

염화물이 함유된 동결수의 동결융해 작용에 따른 콘크리트의 내동해성과 표면열화 평가

The Evaluation of Surface Scaling and Resistance of Concrete to Frost
Deterioration with Freezing-Thawing Action by Salt Water

김 규 용* 김 무 한* 조 봉 석** 이 승 훈***
Kim, Gyu-Yong Kim, Moo-Han Cho, Bong-Suk Lee, Seung-Hoon

Abstract

This study presents the experimental results of frost durability including resistance to freezing-thawing and surface scaling of concrete. Mixing design was proportioned with the various water-binder ratio between 0.37 and 0.47 and three different binder compositions corresponding to Type I cement without any supplementary cementitious materials (OPC), Type II cement with 50% blast-furnace slag replacement (BFS50), and ternary cement with Type III cement, 15% fly ash, and 35% slag replacement (BFS 35%+FA 15%). Test results showed that the mixing design with BFS 50% and BFS 35%+FA 15% exhibited higher durability factor than that made with OPC only. Finally, the use of blend cement containing slag can be used effectively in terms of frost durability of the concrete exposed to severe condition under coastal environment like as flying salt, sea water spray, etc.

요 지

본 연구에서는 염화물이 함유된 동결수에 의한 콘크리트의 내동해성을 검토하기 위하여 동결융해 및 표면 스케일링 저항성을 평가하고자 하였으며, 이를 위한 배합으로서 물결합재비는 0.37, 0.42, 0.47의 3수준, 결합재 방식은 일반 OPC 콘크리트, 고로슬래그 미분말 50%의 2성분계 콘크리트 및 플라이애시 15%와 고로슬래그 미분말 35%의 3성분계 콘크리트로 설정하였다. 그 결과, 고로슬래그 미분말 50% 및 플라이애시 15%와 고로슬래그 미분말 35%의 혼합 시멘트계 콘크리트의 경우 일반 OPC 콘크리트에 비하여 동결융해 및 표면스케일링 저항성이 상대적으로 우수하게 나타났으며, 이를 통해 내구성 저하가 우려되는 해양 환경 하에서 비래염분 및 비말 등의 해수의 작용에 의한 콘크리트의 내구성 저하현상을 억제하기 위한 방안으로서 슬래그의 활용이 유효함을 확인할 수 있었다.

Keywords : Salt damage, Freezing-thawing, Surface scaling, Ground granulated blast-furnace slag, Ternary concrete

핵심 용어 : 염해, 동결융해, 표면스케일링, 고로슬래그 미분말, 3성분계 콘크리트

* 정회원, 충남대학교 공과대학 건축공학과 교수, 공학박사

** 정회원, 충남대학교 건축공학과 대학원생

*** 정회원, 삼성물산(주) 건설부문 기술연구소 수석연구원

E-mail : chos8@cnu.ac.kr 042-821-7731

• 본 논문에 대한 토의를 2007년 12월 31일까지 학회로 보내
주시면 2008년 3월호에 토론결과를 게재하겠습니다

1. 서 론

해수의 작용을 받는 콘크리트가 일반 콘크리트와 환경조건상 다른 점은 외부로부터 염분의 침투 및 확산 작용, 비말 등에 의한 마모작용 또는 해수에 의한 건습반복작용, 지역에 따라 해수에 의한 동결융해작용을 받는 복합적 열화환경조건에 처해 있다는 점이다.

따라서 실제의 해양콘크리트구조물은 이러한 복합열화요인이 가중되어 일반적인 염화물확산속도에 의해 얻어지는 내구수명보다 현저히 짧아지는 경우도 많다. 이는 해수의 침투와 동결융해 등의 열화응력이 가중되어 콘크리트 표면구조를 파괴하면서 열화의 상승작용을 일으키기 때문으로 사료되며, 이와 같이 염해와 동결융해의 복합열화환경 조건을 고려한 내구성 평가에 관한 연구진행은 매우 미약한 실정이다.

한편, 일반적으로 콘크리트에 발생하는 표면열화는 콘크리트 내외부의 수분이 동결되면서 발생하는 팽창압에 의해서 기인하며, 해수에 의한 동결팽창압은 일반 보통수의 팽창압보다 크기 때문에 콘크리트 외부로부터의 해수동결작용은 큰 표면열화를 일으키게 된다.⁽¹⁾

즉, 해수의 작용에 의해 콘크리트의 내부조직이 파괴되는 것 보다 표면의 열화가 빠르게 진행될 수 있으며, 피복콘크리트의 건전성이 크게 저하되어 염해의 진행을 촉진시킬 수도 있다.

