

동결방지제에 의한 콘크리트의 스케일링 열화

Scaling Deterioration of Concrete due to Deicing Salt

김 규 용* 박 찬 규* 김 한 준** 손 유 신** 이 승 훈***
Kim, Gyu Yong Park Chan Kyu Kim, Han Jun Sohn, Yu Shin Lee, Seung Hoon

ABSTRACT

Deicing agent with chloride promote frost damage of concrete structure in winter period. From the safety side, however, it is difficult to stop using chloride. Therefore, the durable concrete is required from now on.

In this paper, long-term freezing and thawing test was carried out using the freezing water containing CaCl_2 to consider the concrete scaling according to the kind of binders, such as OPC, Flyash, Slag+Fa. and Slag

As a result, it was found that the degree of scaling is different with containing slag being considered to prevent the penetration chloride ion and according to each binders.

1. 서론

겨울철 도로 등에 적설(積雪)에 염화물이 함유된 동결방지제(또는, 제설제 주성분: CaCl_2)를 사용함으로써 콘크리트의 동해(凍害)가 촉진되는 사례가 보고되고 있으나, 현재까지 적설제거의 안전측면에 있어서 염화물의 사용 증지는 어려운 현실이다. 따라서 동결융해작용의 환경조건하에서 동결방지제의 주성분인 염화물이 사용되는 콘크리트 구조물에 대하여 내구성확보대책이 필요로 된다.

본 연구에서는 동결융해의 환경조건과 염화물의 침투조건을 상정하여 콘크리트의 열화상태와 대책을 고려하고자 하였다. 이를 위하여, 기준배합조건에서 콘크리트의 결합재를 OPC, Flyash, Slag, Slag+Flyash로 구성하고, 동결수를 동결방지제의 주성분인 염화칼슘(CaCl_2)을 일정농도로 용해하여 동결융해 시험방법에 의해 콘크리트의 열화정도를 평가함으로써, 염화물 동결융해 작용에 대한 결합재의 종류별 특성을 평가하고자 하였다.

2. 콘크리트의 동결융해(凍結融解)작용

그림 1과 같이 콘크리트에서 수분이 동결하는 경우 구속이 없는 자유상태에서는 체적의 약 9%까지 팽창된다. 시멘트페이스트의 내부에서는 온도저하에 따라 먼저 큰 공극중의 수분이 동결되고, 차례로 작은 공극중의 수분이 동결된다. 작은 공극중의 수분이 동결하는 과정에서 큰 공극중에 형성된 얼음결정에 의해 팽창이 구속된다.

팽창을 완화하기 위하여 자유공극이 존재하지 않는 경우 큰 정수압(靜水壓)이 공극의 벽에 작용하여 인장한계에 달하게 되

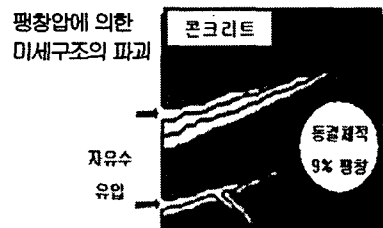


그림1 콘크리트의 동결융해작용 개요

* 정희원, 삼성물산(주) 기술본부 기술연구소 선임연구원

** 정희원, 삼성물산(주) 기술본부 기술연구소 선임연구원

*** 정희원, 삼성물산(주) 기술본부 기술연구소 수석연구원

면 균열이 발생되게 된다. 또한 이러한 작용이 반복되게 되면서 콘크리트의 표면으로부터 서서히 열화되게 된다.

물과 얼음의 자유반응엔탈피는 기본적으로 0°C로 일치하며, 2개의 상(相)은 서로 공존하는데, 0°C보다 높으면 물은 낮은 자유엔탈피로 안정화되고, 0°C보다 낮으면 그의 안정상은 얼음이 된다. 그러나, 동결방지제와 같이 NaCl, CaCl₂와 같은 염화물의 투입과 염농도의 증가에 의해 다음과 같이 빙점이 저하(빙점강하, 氷點降下)된다.

