

# 용빙제에 의한 콘크리트의 내구성능 저하에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on the Deterioration of Concrete Due to De-icing Salts

고 경택\* 류금성\*\* 이종석\*\* 김도겸\* 김성욱\*\*\* 이장화\*\*\*\*  
Koh, Kyung Taeg · Rue, Gum Sung · Lee, Jong Suk · Kim, Do Gyeum · Kim, Sung Wook · Lee, Jang Hwa

### ABSTRACT

In cold weather regions, a strong seasonal wind brings sea salts to the land. In addition to it, recently, the spreading amount of de-icing salts has increased numerously for the purpose of removing snow and ice. Thus the salts environment around concrete structures becomes so severe that various damages of concrete due to applied salts will be brought up. It is briskly carried out study on effects of de-icing salts on concrete in America, Japan, European countries. However, there are not test method for the deterioration of concrete subjected to both freezing-thawing and chloride attack in Korea. In this study, we conduct on test for the compound deterioration subjected to both freezing-thawing and chloride attack, in order to investigate effects of de-icing salts on the deterioration of concrete.

### 1. 서 론

해안에 근접한 콘크리트 구조물이 동결융해 작용을 받을 경우, 내륙 콘크리트 구조물에 비해 내구성능 저하가 촉진된다고 알려져 있다.<sup>1)</sup> 그 원인으로서는 해수 작용에 의해 침투압이 발생하여 콘크리트 표면부의 세공구조가 조대화가 됨에 따라 동결 가능한 수량이 증가되어 동결융해 작용을 받을 때 수압이 크게 발생하기 때문이다.<sup>1), 2)</sup>

최근 동절기에 차량의 안전 주행을 위해 도로 및 교량에 염화칼슘, 염화나트륨 등 용빙제의 산포량이 현격히 증가하고 있으며 이로 인해 내륙 콘크리트에서도 해안 콘크리트와 마찬가지로 동결융해와 염해의 복합작용에 의한 내구성능 저하가 염려된다. 용빙제의 염화물 이온이 콘크리트에 주는 영향은 해수의 경우와 동일한 것으로 알려져 있다.<sup>1)</sup> 그리고 동결융해와 염해의 복합작용에 의한 내구성능 저하는 주로 표면박리가 촉진되는 스케링 (scaling)이 된다.<sup>1), 2)</sup>

미국, 유럽 등에서는 용빙제가 콘크리트에 미치는 영향에 대해 연구가 활발히 진행되고 있다. 1971년에 ASTM C 672<sup>3)</sup>로서 시험방법이 규정되었으며, RILEM에서도 ASTM 시험방법을 참고로 한 시험방법이 규정되어 있다. 최근에는 RILEM TC 117위원회가 용빙제 용액을 모관 흡수시키는 CDF시험(Capillary suction of deicing chemicals and freeze thaw test)방법을 제시하였다. 그러나 국내에는 동결융해와 염해에 대한 각각의 단

\* 정회원, 한국건설기술연구원 토목연구부 선임연구원  
\*\* 정회원, 한국건설기술연구원 토목연구부 연구원  
\*\*\* 정회원, 한국건설기술연구원 토목연구부 구조재료그룹장  
\*\*\*\* 정회원, 한국건설기술연구원 기획조정실 실장

일 작용에 관한 연구는 이루어지고 있으나, 동결융해와 염해에 대한 복합 내구성능 저하 시험방법은 규정되어 있지 않으며 또한 이에 대한 연구가 거의 이루어지지 않은 실정이다.<sup>4)</sup> 따라서 본 연구에서는 동결융해와 염화물의 복합작용을 받는 콘크리트의 내구성능 저하를 평가하는 방법을 검토하기 위해 복합 내구성능 저하 실험을 실시하였다.

## 2. 시험개요

동결융해와 염화물의 복합작용에 의한 내구성능 저하는 주로 표면박리가 대상이 되므로 본 연구에서는 ASTM C 672에 준하여 실험을 실시하였다. 다만, ASTM C 672에서는 콘크리트의 표면박리를 육안관찰에 의한 정성적으로 평가를 하였으나 본 연구에서는 콘크리트의 표면박리 양을 측정하여 정량적으로 내구성능 저하를 평가하여 정성적인 평가와 정량적인 평가를 병용하였다. 그리고 동결융해 작용이 콘크리트의 염화물 침투에 미치는 영향을 평가하였다.

