

融氷劑사용으로 인해劣化된 콘크리트 構造物의 耐久性 調査

The Investigation of Deterioration of Concrete Structures
due to the De-icing Salts

문한영* 김성수** 류재석*** 김홍삼****

Moon Han Young Kim Seong Soo Ryou Jae Seok Kim Hong Sam

Abstract

The study was performed for the purpose of obtaining the fundamental data to improve the durability of concrete structures due to de-icing salts.

To assume the degree of concrete deterioration, soluble chloride content in concrete, the depth of carbonation and compressive strength of core specimens were measured. The progress of corrosion of concrete bridge was electrochemically monitored.

The results show that the concrete structure was deteriorated and reinforced steel in concrete was corroded due to de-icing salts.

1. 서론

콘크리트 구조물에 염화물이 침투되는 경로는 크게 두가지로 생각할 수 있다. 겨울철에 눈이나 얼음을 녹일 목적으로 사용되는 용빙제에 의하여 침투되는 경우와 콘크리트구조물이 해안 또는 해상에 건설되어 해수비말이나 직접 해수가 침투하는 경우를 들 수 있다. 특히 우리나라의 강원도 지역은 겨울철에 많은 양의 눈이 내리기 때문에 도로교통의 원활한 소통을 위하여 염화칼슘이 다량 사용되고 있어 많은 양의 염화물이 침투함으로써 콘크리트의 열화 및 철근을 부식시킴으로 인해 구조물의 내구성을 크게 저하시킬 우려가 있다.

본 연구에서는 겨울철 용빙제를 다량 살포하는 영동고속도로상에 위치한 철근콘크리트 교량 중 콘크리트의 열화 및 철근의 부식정도가 심하다고 생각되는 3개의 교량을 선정, 구

조물의 건전도를 평가하기 위해, 코아공시체를 채취하여 콘크리트의 압축강도 및 중성화 깊이를 측정하였다. 한편 철근의 부식으로 인하여 부분적으로 콘크리트 덮개가 탈락한 오대천교에 대하여 전기화학적 방법인 철근의 자연전위와 콘크리트의 저항률을 측정하여 철근의 부식정도를 고찰하였다.

2. 조사항목 및 조사방법

2-1. 구조물의 제원 및 외관조사

교량의 일반사항 및 구조적 상태를 파악하기 위하여 교량의 유지보수 및 이력사항을 조사하고 교량의 제원을 실측하였다. 또한 교량의 주위환경을 조사하여 열화원인을 추정하며, 교량의 손상상태 및 철근의 부식정도를 육안으로 조사하고 열화부위를 스케치 및 사진촬영하였다.

2-2. 코아공시체에 의한 실험

(1) 코아 공시체의 압축강도

* 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수
** 한양대학교 공과대학 연구조교수
*** 한양대학교 대학원 박사과정
**** 한양대학교 대학원 석사과정

조사대상 교량의 콘크리트코아 채취는 크게 4개 부위(교대 및 교각, 연석, 콘크리트 상판 및 콘크리트 난간 부위 등)로 나누어 실시하였으며, 양단면을 절단한 후 윗면으로 깎평하여 KS F 2405에 의해 압축강도를 측정하였다.

(2) 중성화 깊이 측정

코아공시체를 할렬하여 표면의 먼지 가루등을 제거한 후 1%의 페놀프탈레인-알코올 용액을 분무하여 변색되지 않은 부분의 깊이를 측정하여 중성화 깊이로 하였다.

(3) 콘크리트중의 염분량 측정

코아공시체의 표면으로부터 깊이별로 두께 1cm씩 절단하여 0.15mm이하의 미분말로 분쇄시킨 시료를 일본 콘크리트 공학협회규준(안)의 경화한 콘크리트 중의 염분량 측정방법에 의해 염분 용액을 추출한 후, 선택성 이온전극을 이용한 Salt meter를 사용하여 가용성염분량(% NaCl)을 측정하였다.

2-3. 콘크리트중의 철근에 대한 부식 진단

콘크리트중의 철근에 대한 부식진단은 영동고속도로상의 오대천교를 대상으로 실시하였다.

