

# 제설제의 염화물과 동결융해의 영향을 동시에 받는 교량구조물 콘크리트 바닥판의 열화특성

## Deterioration Properties for the Concrete Decks of Bridge Structure Effected Simultaneously on the Chlorides of De-icing Salts and Freeze-Thaw

신승문\* Shin, Seung-Moon      박주경\*\* Park, Ju-Kyung      선윤숙\*\*\* Sun, Yun-Suk      최성민\*\*\*\* Choi, Sung-Min      오상근\*\*\*\*\* Oh, Sang-Keun

### ABSTRACT

Recently, the research on durability of concrete proceed rapidly in the building industry. Deterioration due to de-icing salts occurs in practice in bridge structure, dike, barrier and similar structure. This paper reports the results of effect of chlorides on the freeze-thaw properties of concrete bridge deck in winter.

The case fresh water condition where the concrete will receives a freeze-thaw effect compared to decrease of durability quotient a lot occurs is a possibility of knowing from brine condition.

키워드: 교량바닥판, 염화물, 동결융해  
Keywords: Bridge Deck, Chloride, Freeze-Thaw

### 1. 서론

거동영향을 받는 교량구조물의 콘크리트 바닥판은 차량에 의한 반복하중, 진동, 충격, 전단 등의 역학적 작용, 온도변화 등의 기상작용, 바닥판의 수축팽창 등이 복잡하게 작용하는 환경에 설치됨으로서 내구성 저하에 의한 손상이 다수 발생하고 있다. 특히 겨울철 눈이 오거나 도로가 결빙되면 NaCl, CaCl<sub>2</sub>, MgCl<sub>2</sub> 등의 제설제가 노면에 살포되는데 이들 염화물은 환경문제, 차체부식, 및 교량의 철근부식 등의 위험성이 있으며, 동해와 함께 복합적으로 작용하여 바닥판 콘크리트의 열화를 가속하고 포장 파손을 유발시키고 있는 실정이다.

염화물에 의한 내구성 손상은 열화범위에 대한 상세탐지와 복구공사가 용의치 않고, 내구적인 품질확보를 위한 비용부담이 크므로 콘크리트 교량바닥판의 계획, 조사, 설계, 시공 및 유지관리 단계별 이러한 문제점에 대한 면밀한 검토가 요구되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 염화물의 영향을 받은 교량 바닥판의 동결융해 특성을 평가하여 교량 바닥판의 내구성 저하에 미치는 영향을 검토하고자 하였다.

이를 위하여 적설 한냉지역에 위치함으로서 제설제의 사용

이 빈번한 ○○의 교량을 선정하여 갓길, 주행선, 추월선 위치에서 바닥판 콘크리트의 염화물 함유량을 조사하고, 염수조건과 담수조건에서 동결융해시험을 수행하였다.

### 2. 대상교량 현황

본 연구에 적용된 대상교량의 위치 및 기본적인 제원은 표 1과 같다.

표 1. 조사대상 ○○교량 위치 및 제원

위 치		강원도 평창군 진부면
구조형식	형식	Steel Box-Girder
	총 폭	B=12.51m(상,하행선 각각)
	연 장	3@55 + 4@60 + 3@55 = 570m(상행선) 10@60 = 600m(하행선)
	교대	역T형식
	교각	T형식
설계 하중		DB-24.0 (총중량 43.2TON)
준공년도		1999년 10월

### 3. 조사 및 시험방법

#### 3.1 염화물 함유량 시험

콘크리트 교량바닥판의 열화된 정도는 콘크리트 코어를 채

\* 동부건설(주) 토목공사관리팀, 부장, 정희원  
\*\* (주)대한이엔씨 기술연구, 소장, 정희원  
\*\*\* 서울산업대학교 주택대학원, 석사과정, 정희원  
\*\*\*\* 건설신소재응용평가연구소, 소장, 정희원  
\*\*\*\*\* 서울산업대학교 건축학부, 교수, 정희원