NaCl	23.3 M.% (4.686 Mol Cl/L)	→ -21.1°C
CaCl ₂ ·2H ₂ O	39.5 M.% (6.871 Mol Cl/L)	→ -55.0°C
CaCl ₂	29.2 M.% (6.871 Mol Cl/L)	→ -55.0°C

또한, 공극에 작용하는 정수압(靜水壓)은 최저온도, 동결속도, 포화정도 및 기포간극 등에 따라 다르며, 콘크리트 중의 수분에는 세공직경에 의해 빙점(氷點)이 낮아지기도 하며, 동결의 과정에서 빙점(氷點)보다 낮게 되어도 얼지 않는 현상을 과냉각(過冷却)이라 하는데 이러한 과냉각현상도 가중되게 된다.

3. 염화칼슘 동결수에 의한 콘크리트의 동결융해 작용

본 연구에서는 동결방지제의 염화물 동결수에 의한 콘크리트의 열화를 평가하기 위하여 각각의 결합재 구성과 내구성평가항목을 그림 2와 같이 구성하였다.

염화물이 함유된 콘크리트의 표면열화를 평가하기 위하여 결합재를 각각 OPC, Flyash, 3성분계(Slag+Fa), Slag로 구성하고, 동결수를 염화칼슘(CaCl₂)을 용해하여 각각의 농도를 0.0%, 4.0%, 8.0%, 16.0%로 적용하였다.

각 콘크리트는 이미 배합설계상에서 내동해성이 확보되도록 하여 시험체를 제작하였다.

그림 3과 같이 동결융해의 표준시험에 의한 각 콘크리트는 동결융해작용 300사이클에 대하여, OPC콘크리트의 경우 약 75%, Flyash콘크리트의 경우 90%, 3성분계(Slag35+Fa15) 및 슬래그 50%의 경우 100%로 측정되었다.

단, OPC콘크리트의 경우 콘크리트 표면열화량은 매우 소량 관측되었으나, 내구성지수는 결합재 콘크리트보다 상대적으로 낮은 수준으로 평가된다.

그림 4에 각 결합재 종류에 따라 동결융해염 작용에 대하여 콘크리트의 표면열화(Scaling)량을 나타내었다. OPC콘크리트의 경우 염화칼슘 0%를 제외하고 급격히 Scaling량이 증가하는 경향이 뚜렷히 나타났으며, 골재가 탈리(脫離)되는 pop-out 현상도 나타났다. Flyash20% 콘크리트의 경우에도 OPC콘크리트의 열화현상과 유사한 경향으로 표

