

제설제 및 동결융해 환경하에서 콘크리트의 내구성 증진 방안에 관한 연구

Improvement of Concrete Durability under Deicing and Freez-Thaw Environment

이병덕*

윤병성**

Lee, Byung Duck Yun, Byung Sung

ABSTRACT

In order to traffic safety during winter season, snowfall and cold area has been spread the deicing chemicals, and the spraying amount is increasing every year. Use of deicing chemicals has been and will continue to be a major part of highway snow and ice control methods. Chloride-containing chemicals such as calcium chloride or rock salt are main deicers for the road. Extensive use of chloride deicers is, however, the source of substantial cost penalties due to their corrosive action and acceleration to deterioration concrete structures.

Deterioration due to de-icer salt occurs in practice in concrete pavement, dike, barrier and similar structure. This paper reports the results of effect of de-icer salt on durability of concrete structure in winter. To protect concrete structure from damage by de-icer salt in winter, the exposure test was performed using three methods such as increase in design strength upto 32MPa application of granulated blast furnace slag powder, and concrete sealer. Of these, the method of increase in design strength upto 32MPa showed better durability for deterioration by de-icer salt.

1. 서 론

적설한랭지역의 동절기 교통안전을 위해 살포하는 제설제는 일반적으로 염화칼슘(CaCl_2), 염화나트륨(NaCl)과 같은 염화물계가 주성분으로, 염해에 의한 철근부식으로 구조적 성능저하를 일으키기도 하지만, 동절기 동해와 함께 복합적으로 작용하여 표면 스킨링 발생 등 콘크리트 표면이 열화되는 형태로 나타나 외관상 문제가 되고, 열화를 더욱 가속시키기도 한다⁽¹⁾. 특히 보수후 재열화 빈도가 높아 건설시부터 근본적인 대책을 세워 설계, 시공할 필요가 있다.

당사에서 관리하는 고속도로 구조물 중, 동절기 동안 제설제의 살포량이 많고 동결융해 작용을 심하게 받는 지역의 콘크리트 배수구조물(다이크, L형측구)과 중앙분리대, 방호벽과 같이 제설제와 직접 접촉하는 구조물에서 표면 열화 형태의 손상이 많이 관찰되어, 이에 대한 원인분석 및 개선방안을 검토하고자, 대표적 적설한랭구간인 영동고속도로 횡계~강릉간 구간의 배수구조물에 대해 2002~2005년까지 추적조사를 통해 제설제가 콘크리트 내구성에 미치는 영향을 검토하였다.

2. 내구성 증진을 위한 시험시공 방안

2.1 대책 방안

* 정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 책임연구원 · 공학박사
** 정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 연구원 · 공학석사

제설제에 의한 콘크리트의 조기 표면열화 방지를 위해서는 동해에 대한 내구성을 갖고, 제설제의 침투자체를 억제하며, 표면에서 제설제의 용해에 의한 온도변화에 견딜 수 있는 방안이 기본이 된다고 할 수 있다⁽¹⁻²⁾. 즉 콘크리트 자체의 조직이 치밀하고 역학적인 특성이 우수하며, 동해 우려를 위해 충분한 공기량을 확보해 주는 것이 필요하다.

본 연구에서는 이와 같이 제설제와 동결융해 환경하에 콘크리트의 조기 표면 열화를 방지하고, 내구성을 증진하기 위한 방안으로 표 1과 같은 대책을 선정하였다. 설계기준강도 상향조정시 선택한 32MPa 이상(W/C 0.45이하)은 콘크리트 구조설계기준 내구성설계 및 ACI 관련코드 등을 참고하여 결정하였다.