(1) 철근의 자연전위

철근의 자연전위는 다음과 같은 순서에 의하여 측정하였다.

- ① 콘크리트속의 철근을 노출시켜 측정기에 접속한다.
- ② 측정 간격은 교량의 종방향으로 50cm, 횡방향으로 30cm로 정하여 측정점을 표시한다.
- ③ 콘크리트 표면에 증류수를 살포하여 습윤 상태를 유지한다.
- ④ 포화황산동전극(CSE)을 부착한 부식진단계(Colebrand Half Cell Surveyor)를 사용하여 자연전위를 측정한다.

측정된 자연전위 값을 컴퓨터 화상처리에 의

해 등전위선도(等電位線圖)를 그려서 나타내었다.

(2) 콘크리트의 저항률 측정

콘크리트의 저항률은 그림 1.에서와 같은 4전극법을 사용했다. 이 방법은 등간격, 일렬로 배열한 4개 전극중 양끝의 전극사이에서 전류량과 내부 2개의 전극사이에서 측정된 전위차로부터 저항률을 구한다.

저항률 측정기(Colebrand사 제품)로 저항률을 측정한 후 컴퓨터에 접속하여 화상처리에 의해 등저항률선도를 그렸다.

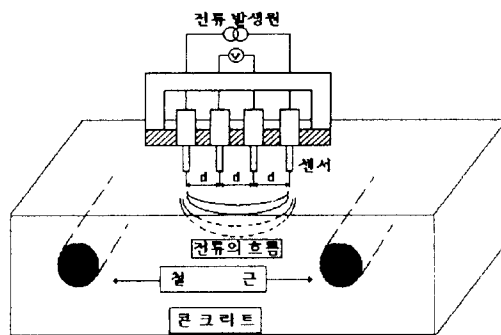


그림 1. 콘크리트의 저항률 측정 방법

3. 조사결과 및 고찰

3-1. 제원 및 외관 조사

영동고속도로상에는 최근 10년동안 연간 강설일수 평균 54일, 누계강설량 평균 420cm정도이며, 용빙제인 염화칼슘이 연평균 6.6 t/km 정도 사용되고 있는 실정이다. 따라서 용빙제의 사용으로 인해 열화된 철근콘크리트 구조물의 내구성 평가의 일환으로 콘크리트의 열화 및 철근의 부식정도를 현장조사하였으며, 조사대상 교량 및 제원은 표 1과 같다. 속사천 4교, 오대천교 및 횡계 2교에 대한 외관조사 결과 전체적으로 연석과 난간부위의 열화가 심하게 나타났으며 염분의 침투가 용이한 콘크리트 이음부에서는 철근의 부식으로 인한 녹물이 스며 나왔다. 철근부식으로 인해 콘크리트 덮개가 탈락하여 철근이 노출된 오

표 1. 교량의 제원

교량명	위 치	교 량 길 이	준 공 년 도	설 계 하 중
속사천 4 교	서울기점 151km	61m	1975년	DB18
오 대 천 교	서울기점 162km	277m	1975년	DB18
횡 계 2 교	서울기점 176km	93m	1975년	DB18

대천교의 상판 및 연석부위를 사진 1 과 사진 2에 나타내었다.

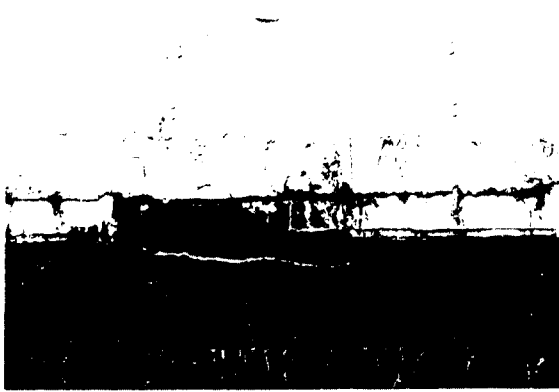


사진 1. 오대천교의 상판부위



사진 2. 오대천교의 연석부위

사진 1은 상판부위의 사진으로 콘크리트 상판과 연석의 이음부는 용빙제 살포시 눈과 함께 녹아 염분이 쉽게 스며 들어 철근을 부식시켜 콘크리트 덮개가 탈락하였으며 백화 현상도 발생하였다. 사진 2는 용빙제가 눈과 함께 녹아 차량의 통행으로 인하여 연석부위에 집중

