고로슬래그미분말 혼입 콘크리트의 양생재령이 염소이온 확산계수에 미치는 영향에 관한 연구

A study on the Effect of Curing time on the Chloride ion Diffusion Coefficient in Concrete with Portland Cement and Ground Granulated blast-furnace slag

이 우 진* 이 한 승** 송 수 상***
Lee, Woo Jin Lee, Han Seung Song, soo sang

ABSTRACT

Chloride ion diffusion is the most important thing of occuring deterioration in RC structure. According to establish data, the curing time in concrete reduce the chloride ion diffusion coefficient. The purpose of this study is to make clear through experience on the effect of curing time on the chloride ion diffusion coefficient in concrete with Portland cement and ground granulated blast-furnance slag and a propose the standard of chloride ion diffusion coefficient in concrete.

1. 서 론

철근콘크리트 구조물에서 철근이 부식되는 열화현상 중 가장 주요한 열화원인은 염소이온 확산에 의한 것이다. 따라서, 염소이온 확산계수를 정확하게 산정해야만 염소이온 침투에 의한 철근부식의 관점에서 구조물의 수명예측을 정확하게 실시할 수 있다[1]. 한편, 기존 연구에 의하면 콘크리트의 재령이 증가함에 따라 염소이온 확산계수가 감소하며 이는 재령증가에 따라 콘크리트의 공극이 밀실해지기 때문이라고 보고하고 있다.[2]. 특히, 잠재수경성을 갖는 고로슬래그미분말을 혼화재료로서 콘크리트에 사용한 경우 재령에 따른 포졸란 반응으로 염소이온 확산계수의 변화가 더욱 심할 것으로 판단되나, 이에 관한 연구가 부족한 실정이다. 본 연구는 이러한 배경 하에 고로슬래그미분말 혼입콘크리트의 양생재령이 염소이온 확산계수에 미치는 영향을 실험적으로 규명하였다. 또한, 재령별 확산계수를 이용하여 확산계수의 변화가 콘크리트 내의 염분침투에 미치는 영향을 FEM해석을 통해 검토하였다. 그림 1은 본 연구의 흐름도를 나타낸다.

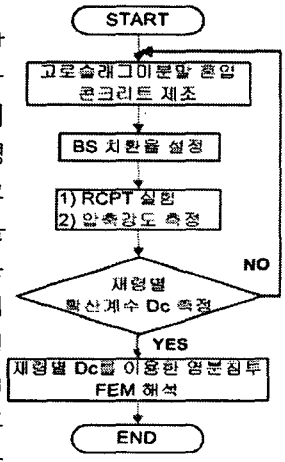

그림 1. 연구의 흐름도

* 정회원. 한양대학교 대학원 건축공학과, 석사과정
** 정회원. 한양대학교 공학대학 건축학부 조교수, 공학박사
*** 정회원. 한양대학교 산업경영대학원 건축공학 전공, 석사과정

2. RCPT 에 의한 염소이온 확산계수 측정 실험

2.1 실험 인자 및 수준

표 1은 실험의 인자 및 수준에 따른 콘크리트 배합표이다. W/C는 50%으로 고정하고 고로슬래그 미분말 혼입 콘크리트(이하 BS 콘크리트)와 재령에 따른 염소이온 확산계수의 변화를 측정하기 위하여 BS를 20, 40, 60%로 치환하였다. BS 콘크리트는 슬럼프 15cm, 공기량 4%로 하였다.

2.2 사용 재료 및 측정 항목

시멘트는 H사의 보통포틀랜트시멘트를 사용하였고, 표 2는 BS의 물성을 나타낸다. 실험에서는 각 재령별 압축강도 및 염소이온 확산계수를 측정하였다.

표 1. 실험 인자 및 수준에 따른 콘크리트 배합표

BS 치환율	S/a (%)	단위 중량 (kg/m³)					
		W	C	BS	S	G	HAD
0(%)	46.1	168	336	0	839	993	1.68
20(%)	46.1	168	269	67	839	993	1.68
40(%)	46.1	168	202	134	839	993	1.68
60(%)	46.1	168	134	202	839	993	1.68

표 2. BS의 물성

분류	내용
밀도	2.91 (kg/m³)
분말도	4300 (cm²/g)
활성도지수	117 %
염기도	1.91

2.3 실험 결과 및 분석 고찰

표 3에 실험결과를 나타낸다. 포졸란 반응을 일으키는 BS 콘크리트의 압축강도 결과는 양생초기에는 강도가 낮고 확산계수가 크지만 시간이 지남에 따라 강도가 확연히 증가하고 확산계수도 감소하기 시작한다. 압축강도가 증가하는 것은 콘크리트의 구성이 밀실해지고 치밀해지기 때문이다. 그리고 확산계수도 콘크리트의 구성이 변하면서 감소하는 것을 알 수 있다. 확산계수에 대한 계산과 분석은 Tang & Nilsson의 계산식을 이용하였다.[1)]