취하여 그 상면에서부터 깊이방향으로 10mm 간격으로 분할하여 각 위치별로 염화물 함유량 시험을 실시하였다. 본 연구에서의 염화물 함유량 시험은 KS F 2713 (콘크리트 및 콘크리트 재료의 염화물 분석시험방법)에 준하여 시험하였다. 시험은 제공된 콘크리트 코어를 분쇄하여 표준체 150 $\mu$ m에 전부 통과 시킨 시료를 500ml 삼각플라스크에 약 40.00~45.00g을 천칭하여, 50 $\pm$ 2 $^{\circ}$ C의 온수 200ml를 넣고, 항온 진탕기(50 $\pm$ 2 $^{\circ}$ C)에서 60분간 용출하여 거른 액을 대상으로 염화물이온 선택 전극에 의한 전위차 적정법(KS M 0034 이온전극 분석방법 총칙)에 따라 분석하였다.

### 3.2 조건별 동결융해시험

동결기 동결과 융해가 반복되는 환경에서 제설제에 의한 염화물이 바닥판 콘크리트의 내구성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 KS F 2456(급속 동결 융해에 대한 콘크리트 저항 시험방법)에 준하여 담수와 염수로 시험조건을 구분하여 코어에 대한 동결융해시험을 실시하였다. 동결융해장치는 공시체가 소정의 동결융해 사이클을 받는데 적당한 챔버, 동결 및 가열장치, 소정의 온도 요구하에서 연속적이고 자동적으로 재현성 사이클을 발생시킬 수 있는 조절장치로 구성되어 있으며, 동결융해 저항성의 지표가 되는 상대동탄성계수는 다음 식과 같이 계산한다.

$$P_c = \left( \frac{n_1^2}{n^2} \right) \times 100$$

여기서, P<sub>c</sub> : 동결융해 C사이클 후의 상대 동탄성계수(%)

n : 동결융해 C사이클에서의 변형 진동의 1차 공명 진동수(Hz)

n<sub>1</sub> : 동결융해 C사이클 후의 변형 진동의 1차 공명 진동수(Hz)

## 4. 시험 및 분석결과

### 4.1 열화도 및 염화물 함유량

대상교량의 위치별 염화물 함유량 시험결과를 표 2~3, 그림 1~2와 같다.

표 2~3에서 보는바와 같이 대상교량의 바닥판 콘크리트의 염화물 함유량은 갓길 위치의 바닥판 콘크리트에서 높게 나타나고 있으며, 이에 비하여 주행선 및 추월선 위치의 바닥판 콘크리트는 적은 것으로 조사되었다.

또한, 코어의 상단에서 염화물 함유량이 상대적으로 높게 나타나고 있으며 하단으로 갈수록 함유량이 적어지는 것을 알 수 있다.

즉, 제설제의 염화물이 지속적으로 교량 바닥판 콘크리트로 침투하고 있는 것을 알 수 있으며 교면의 제설작업시 갓길에 적체되는 적설에 의하여 수분과 염화물이 지속적으로 공급되는 갓길의 염화물 함유량이 주행선 및 추월선에 비하여 높게 나타나고 있는 것을 알 수 있다.

표 2. 상행선 염화물 함유량

구분	전 염화물 함량 Cl-, (%)	콘크리트 중의 환산염화물 함량 (kg/m <sup>3</sup> )
갓길	0~10mm:0.4000	0~10mm:8.764
	10~20mm:0.3650	10~20mm:7.997
	20~30mm:0.2683	20~30mm:5.879
주행	0~10mm:0.2333	0~10mm:5.173
	10~20mm:0.1183	10~20mm:2.623
	20~30mm:0.0533	20~30mm:1.182
추월	0~10mm:0.1267	0~10mm:2.750
	10~20mm:0.0500	10~20mm:1.086
	20~30mm:0.0150	20~30mm:0.326

표 3. 하행선 염화물 함유량

구분	전 염화물 함량 Cl-, (%)	콘크리트 중의 환산염화물 함량 (kg/m <sup>3</sup> )
갓길	0~10mm:0.1333	0~10mm:3.019
	10~20mm:0.0983	10~20mm:2.226
	20~30mm:0.0367	20~30mm:0.830
주행	0~10mm:0.0300	0~10mm:0.677
	10~20mm:0.0183	10~20mm:0.414
	20~30mm:0.0193	20~30mm:0.301
추월	0~10mm:0.1033	0~10mm:2.331
	10~20mm:0.0767	10~20mm:1.730
	20~30mm:0.0483	20~30mm:1.090

