

# 건습반복을 받는 콘크리트의 염소이온 침투에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on the Penetration of Chloride Ions to Concrete Subjected to Wetting and Drying Conditions

김은겸\*      최영규\*\*      김승진\*\*\*  
Eun-Kyum Kim   Young-Kyu Choi   Seung-Jin Kim

### ABSTRACT

This paper presents the experimental results on the penetration of chloride ions to ordinary portland cement concrete which is subjected to 2 different artificial environments; consecutive digestion, wetting at 3% NaCl for 1 day and then drying at 40°C oven for 4 days. The water-cement ratio was 35%, 45%, 55%.

Test results showed that the intrusion depth and concentration of chloride ions penetrated into concrete in repeated wetting-drying environments were respectively deeper and higher than those of consecutive digestion environment. The penetration of chloride ions deeply depend on the effect of water to cement ratio.

### 1. 서론

염해를 받는 콘크리트 구조물의 열화는 주로 콘크리트 중에 염소이온이 침투하여 철근 위치까지 도달하게 되면 이로 인한 부식 발생으로 체적 팽창압에 의해 콘크리트의 균열 및 박리가 발생하게 된다. 열화는 해수의 염소이온의 침투를 더욱 촉진시킴으로서 복합열화를 가져와 철근부식이 더욱 촉진된다. 이러한 염해 현상은 해수 중에 있는 콘크리트 구조물보다는 비말대나 해상 구조물의 경우가 더욱 큰 피해를 받는 것으로 보고되고 있다.

콘크리트의 염소이온 침투 메카니즘은 콘크리트가 다공질이므로, 콘크리트 중의 공극이 수분으로 충만해 있는 경우에 수용액 중의 염소이온이 확산된다. 콘크리트 공극 속의 수분이 건조에 의하여 일탈하는 경우에는 공극이 공동으로 되기 때문에 염수가 흘러 들어가 염소이온의 침투 현상이 가속된다. 후자는 건조에 의하여 공극이 공동으로 되기 때문에 염수가 흘러 염소이온이 침투하게 되며, 전자와 비교할 때 염소이온의 침투속도가 빨라지는 것으로 보고되고 있다.

본 연구에서는 건습반복의 환경이 염소이온의 침투에 미치는 영향을 알아보기 위해, 연속적인 염수 침지 실험과 건조와 염수침지의 반복에 의한 촉진 침투실험을 하였으며, 물-시멘트비를 변화시켜 실험을 실시하였다. 그리고 염소이온 침투실험에 의한 확산계수의 특성을 평가하였다.

\* 정회원, 서울산업대학교 토목공학과 교수  
\*\* 정회원, 서울산업대학교 토목공학과 석사  
\*\*\* 정회원, 한국전자재시험연구원 선임연구원

## 2. 사용재료 및 배합선정

### 2.1 사용재료

본 연구에 사용된 시멘트의 화학조성 및 물리적 특성은 표 1에 제시한 바와 같다. 굵은 골재는 비중 2.68, 최대치수는 20mm의 포천산 부순돌을 사용하였으며, 잔골재는 비중은 2.64이고 표준입도를 가지는 포천산 강모래를 사용하였다.

표 1 시멘트의 화학적·물리적 특성

화학적 구성(%)									물리적 특성	
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Ig.loss	비중	표면적 (cm <sup>2</sup> /g)
21.0	5.9	3.2	62.5	3.02	2.1	0.12	0.78	1.61	3.16	3200

### 2.2 배합

콘크리트의 배합은 염소이온 침투에 대한 물-시멘트비의 영향을 알아보기 위하여 물-시멘트비를 35%, 45% 및 55%의 3가지로 변화시켰다. 본 연구에 사용된 콘크리트 배합은 표 2에 제시한 바와 같다.

표 2 콘크리트 배합표

Gmax (mm)	Slump (cm)	Air (%)	W/C (%)	S/a (%)	Unit weight(kg/m <sup>3</sup> )			
					W	C	S	G
20	12±2	4.5±1	35	48	198	565	731	807
			45	48	198	440	781	860
			55	48	198	360	816	895

## 3. 염소이온 침투시험 방법

### 3.1 시험조건

시험체의 형상은 15 cm×15 cm×30 cm의 각주형 공시체를 제작하여 타설 후 1일에 탈형하여 재령 28일까지 수중양생(양생온도 23±2 ℃)을 실시하였다. 그 후 40±2 ℃의 건조실에서 7일간 양생한 후 염소이온의 일방향 침투를 유도하기 위하여 침투면을 제외한 4개 면을 불투수성 에폭시로 2회 도장하여 공기 중에서 10일간 양생한 후 염수침지 실험을 실시하였다.