됨으로써 연석부위에서의 동결융해 및 염화물의 침식작용이 촉진되어 콘크리트의 열화가 현저하게 나타났다. 한편 콘크리트 상판의 경우 아스팔트 덧씌우기로 인하여 열화의 정도가 연석부위에 비해 적게 나타났으나, 신축이음부에서는 염분침투로 인해 철근의 부식이 발생되었다. 그러나 교각은 용빙제의 직접적인 영향을 받지 않아 외관상 건전하였다.

3-2. 콘크리트의 열화

용빙제에 의한 콘크리트의 열화 정도를 알아보기 위하여 교량의 각 부위에서 콘크리트의 코아 공시체를 채취하여 압축강도 및 중성화 깊이를 측정된 결과를 나타낸 것이 표 2이다.

표 2. 콘크리트 코아 공시체의 압축강도 및 중성화 깊이

교량명	코아채취 위치	콘크리트 덮개(mm)	중 성 화 깊이(mm)	압축강도 (kg/cm ²)
속사천 4 교	상판	30	16	187
	연석	30	28	104
	교각	50	5	218
오·대 천 교	상판	30	11	207
	연석	30	34	84
	난간	20	38	143
	교각	50	8	242
횡 계 2 교	상판	30	9	166
	연석	30	24	92
	난간	20	16	112
	교각	50	3	181

이 표에서 콘크리트 코아공시체의 압축강도는 교량의 부위에 따라 84 ~ 242kg/cm² 정도로 각각 다르게 나타났다. 특히 콘크리트의 탈락이 심한 연석부위의 압축강도가 각각 84~104kg/cm²로 가장 적게 나타났으며 난간 부위도 112~143kg/cm² 정도로 적게 나타났다. 그러나 교각과 아스팔트 덧씌우기가 되어있는 상판은 상대적으로 큰 강도를 나타내었다. 한편 콘크리트 코아 공시체의 중성화 깊이도 연석과 난간 부분이 14~38mm 정도였으나, 콘크리트 상판은 9~16mm, 교각은 3~8mm 정도

로써 상대적으로 적게 나타났다. 이상의 실험 결과에서 알수 있듯이 콘크리트의 열화는 용병제의 직접적인 영향을 받은 연석과 난간부에서 심하게 발생하였으나 아스팔트의 덧씌우기가 되어 있어 용병제의 침투가 어려운 상판이나 용병제의 직접적인 영향을 받지 않는 교각은 상대적으로 열화가 적게 발생하였다.

3-3. 콘크리트 중의 가용성염분량

용병제의 사용으로 인해 콘크리트속에 침투한 염분량을 알아보기 위해 교량의 각 부위에서 채취한 콘크리트 코아공시체를 표면에서부터 깊이 1cm간격으로 절단하여 측정된 결과를 그림 2~4로 정리하였다.

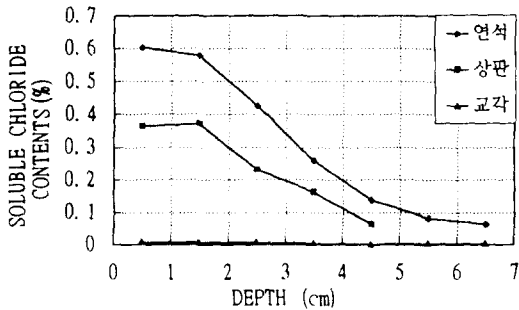


그림2. 콘크리트중의 가용성염분량(속사천4교)

