

콘크리트 구조물의 염화물이온 침투거동 해석

The Analysis of Chloride Ions Intrusion into Concrete Structure



김은겸*

Kim, Eun Kyum



신치범**

Shin, Chee Burm



이윤한***

Lee, Yun Han

ABSTRACT

Recently, premature reinforcement corrosion in concrete structures exposed to chloride containing environments has an important problem. This is due to an increasing use of marine aggregate of chloride containing admixture at the mixing stage and due to an increase of concrete construction in marine environments. In this study, the behavior of chloride ions introduced into concrete from concrete surface by a marine environment was modeled. The physicochemical processes including the diffusion of chloride ion in aqueous phase of pores, the adsorption and desorption of chloride ions to and from the surface of solid phase of concrete, and the chemical reaction of chloride ion with solid phase were analyzed by using the finite element method. The results of this study may be used to predict the onset of reinforcement corrosion, and identify the maximum limit of chloride ions contained in admixtures.

Keywords : corrosion, concrete structures, marine environment, diffusion, aqueous phase, solid phase, finite element method

* 정회원, 서울산업대학교 토목공학과 교수

** 정회원, 아주대학교 화학공학과 부교수

*** 정회원, 도화종합기술공사 전무

• 본 논문에 대한 토의를 1998년 2월 30일까지 학회로 보내주시면 1998년 4월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

1. 서론

합리적으로 설계되고 건전하게 시공된 콘크리트 구조물은 일반적인 환경하에서 긴 수명을 가지는 것으로 알려져 있다. 그러나 여러 가지 물리적 혹은 화학적 요인에 의하여 콘크리트 구조물의 수명은 단축될 수 있으며, 최근 이와 같은 현상에 의한 콘크리트 구조물의 급격한 열화는 사회적인 문제로 부각되고 있다.

최근에는 국제 교역 증대에 의한 항만건설의 확대 및 해안도로개설, 도서지방과의 교통연계를 위한 연육교 건설, 해안지역의 신공항 건설 등 염해의 영향을 직접적으로 받을 수 있는 수 많은 콘크리트 구조물이 빈번히 건설되고 있다. 이와 같은 콘크리트 구조물은 직접적인 염해 환경에 놓이게 되며, 또한 하천사의 고갈로 인한 해사의 사용으로 염해에 의한 콘크리트 구조물의 열화 현상은 증가될 전망이다. 철근발청에 의한 콘크리트의 열화는 구조물의 안전을 위협함은 물론, 유지관리 및 보수·보강에도 막대한 경제적 손실을 가져오게 된다.

영국에서는 1974~1978년까지 5년간의 조사 결과, 8개소의 콘크리트 구조물 붕괴의 직접적인 원인은 철근과 PC강선의 부식 때문인 것으로 밝히고 있다. 이들 구조물은 건설 후 2년 뒤 붕괴된 건물 1개소를 제외한 나머지는 12~40년 정도 사용 후에 붕괴된 것이다¹⁾.

국내의 경우, 철근부식에 따른 콘크리트 구조물의 붕괴에 대한 보고는 없지만 많은 구조물이 부식으로 인해 피해를 받고 있으며, 콘크리트 구조물의 내구성 저하에 대한 우려가 크게 일고 있다

일반적으로 콘크리트에는 시멘트 수화물에 고정되는 고정염과 공극속의 수용액상에 용해되어 있는 가용성염이 있다. 철근발청에 직접적인 영향을 주는 것은 가용성염분이며, 이 값이 콘크리트 1m³당 1.2kg 정도를 초과하면 철근발청이 시작된다고 알려져 있다²⁾. 염분은 확산에 의해 이동하며, 시멘트 수화물 또는 미수화물과의 화학반응에 의해 흡착 및 탈착현상이 반복된다^{3,4,9,10)}. 그러므로 염분의 콘크리트 내에서의 거동은 매우 복잡하며, 가용성염분의 정량적인 평가는 단순하지 않다. 그러나, 콘크리트 구조물의 열화현상 및 그 대책을 수립하기 위하여는 가용성염분의 정량적인 평가가 필요하다.

