

# 고온하의 시멘트 경화체의 공극구조

## Pore Structure of Cement Matrix Exposed to High Temperatures

송 훈\*  
Song, Hun

도 정 윤\*\*  
Do, Jeong Yun

소 승 영\*\*\*  
So, Seung Young

소 양 섭\*\*\*\*  
Soh, Yang Seob

---

### ABSTRACT

Dehydration and micro crack thermal expansion occur in cement hydrates of concrete structure heated by fire for a long time. The characteristic of concrete exposed to high temperature can be analyzed from distribution of porosity and pore size.

Porosity showed a tendency to increase irrespective of specimen types. This is due to both the outbreak of collapse of gel comprising the cement and a micro crack by heating. Porosity did not affect the variety of specimen and increased with the same tendency throughout every specimen. In addition, the deteriorate of compressive strength resulted from increase in porosity

---

### 1. 서 론

최근, 건축물의 고층화 및 거대화에 의해 고강도 콘크리트의 사용량이 증가함에 따라 화재시의 고강도 콘크리트의 내화성능 구명에 대한 필요성이 제기되고 있다. 콘크리트 구조물은 장시간 화재에 의한 화열을 받는 경우, 콘크리트 내부의 시멘트 수화물의 탈수 및 열팽창 등으로 인한 미세 균열이 발생한다. 이러한 미세균열은 강도를 저하시키며 내화성능의 손상을 유발한다. 이와 관련하여 화재시에 대한 콘크리트의 내화성능을 정확히 파악하기 위한 많은 연구가 진행되고 있으며 수열온도 예측이나 고온 거동을 파악하기 위한 방편으로 공극구조의 변화등에 관한 연구가 진행되고 있는 실정이다<sup>1)~8)</sup>.

고온하의 콘크리트의 공극구조는 가열방법이나 가열시간 등의 요인들에 의해 좌우된다. 또한, 고온하의 모르타르 및 콘크리트의 공극구조 특성을 나타내는 것으로는 전공극율과 세공경 분포를 들 수 있으나, 화재에 의한 콘크리트의 미세구조의 변화를 충분히 설명할 수 있는 실험결과는 많지 않은 것이 현실정이다<sup>1)~3)</sup>.

---

\* 정회원, 전북대학교 공업기술연구소, 연구원, 공박

\*\* 정회원, 전북대학교 대학원, 박사과정

\*\*\* 정회원, 전북대학교 건축도시공학부, 전임강사, 공박

\*\*\*\* 정회원, 전북대학교 건축도시공학부, 교수, 공박

본 연구에서는 각 가열온도에서의 시멘트 경화체의 공극구조 변화를 측정·분석하여 화재시의 콘크리트 구조물의 수열온도나 손상정도를 파악하기 위한 기초 자료를 제공하는 것을 목적으로 하였다. 특히, 고온하의 시멘트 경화체의 공극구조 특성의 평가를 목적으로 고온 가열 전후의 세공분포를 측정하여, 가열에 의한 공극특성을 정량적으로 검토하였다.

## 2. 사용재료 및 시험방법

시멘트는 시판용 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 잔골재는 강모래를 사용하였으며, 굵은 골재는 경질사암의 쇄석을 사용하였다. 콘크리트의 혼합직 후 공기량과 슬럼프를 측정하였으며, 5mm체를 이용하여 굵은골재를 제거하였다. 시험체는 20±2℃의 양생실에서 28일간 밀봉양생 하였다.

전술의 28일 양생 후, 시험체를 다이아몬드 커터로 5mm의 각으로 절단 후 아세톤에 침적시켜 수화를 정지시켰다. 절단된 시험체의 가열은 각각 전기로를 200, 400, 600, 800℃로 예열한 후, 2시간 가열하였다. 가열 후 시험체는 상온으로 냉각하여 밀봉하였다. 20℃의 상온의 시험체는 2주간 D-dry건조를 실시하였다. 세공구조의 측정은 수은압입법에 의해 포로시메타를 이용하여 측정하였다.

표1. 배합비 및 시멘트 경화체의 28일 압축강도

Series	W/C (%)	s/a (%)	Unit Weight (kg/m <sup>3</sup> )				Air Content (%)	Slump (cm)	Compressive Strength (MPa)
			W	C	S	G			
M-35	35	45	170	485.7	744.5	927.4	3.5	16	72.6
M-45	45	47		377.8	819.3	941.6	3.0	20	54.5
M-55	55	47		309.1	845.9	972.2	3.8	17	42.2