표 1 본 연구에서 선정한 내구성 향상 방안

구 분	내구성 향상 방안			기 준
	①설계강도 상향조정	②고로슬래그 혼합	③침투식 방수제 도포	
설계강도	32MPa 이상	21MPa	21MPa	21MPa
W/C(%)	<45	50	55	55
공기량	5~7%	5~7%	5~7%	5~7%
혼화제 혹은 첨가제	-	시멘트량의 50% 대체	침투식 방수제 도포	-

2.2 시험 시공

앞서 제안한 3가지 안으로, 영동고속도로 횡계~강릉간 4차로 확장공사 구간에서 다이크와 측구 구조물을 대상으로 시험시공을 실시하였다. 시험시공 연장은 각 안에 대해 85~200m 정도였으며, 2001년 6월~10월에 실시하였다. 콘크리트 타설은 슬립폼페이퍼(Commander3, SP-250) 장비에 의한 기계식으로 실시하였다. 설계강도를 상향조정된 고강도 배합의 경우 28일 압축강도는 평균 39MPa 슬래그 미분말 첨가한 경우 평균 26MPa, 방수제 도포한 경우 평균 26MPa 정도를 나타내었다.

2.3 추적조사 및 분석방법

시험시공 후 매 동절기를 지난 후 추적조사를 실시하였다. 각 시험시공 실시 구간을 전체에 걸쳐 육안관찰에 의한 외관 검사를 행하여 표면 열화상태를 검사하였다. 또, 대표적이라고 생각되는 부위에 대하여 코어 시험체를 채취해 깊이별 염화물 침투량, 중성화 깊이를 조사하였다.

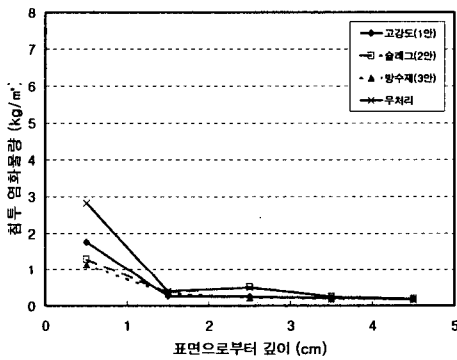
3. 추적조사 결과 및 고찰

표 2에 내구성 향상 대책을 적용한 구간과 미적용 구간에 대한 외관상태 조사결과를 나타내었다. 기존방식에 의해 시공된 구간은 동절기 1회 경과된 시점에서 이미 제설제와 동결융해에 의한 표면 스킨링 현상이 나타났는데 반해, 내구성 향상대책을 적용한 구간에 있어서는 1년 경과시점에서는 외관손상이 발견되지 않았으나, 2년 경과시점으로부터 고로슬래그 혼합의 경우와 방수제 도포의 경우 일부 다이크 윗면과 옆면에서 국부적인 스킨링 현상이 발견되었다. 그러나 미적용 구간과는 달리 전체적인 손상은 아니고, 점(spot) 형태로 매우 국부적이고 경미하게 관찰되어 우려할만한 수준의 손상은 아니라고 판단할 수 있으나, 손상이 시작되는 단계라고 생각된다.

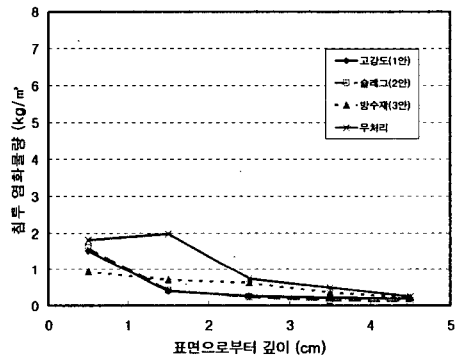
표 2. 육안조사결과

구 분	1년차	2년차	3년차	4년차
강도 상향조정	이상없음	이상없음	이상없음	이상없음
고로슬래그 혼합	이상없음	이상없음 (다이크 상·측면 스킨링)	이상없음 (다이크 상·측면 스킨링)	이상없음 (다이크 상·측면 스킨링)
방수제 도포	이상없음	이상없음 (다이크 상면 스킨링)	이상없음 (다이크 상면 스킨링)	이상없음 (다이크 상면 스킨링)
기 준(미적용)	표면스킨링 발생	전면적인 표면스킨링,1년 경과시에 비해 손상 확대	전면적인 표면스킨링,2년 경과시에 비해 손상 확대	전면적인 표면스킨링,3년 경과시에 비해 손상 확대