본 연구는 콘크리트 구조물의 염분침투현상, 특히 가용성염분의 거동을 명확히 하는 것이 철근발청현상을 정량화하는 데 중요한 사안임을 직시하고, 콘크리트 내에서의 염화불이온의 거동을 파악할 수 있는 이론적 해석기법을 개발하는 데 역점을 두었다¹¹⁾. 콘크리트 제조 당시부터 모래나 혼화제 등으로부터 유입되는 혼입염분 및 외부로부터 침투하여 들어오는 침입염분에 대한 콘크리트 내부에서의 염분이동현상, 즉 가용성염분 및 전염분의 거동을 추적할 수 있는 수학적 모델을 제시하였다. 또한, 본 해석결과는 장기간 해안환경의 영향을 직접 받고 있는 콘크리트 구조물의 정밀진단 분석결과와 비교·검토를 실시함으로써 콘크리트 내부에서의 염화불이온의 거동에 대한 본 해석모델의 타당성을 입증한 것이다.

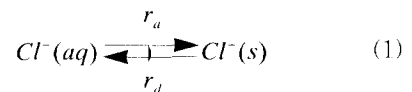
2 지배방정식

2.1 흡착 및 탈착반응식

콘크리트 속으로 침입하거나 혼입되는 염화불이온의 일부는 C-S-H와 경화된 시멘트 페이스트에 의해 흡착되는 반면, 일부는 콘크리트의 세공용액 속에 수용액상으로 존재하게 된다. 흡착된 염화불이온의 일부는 시멘트 페이스트의 C₃A, C₄AF 등과 반응하여 Friedel염을 생성하며, 나머지는 시멘트 경화체에 고정되어 고정염을 형성한다. 또 이 고정염(Cl(s))의 일부는 탈착되어 세공용액에 용해됨으로서 수용액상의 염화불이온으로 된다^{12,13)}.

따라서, 결국 흡착되는 염화불이온이 포화상태에 이르게 되면 이 염화불이온량은 탈착되는 염화불이온량과 같아지게 되어 이들의 물리·화학적 반응은 평형상태에 도달하게 된다.

이와 같은 흡착 및 탈착 과정에 있어서 수용액상의 염화불이온 Cl(aq)이 고체상으로 흡착되는 속도를 r_a 라 하고, 고정염 Cl(s)이 액체상으로 탈착되는 속도를 r_d 라 하면 이들의 가역반응식은



로 표현할 수 있다. 또한, Cl(aq)의 흡착 속도 r_a 는 Langmuir의 흡착이론¹⁴⁾에 의해

$$r_d = k_d \varepsilon f [Cl^-(aq)] ([Cl^-(s)]_{sat} - [Cl^-(s)]) \quad (2)$$

이며, 탈착되는 속도 r_d

$$r_d = k_d [Cl^-(s)] \quad (3)$$

이다. 그러므로, 염화물이온이 고체상에 순수하게 고정되는 속도는 수용액상의 염화물이온(이하 가용성 염분이라 함)의 흡착 및 고정 속도와 고체상의 염화물이온(이하 고정염이라 함)이 탈착되는 속도와와의 차이므로

$$r = r_a - r_d = k_a \varepsilon f [Cl^-(aq)] ([Cl^-(s)]_{sat} - [Cl^-(s)]) - \frac{k_d}{K_{eq}} [Cl^-(s)] \quad (4)$$

와 같이 된다.

2.2 확산방정식

콘크리트의 세공용액 속에 용해되어 있는 가용성 염분은 농도차에 의하여 콘크리트 내부로 이동하며, 이들의 이동 현상은 Fick의 확산 제2법칙에 의해 다음과 같이 표현할 수 있다¹⁾.

$$\frac{\partial \varepsilon f [Cl^-(aq)]}{\partial t} = \nabla^2 (D_{e,Cl} [Cl^-(aq)]) \quad (5)$$

콘크리트 내부에서의 가용성염분 $Cl^-(aq)$ 의 유효 확산계수 $D_{e,Cl}$ 은 콘크리트의 공극율 ε , 공극속에서의 공극수의 분포와 포화정도를 나타내는 파라미터 f 에 따라 달라지며, 또, 공극속의 물의 분포상태와 그 양은 외부 습도에 따라 변화한다^{2),3)}.

이와 같이 공극수 중의 염화물이온의 확산과정은 동일 콘크리트에서의 확산계수의 변화, 공극 및 공극수의 포화정도의 차이 등 여러 가지 요인에 의해 지배되지만, 이들 요인을 모두 고려하여 콘크리트 내부에서의 염화물이온의 거동을 추정한다는 것은 현실적으로는 거의 불가능하다. 따라서 본 해석에서는 공극율, 공극수의 분포, 확산계수 등은 일정하다고 가정하였다.

