

# 염해와 동해를 받는 콘크리트의 내구성 평가실험

## The Experimental Study on the Durability of Concrete under Freezing & Thawing Action and Salt attack

이준구\* 박광수\*\* 조영권\*\*\* 김명원\* 김관호\*

Lee, Joon Gu Park, Kwang Su Cho, Young Kwon Kim, Meyong Won Kim, Kwan Ho

### ABSTRACT

Salt attack and freezing & thawing test, one of the combined deterioration tests was performed to explore the mechanism of concrete structure deterioration under marine environment. Simple submerging test was proceeded to draw out its diffusion factor with salt water at the same time. Some of the mechanisms were driven with using three types of cements and four kinds of salt water concentrations.

○ TBC was more durable than OPC or SRC for freezing and thawing action

○ The higher chloride concentration of salt water was, the faster relative dynamic elastic modulus decreased and the higher the loss of weight was.

○ The diffusion factor of TBC was smaller than those of TBC or SRC at simple submergence of concrete specimens into salt water.

### 1. 서론

해양환경에 노출된 콘크리트 구조물에 발생하는 열화는 염해, 동해, 중성화, 황산염해 등으로 대별될 수 있다. 물론 실 구조물에서는 이러한 열화현상이 개별로 발생되지 않고 복합적으로 작용하여 콘크리트구조물의 열화를 가져온다. 실내축진실험을 통하여 콘크리트의 단일열화에 대한 저항성 등을 평가함으로써 내구성을 예측하곤 하지만 실제 구조물의 열화작용과는 차이가 발생할 수 밖에 없다. 따라서 최근 두 가지 이상의 단일열화작용이 동시에 발생하는 복합열화에 대한 저항성 등을 평가함으로써 보다 현실에 가까운 내구성 예측을 수행하는 추세다. 본 연구에서는 해양환경에 노출된 콘크리트 구조물에 발생하는 열화작용으로 염해와 동해를 동시에 받는 구조물환경을 실내축진실험으로 묘사하여 단일 열화모드와 비교분석하였다. 또한 실험대상 시멘트를 보통포틀랜드 시멘트(OPC), 삼성분계시멘트(TBC), 내황산염 시멘트(SRC)로 하여 서로를 비교분석하였다.

### 2. 실험개요 및 사용재료

#### 2.1 실험개요

동결융해와 염해의 복합내구성 실험은 각주형 시험체를 스테인레스 재질의 케이스에 넣어 염수(0, 3.6, 6, 10%)를 채워 챔버내에 설치하고 기냉수중융해를 반복하였다. 복합열화와 단일열화를 비교하기 위해 단순염수침투를 병행하였다. 각주형 시험체는 양 측면 두면을 제외하고는 전면을 도장재로 코팅 처리하여 염분침투를 차단하였다. 염수의 동결과 융해를 위해 일일 2사이클의 주기로 동결융해를 반복하였다(KS F 2456). 상대동탄성계수와 중량을 측정하여 열화의 진행정도를 측정하였다. 단순침투 시험체의 염분침투 정도는 JCI부식방식연구위원회에서 정한 「콘크리트 구조물의 부식·방식시험방법기준(JCI-SC)」에 따라 측정하였다. 표면에서부터 채취한 분말시료(40g)에 50℃인 200cc의 증류수를 가하여 교반시킨 후 여과지를 통해 수용액을 추출하여 전기전도도 측정장치(EC-meter)를 이용하여 전도도를 측정하여 염분농도로 환산하였다.

\* 정회원, 농업기반공사 농어촌연구원 주임연구원  
\*\* 정회원, 농업기반공사 농어촌연구원 수석연구원  
\*\*\* 정회원, 농업기반공사 농어촌연구원 책임연구원

## 2.2 사용재료

시멘트는 보통포틀랜드시멘트(OPC), 삼성분계시멘트(TBC), 내황산염시멘트(SRC)를 사용하였으며 그 품질시험결과는 표1과 같다. 골재는 잔골재로 하천사와 육상사의 혼합사를, 굵은골재로 25mm 쇄석을 사용하였으며, 그 품질시험 결과는 표2와 같다. 콘크리트 배합비는 표3과 같으며, 고성능AE감수제를 사용하였는데, 공기량과 목표슬럼프를 동시에 맞추기 위해 AE제를 별도로 계량하여 사용하였다.

