

## 공학적방벽 콘크리트의 염화물 침투저항성에 대한 실험적 연구

이호재, 김도겸, 이장화, 김기범

한국건설기술연구원, 경기도 고양시 일산서구 시민대로 1190

[h.lee@kict.re.kr](mailto:h.lee@kict.re.kr)

### 1. 서론

콘크리트는 원자력 발전 구조물, 입자가속기 등 방사선 차폐가 필요한 구조물에 사용되는 경제성과 편리성을 겸비한 우수한 재료이다. 그러나 방사선 차폐용 원전콘크리트의 기본 물성에 대한 연구결과가 부족하여 외국의 품질규정, 차폐성능 및 시공관리에 필요한 시설 기준 및 참고 문헌에만 의존하고 있는 실정이다. 이에 본 연구는 국내 방폐구조물에 사용된 실제 재료와 배합 조건으로 시편을 제작하여 공학적 방벽의 염화물 수용액 침투시간에 따른 염화물 침투 저항 특성을 평가하였다.

콘크리트 내 염소이온은 두 가지 형태로 존재한다. 첫째, 콘크리트 공극 내의 염소이온으로 이를 자유 염소이온이라 한다. 둘째, 자유 염소이온과 반대로 시멘트 내 구성물질과 반응하여 생성된 일종의 구속된 염소이온이다. 이 중에서는 자유 염소이온 만이 공극수를 통하여 콘크리트 내 위치한 철근까지 도달하여 부식을 일으킬 수 있다. 콘크리트를 이루고 있는 주요 수화물은 크게 C-S-H ( $\text{CaO-SiO}_2\text{-nH}_2\text{O}$ ), 수산화칼슘 ( $\text{Ca(OH)}_2$ ), 에트린자이트(Aft:  $\text{C}_3\text{A} \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ ), 모노설페이트 수화물(AFm:  $\text{C}_3\text{A} \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ )으로 구분할 수 있다. 염소이온 구속 반응에는 크게 두 가지 종류가 제안된다. 첫째는 Friedel's salt ( $\text{C}_3\text{A} \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) 형성을 하는 화학적 구속으로 AFm과 비슷한 구조를 가진 수화물이지만 황산이온이 2개의 염소이온으로 대체된 형태이다. 둘째로는 C-S-H에 의한 물리적인 구속으로 C-S-H 자체가 큰 표면적을 가진 특성 때문에 염소이온 뿐만 아니라 각종 다양한 이온들과 반응한다.

### 2. 사용재료, 배합 및 시험체 제작

염해 실험용 시편은 100×100×400mm 크기의 페이스트, 모르타, 콘크리트를 제작한 후 콘크리트 시편 절단기를 이용하여 100×100×100mm(장기염

해시편), 100×100×50mm(단기염해시편) 크기로 제작하였다. 장기염해 실험의 경우, 3% NaCl 수용액 침지에 앞서 28(7일 수중양생포함)일 동안 기건양생을 하였으며, 단기실험은 측정일(56,180,365일)까지 수중양생하였다. 또한 염화물의 일방향 침투를 위하여 각 시편의 침투면을 제외한 나머지 면을 에폭시 코팅 처리하였으며, 침투표면은 그라인딩 처리하여 건전한 침투 표면 상태를 확보하였다.

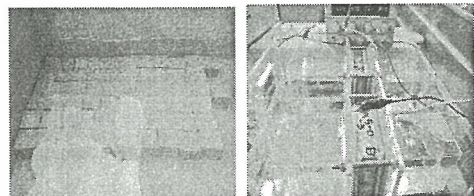
Table 1. Mixture of concrete

No.	Mix proportion						
	Water	Cement	Fly ash	Coarse	Fine	WRA	AEA
Mix 1	0.45	0.8	0.2	2.31	1.84	0.04	0.004
Mix 2	0.32	0.8	0.2	1.68	0.88	0.03	0.002

### 3. 실험방법 및 결과

#### 3.1 실험방법

염해 실험은 제작된 염해 시편을 장기 염해실험과 단기 염해실험으로 구분하여 실험하였다. 장기 염해 실험의 침지재량은 56, 180, 365일이며, NordTest NTBuild 433에 의거한 3% NaCl 수용액에 침지를 하여 장기적인 염해저항성을 평가하였다. 또한 단기 염해실험은 급속축진실험방법(RCPT)으로 실험하였다.



(a) Specimens in 3% chloride solution

(b) Rapid chloride permeability test by ASTM C 1202

Fig. 1. Chloride penetration test.

### 3.2 염화물침투 결과 분석

급속 염화물 침투 시험에 의해 산출된 통과전하량은 다음의 공식을 이용하여 확산계수를 산출한다.

$$D = \frac{RTL}{zFU} \cdot \frac{x_d - a\sqrt{x_d}}{t} \quad \text{where, } a = 2\sqrt{\frac{RTL}{zFU}} \cdot \text{erf}^{-1}\left(1 - \frac{2C_d}{C_0}\right) \quad (1)$$

여기서,

D : 확산계수 cm<sup>2</sup>/s

z : 이온의 원자가 - 염소이온의 경우 z=1

F : 패러데이상수 F = 96,481.04J/(Vmol)

U : 양극과 음극사이의 전압차 V

R : 기체상수 R = 8.314J/(Kmol)

T : 용액의 온도 K

L : 시편의 두께

X<sub>d</sub> : 염소이온의 침투 깊이

t : 실험 지속시간

erf : error function

C<sub>d</sub> : 질산에 의해 변색된 부분의 염소이온 농도

C<sub>0</sub> : 음극쪽 셀의 염소이온 농도

위의 식을 적용한 결과 측정된 확산계수의 경우 다음의 Table 2와 같다. 배합을 불문하고 재령이 증가할수록 확산계수의 값이 감소하는 경향을 보이는데, 이는 재령이 증가함과 동시에 콘크리트 내부의 수화가 점진적으로 발생하여 내부 공극이 치밀해지는 영향에 의해서 발생하는 것으로 추측할 수 있다.

Table 2. Diffusion coefficient variance (unit : cm<sup>2</sup>/s).

재령 (일)	mix1	mix2
56	9.43467E-08	4.2168E-08
90	5.60096E-08	3.98378E-08
180	3.48078E-08	2.7825E-08
365	3.42157E-08	2.58618E-08

### 4. 결론

본 연구에서는 공학적방벽 콘크리트의 사용재료 및 배합을 이용하여 염화물 침투 저항성에 대한 연구를 진행하였다. 그 결과, 염화물 확산계수는 재령이 증가함에 따라 감소하는 경향을 확인

할 수 있었으며 또한 실제 공학적방벽에 사용되는 Mix 2의 경우 일반적으로 원전에 사용되는 설계기준강도 6000psi의 원전콘크리트보다 염화물 침투 저항성이 상대적으로 높음을 알 수 있었다.

### 5. 감사의 글

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.

### 6. 참고문헌

- [1] Mehta, P. K., Monteiro, P. J. M., 'Concrete Microstructure, properties and materials', McGraw Hill, 2006.