### 2.1 사용재료 및 배합

본 연구에 사용한 시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트(I종 시멘트)와 내황산염 시멘트(V종 시멘트)를 사용하였고, 굵은골재는 채석으로서 최대치수 19mm의 골재를 사용하였고, 잔골재는 강사를 사용하였다. 고성능 감수제는 나프탈렌 설폰산염 고축합물계를 사용하였으며 AE제는 음이온계를 사용하였다. 본 연구에 사용한 배합을 표 1에 나타내었다. 배합은 시멘트의 종류별로 설계기준 강도 210, 280, 350kgf/cm<sup>2</sup>를 사용하였다. 그리고 공기량의 영향을 검토하기 위해 I종 시멘트를 사용한 210 kgf/cm<sup>2</sup>의 배합에 대해 Non-AE(2.0%), 4.5%, 7.0%, V종 시멘트를 사용한 210kgf/cm<sup>2</sup>의 배합에 대해 Non-AE(2.0%), 4.5%의 공기량을 연행하였다.

### 2.2 공시체 제작

본 연구에서 복합시험에 사용한 콘크리트의 공시체의 개요를 그림 1에 나타내었다. 공시체는 PVC 관으로 만든  $\phi 240 \times 130$ mm 몰드에 높이 100mm 정도까지 콘크리트를 타설하여 제작하였다. 몰드 밑면은 비닐로 밀봉하여 염화물이 콘크리트 밑면으로 새지 않도록 하였다. 양생은 콘크리트 윗면(타설면)에 약 10mm 물을 넣어 28일간 실시하였다. 블리딩의 영향을 줄이기 위해 복합시험을 실시하기 전에 콘크리트 윗면을 브리시로 블리딩을 제거하였다. 그리고 콘크리트와 PVC관의 접하는 타설면을 실링하여 염화물이 새지 않도록 하였다.

### 2.3 복합시험 방법

ASTM C 672 기준에는 공시체를 동결 환경과 융해 환경의 사이에서 1일에 2회 이동하도록 되어있다. 그러나 본 연구에서는 공시체의 이동작업을 생략할 수 있도록 온도 자동 제어방식을 사용하였다. 그림 2에 복합시험의 온도조건을 나타내었다. 1사이클 시간은 24시간으로 동결은 -20℃에서 18시간, 융해는 +22℃에서 6시간으로 하였다. 여기서 야간에 동결하고 낮에는 융해하는 조건을 묘사한 것이다.

표 1 콘크리트 배합

Names	W/C (%)	S/a (%)	Unit content(kg/m <sup>3</sup> )				REA (ml)	AE (ml)
			W	C	S	G		
210-2.0	62	45	165	265	855	1077	813	-
210-4.5	62	45	165	265	826	1041	813	16
210-7.0	62	45	165	265	797	1004	813	31
280-4.5	48	46	178	370	771	891	852	16
350-4.5	42	46	169	401	754	891	923	13

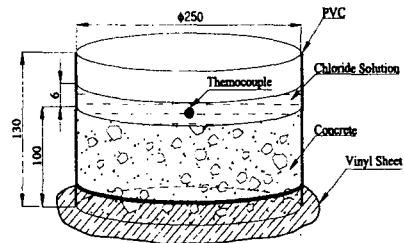


그림 1 공시체의 개요

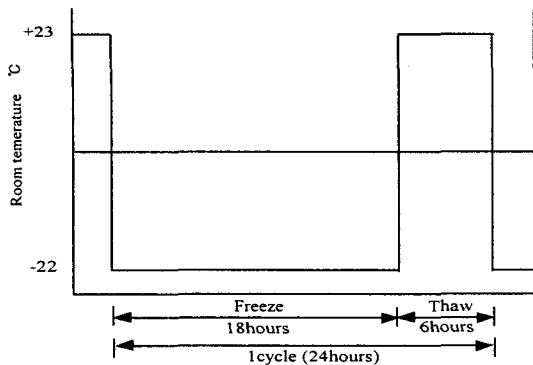


그림 2 복합시험 온도이력

표 2 ASTM C 672에 의한 육안 등급 기준

Rating	Condition of surface
0	no scaling
1	very slight scaling
2	slight to moderate scaling
3	moderate scaling (some coarse aggregate visible)
4	moderate to severe scaling
5	severe scaling (coarse aggregate visible over entire surface)

복합시험의 염화물 용액은 NaCl 3.6% 수용액을 사용하였고, 염화물 용액을 침적시킨 공시체와 비교를 하기 위해 일반 수 도물을 침적시킨 공시체도 동일한 실험을 실시했다.