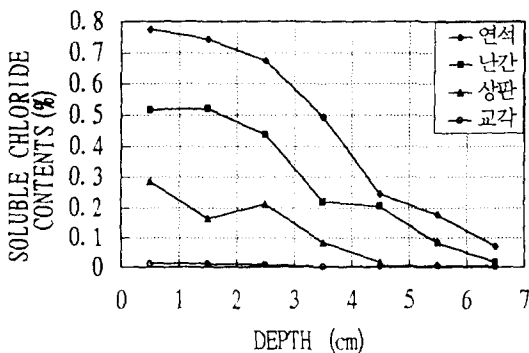


그림 3. 콘크리트중의 가용성염분량(오대천교)

콘크리트중의 가용성 염분량은 연석부위에서 가장 많았고 난간, 상판의 순서로 나타났으나 용병제의 직접적인 영향을 받지 않는 교각에서는 거의 나타나지 않았다. 콘크리트 표면에서 1cm깊이의 가용성염분량은 연석부위, 난간부위 및 상판부위에서 각각 0.60~0.78%,

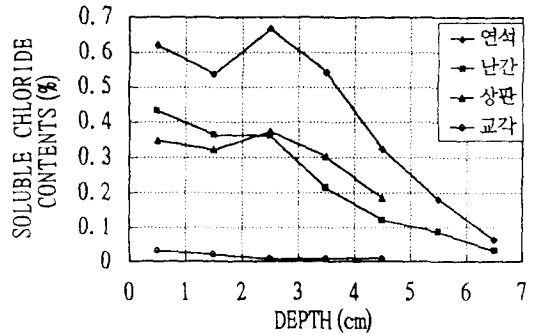


그림 4. 콘크리트중의 가용성염분량(횡계2교)

0.45~0.52%, 0.29~0.37% 정도로 나타났으며, 표면에서부터 깊이가 깊을수록 적게 나타났다. 횡계 2교의 경우 연석부위에서는 철근이 묻힌 깊이(2~3cm)에서 가장 많은 가용성 염분량이 나타났다. 다만, 본 현장조사 시기는 겨울철이기 때문에 계절에 따라 다소 변동이 있을 것으로 사료된다.

3-4. 철근의 자연전위에 의한 부식의 평가

철근의 자연전위를 측정하여 부식정도를 평가하기 위한 방법으로 ASTM C-876 의 기준이 널리 인정되고 있다.¹⁾ 이 기준에 의하면 전위가 -200mV 이상이면 철근이 90% 이상 부식이 되지 않으나, -200~-350mV이면 불확실하며 -350 mV 이하에서는 90%이상 부식이 진행된다고 한다.

용병제의 사용으로 인해 열화된 콘크리트 교량 상판의 철근부식정도를 추정하기 위하여 자연전위를 측정하여 등전위선도와 열화상태를 스케치하여 그림 5에 나타내었다. 철근의 자연전위 측정값은 -280~-560 mV 정도였으며 콘크리트중의 철근은 전체적으로 부식환경에 있는 것으로 추정된다. 또한 그림 5(b)에서와 같이 철근이 부식되어 콘크리트가 탈락된 부위에서는 자연전위가 -500mV 이하로 나타나 자연전위 측정값과 철근의 부식상태가 잘 일치하고 있음을 알수 있었다.

3-5. 콘크리트의 저항률에 의한 부식의 평가

콘크리트의 저항률이 높고 건조한 콘크리트 중의 철근의 부식은 용이하지 않지만 저항률이 낮고 습윤상태인 콘크리트중에서는 철근이 부식하기 쉽다. 콘크리트의 저항률은 콘크리트의 조성, 함수량 및 염분함유량 등에 따라 다르며, 부식전지내를 흐르는 부식전류의 크기를 지배하기 때문에 철근의 부식속도에 영향을 미치는 요인이 된다고 한다.²⁾ 표 3은 콘크리트의 저항률과 철근의 부식정도를 나타낸 것이다.