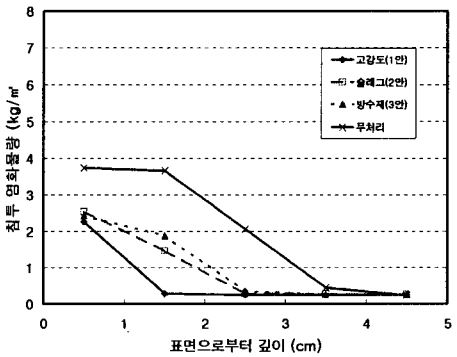
그림 1은 깊이별 염화물 함량 측정결과를 나타낸 그림이다. 미적용 구간에 비해서 내구성 향상대책을 적용한 구간들이 모두 침투염화물량이 작은 것을 알 수 있다. 3가지 대책들 중에서는 방수제를 도포한 경우가 강도상향조정, 슬래그 혼합시킨 경우에 비해 표면에서 1cm 이후로도 염화물이 더 많이 침투된 것으로 나타났다. 시간 경과에 따른 영향을 보면 미적용 구간이 시간 경과에 따라 염화물량 침투가 표면에서 더 깊은 곳까지 침투했음을 알 수 있는 반면, 내구성 향상대책을 적용한 경우, 표면 0~1cm의 침투염화물량 결과가 시간경과에 따라 반드시 증가하지 않는 경향을 보이고 있다. 이는 염분이 콘크리트 내부까지 다량 확산되지 않았고, 표면부위의 염분이 빗물과 청소 등에 의해 씻겨갈 가능성, 중성화 깊이가 진전될 경우, 염화물이 내부로 이동하는 경우가 있어, 이와 같은 복합적인 작용에 의한 것으로 판단할 수 있다. 따라서 염화물 침투정도가 많은지의 여부는 표면층에서의 염화물량으로 판단하기 보다는 표면에서 내부로 얼마나 많은 양의 염화물이 침투했는지의 여부로 판단하는 것이 바람직하다고 판단된다. 내구성 향상대책 중에서는 시간 경과에 따른 염화물 침투량은 증가하는 방수제도 포의 경우가 가장 두드러지게 나타났다.



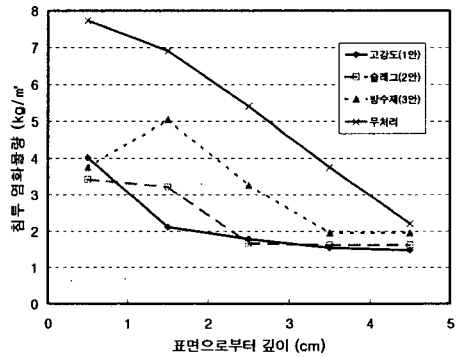
① 1차년도



② 2차년도



③ 3차년도



④ 4차년도

그림 1 침투염화물량 측정 결과

그림 2에 중성화깊이 측정결과를 나타내었다. 내구성 향상대책 미적용 구간의 경우에 비해 적용 구간이 중성화 깊이 결과가 절반이하로서 중성화에 대한 억제 효과가 있는 것으로 나타났다. 내구성 향상대책중에서는 슬래그를 혼합하여 시공한 경우가 강도상향조정된 경우에 비해 중성화 깊이가 더 크고, 시간경과에 따라서도 증가하는 것으로 나타났다. 이는 강도상향조정된 경우보다 강도가 낮고, 슬래그 혼합에 따른 포졸란 반응에 의해 내부 pH가 저하되었기 때문이라고 생각된다.