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 세공구조의 변화

가열온도와 세공공극 분포를 그림1에 나타내었다. 세공공극은 물시멘트비가 작을수록 전공극율도 작았으며, 0.05µm이하의 공극율에서도 동일한 경향을 보였다. 0.05µm이하의 공극과 전공극율은 콘크리트의 강도와 밀접한 상관관계를 가진다<sup>1)</sup>. 시험체는 가열온도의 상승에 의해 전공극율도 증가하는 경향을 보였다. 특히, 0.1~0.5µm의 공극의 증가가 현저하였으며, 가열온도의 상승에 따라 단계적으로 증가하는 경향을 보였다. 이러한 경향은 100~550℃에서의 C-S-H계 수화물 및 수산화칼슘(Ca(OH)<sub>2</sub>)의 분해의 영향을 받은것으로 추측된다. 또한, 1~10µm의 공극도 가열온도의 증가에 따라 점진적으로 증가하는 경향을 보였으며, 시험체의 종류에 관계없이 동일한 경향을 보였다. 그러나, 0.05µm이하의 공극은 시험체의 종류에 상관없이 감소하는 경향을 보였으며, 가열온도의 상승에 따라 단계적으로 감소하였다. 특히, 600℃이상의 온도에서 0.05µm이하의 공극은 현저하게 감소하는 경향을 보였으며, M-55의 시험체의 경우 0.05µm이하의 공극이 거의 발견되지 않았다.

각 시험체는 가열에 의해 0.1µm근방의 공극의 변화가 가장 크게 나타났으며, 시험체의 종류와 상관없이 동일한 결과를 보였다. 또한, 2~5µm에서도 공극의 증가가 현저하였다. 각 가열온도에서의 공극경증감의 폭은 가열온도와 밀접한 관계를 보여 가열온도의 상승에 의해 증감의 폭은 더욱 크게 나타났다.

