

# 해양환경하에 노출된 콘크리트 구조물의 침식평가

## Evaluation on Deterioration of Concrete Structure under Marine Environment

문 한 영\*      김 성 수\*\*      김 홍 삼\*\*\*      이 승 태\*\*\*\*      권 태 석\*\*\*\*\*

Moon, Han Young   Kim, Seoung Soo   Kim, Hong Sam   Lee, Seung Tae   Kwon, Tae Seok

### ABSTRACT

When concrete structures are built in marine environment, they may be deteriorated and have the poor durability and quality caused by steel corrosion or by chemical attack of magnesium or sulfate ions. Especially, Mg ions contained in seawater make concrete surface weaken by chemical reaction with  $\text{Ca}(\text{OH})_2$

In this study, a concrete structure built in 1947 was investigated to estimate the factors, especially chemical attack, which can cause concrete to deteriorate. Furthermore, the instrumental analysis methods such as XRD and ESEM were performed to find the reactants in concrete under marine environment.

### 1. 서론

해양환경하에 건설되는 콘크리트 구조물의 경우, 해수 중의 황산 및 마그네슘이온 등의 침투에 의한 콘크리트의 침식뿐만 아니라 염소이온의 침투확산에 의하여 콘크리트 중의 철근부식이 촉진되어 콘크리트 구조물은 균열의 발생 및 내하력의 저하로 인하여 공용성을 크게 떨어뜨리는 결과를 초래하게 된다. 그러나 최근 해양환경하에 위치하고 있는 콘크리트 구조물의 내구성에 대한 관심이 고조되면서 철근부식 및 콘크리트 침식에 의한 콘크리트 구조물의 성능저하에 관련된 연구가 활발히 진행되고 있지만 우리나라에서는 주로 염소이온의 침투확산이나 염소이온에 의한 철근부식에 관한 연구가 주류를 이루고 있는 반면, 화학적 침식에 의한 콘크리트 구조물의 성능저하에 대한 연구는 미비한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 해양환경하에 있는 콘크리트 구조물의 화학적 침식에 대한 평가를 실시하여 향후의 내구성 설계, 시공 등의 기초자료로 활용하고자 서해안에 위치한 콘크리트 교량으로부터 화학적 침식을 받은 부위를 채취하여 XRD, ESEM 및 EDS 등의 기기 분석을 실시하였으며 그 분석 결과에 대하여 고찰하였다.

\*정회원, 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수

\*\*정회원, 대전대학교 이공대학 토목공학과 교수

\*\*\*정회원, 한양대학교 대학원 토목공학과 박사과정 수료

\*\*\*\*정회원, 한양대학교 대학원 토목공학과 박사과정

\*\*\*\*\*정회원, 한양대학교 대학원 토목공학과 석사과정

## 2. 콘크리트의 해수에 대한 침식 메커니즘

콘크리트 구조물이 해양환경에 노출될 경우,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  및  $\text{SO}_4^{2-}$  등 유해이온의 침투, 확산에 의한 침식작용으로 성능저하를 일으키게 되며, 이러한 유해이온이 콘크리트 중의 시멘트 수화물과 반응하면 콘크리트 성능저하를 일으키는 calcium oxychloride( $3\text{CaO} \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 15\text{H}_2\text{O}$ ), brucite( $\text{Mg}(\text{OH})_2$ ) 및 ettringite( $\text{C}_3\text{A} \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ )와 같은 반응생성물을 생성하게 된다. 또한 콘크리트가 해수침식을 받으면 콘크리트 내부의  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 가 모세공극을 통하여 용출되어 해수 중의  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  및  $\text{SO}_4^{2-}$  등이 침투하여 침식이 가속화된다.

## 3. 조사대상 구조물의 개요 및 실험방법

### 3.1 조사대상 구조물의 개요

본 연구의 조사대상 교량은 전북 부안군에 위치한 철근콘크리트 교량으로 설계하중은 DB9이고 경과년수는 약 53년 정도(1947년 준공)인 폐교량으로, 현재는 바로 옆에 신설교량이 건설되어 있으며 주변의 환경조건은 조수간만의 작용으로 직접 해수에 접해 있다.

### 3.2 교량의 외관 및 성능저하에 대한 현장조사

- (1) 외관 및 현장조사 : 교량의 주위환경 및 각 부위의 손상상태를 사진촬영 및 스케치 등의 방법으로 콘크리트의 균열 및 박리 정도를 조사하였다.
- (2) 코어공시체의 압축강도 : 콘크리트 코어의 압축강도 실험은 콘크리트 난간 및 연석, 교대 및 교각 중에서 채취가 가능한 부위를 대상으로 직경 7cm인 코어드릴을 이용하여 채취하였으며, 화학적 침식을 받은 부위를 중심으로 조사하였다. 조사대상 구조물의 성능저하 정도 및 화학적 침식 원인을 조사하기 위하여 실구조물로부터 콘크리트 코어 샘플을 채취하였다.
- (3) 중성화 깊이 조사 : 코어공시체를 할렬하여 1% 페놀프탈레인 알코올 용액을 이용하여 중성화 깊이를 측정하였다.