#### 2.4 표면박리 평가 방법

ASTM C 672에서 동결융해와 염화물의 복합작용에 의한 콘크리트의 표면박리 상태 평가를 육안관찰만 규정하고 있다. 그러나 본 연구에서는 동결융해와 염화물의 복합작용에 의한 콘크리트의 표면박리 상태 평가를 육안 관찰에 의한 정성적인 평가와 스케링 손실량의 측정에 의한 정량적인 평가를 병용하였다. 표면박리 상태의 정성적인 평가는 ASTM C 672에 정한 육안등급(Visual rating)을 사용하였다. 표 2에 ASTM C 672에 정한 표면박리 상태의 육안등급을 나타내었다. 본 연구에서 사용한 스케링 손실량(Mass of scaled off particles)은 용액 중에 박리한 콘크리트 덩어리를 추출하여 75 $\mu$ m 체 위에서 증류수로 콘크리트 중의 염분을 제거한 다음 건조시켜 무게를 측정하여 단위면적당의 스케링 양을 계산하였다.

#### 2.5 염화물 침투 평가

동결융해 작용에 의한 염화물 이온의 침투 정도를 파악하기 위해 복합시험을 50사이클까지 실시한 콘크리트와 복합시험을 실시하지 않고 50일 동안 3.6% NaCl 수용액을 담아둔 콘크리트의 표면으로부터 15mm 간격으로 시료 40g을 채취한 후, 일본 콘크리트 공학협회 기준(안) “경화한 콘크리트 중의 염분량 측정방법”에 의해 염화물을 추출한 다음 이온 전극법(일본 K사 제품의 AG-100)을 사용하여 수용성 염화물 이온량을 측정하였다.

### 3. 시험결과 및 고찰

#### 3.1 표면박리 결과

그림 3은 4.5%의 공기량을 연행시킨 콘크리트에 대해 설계기준강도와 시멘트 종류가 콘크리트의 표면박리 양에 미치는 영향이다. V종 시멘트 사용 배합은 설계기준강도에 관계없이 I종 시멘트 사용 배합보다 동결융해와 염해의 복합작용에 의해 표면박리가 크게 발생함을 알 수 있다. 이것은 V종 시멘트 사용 배합이 I종 시멘트 사용 배합보다 염화물 이온이 콘크리트 내부로 빨리 확산되어 해수작용에 의한 침투압이 발생하여 세공조직이 조대화됨으로서 동결융해 작용에 의해 표면박리가 많이 발생하였다고 판단된다.

설계기준강도가 표면박리 양에 미치는 영향은 시멘트 종류에 관계없이 설계기준강도 210, 280, 350kgf/cm<sup>2</sup>의 순서로 표면박리가 많이 발생하였다. 이것은 강도가 클수록 콘크리트의 조직이 치밀하기 때문이다.

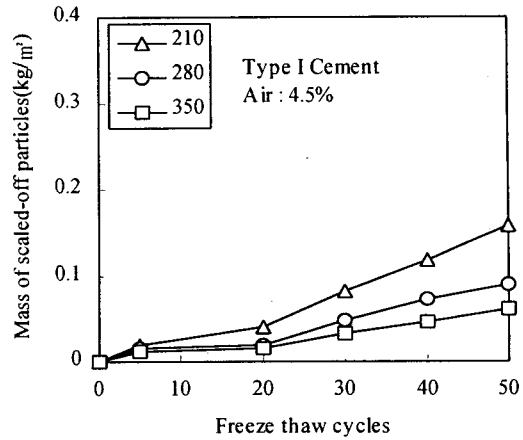
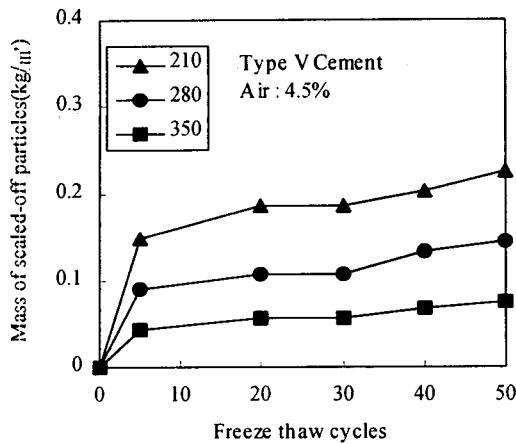