2.3 물질수지 방정식

확산방정식과 흡착 및 탈착을 고려한 가용성염 $Cl^-(aq)$ 와 고정염 $Cl^-(s)$ 에 대한 물질수지 방정식은 식 (4) 및 식 (5)로부터 다음과 같은 미분방정식으로 표

현할 수 있다⁴⁾.

$$\frac{d[\varepsilon f Cl^-(aq)]}{dt} = \nabla^2 (D_{e,Cl} [Cl^-(aq)]) - r \quad (6)$$

$$\frac{d[Cl^-(s)]}{dt} = r \quad (7)$$

3. 수치해석

3.1 해석대상모델

해석대상모델은 사용기간이 30년 경과한 해안환경 하에 노출되어 있는 교량으로서 상부는 RC슬래브와 PC보로 구성되어 있으며, 하부 교각은 RC 코핑부 (Support Beam이라 칭함) 및 RC Pile로 구성되어 있다. 해석부위의 모델로서는 Fig.1에 나타낸 바와 같이 슬래브, Support Beam 및 RC Pile을 선정하였으며, 철근의 덮개는 콘크리트 표면으로부터 각각 3cm, 6cm, 2.5cm이다.

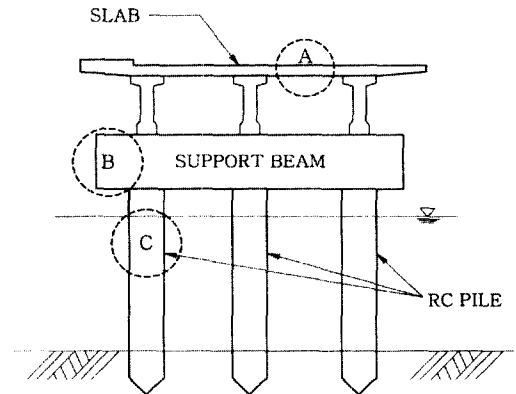


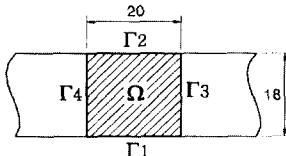
Fig. 1 Section of the maritime structure used for analysis

3.2 경계조건 및 초기조건

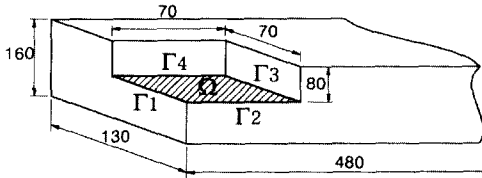
본 연구에서는 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 3개 부재에 대하여 A, B, C부위에 대해 염화물이온 침투해석을 실시하였으며, 이 때의 경계조건은 Fig. 2 및 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$[Cl^-(aq)] = [Cl^-(aq)]_1 \quad \text{at } \Gamma_1 \quad (8)$$

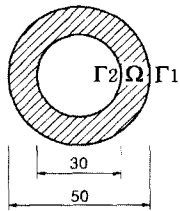
$$[Cl^-(aq)] = [Cl^-(aq)]_2 \quad \text{at } \Gamma_2 \quad (9)$$



(a) SLAB



(b) SUPPORT BEAM



(b) SUPPORT BEAM

Fig. 2 Boundary condition of members

$$\frac{d[Cl^-(aq)]}{dn} = 0 \quad \text{at } \Gamma_3, \Gamma_4 \quad (10)$$

$$\frac{d[Cl^-(s)]}{\partial t_n} = 0 \quad \text{at } \Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3, \Gamma_4 \quad (11)$$

여기서, 경계조건 (8), (9)는 염화물이온농도의 값이
에서 각각 Γ_1 과 Γ_2 에서 각각 $[Cl^-(a)]_i$ 과 $[Cl^-(a)]_b$
의 값으로서 일정하다는 것을 나타내며, 이들 값은 구
조물이 위치한 외부환경에 의하여 결정된다. 경계조
건 (10)은 Γ_3, Γ_4 를 통과하는 염화물이온의 이동이
없음을 의미하고, (11)은 $\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3, \Gamma_4$ 에 고정되는
염화물이온이 없음을 의미한다. Table 1은 본 해석에
사용된 가용성염분의 경계조건 값¹⁴⁾을 나타낸 것이다.
이 때, 콘크리트 표면의 염화물이온량에 해당되는 경
계조건 Γ_1 과 Γ_2 는 구조물이 건설된 후 몇 년 동안은
증가하여 어느 시기에 이르면 안정한 상태가 된다고
예상할 수 있다. 항만구조물의 경우, 콘크리트 표면의
염화물이온농도는 비교적 단기간에 안정된다고 생각
되기 때문에 여기서는 건설 당초부터 콘크리트 표면
의 염화물이온량은 일정하다고 가정하여 해석을 실시
하였다.