따라서, 본 연구에서는 해양환경에서 생성될 수 있는 열화조건 즉, 염화물의 침투와 동결융해 작용 등과 같은 복합환경하에서 콘크리트의 내구성저하 및 표면열화(Scaling Deterioration) 현상을 평가하기 위해 염수의 동결작용에 의한 배합수준 및 결합재의 종류에 따른 콘크리트의 내동해성과 표면열화성상을 평가함으로써 염해와 동해의 복합적인 열화환경에 처해있는 콘크리트의 복합적 내구성 저하현상을 검토하고자 하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획 및 배합

Fig. 1은 본 연구의 개요 및 진행과정을 나타낸 것으로 해수를 상정한 염화물이 함유된 동결수에 의한 동결융해 작용에 따른 콘크리트의 내동해성과 표면열화를 평가하기 위하여 콘크리트의 물결합재비를 37, 42, 47%의 수준으로 설정하였고, 결합재의 종류를 OPC (Ordinary Portland Cement), BFS (2성분계), BFS+Fly ash (3성분계)로 구성하였다. 또한, 표준동결융해시험시, 동결수의 종류를 일반 수도수와 염화물농도 3.5%의 인공해수로 설정하였으며, 콘크리트의 기초적 물성과 동결융해 시험에 의한 상대동탄성계수 및 표면 스케일링 량 등을 평가하였다.

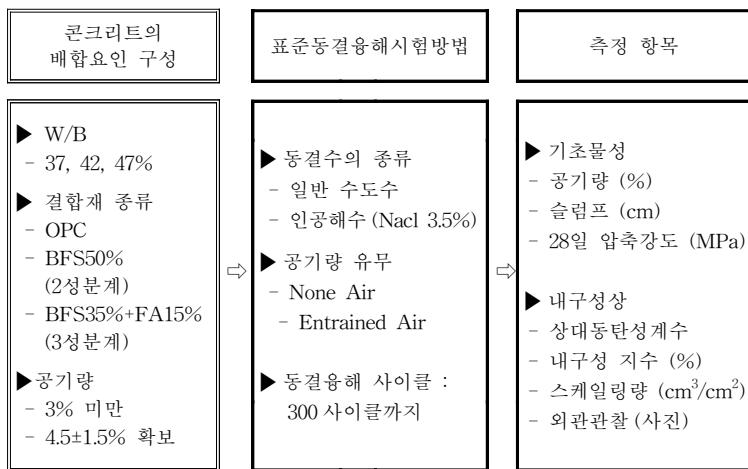


Fig. 1 본 연구의 개요 및 진행과정

Table 1 콘크리트의 배합

결합재의 구성	W/B (%)	S/a (%)	단위수량 (kg/m ³)	단위중량 (kg/m ³)						혼화제 (B×%)		슬럼프 (cm)	공기량 (%)	28일 강도 (MPa)	동결수
				B	C	FA	BFS	S	G	SP	AE				
OPC	37	45	168	454	400	-	-	764	948	1.20	None	21.5	2.5	50	수도수
BFS50					227	-	227	757	939	0.70	0.023		4.7		
BFS35+FA15					227	68	159	748	928	0.60	0.030	22.5	2.8	48	
OPC	42	45	168	400	400	-	-	784	973	0.70	None	19.0	2.8	45	수도수
BFS50					200	-	200	780	969	0.50	0.014		4.7		
BFS35+FA15					200	60	140	773	959	0.45	0.014	20.0	4.2	45	
OPC	47	47	168	357	357	-	-	835	956	0.60	None	18.5	4.7	41	수도수
BFS50					179	-	178	832	953	0.40	0.011		4.7		
BFS35+FA15					179	54	125	825	945	0.40	0.012	20.0	4.9	39	
											20.0	4.5	40	인공해수	

B: 결합재, C: 시멘트, Fa: 플라이애쉬, BFS: 코로슬래그, S: 잔골재, G: 굵은골재, SP: 고성능감수제, AE: 공기연행제

2.2 콘크리트의 배합 및 사용재료

콘크리트의 배합은 Table 1에 나타난 바와 같이 물 결합재비 37, 42, 47%에 대하여 각각 OPC, 슬래그를 50% 치환한 2성분계 결합재 및 슬래그 35%와 플라이애쉬 15%를 치환한 3성분계 결합재 구성으로 배합을 설정하였다.

표준동결융해시험에 활용되는 동결수는 일반 수도수와 해수로 설정하여 해수에 의한 콘크리트의 내동해성과 표면열화를 평가하였다. 또한, 각 물결합재비별의 공기량의 연행유무에 따른 콘크리트의 내동해성 및 표면열화 성상을 측정하였다. Table 2에 본 연구에 사용된 재료를 나타내었으며, 해수에 의한 동결융해작용에 대한 콘크리트의 열화현상을 평가하기 위해, 결합

재로서 OPC와 슬래그, 플라이애쉬의 혼화재를 사용하였다. 또한 콘크리트에 소정의 유동성과 공기량을 확보하기 위해, 나프탈렌계 고성능감수제와 AE제를 사용하였고, 골재는 강모래와 쇄석을 사용하였다.

