

해수동결융해작용에 의한 콘크리트의 표면열화에 관한 연구

A Study on the Concrete Scaling Deterioration due to Freezing and Thawing of Sea Water

김 규용* 박 주현** 김 규동*** 이 승훈****
Kim, Gyu Yong Park, Joo Houn Kim, Gyu Dong Lee, Seung Hoon

ABSTRACT

Scaling deterioration of port concrete structures due to the combined effects of chemical actions by seawater and the freeze-thaw action is also a problem which has not yet been fundamentally solved. Furthermore, deterioration of concrete surface was considered as accelerate factor of concrete durability tended to decrease.

Therefore, we considered the scaling measuring method and decreasing influence of durability of concrete according to kind of binders, such as OPC, Slag, Slag+Fa, due to freeze and thaw of sea water. As a results of this study, it was effective method of scaling deterioration of concrete, and confirmed the salt deterioration resistance effect to use slag binder against to sea water.

1. 서론

해수의 작용을 받는 콘크리트가 일반 콘크리트와 환경조건에서 다른 점은 외부로부터 염분의 침투 및 확산작용, 파랑(波浪) 등에 의한 마모작용 또는 해수에 의한 건습반복작용, 지역에 따라 해수에 의한 동결융해작용을 받는 복합적 열화환경조건에 있다는 것이다. 따라서 실제의 해양콘크리트구조물은 이러한 복합열화요인이 가중되어 일반적인 염화물확산속도에 의해 얻어지는 내구수명보다 현저히 짧아지는 경우도 많다. 이는 해수작용, 비말의 건습, 동결융해 등의 열화용력이 가중되어 콘크리트 표면 구조를 파괴하면서 열화의 상승작용을 일으키기 때문으로 사료되나, 실해양환경에서와 같은 열화환경 조건을 고려한 내구성평가 연구는 그의 환경설정부터가 매우 어려우며, 이에 대한 연구보고도 국내에서는 거의 없는 실정이다.

이에 대하여 본 연구에서는 해양환경에서와 같이 염화물의 침투와 비말의 건습작용, 동결융해 작용 등과 같이 해수작용에 의한 콘크리트의 표면열화(Scaling Deterioration)로부터 내구성저하의 가속화 연구 및 복합열화에 대한 연구의 일환으로 결합재의 종류별 콘크리트에 대하여 해수의 동결융해 작용에 의한 콘크리트의 내동해성과 표면열화성상을 평가한 것이다.

* 정회원, 삼성건설 기술연구소 선임연구원
** 정회원, 삼성건설 기술연구소 연구원
*** 정회원, 삼성건설 기술연구소 전임연구원
**** 정회원, 삼성건설 기술연구소 수석연구원

2. 연구의 개요 및 방법

본 연구의 내용은 그림 1 연구의 프로세스에 나타난 바와 같이 해양콘크리트의 복합환경조건에서 내구성평가 연구의 일환으로 해수의 동결작용에 대한 콘크리트의 내동해성과 표면열화성상에 미치는 영향을 검토하고자 하였다. 이를 위한 실험요인으로서 표준동결융해시험에서의 동결수를 수도수와 해수수로 하고, 결합재를 OPC, Slag, 3성분계(슬래그+플라이애쉬)로 구성된 콘크리트 시험체에 대하여 내동해성과 표면열화 성상을 평가하였다.

본 연구에서 사용한 재료서는 시멘트는 1종 보통시멘트, 결합재로서는 슬래그와 플라이애시, 골재는 갠자갈로서 비중2.62, 흡수율 0.82, 세척사로서 비중2.58의 것을 사용하였으며, 혼화제는 나프탈렌계의 고성능감수제와 AE제를 사용하였다. 또한, 콘크리트의 동결융해 작용에 의한 내동해성 평가를 위한 시험방법은 KS F 2456(급속동결융해에 대한 콘크리트의 저항성 시험법)에 준하여 실시하고, 동결수로써 각각 수도수와 NaCl에 의한 염화물 농도 3.5%의 해수를 적용하였다.

콘크리트의 배합과 성상은 표1에 나타난 바와 같이, 물결합재비 42, 47%에서 각각 결합재의 종류별로 OPC, 슬래그 50%, 슬래그35% 및 플라이애시 15%에 의한 콘크리트 배합을 구성하였다. 각 콘크리트의 초기물성치로서는 슬럼프 18~20cm, 공기량 3.5~5.0%의 범위에서 확보하고, 재령 28일의 압축강도는 결합재의 종류별로 OPC>슬래그>3성분계의 순으로 약간 차이를 보이고 있지만, 각 물결합재비 42%에서 430~450kg/cm², 47%에서 390~410kg/cm²로 유사한 수준의 강도 발현수준이다.

