

염해에 대한 해양 콘크리트 구조물의 부식모니터링 시공사례

Construction Example of Corrosion Monitoring of Marine Concrete Structure by Chloride Attack

지 기 환* 정 해 문** 경 제 운** 원 종 승** 박 진 태**
Jee, Kee-Hwan Cheong, Hai-Moon Kyung, Je-Woon Won, Jong-Seung Park, Jin-Tae

Abstract

The paper introduces the application cases of corrosion monitoring system of splash zone and tidal zone which sea water contacts directly with S large bridge, a domestic marine special bridge. The corrosion of the iron bar out of a concrete is one out of main cause which causes a fall of performance of a concrete fabric. Therefore the purpose of the paper is to monitor the infiltration of salt into marine fabrics to construct the preventive maintenance and management system of marine bridges and to consider about the design and plan of maintenance and management hereafter through the performance verification of this system.

1. 서 론

철근 부식은 전 세계적으로 교량이나 주차장, 터널, 해안 구조물 또는 해수나 제방염에 노출되어 있는 구조물에 중요한 문제로 부각되어 왔다. 주기적·장기적으로 콘크리트 구조물이 부식 환경에 노출된 경우 철근주위의 부동태피막이 파괴되어 철근이 부식되며, 이로 인하여 발생하는 체적 팽창압에 의하여 콘크리트의 균열 및 박리가 발생하며 전반적인 구조물의 성능저하와 심할 경우 철근콘크리트 구조물은 붕괴하게 된다. 특히 대규모의 토목구조물로서 간척시설물 등은 직접 바다에 접하여 시공되기 때문에 염해에 따른 철근의 부식문제는 매우 심각하다. 또한 국내에 지속적인 부식모니터링 계측 사례는 전무한 실정이다. 따라서 해상교량에 대한 내염 유지관리 방안이 필요하며, 이는 염해 계측 및 점검 기술의 개발이 필수불가결한 사항이 되고, 구조물의 치명적인 손상이 발생하기 전에 예방관리 기법을 도입하거나 구조물의 염해에 대한 이력관리 및 D/B를 구축하는 것이 중요하다.

2. 부식모니터링 배경

본 논문의 계측대상인 국내 해상 특수교량인 S대교는 내염설계를 반영하여 시공하였으며, 해안선으로부터 250m 이내에 위치하고 있어, 해수가 직접 접촉하는 비말대 및 간만대 부위에 염해 손상에 대해 부식센서를 통한 지속적인 모니터링이 필요하게 되었다.

* (주)케이엠티엘 기술연구소 소장

** 한국도로공사 도로교통기술원 책임연구원, 한양대학교 건축환경공학과 공학박사, (주)케이엠티엘 부장,
서울산업대학교 공학석사

또한 염해에 의한 내구성 설계에 관한 검토는 외국의 연구결과를 인용하고 있는 실정이며, 2003년 및 2004년 한국콘크리트 학회 표준시방서 및 내구성 설계 지침(안)의 환경인자들은 일본의 시방서 내용을 그대로 적용하고 있으며, 우리나라 환경조건에 근거한 염해 예측 인자들의 도출이 필요하다. 국내 부식모니터링의 지속적인 계측사례와 데이터 축적이 전무한 실정이므로 향후 본 계측사례를 통하여 국내 부식모니터링 발전에 기여하고자 한다. 부식감지시스템을 설치함으로 예상되는 장점은 다음과 같다.

- (1) 철근 부식을 사전에 감지할 수 있어서 장기적인 면에서 보수·보강대책 수립이 용이하다.
- (2) 내염도장공을 실시하였을 때보다 비용면에서 월등히 유리하다.
- (3) 시스템 자체가 콘크리트 구조물과 수명을 같이 하므로 거의 반영구적이다.
- (4) 추후 발생하는 해상교량의 부식특성 자료로 활용한다.

3. 모니터링 구조물

서해안에 위치한 S대교 P56, 70에 해상대기부, 비말대 와 간만대에 각 1개씩 총 6개의 센서를 설치하였으며, 센서 설치위치는 Fig. 2와 같다. 또한 준공전 염해방지 처리현황에 대하여 정리하면 다음 Table 1 과 같다.