그림 3 시멘트 종류와 W/C가 스케링 손실량에 미치는 영향

콘크리트 표준 시방서<sup>5)</sup>에는 용빙제 사용 환경의 콘크리트와 해상 대기중의 콘크리트 경우에는 물-시멘트비를 45%로 규정하고 있다. 본 연구에 사용한 설계기준강도 280과 350kgf/cm<sup>2</sup>의 물-시멘트비가 각각 48%, 42%인 점을 감안하면 콘크리트 표준 시방서에 규정하는 물-시멘트비 45%가 타당한 것으로 판단된다. 또한 콘크리트 표준 시방서에는 단위시멘트량에 대해서도 정하고 있으며 해상 대기중의 콘크리트 경우에는 최소 단위 시멘트량을 330 kg/m<sup>3</sup>으로 정하고 있다. 본 연구에 사용한 설계기준강도 280kgf/cm<sup>2</sup>, 공기량 4.5% 배합의 단위 시멘트량은 370kg/m<sup>3</sup>으로 스케링 저항성의 크게 개선되는 결과를 고려한다면, 콘크리트 표준 시방서에서 정한 최소 단위 시멘트량은 타당한 것으로 판단된다. 그러나 물-시멘트비와 단위 시멘트량이 동결융해와 염해의 복합작용을 받는 콘크리트에 미치는 영향에 대해서는 향후 많은 실험결과를 토대로 광범위한 검토가 필요하다.

그림 4에 V종 시멘트를 사용한 설계기준강도 210kgf/cm<sup>2</sup> 콘크리트에 대해 공기량이 표면박리 양에 미치는 영향을 나타내었다. 공기량을 연행하지 않은 Non-AE 콘크리트에 비해 공기량 4.5%를 연행한 콘크리트가 동결융해와 염해의 복합작용에 의한 표면박리 양이 상당히 작아짐을 알 수 있다. 그리고 I종 시멘트 사용 배합에서도 동일한 결과를 얻었다. 즉 일반적인 동결융해 저항성과 마찬가지로 동결융해와 염화물의 복합작용에 대한 저항성을 향상시키기 위해 소정의 공기량 확보가 필수적이라고 판단된다.

