

# 해양환경하에 있는 콘크리트 구조물의 염해에 대한 고찰

## The Assessment of Chloride Attack of Concrete Structure in Marine Environment

문한영\* 김성수\*\* 류재석\*\*\* 김성섭\*\*\*\*

Moon Han Young Kim Seong Soo Ryou Jae Seok Kim Sung Sub

### Abstract

Reinforced-concrete structures built on the seashore or in seawater are damaged from flying-salt or chloride ion in the seawater. Recently many bridges are being constructed under marine environment and there are many serious problems of chloride attack owing to penetration of chloride ion. And up to now it has not only so little a search about damage from flying-salt and seawater but also little systematic study outcome about steel corrosion.

In this study we investigate the concrete deterioration and steel corrosion of RC bridges on the seashore. Environmental conditions are investigated, and compressive strength, carbonation depth and steel-corrosion degree are measured.

## 1. 서론

해안가나 해상에 건설되는 철근콘크리트 구조물은 바다로 부터 날려온 해염 입자나 혹은 직접 해수에 의해 열화, 손상을 입게 된다. 이와같이 해양환경하에 축조된 철근콘크리트 구조물은 해수나 해염입자에 의해 직접, 간접으로 열화손상을 받게되어 내구성이 크게 문제가 되는 경우가 종종 발생된다. 그러나 한편으로 서해안 고속도로와 같이 바다에 연한 지역에 교량을 위시한 신설 콘크리트 구조물들이 건설되고 있어 해수, 파랑 등의 영향을 받아 구조물의 내구성이 크게 저하되는 문제점을 개선시키기 위한 대책이 요망된다.

본 연구에서는 해수비말이나 비례염분의 영향을 받는 곳에 위치한 철근콘크리트 교량 중 외관상 열화가 현저한 교량을 선정하여 콘크리트의 열화정도 및 철근의 부식정도를 조사하며 아울러 부식환경과 요인 등을 조사, 분석하고 철근의 부식방지 대책을 위한 연구의 기초자료로 활용하고자 한다.

## 2. 현장조사 및 실험개요

염해를 입은 철근콘크리트 교량의 조사는 교량의 제원조사, 외관조사, 비파괴시험에 의한 강도추정 및 콘크리트 코어 공시체를 채취하였다. 채취한 코어 공시체를 각 부위별로 압축강도, 중성화 깊이, 가용성염분량 및 철근의 부식정도를 측정하였다.

### 2.1 교량의 현장조사

현장조사는 해안가 교량을 서해안, 동해안,

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

표 1. 교량의 제원 및 주위환경

구 분	교량명	위 치	도 로 구 분	교량 길이(m)	준공 년도(년)	설계 하중(DB)	주위 환경
서해안	석포교	전북부안군	국 도	25	1965	9	간접적인 해풍 영향 받음
	변상교	전북부안군	국 도	120	1947	9	조수간만의 작용으로 씻김
	상서교	전북부안군	국 도	16	1969	13.5	과거에 해수 영향 받음
	주포교	전남함평군	지방도	30	1971	13.5	해수의 직접적인 영향 받음
동해안	노봉교	강원명주군	지방도	25	1996	18	해수의 직접적인 영향
	삼척교	강원삼척시	국 도	220	1966	18	해수의 직접적인 영향
	삼울교	강원울진군	국 도	24	1978	18	해수비말의 영향(200m)
남해안	거제대교	경남거제시	국 도	740	1971	18	연륙교로서 해수의 영향
	섬진강교	전남광양시	고속도로	524	1973	18	해수와 항상 접해 있음
	부용교	전남보성군	국 도	110	1931	13.5	조수간만의 작용으로 씻김

주) ( ) 속의 숫자는 해안으로부터 떨어진 거리

남해안의 3개 지역으로 분류하였으며, 주로 준공년도가 오래되고 외관관찰에 의해 콘크리트의 열화 및 철근의 부식정도가 심한 교량을 대상으로 염해정도를 조사하였다. 또한 교량의 염해원인을 파악하기 위하여 교량의 주위 환경 및 염화물 침투경로를 추정, 고찰하였으며, 조사교량의 제원 및 주위환경은 표 1과 같다.