Table 1 염해방지 처리현황

부 위	염해방지공법	교량부위	처리시기
해 수 중	희생강관+에폭시철근+내황산염시멘트	교각	준 공 전
간 만 대	내염도장(코팅식)+내황산염시멘트	교각, 기초	
비 말 대	내염도장(침투식)+내황산염시멘트	교각	
기타 부위	시공 시 철근노출부위방청제 처리	방호벽 중분대	

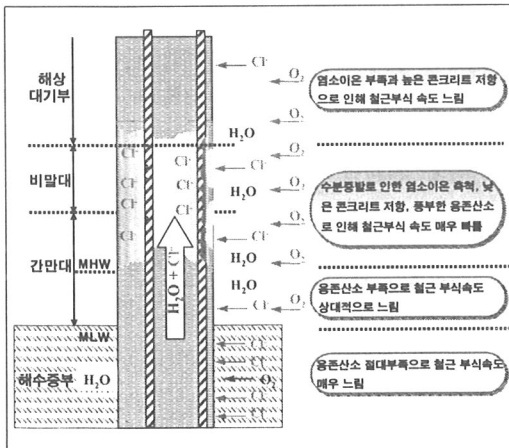


Fig. 1 해양 환경에 노출된 콘크리트 철근 부식

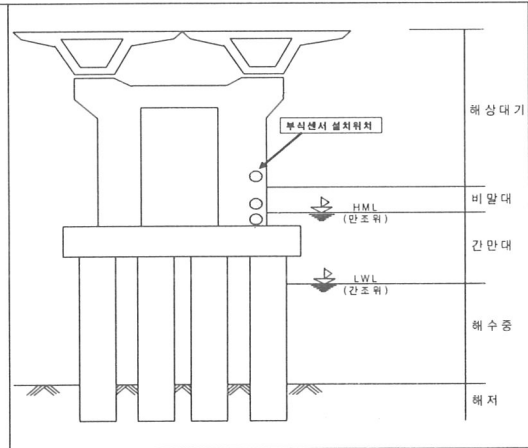


Fig. 2 부식센서 설치위치(P56, 70)

4. 측정센서 소개

부식센서는 모니터링이 가능한 Virginia Technology Inc.의 ECI-1을 적용하였으며, 5개의 센서가 조합되어 있다. 휴대가 가능하고 규격화된 구조로 컴퓨터와 통신 할 수 있는 시스템이다.

부식발생을 일으키는 중요 다섯 가지 정보를 한 장치로 수집이 가능하며, 측정요소를 정리하면 다음과 같다

(1) 선형 분극저항(Linear Polarization Resistance)

콘크리트 환경과 측정전극 사이의 저항측정을 기본으로 하며, 측정시점에 대한 측정점 밑에 있는 철근 부식속도 평가를 할 수 있다. 측정단위는 $k\Omega/cm^2$ 이다.

(2) 저항(Resistivity)

콘크리트의 습윤상태를 알 수 있으며, 저항이 증가하면 습윤상태를 뜻하므로 부식진행이 발생 할 수 있는 상황을 암시한다. 측정단위는 $k\Omega/cm$ (또는 $1/Conductivity$) 이다.

(3) 개방 회로전위(Open Circuit Potential)

전기화학적 전위로 잔여전위를 측정하며, 측정시점에 대한 내부철근의 부식가능성 또는 부식 활성 범위의 검출을 평가 할 수 있다. 측정단위는 V 이다.

(4) 콘크리트 내부온도(Concrete Internal Temperature)

ECI-1 내부의 반도체 온도센서를 이용하여 측정되며, 일반적으로 온도가 증가 할수록 철근 부식은 증가한다¹⁾. 콘크리트 내부 화학적 활성화를 변화시켜 부식작용을 증가시킨다고 할 수 있다. 온도는 섭씨단위로 측정된다.

(5) 염화물 이온농도(Chloride Ion Concentration)

염화물 이온의 침투로 인해 콘크리트 내부의 염화물량이 증가하여, 철근부식만을 관여하게 된다면 산소의 침투가 저해되므로 비말대 부근이 더 빠르게 확산되지만 내부의 염화물 축적에 대해서는 일반적으로 해수중이 빠르다고 알려져 있다. 염화물 이온농도는 일반적으로 V 단위로 측정된다.

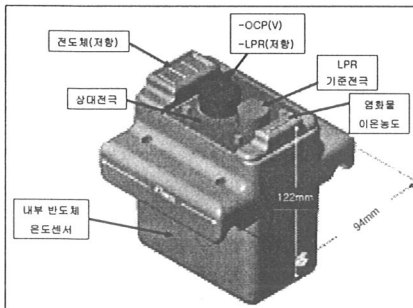


Fig. 3 부식센서 ECI-1

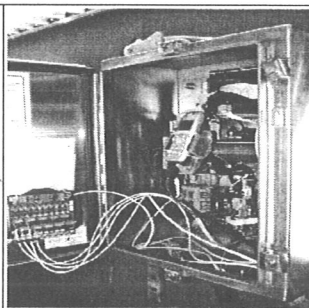


Fig. 4 D/L 및 CDMA 설치(예)