2.3 콘크리트의 동결융해와 표면열화 평가방법

콘크리트의 동결융해작용에 의한 내동해성 평가를 해 Photo 1에 나타난 바와 같이 KS F 2456 (급속 동결융해에 대한 콘크리트의 저항성시험법)과 ASTM C 666 (Resistance of concrete to rapid freezing - thawing)에 준하여 실험을 실행하였다.

동결융해시험 중, 각 30 사이클별로 1차 공명진동수를 측정하고, 동결융해 시험전의 동탄성계수에 대한 상대동탄성계수를 산출하였다.

Table 2 사용재료의 물리적 성질

종 류	물리적 성질
시멘트	보통 포틀랜드 시멘트 (OPC) 비중: 3.16, 분말도: 3.214cm ² /g, 강열감량: 0.78
코로슬래그 미분말	비중: 2.89, 분말도: 4.340cm ² /g
플라이애쉬	비중: 2.19, 분말도: 3.621cm ² /g
혼화제	나프탈렌계 고성능 감수제 (SP제) 공기연행제 (AE제)
잔골재	강모래, 비중: 2.58 흡수율: 1.01, 조립율: 2.89
굵은골재	부순자갈 (최대치수 25mm) 비중: 2.62 흡수율: 0.82, 조립율: 6.87



(a) 동결융해 시험기 (b) 동탄성 계수 측정기

Photo 1 동결융해 저항성 평가

또한, 30 사이클 종료 후, 콘크리트의 표면열화를 정량적으로 평가하기 위하여 시험체의 수중질량 및 표면질량을 측정 후, 식(1)을 이용하여 콘크리트의 스케일링량(cm^3/cm^2)을 측정하였다.

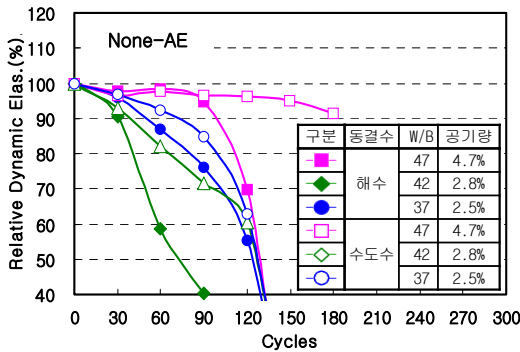
$$V_{sn} = -\frac{(V_o - V_n)}{A} \quad (1)$$

여기서, V_{sn} : n 사이클에서의 스케일링량 (cm^3/cm^2)
 V_o : 동결융해 시험 전의 시험체 용적 (cm^3)
 V_n : n 사이클에서의 시험체 용적 (cm^3)
 A : 동결융해 시험 전의 시험체 표면적 (cm^2)

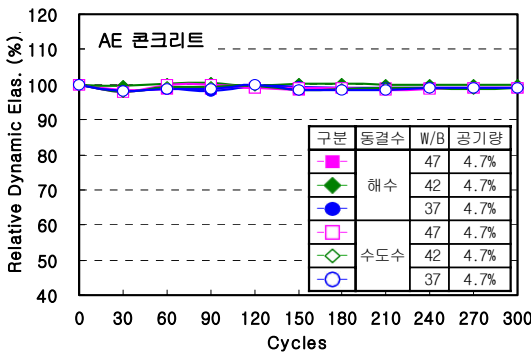
시험체의 용적(cm^3)은 식(2)에 의해 산출하였다.

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

여기서, V_n : n 사이클에서의 시험체 용적 (cm^3)
 W_n : n 사이클에서의 시험체 표면질량 (g)
 W_{wn} : n 사이클에서의 시험체의 수중질량 (g)
 ρ_w : 물의 비중



