

# 염화물에 의한 철근콘크리트 구조물의 철근부식 정도의 조사 및 평가

## An Investigation and Evaluation of Steel Corrosion Due to Chlorides in Concrete Structure

문 한 영\*      이 창 수\*\*      김 성 수\*\*\*      김 홍 삼\*\*\*\*      이 종 상\*\*\*\*\*  
Moon, Han Young    Lee, Chang Su    Kim, Seong Soo    Kim, Hong Sam    Lee, Jong Sang

### ABSTRACT

This study is performed for the purpose of obtaining the fundamental datum to analyse the cause of steel corrosion in concrete and establish the repair strategies of deteriorated reinforced concrete structures due to steel corrosion.

To investigate the degree of concrete deterioration, soluble chloride content in harden concrete, the depth of carbonation, cover depth and compressive strength are measured. The progress of corrosion of concrete bridge is electrochemically evaluated.

The result shows that in approximately 43% of the structures below  $-350\text{mV}$ (vs. CSE), the excessive chloride contents is a direct cause of steel corrosion in reinforced concrete structures.

### 1. 서 론

철근콘크리트 구조물의 건설시 염화물을 허용치 이하로 제염하지 않은 해사를 사용하거나 겨울철에 눈이나 얼음을 녹일 목적으로 사용되는 용빙제에 등과 같은 염화물의 침투확산으로 콘크리트 중의 철근에 형성된 부동태피막이 파괴되어 균열이 발생함으로써 구조물의 내구성이 저하된다는 것은 주지의 사실이다. 때문에 선진외국에서는 실구조물에 대한 광범위한 조사와 더불어 이미 건설된 구조물의 유지관리 및 내구성 진단·평가에 많은 시간과 노력을 투자하여 상당한 연구성과와 이를 토대로 부식으로 인해 열화된 구조물의 보수·보강 대책에 만전을 기하고 있다. 반면 우리나라의 경우는 구조물의 안전점검 및 정밀진단이 실시되고 있기는 하지만 아직까지 철근콘크리트 구조물의 부식에 대한 체계적인 조사 및 분석자료가 그다지 많지 않은 실정이다. 본 연구에서는 서울시 도로구조물 가운데 주요 교량에 대해 철근부식상태 및 그 정도를 조사하고 아울러 부식발생의 원인을 분석, 검토하여 철근콘크리트 구조물의 부식방지대책을 수립하고 열화손상에 대한 보수, 보강대책을 수립하는데 기초자료로 얻고자 현장조사 및 실내실험을 실시하여 그 결과를 고찰하였다.

\*정회원, 한양대학교 토목공학과 교수

\*\*정회원, 서울시립대학교 토목공학과 교수

\*\*\*정회원, 대전대학교 토목공학과 교수

\*\*\*\*정회원, 한양대학교 대학원 토목공학과 박사과정

\*\*\*\*\*정회원, 서울특별시 기술심사 담당관실 서기관

## 2. 조사항목 및 조사방법

### 2.1 조사대상 교량의 선정 및 기본 조사

서울시 도로시설물 관리대장(1996.1.1)에 등재되어 있는 전체구조물 882개 가운데 콘크리트 구조물은 약 67.2%인 593개(교량은 324개)이며 이 가운데 구조물의 위치 주변환경, 접근가능 여부 등을 현장답사와 예비조사를 실시하여 지역별로 조사가 가능한 142개교량을 선정하고 현장조사와 더불어 현재까지 서울시에서 실시한 점검 및 진단 보고서와 이력사항에 대한 자료를 정리, 분석하였다.

### 2.2. 외관조사

구조물의 주위환경 및 부식정도 등 열화상태를 건설교통부의 구조물 점검 및 진단세부지침에 규정된 일상점검 상태평가 기준인 표 1에 따라 다섯 단계로 구분하여 조사하였다.

표 1. 구조물의 외관상태 평가 기준

등급	상 태
1	문제점이 없는 최상의 상태
2	경미한 손상의 양호한 상태
3	보조부재에 손상이 있는 보통의 상태
4	주요부재에 진전된 노후화로 긴급한 보수보강이 필요한 상태로 사용제한 여부를 판단
5	주요부재에 심각한 노후화 또는 단면손실이 발생하였거나 안전성에 위험이 있어 시설물을 즉각 사용금지하고 개축이 필요한 상태

