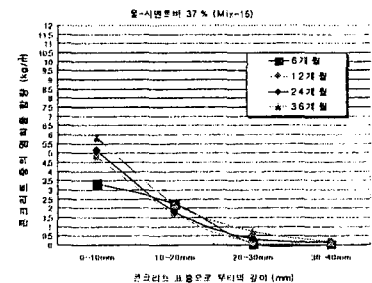
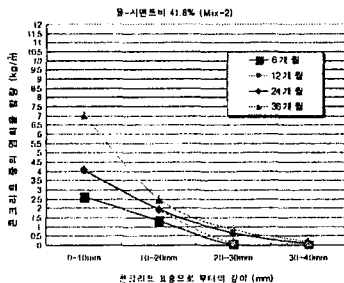
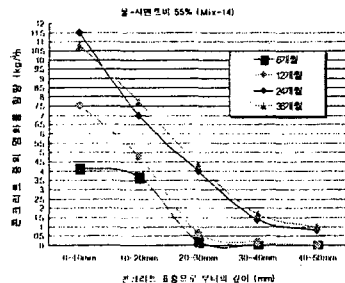


그림 7 물-시멘트비(W/C)에 따른 콘크리트 중의 염화물이온 침투량 변화

2) 물-시멘트비(W/C)에 따른 영향

그림 7에서와 같이 물-시멘트비 55%, 41.8%, 37% 로 하여 제조된 콘크리트에 대하여 콘크리트의 염화물 침투량을 분석한 결과 콘크리트 깊이에 따른 염화물 함량은 콘크리트의 W/C비가 55%로 높은 210 kg/cm²의 저장도 수준으로 갈수록 염분침투량이 크게 늘어나고 있으며, 기존의 내염설계 콘크리트 배합조건인 W/C 비 42%(설계기준강도 :280 kgf/cm²)와 달리 표면으로 부터 40~50mm 깊이에서도 약 1.0 kg/m³ 으로 부식임계 농도의 2배정도 높게 나타나고 있다.

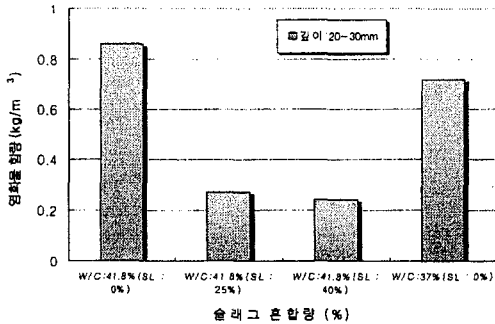


그림 8 W/C변화에 따른 Cl⁻ 침투량 변화특성

그림 8에서와 같이 20~30mm 깊이에서의 염화물 함량으로 동일 물-시멘트비 조건과 비교하였을 때, 슬래그 분말 혼입에 따라 염화물이온 침투 저항성은 크게 증가되며, 특히 물-시멘트비가 37%로 낮은 조건과 비교하였을 때 보다도 더 양호한 내염성을 가지는 것으로 나타나고 있어, 콘크리트의 내염성 증진은 물-시멘트비 저감과 아울러 사용 결합재료 측면에서 내염성이 좋은 혼합재를 같이 병용하는 것이 매우 효과적임을 알 수 있다.

3) 콘크리트 중의 철근상태 및 염화물이온 함량

균열이 없는 건전한 콘크리트에 매입한 철근(각주형 시편) 중 부식이 발생된 부위에 대한 염분함량 분석결과를 표 2에 나타내었다. 외부에서 침투한 염화물 이온에 의해 부식이 나타난 조건은 물-시멘트비는 41.8%로 낮지만 피복두께가 3cm로 얇고 내염설계가 적용이 안된 Mix-16,18 조건에서 철근 발청이 되었으나 동일한 피복두께로 내염설계 조건에서는 철근 부식이 나타나지 않았다. 피복두께가 5 cm로 비교적 깊지만 물-시멘트비가 55%로 높은 일반 콘크리트 배합조건(Mix-14)도 부식이 발생되었다. 철근의 부식이 일어난 부위에서의 콘크리트 염화물 함량은 약 1~ 1.5 kg/m³ 으로 모두 부식 임계농도를 2배 정도 초과하고 있으며, 특히 염화물 농도가 높을 수록 발청면적이 크게 나타나고 있어 염소이온 농도가 철근부식에 직접적으로 작용하는 것을 알 수 있다.

표 2 철근 부식발생 시험편의 부식면적 및 철근위치에서의 염화물이온함량

시험체 조건	Mix-14	Mix-16	Mix-18	Mix-20(5종), Mix-22(1종)
	W/C:55%, 피복 5cm	W/C:41.8%, 피복3cm, 일반배합 (5종 단독)	W/C:41.8%, 피복3cm, 일반배합 (1종 단독)	W/C:41.8%, 피복3cm, 내염설계 (슬래그25%+방청제)
염화물 함량	0.97 kg/m ³	1.49 kg/m ³	0.96 kg/m ³	0.59~0.32 kg/m ³
발청면적율	1.0 %	2.5 %	1.3 %	0 % (철근부식 없음)

4. 결론

2000년 12월에 현장의 옥외노출시험 거치대에 최초로 침지한 후 36개월이 경과된 후의 콘크리트 염분량은 24개월 재령때 보다 염분침투가 내부로 점차 진행되며, 이에따라 일부 콘크리트에서 철근부식과 압축강도의 하락이 나타나기 시작하였다. 콘크리트에 균열을 유발시킨 경우 균열시험편의 철근부식이 심화되어 내염설계 배합조건도 24개월 침지결과와는 달리 철근 부식이 나타나기 시작하였다. 따라서 앞으로 지속적인 옥외폭로시험 진행을 통해 해양환경하에서콘크리트의 사용재료 및 배합조건에 따른 염해특성에 대하여 보다 정확한 결과를 발표할 예정이다.

참고문헌

1. N.Barovsky, "Durability of Marine Structures-State-of the Art Review and Tendencies for FurtherInvestigation", Third CANMET/ACI Int.,Conference on Concrete in Marine,1996.