

# 가화천교 내염보수를 위한 전기방식공법 적용

## Repair of Ka-Hwa Highway Bridge damaged by Chloride Attack applied Cathodic Protection

한복규\*  
Han, BogKyu

지한상\*\*  
Chi, HanSang

정해문\*\*\*  
Cheong, Haimoon

안태송\*\*\*\*  
Ahn, TaeSong

### ABSTRACT

Ka-Hwa highway bridge, located in a corrosive marine environment, had been examined the current condition of reinforcement corrosion in concrete throughout half-cell potentials, electrical resistivity, chloride contamination of concrete, and visual observation. According to the test, the chloride corrosion reinforced concrete structure is not only the protecting film around the reinforcement is deteriorated but also corrosion activity develops, for example, delamination areas of concrete.

The purpose of this paper is to report the effects of Ka-Hwa highway bridge damaged by chloride attack and to present the results of repair of Ka-Hwa highway concrete bridge in domestic marine environment.

### 1. 서론

한국의 고속도로는 1968년도부터 건설이 시작되어, 2005년까지 약 2500km의 건설이 완료된 상태이다. 이미 과거에 건설된 교량의 경우 시공 후 약 37년 정도 경과 되었으며, 이에 따른 보수·보강의 필요성이 대두되고 있다. 특히, 해양환경에 놓인 콘크리트 교량의 경우 해수의 영향으로 인한 조기열화로부터 구조물의 내구성저하가 심각한 문제로 나타나고 있어, 이에 따른 대책마련이 반드시 필요하다. 현재 국내에서는 해안교량에 대한 실태조사를 실시하였으며, 이미 서해안에 위치한 소래교의 염해 피해 상황이 보고된바 있다. 이에 따른, 염해대책방법으로 철근의 부식을 근본적으로 억제하는 것이 가능한 전기방식공법을 선정·시공 완료한 상태이다. 본 논문에서는 서해안과는 다른 염해환경을 가진 가화천교(남해안)에 대한 염해 피해조사결과와 남해안의 특수한 염해 및 시공환경을 고려한 염해대책 공법의 시공방법 및 결과에 대해서 보고하기로 한다.

### 2. 가화천교의 시공 환경조사

가화천교는 해상에 위치한 교량으로 교각중에서 P1과 P2 교각은 상시 해수중에 위치하고 있으며, P3 교각은 해수와의 접촉이 없다. 본 교량의 구조간만차는 약 3~4m정도 이며 1일 시공가능한 시간이 3~4시간(2회)으로 제한되어 있다(그림 2). 간만대 부위는 해수의 잦은 건습반복작용으로 인하여

\* 정회원, (주)한국소본드건설 기술개발부 과장

\*\* 정회원, (주)한국소본드건설 기술개발부 이사

\*\*\* 정회원, 한국도로공사 도로교통기술원 책임연구원

\*\*\*\* 정회원, 한국도로공사 도로교통기술원 수석연구원

산소(O<sub>2</sub>), 물(H<sub>2</sub>O), 염분(Cl<sup>-</sup>)의 공급이 활발해짐에 따라 높은 부식환경을 형성하고 있는 것이 특징이라 할 수 있으며, 교각 간만대 상부부분은 해상대기부로서 비래염분의 영향을 받는 환경이다(그림 1). 시공환경을 살펴보면, 조수간만의 차에 의한 작업시간의 제한이 있고 잦은 해수 유입에 의한 정밀시공의 어려움을 가지고 있다.

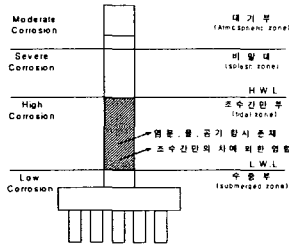


그림 1 가화천교 염해환경

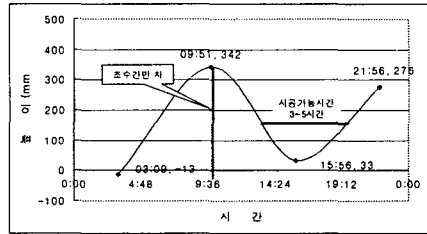


그림 2 조수간만의 차 (남해안)