한편, 해석에 사용된 초기조건은

$$[Cl^-(aq)] = [Cl^-(aq)]_{in} \quad \text{at } t = 0 \quad (12)$$

$$[Cl^-(s)] = [Cl^-(s)]_{in} \quad \text{at } t = 0 \quad (13)$$

와 같다. 여기서, $[Cl^-(aq)]_{in}$ 과 $[Cl^-(s)]_{in}$ 은 콘크리
트 제조 당시 콘크리트에 함유된 수용액상과 고체상
의 염화물이온농도를 각각 나타낸 것이다.

Table 1 Boundary conditions

Members	Boundary value (wt% in concrete)		
	Γ_1	Γ_2	
SLAB	0.23	0.16	
SUPPORT BEAM	0.25	0.20	
RC PILE	Splash zone	0.42	0.18
	Under seawater	1.25	0.38

3.3 해석 파라미터

해석에 사용된 파라미터는 Table 2와 같으며, 이
들 값은 실험에 의해 구한 것과 참고문헌^{4), 7), 9)}에서 제
시하고 있는 값을 사용하였다. 이 표로부터 ϵ 은 콘크
리트 세공량의 비율로서 수은압입법에 의해 구한 세
공경분포로부터 얻은 값이며, f_c 는 콘크리트의 함수상
태를 고려하여 정한 함수율로서 해상에 있는 슬래브
및 Support Beam은 70%, RC Pile의 경우는
100%를 취하였다. 또한, k_m 및 $[Cl^-(s)]_{sat}$ 는 수용액
상의 염화물이온이 콘크리트 매트릭스에 고정될 수
있는 흡착상수 및 고정염의 한계값을 의미한다. k_m 는
흡착평형상수로서 Sidney Diamond가 제시하고 있
는 값¹⁾을 참고로 하여 0.0164를 사용하였으며, 또한
콘크리트에 대한 염화물이온의 확산계수값은 수치해
석을 통해 구한 값을 사용하였고, 확산실험에 의하여
그 값의 타당성을 확인하였다.

Table 2 Parameter used in calculations

Members	ϵ	f	D, Cl $(\times 10^{-10} m^2/s)$	K $(\times 10^{-10} m^3/m^2 s)$	$[Cl^-(s)]_{sat}$ (mol/m ³)	K_m $(\times 10^{-10} m^3/mol)$	
RC SLAB	0.2	0.7	2.85	1.0	214	1.64	
SUPPORT BEAM	0.2	0.7	1.90	1.0	180	1.64	
RC PILE	Splash zone	0.1	1	0.16	1.0	150	1.64
	Under Seawater	0.1	1	0.16	1.0	170	1.64

4. 해석결과 및 고찰

4.1 해석모델의 검증

본 해석모델의 합리성을 검증하기 위해 Fig. 2에 나타낸 각 부재의 해석대상 위치에 대하여 ASTM C114 및 ASTM C 1218의 규준에 의거하여 전염분 및 가용성염분의 정량분석을 실시하였다. Fig. 3은 RC Pile의 비말대에서의 실험 및 해석에 의한 염화물이온 농도분포를 나타낸 것이다. 전염분의 농도는 전반적으로 해석치와 실험치가 서로 잘 일치하고 있는 반면, 가용성염분의 농도는 다소 큰 차이를 보이고 있다. 일반적으로 가용성염분은 Friedel염의 불안정, 측정용 시료의 채취·조사·저장시의 취급, 온도 및 시간 등과 같은 추출조건에 영향을 받는다. 그러므로, 어떤 조건하에서 측정된 가용성염분은 반드시 콘크리트 세공용액 중의 염화물이온량을 정확하

