

# 탄산화 작용에 따른 콘크리트의 세공구조 성상에 관한 실험적 연구

## An Experimental Study on the Pore Structure Property of Concrete by Carbonation

김 영 봉\*   김 영 선\*\*   이 의 배\*\*   나 철 성\*\*   김 규 용\*\*\*   김 무 한\*\*\*\*  
Kim, Young-Bong   Kim, Young-Sun   Lee, Eui-Bae   Na, Chul-Sung   Kim, Gyu-Yong   Kim, Moo-Han

### ABSTRACT

Up to now, the RC structures have been recognized as being socially semi-permanent. But in recent years there were reports about the cases of early deterioration of RC structures. Most of all pore structure effects on the durability of concrete as well as mechanical properties of concrete. Therefore, in this study, mixing design was proportioned with the water-binder ratio 0.55 binder compositions corresponding to cement without any supplementary materials(OPC), cement with 50% blast-furnace slag replacement (BFS50), cement with 15% fly ash replacement (FA15), and ternary cement with cement, 15% fly ash, and 35% slag replacement (BFS35+FA15).

And this study is to compare pore structure property of concrete by carbonation to investigate the effect of the permeation of deterioration factors such as CO<sub>2</sub> and chloride ion under the combined deterioration environments.

The results showed that pore volume effects on the diffusibility of chloride ion.

### 요 약

RC 구조물은 반영구적인 재료로 인식되어 왔으나, 최근 RC 구조물의 조기 열화에 의한 문제가 보고되고 있다. 이중 내구성능 저하 요인으로서 탄산화에 의한 공극구조의 변화로 인하여 발생하는 문제에 대한 연구가 필요한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 물-결합재비율을 0.55로 고정하고 결합재로서 보통포틀랜드 시멘트만을 사용한 (OPC), 이성분계 콘크리트로서 결합재에 고로슬래그 미분말을 50% 치환한 (BFS50), 플라이애시를 15% 치환한 (FA15), 또한 삼성분계 콘크리트로서 플라이애시 15% 및 고로슬래그 미분말을 35% 치환한 (BFS35+FA15)로 배합을 설정하였다.

또한 탄산화에 진행에 의한 공극구조의 변화로 열화요인의 작용으로 인한 CO<sub>2</sub> 및 염화물 이온의 침투 특성을 단독열화 시험과 복합열화 시험을 통해 비교·연구하여 평가를 실시하였다. 그 결과 공극구조의 변화에 따른 영향으로 인하여 염화물 이온의 침투속도가 영향을 받는 것으로 나타났다.

\* 정회원, 충남대학교 대학원 건축공학과, 석사과정

\*\* 정회원, 충남대학교 대학원 건축공학과, 박사과정

\*\*\* 정회원, 충남대학교 건축공학과, 조교수·공학박사

\*\*\*\* 정회원, 충남대학교 건축공학과, 명예교수·공학박사

### 1. 서론

최근 건설구조재료 중 큰 비중을 차지하는 콘크리트는 반영구적인 건설구조재료로서 인식되어 왔으나 외부로부터 작용하는 열화인자의 영향으로 인하여 구조내력 저하 등의 심각한 문제가 발생하고 있다.

특히 환경문제로서 대두되고 있는 대기 중 이산화탄소농도 증가, 대기 오염가스 및 산성비등의 영향으로 인하여 콘크리트의 중성화가 빠르게 나타나고 있다. 이에 대한 연구는 활발히 이루어지고 있으나 중성화로 인하여 추가적인 열화현상의 증가에 대한 연구는 미비한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 콘크리트의 탄산화 진행에 의한 세공구조의 변화를 평가하고자 하였으며, 탄산화와 염화물 이온의 복합적인 작용에 의한 열화축진 특성의 변화를 검토하였다.

### 2. 실험계획 및 방법

본 연구의 실험 요인 및 수준은 표 1에 나타난 바와 같으며, 결합재 구성에 따른 탄산화에 의한 세공구조 변화 및 열화특성을 비교·검토하기 위해 결합재 구성에 따른 배합을 수집·분석하여 표 2의 물리적 성질을 갖는 재료를 사용하여 표 3의 배합을 설정하였다.

