

시멘트硬化體中에서의 海水成分의 擴散

崔相紘 · 閔庚昭

〈漢陽大學校 教授〉

1. 머리말

시멘트 경화체중에서의 이온의 확산현상은 시멘트의 수화, 콘크리트의 내구성, 중금속이나 방사선폐기물의 콘크리트 처리 등 여러면에서 중요하다. 특히 바닷물 성분의 확산은 해양구조물의 내구성에 많은 영향을 미친다."

바닷물에는 많은 염류가 녹아있다. 바닷물 1 kg 에 함유되어 있는 염류는 약 35 g 으로 주요 성분으로는 Cl^- , Na^+ , Mg^{++} , SO_4^{--} , Ca^{++} , K^+ 등이다. 바닷물의 화학작용에 의한 콘크리트의 열화작용으로는 시멘트 수화물의 용출, 바닷물 성분과 시멘트 수화물과의 반응 및 콘크리트의 철근 부식 등을 들 수 있다.

수화생성물의 하나인 수산화칼슘은 바닷물에 대하여 가용성으로 콘크리트의 모세공극을 통하여 바닷물에 용출되며, Cl^- 은 콘크리트 중의 철근을 녹슬게 하는 원인이 되고, 또 SO_4^{--} 는 콘크리트를 팽창 파괴하는 원인이 된다.

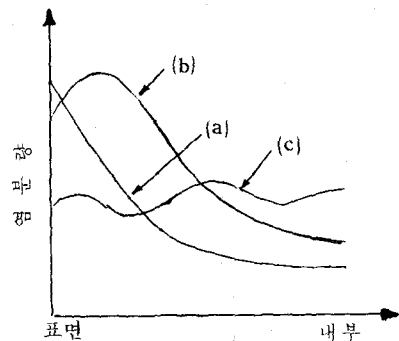
따라서 시멘트 경화체중에서의 바닷물 성분의 확산현상에 대한 연구는 해양개발 등 시멘트·콘크리트의 활용면에서 볼 때 중요하다. 여기서는 우선 시멘트 경화체중에서의 확산속도가 빠른 Cl^- 의 확산에 대하여 검토한다.

2. 시멘트 경화체에서의 염분의 분포

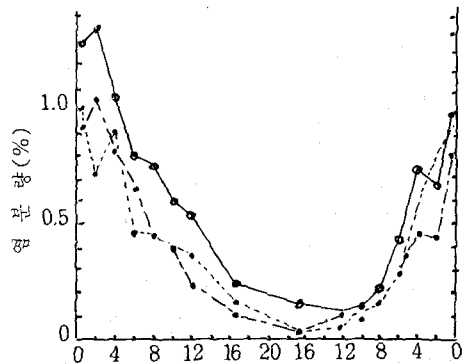
해양구조물 또는 해변가의 콘크리트 중의 염분 분포 상태를 보면 그림 1 과 같이 콘크리트 표면 가까이에서 집중되고 있는 (a)형, 경우에 따라서

는 (b)형과 같이 아주 표면이 조금 적은 경우, 또는 (c)형과 같이 불규칙한 경우 등 환경조건에 따라 다른데²⁾, 실례를 들면 그림 2 와 같다.

또 철근 부식을 일으키는 위험수준의 염분량을 0.03 이라 볼 때 콘크리트의 표면층의 염분량이 이 값보다 큰 지역은 대체로 바닷가에서 200~250 m 이내이나³⁾ 섬과 같은 일부지역에



〈그림-1〉 콘크리트 중의 염분분포

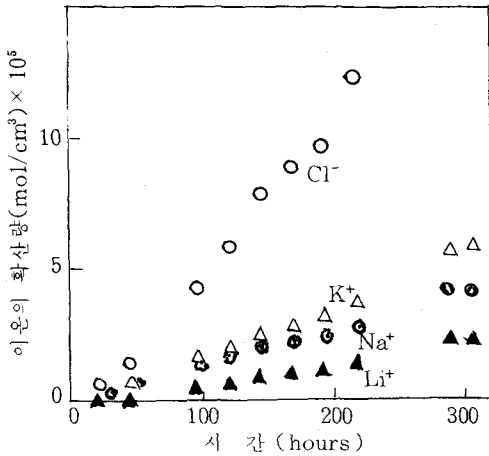


〈그림-2〉 콘크리트 구조물 중 염분분포 예²⁾
(日本鹽屋大橋)

서는 섬 깊숙이까지 염해현상을 보이기도 한다.