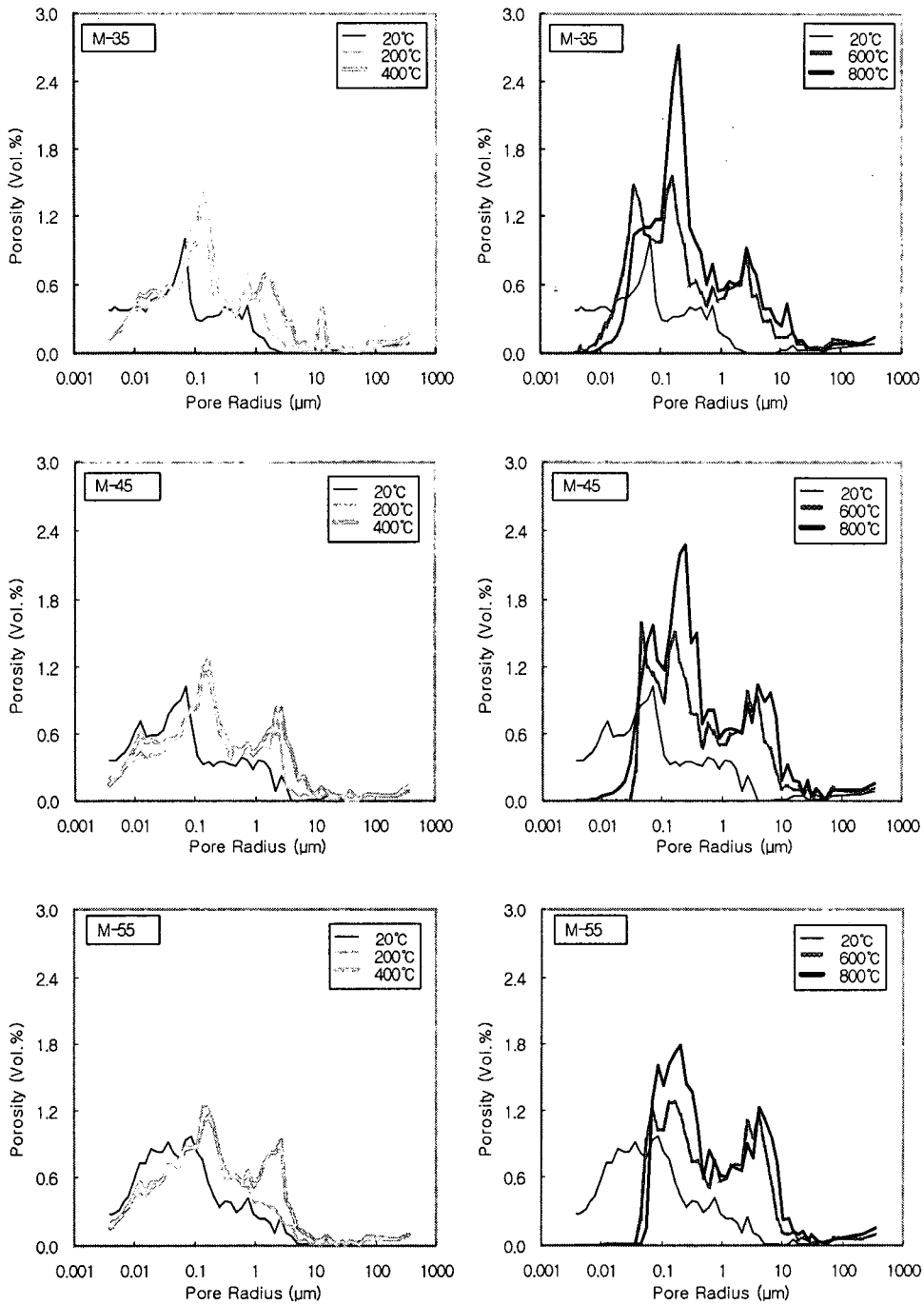


그림1. 가열온도와 세공경 분포

### 3.2 전공극율의 변화

가열온도와 전공극율의 변화를 그림2에 나타내었다. 전공극율은 시험체의 종류와 관계없이 가열온도

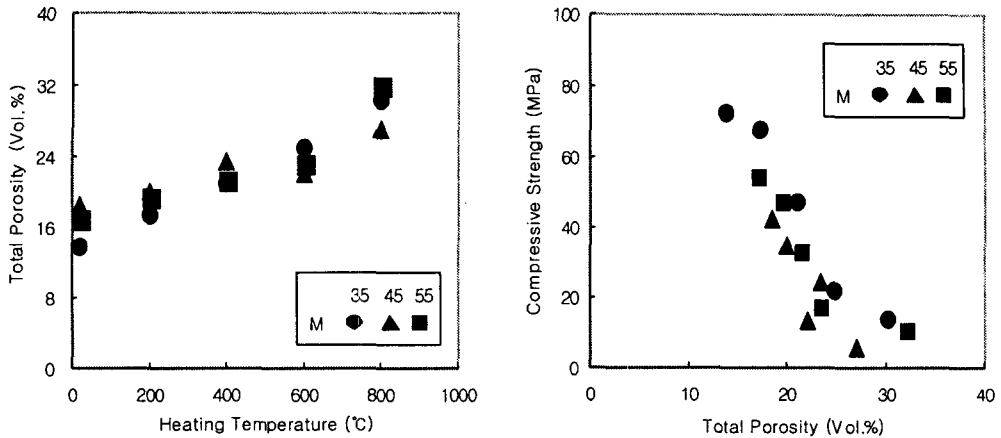


그림2. 공극율의 변화 및 압축강도와와의 관계

에 따라 동일한 경향을 보이며 증가하였다. 이러한 공극의 증가는 탈수 및 미세균열 발생 등의 전술한 것과 동일한 요인으로부터 기인되었으며 공극율의 증가는 콘크리트의 물성에도 영향을 미쳐 압축강도의 저하 등 물리적 성질에 영향을 미쳤다. 가열에 따라 발생한 공극의 증가 및 미세균열의 발생으로 인해 압축강도는 감소하는 경향을 보였다. 기존의 보고된 압축강도와 밀접한 상관을 보이는  $0.05\mu\text{m}$  이하의 공극의 평가와 더불어 가열에 의한 전공극율도 압축강도와 높은 상관관계를 보였으며 전공극율의 증가도 가열온도와 높은 상관관계를 보였다.

#### 4. 결론

- (1) 가열온도의 증가에 따라 공극도 증감을 보였으며 시험체의 종류에 상관없이 특정의 동일 크기의 공극경에 대해서 동일한 경향을 보였다. 또한, 전공극율은 시험체의 종류와 상관없이 가열온도에 따라 동일한 경향을 보이며 증가하였다. 이러한 결과는 시멘트 경화체 내부의 공극이 고온가열에 의해 물이 증발하며 탈수되어 켈의 붕괴, 수산화칼슘의 분해 및 열에 의한 신축에 따른 미세균열의 발생에 따른 결과라고 사료된다.
- (2) 고온하의 콘크리트의 공극구조 특성은 콘크리트의 수열온도나 부재의 열에 의한 손상정도를 파악할 수 척도의 일부분으로서 이용이 가능하다고 판단되며 열에 의한 내력저하의 메카니즘을 파악하기 위한 후속 연구가 진행되어야 한다.

#### 참고문헌

1. 송 훈, 화재시에 대한 고강도 콘크리트 부재의 내화성능에 관한 연구, 박사학위논문, 동경대학, 2003
2. Wei-Ming Lin, Microstructures of Fire-Damaged Concrete, ACI Materials Journals, May-June, p.199, 1996
3. Zdenek P. Bazant, Maurice F. Kaplan ; Concrete at High Temperatures : Material Properties and Mathematical Models, Prentice Hall, 1996
4. EUROCODE 4, Design of Composite steel and Concrete structures, Structural Fire Design, 1994
5. 森 實, 建築材料の火災時における高温性状に関する研究, 博士學位論文, 東京大學, 1975
6. Ulrich Schneider; Behavior of Concrete at High Temperatures, Berlin, 1982
7. 火災とコンクリート, シンポジウム資料, 日本建築學會, 2001
8. 콘크리트 구조물의 화재안전성위원회報告集, 日本콘크리트工學協會, 2002