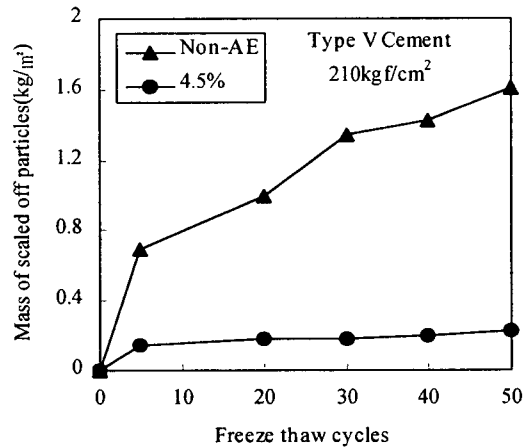


그림 4 공기량이 스케링 손실량에 미치는 영향

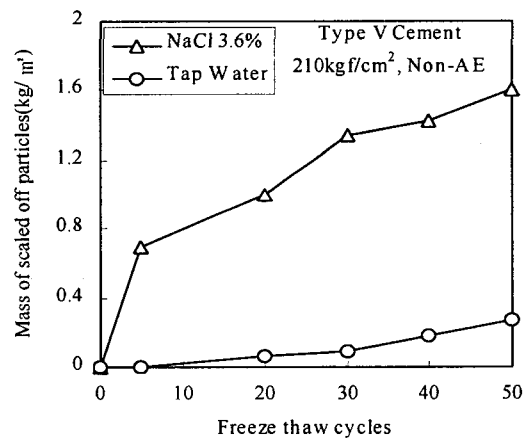


그림 5 사용 용액이 스케링 손실량에 미치는 영향

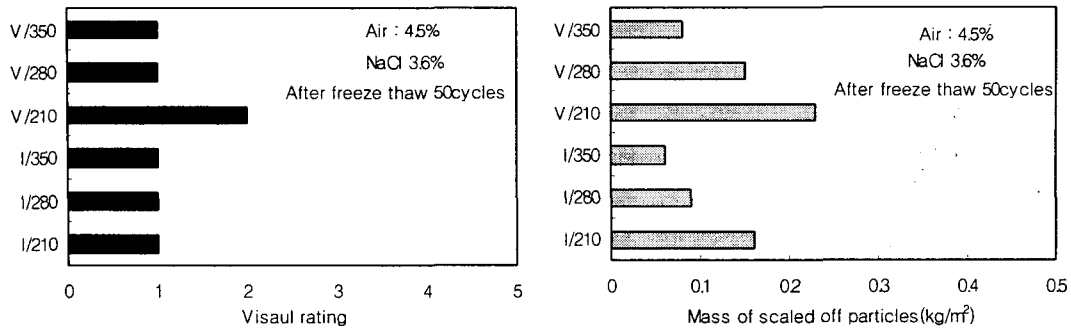


그림 6 복합시험 50사이클에서 육안등급과 스케링 손실량의 결과

이상의 결과로부터 동결융해와 염화물의 복합작용에 대한 저항성을 향상시키기 위해 적절한 시멘트 사용, 높은 설계기준강도(즉 낮은 물-시멘트비), 소정량의 공기량 확보가 필수적이라고 판단된다.

그림 5는 V종 시멘트를 사용한 210kg/cm<sup>2</sup>의 배합 중 표면박리가 많이 발생한 Non-AE 콘크리트에 대해 NaCl 3.6% 수용액과 수돗물을 비교한 결과이다. NaCl 3.6%를 사용한 콘크리트가 수돗물을 사용한 콘크리트에 비해 표면박리가 많이 발생함을 알 수 있다. 그리고 다른 배합에서도 동일한 결과를 얻었다. 이것은 해수작용에 의해 콘크리트 표면 세공조직이 조대화되기 때문으로 사료된다. 본 연구의 결과로부터 외부로부터 염화물이 침투하는 콘크리트가 동결융해 작용을 경우에는 표면박리의 내구성 능 저하가 촉진됨을 확인 할 수 있었다.

그림 6에 4.5%의 공기량을 연행한 배합에 대해 설계 기준 강도별로 동결융해 50 사이클에서 육안 관찰에 의한 등급과 표면박리 양의 결과를 나타내었다. ASTM C 672에 따라 등급을 평가한 결과, 등급 2를 표시한 V 시멘트를 사용한 210kgf/cm<sup>2</sup> 배합을 제외하고는 모두 등급 1로 평가되었다. 그러나 표면박리 양은 배합에 따라 약간의 차이가 있는 결과를 나타내었다.

그림 7은 본 연구에서 얻어진 실험결과에 대해 육안 등급과 표면박리 양의 관계를 나타내었다. 실험 데이터 수가 적어 정확한 관계를 파악하기 어렵지만, 지수 함수적인 대응관계를 가지고 있다. 그러나 육안 등급에 의한 평가는 등급이 동일하더라도 표면박리 양은 차이가 있는 경우가 있으므로 경험이 적으면 평가에 큰 개인적인 오차가 발생할 위험성이 있다. 즉 정확한 평가를 하기 위해서는 본 연구와 같이 정량적인 평가를 병용해야 할 것으로 판단된다.

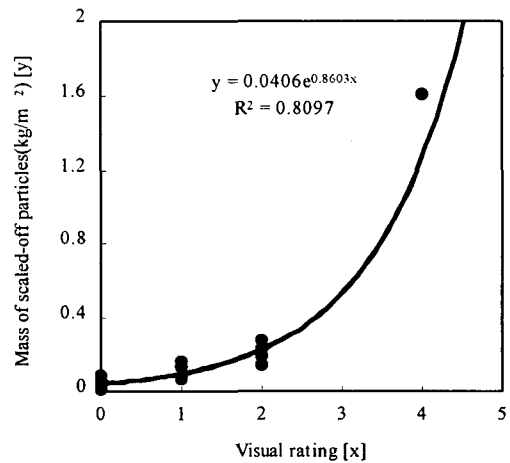


그림 7 복합시험 50사이클에서 육안등급과 스케링 손실량과의 관계

### 3.2 동결융해 작용이 염화물 침투에 미치는 영향

그림 8은 시멘트 종류와 설계기준 강도가 염화물 침투에 미치는 영향을 나타내었다. 설계기준강도에 상관없이 V종 시멘트가 I종 시멘트 보다 염화물이 더 빨리 침투가 됨을 알 수 있다. 그리고 시멘트 종류에 상관없이 설계 기준강도가 작을수록 염화물 침투가 더 빠르다.

