

고속도로 교량의 염소이온확산 특성과 공용수명 평가

Diffusion of Chloride Ions and Evaluation of Lifetime in Highway Bridges

신재인* 박창호** 이병주*** 임홍범****
Shin, Jae In Park, Chang Ho Lee, Byeong Ju Lim, Hong-Beom

ABSTRACT

Chloride attach is one of the main factors which cause the deterioration of structures. In the case highway bridges, de-icer salts very significantly increase the surface scaling due to frost action. The deteriorated concrete is subject to experience degrading of durability under chloride attach environment. In this study, diagnosis report of 147 bridges is investigated and core sample of 21 bridge decks is examined and analyzed. The results show that the cover of decks concrete is required more than 8cm for retaining bridge lifetime over 30 years.

1. 서론

고속도로는 교통흐름이 멈추지 않아야 하는 국가의 기간시설이기 때문에 눈이 많은 겨울철에도 설 계속도를 유지하기 위하여 제설제의 사용은 피할 수 없다. 이러한 제설제에 직접 노출되는 바닥판은 염해로 인해 피해를 가장 많이 받는 부재이다. 바닥판에 살포된 염분은 조인트부의 누수로 인해 교량 받침의 부식을 촉진시키고 교각 및 교대 교뎡부의 콘크리트 열화 그리고 강박스 거더 등의 상부구조의 부식을 촉진시킨다. 콘크리트의 조기열화로 인한 구조물의 성능저하 및 내구성저하가 심각한 사회 문제로 대두됨에 따라 콘크리트의 내구성을 증진시키는 연구가 활발히 진행되고 있다.

본 논문에서는 콘크리트 내구성 저하의 주요요인인 염해를 조사하기 위하여 고속도로 교량의 정밀 안전진단보고서와 교량바닥판에서 채취한 시료를 분석하고 고속도로 교량의 염소이온 확산특성과 공용수명을 평가하여 교량의 예방적 유지관리 방안을 마련하는데 있다.

2. 고속도로 교량의 염화물 함유량

한국도로공사에서 '96년부터 2004년까지 실시한 고속도로 교량 147개소의 정밀안전진단 보고서를 바탕으로 교량의 부재별, 주변환경에 따른 염화물 함유량에 대한 분석을 실시하였다. 고속도로 교량의 염화물 함유량은 0.109kg/m³(수용성 염화물, 단위시멘트 중량대비 0.0365%)로 ACI 318과 국내 콘크리트시방서에서 규정하고 있는 0.3%(0.9kg/m³, 단위시멘트량 300kg/m³으로 가정)보다 매우 적은 양으로 양호한 값을 나타내었다.

교량의 부재별 염화물 함유량은 각 부재별로 요구강도 즉, 물-시멘트비나 단위시멘트량에 대한 차이가 있기 때문에 염화물의 흡착, 확산특성 등이 각각 다르게 나타날 수 있다. 이에 따라 바닥판 하면, 거더 외부, 교각, 교대에 대하여 각각 염화물 함유량을 정리하여 그림 1에 나타내었다.

그림 1(a)는 각 부재의 염화물 함유량을 나타낸 것이다. 그림에서 나타난 바와 같이 바닥판과 교대의 경우 몇몇 교량이 높은 염화물 함유량을 나타내는 것을 알 수 있으며, 이는 바닥판 상부의 균열과 신축이음의 파손 등으로 발생하는 누수의 영향으로 판단된다. 또한 그림 1(b)는 각 부재의 평균 염화물 함유량을 나타낸 것으로, 교대와 거더에서 염화물 함유량이 높게 나타나는 것을 알 수 있다. 특히

*정회원, 한국도로공사 도로교통기술원 연구원, 공학박사

**정회원, 한국도로공사 도로교통기술원 수석연구원, 공학박사

***정회원, 한국도로공사 도로교통기술원 책임연구원, 공학박사

****정회원, (주) 삼우아이엠씨 대리, 공학석사

울철에 사용되는 제설염의 양과 표면 염화물량의 관계를 분석하는 것이 우선되어야 할 것이다.