표 1 시멘트 품질시험 성적표

시험항목 구분	물리적 성능								수화열	화학성분			시멘트 종류	
	비중	분말도		응결시간		압축강도				미소열 량계 (72hr)	산화마 그네슘	삼산 화황		강열 감량
		Blaine	BET	초결 분	종결 시간	3일 MPa	7일 MPa	28일 MPa	91일 MPa					
단위	-	cm <sup>2</sup> /g	m <sup>2</sup> /g	분	시간	MPa	MPa	MPa	MPa	cal/g	%	%	%	-
성적	2.80	4,636	1.8	295	9.16	26.7	37.7	41.8	42.7	45.56	2.90	2.02	1.50	TBC
성적	3.12	3,340	1.2	285	10.27	33.0	33.8	41.4	45.6	77.17	2.71	2.50	1.17	OPC
성적	3.21	3,426	-	302	10.40	25.5	29.0	40.2	42.2	49.54	1.97	1.46	0.86	SRC

표 2 골재 품질시험 성적표

구분	굵은골재 최대치수	비중	흡수율 (%)	단위용적중량 (kgf/m <sup>3</sup> )		No.200체통과율 (%)	조립율 F.M.	마모율 (%)
				호트러진상태	다진상태			
잔골재	-	2.60	1.14	1,411	1,578	2.61	2.32	-
굵은골재	25mm	2.61	0.95	1,308	1,463	-	7.14	6.6

표 3 콘크리트배합설계표

시험번호	물/시멘 트비 W/C (%)	굵은골 재최대 치수 (mm)	슬럼프 의 범위 (mm)	공기량 의 범위 (%)	잔골재율 s/a (%)	단 위 량 (kg/m <sup>3</sup> )					
						물 W	시멘트 C	잔골재 S	굵은 골재 G	혼화제	
										고성능AE감수 제,AE감수제 (kg)	AE제 (g)
TBC-41.5	41.9	25	21±3.0	5±1.5	44.9	160	382.0	761.0	933.0	4.20	91.68
OPC-41.0	41.0	25	15±3.0	5±1.5	45.0	161	393.0	774.0	975.0	5.895	-
SRC-41.0	41.0	25	15±3.0	5±1.5	45.0	161	393.0	774.0	975.0	5.895	-

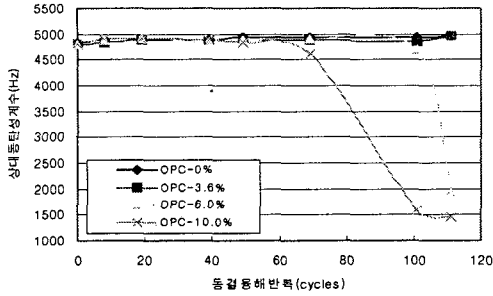
## 3. 염해와 동해

### 3.1 해수중의 동해

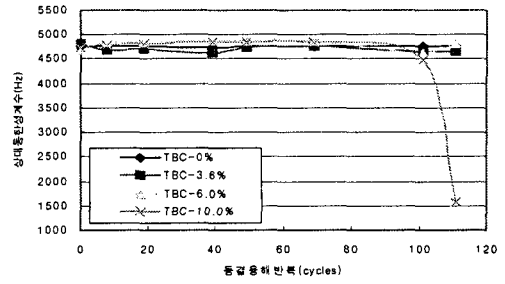
해수중에서 동해를 받는 콘크리트를 재현하는 실내복합내구성 실험에서 < 그림 1 >과 같이 동결융해를 반복함에 따라 상대동탄성계수가 점차 떨어지는 경향을 관찰할 수 있다. 세 종류의 시멘트를 사용한 콘크리트의 해수중에서의 동해저항성은 OPC나 SRC에 비해 TBC가 높은 것으로 관찰되었다. 10% 농도의 염수에서 OPC와 SRC가 69사이클에서 상대동탄성계수가 60%이하로 떨어지는 반면 TBC는 101사이클에서 60%이하로 떨어지는 것을 관찰할 수 있다. 또한 염수의 농도에 따른 콘크리트의 동해 저항성은 해수의 농도와 동일한 3.6%까지는 111사이클까지 상대동탄성계수가 떨어지는 모습이 관찰되지 않고 있는 반면 염수농도 6.0%와 10.0%에서는 TBC를 제외하고 상대동탄성계수가 60%이하로 떨어지는 것으로 관찰되었다.