또한 모든 시험체는 재령을 동일하게 설정하기 위하여 온도 20±2℃ 상대습도 60±5%인 항온 항습실에서 각 시험체의 측정에 필요한 기간의 기건 양생을 실시하였으며, 탄산화 전후의 공극 구조를 평가하기 위하여 수은 압입식 포로시메타(MIP)의 방법을 이용하여 세공구조 공극을 측정하였다.

### 3. 실험 결과 및 고찰

#### 3.1 굳지 않은 성상 및 압축강도

굳지 않은 성상 및 압축강도는 표 3에 나타난 바와 같으며, 재령 28일의 압축강도는 대체적으로 20~24 MPa의 일반적인 강도수준을 발현하였으나, 재령이 증가함에 따라 결합재를 사용한 콘크리트의 경우 압축강도가 증가하였다. 이와 같은 현상은 고로슬래그 미분말의 잠재수경성 및 플라이애시의 포졸란 반응에 의한 것으로 사료된다.

표 1. 실험 요인 및 수준

시리즈	요 인		수 준	측정재령 (주)	측정항목
I	단 독 열 화	탄산화	CO <sub>2</sub> 5%, 습도 60%, 온도 20℃	1, 4, 8, 16	· 탄산화 깊이(mm) · 염화물이온 침투깊이(mm) · 세공구조 및 공극량
		염 해	10% NaCl 용액침지		
II	복 합 열 화	탄산화 → 염 해	탄산화 16주 후 염수침지		

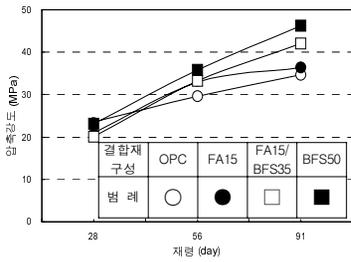
표 2. 사용재료의 물리적 성질

사용 재료	물리적 성질
시멘트	1종 보통 포틀랜드시멘트 (절건밀도 : 3.15g/cm <sup>3</sup> , 분말도 : 3,300cm <sup>2</sup> /g)
혼화재	플라이애시 (절건밀도 : 2.13, 분말도 : 2,926cm <sup>2</sup> /g)
	고로슬래그 미분말 (절건밀도 : 2.91, 분말도 : 4,379cm <sup>2</sup> /g)
굵은 골재	퇴촌산 부순 자갈, 최대치수 : 25 mm (절건 밀도 : 2.65g/cm <sup>3</sup> , 조립율 : 6.02)
잔골재	인천산 제염사 (절건밀도 : 2.56g/cm <sup>3</sup> , 조립율 : 3.03)

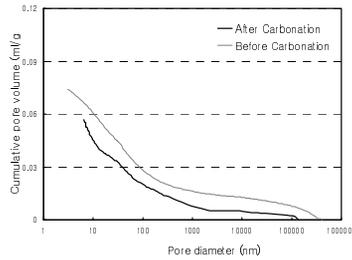
표 3. 콘크리트의 배합 및 기초물성 평가결과

결합재 구성방식	W/B (%)	S/a (%)	단위수량 (kg/m <sup>3</sup> )	단 위 질 량 (kg/m <sup>3</sup> )					단위용적 질량(kg/l)	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	압축강도(MPa)		
				C	FA	BFS	S	G				28일	56일	91일
OPC	55	49	178	324	0	0	846	911	2.70	17.5	2.59	23.60	29.57	34.70
FA 15				275	49	0	837	901	2.68	18.5	2.86	20.90	32.90	36.40
FA 15/BFS 35				162	49	113	834	899	2.70	20.0	2.62	20.09	33.20	42.03
BFS 50				162	0	162	842	908	2.73	21.0	2.71	23.08	35.90	46.20

