

해수를 사용한 혼합시멘트계 콘크리트의 동결융해 저항성 및 공극특성

Freeze-Thaw Resistance and Void Characteristic of Blended Cement Concrete using Seawater

김 성 수*
Kim, Seong Soo

이 승 태**
Seung, Tae Lee

정 호 섭***
Jung, Ho Seop

박 광 필***
Park, Kwang Pil

ABSTRACT

The durability of concrete involves resistance to freeze-thaw action, corrosion, permeation, carbonation, chemical attack and so on. Generally, properties of concrete have been well understood under the separate action of these deterioration mechanisms. However, in practice, the degradation of concrete usually is the result of combined action of physical and chemical attack and can be accelerated by the combined action of several deterioration mechanisms. In the present study, to evaluate the combined deterioration by freeze-thaw action and seawater attack, ground granulated blast-furnace slag or silica fume concrete with water or seawater as mixing water was exposed to 300 cycles of freeze-thaw action. Tests were conducted to determine the relative dynamic modulus of elasticity and compressive strength. Furthermore, The MIP analysis were performed on the deteriorated part of concrete due to freeze-thaw action and seawater attack.

1. 서론

콘크리트는 철강재와 더불어 건설 재료로 가장 많이 사용되는 구조 재료이다. 그러나 이러한 콘크리트 구조물은 유해 환경에 장시간 노출되면 성능이 저하되고 구조 재료로서의 역할을 못하게 된다. 특히 우리나라와 같은 3면이 바다인 지형의 콘크리트 구조물의 바닷물에 의한 염해뿐만 아니라 동해와 같은 또 다른 요인에 의한 복합적인 저하를 일으키게 된다. 하지만, 두 가지 이상의 복합적인 요인에 의한 콘크리트의 성능저하 메카니즘의 규명 및 이들에 관련한 연구성과는 그리 많지 않은 실정이다.

해양환경에 건설된 콘크리트 구조물의 성능저하 요인에는 해상의 파력, 조력 및 동결융해작용 등의 물리적요인과 해수 중의 염소이온, 나트륨이온, 황산염이온, 마그네슘이온 등의 염류들이 시멘트수화물과의 반응하여 생긴 반응생성물에 의한 화학적 요인으로 크게 나눌 수 있다. 특히, 겨울철 해양환경에 노출된 콘크리트 구조물은 동결융해작용 뿐만 아니라 해수침식에 의한 성능저하도 발생하기 때문

* 정회원, 대진대학교 토목공학과 교수

** 정회원, 군산대학교 토목공학과 교수

*** 정회원, 한국건설기술연구원 선임연구원

**** 정회원, 대진대학교 토목공학과 박사과정

에 2종류의 침식요인에 대하여 모두 고려할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 동결융해작용 및 해수침식에 의한 콘크리트의 성능저하 정도를 평가할 목적으로 담수 및 해수를 배합수로 사용한 6종류의 콘크리트를 제조하여 ASTM C 666방법에 준하여 동결융해 저항성실험을 실시하였다. 또 동결융해작용 및 해수침식에 의한 콘크리트의 공극분포를 알아보기 위하여 MIP분석을 실시하여 콘크리트의 성능저하 원인에 대하여 고찰하였다.

2. 실험개요

2.1 사용재료

(1) 시멘트 및 광물질혼화재 : 보통포틀랜드시멘트(이하 OPC로 약함) 및 고로슬래그미분말(이하 SG로 약함)과 실리카흄(이하 SF로 약함)을 사용하였으며, 화학성분 및 물리적 성질은 표 1과 같다.

표 1. 시멘트 및 광물질혼화재의 화학성분 및 물리적 성질

Items Types	Chemical composition (%)						Ig.loss (%)	Spedific gravity	Fineness (cm ² /g)
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃			
OPC	21.95	6.59	2.81	60.1	3.32	2.11	2.58	3.15	3,112
SG	33.5	14.5	0.67	41.7	5.38	2.70	0.09	2.92	4,450
SF	91.2	1.3	0.8	0.7	0.3	-	2.3	2.20	204,700

(2) 골재 및 화학혼화재 : 골재는 비중 2.60, 조립율 2.8인 잔골재와 최대치수 25mm인 굵은 골재를 사용하였으며, 단위수량 저감과 연행공기를 발생시키기 위하여 비중 1.09±0.02의 리그닌계 AE감수제를 사용하였다.

(3) 배합수 : 콘크리트 제조에 사용된 배합수는 담수 및 인공해수(이하 해수로 약함)를 사용하였으며, 인공해수는 ASTM D 1141에 준하여 Table 2와 같이 제조하였다.