### 2.3 현장 및 실내 실험 항목

- (1) 콘크리트 중의 염화물량 측정 : 콘크리트 표면으로부터 약 5cm 깊이까지 해머드릴로 콘크리트 분말을 채취하여 만든 시표를 대상으로 일본 콘크리트 공학협회규준(안)의 "경화한 콘크리트 중의 염분량 측정방법"에 의해 염분 용액을 추출한 후, 선택성 이온전극을 이용한 Salt meter를 사용하여 가용성염분량(% Cl<sup>-</sup>)을 측정하였다.
- (2) 철근의 자연전위 : 철근의 자연전위는 교량의 종방향으로 50cm, 횡방향으로 30cm로 측정간격을 표시하고 콘크리트속의 철근을 노출시켜 측정기에 접속한다. 콘크리트 표면에 증류수를 살포하여 습윤 상태를 유지한 후 포화황산동전극(CSE)을 부착한 부식진단계(Colebrand Half Cell Surveyor)를 사용하여 자연전위를 측정한다.
- (3) 철근의 부식상태 : 조사 구조물의 외관조사와 부분적으로 철근을 채취하여 철근의 부식정도를 다섯 등급으로 표 2와 같이 평가하였다.

표 2. 철근부식 정도의 평가기준

등급	평가 기준
I	구조물의 전체에 부식이 발생하지 않은 건전한 상태
II	구조물의 일부의 표면에 약간의 녹물이 발생한 상태
III	구조물의 일부에 철근부식으로 인한 균열이 발생하고 철근표면에 얇은 뜸 녹이 광범위하게 발생하여 콘크리트에 녹이 부착되어 있는 상태
IV	구조물의 전체에 약간의 두께가 있는 팽창성의 녹이 발생하였지만, 콘크리트의 탈락이나 단면손상이 비교적 적은 상태
V	철근전체에 걸쳐 현저한 팽창성의 녹이 발생하고, 단면손상이 있는 상태

### 3. 조사결과 및 고찰

#### 3.1 외관 조사

조사대상 교량 142개 구조물에 대한 현장조사결과를 외관등급에 대해 정리하여 나타낸 것이 그림 1이다. 그림에서 알 수 있듯이 3등급 이상이 133개 구조물로 전체의 약 94%에 해당하였으며, 4등급 7개, 5등급이 2개로 조사되었다. 또한 이들 교량의 공용년수별 분포를 조사한 결과 공용년수 29년이 2개, 공용년수가 20~26년 사이가 3개이고, 10년 미만인 교량이 2개로 조사되었다. 특히 5등급 교량은 2개로 60년대에 준공된 것과 87년에 준공된 것으로서 공용년수면에서 상당한 대조를 보여주고 있다. 조사대상 콘크리트 구조물의 공용년수가 모두 40년 미만이고 특히 4, 5등급 판정을 받은 교량의 대부분이 30년 미만인 점을 고려해 볼 때 전반적인 원인분석 및 대책마련이 필요한 것으로 사료된다.

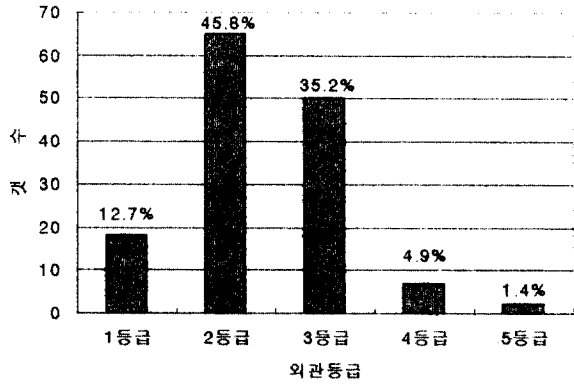


그림 1. 교량의 외관등급 분포

#### 3.2 콘크리트 중의 가용성염분량

142개 교량을 대상으로 총 296개소에서 콘크리트 표면의 염화물량을 측정된 결과를 그림 2에 나타내었다. ACI Building Code 318에서는 콘크리트 중의 철근부식을 방지하기 위한 최대 허용 염화물량(CI<sup>-</sup> 이온을 의미함)을 정하고 있으며, 이는 모든 재료 즉 시멘트, 혼화재, 골재 등을 포함하여 시멘트 중량의 0.3%를 초과하지 않도록 규제하고 있다. 이를 경화한 콘크리트 중의 염화물량으로 환산하면 허용염화물량은 약 0.04%이다.

총 296개소의 측정값 중 0.02% 미만이 전체 49%인 145개소이고, 0.02~0.04%가 약 29%인 87개소로 나타나 약 78% 정도가 콘크리트의 염화물 허용한도를 만족하는 것으로 조사되었다. 또한 0.04~0.06% 사이는 약 19.3%인 57개소로 나타나 철근부식의 가능성이 있으며, 0.08%이상은 약 2%인 7개소에서 측정되어 이미 임계염화물 한계를 초과한 것으로 조사되었다.

한편 교량의 부위별 평균 염화물량은 교대가 0.0258%, 교각이 0.0203%, 슬래브가 0.0237%로 조사되어 교대가 가장 크고 다음이 슬래브, 교각 순으로 나타났다.