해수중에서 동해를 받는 콘크리트의 중량변화를 실험한 결과 < 그림 2 >와 같이 동결융해가 거듭될수록 중량이 감소하는 경향을 보이고 있다. 동해와 염해의 복합내구성실험에서 깊이에 따른 염분농도 프로파일을 측정할 수 없는 까닭은 시험체의 표면에서부터 미세한 균열이 발생되고 점차 모르타르부

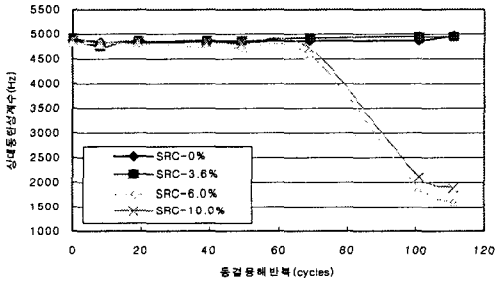
분부터 탈락되어 마침내 굵은골재까지 탈락되기에 이르기 때문이다. 중량의 변화곡선에서 초기에는 수화가 계속되는 이유에서 중량이 약간 증가하는 경향을 보이지만 10사이클이후부터는 감소하기 시작한다. 중량의 감소는 OPC보다 SRC와 TBC에서 일찍 시작되는 것을 관찰할 수 있었다.



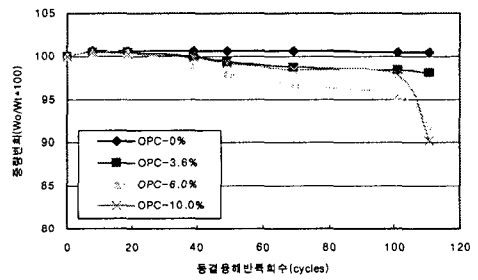
(a) OPC



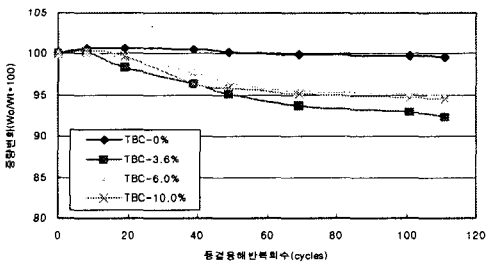
(b) TBC



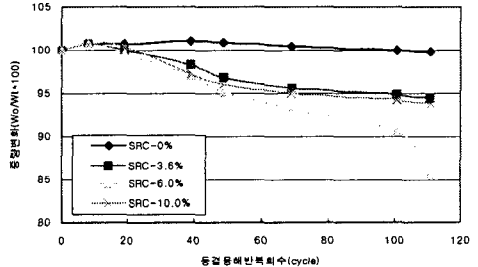
(c) SRC



(d) OPC



(e) TBC



(f) SRC

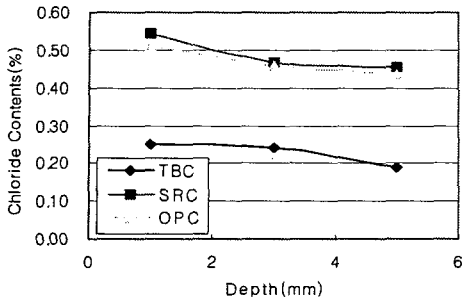
그림 1 염분농도별 염해와동해에 의한 상대동탄성계수의 변화 ((a)~(c))