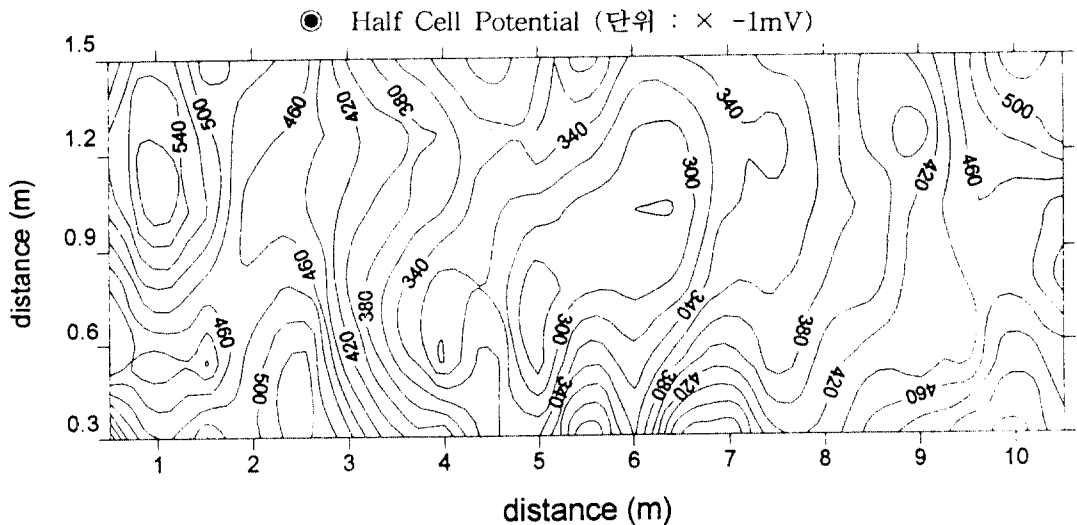
음빙제의 살포에 의한 철근의 부식정도를 알아보기 위하여 철근의 자연전위를 측정할 부위의 콘크리트 저항률을 측정하였다. 콘크

리트의 저항률은 0.20~20.75k Ω ·cm 정도였으며 저항률 측정값을 등저항률선도를 그려서 나타낸 것이 그림 6이다.