### 3.3 기기분석 방법

- (1) XRD 분석 : 분말법을 이용하여 채취한 시료를 대상으로 RINT D/max2500(Rigaku)을 이용하여 X선 회절분석을 실시하였으며 이 때, 측정조건은  $\text{CuK}\alpha$  (Ni filter) : 30kV, 20mA, Scanning Speed :  $2^\circ/\text{min}$ , Full Scale : 50,000cps,  $2\theta$  :  $5\sim 60^\circ$  로 하였다.
- (2) ESEM 및 EDS 분석 : 콘크리트 교량의 코어를 채취한 후 XL30ESEM(Philips)을 이용하여 시편을 2,000배 확대촬영 하였으며, EDS 분석은 EDAX Falcon Energy System 60SEM을 사용하여 측정하였다.

## 4. 조사대상 교량의 외관조사

그림 1과 같이 해수와 직접 접해 있는 콘크리트 교량의 교각은 콘크리트가 박리되어 있는 상태로써 균열이 없는 콘크리트 중의 철근의 경우도 이미 부식되어 있는 상태로 조사되었다. 특히, 비말대 부분은 염화물의 침투로 인한 철근부식으로 발생한 균열이 존재하며 일부 콘크리트의 탈락도 확인되었다. 한편, 간판대 부분의 콘크리트는 철근부식으로 인한 균열보다는 화학적 침식에 의한 콘크리트의 단면 손실이 큰 것으로 조사되었다. 교각의 경우 압축강도는  $155\text{kgf}/\text{cm}^2$  정도였으며 중성화 깊이는 약 1

2~23mm범위였다. 콘크리트 덮개는 난간의 경우 평균 2cm 이고 교대 및 교각의 경우는 3~8cm로 차이가 큰 것으로 나타났다.

### 5. 해수에 침식을 받은 콘크리트의 성능저하 평가

그림 2는 해수에 의하여 침식된 콘크리트 표면의 성능저하 상태를 나타낸 것이며, 각기 다른 종류의 성능저하 부위인 A 및 B부분의 XRD 분석결과를 각각 그림 3 및 4에 나타내었다. 이들 분석결과를 서로 비교해 보면 A부분은 주로 gypsum 피크가 나타나 해수중의 유해이온에 의하여 화학적침식을 받은 부위임을 알 수 있었으며, B부분은 콘크리트의 중성화반응에 의하여 나타나는 calcite 피크가 주로 검출되므로써 장기간 대기중 노출로 인하여 표면의 중성화가 상당히 이루어졌음을 확인할 수 있었다.

한편 본 연구의 조사대상인 콘크리트 교량에서 화학적 침식을 받은 부분에 대한 ESEM 촬영한 것이 그림 5이다. 이 그림에서 화학적 침식에 의한 반응생성물로 추정되는 부분을 EDS분석한 결과를 나타낸 것이 그림 6으로써 Mg이온의 피크가 뚜렷이 나타나 Mg(OH)<sub>2</sub>에 의한 성능저하 부위임을 추정할 수 있었다.

또한 그림 7과 같이 조사된 콘크리트 구조물의 침식 및 건전부위의 XRD 분석결과를 근거로 하여 침식 및 건전부위의 portlandite( $2\theta=34.06^\circ$ ) 및 gypsum( $2\theta=11.70^\circ$ )의 XRD peak intensity를 비교한 결과, 침식부위에서 portlandite 및 gypsum의 peak intensity가 건전부위의 경우보다 각각 약 0.86 및 5.9배 정도로 나타남을 알 수 있었다.

### 6. 결 론

장기간 해수에 노출된 콘크리트 교량의 침식에 대하여 고찰한 결과, 해수 중의 유해이온 침투로 인하여 콘크리트가 크게 침식되었음을 외관 및 기기분석에 의하여 확인할 수 있었다. 그러므로 해양환경하 특히 해수에 노출되는 부위에서는 콘크리트 구조물의 침식에 대한 대책도 마련해야 한다고 사료된다.

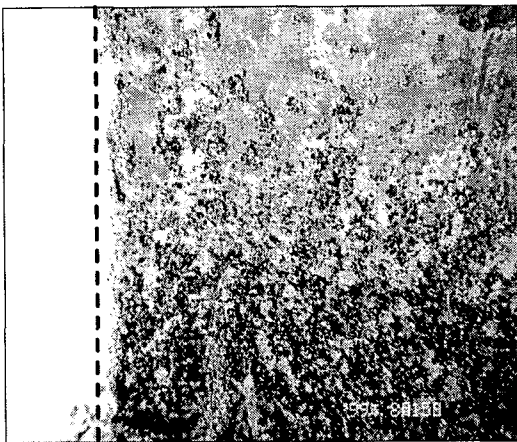


그림 1. 교각 하부의 침식상태  
( ---- : 교각의 본래 단면부위)

