

제설제 살포에 따른 콘크리트 포장의 염화물 침투특성

Characteristics of Chloride Penetration due to Sprinkle of the Deicing Salt on the Concrete Pavement

박진호* 김명유* 양은익** 이성태*** 박해군****
Park, Jin Ho Kim, Myung Yu Yang, Eun Ik Yi, Seong Tae Park, Hae Geun

ABSTRACT

Deicing salt has been generally used for traffic safety in winter, and the amount is increasing every year. However, deicing salt may induce the decrease of bond strength, surface scaling, and environmental pollution, etc. the purpose of this paper is to suggest the fundamental data on safety and durability for concrete structures through the estimation of chloride concentration profile and chloride diffusion coefficient.

According to the test results, the critical chloride concentration($0.9\sim 1.2\text{kg/m}^3$) was measured at depth 23~30mm, and the limit chloride concentration(0.3kg/m^3) was reached to depth 40mm. Also the surface chloride amount indicates 3.45kg per concrete unit weight, and the results showed the possibility of corrosion by deicing salt penetration.

1. 서론

우리나라의 경우, 적설 한랭지역의 동절기 교통안전을 위하여 제설제 살포가 다량으로 이루어지고 있는데, 그 살포량도 매년 증가하고 있는 실정이다. 제설제 살포시 염화물은 도로 구조물로 침투하여 염해에 의한 철근부식, 반복적 동해에 의한 표면 scaling, 환경오염과 같은 문제를 발생시킨다.

그러나 제설제의 살포량에 따른 영향 등의 자료는 거의 발표되지 않고 있으며, 효과를 검증하기 위한 기초자료도 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 제설제 살포에 따른 기존 구조물의 염소농도 분포 정립과 염화물 확산계수를 파악하여 기존 토목구조물의 안전성 및 내구수명 평가에 대한 기초 자료로 제시하고자 한다.

2. 실험 개요

제설제 사용에 따른 콘크리트 구조물의 부식피해정도를 정량화하기 위하여 강원, 경기북부지역에 분포하는 콘크리트 포장구간의 국도를 선정하여 조사위치, 조사시기 등을 결정하였다. 조사지역은 동절

*정회원, 강릉대학교 토목공학과 대학원생

**정회원, 강릉대학교 토목공학과 교수

***정회원, 충청대학 건설환경시스템과 교수

****정회원, 삼성물산(주)건설부문 토목사업본부 과장

기 평균기온 -4.5°C , 1일 최대 적설량 166~252mm 인 17개소(국도 37, 43, 45, 46-1, 46-2호선)를 선정하였고, 피해조사는 12월과 3월에 해당지역의 표면염화물농도 및 코어채취를 통하여 수행하였다. 측정 절차는 그림 1에 나타내었다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 강도 및 탄성계수

채취된 코어 시험체로부터 압축강도와 탄성계수를 측정하였으며, 표 1은 그 결과를 나타낸다. 결과를 살펴보면 각 호선별 시공연도는 87~89년 사이에 건설 되었고 평균압축강도는 33.2MPa 로 일정한 수준의 값을 보였다. 또한 탄성계수는 각 호선에서 24.5GPa 정도로 나타나고 있어, 일반적인 도로 설계시 설계 강도를 고려할 때, 강도와 탄성계수에 있어 큰 감소가 없는 것으로 판단된다.

3.2 탄산화 깊이

콘크리트의 탄산화는 구조물 철근부식 인자로서 경과연수가 증가할수록 2차적인 열화를 가속시키는 요소이다. 이로 인해 교통량이 많은 도로구조물을 조사하여 교량구조물의 탄산화현상을 알아보고자 현장실험을 하였다. 기존 연구보고에 의하면 일반적인(경과연수 20~30년) 탄산화 깊이의 경우 약 15~30mm 정도의 탄산화 깊이를 보이고 있는데, 조사 대상 구조물의 경우 경과연수 16~18년에 탄산화 깊이가 3mm이하로 측정되었고 이는 탄산화로 인한 구조물 열화가 거의 발생하지 않았음을 확인했다.