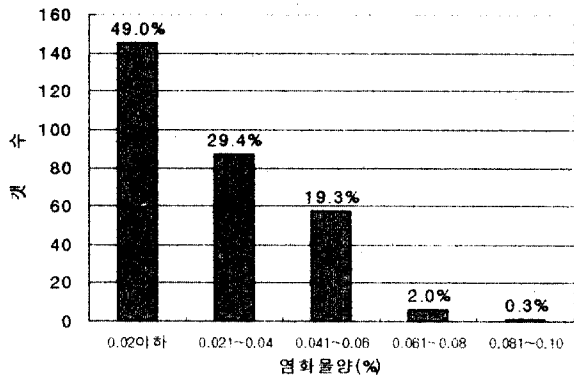


그림 2. 교량의 염화물량 분포

#### 3.3 철근의 자연전위

138개소에서 측정된 철근의 자연전위를 살펴보면 전체 약 45%인 62개소에서 철근의 자연전위가

-200mV 이상의 값을 나타내어 90% 이상 부식이 없는 영역에 존재하는 것으로 나타났다. 또한 부식이 불확실한 -200~-350mV사이의 자연전위가 약 40%인 55개소에서 측정되었으며, 나머지 약 15%인 21개소에서 부식이 활발한 영역인 자연전위 -350mV이하의 값을 나타내었다. 그림 3은 자연전위가 -350mV이하인 교량의 염화물량 분포를 나타낸 것으로서 허용염화물량을 초과한 경우가 약 43%인 9개 교량으로 조사되었다. 한편 나머지 허용염화물량을 초과하지 않은 교량의 부식원인으로는 덮개부족과 중성화 등이 철근부식의 원인으로 사료된다.

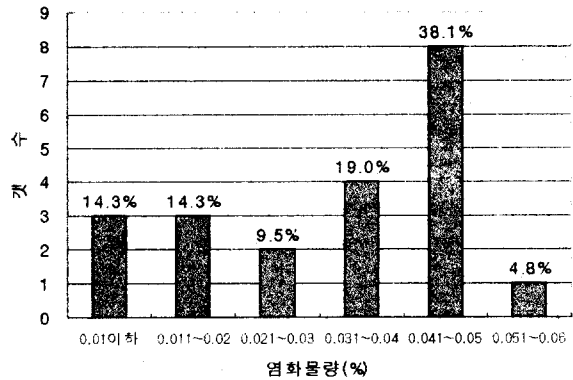


그림 3. -350mV이하인 교량의 염화물량 분포

### 3.4 염화물량에 따른 철근의 부식평가

전체 424개 부위에서 평가된 부식등급은 1등급이 약 55%인 235개, 2등급이 27%인 139개, 3등급이 10%인 43개, 4등급이 7개로 나타났으며 5등급은 없는 것으로 나타났다. 2등급 이하로 부식의 가능성 및 부식이 진행되고 있는 경우는 교대 38%, 교각 43%, 슬래브 52%로 나타나 부식가능성은 슬래브가 가장 크게 나타났다. 한편 허용염화물량을 초과한 교량의 부식등급을 그림 4에 나타내었다. 이 그림에서 알 수 있듯이 부식이 조금이라도 발생한 흔적이 있는 등급인 2등급 이하는 전체 구조물의 약 78%정도로 허용염화물량을 초과한 구조물의 경우에는 부식이 발생하였음을 알 수 있다.

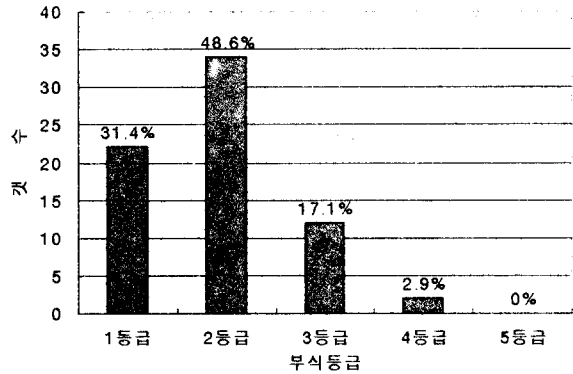


그림 4. 허용염화물량을 초과한 교량의 부식등급 분포

## 4. 결 론

- (1) 콘크리트 중의 염화물량을 조사한 결과 약 78% 정도가 염화물 허용한도를 만족하였으며, 약 21%인 64개소에서 염화물 허용한도를 초과하여 철근부식의 가능성이 있는 것으로 조사되었다.
- (2) 콘크리트에 묻힌 철근의 자연전위가 -350mV이하인 교량의 경우 약 43%정도는 염화물 허용한도를 초과한 것이 철근부식의 직접적인 원인으로 판단된다.
- (3) 허용염화물량을 초과한 교량의 약 78%정도가 부식이 조금이라도 발생한 흔적이 있는 2등급 이하로 판정되어 부식이 발생하였음을 알 수 있다.