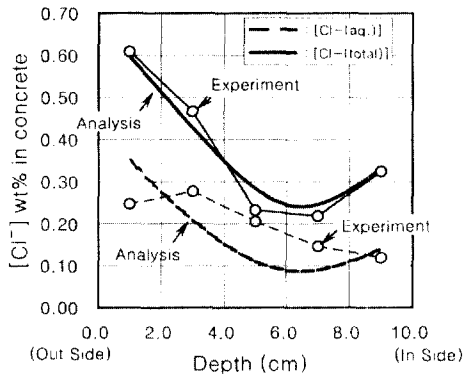


Fig. 3 Variation of chloride ion concentration of RC PILE in the splash zone

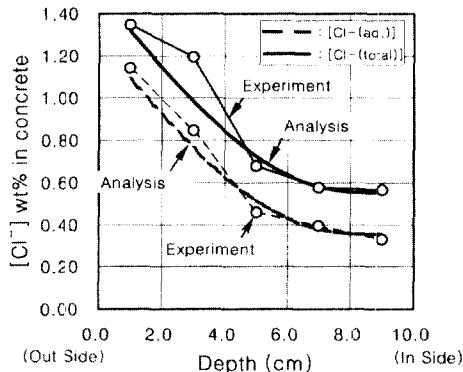


Fig. 4 Variation of chloride ion concentration of RC PILE under seawater

게 나타낼 수 없다¹²⁾는 점을 감안하면 이와 같은 오차는 발생할 수 있는 것으로 생각된다. 그러나 이 문제에 대하여는 향후 많은 실험결과를 참고로 하여 확인해 나가야 할 문제로 생각된다.

Fig.4는 해수중에 있는 RC Pile의 실험 및 해석에 의한 염화물이온의 농도분포를 나타낸 것이다. 전염분이나 가용성염분 모두에서 해석치와 실험치는 서로 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 5는 Support Beam의 염화물이온의 농도분포에 대한 실험과 해석결과를 나타낸 것이다. 콘크리트 표면부근의 염화물이온 농도는 실험치가 해석치에 비하여 매우 작게 나타났으나, 콘크리트 내부에서는 이들 값이 서로 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 小林 등의 연구^{11),12)}에 의하면, 시멘트 수화물에 고정되어 있는 Friedel염은 탄산화에 의하여 염화물이온이 유리되며, 이들이 콘크리트 내부로 이동하여 비탄산화영역에서의 염화물이온이 2.5배 정도 농축된다고 보고하고 있다. 본 해석대상 부재의 경우에 있어

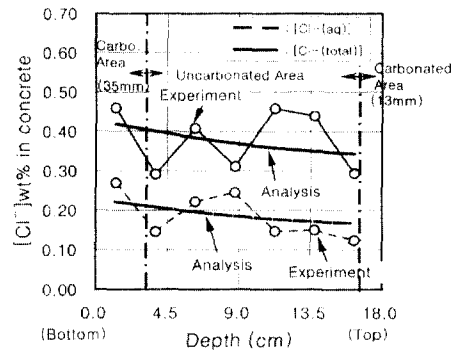


Fig. 5 Variation of chloride ion concentration of SUPPORT BEAM

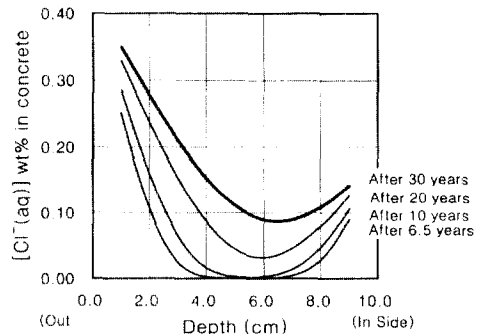


Fig. 6 Variation of chloride ion concentration of SLAB

서도 콘크리트의 탄산화가 20mm 정도 진행되어 있으며, 또 그 영역에서 염화물이온이 매우 적게 분석된 것을 고려할 때, 小林 등이 지적한 비탄산화영역으로의 염화물이온의 이동 및 농축이 발생된 결과로 생각된다.

Fig. 6은 슬래브의 염화물이온의 농도분포에 대한 실험과 해석결과를 나타낸 것이다. 이 그림으로부터 실험에 의한 염화물이온의 농도분포가 불규칙적인 현상을 나타내고 있으나 개괄적으로는 해석치와 일치하는 경향을 보이고 있다. 이 부재의 경우는 탄산화현상에 의한 염화물이온의 이동현상은 나타나지 않고 있으며, 오히려 표면부근의 염화물이온량이 더 큰 값을 보이고 있다. 이와 같은 현상은 염분의 정량분석시 골재의 혼입 등에 의한 오차, 콘크리트 제조시 잔골재 대신 해사의 사용 등에 기인한다고 하는 보고¹³⁾ 등과 아울러 다각적인 실험적 검토가 요망된다.

이상에서 검토한 해석과 실험결과와의 관계로부터 파악된 바와 같이, 본 해석 모델은 콘크리트 표면부의 탄산화영향에 의한 염화물이동현상까지를 포괄하고 있지는 못하지만, 본 해석대상 구조물이 30년을 경과하였고, 또 염화물이온 정량실험시 골재 등의 영향이 크게 작용하고 있다는 점 등을 감안한다면, 본 연구에서 제안하고 있는 해석방법은 콘크리트 내부에서의 염화물이동현상을 파악하는데 유용한 수단이 될 수 있을 것으로 판단된다.

