

# 해상에 위치한 고속도로교량에 대한 내염보수 공법 적용(1) - 염해조사 및 보수계획

## Repair of Highway Bridge Damaged by Chloride Attack in Marine Environment(1) - Investigation/Diagnosis and Repair

정해문<sup>\*</sup>     안태송<sup>\*\*</sup>     류종현<sup>\*\*\*</sup>     지한상<sup>\*\*\*\*</sup>     한복규<sup>\*\*\*\*\*</sup>  
Cheong, Haimoon     Ahn, Tas-Song     Ryu, Jong-Hyun     Chi, Han-Sang     Han, Bog-Kyu

### ABSTRACT

Corrosion of reinforced concrete structures in marine environment is one of the most important mechanism of deterioration. The conventional repair techniques of concrete structure damaged by chloride attack consist of removing damaged concrete, cleaning rebar and patching with cement-based materials. However, recently, this method was considered to be ineffective for marine concrete structure in tidal zone. It is necessary to select proper repair method for domestic marine environment which shows broad tidal zone. This paper reports the results of repair of highway concrete bridge damaged by chloride attack in domestic marine environment.

### 1. 서론

해양환경에 놓인 콘크리트 구조물은 염해로 인한 조기열화로 손상을 받을 우려가 있어, 염해에 대한 내구성 향상을 위한 대책이 반드시 필요하다. 고속도로 교량 중 해안에 위치한 고속도로 교량에 대하여 염해손상 피해를 조사한 결과, 소래교 외 2개 교량의 교각 간만대 부위에 염분이 다량 침투되어 보수가 필요한 것으로 확인되었다. 그러나 염해에 의해 손상을 받은 교량에 대하여 보수공법을 적용한 사례가 국내에 거의 없어, 국내 해양환경 및 시공수준을 고려하여 적합한 보수공법을 선정하고자 하였다. 그 결과, 소래교를 대상으로 국내실정에 맞는 내염보수대책을 채택하여 시공하였으며, 본 논문에서는 소래교에 대한 염해조사 결과와 그에 따른 최적보수공법을 선정결과에 대해서 보고하기로 한다.

### 2. 소래교 개요 및 환경조사

표 1에 소래교의 개요에 대해서 나타내었다. 소래교는 해상에 위치한 교량으로 상부구조는 강박스로 되어 있고, 교각중에서 P1과 P2 교각은 상시 해수중에 위치하고, P3~P6은 만조위때만 해수와 접촉하고 있다. 본 교량이 위치한 곳의 조수간만차는 최대 9.17m 정도이고, 2003년도 조사 데이터로는 3.5~

\* 정회원, 한국도로공사 도로교통기술원 책임연구원  
\*\* 정회원, 한국도로공사 도로교통기술원 수석연구원  
\*\*\* 정회원, 한국도로공사 도로교통기술원 위촉연구원  
\*\*\*\* 정회원, (주)한국소본드건설 기술개발부 이사  
\*\*\*\*\* 정회원, (주)한국소본드건설 기술개발부 대리

8.1m 정도의 간만차를 나타내었다. 최대 8~9m 정도의 큰 간만차때문에 교각의 간만대 부위는 해수의 건습반복작용으로 인한 염분의 침투가 현저하고, 교각의 상단부와 상부구조는 해상대기부로서 비래염분의 영향을 받는 환경이다. 그림 1은 소래교에서 측정한 비래염분량 조사결과이다. 3년 평균 비래염분량이 0.2mdd 정도로서 작은 값을 보여 주고 있다. 전국적인 비래염분량 조사에 의해 비래염분량과 콘크리트 염해와의 상관관계를 제시한 일본의 경우<sup>1)</sup>, 비래염분량이 1~10mdd 이상 지역에서 콘크리트의 염해 손상이 현저한 것으로 알려져 있다. 이와 비교해 보았을 때 소래교의 비래염분의 영향은 그다지 크지 않을 것으로 예상할 수 있다. 한편 시공여건을 살펴보면, 조수간만차가 크고 간만시 조류가 빨라 시공시간 확보하는데 제한이 있고 또한 소형선박의 많은 왕래와 빠른 해수유입으로 인해 정밀시공의 어려움을 가지고 있다.

