

# 콘크리트 표면보호재 종류에 따른 동결융해 및 중성화 내구특성

## Freeze-Thaw Durability and Carbonation of Concrete Surface Protecting materials

이 병 덕\*      김 현 중\*\*      권 영 락\*\*\*      김 세 준\*\*\*\*  
Lee Beung Duk, Kim, Hyun Joong, Kwon Young Rak, Kim Sye Jun

### ABSTRACT

Domestic area of most be happened chloride deicer damage. Because daily mean temperature is below 0°C from the area of domestic most. Use of deicing chemicals has been and will continue to be a major part of concrete structure in the highway. Chloride-containing chemicals such as calcium chloride or rock salt are main deicers for the road. Extensive use of chloride deicers is, however, not only the source of substantial cost penalties due to their corrosive action and ability to deterioration roadway surface materials but also the source of environmental damages. Chloride-containing chemicals such as calcium chloride or rock salt are main deicers for the road. Extensive use of chloride deicers is, however, not only the source of substantial cost penalties due to their corrosive action and ability to deterioration roadway surface materials but also the source of environmental damages. In this study, Use of deicing chemicals has been and will continue to be a major part of highway freeze-thaw durability and carbonation of concrete surface protecting materials

### 요 약

제설제는 눈이나 얼음을 제거하기 위해 사용되는 것이므로, 언제나 결빙과 융해 현상이 함께 일어나는 환경에서 사용된다. 물은 온도가 저하되어 콘크리트 내부에서 얼음으로 생성되고, 이로 인한 팽창효과가 콘크리트 내부의 공극에 의해 해소되지 않는 경우 파괴를 일으킨다. 이러한 결빙 현상이 제설제 살포와 함께 일어나는 경우 콘크리트의 열화 요인에서 알 수 있듯이 순수한 물의 결빙보다 훨씬 복잡하고 심각한 피해를 일으킨다. 특히, I형측구, 다이크, 난간방호벽, 중분대, 방음벽등의 소구조물은 염화물과 동결융해 환경에 직접적으로 노출되어 있어 콘크리트 표면이 박리되는 현상(scaling)과 철근 부식 등을 일으켜 손상의 가속화로 구조물의 내구성이 급격하게 저하되어 콘크리트 표면에 표면보호재를 사용하고 있다.

본 연구에서는 콘크리트 소구조물의 동해 및 염해에 의한 중성화, 스켈링, 단면손실 등 피해에 대한 적정 보수방안 수립을 위해 콘크리트 표면보호재를 염수침지에 의한 동결융해시험 후와 촉진탄산화시험을 실시하여 부착강도 및 중성화깊이를 비교분석 하였다.

\* 정회원, 한국도로공사 도로교통기술원 책임연구원 · 공학박사  
\*\* 정회원, 한국도로공사 도로교통기술원 연구원 · 공학석사  
\*\*\* 정회원, 한국도로공사 도로교통기술원 연구원 · 공학석사  
\*\*\*\* 비회원, 주식회사 세테크 전무이사 · 공학박사

## 1. 서 론

동결방지제의 주성분인 NaCl과 CaCl<sub>2</sub>의 고농도 용액은 콘크리트 중의 Ca(OH)<sub>2</sub>를 용출시켜 농도 15% 이상, 온도 20℃ 이하의 환경에서 CaCl<sub>2</sub>와 Ca(OH)<sub>2</sub> 또는 CaCO<sub>3</sub>으로부터 이루어지는 염기성 복염을 생성하며, 그 결정의 성장압에 의해 콘크리트가 열화된다. 이와 같은 현상은 한냉지에서 도로에 살포되는 염화물계 제설제에 의한 콘크리트의 열화 매카니즘으로 알려져 있다. 콘크리트 소구조물의 동해 및 염해에 의한 중성화, 스킨링, 단면손실 등 피해에 대한 적정 보수방안 수립을 위해 4종류의 표면보호재를 적용한 시편과 무처리 시편으로 열화처리전과 열화처리(3% NaCl 염수침지에 의한 동결융해, 촉진탄산화, 촉진내후성)후의 중성화 깊이, 부착강도 시험을 실내에서 수행하였다.

