

해양환경 콘크리트 교각의 염소이온 침투해석

Analysis of chloride penetration in the marine concrete pier

김 기 현* 차 수 원** 장 승 업*** 박 병 선**** 장 승 필*****
Kim, Ki Hyun Cha, Soo Won Jang, Sung Yup Park, Byoung Sun Chang, Sung Pil

ABSTRACT

Corrosion of reinforcing steel is prohibited under normal condition by the alkalinity of the pore water in the concrete. But the probability of steel corrosion becomes higher when the chloride ions are introduced into the concrete. Steel corrosion is decisive factor for the determination of service life of the marine concrete structures because chloride ions are abundant in the sea. In this paper, chloride penetration analysis for the rectangular pier in the marine environment is performed considering the diffusion movement of chlorides. Result reveals that the chloride concentration in the corner bar is higher than that of in the side bar with rectangular pier. Also the time to the specified accumulation of chloride in the corner bar is much shorter than that in the side bar. Because the corrosion initiation time of corner bar is half as much as that of side bar, service life for the rectangular pier in marine environment should be determined with respect to the corner bar.

요 약

일반적으로 콘크리트의 공극수는 알칼리성이므로 철근의 부식이 방지된다. 그러나 염소이온이 침투하면 철근부식의 위험이 증가하게 된다. 특히 해양환경 콘크리트에서 염소이온의 공급이 활발하여 철근부식이 내구수명을 결정하는 중요한 인자가 되고 있다. 이 논문에서는 염소이온의 확산에 의한 이동을 고려하여, 해양환경에 노출된 사각형 콘크리트 교각에 대한 염소이온 침투해석을 수행하였다. 사각형 교각의 측면에 위치한 철근에 비하여 구석에 위치한 철근에 염소이온이 훨씬 빨리 축적됨을 확인하였다. 또 부식개시 임계농도에 도달하는데 걸리는 시간도 구석 철근의 위치가 측면 철근 보다 짧았다. 해석결과 임계 염소이온 농도에 걸리는 시간은 측면 철근에 비하여 절반 정도로 나타났으며, 따라서 사각형 교각의 염소이온에 대한 내구수명은 구석에 위치한 철근에 의해 결정되며 따라서 이차원 해석이 필요할 것으로 판단된다.

-
- * 정회원, 서울대학교 건설환경공학부 박사과정
 - ** 정회원, 울산대학교 건설환경공학부 교수
 - *** 정회원, 한국철도기술연구원 선임연구원
 - **** 정회원, 서울대학교 건설환경공학부 석사과정
 - ***** 정회원, 서울대학교 건설환경공학부 교수

1. 서론

콘크리트 내의 철근 표면에 부동태피막이 존재하므로 일반적인 상황에서는 철근부식이 억제된다. 그러나 콘크리트 내의 공극수에 염소이온이 일정량 이상 존재하면 철의 부동태피막이 파괴되거나 부동태화가 방해된다. 염소이온은 부동태 피막을 파괴하는 작용이 강력하며 콘크리트 중에 혼입될 수 있는 기회가 많으므로, 철근부식에 대하여 가장 유해한 이온이라 할 수 있다. 따라서 콘크리트 구조물의 내구수명을 예측하고 적절한 시기에 보수 및 보강을 수행하기 위해서는 염소이온의 침투를 정확히 평가해야 한다.

본 논문에서는 해양환경에 존재하는 사각형 콘크리트 교각에 대하여 다양한 염소이온 구속능에 대하여 염소이온 침투해석을 실시하여, 철근 위치에서 일정한 염소이온 농도에 도달하는 데 걸리는 시간을 계산하였다. 이번 논문에서는 확산만 고려했으며, 다음 논문에서 확산과 이송을 고려할 것이다.

2. 염소이온 침투해석

콘크리트에 존재하는 염소이온의 총량은 구속 염소이온과 자유 염소이온의 양으로 나타낼 수 있다.

$$C_t = C_b + w_e C_f$$

여기서, C_t , C_b 는 콘크리트 단위부피에 존재하는 총 염소이온량과 구속 염소이온량이며(kg/m^3_{conc}), C_f 는 공극수에 존재하는 염소이온의 농도(kg/m^3_{water}), w_e 는 콘크리트 단위부피에 존재하는 물의 부피이다(m^3_{water}/m^3_{conc}).

염소이온의 확산과 이송을 고려한 염소이온 전달의 지배방정식은 다음과 같다.

$$\left(w_e + \frac{\partial C_b}{\partial C_f}\right) \frac{\partial C_f}{\partial t} + C_f \frac{\partial w_e}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_c \frac{\partial C_f}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial x} (C_f J_m)$$

여기서, $\partial C_b / \partial C_f$ 는 콘크리트의 구속능, J_m 은 수분 유동율이다.