## 2.2 코아 공시체에 의한 실험

### (1) 코아 공시체의 압축강도

조사대상 교량에서의 콘크리트 코아 채취는 크게 3개 부위(교대, 교각, 연석 및 콘크리트 슬래브, 콘크리트 난간 부분 등)로 나누어 실시하였다. 또한 교각 및 교대 부분은 조수 간만의 영향을 받고 있는 부위를 조사대상으로 하였다. 현장에서 채취한 코아 공시체의 양단면을 절단하여 켈핑한 후 압축강도를 측정하였다.

### (2) 중성화깊이 측정

코아 공시체를 쪼개어 표면의 먼지, 가루 등을 제거한 후 1%의 페놀프탈레인-알코올 용액을 분무하였다. 중성화된 부분은 변하지 않고 건진한 알칼리 부분은 적자색으로 변색하기 때문에 변색하지 않은 부분의 두께를 측

정하여 중성화깊이로 하였다.

### (3) 가용성염분량 측정

코아 공시체의 표면으로부터 두께 3cm 씩 절단하여 0.15mm 체를 통과하는 크기로 미분 말시킨 시료를 일본 콘크리트공학협회 기준(안)의 경화한 콘크리트 중의 염분량 측정방법에 의해 염분용액을 추출한 후, 선택성 전극을 이용한 Salt meter를 사용하여 염소이온 농도(% NaCl)를 측정하였다.

### (4) 철근의 부식정도

콘크리트 속의 철근을 꺼내어 녹이 발생한 부분을 스케치한 후 철근의 부식정도를 측정하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 구조물의 외관조사

구조물의 주위환경에 따른 교량 각 부위의 손상상태, 철근의 부식정도 및 노출상태를 조사하고 철근의 부식이 심한 부분을 사진촬영을 하였다. 콘크리트의 열화 및 철근의 부식정도를 육안으로 조사하여 정리한 것이 표 2 ~ 표 4이다.

해안가 교량의 외관조사 결과 조사대상 교

량 모두 해수 비말의 영향으로 난간부위의 열화가 심하게 나타났으며, 상판 및 교각의 경우 열화정도가 경과연수와 교량의 위치에 따라 크게 다르게 나타났음을 알 수 있었다.

그리고 서해안의 경우 해수와 직접 접해있는 변상교와 주포교가 콘크리트 탈락 및 철근의 부식정도가 심하게 나타났으며, 동해안의 경우 노봉교, 삼척교가 상당히 심한 열화상태를 보이고 있었다. 특히 삼척교의 경우 교각부위의 콘크리트가 여러 곳에서 탈락되고 철근이 노출되어 현재 차량통행이 금지되었으

표 2. 교량의 외관조사 (서해안)

교량명	경과연수	열화정도 및 부식상황
석포교	30	해풍의 영향으로 난간부위 콘크리트 탈락 및 철근노출. 교각은 비교적 건전함
변상교	48	해수와 직접 접해 있어 교각 및 교대의 콘크리트가 박리되어 부분적으로 내부 철근도 부식됨
상서교	33	해안으로부터 상당히 떨어져 있어 염해를 받지 않은 교량이나 상당히 오래되어 콘크리트 및 내부 철근이 노화된 상태
주포교	24	해수와 직접 맞닿는 곳으로 철근이 심하게 부식. 상판을 보수한 흔적이 있고, 8t 이상 차량 진입 금지

표 3. 교량의 외관조사 (동해안)

교량명	경과연수	열화정도 및 부식상황
노봉교	29	해수 및 해풍의 영향으로 바닷가 쪽 콘크리트 슬래브가 상당히 부식됨. 철근이 2배 이상 채적 팽창되었음
삼척교	29	바다와 직접 맞닿아 교각이 심하게 탈락되고 부식이 심함. 차량통행이 금지되고 옆에 steel box 교량이 가설됨
삼울교	17	해풍의 영향을 받는 곳으로 난간에 균열이 있고 신축이음부의 철근이 심하게 부식되었음

며, 옆에 steel box 교량이 가설되었다. 또한 남해안의 경우 연속교인 거제대교와 해수의 건습이 반복되는 섬진강교의 열화정도가 다른 교량에 비해 더 크게 나타났다.