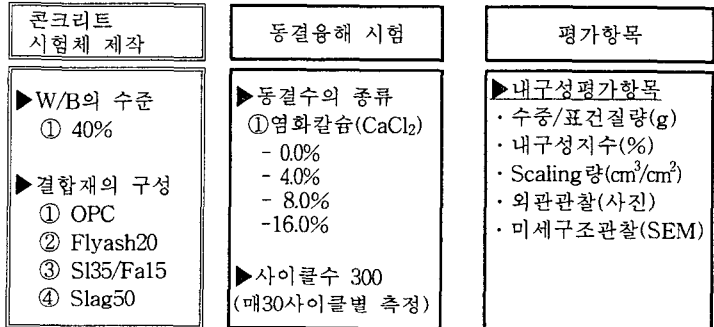


그림 2 결합재별 염화칼슘 동결수에 의한 콘크리트 열화 실험계획

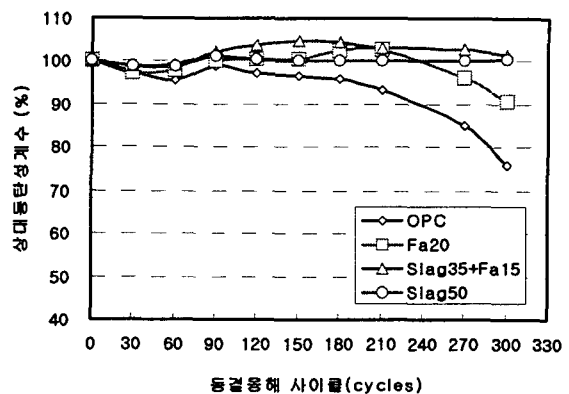
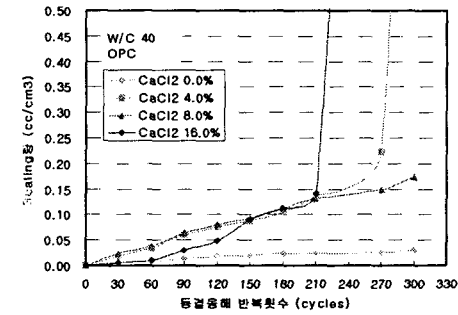
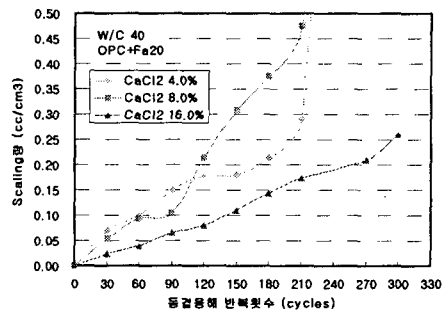


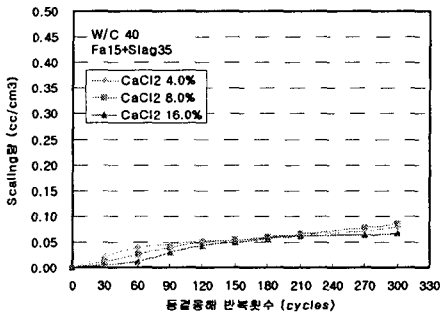
그림 3 각 결합재의 종류별 상대동탄성계수



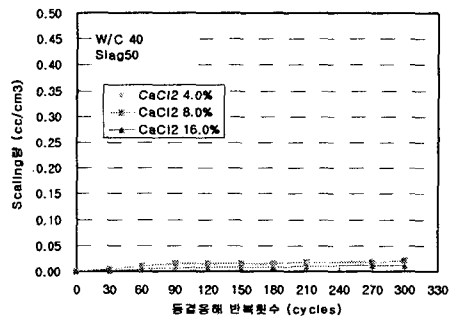
(a) OPC



(b) OPC+ Fa20%



(c) OPC+ Fa15%+ Slag35%



(d) OPC+Slag50%

그림 4 각 결합재의 종류별 콘크리트 표면열화(Scaling)량

면열화량이 크게 평가되었으나, 3성분계와 슬래그콘크리트에서는 염화칼슘의 농도에 관계없이 표면열화량이 비교적 적었다.

동결융해염 작용에 의해 콘크리트의 미세구조는 그림 6에 나타난 바와 같이 OPC 및 플라이애시를 단독으로 사용한 경우가 공극벽의 미세균열이 많이 발생되었으며, 3성분계 및 슬래그를 사용한 콘크리트의 경우 공극벽에 균열발생이 상대적으로 적었으며, 이는 각 결합재의 상이한 수화작용과 염화물 확산 억제 작용에 따른 것으로 사료된다.

4. 동결융해염에 의한 표면열화 작용 고찰

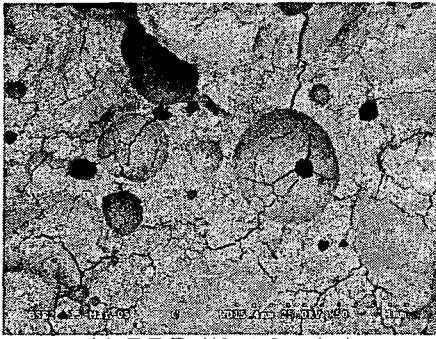
일반적으로 동해(凍害)관련된 열화요인으로는 콘크리트의 배합, 골재의 품질, 부재의 단면형태, 수분의 공급상태, 일사의 영향, 외기온(최저기온), 동결융해 반복회수 등을 고려할 수 있으나, 여기에 환경조건으로 염화물이온 등이 공급되면 콘크리트 중의 세공용액의 이온농도가 높아져 투수압에 의해 정수압(靜水壓)이 높아져 스캐일링량이 증가하게 된다.