3. 실험결과

그림2는 OPC콘크리트에 대하여 동결수를 수도수와 해수의 동결작용에 의한 중량감소를 나타낸 것으로 해수의 동결에 의한 중량손실이 크게 나타나고 있다. 이는 염화물에 의해 콘크리트의 수분이 동

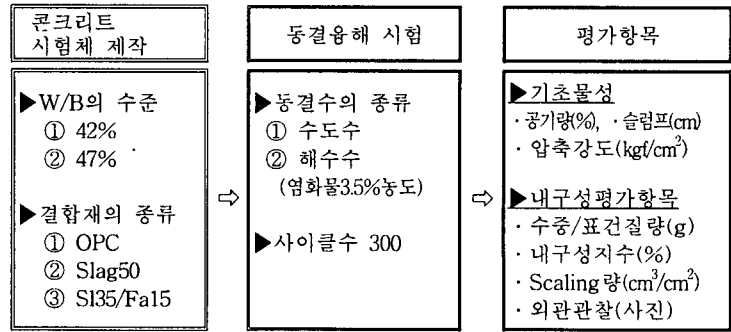


그림 1. 연구의 프로세스

표 1 콘크리트의 배합과 성상

배합구분	W/B (%)	s/a (%)	단위 수량 (kg/m ³)	단위 질량(kg/m ³)						혼화제 (B×%)		슬럼프 (cm)	공기량 (%)	28일 강도 (kgf/cm ²)	동결수
				B	C	Fa	S	F·A	C·A	SP	AE				
42OPC	42	45	168	400	400	-	-	784	973	0.70	0.015	19.0	4.7	451	수도수
42Slag50					200	-	200	780	969	0.50	0.014	20.0	4.2	445	해수수
42SI35Fa15					200	60	140	773	959	0.45	0.014	18.0	3.5	439	해수수
47OPC	47	47	168	357	357	-	-	835	956	0.60	0.013	18.5	4.7	408	수도수
47Slag50					179	-	178	832	953	0.40	0.011	20.0	4.9	391	해수수
47SI35Fa15					179	54	125	825	945	0.40	0.012	20.0	4.5	396	해수수

B:Binder, C:Cement, Fa:Flyash, S:Slag, F·A: Fine Aggregate, C·A: Coarse Aggregate
SP:High Water Reducing Agent, AE: Air Entrainnig Agent

결핵창하는 응력과 침투압이 크기 때문에 사료 된다.

그림 3은 수도수와 해수의 동결융해 작용에 의한 상대동탄성계수의 변화를 나타낸 것이다. 물결합재비42% OPC 수도수의 경우 상대동탄성계수가 약75%임을 제외한 각 콘크리트의 시험체에서 95%이상의 상대동탄성계수치를 보였다. 한편, 그림3에서 화살표의 시점부터는 콘크리트 표면스케일링이 과도하여 1차공명진동수의 측정이 불가하였으나, 동결융해 작용에 의한 콘크리트의 내동해성은 상당한 내구성을 확보하고 있는 것으로 평가된다.

그림 4는 각 결합재의 종류와 물결합재비에서의 스케일링량을 나타낸 것이다. 콘크리트의 결합재에 따른 스케일링량은 수도수에 의한 OPC콘크리트에 비하여 해수에 의한 경우 각각 슬래그<3 성분계<OPC의 순으로 크게 나타나, 슬래그와 3 성분계 콘크리트가 OPC콘크리트에 비해 상대적으로 스케일링열화 저항성이 크다고 평가된다.

한편, 물결합재비에서는 OPC 콘크리트의 경우 47%보다 42%에서 스케일링량이 크게 된 반면, 슬래그와 3성분계의 경우에는 반대로 42%보다 47%에서 스케일링량이 크게 나타나 물결합재비에 대한 OPC콘크리트와 슬래그와 3성분계를 사용한 콘크리트의 미세구조에 대하여 보다 심도 있는 연구가 필요한 것으로 사료된다.

콘크리트 스케일링 량(cm^3/cm^2)은 식(1),(2)와 같이 계산하였다.

$$V_{sn} = \frac{(V_o - V_n)}{A} \quad (1)$$

V_{sn} : n사이클에서 스케일링 량(cm^3/cm^2)
 V_o : 동결융해시험 개시점의 시험체 용적(cm^3)
 V_n : n사이클에서의 시험체 용적(cm^3)
 A : 동결융해시험 개시점의 시험체 표면적(cm^2)

$$V_n = (W_n - W_{wn}) \times \rho_w \quad (2)$$

V_n : n사이클에서 시험체의 용적 (cm^3)
 W_n : n사이클에서 시험체의 표건질량(g)
 W_{wn} : n사이클에서 시험체의 수중질량(g)
 ρ_w : 물의 비중