표 1 소래교 개요

장소	인천광역시 남동구 논현동 소재		
노선/이정	영동고속도로 3.67km		
연장	350.165m	폭원	31.11m
총경간수	7	최대경간장	50m
상부구조	강박스	교각	T형다주
공사기간	1990년12월~1994년1월 (공용년수 10년, 2003년 보수당시 시점)		
교각콘크리트	피복 8.55cm, 설계강도 240kg/cm <sup>2</sup> W/C=42%, 시멘트량=420kg/m <sup>3</sup>		

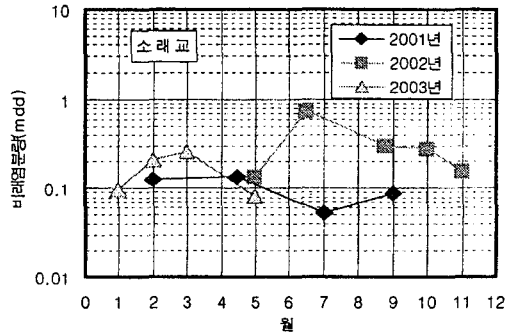


그림 1 소래교의 비래염분 측정결과

### 3. 염해에 의한 손상조사

#### 3.1 조사방법

염해에 의한 손상조사를 위해 교각이 상시해수중에 위치한 P2 교각을 대상으로 외관관찰, 침투염분량 측정, 중성화깊이 측정, 철근의 자연전위 측정을 실시하였다. 그림 2에 염해손상 조사위치를 나타내

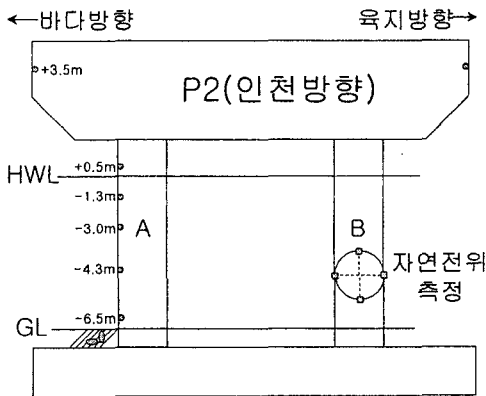


그림 2 염해손상 조사위치도

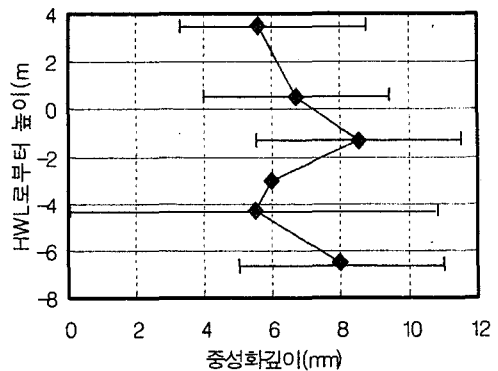


그림 3 중성화깊이 측정결과

었다. 염분량과 중성화 깊이 측정을 위해 각 해수접촉부위별로 코어시험체를 채취해, 침투 염분량과 중성화 깊이를 측정하였고, 철근의 자연전위는 포화황산동 기준전극을 이용해 교각 둘레 4지점에 대해서 측정하였다.

