

# 제설제로부터 기인한 염화물의 콘크리트 확산특성

## Chloride Diffusion of Concrete in Presence of De-icing Salt

정해문\*

안태송\*\*

Cheong, Hai Moon Ahn, Tas Song

### ABSTRACT

In winter, a large amount of de-icing salts such as  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{NaCl}$  have been used on highways for road safety. They make concrete structures deteriorated. In this study, the chloride diffusion of concrete in presence of de-icing salt was investigated. The diffusion coefficient of chloride in presence of  $\text{CaCl}_2$  solution was larger than in presence of  $\text{NaCl}$  solution. Therefore, it is necessary to assess chloride profile in presence of  $\text{CaCl}_2$  by different way from the case in presence of  $\text{NaCl}$  solution or seawater.

### 1. 서론

최근 콘크리트 구조물의 내구성에 대한 관심이 높아지면서 콘크리트 조기열화로서 가장 대표적인 염해에 대한 연구가 많이 진행되고 있다<sup>1)</sup>. 염해를 일으키는 염화물의 출처로는 바닷물과 제설제가 대표적으로 바닷물에서 기인하는 염해에 대하여 많은 연구가 이루어져 왔고, 최근 겨울철 교통안전대책으로 염화물계 제설제의 사용량이 증가하면서 제설제로부터 기인하는 염해에 대하여 관심이 증가되고 있는 실정이다.

제설제에 의한 염해는 해양구조물의 염해와는 달리, 겨울철 동해와 복합적으로 작용하여 단순히 염화물 확산에 의한 철근부식의 문제뿐만 아니라, 표면스케일링, 박리/박락 등의 손상을 일으켜 이러한 물리적 손상이 철근부식을 더 촉진시키게 된다<sup>2)</sup>.

제설제로 널리 사용되는 염화물로는 염화칼슘( $\text{CaCl}_2$ )과 염화나트륨( $\text{NaCl}$ )으로서, 특히 염화칼슘이 가장 많이 사용되고 있다. 바닷물은 염화나트륨 용액과 조성이 비슷하여 해양구조물의 염해에 대한 실내실험시 염화나트륨 용액을 주로 사용하고 있어 이에 대한 콘크리트 확산특성에 대한 연구는 많이 진행되어 왔으나, 염화칼슘을 이용한 염화물의 확산특성에 대한 보고는 많지 않은 편이다. 제설제에 의한 염해를 보다 정확히 이해하기 위해서는 염화칼슘에서 기인하는 염화물에 대한 콘크리트 확산특성을 파악하는 것이 중요하다.

본 연구에서는 염화칼슘으로부터 기인하는 염화물의 콘크리트 확산특성을 검토하였으며, 그 결과를 보고하고자 한다.

\*정회원, 한국도로공사 도로교통기술원 책임연구원

\*\*정회원, 한국도로공사 도로교통기술원 수석연구원

## 2. 실험 방법

염화칼슘의 염화물 확산특성을 검토하기 위해 콘크리트 공시체를 제작하여 염화칼슘과 염화나트륨 3% 수용액에 1년간 침지시켜 침투염화물량을 분석하였다. 염화물 공급이 일정한 조건으로 하기 위해 각각 중량으로 3% 수용액을 제조하여 사용하였고, 온도도 20 ~ 25℃로 유지되는 실험실에서 침지시켰다. 표 1에 본 실험에 사용한 콘크리트 배합을 나타내었다. 사용한 시멘트 재료로는 보통포틀랜드, 무기계 혼화재료로 약 4,000cm<sup>2</sup>/g의 비표면적을 갖는 슬래그 미분말을 사용하였다. 최대골재치수는 25mm로 하고, 단위수량을 165kg/m<sup>3</sup>으로 하여 물-시멘트비가 0.3 ~ 0.55의 콘크리트를 제작하였다. 슬래그 미분말은 물-시멘트비 0.4와 0.5에 대해서 시멘트에 대해 각각 30%와 50%를 첨가하였다. 콘크리트 공시체는 직경 10cm 길이 20cm의 원주형으로 하여 제작하여 재령 28일까지 수중에서 양생한 다음, 14일간 기건양생하여 길이 10cm로 절반으로 컷팅하여 컷팅면으로 염화물 수용액이 침투하도록 하고, 나머지 둘레면은 염수가 침투되지 못하도록 에폭시 도료로 도장한 다음, 염수에 침지시켰다. 침지후 1년이 경과한 시점에서 공시체를 꺼내어 염수 접촉면을 브러쉬 등을 이용해 잘 세척한 다음, 표면으로부터 1cm 간격으로 절단하여 깊이별 염화물 농도를 전위차 적정법에 의해 측정하였다. 깊이별 염화물 침투량으로부터 콘크리트의 염화물 프로파일을 구해 Fick의 확산법칙을 이용해 표면에서의 염화물량 및 확산계수를 추정하였다.