표 4. 교량의 외관조사 (남해안)

교량명	경과연수	열화정도 및 부식상황
거제대교	24	해수와 직접 접해 있어 내부 철근의 부식으로 인해 콘크리트가 균테균테 박리되어 있음
섬진강교	22	바닷물의 직접 영향을 받는 곳으로서 교각의 내부철근이 심하게 부식되어 현재는 차량 통행금지 상태
부용교	64	하루에 두번씩 해수가 들고 나는 곳이며 경과연수가 오래되어 부식상태가 심각함

### 3.2 콘크리트 구조물의 열화

조사대상 교량들의 열화정도를 알아보기 위하여 각 부위별로 코아공시체를 채취 한 후, 압축강도 및 중성화시험을 실시한 결과를 정리한 것이 표 5 ~ 표 7이다.

표 5~7에서 알 수 있듯이 코아 공시체의 압축강도는 교량의 부위에 따라 크게 상이함을 알 수 있다. 서해안, 동해안, 남해안 모두 콘크리트 교량의 균열 및 탈락으로 난간의 압축강도 값이 매우 작았으며, 교각의 경우 152 ~ 267kg/cm<sup>2</sup> 정도로 교량에 따라 큰 차이가 있음을 알 수 있었다. 또한 중성화시험 결과

표 5. 압축강도 및 중성화시험 결과 (서해안)

교량명	코아채취 위치	압축강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	중성화 깊이 (mm)
석포교	난간	-	35
	교각	187	10
변상교	난간	-	23
	교각	155	32
상서교	난간	-	16
	교각	184	26
주포교	난간	102	20
	교각	152	5

표 6. 압축강도 및 중성화시험 결과 (동해안)

교 량 명	코아채취 위치	압축강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	중성화 깊이 (mm)
노 봉 교	난 간	-	36
	교 각	160	52
삼 척 교	난 간	182	52
	교 각	195	62
삼 울 교	난 간	-	20
	교 각	205	15

표 7. 압축강도 및 중성화시험 결과 (남해안)

교 량 명	코아채취 위치	압축강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	중성화 깊이 (mm)
거제대교	상 판	152	13
	교 각	164	18
섬진강교	상 판	102	10
	교 각	267	5
부용교	난 간	-	65
	교 각	157	42

난간부위가 13~65mm정도, 교각부위가 5~62mm정도로 압축강도와 마찬가지로 교량에 따라 큰 차이를 나타내었다.

이러한 결과는 균열 및 탈락으로 인해 콘크리트 열화가 진행되어 산소 및 염화물의 출입이 용이해졌기 때문이며, 이로인해 중성화가 촉진되고 압축강도가 저하되는 결과를 초래한 것으로 생각된다.

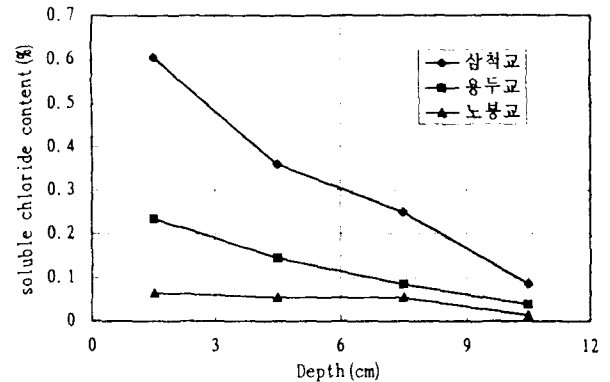


그림 2. 가용성염분량 측정결과(동해안)