## 2. 시험개요

### 2.1 사용재료 및 배합비

시험체는 비중 3.15인 1종보통시멘트, 잔골재 비중 2.59, 굵은골재 비중은 2.61로 표 3과 같은 배합비를 통해 제작하였다.

표 1 콘크리트 배합비

fck	Gmax.	W/C (%)	S/A (%)	단위재료사용량 (kg/m <sup>3</sup> )					공기량 (%)	슬럼프 (cm)
				W	C	S	G	AE감수제		
21MPa	25	52.3	48	173	331	851	922	Cx0.5%	4.5	10.0

### 2.2 시험방법 및 변수

3% NaCl 염수침지에 의한 동결융해 및 촉진탄산화 시험용 콘크리트 시편은 표 1의 배합비에 의해 30×30×5cm 크기로 제작되었으며, 20 ± 3℃의 온도에서 수중 양생시킨 재령 28일의 시편을 사용하였다. 양생후 시편은 각각의 표면보호재 종류에 따라 열화부의 표면치핑(위터젯)방식으로 시공되었다.

표 2 표면보호재의 특성 및 시험방법

구 분	표면보호재 특성 및 종류			
표면보호재 종류	폴리머몰탈(LS)	포졸란몰탈(SI)	세라믹계수지(DL)	침투식
표면보호재 시공방법	폴리머 몰탈, 1cm 도장재 1회 도포 (무용제형 폴리머, 100 $\mu$ m)	포졸란 몰탈, 1cm	초속경 폴리머 몰탈, 1cm 도장재 1회 도포 (세라믹계 수지, 100 $\mu$ m)	초속경 폴리머 몰탈, 1cm 침투방수제 1회 도포
시험종류	측정항목			
	부착강도		중성화깊이	
염수침지에 의한 동결융해시험 전·후	●		●	
촉진탄산화시험 전·후	●		●	

부착강도 시험을 위해 시험체의 절삭은 직경 100mm의 코어비트를 사용하여 슬래브 시험체 1개 당 4개소를 표면보호재가 시공된 곳 보다 약 1cm 깊게 절삭하였다. 코어비트에 의해 절삭을 실시한 후 중성화, 염수용액 침지에 의한 동결융해 시험전에 코어비트에 의해 절삭된 부분의 흠을 실리콘으로 메운 후 각각의 시험기간 종료 후에 시편 표면에 수분을 건조시킨 후 부착강도 시험용 디스크를 부착하고, 디스크가 완전히 부착될 때까지 양생한 후 부착강도시험을 실시하였다. 인발은 변위제어로 15mm/min의 재하속도로 최대하중에 도달 될 때까지 하중을 가하였다. 표면도장재료가 콘크리트로부터 분리되는 최대 부착강도를 측정하고 파괴되는 양상을 관찰하였다. 최대 부착강도는 다음과 같은 식

에 의해서 구하였다.

$$\text{부착강도} = \frac{\text{인장하중}(kgf)}{\text{접착면적}(cm^2)}$$

KS F 2456 A법에 따라 동결융해 사이클은 2시간 동안 4℃에서 -18℃로 떨어뜨리고, 다음에 1시간 동안 -18℃에서 4℃ 상승시키는 것을 1사이클로 300 사이클을 실시하였다.

무처리 시편과 표면도장재료를 적용한 콘크리트 시험체에 대해서 상대습도 60%, 온도 40℃, CO<sub>2</sub> 농도 10%의 균일한 환경에서 1,000, 2,000시간 촉진중성화 시험을 수행하였다.