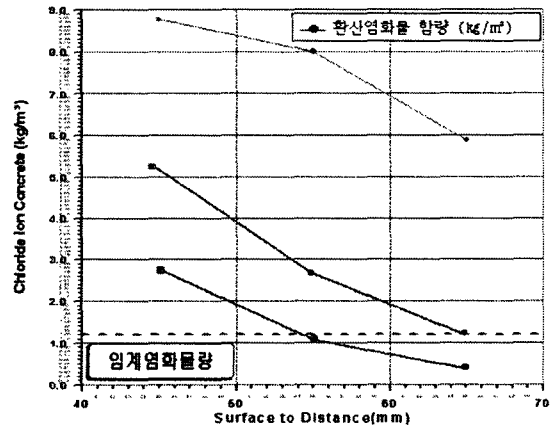


그림 1. 상행선 염화물 함유량

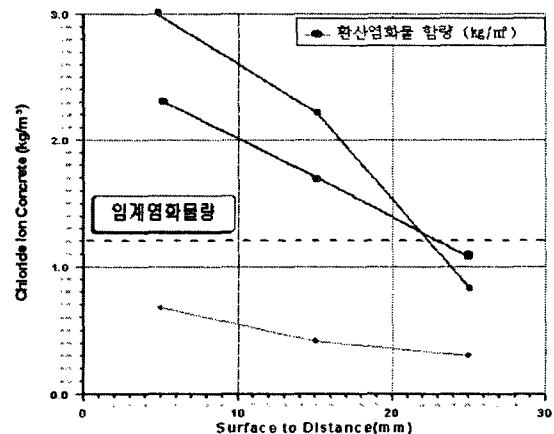


그림 2. 하행선 염화물 함유량

### 4.2 조건별 동결융해저항성

담수조건과 3% 염화칼슘 수용액인 염수조건에서 동결융해 반복에 따른 각 시편의 상대동탄성계수 시험 결과는 표 4~5, 그림 3과 같다.

콘크리트구조설계기준(2003 개정)에서 제시한 심한 노출상태를 조성하여 실시한 바닥판 콘크리트 코어의 동결융해 시험 결과, 140 Cycle의 동결융해 시험에서 염수조건의 시험체는 72%와 60%의 내구성 지수를 나타내고, 담수조건의 시험체는 75%와 63%의 내구성 지수를 나타내고 있다. 즉 콘크리트가 동결융해작용을 받을 경우 담수조건과 염수조건 모두에서 내구성 지수가 감소됨을 알 수 있으며, 담수조건보다는 염수조건에서 내구성 지수의 감소가 다소 크게 발생함을 확인할 수 있다.

한편, ○○교 바닥판 콘크리트의 시공 당시 품질시험자료를 검토한 결과, 배합당시 제시된 공기량 기준치는 3~6%이며, 공기량 시험값은 4.4% 내외를 나타내고 있어 시험값은 배합당시 제시된 기준치에 적합한 것을 알 수 있으나 콘크리트구조설계기준(2003 개정)에서 제시하고 있는 심한 노출인 경우의 표준값(6.0%, 굵은골재 최대치수 25mm)에는 적합하지 않음을 알 수 있다. 따라서 심한 노출 환경이 조성될 경우에는 ○○교 바닥판 콘크리트가 동해 및 염해에 의해 열화가 발생할 가능성이 있다.