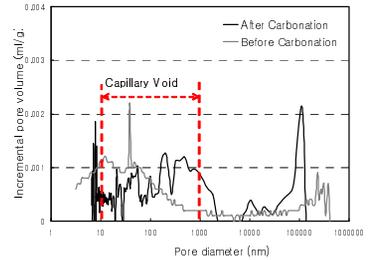
B : 결합재, C : 보통 포틀랜드 시멘트, Fa : 플라이애시, BFS : 고로슬래그 미분말 S : 잔골재, G : 굵은 골재



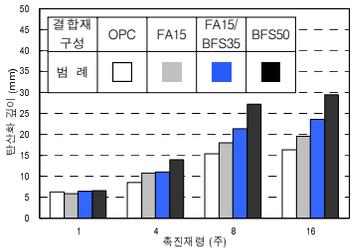
(a) 결합재 종류에 따른 재령별 압축강도



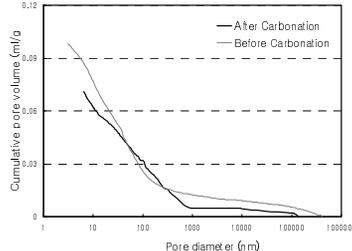
(a) OPC



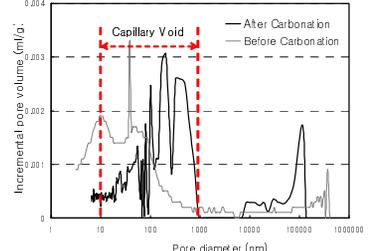
(a) OPC



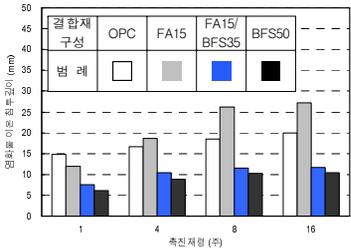
(b) 표준양생 4주+기건 17주 → 촉진탄산화(1, 4, 8, 16주)



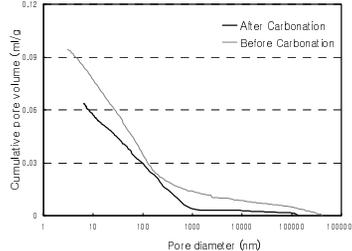
(b) FA 15



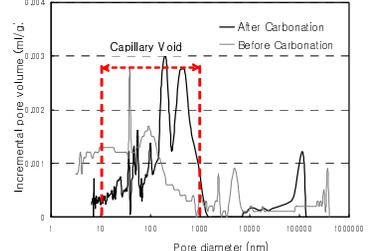
(b) FA 15



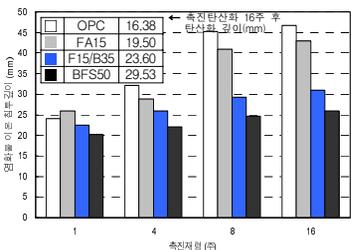
(c) 표준양생 4주+기건 17주 → 염수침지(1, 4, 8, 16주)



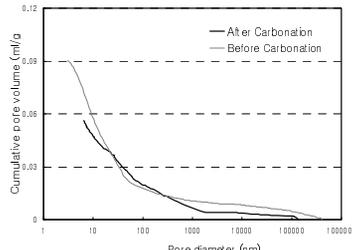
(c) FA 15/BFS 35



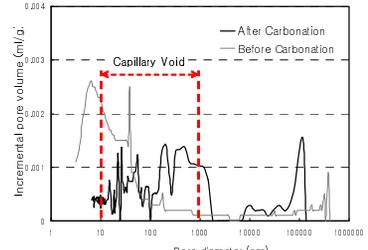
(c) FA 15/BFS 35



(d) 표준양생 4주+기건1주+촉진탄산화16주 → 염수침지(1, 4, 8, 16주)



(d) BFS 50



(d) BFS 50

그림 1. 재령의 경과에 따른 압축강도 및 열화특성

그림 2. 결합재 종류에 따른 누적 공극량

그림 3. 결합재 종류에 따른 공극구조 분포

### 3.2 염해 및 탄산화의 단독열화 성장

촉진 재령에 따른 탄산화 깊이는 그림 1(b)에 나타난 바와 같이 혼화재를 대체할 경우 촉진 탄산화에 의한 탄산화 깊이가 증가하는 것으로 나타났으나, 그림 1(c)에서 보는 바와 같이 고로슬래그 미분말을 대

체한 경우 염수침지에 의한 침투저항성이 OPC에 비하여 2배 이상 확보되는 것으로 나타났다.