표 1 콘크리트 깊이에 따른 평균 염화물량

콘크리트 깊이 (cm)		0.5	1.5	2.5	3.5	4.5
평균 염화물량	kg/m ³	0.728	0.588	0.502	0.380	0.326
	% (시멘트중량 대비)	0.243%	0.196%	0.167%	0.127%	0.109%

그림 4와 5에서 실선으로 나타낸 부분은 철근의 부식을 일으키는 임계염화물량인 1.2kg/m³(0.4%)를 나타낸 것으로, 그림 4에 나타난 바와 같이 염화물에 의한 바닥판의 손상이 매우 심각함을 알 수 있다. 공용년수에 따른 바닥판의 염화물량을 나타낸 그림 5를 살펴보면 공용 후 10년이 지나면서 염화물량이 급격하게 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 침투되는 염화물이 축적됨과 동시에 균열, 동결융해, 중성화 등의 영향으로 콘크리트 공극구조에 변화가 일어나게 되어 염소이온의 확산이 빠르게 진행되기 때문으로 판단된다.

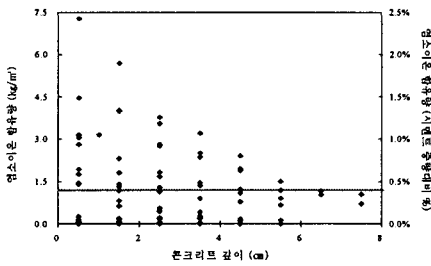


그림 3 콘크리트 깊이에 따른 염화물량

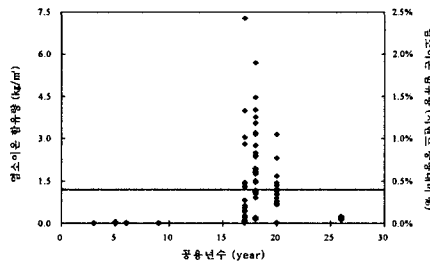


그림 4 공용년수에 따른 염화물량

그림 5는 물-시멘트비에 따른 염소이온 확산계수에 대한 기존 연구 모델을 나타낸 것으로, 교량 바닥판의 경우 물-시멘트비를 45%로 가정한다면 염소이온 확산계수는 0.228~0.787cm/year 정도의 값을 나타낸다. 본 연구에서는 Fick의 제2법칙에 의하여 염소이온 확산계수를 산출하였으며, 그림 6과 7은 콘크리트 깊이와 공용년수에 따른 염소이온 확산계수를 나타내었다. 산출된 염소이온 확산계수는 앞서 언급한 이론식보다 큰 값을 나타내고 있는데, 이러한 원인은 교량 바닥판의 위치적 특성상 여타의 콘크리트 부재보다 염화물에 노출된 정도가 매우 크기 때문이라고 판단된다.

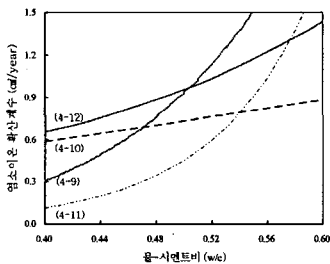


그림 5 물-시멘트에 따른 염소이온 확산계수

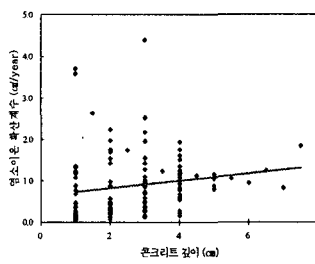


그림 6 깊이에 따른 염소이온 확산계수

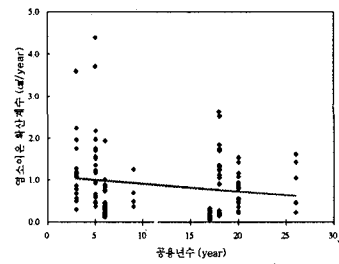


그림 7 공용년수에 따른 염소이온 확산계수

일반적으로 콘크리트 깊이에 따라 증가하며, 시간경과에 따라 감소하는 염소이온 확산계수의 경향과 유사하게 도출되었다. 그러나 본 연구에서는 총 염화물량을 분석하여 얻은 염소이온 확산계수로써 실제 구조물에서 확산을 하는 수용성 염화물의 확산과는 차이가 있을 것으로 판단된다. 따라서 그림 7에서와 같이 수용성 염화물량이 작은 초기재령에서의 염화물 확산계수는 과대평가 되었다고 판단되며, 정확한 염소이온 확산계수 및 내구성 평가를 위해서는 향후 수용성 염화물과 총 염화물량에 대한 실험과 분석이 이루어져야 할 것이다.

