

# 단독 및 복합열화의 실내축진실험에 의한 콘크리트의 염화물 확산에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on the Chloride Diffusion of Concrete by Experimental in Room of Individual and Combined Deterioration

김영선\*\*      구경모\*      김영덕\*\*      조봉석\*\*      김규용\*\*\*      김무한\*\*\*\*

Kim, Young-Sun   Moon, Hyung-Jae   Cho, Bong-Suk   Kim, Jae-Hwan   Kim, Gyu-Yong   Kim, Moo-Han

### ABSTRACT

Recently, the deterioration due to salt damage and carbonation as the main factors of deterioration of the domestic reinforced concrete structures has been increased. Also the national and social concern about the durability recovery of the deteriorated reinforced concrete structures is greatly being raised.

Therefore, it is the final purposes of this study to develop the performance evaluation technique for durability of reinforced concrete structures deteriorated due to salt damage and carbonation with the proposal of the service life prediction method for the investigation and diagnosis of reinforced concrete structures, and accelerated test in Lab.

#### 1. 서론

최근 국내에서는 건설구조의 대부분을 차지하고 있는 콘크리트 구조물의 주요 열화요인인 염해 및 중성화 등에 의해 발생하는 성능저하현상에 대한 문제점이 크게 제기되고 있으며, 성능저하 된 콘크리트 구조물의 내구성 회복을 위한 내구성 향상 기술개발이 국가·사회적으로 급격히 증가되고 있다.

이러한 배경에서 국내에서는 염해 및 중성화에 대한 수많은 연구가 이루어지고 있지만, 아직까지 염해 또는 중성화 각각에 대하여 단독적으로 열화를 받은 콘크리트에 한정하여 주로 연구가 이루어지고 있으며, 복합적인 열화에 대하여는 연구가 많이 부족한 현실이다. 실제 구조물들은 초기에 내재되어 있는 염화물이 이 후 구조물에 작용하는 중성화 및 외부로부터 침투하는 염해와 함께 복합적으로 작용함으로써 각각의 열화현상을 촉진할 수 있는 요소를 가지고 있고, 외부에서 복합적으로 작용하는 열화현상에 있어서도 단독열화의 연구자료를 바탕으로 예측을 실시한다면 정확도가 크게 저하 될 수 있다.<sup>1),2)</sup>

따라서 본 연구에서는 염화물을 함유한 콘크리트를 단독 및 복합열화 환경하에 폭로하여 실내축진 실험을 실시함으로써 단독 및 복합열화의 진행에 따른 콘크리트 내부로의 이산화탄소 및 염화물이온의 침투특성을 실험적으로 비교·검토하고, 염화물이온 확산예측을 실시함으로써 향후 해양환경하에 위치한 콘크리트구조물의 체계적인 내구성평가를 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

\* 정회원, 충남대학교 대학원 건축공학과, 학부과정  
\*\* 정회원, 충남대학교 대학원 건축공학과, 박사과정  
\*\*\* 정회원, 충남대학교 건축학부, 조교수, 공학박사  
\*\*\*\* 정회원, 충남대학교 건축학부, 교수, 공학박사

2. 실험계획 및 방법

표 1. 실험계획

W/C (%)	열화환경 <sup>1)</sup>	초기 투입 염화물(Cl <sup>-</sup> )량 (kg/m <sup>3</sup> ) <sup>2)</sup>	측정 항목	측정재령 (일)
60	<ul style="list-style-type: none"> <li>복합열화 (A)</li> <li>단독열화</li> <li>-중성화 (C)</li> <li>-염해 (S)</li> </ul>	0 (무)	<ul style="list-style-type: none"> <li>염화물량[%]</li> <li>염화물이온 확산계수</li> </ul>	160
		2.4 (유)		

※ 1) (A): 복합열화, (C): 중성화, (S): 염수침시  
 2) (무): 염화물투입량 0kg/m<sup>3</sup>, (유): 염화물투입량 2.4kg/m<sup>3</sup>

2.1 실험계획 및 배합

콘크리트의 염해 및 중성화의 단독열화와 복합열화의 진행에 따른 내구특성을 평가하고자 표 1과 같이 물시멘트비를 60%, 초기투입염화물(Cl<sup>-</sup>)량을 0, 2.4 kg/m<sup>3</sup>, 열화환경은 단독열화 및 복합열화를 설정하여 염화물량을 재령 160일에서 측정된 후 염화물이온 확산계수를 산출하여 비교·평가하고자 하였다.