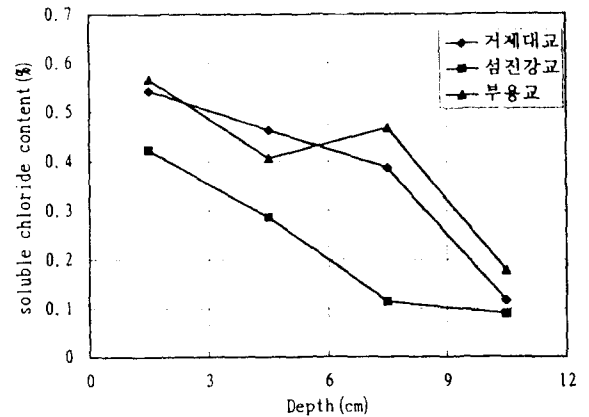


그림 3. 가용성염분량 측정결과(남해안)

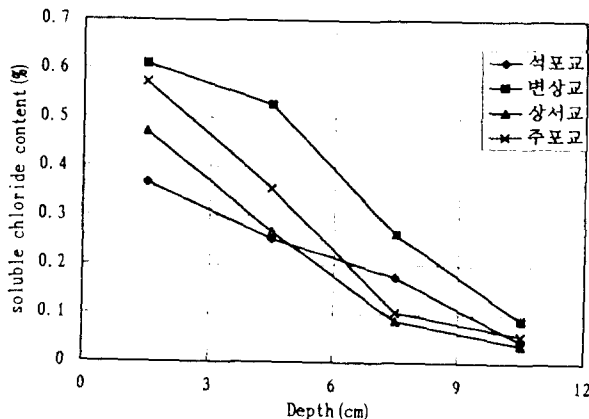


그림 1. 가용성염분량 측정결과(서해안)

### 3.3 콘크리트 중의 가용성염분량

각 교량의 교각에서 채취한 콘크리트 코아 공시체의 가용성염분량을 측정한 결과를 정리한 것이 그림 1~3이다. 서해안, 동해안, 남해안 모두 교량의 종류에 따라 혹은 콘크리트 표면에서의 깊이에 따라 각기 상이한 염분량 값을 보이고 있다. 콘크리트 표면에서 3cm 깊이까지의 가용성염분량은 대체로 0.37~0.605% 정도로 나타났으며 9cm에서 12cm깊이에서는 적은 양의 염분이 검출되었다. 또한 대부분의 교량에서 콘크리트 내부로 갈수록 가용성염분량이 거의 선형적으로 감소하고 있으나

부용교의 경우 다소 상이한 결과를 보이고 있다.

### 3.4 콘크리트 중 철근의 부식 정도

철근 부식정도의 평가는 표 8에서와 같이 다섯 등급으로 나누어 육안에 의해서 철근의 부식을 판정하였으며, 조사결과는 사진 및 스케치에 의해 기록하였다.

표 8. 철근 부식정도의 평가기준

등급	평가 기준
I	부식이 발생하지 않은 건전한 상태
II	표면에 약간의 녹이 발생한 상태
III	철근표면에 얇은 뜸 녹이 광범위하게 발생하고, 콘크리트에 녹이 부착되어 있는 상태
IV	약간의 두께가 있는 팽창성의 녹이 발생하였지만, 단면손상이 비교적 적은 상태
V	철근전체에 걸쳐 현저한 팽창성의 녹이 발생하고, 단면손상이 있는 상태

표 9. 철근 부식정도의 판정결과(서해안)

교 량 명	코아채취 위치	콘크리트 덮개(cm)	부식 등급
석포교	난간교각	3	V
		5	III
변상교	난간교각	2	V
		3	V
상서교	난간상판교대	3	IV
		3	III
		3	IV
주포교	난간상판교각	5	V
		5	III
		5	II

위의 평가기준을 토대로 해안에 위치한 교량 중의 철근 부식정도를 다음 표와 같이 판정하였다. 표에서 알 수 있듯이 콘크리트 덮개가 50mm 이하인 교량이 다수 있었으며, 콘

표 10. 철근 부식정도의 판정결과(동해안)