### 3.3 탄산화의 진행에 따른 공극특성의 변화

그림 1(c)에 나타난 단독 염수침지 염화물 이온 침투깊이에 비하여 그림 1(d)에 나타난 바와 같이 촉진 탄산화 16주 후 염수 침지를 시킨 시험체의 염화물 이온 침투깊이는 최소 1.62배에서 최대 3.31배까지 증가하는 것으로 나타났다.

또한 그림 2 및 그림 3에 나타난 바와 같이 각 배합에 대하여 탄산화의 진행에 따른 공극구조의 분포가 바뀌게 되는데, 그림 2의 탄산화 후의 누적 공극량은 탄산화 전에 비하여 감소하였으며, 이와 같은 현상은 기존의 공극 구조 내부에 반응 침전물이 쌓이게 되어 공극량이 줄어드는 것<sup>2)</sup>으로 사료되었다.

한편 그림 3에서 보는 바와 같이 탄산화 전의 공극구조에 비해 탄산화가 진행된 시험체에서는 10nm~1000nm의 크기를 갖는 모세관 공극이 증가하는 것으로 나타났다. 또한 모세관 공극량이 늘어난 비율은 FA 15 > FA 15/BFS 35 > BFS 50 > OPC의 순서로 단독염수침지 대비 탄산화 후 염수침지 시험체의 염화물 이온 침투깊이의 증가량과 동일한 경향을 나타내었다. 이와 같은 현상은 탄산화에 의하여 전체공극률이 감소하는 반면, 모세관 공극의 일부분이 오히려 증가하여 염화물 확산계수의 증가를 보인다는 선행 연구<sup>3)</sup>와 상응하는 결과로 판단되며, 본 연구에서도 이와 같은 현상으로 인하여 공극구조의 변화가 발생하고 단독염수침지에 비하여 염화물 이온의 확산이 증가되는 것으로 사료된다.

## 4. 결 론

콘크리트의 탄산화 진행에 의한 세공구조의 변화에 따른 외부 열화인자의 복합적인 작용에 의한 확산 특성의 변화에 대하여 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 결합재 구성방식에 따른 콘크리트의 누적 공극량은 탄산화가 진행됨에 따라 공극 구조 내부에 반응 침전물이 쌓이게 되므로 탄산화에 의하여 누적 공극량이 감소하는 것으로 나타났다.
- 2) 염화물 이온의 침투깊이는 탄산화가 선행될 경우 급격한 침투양상을 보였으며, 이와 같은 현상은 탄산화로 인해 공극구조가 물질 침투가 쉬운 모세관 공극으로 변화하는 것에 기인한 것으로 사료된다.
- 3) 콘크리트 구조물의 성능중심 내구설계기법 확립을 위해서는 실제 환경의 복합적인 열화요인을 고려한 성능 설계기법의 구축을 위한 다양한 추가적인 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

### 감사의 글

이 논문은 “건설교통R&D정책·인프라사업 성능중심의 건설기준 표준화과제”의 지원을 받아 수행된 연구이며, 본 연구에 참여한 연구자(의 일부)는 2단계 BK21 사업의 지원을 받았으며, 이에 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

1. 김무한 외(2003), 복합열화 환경 하에서의 중성화 및 염화물 이온 확산특성이 철근부식에 미치는 영향에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 학술발표논문집 제23권 제2호, pp.455~458
2. Ishida, T. and Maekawa, K., "Modeling of PH Profile in Pore Water Based on Mass Transport and Chemical Equilibrium Theory", Concrete Library of JSCE, NO.37, June, 2001, pp.151~166
3. Ngala, V.T. and Page, C.L., "Effects of Carbonation on Pore Structure and Diffusional Properties of Hydrated Cement Paste", Cement and Concrete Research, Vol.27, NO.7, 1997, pp.995~1007