표 1 본 실험에 사용한 콘크리트의 배합

구분	G <sub>max</sub> (mm)	슬래그 (C×%)	W/C (%)	s/a (%)	단위재료량(kg/m <sup>3</sup> )					
					W	C	슬래그	S	G	혼화제((C×%))
N30	25	0	30	45	165	550	-	765	971	1.3
N40		0	40			413	-	815	1034	1.0
N45		0	45			367	-	831	1055	0.8
N50		0	50			330	-	844	1072	0.6
N55		0	55			300	-	855	1086	0.5
S30-40		30	40			289	124	810	1028	1.0
S50-40		50	40			206	206	807	1024	0.8
S30-50		30	50			231	99	841	1067	0.6
S50-50		50	50			165	165	838	1064	0.5

## 3. 결과 및 고찰

그림 1에 각각 3% 염화칼슘 용액과 염화나트륨 용액에 1년간 침지시킨 콘크리트 공시체의 염화물 침투결과를 나타내었다. 동일 물-시멘트비에서 보았을 때, 염화칼슘 용액에서 염화나트륨 용액보다 염화물 침투가 더 많이 이루어지는 것을 알 수 있다. 그리고 물-시멘트비가 클수록 염화물의 침투량이 더 많고, 슬래그 첨가에 따라 염화물 침투가 억제되는 효과가 나타나는 것을 알 수 있다.

그림 2는 그림 1의 염화물 침투 프로파일로부터 계산한 확산계수를 나타낸 것이다. 확산계수 결과도 염화칼슘 용액 침지의 경우가 염화나트륨 용액에 비해 큰 것으로 나타나 동일 시간동안의 염화물 확산이 빠른 것으로 나타났다. 대체로 동일 물-시멘트비의 공시체에 대해서 확산계수가 1.5배 정도 큰

것으로 나타났고, 동일 물-시멘트비에서 보았을 때 슬래그를 첨가한 경우 염화물 용액간의 차이가 다소 작은 것으로 나타나 보다 치밀한 조직을 보여주고 있다는 것을 알 수 있다.

그림 3은 표면염화물량을 추정한 결과이다. 염수 침지 1년 경과 시점에서 보통포틀랜드 시멘트를 사용한 경우가 4 ~ 8 kg/m<sup>3</sup>, 슬래그를 첨가한 경우가 7 ~ 12 kg/m<sup>3</sup> 정도를 나타내었고, 물-시멘트가 작아질수록 표면염화물량이 다소 증가되는 경향을 보여주고 있다. 전체적으로 염화나트륨 용액보다 염화칼슘 용액의 경우가 표면염화물량이 큰 것을 알 수 있다. 본 연구에서는 침지재령 1년의 결과만 보고하므로 표면염화물량의 경과시간에 따른 증가경향에 대해서는 알 수 없었으나, 해수에서의 경과와 비교할 때, 해수보다 더 크게 시간 경과에 따라 증가할 것으로 예상된다. 그리고, 물-시멘트비가 작을수록 표면염화물량이 증가되는 경향을 보여주는 것은 물-시멘트비가 작을수록 조직이 치밀하여 침투한 염화물이 내부로 확산되기 힘들므로 표면부위에 더 많이 농축되기 때문으로 보인다. 한편 슬래그를 첨가한 경우에도 보통포틀랜드시멘트를 사용한 경우보다 표면염화물량이 큰 경향을 보여주고 있는데, 이것도 보통시멘트에 비해 치밀한 내부 조직을 지니고 있기 때문으로 보인다.