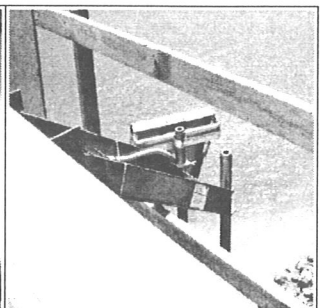


Fig. 5 Solar panel 설치(예)

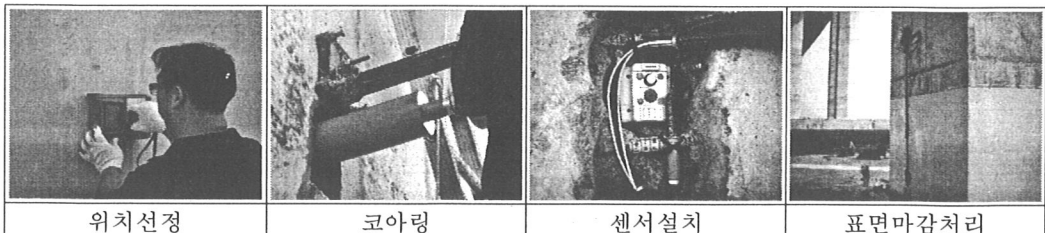


Fig. 6 부식센서 설치 순서

5. 부식데이터 분석

부식감지 유지관리 계측으로 2006년 12월부터 현재(2007년 5월) 측정 중이며, P56 계측 데이터를 12월 23일~1월 25일 동안 오전 10:00 1회/1일 기준으로 정리하였다. 측정기간은 센서설치 후 최초 1개월은 24회/1일, 1개월 이상부터는 4회/매월 데이터를 수집하고 있다. 측정된 결과는 Fig. 7, 8, 9, 10 와 Table 3 에 정리하였다.

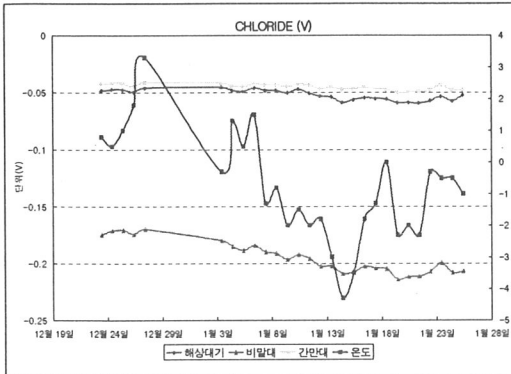


Fig. 7 염화물 이온농도

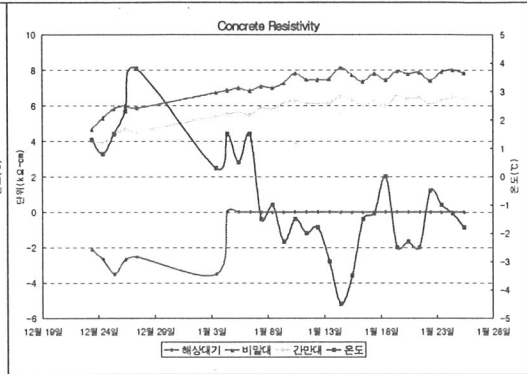


Fig. 8 저항

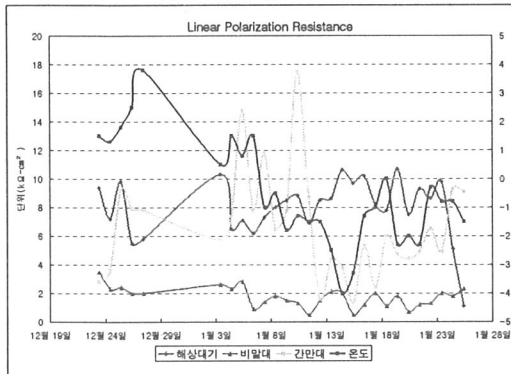


Fig. 9 선형 분극저항

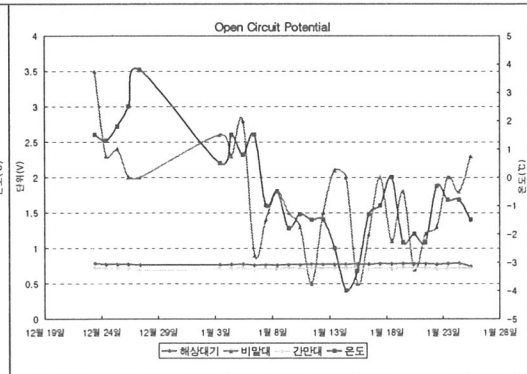


Fig. 10 개방 회로전위

Table 2 ASTM C876에 의한 전위측정치 평가기준²⁾

전위 측정치 E (V vs CSE)	평 가
$-0.20 < E$	90% 이상 확률로 비부식 상태
$-0.35 < E \leq -0.20$	부식상태는 불확실
$E \leq -0.35$	90% 이상 확률로 부식 상태