(a) None AE 콘크리트



(b) AE 콘크리트

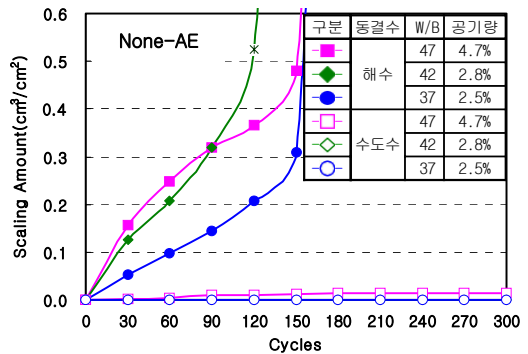
Fig. 3 None AE 및 AE 콘크리트의 상대동탄성 계수

3. 실험결과 및 고찰

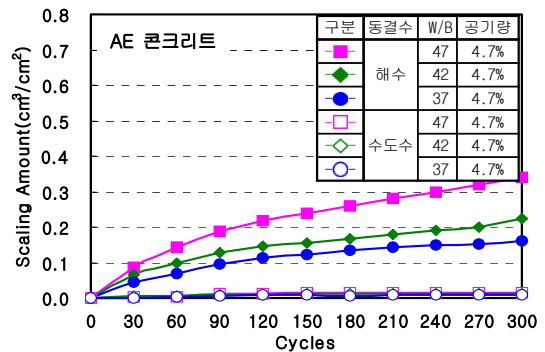
3.1 콘크리트의 기초물성 검토

콘크리트의 기초물성은 Table 1에 나타난 바와 같이, 물결합재비 37, 42, 47%에 따른 각각의 OPC, BFS 50%, BFS 35% + FA 15%의 슬럼프는 18.0~21.5cm, 공기량은 3.5~5.0%의 범위에 분포하고 있다. 또한, 공기를 연행시키지 않은 None AE OPC 콘크리트의 경우는 물결합재비 37, 42, 47%에 있어서 각각 2.5, 2.8, 3.8%로 나타났다.

각 배합별 재령 28일의 압축강도는 OPC > BFS 50% > BFS 35% + FA 15%의 순으로 약간의 차이를 나타내고 있으며, 물결합재비 37%에서는 45~50 MPa, 42%에서는 43~45 MPa, 47%에서 39~41 MPa의 강도수준을 발현하였다.



(a) None AE 콘크리트



(b) AE 콘크리트

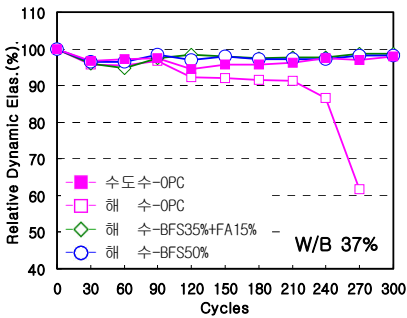
Fig. 4 None AE 및 AE 콘크리트의 표면 스케일링량

3.2 해수의 동결융해작용에 따른 내동해성 검토

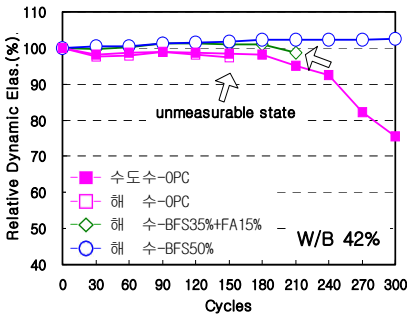
3.2.1 None AE 콘크리트와 AE 콘크리트의 내동해성 평가

Fig 3 및 Fig 4는 각 물결합재비 별 OPC를 대상으로 혼화재의 구성에 따른 None AE 콘크리트와 AE 콘크리트의 내동해성 평가결과를 나타낸 것으로,

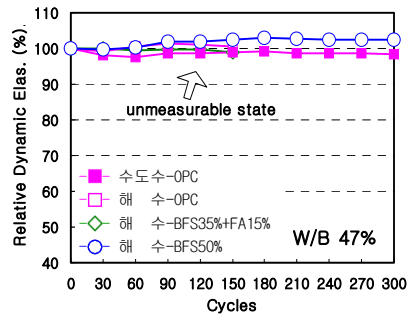
공기량의 유무에 따른 내동해성 지수는 유의할 만한 경향을 나타내었다. None AE 콘크리트의 경우, 수도수와 해수의 동결작용에 관계없이 시험체의 파단 및 상대동탄성계수의 현저한 저하가 일어났다. 단, 수도수의 동결융해작용을 받은 시험체는 표면열화현상이 거의 나타나지 않은 채 시험체의 파단현상이 관찰되었으나, 해수의 동결융해작용을 받은 시험체는 급격한 표면의 열화현상과 파손현상이 동시에 나타났다.