염소이온 확산계수의 온도, 습도, 재령 의존성을 고려하여 염소이온 침투해석을 수행하였다. 켈러킨 방법으로 지배방정식을 정식화하고 유한차분으로 시간적분을 수행하였다. 수분 및 염소이온 침투해석에서의 비선형성에 대해서는 연속대입법을 적용하였으며, 4절점 사각형 요소를 사용하여 유한요소 해석프로그램을 작성하였다.

3. 해양환경 사각형 콘크리트 교각의 염소이온 침투해석

3.1 대상구조물 및 재료물성

해양에 건설되는 교량에서 많은 교각이 사각형이며, 보통 교각의 코너에 철근이 위치하게 된다. 사이드 부위와는 달리 코너 부위 콘크리트는 2면으로부터 염소이온 침투를 받게 되므로, 사이드 보다 염소이온의 침투가 활발하며 2차원 해석을 필요로 한다.

해석대상 교각은 그림 1과 같이 $1m \times 1m$ 의 사각형 교각이며, 철근중심에서 피복까지의 거리가 $100mm$ 이고 주철근 중심 사이의 간격이 $100mm$, 철근직경은 $30mm$ 이다. 해석영역은 좌측과 하측에서부터 염소이온 침투가 일어나는 $500mm \times 500mm$ 영역으로 하였다.

코너바의 2차원 효과에 대한 평가를 위하여 온도는 섭씨 23 도로, 해양의 염소이온 농도는 $20kg/m^3$ 로 유지하고 해석을 실시하였다. 물시멘트비는 0.42 , 단위시멘트량은 $328kg/m^3$, 콘크리트 공극률은 6.15% , 초기 자유 염소이온 농도는 $0.1kg/m^3$, 수분 확산계수는 $8.64mm^2/day$, 28일 재령의 염소이온 확산계수는 $0.691mm^2/day$ 이다. 염소이온에 노출되기 시작할 때의 재령은 28일이며 확산계수의 재령에 따른 감소효

과를 고려하였다.

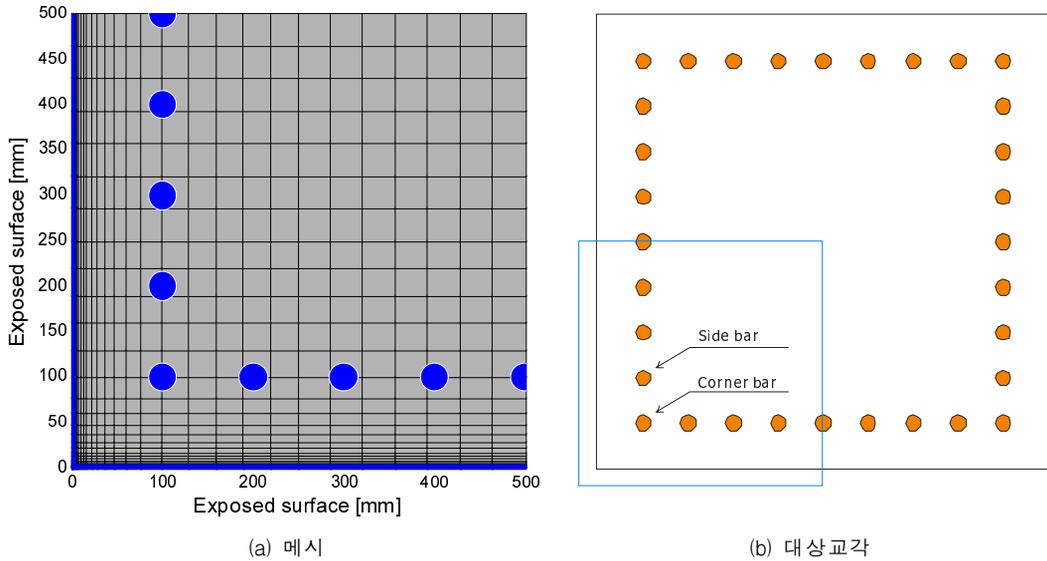


그림 1 교각제원

3.2 내구수명 기준

공극수의 자유 염소이온 농도의 분포에 대하여, 코너 바의 위치와 바로 인접한 사이드 바의 위치에 서 자유 염소이온 농도가 일정값에 도달하는 데 걸리는 시간을 비교하였다. 콘크리트 구조설계기준에 서는 염화물에 노출된 콘크리트에 대하여, 철근부식 방지를 위한 최대 수용성 염소이온의 비율을 시멘트 질량비 0.15%로 제한하고 있다¹⁾. 따라서 자유 염소이온 농도의 임계값은 다음의 값으로 계산된다.

$$C_{f,lim} = \frac{(328kg/m^3_{conc})(0.15 \times 0.01)}{0.0615m^3_{water}/m^3_{conc}} = 8kg/m^3_{water}$$