4.2 염화물이온의 이동현상과 철근발청시기의 평가

(1) RC Pile

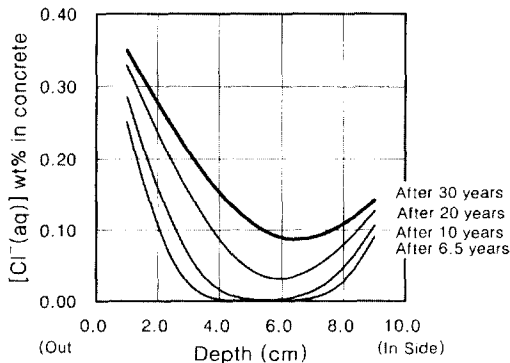


Fig. 7 Variation of chloride ion concentration in aqueous phase of RC PILE in the splash zone

지금까지 검토해 본 결과로부터 본 해석모델은 콘크리트에서의 염화물이온에 대한 거동을 파악하는데 유용한 방법임이 증명되었는 바, 본 구조물에 대하여 염화물이온의 시간적인 이동 현상, 철근의 발청시기의 판단 등에 대해 고찰해 보기로 한다.

Fig. 7 및 Fig. 8은 RC Pile에 대한 재령에 따른 염화물이온 이동현상에 대한 해석결과를 나타낸 것이다. 이들 그림으로부터 재령 초기에는 염화물이온 농도분포는 곡선으로서 표면부의 농도경사가 매우 급하게 나타나고 있으나, 재령의 증가와 함께 점점 농도경사가 완만해지면서 직선적으로 되어가는 것을 알 수 있다. 이는 농도경사에 의하여 염분의 농도가 높은 쪽에서 낮은 쪽으로 확산되면서 재령의 증가와 더불어 화학적평형을 이루려고 하기 때문인 것으로 생각된다.

시간이 경과하여 이들 반응이 정상상태에 도달하게 되면 염화물이온 농도분포곡선은 일정한 기울기를 가진 직선이 되며 농도변화는 더 이상 발생되지 않게 된다. 이것은 확산작용이 멈춘 것이 아니라 확산은 계속적으로 이루어 지지만 염분이 콘크리트 속으로 침입하는 속도와 외부로 용출되는 속도가 서로 같아지기 때문으로 실제적으로는 확산에 의한 물질 이동은 계속되고 있음을 알 수 있다.

철근의 부식에 관여하는 염화물이온은 콘크리트의 세공용액 중에 용해되어 있는 염화물이온인 가용성 염분이며, 시멘트의 수화물에 의하여 고정된 염화물 이온인 고정염은 부식에 직접 관여하지 않는다. 일반적으로 철근발청을 일으키는 가용성염분의 한계치는 콘크리트 중량의 0.05% 정도로 알려져 있으며, 이를

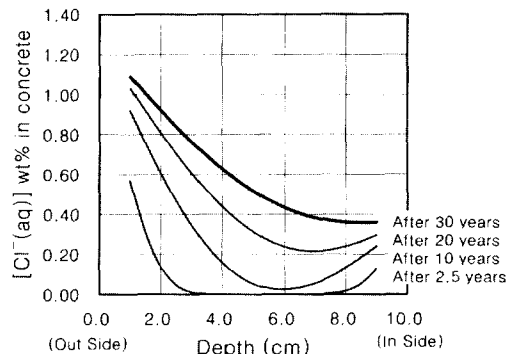


Fig. 8 Variation of chloride ion concentration in aqueous phase of RC PILE under seawater

콘크리트 1m³에 대하여 환산하면 1.2kg 정도가 된다¹¹⁾.

Fig. 7 및 Fig. 8의 RC Pile의 경우 콘크리트 덮개가 2.5cm로 조사되었으므로 철근의 발청시점은 비말대의 경우 약 6.5년, 수중의 경우에는 약 2.5년으로 평가되어 상당히 빠른 시기에 철근발청이 시작되었음을 알 수 있다. 또한, 이 RC Pile의 경우 30년까지 철근 발청을 방지하기 위하여는 Pile 두께 10cm로서는 불가능하다는 사실을 알 수 있으며, 콘크리트 덮개가 4cm 정도라면 비말대의 경우는 15년, 해수중의 경우는 5년 정도에서 철근의 발청이 시작될 것이라는 사실을 예측할 수 있다.