3.3 염화물 침투 깊이

현장 제설제와 관련된 피해조사와 염화물 이온 침투깊이를 현장에서 손쉽게 측정하기 위해 질산은 변색법을 적용하였다. 이를 위해 질산은 용액(0.1N)을 콘크리트 시험체의 할렬면에 분무하였으며, 그 결과 일정 농도의 염화물이 침투한 구간까지 백색반응이 관찰되었고, 이를 통하여 측정된 염화물 침투깊이 결과를 표 1에 함께 나타내었다. 자유염화물량이 $0.9\sim 1.2\text{kg/m}^3$ 에서 백색반응이 발

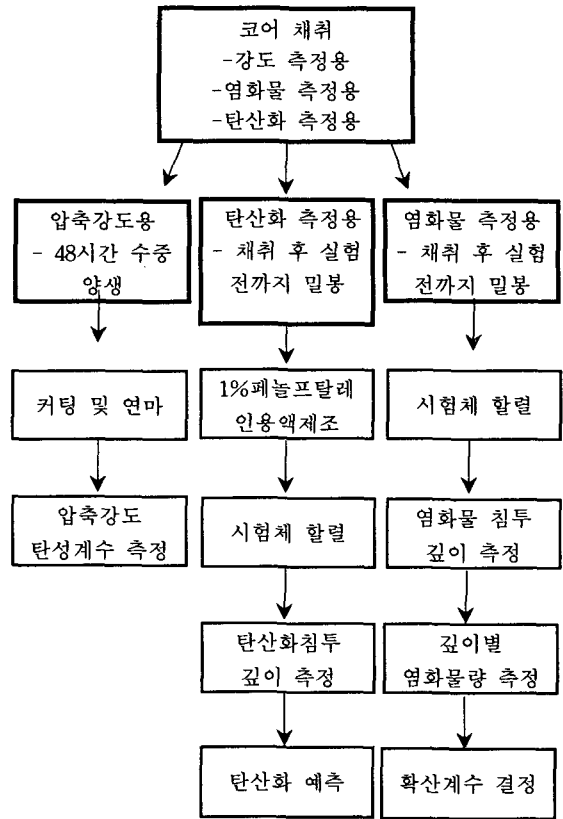


그림 1 측정 절차

표 1 각 호선별 실험결과

구분	37호선	43호선	45호선	46호선 -1	46호선 -2
시공 연도	87년	87년	87년	87~89년	88년
압축강도 (MPa)	33.9	30.1	33.1	36.3	33.8
탄성계수 (GPa)	24.9	23.2	24.4	24.5	25.6
염화물 침투깊이 (mm)	17.3	18	21.3	28.6	16.3
확산계수 ($\times 10^{-12}\text{m}^2/\text{s}$)	0.89	1.14	0.9	1.31	0.92
표면 염화물량 (kg/m^3)	4.19	2.42	2.90	3.30	2.49

46호선-1: 화도-가평, 46호선-2: 가평-춘천

생하였으며, 변색법을 적용한 침투깊이 결과를 살펴보면 뚜렷한 변색을 보인 실험실에서와는 다소 차이가 있었지만 평균 20.3mm 정도의 침투깊이가 측정되었다. 한편, 깊이별 평균자유염화물량을 측정하여 염화물농도 프로파일을 나타낸 그림 2의 결과를 살펴보면 변색구간이 23mm로 나타났는데, 실험적 오차를 감안할 때 변색법을 적용한 침투깊이와 큰 차이가 없음을 보여 현장에서 부식여부를 판단하는데 변색법 적용가능성을 확인했다. 하지만, 실험실보다 다소 변색반응이 뚜렷하지 않은 점에 대해서는 추가적인 검토가 필요한 것으로 판단된다.

3.4 깊이별 염화물량

그림 2는 각 호선의 총염화물과 자유염화물을 깊이별로 농도프로파일한 결과를 보이는데, 시험 결과 46호선-2의 경우 다른 데이터들과 총염화물량이 0.5kg/m^3 정도 차이를 보였다. 이는 관할구역이 달라 제설제 살포량의 차이로 사료된다. 콘크리트 중의 염화물이온량은 시방서에서 총염화물이온량을 0.3kg/m^3 로 규정하고 있는데, 표면으로부터 40mm지점에서 37, 46호선-2를 제외한 모든 구역에서 상회하는 것을 볼 수 있고, 이는 염화물에 의해 구조물의 열화가능성을 시사하는 것으로 사료된다.

3.5 염화물 확산계수

앞서 측정된 염화물 농도프로파일을 토대로 확산계수를 결정하였는데, Fick의 일반해를 사용하였다. 표면농도(C_0)로는 4.5mm 깊이의 농도를 취하였으며, 재령(t)은 실제 구조물의 사용수명인 시공년도로 설정하여 회귀분석을 하였다. 확산계수는 총염화물에 의한 확산계수로 분석하였으며, 결과는 표 1에 나타내었다. 콘크리트의 확산계수값이 보통 $1\sim 5 \times 10^{-12}\text{m}^2/\text{s}$ 인 것을 감안할 때, 본 조사 대상의 확산계수는 대략 $1 \times 10^{-12}\text{m}^2/\text{s}$ 의 일정한 값을 나타내고 있으며, 해당 콘크리트가 양호한 품질을 유지하고 있는 것으로 판단된다.