(a) W/B 37%

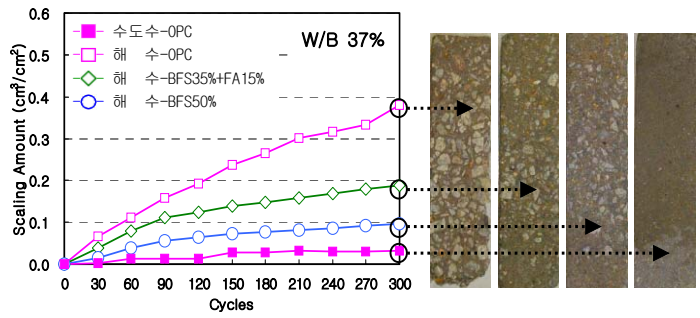


(b) W/B 42%

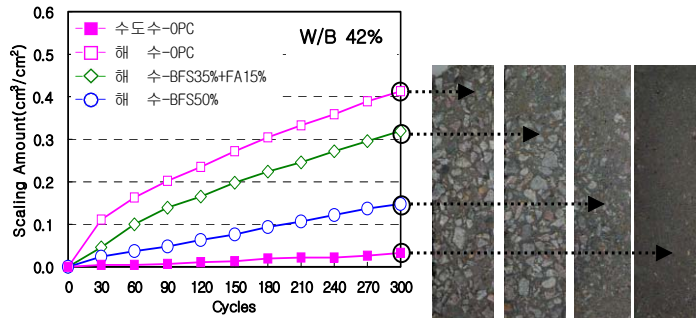


(c) W/B 47%

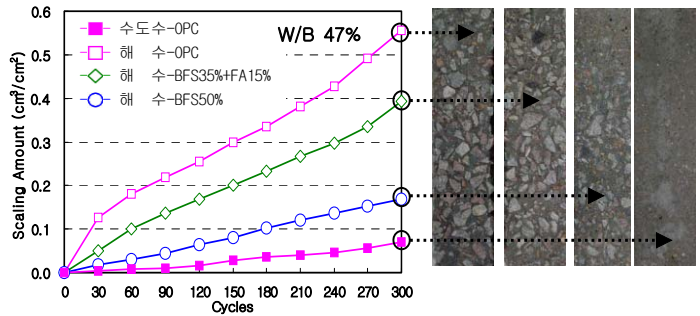
Fig. 5 물결합재비 및 결합재 구성에 따른 상대동탄성계수



(a) W/B 37%



(b) W/B 42%



(c) W/B 47%

Fig. 6 물결합재 비 및 결합재 구성에 따른 표면스케일링량

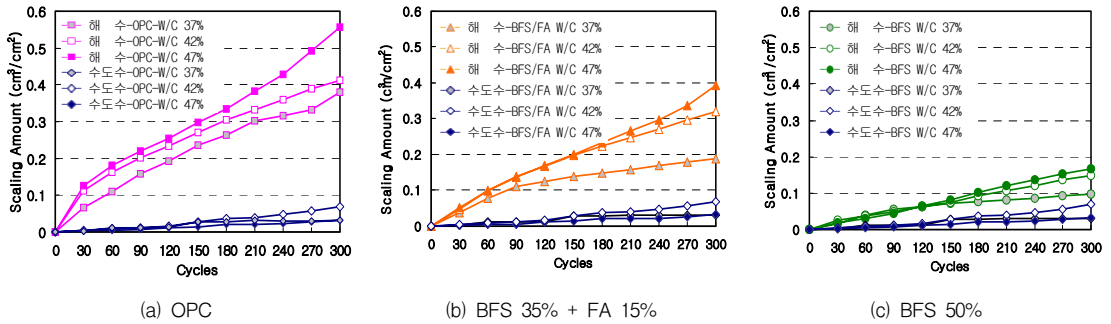


Fig. 7 동결수 및 결합재 구성에 따른 스케일링량

특히, 수도수 W/B 47%의 경우 180cycle까지 상대동탄성계수의 급격한 저하 현상은 발생하지 않았지만, 시험체의 파단현상이 심각하게 나타나 측정이 불가능하였다. 따라서, None AE 콘크리트가 해수의 작용에 의해 열화작용을 받는 경우, 콘크리트의 내·외부 동시에 열화작용이 발생하고, 급격히 내구성이 저하되는 것을 확인할 수 있었다. 한편, AE 콘크리트의 경우 상대동탄성계수가 수도수 및 해수에 상관없이 동결융해작용을 받기 전과 거의 변함이 없는 우수한 내구성 지수를 보이고 있으나, 표면열화 성상은 수도수와 비하여 해수의 동결작용을 받은 시험체의 경우 현저하게 나타났다. 또한, 해수의 동결융해작용에 의한 콘크리트의 표면 열화의 경우, 콘크리트의 강도수준별로 고강도일수록 표면열화가 상대적으로 억제되고, AE제에 의해 적정한 공기량이 확보될 경우 표면열화 저항성을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

3.2.2 물결합재비 및 결합재의 구성에 따른 내동해성 평가

Fig 5 및 6은 물결합재비 및 결합재의 구성방식에 따라 해수의 동결융해 작용을 받은 콘크리트(Air entrained Con.)의 상대동탄성계수와 300사이클에서의 표면열화 평가 결과를 나타낸 것이다.