(2) Support Beam 및 슬래브

Fig. 9는 Support Beam에 대하여 재령에 따른 염화물이온의 농도변화를 해석한 것이다. 이 부재의 콘크리트 덮개는 6cm로서 철근의 발청시점은 약 7.5년으로 해석되었으며, 그 덮개를 10cm로 하였을 경우에는 9년 정도에서 철근의 발청이 시작됨을 알 수 있다.

Fig. 10은 슬래브에 대하여 재령에 따른 염화물이온의 농도변화를 해석한 것이다. 이 그림으로부터 슬래브 하면의 경우 콘크리트 덮개가 3cm이므로 철근의 발청시점은 1년 정도임을 알 수 있으며, 덮개를 5cm로 하였을 경우에는 5년 정도에서 발청이 시작됨을 알 수 있다.

본 구조물은 해안환경의 영향을 받은지가 30년이 경과하여 이미 다량의 염화물이온이 콘크리트 내부에 축적되어 있음을 예상할 수 있으며, 또한 해석에

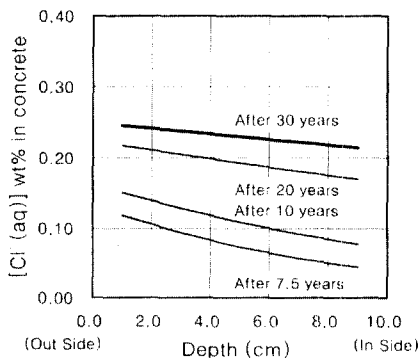


Fig. 9 Variation of chloride ion concentration in aqueous phase of Support Beam

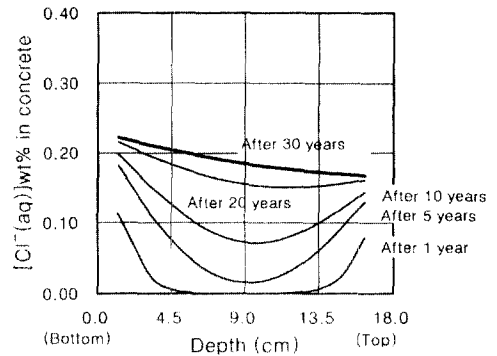


Fig. 10 Variation of chloride ion concentration in aqueous phase of SLAB

서도 동일한 결과를 얻었다.

특히, Support Beam의 경우 덮개 6cm에는 가용성염분량이 허용치의 약 5배, 슬래브의 경우는 약 4배 정도 축적됨으로서 철근의 발청에 큰 영향을 미치고 있음을 예측할 수 있다.

그러나, 철근의 발청은 산소의 공급에 큰 영향을 받으므로 철근의 발청정도에 대하여는 본 연구에서는 논외로 한다.

5. 결론

본 연구는 콘크리트 구조물의 염화물이온의 확산과 화학반응을 물질이동 및 확산식을 기초로 모델화해서 유한요소법을 사용하여 해석을 실시한 것이다. 또한 해석결과의 합리성을 입증하기 위하여 해안환경하에서 30년 경과한 콘크리트 구조물의 염화물이온 분석결과와도 비교·검토를 실시하였다. 본 연구에서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 본 연구에서 제안하고 있는 해석방법은 콘크리트의 탄산화에 의한 염화물이온의 이동현상 등이 일어나는 콘크리트 표면부근을 제외하고는 전반적으로 해석치와 실험치가 거의 일치하는 경향을 나타내었다.

2. 재령 초기에는 염화물이온의 농도분포는 곡선으로서 표면부의 농도경사가 매우 급하게 나타나고 있으나, 재령의 증가와 함께 점점 완만해지면서 직선에 가까워져 물질이동에 의한 화학적평형을 나타내고 있음을 알 수 있었다.

3. 가용성염분의 철근발청한계를 콘크리트중량의

0.05%로 하면, 철근의 발청개시시기는 콘크리트 덮개가 2.5cm인 RC PILE의 경우 비말대에서는 6.5년, 해수중에서는 2.5년 정도로 평가되었으며, 덮개가 6cm인 SUPPORT BEAM 및 덮개가 3cm인 슬래브에서는 각각 약 7.5년 및 1년 정도로 평가되었다.

4. 따라서, 사용년수 30년이 경과한 본 콘크리트 구조물의 경우, 모든 철근에서 발청이 시작되었음을 알 수 있으며, 그 시기도 상당히 경과되었음을 알 수 있다. 그러나 철근의 발청정도는 산소 등의 공급과도 밀접한 관계가 있는 만큼 그에 대한 해석에 관해서는 향후의 연구과제로 한다.