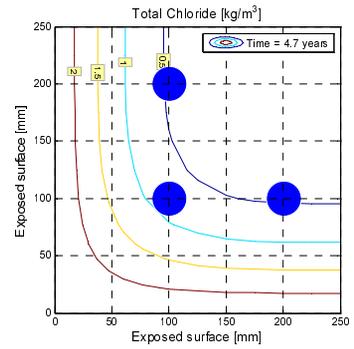
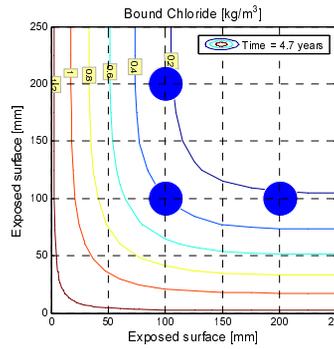
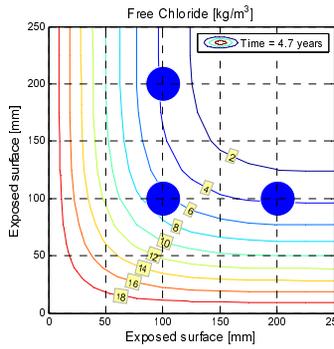
3.3 해석변수

콘크리트 내의 염소이온의 일부는 물리적 또는 화학적으로 구속되어 철근부식을 일으키지 않고, 공극수에 존재하는 자유 염소이온 만이 철근의 부식을 일으킨다. 따라서 콘크리트의 염소이온 구속능력이 부식개시시기 결정에 큰 영향을 준다. 일반적으로 구속 염소이온량은 자유 염소이온량의 함수로 표현하는데, 본 논문에서는 콘크리트 단위부피에 대한 구속 염소이온량(kg/m^3_{conc})과 콘크리트 단위 부피에 대한 자유 염소이온량(kg/m^3_{conc})의 비를 변화시키면서 부식개시시기를 계산하였다.

3.4 해석결과

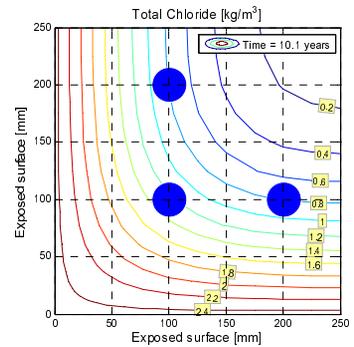
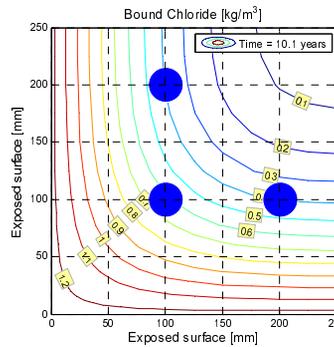
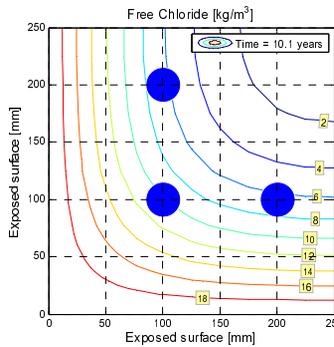
그림 2와 3은 변수 E에 대하여 코너 바와 사이드 바 위치에서 부식 임계농도에 이르게 되는 때의 염소이온 분포를 나타낸 것이다. 그림에 나타난 바와 같이 코너 바와 사이드 바의 부식개시시기가 크게 차이 나는 것을 알 수 있다.

표 1은 염소이온의 구속정도에 따라 부식개시시기를 나타낸 것이다. 염소이온 구속정도에 무관하게 코너 바의 부식개시시간은 사이드 바의 부식개시시간의 절반 정도로 계산되었다. 따라서 해양에 건설 되는 사각형 교각의 내구수명에 코너 바가 크게 영향을 미칠 것으로 판단된다.



(a) 자유 염소이온 농도 (kg/m^3_{water}) (b) 구속 염소이온량 (kg/m^3_{conc}) (c) 총 염소이온량 (kg/m^3_{conc})

그림 2 코너 바에 부식개시 될 때의 염소이온 분포 (변수 E)



(a) 자유 염소이온 농도 (kg/m^3_{water}) (b) 구속 염소이온량 (kg/m^3_{conc}) (c) 총 염소이온량 (kg/m^3_{conc})

그림 3 사이드 바에 부식개시 될 때의 염소이온 분포 (변수 E)

표 1 시멘트 종류별 물성

변수명	구속염분량 / 자유염분량 ($C_b/w_e C_f$)	부식개시시기 (year)		비율 (C.B./S.B.)
		Corner bar	Side bar	
A	0	1.8	3.7	0.49
B	1/4	2.5	5.1	0.49
C	2/4	3.2	6.6	0.48
D	3/4	3.8	8.4	0.45
E	4/4	4.7	10.1	0.47

4. 결론

코너 바의 부식개시시기가 사이드 바의 부식개시시기에 비하여 절반정도로 계산되었으며, 따라서 사각형 교각의 염소이온에 대한 내구수명은 코너 바에 의해 결정될 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2005년도 건설핵심기술연구개발사업 고성능·다가능 콘크리트 핵심 및 활용기술 연구과제의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. “콘크리트 구조설계기준 해설”, 사단법인 한국콘크리트학회, 2007