

# 고온 가열 시멘트 페이스트의 3D 영상화 및 세공구조 변화 분석에 관한 연구

## A Study on the 3D Imaging of High Temperature Heating Cement Paste and the Analysis of Variation of the Pore Structure

김민혁\*

Kim, Min-Hyouck

이건철\*\*

Lee, Gun-Cheol

### Abstract

In case of high temperature damage such as fire, the durability of concrete is reduced due to the collapse of internal pore tissue. Therefore, in this paper, we are going to analyze the pore structure of cement paste hardening agent using MIP analysis and build up 3D data produced using X-ray CT tomography. The test specimen is made of cement paste from W/C 0.4. As the temperature of heating increased, the amount of air gap and the diameter of air gap in cement paste increased. It is judged that the air gap structure inside cement collapsed due to the evaporation of the hydrate, gel count, capillary water, etc. inside the cement due to the high temperature.

키 워 드 : 화재 피해, 시멘트 페이스트, 공극 구조, 수은압입법

Keywords : fire damaged, cement paste, pore structure, MIP

### 1. 서론

콘크리트는 수화생성물, 골재, 다양한 크기의 공극으로 이루어진 복합체이다. 이러한 콘크리트는 화재 등의 열적 피해를 받게 될 경우 내부 공극 조직의 붕괴로 인한 내구성 저하가 발생한다. 이와 관련하여 강승민<sup>1)</sup> 등은 화재에 노출된 시멘트 페이스트는 모세관수의 증발로 인해 공극구조가 변화하고 공극률 및 공극의 크기가 증가하여 콘크리트의 내구성을 저하시킨다고 보고하였다. 그러나, 다양한 종류의 수화물, 골재의 영향 등 복합적인 변수를 가진 콘크리트에서 시멘트 페이스트 영역의 공극 구조 변화를 실험한 연구는 거의 수행되지 않았다.

따라서, 본 보에서는 수은압입법(MIP)을 이용하여 시멘트 페이스트 경화체의 세공구조를 변화를 측정하고 X-ray CT 단층 촬영을 이용하여 3D 영상화한 시각화 자료를 구축하고자 한다.

### 2. 실험 개요

#### 2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같다. 시험체는 W/C 0.4의 시멘트 페이스트 경화체로 제작 후 28일간 수중양생을 실시한 후, 2주간 기건양생을 실시한 시험체로 설정하였다. 시험체의 고온 환경을 조성하기 위해 상온부터 1000 ℃까지 100 ℃단위로 하여 총 11개의 온도 조건을 설정하였다. 각 시험체 내부의 공극량을 측정하고 분석하기 위해 MIP(Mercury Intrusion Porosimetry) 분석법을 실시하였다. 또한 3D 영상화를 위해 X-ray CT 기법을 사용하여 시멘트 페이스트의 단층 촬영을 진행하고 3D 영상화를 진행하였다.

표 1. 실험계획

실험요인	실험수준
시험체 종류	시멘트 페이스트
W/C (%)	40
가열 온도조건 (℃)	R.T, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000
측정사항	- 수은압입법 (MIP) - X-ray CT

### 3. 실험결과 및 분석

그림 1은 상온상태의 MIP 분석 그래프이며, 그림 2는 1000 ℃ 가열 후의 MIP 분석 그래프이다. 가열온도가 증가할수록 시험체의

\* 한국교통대학교 건축공학과 석사과정

\*\* 한국교통대학교 건축학부 교수, 공학박사, 교신저자(gclee@ut.ac.kr)

공극량과 공극의 직경이 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 가열 초반 100 ~ 180 °C에서 모세관 수, 젤 수 등이 증발하고 에트링가이트 등의 시멘트 수화물들이 분해된 것으로 판단된다. 또한 공극 직경 1 μm 크기의 공극량이 증가하였는데, 이는 가열 온도가 400 °C 이상으로 상승할 때 C-S-H의 입자와 Ca(OH)<sub>2</sub>의 분해가 시작되어 증가한 것으로 판단된다.

이러한 경향은 그림 3과 4의 X-ray CT 단층 촬영본과 이를 바탕으로 제작된 3D 형상화 이미지에서도 같은 경향을 나타내었다.

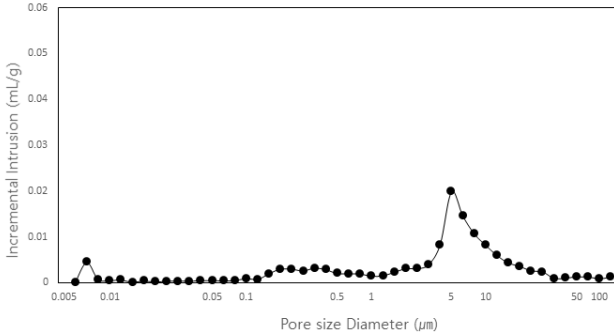


그림 1. 상온 상태 MIP 분석 그래프

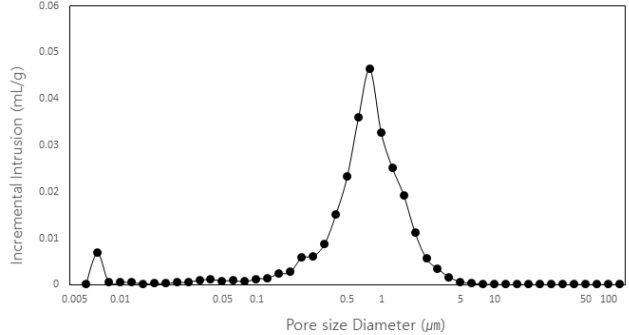


그림 2. 1000 °C 가열 후 MIP 분석 그래프

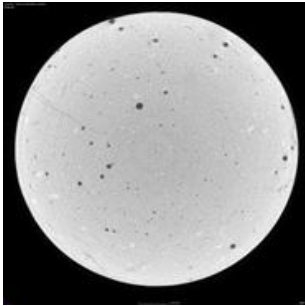


그림 3. 상온 상태의 X-ray CT 단층 촬영 이미지



그림 4. 1000 °C 가열 시험체의 3D 형상화 이미지

#### 4. 결 론

고온 가열 된 시멘트 페이스트 경화체의 MIP 분석과 X-ray CT 촬영을 이용하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다. 가열 온도가 증가할수록 시멘트 페이스트의 공극량과 공극 직경이 증가하였다. 이는 시멘트 페이스트 매트릭스의 C-S-H, Ca(OH)<sub>2</sub> 등의 수화물들과 모세관 수, 젤 수, 유리수등의 증발로 인하여 시멘트 내부의 공극구조가 붕괴된 것으로 판단된다.

#### Acknowledgement

본 논문은 2020년 한국연구재단의 기초연구지원사업(과제번호: 2020R1F1A104824111)의 일환으로 수행된 연구임을 밝히며 이에 감사를 드립니다.

#### 참 고 문 헌

1. 강승민, 나승현, 김경남, 송명신, 고온 환경에 노출된 시멘트 경화체의 공극 구조 변화, 한국세라믹협회지, 제52권 제1호, pp.48~55, 2015.1
2. Walte H. Johnson, Willard H. Parsons. Thermal Expansion of Concrete Aggregate Materials, National Bureau of Standards Vol.32, pp.101~126, 1994