표 2. 인공해수 제조(g/l, ASTM D 1141)

NaCl	MgCl ₂ · 6H ₂ O	Na ₂ SO ₄	CaCl ₂	KCl
25.43	5.20	4.09	1.16	0.69

2.2 콘크리트의 제작 및 배합

6종류의 콘크리트 공시체(ψ10×20 cm)를 제작하였으며, 콘크리트 배합은 표 3과 같다.

표 3. 실험에 사용된 콘크리트 배합표

Items Types	Mixing water	G _{MAX} (mm)	Slump (cm)	Air (%)	W/B (%)	S/a (%)	Unite weight (kg/m ³)						Agent (B×%)
							W	C	SG	SF	S	G	
OPC	Water	25	15±1	4.5±0.5	45	42	187	416	-	-	695	985	0.15
OPC-SW	Seawater						187	208	208	-	689	977	
SG	Water						187	374	-	689	689	977	
SG-SW	Seawater						187	416	-	-	699	991	
SF	Water						187	208	208	-	693	983	
SF-SW	Seawater						187	374	-	689	692	982	

2.3 실험방법

(1) 콘크리트의 동결융해저항성

동결융해실험은 온도측정용 중심공시체의 온도가 4℃에서 -18℃를 거쳐 다시 4℃에 도달하는 과정을

1사이클로 하여 총 300사이클을 진행하였으며, 매 30사이클마다 시험기에서 공시체(75×100×400 mm)를 꺼내어 콘크리트의 동탄성계수를 측정하였다. 동결융해작용을 받기 전 공시체의 동탄성계수에 대한 소정의 사이클에서의 동탄성계수를 다음의 식 (1)과 같이 상대동탄성계수로 나타내었다.

$$E_{d, c} (\%) = (n_1/n)^2 \times 100 \quad (1)$$

여기서, $E_{d, c}$ = c 사이클에서 콘크리트의 상대동탄성계수 (%)

n_1 = c 사이클의 동결융해작용을 받은 콘크리트의 공명진동수 (Hz)

n = 동결융해작용을 받기 전 콘크리트의 공명진동수 (Hz)

(2) 콘크리트의 압축강도

ψ10×20cm의 원주형 공시체를 제작 1일 후 탈형하여 13일동안 표준양생 후 동결융해실험을 실시하였으며, 0,90,210,300사이클에서 압축강도를 KS F 2405에 의하여 측정하였다.

(3) 콘크리트의 공극크기분포

동결융해 작용을 받은 콘크리트의 성능저하 부위의 공극량 변화를 수은압입법 (MIP : Mercury Intrusion Porosimetry)을 이용하여 측정하였다. 본 연구에서 수은압입법의 측정조건은 아래와 같다.

접 축 각(°)	최 대 압 력(psi)	수은의 표면장력(dyne/cm)
130	60,000	485

3. 실험결과 및 고찰

3.1 콘크리트의 상대동탄성계수 및 압축강도비

6종류의 콘크리트의 동결융해 저항성을 알아보기 위하여 300사이클의 동결융해작용을 받은 콘크리트의 상대동탄성계수 및 압축강도비를 나타낸 것이 그림 1과 그림 2이다.

그림에서 알 수 있듯이 배합수를 해수를 사용한 OPC 콘크리트의 동결융해 저항성이 담수를 사용한 콘크리트에 비해 상대동탄성계수와 압축강도비 값이 상대적으로 작은 값을 나타내는 것을 알 수 있었다. 이는 인공해수 중에 존재하는 이온과 시멘트 수화물이 반응하여 여러 가지 반응생성물을 생성하여 팽창과 침식등의 작용으로 인한 성능저하로 사료되며, 또한 이에 더불어 동결융해 작용의 복합적인 작용으로 하여 콘크리트의 성능저하가 더욱 촉진 된 것으로 생각된다.

혼합시멘트의 동결융해 저항성을 알아보기 위하여 고로슬래그 미분말과 실리카흄 용 각각 50,10% 치환한 SG와 SF콘크리트의 상대동탄성계수 및 압축강도비는 SG 콘크리트의 경우 고로슬래그 미분말의 잠재수경성의 촉진 탓으로 인하여 해수를 배합수로 사용한 콘크리트의 동결융해 저항성이 높게 측정되었으며, 실리카흄을 사용한 SF의 경우는 해수중의 Mg이온과 반응하여 생긴 M-S-H gel의 팽창으로 인하여 압축강도비 및 상대동탄성계수 값이 작게 나온 것으로 사료된다.