### 3. 염해에 의한 손상조사 및 결과

가화천교의 염해에 의한 손상조사를 위하여 교각의 콘크리트 외관조사, 침투염분량 측정, 중성화깊이 측정, 철근의 자연전위 측정을 실시하였다. 콘크리트 외관조사 결과, 철근부식에 의한 것으로 판단되는 균열은 관찰되지 않았으나, P2 교각 하단부에 콘크리트 불량과 세굴에 의한 손상이 관찰되었다. 그림 3에서 보는바와 같이 염분침투량 측정 결과 H.W.L 이하 간만대 부위에서의 염분침투량이 비말대와 비교하여 많은 염분이 침투하고 있는 것을 알 수 있다. 본 데이터로부터 철근위치에서의 염분량 예측결과 철근부식임계염분농도 (1.2kg/m<sup>3</sup>)를 간만대 부위에서 모두 초과하고 있는 것으로 나타나 이미 철근부식이 발생하여 진행되고 있는 진전기에 들어섰다고 판단되었다. 철근의 자연전위 측정결과(그림 4) 간만대중 교각(기초에서부터 1.0~1.5m이하)에서 자연전위가 -350mV 이하로 나타나 염분침투량 측정시험과 비슷한 결과를 확인할 수 있었다. 손상조사를 종합해 보면, 외관상 철근부식에 의한 균열은 관찰되지 않았으나, 염해에 의한 콘크리트 세굴이 관찰되었으며, 교각의 간만대 부위는 염분침투량이 많고 이로 인한 철근부식의 발생우려가 있는 것으로 조사되었다.

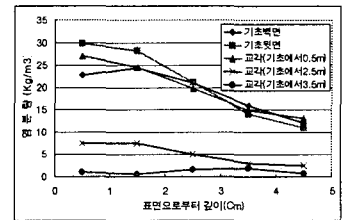


그림 3 염분침투량 측정결과

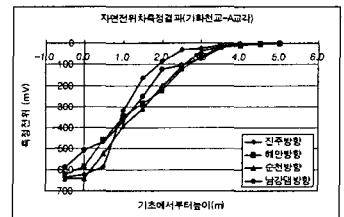


그림 4 철근의 자연전위 측정결과

### 4. 공법의 선정

공법 선정에 있어서 방식전류가 공급되는 한 철근의 부식을 근본적으로 억제하는 것이 가능한 전기방식공법을 선정하였다. 본 공법은 이미 소래교(서해안)에서 03'~04'년도 시험시공을 통하여 철근 부식 억제효과(방식효과)를 확인한 공법으로서 가화천교의 해상교각 간만대 부위에 대한 내염보수공법으로서 적합하다고 판단하였다. 하지만, 가화천교의 경우 서해안과는 다른 염해 및 시공환경을 나타남에 따라, 이를 고려한 재료선정 및 시공방법을 적용하였다. 그 결과 PE연구거푸집과 속경형 수중불분리성 모르타르를 이용한 공법을 적용하였다.

## 5. 전기방식공법

### 5.1 전기방식의 시공

그림 5에서는 본 교량에 적용된 전기방식공법의 공정표를 정리하였으며, 본 교량에 적용된 공법의 특징은 다음과 같다. ① 현장조사결과 외부충격(소형선박)의 영향이 적은 것을 감안하여 FRP를 대신하여 PE영구거푸집을 적용함으로써 경제적인 부담을 최소화 할 수 있었다. ② PE영구거푸집설치와 모르타르 주입을 하나의 공정으로 1사이클화 하여 시공함으로써 1일 3-4시간동안 시공하는 것이 가능해 졌다. ③ PE영구거푸집을 사용함으로써 염분, 공기, 물의 영향을 차단할 수 있었다. 전기방식공법 주요공정의 개요설명은 이미 소래교에서 소개한 바 있어, PE영구거푸집 설치와 모르타르 타설에 대해 설명하였다.

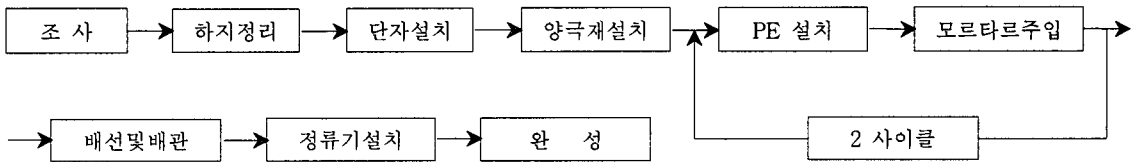


그림 5 전기방식공법 공정표

#### (1) PE영구거푸집 설치

가화천교 현장조사결과 외부충격에 대한 영향이 적은 것을 감안하여 기존에 사용한 FRP를 대신하여 PE영구거푸집을 제작 및 설치함으로써 경제적인 효과를 추구하였다. PE거푸집 설치시 피복두께(3cm)를 확보하기 위하여 평활면과 요철 면의 양면구조로 성형된 PANEL을 제작하였으며, 공사현장에서 용접재와 용접봉을 이용하여 조립 및 설치하였다. PE거푸집의 특징은 다음과 같다. ① 경량인 재료로써 빠른 시공시간을 확보할 수 있다(3~4시간/일). ② 모르타르 타설시 거푸집 역할을 수행할 수 있을 뿐만아니라 시공 후 모르타르 보호효과가 있다. ③ 빠른 해수 유입으로부터 모르타르 유실방지와 조수간만시 수분 차단효과를 가진다.

