

콘크리트 염소이온 확산계수의 시간 의존적 특성

Time-dependent characteristics of chloride diffusion coefficient of concrete

최 성* 이 광 명** 신 경 준*** 배 수 호****
Choi, Sung Lee, Kwang Myong Shin, Kyung Joon Bae, Su Ho

ABSTRACT

As the corrosion of reinforcing bar in concrete structures exposed to chloride attack is one of main factors to determine the remaining service life, marine concrete structures have to be designed to protect the chloride penetration. Among the durability design methods such as deterministic method and probabilistic method, design method based on the probabilistic theory has been widely studied. However, the most essential material, data of the material properties related to chloride diffusion, are still insufficient. In this paper, the probabilistic distribution of chloride diffusion coefficients and aging coefficients are derived by the experiment and analysis for the chloride coefficients of concrete containing pozzolans, which are generally used in marine structures.

요 약

염해에 의한 철근부식은 구조물의 내구성능을 결정하는 주요 인자로서, 염해에 노출된 해양 구조물은 이에 대비하여 내구성 설계를 해야 한다. 내구성 설계 방법에는 결정론적방법론과 확률론적 방법론이 있으며, 정확한 내구수명의 예측을 위해서는 염화물의 농도와 확산특성에 대한 정확한 자료가 필수적이다. 최근에는 확률론적 방법론에 기반한 염해 내구성 설계에 대한 연구가 많이 수행되고 있으나, 이러한 설계 기법에 필수적인 염해관련 물성치들에 대한 통계자료의 축적은 미비한 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 해양 구조물에 주로 사용되는 혼화재를 혼합한 콘크리트의 염소이온 확산계수와 이에 대한 분석을 통해 보통 시멘트, 슬래그 시멘트, 3성분계 시멘트를 사용한 콘크리트의 확산계수와 시간의존성 계수의 통계적 분포를 도출하였다.

* 정회원, 성균관대학교, 건설환경시스템공학과, 석사과정

** 정회원, 성균관대학교, 건설환경시스템공학과, 교수

*** 정회원, 성균관대학교, 건설환경시스템공학과, 박사후연구원

**** 정회원, 안동대학교, 토목공학과, 부교수

1. 서론

최근까지도 콘크리트는 유지관리가 필요 없는 반영구적인 재료로 인식되어 왔으나 각종 기상작용과 환경적 요인들에 의한 성능 저하로 인하여 콘크리트 구조물의 내구수명이 크게 단축되고 있는 실정이다. 염해에 의한 철근부식은 구조물의 내구성을 결정하는 주요 인자로서, 염해에 노출된 해양 구조물의 성능저하 원인을 분석하여 내구성을 향상시키기 위한 내구성 설계기술 개발이 활발히 진행되고 있다¹⁾.

내구성 설계 방법에는 결정론적방법론과 확률론적 방법론이 있으며, 정확한 내구수명의 예측을 위해서는 염화물의 농도와 확산특성에 대한 정확한 자료가 필수적이다. 최근에는 확률론적 방법론에 기반을 둔 염해 내구성 설계에 대한 연구^{1,4)}가 많이 수행되고 있으나, 이러한 설계 기법에 필수적인 염해 관련 물성치들에 대한 통계자료의 축적은 미비한 실정이다. 확산계수의 측정값은 여러 연구 결과^{2,3)}가 있지만, 통계적 분포에 대한 결과는 찾기 힘든 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 해양 구조물에 주로 사용되는 혼화재료를 혼입한 콘크리트의 염소이온 확산계수와 시간의존성 계수 실험을 통해 이에 대한 통계학적 분석을 수행하고 기초 자료를 축적하고자 한다.

2. 실험연구

2.1 사용재료

해양 구조물에는 염해에 대한 내구성능 향상과 수화열 저감을 위하여 혼화재를 혼입한 콘크리트가 주로 사용되며, 그 중에서 고로 슬래그를 50% 혼입한 콘크리트와 3성분계 시멘트 콘크리트가 가장 많이 사용된다. 따라서, 본 실험에서는 표 1과 같이 물-결합재비(W/B) 32%를 기준으로 고로슬래그를 0%, 30%, 50% 치환한 배합과 3성분계 시멘트를 사용한 배합을 실험에 사용하였다. 사용된 콘크리트의 목표슬럼프는 18±2.5 cm이고, 목표 공기량은 5.0±0.5이며, 굵은 골재의 최대치수는 20 mm이다.