### 3.2 조사결과

외관조사결과, 부분적인 균열과 탈리현상이 관찰되었으나, 철근부식에 의해 발생된 것은 아니었으며 또 경미한 것으로 나타났다. 그림 3에 중성화깊이 측정결과를 나타내었다. 중성화 깊이는 5~8mm 정도였고, 해수접촉부위별로의 유의한 차이를 나타내지는 않았다. 염분침투량 조사결과를 그림 4에 나타내었다. 그림의 결과에서 알 수 있듯이 간만대 부위에서 염분이 매우 많이 침투하였고, 간만대 중 특히 해수의 접촉이 더욱 빈번한 간만대 하부에서 침투량이 더욱 많은 것을 볼 수 있다. 반면 HWL 근방과 해상대기부의 경우에는 염분침투량이 매우 적게 나타났다. 이와 같이 비말대와 해상대기부 콘크리트의 염분침투량이 작게 나타난 것은 비래염분량이 작은 것과 관련이 있다. 한편, 본 데이터로부터 철근위치(피복두께 8.55cm)에서의 염분량을 예측한 결과 간만대-중, 하부는 철근부식임계염분농도로 알려져 있는  $1.2\text{kg/m}^3$ 을 모두 초월한 것으로 나타나 이미 철근부식이 발생하여 진행되고 있는 단계에 들어섰다고 판단되었다. 그림 5는 P2 교각 철근의 자연전위 측정결과를 나타낸 것이다. 간만대 중 HWL -2m 이하에서 자연전위가  $-350\text{mV}$  이하로 나타나 염분침투에 의한 철근부식발생의 우려가 매우 높은 것으로 나타났다.

손상조사 결과를 종합해 보면, 외관상 눈에 띄는 손상은 특별히 나타나지 않았으나, 교각의 간만대 부위의 경우 매우 많은 염분이 이미 침투되어 있고, 이로 인한 철근부식의 발생우려가 있는 것으로 판단되었다.

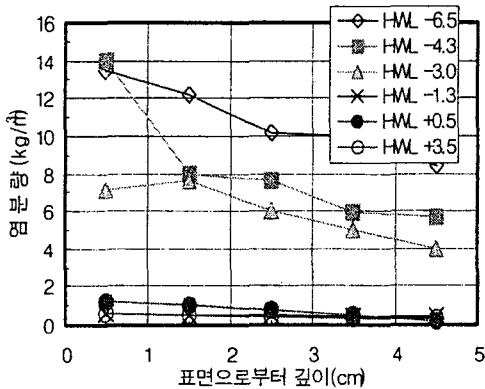


그림 4 침투염분량 측정결과

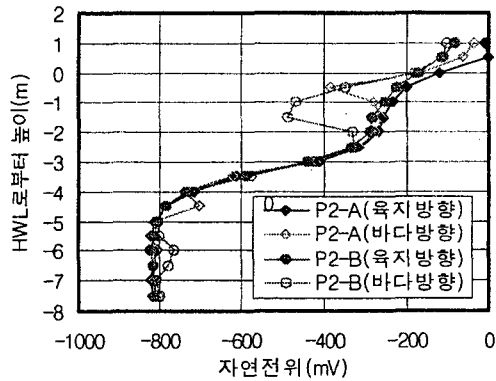


그림 5 철근의 자연전위 측정결과

### 4. 내염대책의 선정

그림 6은 콘크리트 구조물이 염해에 의해 열화되는 과정을 개념적으로 나타낸 것이다<sup>2)</sup>. 한편 표 2는 그림 6의 열화과정 개념에 맞춰 소래교의 해수접촉부위별 염해손상단계 및 보수대책을 나타내었다. 철근부식발생 임계염분농도 이상 침투하여 이미 철근부식이 진행되고 있다고 판단되는 진전기에 있어서 선택할 수 있는 보수공법들은 단면복구, 전기방식, 전기적 탈염 공법 등이 있다<sup>2,3)</sup>. 이 중 단면복구공법은 염분에 오염된 피복콘크리트를 제거한 후 철근을 방청처리한 다음, 시멘트계 재료로서 단면을 복구