3. 시멘트 경화체중에서 Cl⁻ 이온의 확산

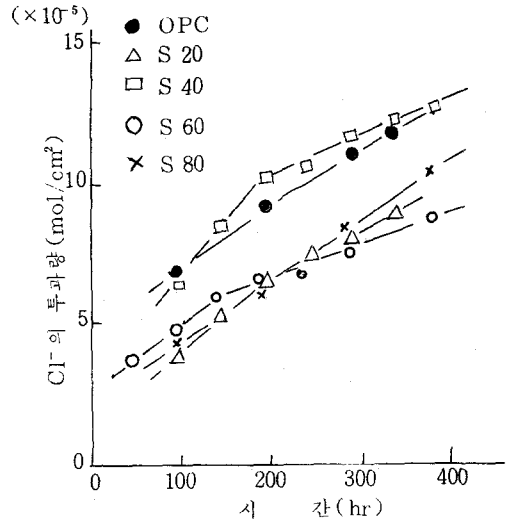
시멘트 경화체에서 Cl⁻ 은 다른 양이온 보다 확산계수가 크다. 시멘트 경화체중 이온의 확산계수는 Cl⁻ > K⁺ > Na⁺ > Li⁺ 이며 이들은 OH⁻ 의 역확산과 공존 양이온의 영향을 받으며^(4,5) 시멘트 경화체 표면의 전기적 특성이 영향을 미친다.⁶⁾ 또 Cl⁻ 의 확산은 세공경에도 의존하며 특히 20 Å 이하의 세공에 의존성이 크다.^{5,7)}



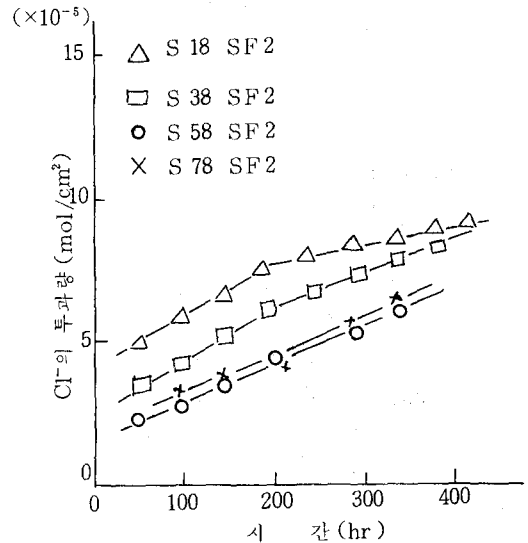
〈그림-3〉 이온의 확산량 시간에 따른 변화⁵⁾

그림 4는 보통 포틀랜드 시멘트 및 여기에 고로수쇄슬래그를 20, 40, 60, 80 % 혼합한 시멘트를 사용한 경화체에서 Cl⁻ 의 확산을 측정하는 예이고, 그림 5와 6은 여기에 첨가제로 실리커흙, 화이트 카본을 각기 2 % 첨가한 경우의 Cl⁻ 의 확산을 측정하는 예이다.⁸⁾

시멘트 경화체 시편을 W/C = 0.4 로 혼련한 페이스트를 20°C 에서 1 일 습공양생, 7 일 수증양생하여 두께 3mm의 판상으로 만든 다음, 이 판상 시멘트 경화체의 한쪽에 1/2N NaCl 용액을 다른 한쪽에 증류수를 넣고 일정시간마다 증류수 쪽의 용액을 채취하여 시편을 통하여 확산한 Cl⁻ 의 양을 측정하였다. Cl⁻ 의 측정은 fluorecein sodium 을 흡착지시약으로 한 Fajans 법을 이용하였다.



〈그림-4〉 슬래그 혼합량에 따른 Cl⁻ 의 투과량

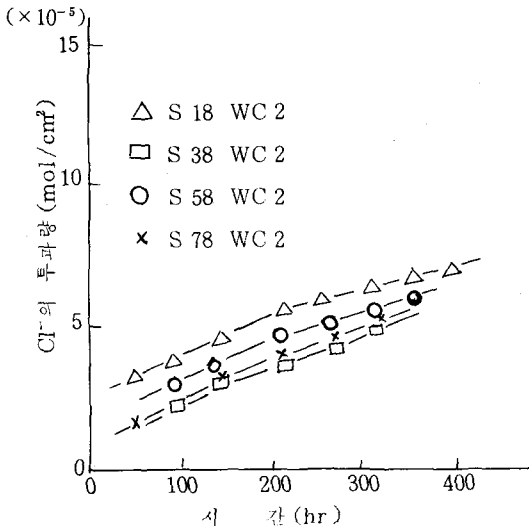


〈그림-5〉 슬래그 혼합량에 따른 Cl⁻ 의 투과량 (실리커흙 2% 첨가)