### 3. 시험 결과 및 고찰

#### 3.1 염수침지에 의한 동결융해시험후 중성화 및 부착성

폴리머 및 포졸란, 세라믹 표면보호재에서는 중성화가 나타나지 않았으며, 무처리 콘크리트에서는 약 10mm 정도 중성화가 진행 되었다. 침투식에서는 약간의 중성화만이 나타났다. 3% NaCl 염수침지에 의한 동결융해 시험 후 부착강도 시험 결과 콘크리트 표면에 도막화하여 사용하는 표면보호재 제품에 대한 부착강도는 통상적으로 1~1.5 MPa이상으로 규정된 경우가 많으나, 시험한 제품 중 폴리머와 포졸란계 제품을 제외한 나머지 제품들은 모두 우수한 부착강도를 나타냈으며, 세라믹과 폴리머를 제외한 모든 시험체에서 동결융해 시험후 부착강도 저하가 크게 나타났다. 그러나 폴리머에서는 부착강도가 약 0.4 MPa 정도로 세라믹 제품에 비해 30% 정도인 것으로 나타났다. 열화시험 전·후 제품별로 보면, 포졸란 계열의 제품은 염수침지에 의한 동결융해시험 후의 부착강도가 전혀 없는 것으로 나타나 무처리 시편과 같은 결과를 보여 주었다. 침투식은 염수침지에 의한 동결융해 시험 전에는 1.35 MPa 정도의 부착강도를 보였는데, 시험 후에는 0.1 MPa 정도로 나타나 부착강도가 크게 저하되었다. 세라믹 제품은 염수침지에 의한 동결융해 시험전과 후 모두 부착강도가 1.5 MPa 이상인 것으로 나타났다.

동결융해시험후 부착성 시험 결과, 계열에 따라 부착성이 저하되는 정도가 각기 다르게 나타났다. 이러한 결과는 특정제품에 대한 결과이므로 계열에 대한 특성을 대표한다고 할 수는 없겠으나, 세라믹 제품이 가장 우수한 것으로 나타났다. 부착강도를 시험한 제품 중 폴리머 및 포졸란은 염수침지에 의한 동결융해 시험전과 후의 파괴형태가 유사한 것으로 나타났는데, 바탕 콘크리트와 보호재 몰탈 계면에서 파괴되었다. 반면에 세라믹 제품에서는 보호재 표면과 접착제 계면에서 파괴가 되어 부착강도 또한 높은 것으로 나타났다. 침투식은 바탕 콘크리트 페이스트가 탈리되어 파괴되었고, 무처리 콘크리트에서는 표면열화가 크게 발생하여 시험을 수행할 수 없었다.

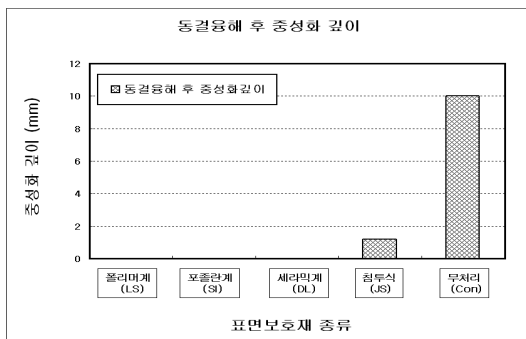


그림 1 동결융해후 중성화 깊이

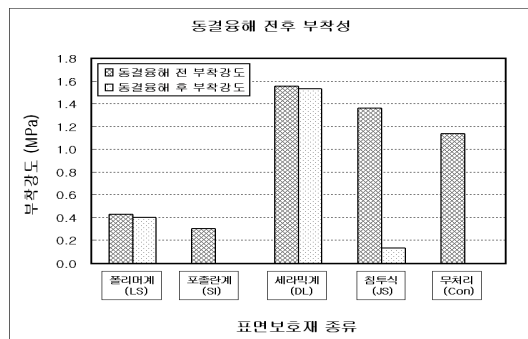


그림 2 동결융해 전후 부착성

#### 3.2 촉진탄산화 후 중성화 및 부착성

축진탄산화 시험후의 부착성능 결과 세라믹과 칩투식 제품을 적용한 시험체가 부착강도가 높게 나타났으며 폴리머계, 포졸란계의 경우 부착강도가 낮은 결과를 나타냈다. 탄산화시험 전후의 부착성 시험 결과는 무처리 시편에서는 약 시험전에 비해 1,000시간 후에서 1.2%, 2,000시간 후에 75.3%의 부착성 저하가 일어났고, 폴리머에서는 시험전에 비해 1,000시간 후에서 6.5%, 2,000시간 후에 93.7%의 부착성 저하가 발생하였다.