3.6 표면 염화물량의 측정값과 예측값 비교

Fick's Second Law을 이용하여 각 깊이별 염화물량을 측정하여 깊이별 평균염화물량을 예측한 결과를 그림 3에 나타내었다. 결과를 살펴보면, 표면염화물량의 예측값이 3.45kg/m^3 나타났는데 12월과 3월의 표면염화물량은 각각 3.24kg/m^3 , 3.46kg/m^3 측정되어 예측식을 통한 표면에서의 염화물량이 실제구

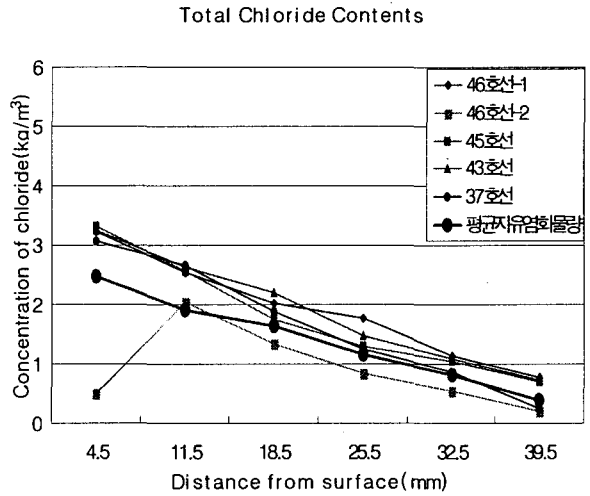


그림 2 깊이별 총염화물량 및 자유염화물량

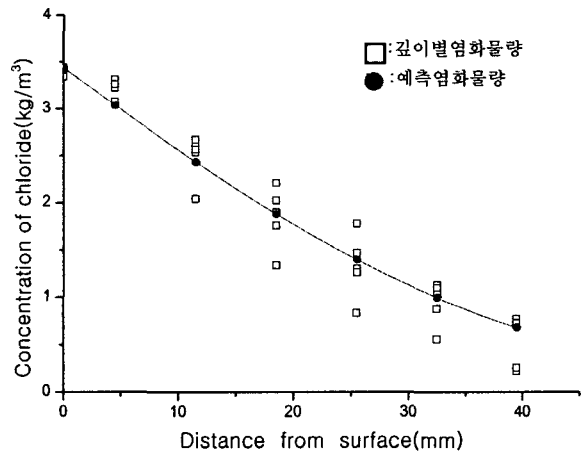


그림 3 총염화물량의 실측값과 예측값

조물의 표면염화물량과 거의 동일한 값을 보였다. 이는 향후 도로구조물의 안전성, 내구수명 및 부식 평가에 있어 중요한 기본 자료가 될 것으로 판단된다.

4. 결론

제설제 살포에 따른 콘크리트 포장(평균 경과년수 17년)의 염화물 침투특성에 대한 연구 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 도로 설계시 설계 강도를 고려할 때, 압축강도와 탄성계수는 큰 감소가 없는 것으로 나타났고, 2차적 열화요소인 탄산화 깊이 또한 3mm이하로 측정되어 탄산화로 인한 콘크리트 열화가 거의 발생하지 않았음을 확인했다.
- (2) 침투깊이 23~30mm에서 부식발생이 가능한 임계염화물농도($0.9\sim 1.2\text{kg/m}^3$)가 측정되었고, 콘크리트 시방서에서 규정한 한계염화물농도(0.3kg/m^3)는 깊이 40mm에 이르고 있어 제설제 침투에 의한 부식 가능성을 제시하였다. 또한 대상구조물의 확산계수값은 비교적 작은 $1\times 10^{-12}\text{m}^2/\text{s}$ 로 나타났다.
- (3) 표면염화물량의 예측값이 3.45kg/m^3 , 실제 표면염화물량은 각각 3.24, 3.46kg/m^3 측정되어 예측값과 실제구조물의 표면염화물량과 거의 동일한 값을 보였다.

감사의 글

본 논문은 건설교통부 건설핵심기술 연구개발사업(C104A1000016-04A0200-01610)의 지원에 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고 문헌

1. 양은익 외, "콘크리트 물성 및 시험법에 따른 콘크리트 염화물 확산", 한국콘크리트학회, Vol.16, No.2, pp.261~268, 2004.
2. ASTM C 114, "Standard Test Method for Chemical Analysis of Hydraulic Cement," Annual Book of ASTM Standards, 2000
3. V.K. Gouda, "Corrosion and Corrosion Inhibition of Reinforcing Steel", Br Corros Journal, V.5, pp.198, 1970
4. 오병환 외, "콘크리트 구조물의 염화물 확산거동 및 침투해석", 한국콘크리트학회, 연구소위원회보고서, 2001.