콘크리트 인공염수침지 실험은 연속침지(A시험체)를 실시한 시험체와 염소이온 침투의 촉진을 위하여 진습반복(D시험체)을 실시한 시험체가 있다. 시험체의 침지조건은 NaCl 농도 3%, 온도를 20℃로 유지하였고, 시험체의 건조는 40±2 ℃의 온도를 유지하는 건조실에서 실시하였다.

### 3.2 염소이온의 확산계수 평가식

염소이온 확산계수는 총 염소이온 함유량을 기준으로 하여 Fick의 제2법칙에 의해 유도된 식(1)을 이용하여 구하였다.

$$C_{(x,t)} = C_0 \left[ 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{x}{2\sqrt{D_e t}} \right) \right] \quad (1)$$

여기서,  $C_{(x,t)}$  : 거리  $x$  cm 및 시간  $t$ 에서의 염소이온 농도 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$C_0$  : 표면 염소이온 농도 ( $kg/m^3$ )  $D_e$  : 확산계수 ( $cm^2/sec$ )  $erf$  : Error 함수

#### 4. 시험결과 및 고찰

##### 4.1. 압축강도

그림 1은 염소이온 침투 시험에 사용되는 콘크리트의 품질을 평가하기 위해 표준양생을 실시한 콘크리트 공시체의 재령별 압축강도를 나타낸 것이다. 3종류의 물-시멘트비에 대하여 압축강도는 모두 재령과 함께 증가하고 있으며, 그 발현 성상도 유사한 성질을 가지고 있다.

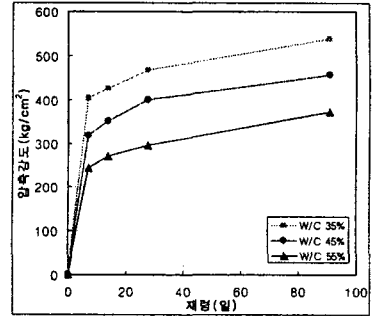


그림 1 압축강도 실험 결과

##### 4.2 염소이온 침투시험 결과

###### 4.2.1 염소이온 침투 시험조건에의 영향

그림 2는 염소이온 침투 실험결과를 나타낸 것으로 물-시멘트비 35%의 경우, 연속침지 시험체나 건습반복 시험체 모두 염소이온의 침투량 및 침투깊이에 있어는 큰 차이를 나타내지 않고 있다. 그러나, 물-시멘트비가 45%에서 55%로 증가할수록 이들 시험조건에 대한 차이는 크게 나타나, 건습반복 조건에 대한 시험체에서 염소이온 침투가 큰 것을 알 수 있다.

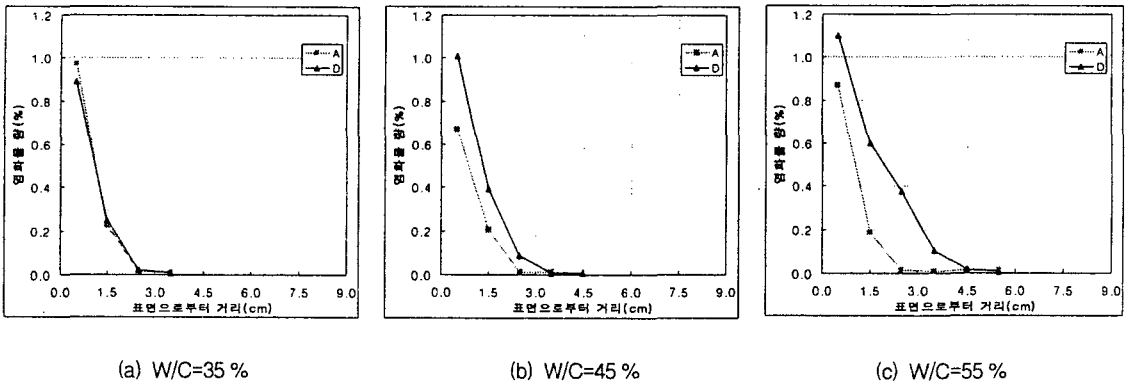
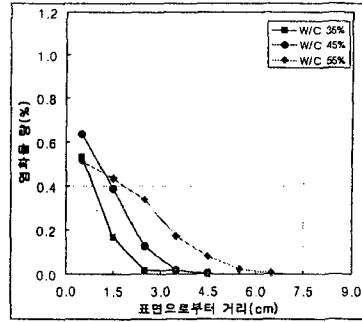
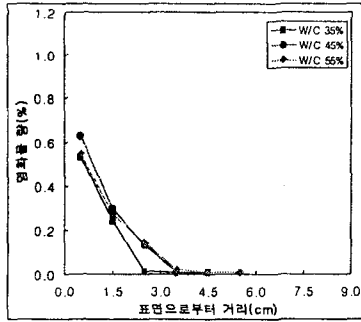