5. 이상의 결과로부터 본 연구에서 제시하고 있는 해석모델은 콘크리트 내부의 철근 발청시기의 예측, 해안환경하에 있는 콘크리트 구조물의 침투염분에 의한 콘크리트 덮개의 결정, 콘크리트 구조물의 염화물이온의 허용치 설정을 비롯하여 내구년수를 예측하는 데 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

1. 여경윤, 김은겸, 신치범, 조원일, "콘크리트에 대한 염화물 이온 침투예측 모델", 한국콘크리트학회 봄학술발표논문집, 1997. 5, p.p.149~154.
2. 여경윤, 김은겸, 신치범, 조원일, "콘크리트 구조물의 염분 침투해석", 한국콘크리트학회 가을학술발표논문집, 1997. 11, p.p.269~274.
3. E.K.Kim, K.Y.Yeou, C.B.Shin, W.I.Cho, "Finite Element Analysis of Chloride Ion Intrusion into Concrete Structure", ICCCBE-VII, Vol.2, 1997. 8, p.p.981~986.
4. S.Diamond, "Chloride Concentrations in Concrete Pore Solutions Resulting from Calcium and Sodium Chloride Admixtures", Cement, Concrete and Aggregate, Vol.8, No.2, winter 1986, pp.97~102.
5. K.Byfors, C.M.Hanson, J.Tritthart, "Pore Solution Expression as a Method to Determine the Influence of Mineral Additives on Chloride Binding", Cement and Concrete Research, Vol.16, 1986, pp.760~770.
6. J.Tritthart, "Chloride Binding in Cement", Cement and Concrete Research, Vol.19, 1989 pp.586~594.
7. V.G.Papadakis, C.G.Vayenas, M.N.Fardis, "Physical and Chemical Characteristics Affecting the Durability of Concrete", ACI Materials Journal, March-April, 1991.
8. P.K.Mehta and P.J.M.Monteiro, "CONCRETE : Structure, Properties, and Materials", 2nd ed., Prentice-Hall, 1993.
9. V.G.Papadakis, M.N.Fardis and C.G.Vayenas, "Physicochemical Process and Mathematical Modeling of Concrete Chlorination", Chem. Eng. Sci., Vol.51, No.4, 1996, pp.505~513.
10. 染谷健司, 大郎信明, Tiong-Huan Wee, 長龍重義, "セメント硬化 中における鹽素イオンの固定化性狀", 日本コンクリート工學年次論文報告集, Vol.11, No.1, 1989, p.p.603~608.
11. 小林一輔, 白木亮司, 河合研至, "炭酸化によつて引き起こされるコンクリート中の鹽化物, 硫黄化合物及びアルカリ化合物の移動と濃縮", 日本コンクリート工學論文集, Vol.1, No.2, 1990, pp.69~82.
12. 小林一輔, 小林豊治, 米澤敏男, 出頭圭三, "鐵筋腐食の診斷", コンクリート構造物の耐久性シリーズ3, 三北出版, 1993
13. 岸谷孝一, 野紀元, "海砂を用いたコンクリートの鹽分の移動" 日本コンクリート工學年次講演會講演論文集, Vol.2, 1980, pp.1~4.
14. 守分敦郎, 長龍重義, 大郎信明, 三浦成夫, "既設コンクリート構造物の鹽化物イオンの擴散過程より評價される表面處理工法の適用性", 日本土木學會論文集, No.520/V-28, 1995, pp.111~122.

요 약

최근 해안환경하에 있는 콘크리트 구조물의 철근부식은 구조물의 내구성저하 및 유지관리라는 차원에서 커다란 문제점을 가지고 있다. 이와 같은 현상은 해양구조물의 건설이 날로 증가하고 있고, 또 콘크리트

제도시 잔골재의 일부를 염분이 함유된 해사를 사용함으로써 더욱 심각해지고 있다.

본 연구에서는 콘크리트 표면으로부터 침투해 들어오는 침투염분의 거동을 모델화하였으며, 콘크리트 세공속의 수용액상에 있는 염화물이온의 확산을 포함하는 물리 화학적 진행, 시멘트 수화물에 고정되는 염분의 흡착과 탈착 및 고정염과의 화학반응 등의 현상을 유한요소법에 의해 해석을 실시하였다.

본 연구의 결과는 콘크리트 내부의 철근 방청시기의 예측, 해안환경하에 있는 콘크리트 구조물의 침투 염분에 의한 콘크리트 덮개의 결정, 콘크리트 구조물의 염화물이온의 허용치 설정을 비롯하여 내구년수를 예측하는 데 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

(접수일 : 1997. 11.10)