시키는 방법인데, 보수 후 매크로셀에 의한 부식현상이 발생되어 재열화될 가능성이 커 진전기에 들어섰을 경우 적합하지 않고, 또 조수간만의 차가 커 시공시간의 확보 및 정밀시공이 어려워 본 현장에서는 적합하지 않은 것으로 판단된다. 전기적 탈염공법은 아직까지 시공실적이 국내에서 전무하며 아직도 공법자체가 검증되어야 할 사항이 많다. 한편 전기방식공법은 외국에 시공실적이 많고 기술적으로도 확립되어 있으며, 방식전류가 공급되는 한 철근의 부식을 근본적으로 억제하는 것이 가능하므로 진전기 이후의 보수공법으로서 적합하다고 판단되어, 소래교의 해상교각 간만대 부위에 대해서 내염보수공법으로서 전기방식공법을 실시하는 것으로 하였다<sup>3)</sup>.

한편, 해상교각의 비말대 부위와 일시적으로만 해수와 접촉하는 교각의 간만, 비말대 부위에 대해서는 염화물 침투량이 비교적 적어 아직까지 철근위치에서의 염분량이 부식을 발생할 정도까지 도달하지 않았으므로 해수에 의한 염분공급을 차단하는 내염도장공법을 적용하는 것으로 하였다.

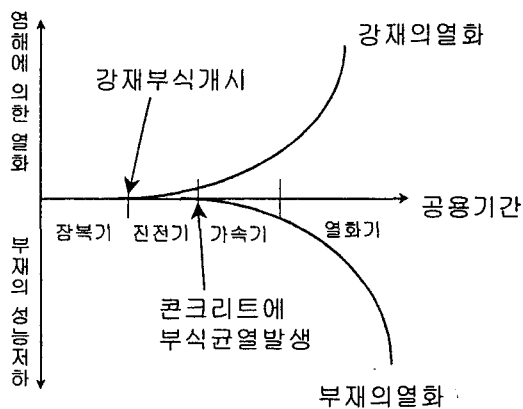


그림 6 염해에 의한 열화과정 개념도

표 2 소래교 교각의 염해손상상태 및 내염대책 선정결과

구분	해수접촉부위	염해손상단계	내염대책
P1, P2 (상시해수중)	간만대	진전기	전기방식
	비말대, 해상대기부	잠복기	내염도장
P3~P6 (일시해수중)	간만대	잠복기	내염도장
	비말대, 해상대기부	잠복기	내염도장

## 5. 결론

(1) 해안에 위치한 고속도로 교량에 대하여 염해손상 피해를 조사한 결과, 소래교 외 2개 교량의 교각 간만대 부위에 염분이 다량 침투하여 보수가 필요한 것으로 확인되었으며, 국내 해양환경 및 시공수준을 고려한 보수공법을 선정하고자, 소래교를 대상으로 국내실정에 맞는 내염보수대책을 조사해 시공하였다.

(2) 소래교의 염해손상정도를 조사한 결과, 외관상 눈에 띄는 손상은 특별히 나타나지 않았으나, 교각의 간만대 부위의 경우 매우 많은 염분이 이미 침투되어, 이로 인한 철근부식이 진행중인 진전기 상태인 것으로 나타났고, 비말대 및 일시 해수와 접촉하는 교각의 간만대 부위는 염분이 침투하였으나, 아직 철근부식한계 농도에 다다르지 않았으므로 잠복기 상태에 놓여 있는 것으로 나타났다.

(3) 염해 손상정도로부터 국내 실정에 맞는 내염보수공법을 검토한 결과, 상시 해수중 교각의 간만대는 전기방식공법, 일시해수중 교각의 간만대와 비말대에는 내염도장 공법을 적용하는 것으로 하였다.

## 참고문헌

1. 大即信明, "콘크리트 구조물의 내구성 시리즈-염해(I)", 技報堂, 1986
2. 일본토목학회콘크리트위원회, "콘크리트 표준시방서 유지관리편", 일본토목학회, 2001
3. 일본토목학회, "전기화학적방식공법 설계시공지침(안)", 2001.