폴리머계, 세라믹계 에서는 탄산화가 진행되지 않았으며, 포졸란계에서는 약 2,000시간 후 약 2mm 정도 중성화가 진행되었다. 반면에 칩투식의 경우 시간이 경과함에 따라 중성화가 계속적으로 진행하였고, 무 처리된 시험체에 비해 중성화 깊이는 작은 것으로 나타났으나 시간에 따라 중성화 진행 경향이 유사한 것으로 나타났다. 따라서, 폴리머계와 세라믹계의 경우 탄산화 작용에 대한 표면보호재 적용 효과가 우수한 것으로 나타났고, 포졸란계는 중성화 억제효과가 시간이 지남에 따라 떨어질 수 있는 것으로 나타났다. 그러나 칩투식의 경우 중성화 억제 효과가 적거나 시간이 증가함에 따라 효과가 거의 없음을 보여주었다.

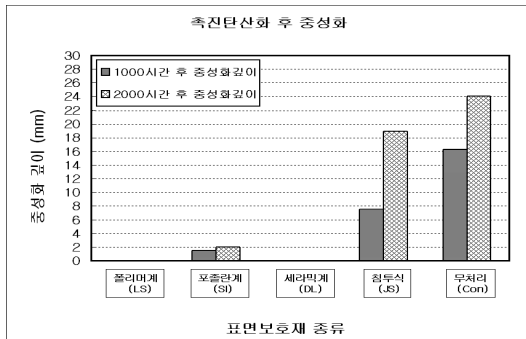


그림 3 축진탄산화후 중성화 깊이

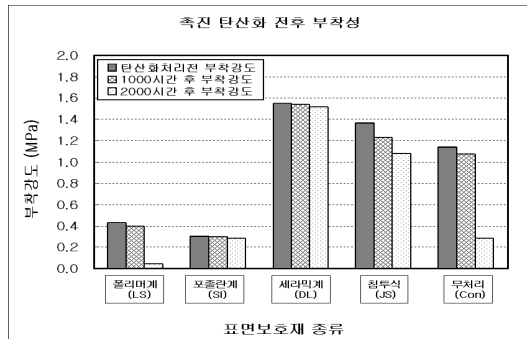


그림 2 축진탄산화 전후 부착성

#### 4. 결론

- 1) 염수침지후의 동결융해 시험결과 칩투식을 제외한 표면보호재는 중성화가 일어나지 않았으며 축진탄산화시험후의 중성화역시 거의 일어나지 않았다.
- 2) 부착성능의 경우 염수침지된 동결융해후 세라믹계가 가장 우수한 부착성능을 보이고 있으며 폴리머와 포졸란계의 경우 비슷한 부착성능을 나타냈다.
- 3) 폴리머와 세라믹계의 표면보호재가 가장 중성화 억제효과가 크게 나타났으며 염해의 영향과 동결융해의 영향을 함께 받는 복합열화지역에서 칩투식을 제외한 표면보호재의 효과는 뛰어난 것으로 판단된다.
- 4) 각 표면보호재료에 대한 상대적인 내구성능 및 부착성의 비교·분석 결과 전제적인 재료의 특성에 따른 결과라고 볼수는 없으나 세라믹계가 가장 우수한 것으로 나타났다.

#### 참고문헌

1. A. Nadezhdin, D. A. Mason, B. Mason, D. F. Lawless, and J. P. Fedosoff, "The Effect of Deicing Chemicals on Reinforced Concrete", Deicing Chemicals and Snow Control, Transportation Research Record 1157, National Research Council, Washington D.C., 1988.
2. ASTM C 666-84, "Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing", ASTM Standard, 1984.
3. Browne, F.P. and Cady, P.D., "Deicer scaling mechanism in concrete in durability of concrete", ACI Special Publication SP-47, American Concrete Institute, Detroit, MI. 1975, pp. 101~119.