표1에 나타난 바와 같이, 동결융해염(凍結融解鹽)작용은 시멘트 페이스트와 골재간의 열팽창계수(α_T)차가 큰 요인이 존재하며, 온도변화가 발생됨에 따라 콘크리트의 인장강도에 상응하는 응력이 발생되어 그림 5와 같은 미세구조균열이 발생된다.

또한, 동결방지제의 염화물에 의해 동결융해작용을 받는 콘크리트의 경우 염분농도의 차이가 발생

표1. 열팽창계수

시멘트페이스트의 열팽창계수 ($10^{-6}/K$)		
	고로시멘트	포틀랜드시멘트
포화상태(Rh100%)	9.3-10.0	10.2-11.0
기건상태(Rh 65%)	15.8-17.3	20.7-24.4
건조상태(Rh 30%)	9.0-10.6	9.4-10.5
골재의 열팽창계수		
석회석	3.5-6.5	
석영	10.0-11.0	

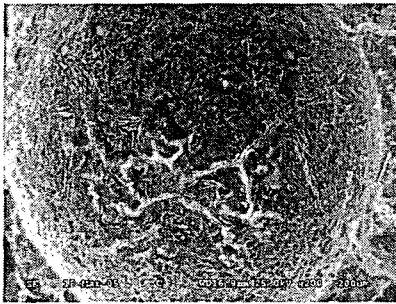


(a) 공극균열(OPC콘크리트)

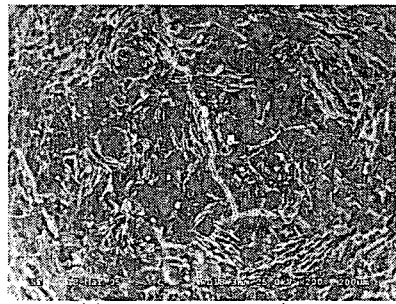


(b) 골재계면에서의 균열 (OPC콘크리트)

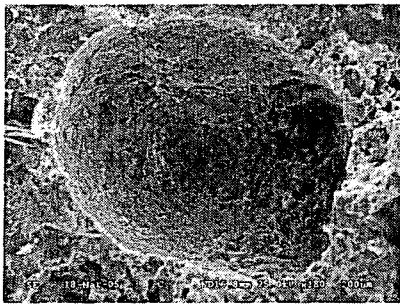
그림 5 동결융해작용에 의한 콘크리트 조직의 파괴형상



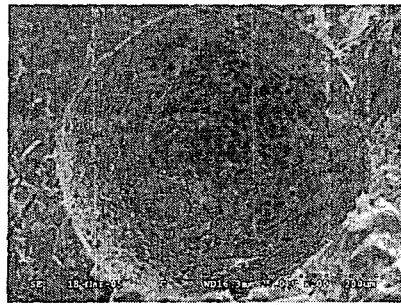
(a) OPC콘크리트



(b) Flyash 20%콘크리트



(c) 3성분계 (Slag35+ Flyash15%)콘크리트



(d) Slag 50%콘크리트

그림 6 각 결합재 종류별 연행공극내부의 형상

되어, 콘크리트 표면에 가까운 부분의 빙점강하(氷點降下)는 콘크리트 내부보다도 크며, 동결되는 시점에서 최초로 낮은 온도에 접하게 되는 것은 콘크리트의 표면이 되며, 콘크리트 중심부까지는 나중에 점차 냉각되어 간다.

이와 같이 염분의 농도와 온도의 차이에 따른 상호작용에 의해 동결작용은 콘크리트표면부에서 발생되면서 중간부분은 미동결(未凍結)로 남게 되는 경계가 형성된다. 이 경계를 중심으로 표면부에 염화물농도에 따른 빙점강하 의해 동결융해염 작용에서 조직의 자체는 비교적 손상을 입지 않았으나, 얇은 표면층이 박리되는 Scaling현상이 일어나게 되는 것으로 사료된다.

5. 결론

동결방지제의 염화칼슘(CaCl_2)을 동결수로 한 동결융해염(凍結融解鹽)작용에 대하여 콘크리트의 표면열화를 각 결합재의 종류별로 평가한 결과 작용기구가 상이했으며, 구성재료의 열팽창계수 차이에 따른 응력발생과 거시적 메카니즘에 대한 추가연구가 요구된다.