W/B 37%의 경우 수도수보다 해수의 상대동탄성계수의 변화가 현저하게 나타났으며, 이는 해수에 의한 콘크리트의 동결시 해수의 침식작용과 더불어 콘크리트의 표면열화가 더욱 가속화되기 때문으로 판단된다. W/B 37%의 OPC-해수동결과 42%의 OPC-수도수 동결 시험체의 경우, 상대동탄성계수가 약 60%,

75%로 나타났으며, 이를 제외하면 모든 시험체가 95% 이상의 상대동탄성계수 값을 나타냈다.

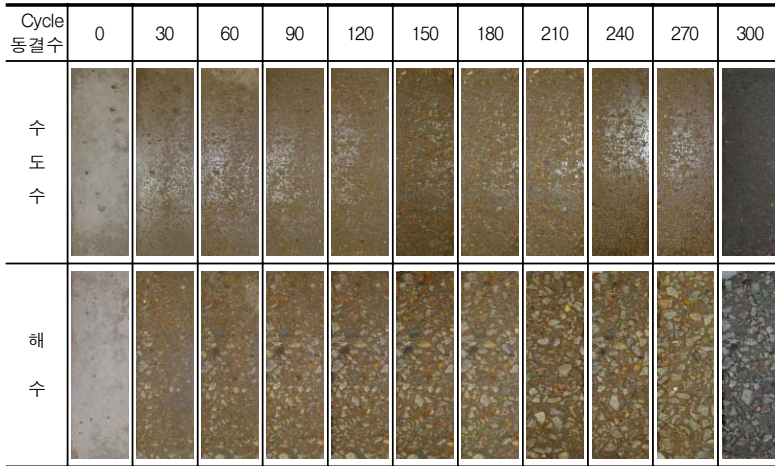
또한, Fig 7은 동결수의 종류에 따른 물결합재비 및 결합재 별 콘크리트의 표면열화 평가결과를 나타낸 것으로 동결수의 종류에 따른 표면열화 성상은 현저한 차이를 나타냈다. 일반 수도수에 비하여 해수에 의해 동결융해 작용을 받은 경우 표면 스케일링량이 크게 나타났으며, 이는 해수의 동결융해작용에 의해 콘크리트의 표면에서 염화수의 동결팽창압이 크게 작용하기 때문인 것으로 판단된다.

한편, 결합재의 구성에 있어서 OPC 콘크리트의 경우는 수도수와 해수에 의한 스케일링 양의 차이가 매우 현저한 것으로 나타났다.

상대동탄성계수에 의한 콘크리트의 내동해성 평가 결과에 있어서는, 수도수에 의한 동결융해를 받은 물결합재비 42%의 OPC 콘크리트가 다소 저하한 경향을 제외하면, 수도수와 해수에 의한 상대동탄성 계수의 유의할 만한 경향은 나타나지 않았으나, 이에 반해 상대적으로 콘크리트의 표면열화는 전반적으로 해수에 의해 상당히 영향을 받는 것을 확인할 수 있었다.

또한, 수도수 및 해수에 의해 동결융해를 받은 경우, 결합재 구성에 따른 콘크리트의 스케일링량은 OPC > BFS 35%+FA 15% > BFS 50%의 순으로 크게 나타나 2성분계 및 3성분계 콘크리트가 일반 OPC에 비해 상대적으로 표면열화 저항성이 큰 것으로 나타났다. 물결합재비의 수준에 따라서 물결합재비가 낮은 경우, 표면열화현상이 다소 억제되는 현상을 보이고 있으나, 유의할만한 현상이라 할 수 없으며, 결합재의 구성방식에 따른 효과는 뚜렷이 나타나고 있다.

Photo 2 동결수에 따른 표면열화 (W/B 42%, OPC)



반면, BFS와 FA 등 혼화재의 적용에 의한 표면열화 저항성 향상 효과는 확인할 수 있었으며, 특히, 해수의 열화 작용에 가장 효과가 있는 것은 BFS 50% 콘크리트로 확인되었으며, 이는 슬래그가 염화물을 고정화시키는 작용에 의해 염화물에 의한 콘크리트의 열화촉진작용을 억제시키기 때문인 것으로 판단된다.

따라서, 향후, 염해에 의한 내구성 저하가 우려되는 해양 콘크리트 구조물에 있어서 비래염분 및 비말 등의 해수의 작용에 의한 콘크리트의 내구성 저하현상을 억제하기 위한 방안으로서 슬래그의 활용이 유효할 것으로 사료된다.

Photo 2는 동결수의 종류에 따른 물결합재비 42% OPC 콘크리트의 표면 스케일링 현상을 나타낸 것으로 일반 수도수에 비해 해수에 의한 동결융해작용에 의해 표면열화가 현저하게 발생하는 것으로 확인되었다.