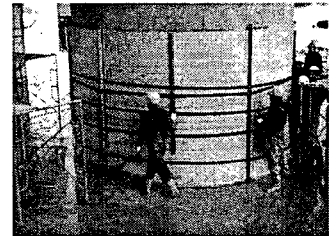


그림 6 PE영구거푸집 설치

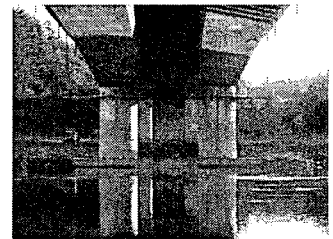


그림 7 완 성

시험항목	단 위	결 과		시험방법
		(FRP)	(PE)	
충격강도	kg/cm <sup>2</sup>	2,050	275	ASTM D 695
인장강도	kg/cm <sup>2</sup>	1,710	297	ASTM D 638
굴곡강도	kg/cm <sup>2</sup>	1,740	-	ASTM D 790

표 1 FRP영구거푸집 기본물성

#### (2) 모르타르 타설

가화천교의 조수간만차에 의한 작업시간(3~4시간/일)의 제약에 따른 안정된 피복모르타르 타설을 위하여 속경형 수중 불분리 모르타르를 사용하였다. 경량인 PE영구거푸집 설치와 모르타르까지의 공정을 간소화하여 제한된 시간안에 시공가능한 것을 확인하였으며, 전기방식시공 완성은 그림 7과 같다.

## 5.2 통전시험

전기방식시공 완료 후에 통전시험을 통하여 공급하는 방식전류량을 결정하여야 한다. 이때, 단면복구재에 의한 철근의 부동태화 및 수화반응의 영향을 고려하여 모르타르 주입 4주 후에 시험을 실시하였다. 가화천교의 전기방식시설은 현장여건을 고려하여 교각과 기초부를 분할하여 4개의 방식회로로 구성하였다. 방식기준은 철근의 자연전위보다 마이너스(-) 방향으로 100mV 이상 분극되어 있는 것으로 하였으며, 철근의 수소취화의 영향을 고려하여 분극된 전위가 -1,100mV(은/염화은 기준전극)보다 플러스되는 방향에 있는 것으로 하였다. 100mV의 분극에 필요한 전류 밀도는, 대기중의 일반적인 전류밀도(10~30mA)보다 큰 것을 확인할 수 있었다. 복극량 측정 결과 각 유닛마다 선정된 전류밀도로 일정시간(24시간) 전기를 공급한 후 전원을 차단하여 복극되는 양을 측정하였으며, 그 결과 방식기준으로 정한 100mV 이상 분극되었으므로 철근이 방식상태에 놓여 있다고 판정할 수 있고, 선정된 전류밀도도 타당한 것을 확인할 수 있었다. 분극시험, 전류밀도 계산결과 및 복극량 시험결과는 표 2에 나타내었다.

회로구분	기준전극위치	통전 전 자연전위 Ecorr(mV)	100mV분극시		통전전후		복극량 시험결과 Eio(mV)	전류밀도 선정결과 (mA/m <sup>2</sup> )
			전류밀도 (mA/m <sup>2</sup> )	Eio(mV)	전위차	판정		
Unit 1	No.1 (P1-A-푸팅부터 1.5m)	-400	21.3	-510	110	OK	168	30.1
	No.2 (P1-B-푸팅부터 1.5m)	-385	30.1	-495	110	OK	120	
Unit 2	No.3(P1-푸팅)	-544	25.9	-654	110	OK	115	25.9
Unit 3	No.4 (P2-A-푸팅부터 1.5m)	-572	50.7	-681	109	OK	114	50.7
	No.5 (P2-B-푸팅부터 1.5m)	-592	50.7	-702	110	OK	126	
Unit 4	No.6(P2-푸팅)	-397	13.8	-506	109	OK	109	13.8

표 2 가화천교 통전시험 결과

## 6. 결론

본 논문은 남해안의 염해환경의 소개와 특수한 염해 및 시공환경을 고려한 시공방법의 제안과 결과를 보고하였다. 본 논문의 결론을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 남해안에 위치한 가화천교 염해피해조사결과 간만대 부위는 염분침투량이 많고 이로 인한 철근부식의 발생우려가 있는 것으로 조사되었다.
- 2) 간만대 부위 전기방식공법은 가화천교의 염해 및 시공환경을 고려하여 PE영구거푸집과 속경형 수중 불분리 모르타르를 이용하였다. 시공완료 후 통전시험을 통하여 철근부식억제효과를 확인하였다.

### 참 고 문 헌

1. 社) 土木學會 電氣化學的防食工法 設計施工指針(案), pp67-68, 2001
2. Browne, R.D. (1982), "Design prediction of life for reinforced concrete in marine and other chloride environments". Durability of Building Materials, 1: 113-125