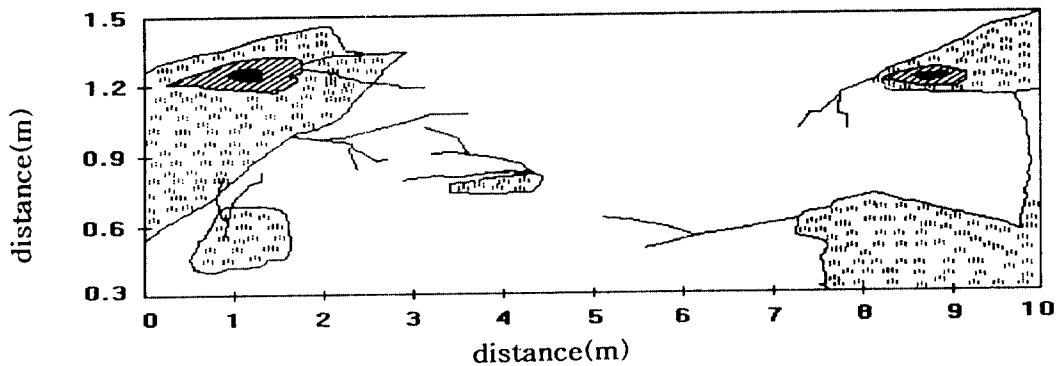
표 3. 저항률과 부식성³⁾

저항률(k Ω ·cm)	부식성
< 5	상당히 크다
5 ~ 10	크다
10 ~ 20	작다
> 20	없다

그림속에서 보면 많은 부위에서 5k Ω ·cm보다



a) 철근의 등전위선도



● 철근노출 ● 콘크리트 탈락 — 균열 ⊙ 콘크리트 들뜸

b) 콘크리트의 열화상태

그림 5. 철근의 등전위선도와 콘크리트의 열화상황

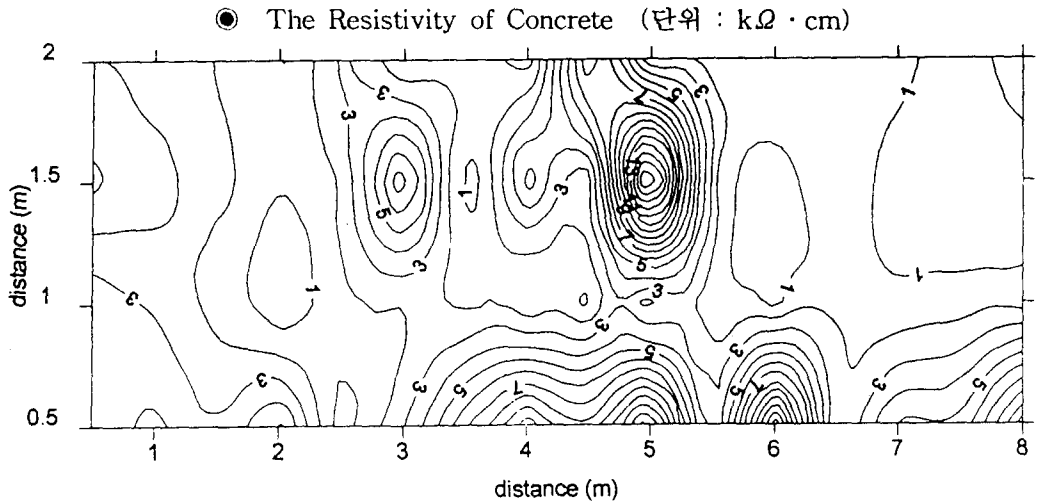


그림 6. 콘크리트의 등저항률 선도

낮은 저항률 값을 보이고 있어 표 3에 의하면 부식성이 클것으로 생각된다. 한편 그림 5의 등전위선도와 콘크리트의 열화상태를 비교해보면 콘크리트의 열화와 철근의 부식이 심한 부위에서 콘크리트의 저항률도 적게 나타났다. 이상의 결과에서 콘크리트의 저항률을 측정하여 철근의 부식정도를 추정하는 참고자료로 활용할수 있겠다.

4. 결론

- (1) 염분의 침투가 용이한 콘크리트 구조물의 이음부에서 철근의 부식이 발생하며 콘크리트 덮개가 탈락, 백화현상도 발생되었다.
- (2) 교량의 연석, 난간부위는 용빙제의 집중 및 동결융해의 상승작용으로 인하여 다른 부위와 비교하여 압축강도는 저하되고 중성화 깊이는 컷으며, 철근의 부식도 크게 나타났다.
- (3) 용빙제의 사용으로 콘크리트 속에 침투한 가용성염분량은 연석, 난간 및 상판부위 순으로 적었으며, 연석부위에 있어서 가용성염분량은 0.42 - 0.68% 정도로 크게 나타났다.
- (4) 철근의 자연전위 및 콘크리트의 저항률에 의해 철근의 부식정도를 추정한 결과 자연전위값이 $-280 \sim -560mV$ 로 높게 나타났으며 콘크리트의 저항률도 대부분의 부위에서 $5 k$

$\Omega \cdot cm$ 보다 낮은 값을 나타내었다.

(5) 철근의 등전위선도 및 저항률선도와 콘크리트의 열화상태가 잘 일치하므로 콘크리트중의 철근의 부식정도를 추정할 수 있는 유익한 자료로 활용할 수 있다.

* 본 연구를 수행 할 수 있도록 연구비를 지원해 주신 한국도로공사에 진심으로 감사를 드립니다.

5. 참고문헌

1. ASTM C-876, Standard Test Method for Half Cell Potentials of Reinforcing Steel in Concrete, 1980
2. Millard S.G., Harrison J.A. and Edwards A.J., Measurement of the Electrical Resistivity of Reinforced Concrete Structures for the Assessment of Corrosion Risk., British Journal of NDT, Vol.13, No.11, November, 1989
3. 小林豊治, 鐵筋腐食にかかわる耐久性の診断手法, 콘크리트工學, Vol. 26, No. 7, July, 1988
4. 横田優, 電氣化學的手法による콘크리트中の鐵筋腐食評價, 콘크리트工學年次論文報告集, 第12卷, pp.545~550, 1990