4. 염소이온 확산계수에 따른 교량 바닥판의 공용수명 평가

염소이온 확산계수 및 염해환경 노출정도에 따른 공용수명을 평가하기 위해 Fick의 제2법칙을 이용하여 표면 염화물량(C_0)과 염소이온 확산계수(D_a)의 특성을 분석하고 각각 그림 8과 9에 나타내었다. 그림 8은 염해환경 노출정도는 보통이며 임계염화물량을 1.2kg/m^3 (0.4%)로 가정하였을 경우의 염소이온 확산계수와 콘크리트 피복두께에 따른 콘크리트 구조물의 공용수명을 나타낸 것이다. 그림 9는 바닥판(점선, 물-시멘트비 45%)과 교각 및 교대(실선, 물-시멘트비 50%)의 염소이온 확산계수를 가정하고 염해환경 노출정도(표면염화물량)와 콘크리트 피복두께에 따른 콘크리트 구조물의 공용수명을 나타낸 것이다. 그림 3과 그림 8을 참고하면 공용수명 30년이상을 사용하려면 피복두께가 최소 8cm 이상이 되어야 한다는 것을 알 수 있다.

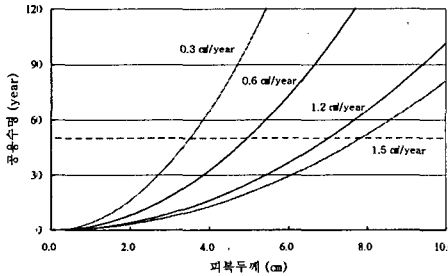


그림 8 염소이온 확산계수에 따른 수명평가

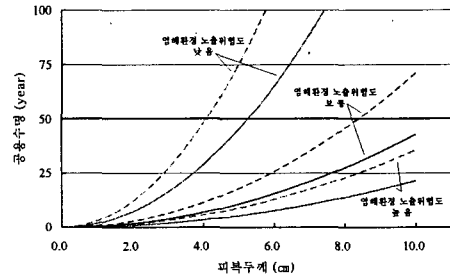


그림 9 염해환경 노출정도에 따른 수명평가

5. 결론

본 연구에서는 '96년부터 '04년까지 실시한 고속도로 교량 147개소의 정밀안전진단보고서의 염화물 함유량에 대한 자료를 바탕으로 교량의 부재별, 주변환경에 따른 분석을 실시하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 고속도로 교량의 경우 주변환경에 따른 염화물 함유량은 거의 유사한 값을 나타내었으나 상대습도가 높고 건습이 반복되는 하천환경에서 약간 높은 염화물 함유량을 나타내는 것을 알 수 있었다.
- (2) 각부재의 평균 염화물 함유량을 조사한 결과, 교대와 거더에서 염화물 함유량이 높게 나타나는 것을 알 수 있었다. 특히 바닥판과 교대의 경우 몇몇 교량에서 높은 염화물 함유량이 나타났는데 이는 바닥판 상부의 균열과 신축이음부의 누수 등의 영향인 것으로 판단된다.
- (3) 고속도로 교량의 바닥판 염화물량을 분석한 결과 철근의 부식을 일으키는 임계염화물량인 1.2kg/m^3 을 넘는 구조물이 많았으며, 공용년수에 따른 바닥판의 염화물량을 분석한 결과 공용후 10년이 지나면서 염화물량이 급격히 증가하는 것으로 나타나 이에 대한 대책이 필요한 것으로 나타났다.
- (4) 염해환경 노출정도에 따른 바닥판의 수명평가 결과, 공용수명 30년이상을 사용하려면 염해환경 노출위험도가 높은 경우 바닥판 피복두께는 최소 8cm 이상이 되어야 하는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 임홍범, 박창호, 신재인, “고속도로 교량의 중성화 현황 분석”, 대한토목학회 학술발표회논문집, Vol-1, 2004, pp. 3674~3679
2. 신재인, 박창호, 임홍범, 이상순, “철근콘크리트 바닥판의 예방적 유지관리”, 고속도로지, 제69호, 2004, pp. 240~251
3. 이창수, 윤인석 “콘크리트의 염소이온 확산거동 예측에 대한 실험적 연구”, 대한토목학회 논문집, 제24권 1호, 2004, pp. 115~124
4. Eric, J. Hansen and Victor E. Saouma, “Numerical Simulation of Reinforce Concrete Deterioration Part : Chloride Diffusion”, ACI Material Journals, 1999, pp. 173~180
5. 문한영, 김홍삼, 최두선 “콘크리트 종류별 모세관공극 특성과 전위차 염소이온 확산계수”, 대한토목학회 논문집, 제23권 5호, 2003, pp. 969~976
6. 이영재, 김용희, 이윤영 “동해안 39개 철도구조물의 염화물 함유량과 중성화에 대한 현황분석” 한국 구조물진단학회 제7권 제1호, pp 259~266, 2003