3.2 콘크리트의 공극분포 분석

그림 3은 200 및 300 사이클의 동결융해작용을 받은 OPC 콘크리트의 공극량에 대한 해수침식의 영향을 나타낸 것이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 동결융해 사이클이 증가함에 따라 OPC 콘크리트의 공극량이 현저하게 증가하여 300 사이클의 경우 총공극량이 약 0.4453cc/g으로써 200 사이클의 OPC 콘크리트에 비하여 약 4배 정도로 공극량이 증가하였고 이는 OPC 콘크리트의 경우 콘크리트 미세조

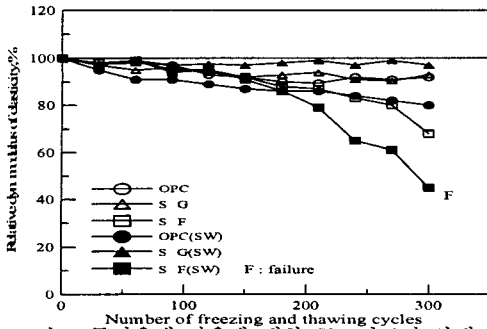


그림 1 동결융해 작용에 대한 콘크리트의 상대 동탄성계수

직의 변화가 크게 발생하였음을 알 수 있었다. 그러나, 해수침식 및 동결융해작용을 동시에 받은 OPC 콘크리트는 해수침식으로 인하여 생성된 반응생성물이 콘크리트의 공극을 메워주는 역할을 한 탓으로 총공극량이 상대적으로 작은 값을 나타냄을 확인할 수 있었다.

혼합시멘트계 콘크리트 중 고로슬래그미분말을 50% 대체한 SG 콘크리트의 동결융해 사이클별 공극크기분포를 해수침식 유무에 따라 정리하여 나타낸 것이 그림 4로써, 동결융해작용만을 받은 경우 공극량의 변화가 거의 없음을 알 수 있었다. 그러나 해수침식을 받은 SG 콘크리트는 300 사이클에서 약 0.047cc/g 정도의 총공극량을 나타내어 오히려 공극량이 감소하였음을 알 수 있었다.

4. 결론

- (1) OPC콘크리트의 동결융해와 해수침식의 복합작용에 대한 상대동탄성계수 및 압축강도비, 공극분포에서 모두 낮은 저항성을 나타나는 것을 알 수 있었다
- (2) 혼합시멘트계 콘크리트의 동결융해 저항성은 고로슬래그미분말의 잠재수경성이 촉진되는 탓으로 동결융해 저항성이 우수하였으나, 실리카 흙을 혼합한 콘크리트는 해수침식에 의한 성능저하가 발생 하는 것을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 건설핵심기술연구개발사업(과제번호: 04핵심기술C02-02)의 지원을 받아 수행되었으며 관계제위에 감사드립니다.

참고문헌

1. 김성수 "해양환경하에 방치한 콘크리트의 열화 및 철근의 부식, 방식에 대한 연구", 한양대학교 대학원 토목공학과 박사학위 논문, 1994.

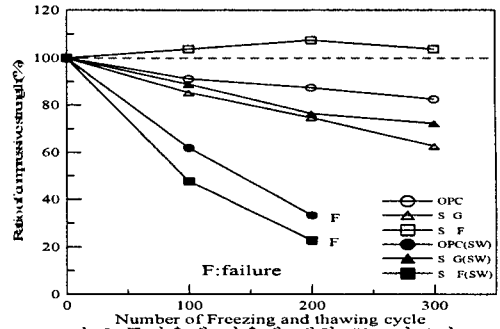


그림 2 동결융해 작용에 대한 콘크리트의 압축강도비

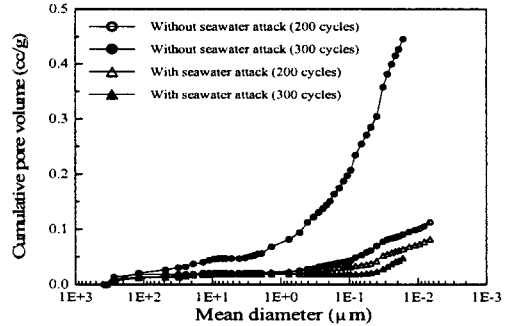


그림 3 해수침식 유무에 따른 OPC 콘크리트의 공극크기분포

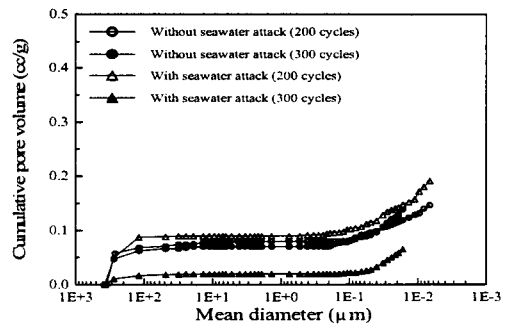


그림 4 해수침식 유무에 따른 SG 콘크리트의 공극크기분포