표 2는 단독 및 복합열화 환경 요인 및 수준을 나타낸 것이며, 표 3은 본 연구에 사용한 콘크리트 배합을 나타낸 것이다.

표 2. 열화환경 요인 및 수준

요 인		수 준
단독열화	· 중성화	· CO <sub>2</sub> 5% 촉진 · 습도 50% · 온도 20℃
	· 염해	Dc = 2.12 × 10 <sup>-8</sup> · 3% NaCl 용액 침지
복합열화	· 중성화	Dc = 2.12 × 10 <sup>-8</sup>
	· 염해	· 3% NaCl 용액 분무
	· 습도	· 주기에 따라 30%~60% 변화
	· 온도	· 주기에 따라 20℃~60℃ 변화

2.2 시험체 제작 및 시험방법

시험체 제작은 10×10×40cm의 시험체를 제작하여 약 24시간 후 몰드를 탈형하고, 28일간 수중양생을 실시하여 시험체를 제작하였다.

염화물량 실시를 위한 시료의 채취는 콘크리트 연마날을 이용하여 콘크리트 표면으로부터 5mm 깊이로 콘크리트 분말을 채취하고, 시험방법은 KS F 2713에 준하여 전처리를 실시한 후, 전위차적정장치를 이용하여 염화물량을 측정하였으며 확산예측을 위해서는 콘크리트시방서[유지관리편]<sup>3)</sup>에 제시된 바와 같이 염분의 침투에 관하여는 일반적으로 Fick의 제2법칙을 기초로 확산방정식의 해를 이용하고, 각각의 깊이별로 측정된 전염화물이온 농도를 회귀분석하였으며, 염분침투확산계수 (Dc) 및 표면염화물이온 농도 (Co)를 산출하는 방법을 이용하였으며, 식 1과 같이 초기함유염분을 고려한 식을 사용하였다.

표 3 콘크리트 배합

W/C (%)	목표 슬럼프 (cm)	S/a (%)	단위 수량 (kg/m <sup>3</sup> )	단위중량(kg/m <sup>3</sup> )		
				시멘트	잔골재	굵은 골재
60	18±1	48	186	310	830	931

$$C(x,t) = C_i + (C_o - C_i) \left( 1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{D \cdot t}} \right) \dots\dots\dots (1)$$

여기에서, C(x,t): 깊이 x (cm), 경과시간 t (초) 에 의한 전염화물이온 농도 (kg/m<sup>3</sup>)  
 Co: 표면에 의한 염화물이온 농도(kg/m<sup>3</sup>)      Ci: 초기함유전염화물이온 농도(kg/m<sup>3</sup>)  
 D: 염화물이온의 겉보기 확산계수(cm<sup>2</sup>/s)      erf: 오차계수

$$\operatorname{erf}(s) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^s e^{-\eta^2} d\eta \dots\dots\dots (2)$$

3. 실험결과 및 고찰

3.1 전염화물량

그림 2는 열화환경별 시험체 깊이에 따른 염화물량의 변화를 나타낸 것으로서 염화물이온 침투깊이는 복합열화 시험체가 상대적으로 염수침지 시험체에 비해 높게 나타났으나, 침투한 염화물량은 그림에서 나타낸 바와 같이 염수침지 시험체가 복합열화 시험체에 비해 많은 양이 침투한 것으로 나타났

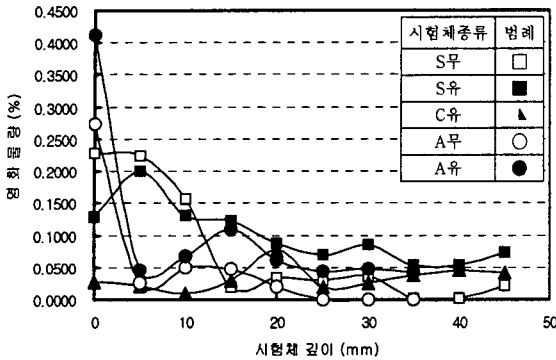


그림 2. 침투깊이에 따른 염화물량

다. 이는 침투하는 염화물이온의 양은 시험체 표면의 염화물이온 농도의 차이뿐만 아니라 염화물이온과 시험체가 접하는 시간에 의해서 영향을 받은 것으로 판단된다.