그림 2 시험조건별 염소이온 침투 상황 (시험기간 150일)

###### 4.2.2 물-시멘트비의 영향

그림 3은 물-시멘트비의 영향을 고찰하기 위해 나타낸 것이다. 연속침지 시험체는 물-시멘트비가 증가하여도 염소이온의 침투량은 거의 동등한 것으로 나타났다. 그러나 건습반복 시험체는 물-시멘트비가 증가할수록 염소이온의 침투량 및 침투깊이는 증가하는 것으로 나타났다. 즉, 건습반복 시험체는 연속침지 시험체와는 달리 염소이온의 침투 현상은 물-시멘트비에 큰 영향을 받는 것으로 나타났다.



(a) 연속침지 시험체 (b) 건습반복 시험체  
그림 3 물-시멘트비 영향 (시험기간 150일)

#### 4.2.3 염소이온 확산계수의 평가

시험체의 농도 프로파일로부터 식(1)을 사용하여 확산계수를 산정하였다. 그림 4는 연속침지 시험체와 건습반복 시험체에 대한 확산계수 산정결과를 나타낸 것이다. 확산계수 산정결과 모든 시험체는 환경조건에 관계없이 물-시멘트비가 증가할수록 염소이온의 확산계수는 크게 증가하는 것으로 나타났다.

연속침지 시험체의 염소이온 확산계수는 물-시멘트비의 증가에 따라 일정하게 증가하고 있다. 그러나 1일 침지, 4일 건조 시험체의 경우, 물-시멘트비 45%까지는 염소이온의 확산계수는 연속침지의 경우와 거의 동등한 증가 경향을 나타내고 있지만, 물-시멘트비 55%에서는 그 값이 급격히 증가하는 것으로 나타났다.

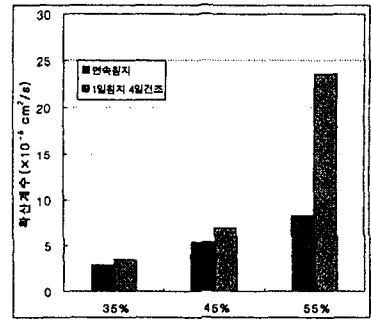


그림 4 염소이온의 확산계수

#### 5. 결론

이상과 같이 각 환경조건 및 실험 변수에 대한 염소이온 침투 실험에서 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 연속침지 시험체보다 건습반복 조건의 시험체에서 염소이온 침투가 큰 것으로 나타났으며, 연속침지 시험체의 염소이온 침투현상은 물-시멘트비의 영향이 적지만, 건습반복 시험체는 물-시멘트비가 클수록 염소이온 침투는 증가하는 것으로 나타났다.
- 2) 연속침지 시험체는 물-시멘트비의 증가에 따라 확산계수가 일정하게 증가하지만, 건습반복 시험체는 물-시멘트비 55%에서 급격히 증가하는 것으로 나타났다.
- 3) 이상의 결과로부터 시험방법이 간편한 연속침지 방법은 시험체의 염소이온 침투현상을 단순히 비교할 때 적용이 유리한 시험방법이며, 건습반복 방법은 실제와 유사한 현상을 모사할 수 있고, 또한 물-시멘트비의 차이를 평가하고자 할 때 적합한 시험방법으로 판단된다.

#### 참고문헌

1. 山下英俊, 大津政康, "乾燥を受けるコンクリートの鹽分浸透について", 日本コンクリート工學年次論文報告集,
2. 友澤史紀, 安田正雪, 原謙治, "コンクリート中の鹽化物の浸透速度に關する實驗", 콘크리트工學年次講演會, pp493~498, 1988