표 3. 재령에 따른 압축강도와 확산계수의 실험결과

종류 / 재령	BS 0%		BS 20%		BS 40%		BS 60%	
	압축강도 (kgf/cm²)	확산계수 (×10⁻⁷cm²/s)	압축강도 (kgf/cm²)	확산계수 (×10⁻⁷cm²/s)	압축강도 (kgf/cm²)	확산계수 (×10⁻⁷cm²/s)	압축강도 (kgf/cm²)	확산계수 (×10⁻⁷cm²/s)
7일	152	4.20	143	6.34	135	8.19	125	10.21
14일	207	2.52	205	3.76	192	5.14	187	6.62
28일	258	1.70	262	1.57	256	1.93	247	2.31
42일	275	1.64	290	1.40	284	1.40	273	1.91
56일	291	1.59	301	1.39	300	1.40	295	1.71

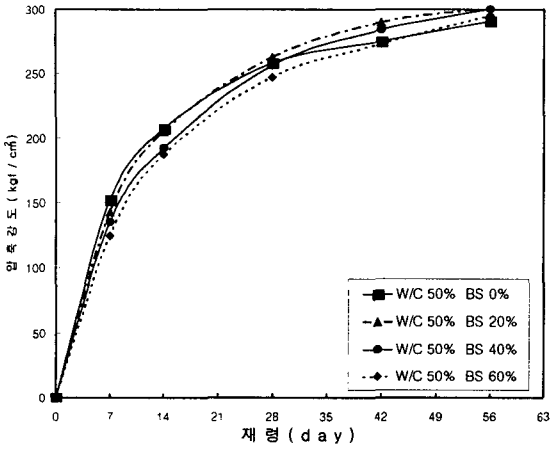

그림 2. 재령에 따른 압축강도의 변화

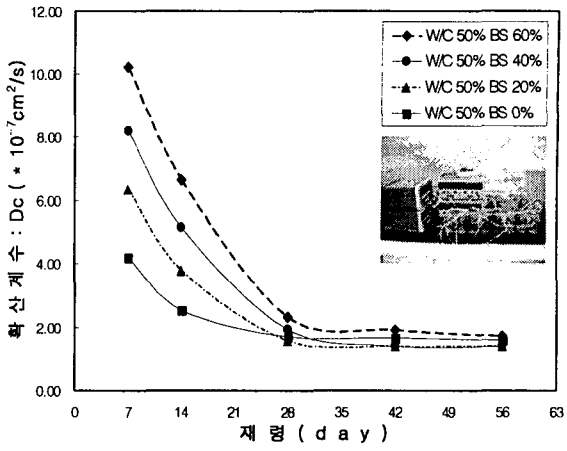

그림 3. 재령에 따른 확산계수의 변화

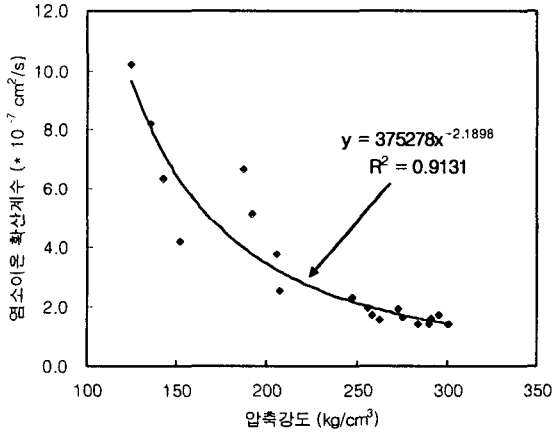

그림 4. 압축강도에 따른 염소이온 확산계수

그림 2는 재령에 따른 압축강도의 발현을 나타내었다. BS를 혼입하지 않은 콘크리트가 처음에는 강도가 확실히 높지만 재령이 지날수록 BS 콘크리트에 비해 낮아지는 것을 알 수 있다. 그림 3은 재령에 따른 확산계수의 변화를 나타낸다. 역시 양생 초기에는 확산계수의 차이가 확실히 나타나지만 시간이 지날수록 수렴하는 것을 알 수 있다. 그림 4는 압축강도에 따른 염소이온 확산계수의 변화를 보여준다. 강도의 발현이 확산계수의 변화에 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있다 그것은 콘크리트내의 물성 조직이 치밀해지면서 공극이 작아지는 것을 말해준다.