또한, 표면염화물량에 있어서는 복합염화 시험체가 다른 시험체에 비해 매우 높게 나타나고 있다. 이는 시험방식의 차이로 인한 것으로 염수침지의 경우 시험체는 항상 100%습윤상태, 즉 3% NaCl용액에 침지되어 있으나, 복합염화시험의 경우 1시간/1일 동안 염수가 분무되며, 시험체의 침투면이 상면으로 되어 있어, 분무된 염수가 시험체 침투면에 침적하고 건조하는 것을 반복함에 따라 표면염화물량이 높아진 것으로 사료된다.

### 3.2 염화물이온 확산예측

그림 3 및 그림 4는 단독염화(염수침지) 실험을 실시한 시험체의 염화물이온 확산예측곡선을 나타낸 것으로서, 표면염화물량은 해양환경하에 노출된 콘크리트 구조물의 표면에 발생하는 염화물이온량의 변화를 고정된 상수값으로 제시하는 기존 문헌을 참고<sup>1)</sup>하여 비말대 조건인  $13.0\text{kg/m}^3$ 을 적용하여 나타내었다.

초기 염화물을 투입한 시험체의 경우  $1.28 \times 10^{-7} \text{cm}^2/\text{s}$ , 염화물을 투입하지 않은 시험체  $2.12 \times 10^{-8}$ 에 비해 다소 높은 확산계수를 나타내고 있다. 또한 그림 5는 초기내재염화물을 고려한 염화물이온 확산예측곡선과 내재염화물을 고려하지 않은 염화물이온 확산 예측곡선을 비교한 것으로서, 초기내재염화물을 고려하지 않고 실시한 경우 확산계수가 다소 크게 산출되는 것으로 나타났다. 따라서, 초기내재염화물 이온 농도가 불분명한 경우, 측정된 염화물 이온 데이터 중 최소값을 초기에 함유된 염화물로 대체할 필요가 있다.

그림 6 및 그림 7은 복합염화촉진실험을 실시한 시험체의 염화물이온 확산예측 곡선을 나타낸 것으로서 초기 염화물을 투입한 시험체 A-유가 염화물을 투입하지 않은 시험체 A-무에 비해 확산계수가 높게 나타나고 있다. 이는 내재하고 있던 염화물량 중 고정화되어 있던 염화물이 중성화에 의해 자유

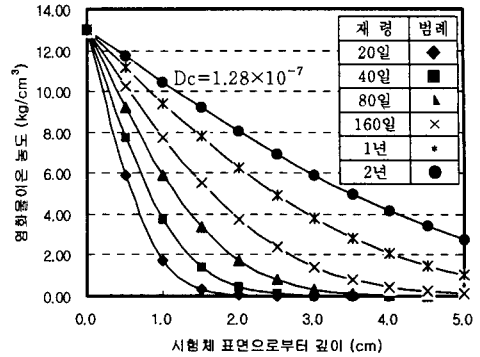


그림 3. 염화물이온 확산예측곡선 (S-무)

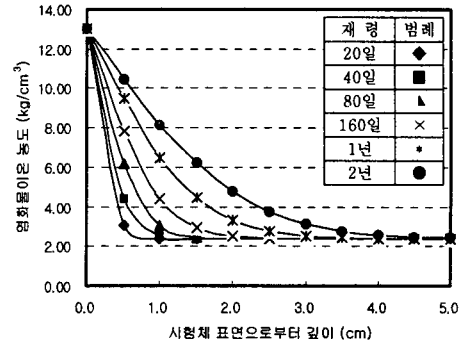


그림 4. 염화물이온 확산예측곡선 (S-유)

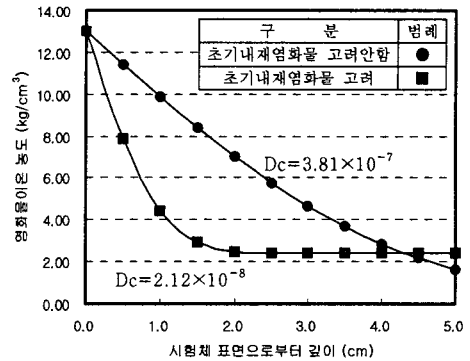


그림 5. 초기내재염화물 이온 고려 유·무에 따른 예측곡선(S-유)