이와 같이, 유사한 수준의 상대동탄성계수 값의 범위에서도 해수에 의한 스케일링량의 발생량이 커지는 현상은 콘크리트의 표면에서 미세 구조의 파괴로 인한 스케일링 현상의 현저한 발생으로부터 기인하는 것으로 판단되며, 이는 염화물에 함유된 상태에서 콘크리트의 수분이 동결하게 되면 Photo 3에 나타난 바와 같이 미세공극구조의 안정성 저하에 의한 침투압이 증가하기 때문인 것으로 사료된다.

또한, 콘크리트에 염화물이 함유된 상태에서 동결융해 작용을 받을 경우 콘크리트 내부에 미세한 균열

을 발생시키기 때문에 동탄성계수의 저하와 염화물의 확산이 가속화되어,⁽²⁾ 결과적으로 동해와 염해가 동시에 작용하는 복합 열화 현상이 발생할 것으로 판단된다.

3.2.3 상대동탄성계수와 표면열화의 관계

Fig 8은 상대동탄성계수와 스케일링량과의 관계를 나타낸 것으로 본 연구의 범위에서는 콘크리트의 배합수준이 낮은 물결합재비이며 적정량의 공기량을 연행하여 상대동탄성 계수에 의한 내동해성 평가 결과는 고내구성능을 가지는 콘크리트로 평가되었으나, 해수에 의한 콘크리트의 표면열화는 상대동탄성계수와 관계없이 그 변화폭이 크게 나타나 유의할 만한 상관관계를 보이고 있지 않다.

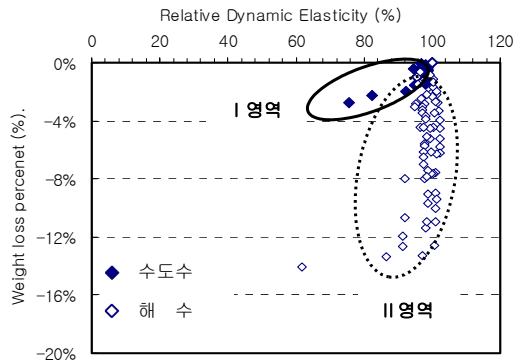


Fig. 8 상대동탄성 계수와 중량감소율의 상관관계

즉, 수도수의 동결융해작용에 의해 표면열화의 발생은 적으나 상대동탄성계수의 저하가 발생하는 I영역과, 해수의 동결융해작용에 의해 상대동탄성계수의 변화는 적으나 표면스케일링이 현저히 발생하는 II영역으로 구별될 수 있어 해수의 작용에 인한 콘크리트의 내구성을 고려할 경우에는 표면열화에 관한 다양한 사항을 고려하여야 할 것으로 판단된다.

따라서, 해수에 의한 내구성 저하현상이 우려되는 환경에 위치하고 있는 콘크리트일 경우, 해수의 작용으로 인한 건습의 반복과 동결 융해 작용의 복합적인 열화 환경에 처해 있기 때문에 상대동탄성 계수에 의한 표준적인 내동해성의 평가와 더불어 콘크리트 표면의 열화에 관한 평가도 병행되어야 할 것으로 판단된다.

3.2.4 W/B 및 결합재 구성에 따른 표면열화 저항성 평가결과 및 표면열화의 단계적 구분 제안

해수에 의한 내동해성 및 표면열화 저항성을 평가하기 위하여 해수 동결융해 시험을 300사이클까지 실시한 결과, OPC의 표면열화도를 100으로 환산했을 경우, Table 3에 나타난 바와 같이 Slag50% 및 Slag35%+FA15%의 해수에 대한 표면열화 저항성이 평가되었다.

한편, 노후화된 콘크리트에 있어서 특히, 동결융해에 의한 피해가 우려되는 구조물의 내구성능 평가를 위해서는 콘크리트의 표면열화 평가를 병행할 필요가 있다. 본 연구에 의한 콘크리트 표면의 열화는 모르타르 표면 Scaling < 골재노출 < 골재과다노출 < 단면결손 <

파손의 순서와 같이 단계적으로 이루어진다 할 수 있다. 또한, 콘크리트의 스케일링량(cm^3/cm^2)은 그 값이 스케일링 깊이가 되므로 표면열화 깊이의 지표값으로 활용이 가능하다. 본 연구를 통해 콘크리트 Scaling량을 정량적으로 측정된 결과를 바탕으로 콘크리트의 Scaling 성상을 Table 4에서 나타난 바와 같이 단계적으로 분류 및 제안할 수 있다.