표 1. 콘크리트 배합표

배합명	W/B(%)	S/a	단위량(kg/m ³)					
			W	결합재			S	G
				C	BFS	FA		
OPC	32	42	160	500	0	0	691	966
SG-30			160	350	150	0	687	959
SG-50			160	250	250	0	684	955
TBC			160	250	175	75	707	910

2.2 염소이온 확산계수 측정

제작된 공시체는 28일간 표준양생을 실시한 이후, 공시체의 재령에 따라서 28일, 91일, 182일, 273일, 365일이 지난 시편에 대해 NT BUILD 492⁵⁾ 방법에 의하여 확산계수를 측정하였다.

2.3 염소이온 확산계수 모델

콘크리트의 염소이온 확산계수에 대한 시간 변화특성을 모델링하기 위하여, 확산계수의 변화를 특정 재령(t_{ref})의 확산계수를 기준으로 지수형태로 표현하는 식 (1)의 모델^{4,6)}을 사용하였다.

$$D(t) = D_{ref} \left(\frac{t_{ref}}{t} \right)^m \quad (1)$$

여기서, $D(t)$ 는 재령 t 의 확산계수, D_{ref} 는 기준일인 t_{ref} 에서의 확산계수, m 은 시간 의존성 계수이다.

3. 실험결과

3.1 확산계수 측정결과

측정한 확산계수의 평균을 식 (1)의 형태로 최소 자승법으로 곡선화한 결과를 그림 1에 나타내었다. 시간이 지남에 따라 확산계수는 감소하지만, 그 변화량은 시간이 지날수록 작아졌다. 혼화재를 혼입한 시편은 동일 재령에 대하여 OPC와 비교하여 1/2 미만의 염소이온 확산계수를 가지는 것을 확인할 수 있었다. 혼화재 치환율이 50%인 TBC와 SG-50을 비교할 경우 초기에는 TBC의 확산계수가 크게 나타났으나, 재령 91일 측정결과에서는 SG-50의 확산계수가 크게 나타났다.

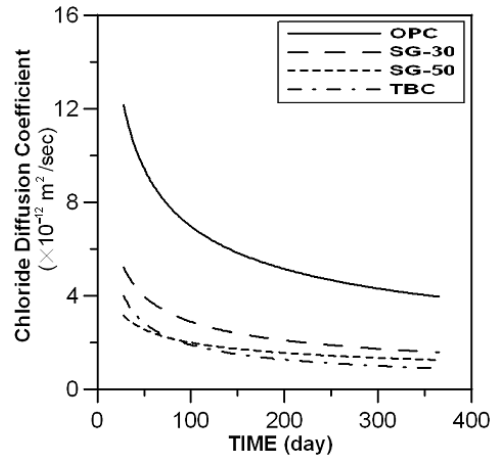


그림 1 재령별 염소이온 확산계수

3.2 시간 의존성 계수의 확률분포

재령에 따라 4개씩 측정된 염소이온 확산계수를 조합하여, 각 조합에 대하여 식 (1)에 대한 염소이온 확산계수의 시간 의존성 계수를 계산하였다. 기준 확산계수(D_{ref})의 시점(t_{ref})은 28일을 사용하였으며, 이를 기준으로 최소자승법에 의하여 최적 적합 곡선을 도출하여 시간 의존성 계수를 산정하였다. 그림 2에는 계산 되어진 시간 의존성 계수의 분포를 막대그래프로 나타내었고, 평균과 표준편차를 이용하여 얻은 정규분포를 실선으로 나타내었다.