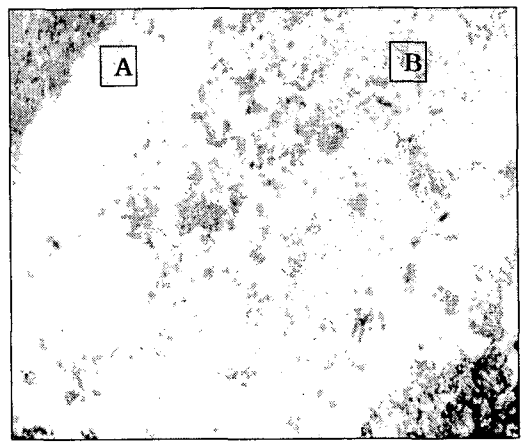


그림 2. 콘크리트 교각 표면의 성능저하 부위

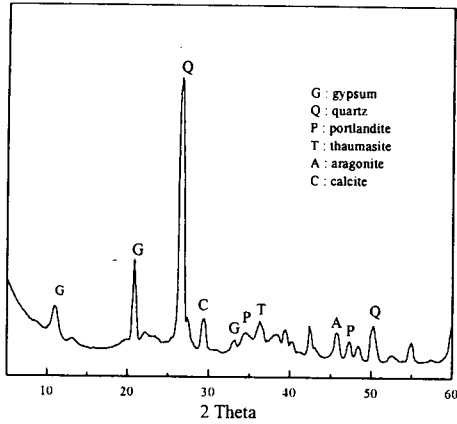


그림 3. A부분(그림 2)의 XRD 분석결과

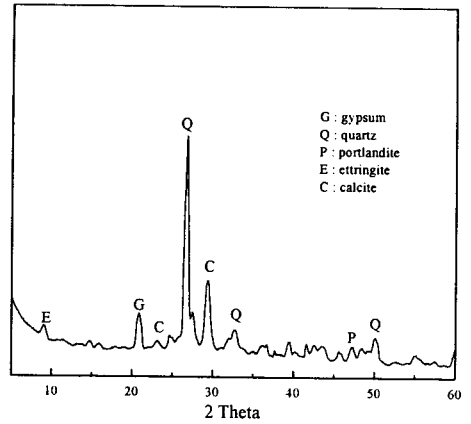


그림 4. B부분(그림 2)의 XRD 분석결과

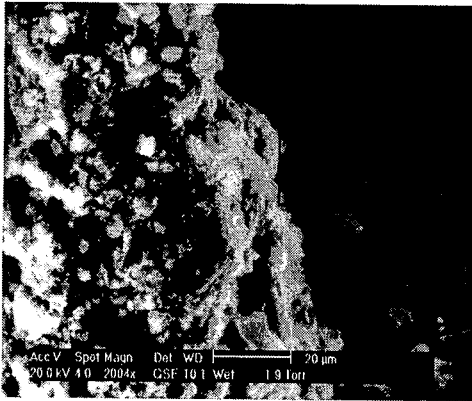


그림 5. 콘크리트 침식부위의 SEM image

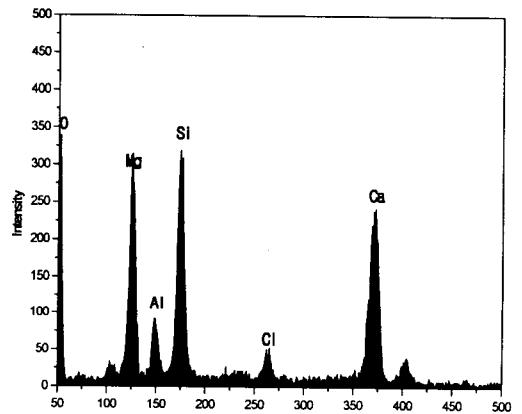


그림 6. A부분(그림 5)의 EDS 분석결과

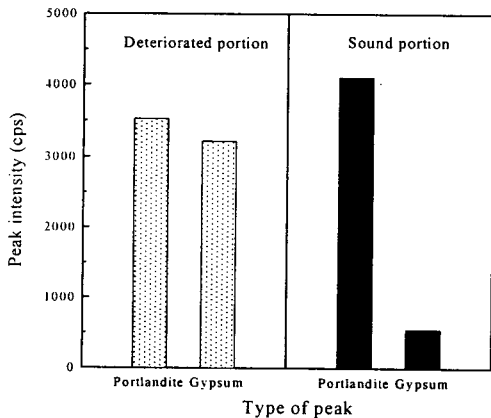


그림 7. 침식부위 및 건전부위의 수화생성물 및 반응생성물의 피크강도비

### 참 고 문 헌

1. Kalousek, G. L. and Benton, E. J., "Mechanism of Seawater Attack on Hydrated Cement Pastes" ACI Journal, 1975, pp. 187-192.
2. Giménez, S., García, S., Blanco, M. T. and Palomo, A., "The Behaviour of a Low Energy Cement in Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and Sea Water Media" Cement and Concrete Research, Vol. 22, 1992, pp. 793-803.