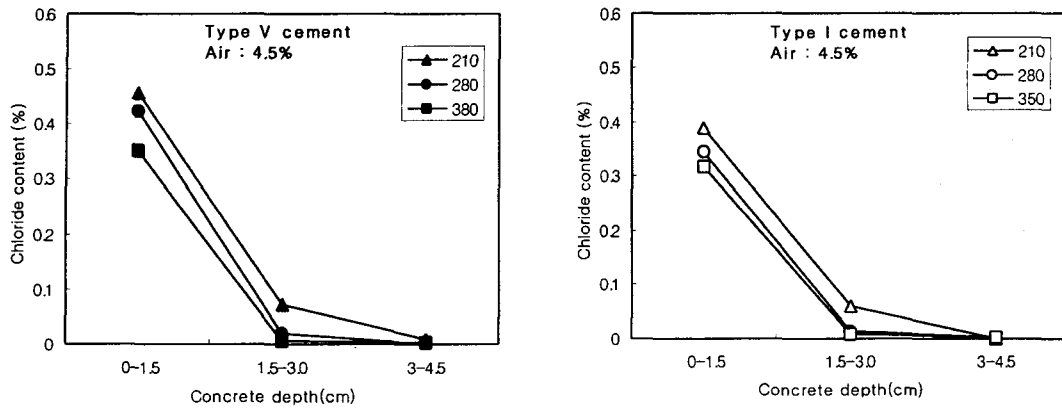


그림 8 시멘트 종류와 설계기준강도가 염화물의 침투에 미치는 영향

그림 9는 동결융해 작용의 유무에 따른 염화물 침투에 미치는 영향을 나타내었다. 동결융해 작용이 추가됨으로서 염화물이 상당히 빨리 침투됨을 알 수 있다. 즉 해안지역에 있는 콘크리트 구조물이 동결융해 작용을 받을 경우, 동결융해 작용에 의한 수축 팽창으로 콘크리트 구조물에 염화물 침투가 촉진된다고 판단된다.

#### 4. 결론 및 향후과제

동결융해와 염해의 복합작용을 받는 콘크리트의 내구성능 저하를 평가하는 방법을 검토하기 위해 복합 내구성능 저하 시험을 실시한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 동결융해와 염해의 복합작용을 받는 콘크리트의 저항성을 향상시키기 위해 적절한 시멘트 사용, 높은 설계기준강도(즉 낮은 물-시멘트비), 소정의 공기량을 확보가 필수적이다.
- 2) ASTM C 672에서 규정한 육안등급과 본 연구에서 사용한 표면박리 양은 지수 함수적인 대응관계가 있지만, 육안등급은 정성적인 평가로서 개인적인 오차가 발생할 위험성이 있으므로 정확한 표면박리 상태 평가할 필요가 있는 경우에는 정량적인 평가방법으로서 표면박리 양을 측정하여 병용할 필요가 있다.
- 3) 향후 용병제의 종류 및 농도가 표면박리에 미치는 영향, 광범위한 배합에 대한 시험결과를 토대로 육안등급과 표면박리 양과의 관계 규명 등에 관한 연구가 필요하다.

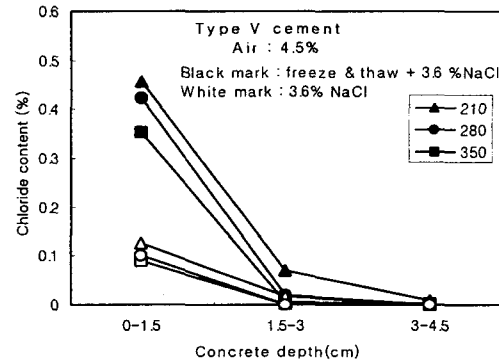


그림 9 동결융해 작용이 염화물 침투에 미치는 영향

#### 참 고 문 헌

1. 三浦尙, "融雪劑による鐵筋コンクリート構造物の劣化", 콘크리트工學, Vol.38, No.6, 2000. 6.
2. Pigeon, M. and Pleau, R., "Durability of concrete in cold climates", E&FN SPON, 1992.
3. ASTM C 672, "Standard test method for scaling resistance of concrete surface exposed to deicing chemicals".
4. 정용, 정재동 등, "해수 환경하 콘크리트 경화체의 동결융해 저항성에 관한 연구", 콘크리트학회지 Vol. 4, No. 3, 1992. 9.
5. 건설교통부, "콘크리트 표준 시방서", 1999.