Table 3 W/B 및 결합재 별 표면열화 저항성 (동결융해 300사이클, Scaling 량 (cm^3/cm^2))

결합재 W/B(%)	Salg 50%	Salg35%+FA15%	OPC
37	26	50	100
42	36	79	100
47	33	73	100

Table 4 동결융해작용에 의한 표면열화 단계구분 Scaling 량 (cm^3/cm^2)

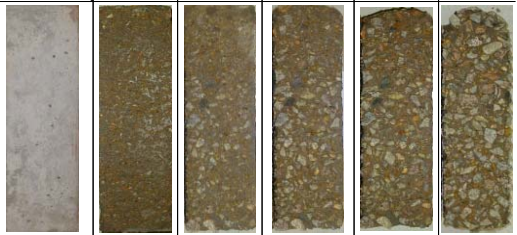
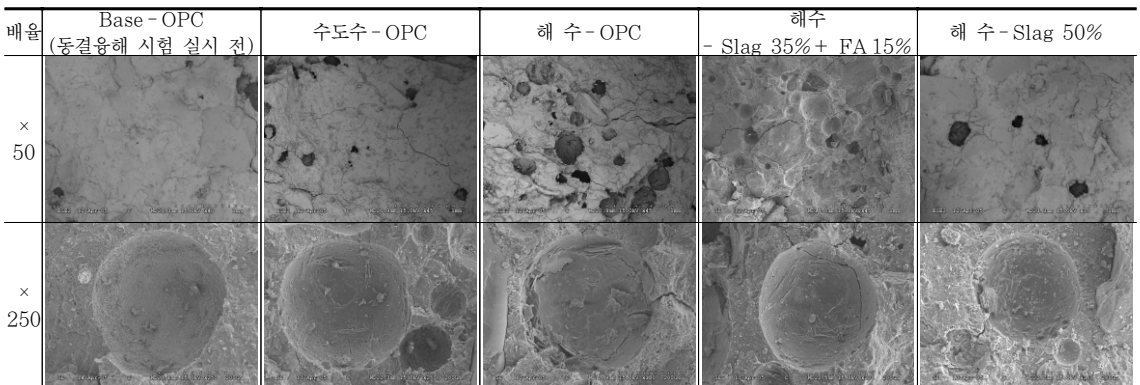
단계구분	I 단계	II 단계	III 단계	IV 단계	V 단계
Scaling량 기준시험체	0~0.1	0.1~0.2	0.2~0.3	0.3~0.4	0.4이상
					
표면건전	모르타르 표면 약간 손상	모르타르 손상 및 골재노출	전면골재 노출, 우각부손상	단면결손	단면파단

Photo 3 동결수 및 결합재 구성에 따른 미세구조 (300 사이클)



4. 결 론

본 연구에서는 염화물을 함유한 동결수의 동결 융해 작용에 의한 콘크리트의 내동해성과 표면 열화를 물결 합재의 수준 및 결합재의 구성에 따라 검토하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 동결융해 작용을 받은 콘크리트의 수중 중량과 표 건 중량에 의해 산출한 스케일링 양의 정량적인 측정 방법은 콘크리트 표면 열화의 내구성 평가 방법으로서 유효할 것으로 판단되며, 향후, 해양 콘크리트 구조물의 내구설계 및 내구성능 평가에 그 활용이 가능할 것으로 사료된다.
- 2) 해수의 동결 융해 작용에 있어서 고로슬래그를 활용하였을 경우, OPC 콘크리트에 비하여 해수에 대한 내동해성 및 표면열화 저항성이 높게 평가되었으며, 특히, Slag35%+FA15%에 비하여 Slag 50% 콘크리트가 염화물의 침투작용을 억제하는 효과가 우수한 것으로 나타나 염해 피해가 우려되는 콘크리트 구조물의 내구성 향상에 유효한 것으로 나타났다.
- 3) 해수에 의한 스케일링 열화와 내동해성의 저하가 예상되는 해양 콘크리트 등에 있어서, 염해와 동해가 복합적으로 작용하는 복합 열화에 의한 내구성능 저하가 가속화되는 현상을 확인하였다. 따라서, 해양 환경하에서의 콘크리트의 내구성은 복합 열

화의 환경 조건을 고려하여 평가하는 방안이 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2단계 BK 21 사업의 지원 및 건설교통 기술개발사업(06기반구축A-01)의 일환으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 湯淺 界 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, 일본건축학회구조계논문집, 제526호 1999년12월, pp. 9-16.
2. 竹田宣典, 河茂幸 : 凍害と凍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, 콘크리트공학연차논문보고집, Vol. 23, No. 2, 2001, pp. 427-432.
3. 湯淺 界 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, 日本建築學會構造系論文集, Vol. 359, 1999. 12, pp. 9-16.
4. 加藤ら, 高強度コンクリート用混和劑に關する研究、日本建築學會講演梗概集, 1991, 9, pp. 753-754.
5. 島藤ら, 高爐スラグを用いた高強度コンクリートの諸性質について, 日本コンクリート工學年次論文報告集, Vol. 13, No. 1, 1991, pp. 275-280.

(접수일자 : 2006년 11월 19일)