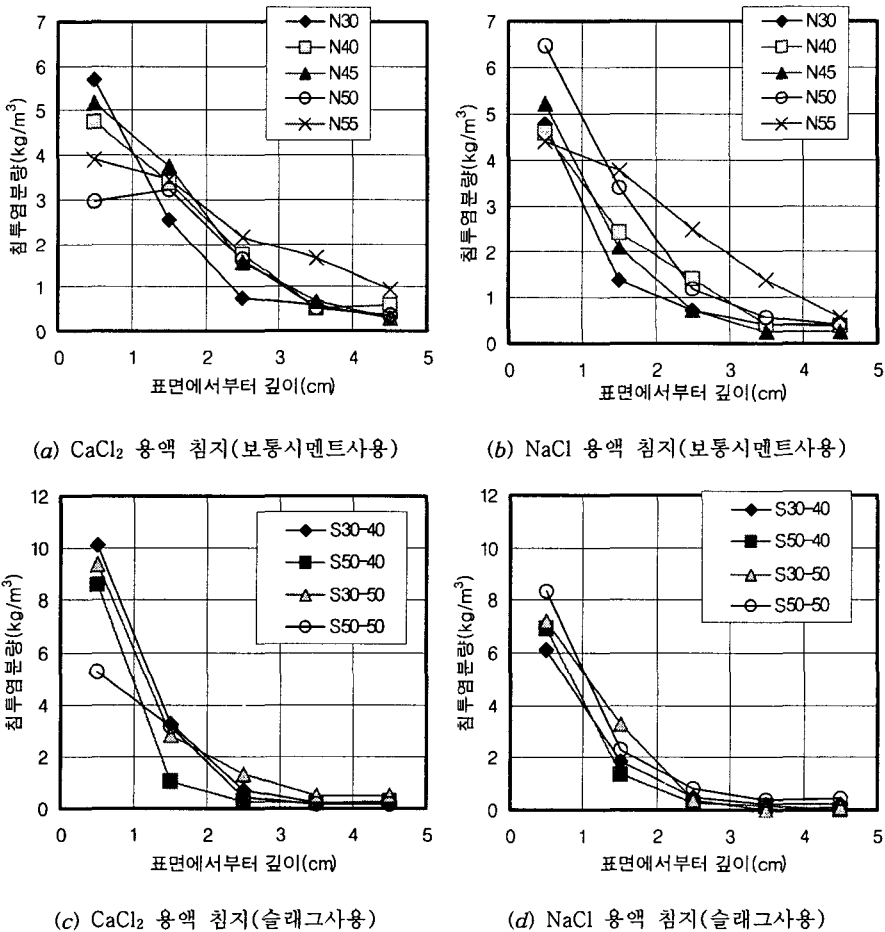
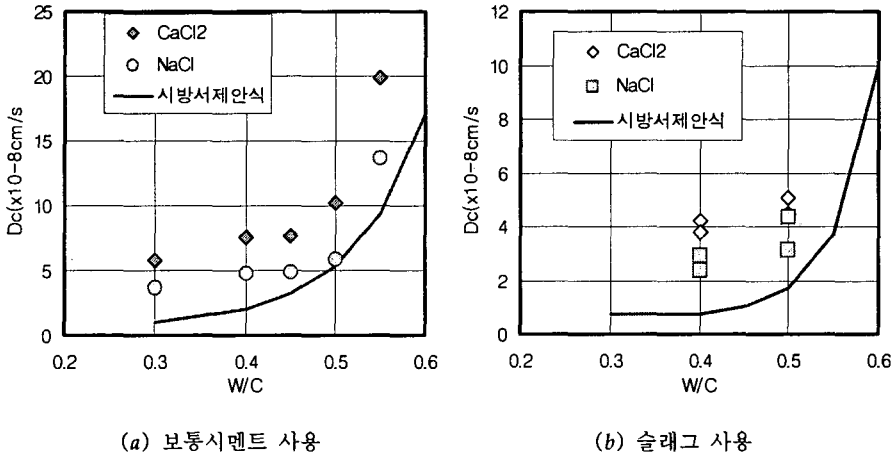