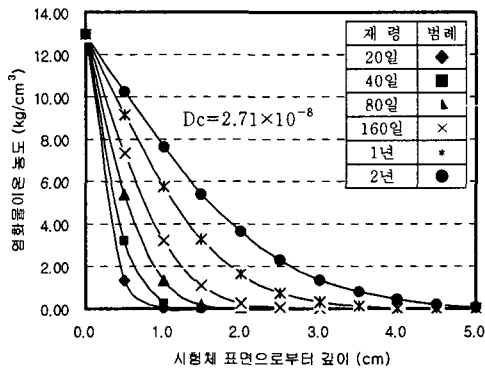


그림 6. 염화물확산 예측곡선 (A-무)

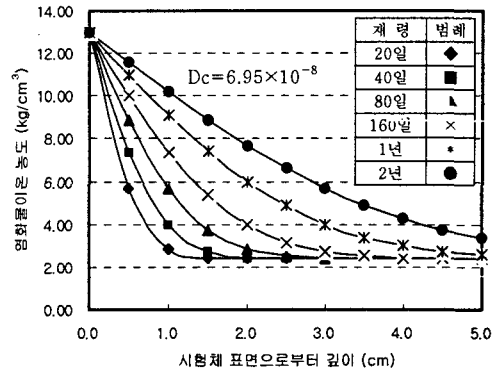


그림 7. 염화물확산 예측곡선 (A-유)

화됨에 따라 자유염화물이온의 농도를 증가시켰으며, 이로 인한 염화물이온의 확산이 더욱 촉진되어 초기 염화물을 투입하지 않은 시험체에 비해 초기 염화물을 투입한 시험체가 높은 염화물이온 확산계수를 나타낸 것으로 사료된다<sup>2)</sup>. 따라서 실제 복합염화 환경에 있는 구조물에 있어서 초기 염화물을 내재한 경우 염화물을 내재하지 않은 경우에 비해 빠른 염화물확산 속도를 나타낼 수 있어, 실제구조물의 내구성 평가 시 중성화 및 초기내재염화물을 고려하지 않을 시 정확도가 떨어지는 예측이 될 수 있을 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

단독 및 복합염화의 실내축진실험에 의한 콘크리트의 염화물 확산에 관한 실험적 연구 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 염수침지를 실시한 시험체의 경우, 초기 염화물을 투입한 시험체와 투입하지 않은 시험체의 염화물이온 확산계수를 비교한 결과, 염화물량을 고려하지 않을 경우 염화물이온 확산계수가 과도하게 나올 수 있어, 염화물이온 확산계수 평가시 초기 내재 염화물을 고려 및 최소 염화물이온량을 적용해야 할 것으로 판단된다.
- (2) 복합염화를 실시한 시험체의 경우 염화물을 내재한 시험체가 염화물을 내재하지 않은 시험체에 비해 높은 확산계수를 나타내고 있어, 실제 해양환경하에 위치한 콘크리트구조물에 있어서 염화물이온을 고려하지 않을 경우 과도한 염화물이온 확산예측이 될 수 있어 구조물의 장기안정성 평가에 위험요소로 작용할 것으로 사료된다.
- (3) 중성화에 의한 염화물이온 확산의 변동과 초기 염화물내재에 따른 염화물이온 확산계수의 변동 같은 요소를 고려하지 않은 내구성 평가는 위험한 요소가 될 수 있어 차후, 정확도 높은 예측을 위해 실제구조물이 위치한 옥외폭로실험과 같은 연구가 필요할 것으로 사료된다.

#### 감사의 글

본 연구는 2004년도 전력공학공동연구소의 전력산업 연구개발사업 「복합염화에 의해 성능저하된 원전구조물의 보수재료·공법 시스템 개발」에 관한 일련의 연구로 수행되었으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. 中谷忠司, 鹽化物イオン擴散豫測の精度向上について, 2005
2. 複合劣化コンクリート構造物の評價と維持管理計畫研究委員會報告書, 2001
3. 한국콘크리트학회(2005), 콘크리트표준시방서, -유지관리편-
4. 송하원, 염해를 받는 콘크리트 구조물의 내구수명 평가에 관한 연구, 한국콘크리트학회학술발표회, 2004