3. 염소이온 확산계수(Dc)를 이용한 철근콘크리트 내의 염분침투 FEM 해석 검토

3.1 염분침투 FEM해석 개요

염분이 구조물내로 침투할 때에 적용되는 퓨리에 법칙에서 물체내의 단위면적을 단위시간 t안에 이동하는 염분침투유속 q 는 염분의 침투하는 방향의 구배 dC/dx (C : 염분량, x : 염분의 침투방향에서 취한 좌표) 에 비례한다.

$$q = -D_x \frac{dC}{dx} \quad \text{..... 식 1.}$$

식 1.의 비례정수 D_x를 확산계수라 부르며, 물질에 있어서 염분이 침투하기 쉬움의 정도를 나타내는 것이다. 또한, 염소이온 확산계수는 경과년수에 따라 철근위치의 염소이온 농도를 산정하였다.

3.2 해석 결과 및 분석 고찰

그림 5는 W/C 50%일때 해석기간에 따른 확산계수의 변화를 나타낸 그림이다. 표면피복 4cm위치에서 연도가 증가함에 따라 큰 차이를 보이고 있다. 그러므로 재령 7일의 염소이온 확산계수를 해석에 사용하기에는 부적절하며 최소 42일 재령의 염소이온 확산계수를 이용하는 것이 적절하다. 그림 6은 염소이온 확산계수를 적용하여 FEM 해석을 수행한 결과이다. 그림에서 알 수 있듯이 초기재령에서의 확산계수를 적용 할 경우, 56일 재령의 확산계수를 적용한 경우와 비교 할 때 염화물 이온 침투량을 매우 과다하게 예측하고 있음을 알 수 있다.

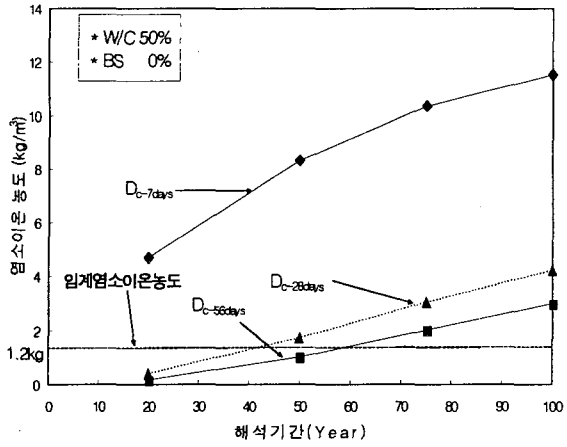

그림 5. 해석기간에 따른 염소이온농도의 변화

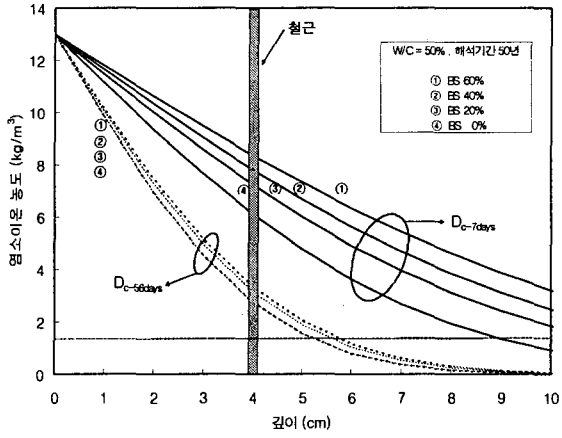

그림 6. FEM을 이용한 깊이별 염소이온 농도의 분포

4. 결 론

본 연구에서는 BS 콘크리트의 양생 재령이 염소이온 확산계수에 미치는 영향을 실험적으로 규명하였다. BS 치환율에 상관없이 재령 42일부터 Dc의 변화가 거의 없는 것으로 보아 염소이온 확산계수 산정실험을 위한 콘크리트 양생재령은 적어도 42일이라고 판단된다. 또한 염화물 이온의 침투를 예측하기 위하여 각각 7일, 56일 재령의 콘크리트 염화물 이온 확산계수를 이용한 FEM해석을 수행한 결과, 철근위치에서의 염소이온 농도는 초기재령 7일의 확산지수를 이용한 경우가 재령 56일에서는 약 5배정도로 나타나 동일 콘크리트라도 재령에 따른 확산계수 차이가 염소이온 침투에 미치는 영향이 매우 크다는 것을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 이우진, 이한승 외, "기존 자료를 통한 염소이온 확산계수 분석 및 철근콘크리트 구조물의 염해 수명예측", 한국콘크리트학회 2004 봄학술발표회 p846~849, 2004

2. 배수호, 정영수 외. "물-시멘트비와 재령이 콘크리트의 염소이온 확산특성에 미치는 영향" 한국콘크리트학회 2002 봄 학술발표회 논문집 p737~741

3. "염분침투 해석 시스템 Total-CPS 사용자메뉴얼", (주)토탈인포메이션서비스, 2003