교 량 명	코아채취 위치	콘크리트 덮개(cm)	부식 등급
노봉교	난간상판교각	3	III
		3	V
		5	II
삼척교	난간상판교각	2	V
		2	V
		2	V
삼울교	난간교각	3	IV
		3	II

표 11. 철근 부식정도의 판정결과(남해안)

교 량 명	코아채취 위치	콘크리트 덮개(cm)	부식 등급
거제대교	상판교각	3	III
		5	II
섬진강교	상판교각	3	II
		4	II
부용교	난간상판교각	2	V
		3	V
		3	V

크리트 덮개와 철근 부식정도에는 상관 관계가 있음을 알 수 있다. 교량별로는 해수와 직접 접해 있는 변상교, 삼척교 등이 철근의 부식이 심하게 나타났으며, 한편 남해안 부용교의 경우 해안에 접해 있지 않았으나 준공된지 64년이나 되어 부식된 부분이 상당히 많음을 알 수 있다.

## 4. 결 론

- (1) 우리나라 해안가에 건설된 교량들의 염해 피해정도를 조사한 결과 경과연수에 따라 콘크리트의 열화정도가 크게 상이하였다. 특히 동해안의 노봉교, 삼척교와 남해안의 부용교 등의 열화정도가 상당히 심각하였다.

- (2) 조사한 교량들의 콘크리트 압축강도는 교각의 경우, 평균 152~267kg/cm<sup>2</sup> 범위였으며, 중성화깊이는 난간부위가 13~65mm 정도, 교각부위가 5~62mm 정도를 나타내었다.
- (3) 콘크리트 중의 가용성염분량을 측정해 본 결과 남해안, 서해안, 동해안 순으로 염분량이 크게 나타났으며, 동해안의 삼척교의 경우 표면에서 3cm까지 깊이에서 염분량이 0.605%로 가장 크게 나타났다.
- (4) 해안가 교량의 각 부위별 철근의 부식정도를 평가해 본 결과 중성화깊이와 마찬가지로 난간부위의 부식이 심하게 나타났으며 콘크리트 덮개, 경과연수 및 주위환경조건에 따라 부식의 정도가 다르게 나타났다.

\* 본 연구를 수행할 수 있도록 연구비를 지원해 주신 한국도로공사에 감사드립니다.

## 5. 참고 문헌

1. Miyagawa, T : Durability Design and Repair of Concrete Structure : Chloride Corrosion of Reinforcing Steel and Alkali-aggregate Reaction, Magazine of Concrete Research, Vol. 43 No. 156, 1991
2. 小林豊治 : 콘크리트 중의鋼材의腐食,防食의基礎, 海洋콘크리트構造物の防食指針(案), 日本콘크리트工學協會, 1983
3. Stewart, C. E : Consideration for repairing salt damaged Bridge deck, ACI Journal, Vol. 72, No.12, 1975
4. RILEM TC 124 Committee: RILEM Technical Recommendation 124-SRC Guide to Repair Strategies for Concrete Structures

Damaged by Reinforcement Corrosion, 1993

5. 大即信明, 森 好生, 下澤 治 : 海洋環境におけるコンクリートの鹽素含有量, セメントコンクリート, No. 421, 1982
6. 迫田惠三, 竹田宣典, 十河茂幸 : 海洋環境下における各種コンクリートの鹽分浸透と鐵筋の腐食の進行狀況, 콘크리트工學年次講演會論文集, 1988
7. D.Baweja, H.Roper, S.Guirguis, and V.Sirivivatnanon : Measurement of Corrosion of Steel Reinforcement under High Chloride Conditions, Proceedings Fourth International Conference Istanbul, ACI SP-132, 1992
8. 米澤敏男 : 콘크리트中の鋼材腐食における鹽素イオンの限界量について, 第8回콘크리트工學年次講演會論文集, 1986
9. 川上英男 : 鐵筋콘크리트建物の鹽分蓄積に関する-考察, 第7回콘크리트工學年次講演會論文集, 1985