Cl⁻ 의 투과량과 이 투과량으로부터 확산계수의 계산은 近藤 등의 방법⁹⁾에 따랐다. 확산시험을 시작한 t 시간 뒤에 n 회 용액을 채취하였을 때 Cl⁻ 이온의 전체투과량을 Q_{Cl} 이라 하면

$$Q_{Cl} = (C_{Cl}^{(n)} + \frac{\Delta V}{V_{II}} \sum_{N=1}^{n-1} C_{Cl}^{(N)}) \frac{V_{II}}{A}$$

여기서 C_{Cl}⁽ⁿ⁾: n 번째 뽑아낸 용액의 Cl⁻ 이온 농도



〈그림-6〉 슬래그 혼합량에 따른 Cl⁻의 투과량 (화이트 카본 2% 첨가)

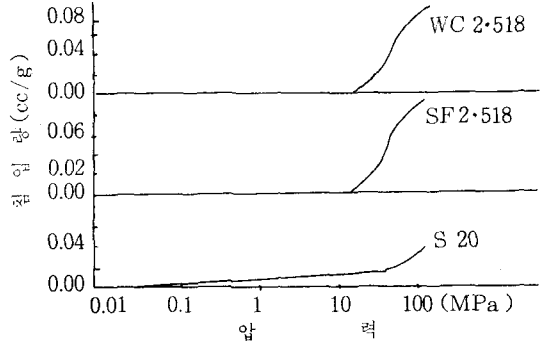
- V_I : II 측의 용액량
 - ΔV : 뽑아낸 용액의 량
 - A : 시편의 면적
- 또 이온의 확산계수는

$$D_{Cl} = \frac{\Delta Q_{Cl}}{\Delta t} \times \frac{\ell}{\Delta C}$$

- 여기서 ΔQ_{Cl} : 시간 Δt 사이에 투과한 Cl⁻이온 량
- ℓ : 시편 판의 두께
- ΔC : I 측과 II 측의 농도차

시간의 경과에 따라 투과량은 거의 직선적으로 증가하는 경향을 보이거나 초기에는 약간 빨랐다가 일정시간 뒤에는 감소하는 경향을 보인다. 슬래그를 혼합한 경우 보통 포틀랜드 시멘트만의 경우보다 투과량은 적는데 이는 슬래그 첨가에 따라 상대적으로 Ca(OH)₂의 생성이 줄어들고 또 C₃A·CaCl₂·nH₂O로 Cl⁻이 고정되기 때문으로 보인다. 40% 혼합의 경우 투과량이 큰 것은 시멘트 경화체시편에 균열이 발생한 때문으로 보이며 이는 Mg(OH)₂의 과다생성에 기인한 듯하다.

실리카 흙이나 화이트 카본을 첨가한 경우 투과량은 감소하고 있다. 이는 이들의 성분이 시멘트 수화물과 반응하여 0.1 μ 크기 이상의 기공이 줄어들어 때문이다. 그림 7은 슬래그 20%



〈그림-7〉 시멘트 경화체(슬래그 20% 혼합한 계열)의 기공분포

혼합 시편의 기공분포를 보이고 있다.

이 Cl⁻의 투과량으로부터 계산한 확산계수는 2~4 × 10⁻⁸ cm²/sec로 後藤 등의 값¹⁰⁾과 일치하고 있다.

4. 맺음 말

시멘트 경화체에서의 이온의 확산은 단순한 이동만이 아니고 경화체 표면에서의 흡착, 경화체 성분과의 반응 등도 있어 복잡하다.

고로수쇄슬래그의 혼합이나 실리카 흙 또는 화이트 카본 등의 혼합은 Cl⁻이온의 확산을 억제하는데, 이는 이들의 경화체의 세공조직의 제어능력, 슬래그의 Cl⁻이온의 고정능력 등에 의한 것으로 보인다.

〈참 고 문 헌〉

- 1) 최 상훈, 시멘트, No. 102, 33(1986), No. 103, 22(1986).
- 2) 具志幸昌, 和仁屋 晴講, 일본 제 10회 시멘트·콘크리트 연구회 발표(1983), 시멘트·콘크리트(日) No. 471, 7(1986).
- 3) 櫻野紀元, 시멘트·콘크리트(日), No. 469, 22(1986).
- 4) H. Ushiyama, S. Goto, Proc 6th ICCO. II-1, 331(1976).
- 5) 後藤誠史, 茂 啓二郎, 高木達雄, 大門正機, 시멘트技術年報(日), 36, 49(1982).
- 6) S. Goto, M. Roy, Cem. Concr. Res., 11, 751(1981).