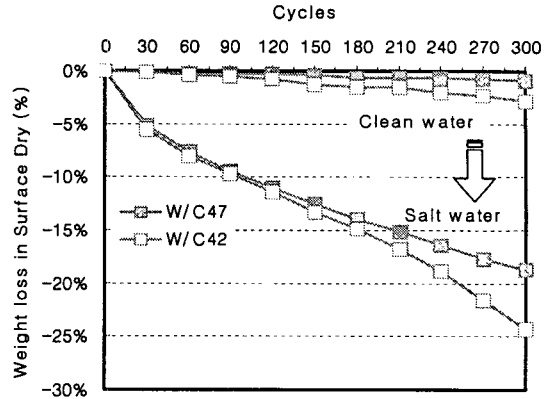


그림 2 OPC콘크리트의 수도수 및 해수동결에 의한 중량감소

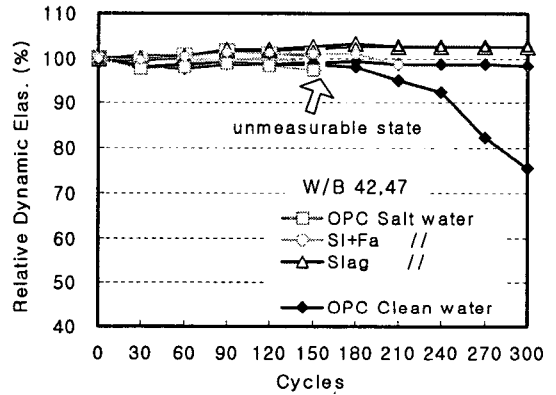


그림 3 상대동탄성계수의 변화

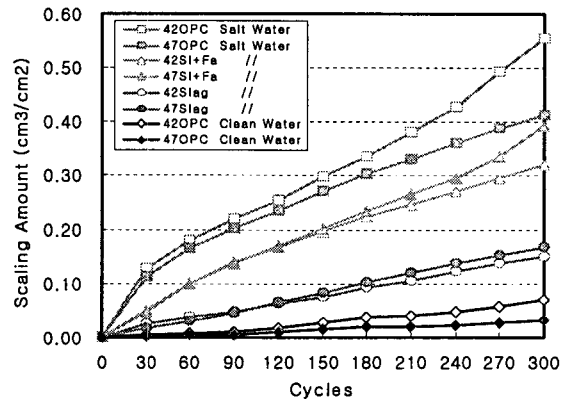


그림 4 각 결합재별 수도수와 해수의 동결융해 작용에 의한 스케일링량의 변화

표 2 동결수의 동결융해작용에 의한 콘크리트 표면열화상태

Cycles 배합	Init.	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
42OPC 수도수 동결융해											
42OPC 해수 동결융해											

표 2, 3에서 나타낸 바와 같이 콘크리트 Scaling량을 정량적으로 측정된 결과와 Scaling 성상을 단계적으로 분류하였다. 콘크리트의 표면열화 성상은 크게 수도수에 의한 OPC콘크리트의 경우 모르터 부분만 약간의 Scaling이 나타났으나, 해수에 의한 OPC콘크리트는 골재의 과다한 노출과 단면결손까지 심하게 열화되었다.

이와 같이 콘크리트 표면의 열화는 Scaling량의 증가에 따라 모르터표면 Scaling<골재노출<골재과다노출<단면결손<파손의 순서와 같이 열화된다.

표 3 동결융해작용에 의한 표면열화 단계구분

		Scaling 량 (cm ³ /cm ²)				
단계구분		I 단계	II 단계	III 단계	IV 단계	V 단계
Scaling량 기준시험체		0~0.1	0.1~0.2	0.2~0.3	0.3~0.4	0.4이상
		-표면전전	-모르터표면 약손상	-모르터손상 -골재노출	-전면골재노출 -우각부손상	-단면결손 -단면파단

4. 결론

- 1) 수중중량과 표건중량에 의한 콘크리트의 스케일링량을 정량적으로 측정하였으며 내구성평가방법으로서 유효하다. 아울러 스케일링량에 따른 표면열화성상을 단계적으로 나타내었다. 또한, 복합열화 조건에 의한 콘크리트 표면열화에 대하여 지속적인 연구가 요구된다.
- 2) 해수의 동결융해작용에 대하여 OPC콘크리트의 열화현상이 뚜렷하였으나 슬래그의 사용에 의해 표면열화가 억제됨이 확인되었다.

참고문헌

- 1 湯淺 昇 外3人, “若材齡から乾燥を受けたコンクリートの耐凍結融解性”, 日本建築学会 構造系論文集, 第526号, pp.9~16, 1999年12月.
- 2 竹田宣典, 十河茂幸 “凍害と塩害の複合劣化作用がコンクリートの耐久性に及ぼす影響”, 콘크리트工学年次論文集, Vol.23, No.2, pp.427~432, 2001.