그림 2 염분농도별 염해와동해에 의한 중량변화 ((d)~(f))

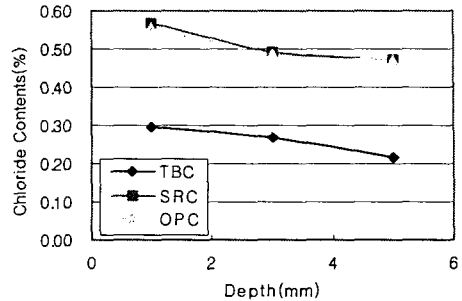
### 3.2 염수에 단순침지

콘크리트의 염해는 염분농도가 콘크리트내부 철근위치에서 부식임계농도에 이르렀을 때 시작된다. 즉, 언제 이 농도에 이를 것인가를 예측하는 것이 내구성 예측 기법이 된다. 염분의 침투에 가장 큰 영향을 미치는 것이 콘크리트의 염분확산계수이다. 이는 콘크리트의 조직의 치밀한 정도와 화학적 반응 등에 의해 결정되는 콘크리트의 물리적 상수라 할 수 있는데 본 연구에서는 이 상수를 예측하기

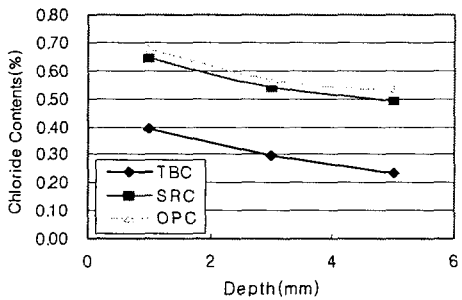
위해 단순침지를 실시하여 깊이별 염분농도 프로파일을 얻어 이를 < 그림 3 >에 도시하였다. 확산을 가장 잘 설명해주는 Fick의 확산제2법칙으로 확산계수를 역산해 낼 수 있다. < 그림 4 >는 TBC가 OPC나 SRC보다 낮은 염분농도를 갖으며 이는 확산계수 역시 작음을 나타낸다.



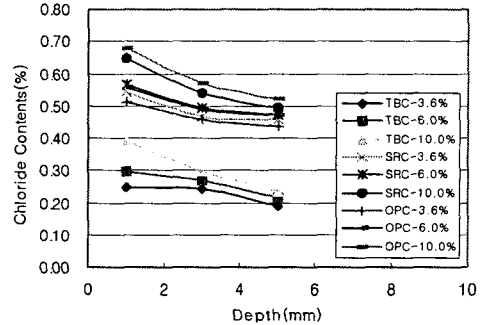
(a) 3.6%



(b) 6.0%



(c) 10.0%



(d) OPC, SRC, TBC

그림 3 염수농도별 깊이에 따른 염분농도 변화 ((a)~(c))

그림 4 시멘트의 종류별 염화물량의 깊이에 따른 프로파일 (d)

#### 4. 결 론

해양환경에서 콘크리트 구조물의 열화메카니즘을 규명하고자 염해와 동해의 복합열화 내구성 실험을 실시하고, 단순염수침지실험을 통하여 확산계수를 산정하였다. 세 종류의 시멘트를 사용하고, 네 가지 농도의 염수를 사용하여 복합열화 메카니즘을 규명하였다.

○ 염수 중에서 TBC가 OPC나 SRC보다 동해저항성이 높은 것으로 나타났다.

○ 염수의 농도가 높을수록 동결융해의 반복에 따라 상대동탄성계수가 빨리 떨어지며, 중량의 감소도 큰 것으로 나타났다.

○ 단순염수침지에서 TBC가 OPC나 SRC보다 낮은 염분농도를 보였으며, 이는 확산계수가 작음을 나타낸다.

#### 참 고 문 헌

1. Tarek Uddin Mohammed, Hibenori Hamada, and Toru Yamaji, Concrete After 30 Years of Exposure-Part 1 : Mineralogy, Microstructures, and Interfaces, ACI Materials Journal, V.101, No.1, 2004, pp. 3-12