그림 1 CaCl<sub>2</sub>와 NaCl 용액에 침지한 콘크리트 공시체에 대한 염화물 침투 결과

이처럼 동일한 염화물계 화합물임에도 불구하고, 콘크리트 확산특성이 차이가 나는 것은 분체로서 동일한 양을 첨가하여 수용액을 제조할 경우 염화칼슘에 더 많은 염화물 이온이 포함되어 있기 때문으로 보인다. 즉 염화칼슘은 칼슘에 2개의 염화물이 결합되어 있어, 물에 용해되면 2개의 염화물 이온으로 이온화되기 때문으로 생각된다. 그러나, O.E.Gjorv 등<sup>3)</sup>은 염화물 이온의 몰비를 동일하게 하여 실험한 경우에도 염화칼슘 용액의 경우의 침투량이 더 많았다고 보고하고 있어, 이에 대한 더 깊은 연구가 필요할 것으로 생각된다. 따라서 이와 같이 염화물 종류에 따라 차이가 나므로, CaCl<sub>2</sub>에 의한 염해 내구성 평가시에는 해수(NaCl과 동일)에 의한 염화물 확산과는 달리 평가되어야 할 것으로 생각된다.



(a) 보통시멘트 사용 (b) 슬래그 사용  
 그림 2 CaCl<sub>2</sub>와 NaCl 용액에 침지한 콘크리트의 물-시멘트비와 확산계수와와의 관계

#### 4. 결론

제설제로 주로 많이 사용되고 있는 CaCl<sub>2</sub>에서 기인하는 염화물의 콘크리트 확산특성에 대해서 검토하여 보았다. 일반적으로 해수로 모사되는 NaCl 용액과 비교해 보았을 때, 동일 농도(3 wt%)일 경우 CaCl<sub>2</sub> 용액의 경우가 콘크리트 확산이 더 빨리 되는 것으로 나타났다. 동일한 물-시멘트비의 콘크리트일 경우 약 1.5배 정도 확산속도가 빠른 것으로 나타났다. CaCl<sub>2</sub>에 의한 염해 내구성 평가시에는 해수에 의한 염화물 확산과는 달리 평가되어야 할 것으로 생각된다.

#### 참고문헌

1. 岸谷孝一, 西沢紀昭, "塩害 (I), (II)", 技報堂, 1986.
2. 融雪濟によるコンクリート構造物の劣化研究委員会報告集, 일본콘크리트공학협회, 1999.
3. O.E.Gjorv and K. Sakai, Testing of Chloride Diffusion for Concrete, Int. Conf. on Concrete under Severe Condition, Vol.1, pp.654-666, 1995.

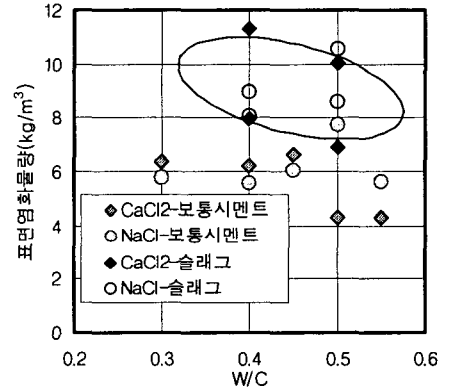


그림 3 물-시멘트비와 표면염화물량과 관계