Table 3 부식 측정 데이터 정리

측 정 설치위치		염화물 이온농도(V)	저항 (kΩ/cm)	선형분극저항 (kΩ/cm²)	개방회로전압 (V)	온 도 (°C)
해양대기	Max	-0.0456	0.000	10.7	0.7878	3.3
	Min	-0.0593	-3.519	1.1	0.7418	-4.3
비 말 대	Max	-0.1700	8.128	3.5	0.6630	3.8
	Min	-0.2140	4.664	0.5	0.6408	-4.5
간 만 대	Max	-0.0412	6.532	17.5	0.7242	3.8
	Min	-0.0499	3.954	1.3	0.6897	-4.0

※ 일일 AM. 10:00 Data 기준으로 정리하였음.

1) 염화물 이온농도(그림 6)

염화물 이온농도 침투시 하향하는 경향을 보이므로, 콘크리트 내 염화물 침투를 파악할 수 있으며, 비말대 및 간말대에 설치한 부식센서의 경우 미세하지만 염화물 침투를 확인할 수 있다.

2) 저항(그림 7)

콘크리트 습도상태를 나타내며, 시간에 따라 콘크리트 내 미세하지만 염화물 침투량을 파악할 수 있으며, 침투가 지속될수록 상향하는 경향을 보인다.

3) 선형 분극저항(그림 8)

온도에 의해 분극저항이 미세하지만 유사하게 변화하고 있으며, 설치 후 1개월의 측정데이터는 안정화 기간 및 그라우팅 작업 시 염분 침투가 의심되므로, 단위를 환산하여 정확한 부식속도를 파악하기에는 무리가 있는 것으로 사료되어 향후 데이터 축적기간이 요구된다.

4) 개방 회로전압(그림 9)

전기화학적 전위로 나타나며, 부식이 발생하는 환경에 있을 경우 하향하는 경향을 보인다. 현재 측정된 데이터는 측정기간이 짧고, 안정화 되어가는 시기라고 판단되어 뚜렷한 경향을 파악하기 어려우며, 향후 장기간 데이터를 축적하여 분석하고자 한다.

6. 결 론

(1) 설치 후 1개월의 데이터를 정리한 결과 개방회로전압에 의한 부식비율은 Table 2(ASTM C876에 의한 전위측정치 평가기준)와 비교하여 $-0.20 < E$ 에 해당되므로 90% 이상 확률로 비부식 상태인걸로 판단된다. 그러나 측정데이터는 미세하지만 부식반응을 보이고, 분극저항은 온도변화에 의해 미세하지만 유사하게 변동하고 있으나, 약 1개월은 데이터의 안정화 기간으로 사료되며, 설치 시 그라우팅 작업으로 염분침투가 진행되어진 것으로 판단된다. 향후 데이터 축적기간이 필요하며, 이 결과를 발표 할 예정이다.

(2) 본 논문의 대상 구조물은 준공전 내염도장을 실시하였으며, 시공시부터 부식 모니터링을 실시하였더라면 부식감지 여부와 데이터 활용을 유용하게 할 수 있었을 것이다. 본 대상구조물은 개통 후 6년이 지난 시기에 적용하였지만, 유사한 철근콘크리트 구조물의 경우 부식모니터링을 시공시부터 D/B를 구축함으로 내염유지관리 방안 및 예방관리 기술을 도입하여야 할 것이다.

(3) 국내에서는 염해에 대한 실제적인 데이터 축적이 많이 이루어지지 않고 있다. 본 대상구조물의 현재 계측데이터는 단기간 측정하여 부식을 판단하기에는 이르나 구조물 부식특성 상 향후 지속적인 계측데이터 축적 후 내구성을 향상시킬 수 있는 방안 및 부식여부 와 속도가 검토되어야 할 것이다.

참고문헌

1. M. Yokota and J.W. Kyung, Environmental influence on corrosion rate of steel bars embedded in concrete, Concrete under Server Conditions of Environment and Loading (CONSEC'04), June28-30, 2004, Seoul, Korea
2. ASTM C876-91, "Standard Test Method for Half-cell Potentials of Uncoated Reinforcing Steel in Concrete"
3. 한국콘크리트학회 특수환경콘크리트 위원회, "콘크리트 구조물의 염해 내구성에 관한 국제 심포지엄," 한국콘크리트학회, 2006