한편, 침투식 방수제를 도포한 경우는 중성화 깊이는 측정하지 못하였고, 대신 방수제 침투깊이를 측정하였다. 이는 방수제의 영향으로 중성화 깊이를 정확하게 판단하기 곤란하였기 때문이다. 방수제 침투깊이를 확인해 본 결과, 시공 개소에 따라 설계치 이상 침투해 있는 곳도 있는 반면, 침투해 있지 않은 곳도 있는 것으로 나타나, 철저한 시공관리에 의해 침투량 및 침투깊이를 확보해야 할 필요가 있을 것으로 보인다.

시험결과를 종합해 보면, 적설한랭지역의 제설제 살포시 콘크리트 구조물의 내구성 확보를 위해서 선정된 3가지 안들이 모두 효과가 있는 것으로 나타났고, 그 중에서 현재의 설계강도에 비해 상향 조정된 32MPa 이상의 콘크리트를 적용하는 것이 가장 바람직한 것으로 나타났다. 제설제에 의한 내구성 확보의 범위를 신설 구조물과 공용중인 기설구조물로 구분한다면, 신설시에는 설계강도를 32MPa 이상으로 상향조정하는 것이 타당하고, 기설구조물은 이미 21MPa로 구성되어 있어, 콘크리트 표면에 방수제를 도포하여 내구성을 확보하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

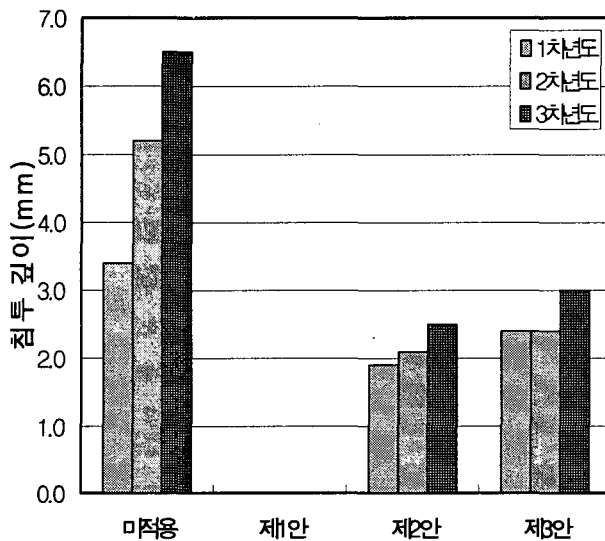


그림 2 중성화 및 방수제 침투깊이

4. 결 론

동절기 제설제에 의한 콘크리트 열화현상에 대한 내구성 향상을 위해 적설한랭구간인 영동고속도로 회계~강릉 구간에 설계강도 상향조정, 슬래그 미분말 첨가, 방수제 도포의 3개의 안으로 시험시공을 하여 4년 경과 추적조사를 실시한 결과, 제설제 및 동결융해 작용에 의한 내구성저하 억제 효과가 있는 것으로 나타났다. 내구성 향상 대책안 중에서, 슬래그 혼합과 방수제 도포한 경우, 2년 경과시점에서 약간의 표면스켈링 현상이 나타나, 표면열화에 의한 손상이 시작되는 징후를 보여주어, 강도상향 조정된 경우가 가장 우수한 효과를 나타낸 것으로 생각된다.

따라서 제설제에 의한 내구성 확보를 위해 신설시에는 공기연행제를 사용하여 적정 공기량을 확보하고, 강도를 상향조정하는 것이 가장 바람직한 방법임을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. 融雪劑によるコンクリート構造物の劣化研究委員會報告書・論文集, 日本コンクリート工學協會, 1999.
2. M.Pigeon and R.Pleau, Modern Concrete Technology 4, Durability of Concrete in Cold Climate, Chapter 2, Theories of Frost Action and Deicer Salt Scaling Mechanism, pp.11-30, EFN SPON, 1995.