표 4. 상행선 동결융해 시험결과

시험체 1(담수)		시험체 2(염수)	
시험횟수	내구성 지수(%)	시험횟수	내구성 지수(%)
0Cycle	100	0Cycle	100
20Cycle	97.8	20Cycle	98.0
40Cycle	96.6	40Cycle	95.7
60Cycle	93.8	60Cycle	91.2
80Cycle	87.4	80Cycle	88.6
100Cycle	83.8	100Cycle	82.4
120Cycle	77.7	120Cycle	75.3
140Cycle	75.2	140Cycle	72.4

표 5. 하행선 동결융해 시험결과

시험체 1(담수)		시험체 2(염수)	
시험횟수	내구성 지수(%)	시험횟수	내구성 지수(%)
0Cycle	100	0Cycle	100
20Cycle	96.7	20Cycle	94.7
40Cycle	94.3	40Cycle	91.6
60Cycle	87.4	60Cycle	84.9
80Cycle	81.2	80Cycle	80.1
100Cycle	75.9	100Cycle	72.7
120Cycle	73.0	120Cycle	65.8
140Cycle	63.3	140Cycle	60.4

즉, 동결융해 시험에 의한 콘크리트 코어의 내구성 지수가 담수조건에서 75% 이하로 감소하고 염수조건에서 72% 이하로 감소한 원인중의 하나는 ○○교 바닥판 콘크리트가 콘크리트구조설계기준(2003 개정)에서 제시한 심한 노출환경이 조성되고 이에 따라 동결융해시험에서와 같은 열화현상이 발생한 것으로 판단된다.

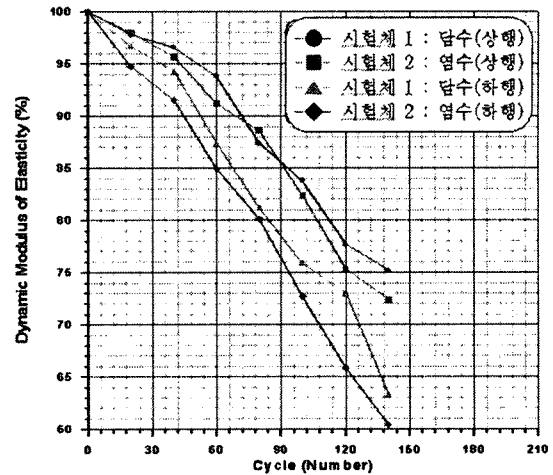


그림 3. 상·하행선 동결융해 시험결과

### 5. 결 론

본 연구에서는 적설 한냉지역에 위치함으로서 제설제의 사용이 빈번한 ○○교량을 선정하여 갓길, 주행선, 추월선 위치에서 바닥판 콘크리트의 염화물 함유량을 비교 분석하고, 바닥판 콘크리트의 코어를 채취하여 염수조건과 담수조건에서 동결융해시험을 수행하였다. 이를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 제설제가 사용되는 교량 바닥판 콘크리트는 염화물에 지속적으로 노출되고 있으며, 교면의 제설작업시 적체되는 적설에 의하여 수분과 염화물이 지속적으로 공급되는 갓길의 염화물 함유량이 주행선 및 추월선에 비하여 상대적으로 높게 나타나고 있는 것을 알 수 있다.
- 2) 콘크리트가 동결융해작용을 받을 경우 담수조건과 염수조건 모두에서 내구성 지수가 감소되고 있으며, 담수조건보다는 염수조건에서 내구성 지수의 감소가 크게 발생함을 알 수 있다. 또한, 동결기에 수분과 지속적인 접촉이 이루어져 결빙이 되거나 제설제를 사용하는 심한 노출인 경우 내동해성을 위하여 콘크리트 배합시 공기량의 표준값(6.0%)을 적극적으로 확보해야 하는 것으로 나타났다.

### 참 고 문 헌

1. 문헌영, 이승태, 김홍삼, 김진철, "시멘트모르타르의 황산염 및 이수침식에 대한 저항성", 대한토목학회논문집, Vol. 20, No. 3-A, 2000, pp. 43-52
2. 김은경, 신치범, 이윤환, "콘크리트 구조물의 염화물이온 침투거동 해석", 한국콘크리트학회논문집, 제9권 6호, 1997, pp.233-241
3. 정해문, 이병덕, 박성기, "제설제에 의해 발생한 콘크리트 표면열화에 대한 방지대책에 관한 연구", 대한토목학회 학술발표논문집, 2003, pp1129-1134.