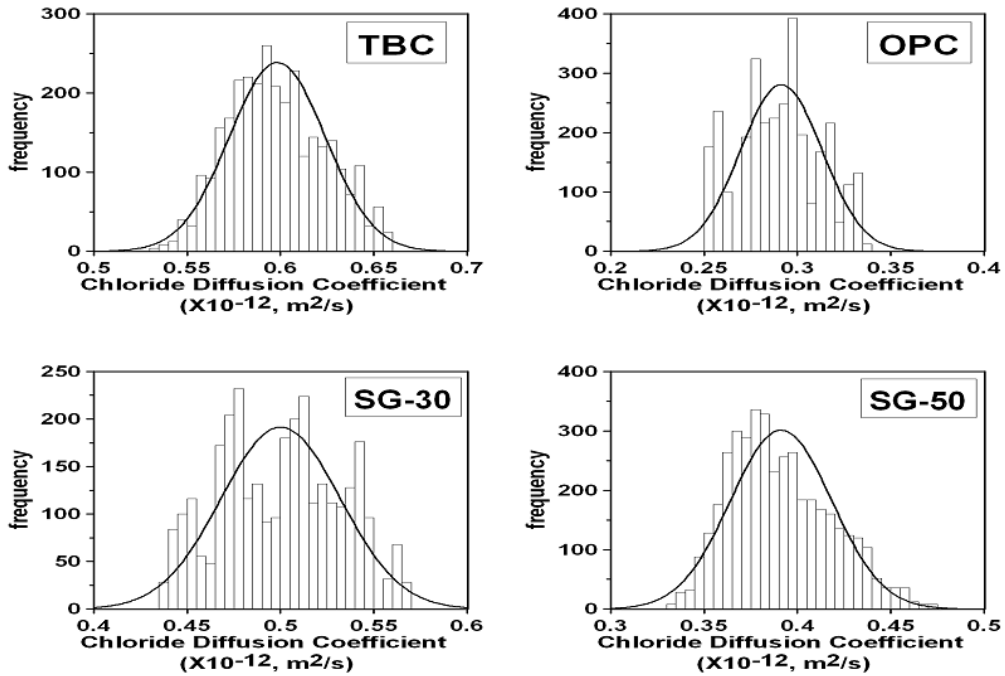


그림 2 시간의존성 계수의 통계분포

3.3 시간의존성 계수의 산포도

표 2에 배합별 28일 염소이온 확산계수와 시간 의존성 계수의 평균값과 표준편차, 그리고 변동계수를 나타내었다. 시간 의존성 계수의 변동계수는 4~8% 범위로 비교적 작은 변동성을 보였다.

Life-365⁽⁶⁾는 OPC를 기준으로 28일 확산계수를 계산하고, 시간 의존성 계수에 의하여 혼화재의 영향을 고려하기 때문에 혼화재를 혼입한 경우의 시간의존성 계수가 높게 제시되어 있다. 그러나, 본 실험의 경우 SG30과 TBC는 OPC 배합에 비하여 시간 의존성 계수가 높았으나, SG50의 경우 오히려 시간의존성계수가 작게 나타났다. 그 이유는 SG50의 28일 확산계수가 다른 배합에 비하여 상대적으로 매우 작았기 때문이다.

그림 2에 따르면 SG50과 TBC는 확산계수의 차이가 크지 않지만, 시간의존성계수는 2배 이상 차이가 났다. 이는 재령 28일의 확산계수는 SG50에 비하여 TBC가 높았지만, 91일 측정값은 TBC의 확산계수가 낮게 나타났기 때문이다. 즉, TBC의 확산계수 변화량이 SG50 보다 커서 시간의존성계수가 높게 계산되었다.

표 2. 배합별 시간 의존성 계수의 변동계수

배합명	W/B(%)	28일 확산계수 (D_{28})	시간의존성계수 (m)		
		평균	평균	표준편차	변동 계수
OPC	32	11.84	0.384	0.020	5%
SG30		5.39	0.425	0.022	5%
SG50		3.01	0.306	0.026	8%
TBC		4.16	0.640	0.025	4%

4. 결 론

1. 본 연구에서는 혼화재를 혼입한 콘크리트에 대한 확산계수 실험을 통하여 확산계수와 시간의존성 계수를 측정하였고, 통계적 분석을 통하여 그에 대한 확률 분포를 도출하였다.
2. 염소이온 확산계수는 재령 초기에 변화량이 크기 때문에 시간 의존성 계수는 확산계수의 감소특성 뿐만 아니라 28일 확산계수의 크기에 따라 변화가 큰 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 2007년 건설교통부의 지원 사업인 콘크리트 코리아 연구단의 열화인자별 고저항성 콘크리트의 개발 및 실용화 개발과제에 의해 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. 김지상, 정상화, 김주형, 이광명, 배수호, “염해를 받는 콘크리트 구조물의 확률론적 내구성 해석”, 콘크리트학회논문집, 18권 2호, 2006, pp. 239-248.
2. 박재임, 배수호, 이광명, 차수원, 유경근, “콘크리트 염소이온 침투 저항성에 미치는 시멘트 종류 및 환경조건의 영향”, 콘크리트 학회 2007 가을 학술발표회 논문집, 19권, 2호, 2007, pp. 513-516
3. 송하원, 권성준, 이석원, 변근주, “고로슬래그 미분말 콘크리트의 염화물 침투 저항성에 관한 연구”, 한국콘크리트학회 논문집, 제15권 3호, 2003, pp. 400-408.
4. DuraCrete Final Report “DuraCrete Probabilistic Performance based Durability Design of Concrete Structures.” May 2000.
5. NT BUILD 492 Concrete, Mortar and Cement Based Repair Materials, “Chloride Migration Coefficient from Non-Steady-State Migration Experiments” 1999, Nordtest.
6. Bentz, E. C. and Thomas, M.D.A., Life-365 Service Life Prediction Model, Silica Fume Association, 2001.